관리번호	사본번호

고속국도 제17호선

서울~문산 고속도로 민간투자사업 [1공구]

지반조사보고서

[준 공]

2020. 11

서울문산 고속도로 주식회사

조 사 편 목 차

제 1 장 조사개요

1.1 조사목적 ····1
1.2 조사위치 ····1
1.3 조사기간 ····2
1.4 조사장비 ····2

제2편 지반조사 일반사항

제 1 장 토질·암반의 분류 및 기재방법

1.1 토질의 분류 및 기재방법 ····3
1.1.1 토질의 분류방법 ····3
1.1.2 토질의 기재방법 ····5
1.2 암반의 분류 및 기재방법 ····6
1.2.1 암반의 분류방법 ····6
1.2.2 암반의 기재방법 ····7
1.3 암반의 공학적분류 ····9
1.3.1 국내의 암반분류 방법 ····9
1.3.2 외국의 암반분류 방법 ····10
1.3.3 암반의 공학적분류 기준 ····11

제 2 장 현장조사 및 시험

2.1 지표지질조사 및 선구조분석 ····17
2.1.1 지표지질조사 ····17
2.1.2 인공위성영상 분석 ····23
2.1.3 음영기복도(DEM) 분석 ····24
2.2 물리탐사 ····25
2.2.1 탄성파탐사 ····25
2.2.2 전기비저항탐사 ····26
2.2.3 GPR탐사 ····27
2.3 현장조사 ····28
2.3.1 시추조사 ····28
2.3.2 시험굴조사 및 현장밀도시험 ····29
2.3.3 핸드오거보링 ····30
2.4 현장시험 ····31
2.4.1 표준관입시험 ····31
2.4.2 SPT효율시험 ····32
2.4.3 공내재하시험 ····33
2.4.4 공내전단시험 ····34
2.4.5 지하수위측정 ····35
2.4.6 투수시험 ····36
2.4.7 수압시험 ····37
2.4.8 지하수유향 · 유속시험 ····38
2.4.9 순간충격시험 ····39
2.4.10 양수시험 ····40
2.4.11 공내영상촬영 ····41
2.4.12 밀도검층 ····42
2.4.13 하향식탄성파탐사 ····43
2.4.14 S-PS검층 ····44
2.4.15 수압파쇄시험 ····45
2.4.16 피에조콘관입 및 간극수압소산시험 ····46
2.4.17 시추공 시험발파 ····47

제 3 장 실내시험

3.1 실내토질시험 ····48
3.1.1 물성시험 ····48
3.1.2 직접전단시험 ····49
3.1.3 다짐 및 CBR시험 ····50
3.1.4 일축압축강도시험 ····51
3.1.5 삼축압축시험 ····51
3.1.6 표준압밀시험 ····52
3.1.7 Rowe Cell압밀시험 ····52
3.2 실내암석시험 ····53
3.2.1 물성시험 ····53
3.2.2 절리면전단시험 ····54
3.2.3 삼축압축시험 ····55
3.2.4 인장시험 ····56

3.2.5 점하중시험 ·····57
3.2.6 공진주시험 ·····58
3.2.7 AE/DRA시험 ·····59
3.2.8 암유용성시험 ·····60

제3편 예비조사

제 1 장 인근자료 분석

1.1 기존 및 인근지역 자료 분석 ·····61
1.1.1 기존조사 자료 분석 ·····61
1.1.2 인근지역 조사 자료 분석 ·····62

제 2 장 예비조사

2.1 주변 환경 조사 및 분석 ·····63
2.1.1 지진이력 조사 ·····63
2.1.2 지형특성 분석 ·····64
2.1.3 광역지질특성 분석 ·····65
2.1.4 선구조 분석 ·····66
2.2 지표지질조사 ·····68
2.2.1 지질분포특성 분석 ·····68
2.2.2 절리특성 분석 ·····69

제4편 상세 및 보완조사

제 1 장 공구별 조사현황

1.1 공구별 현장조사 및 시험 현황 ·····71
1.1.1 현장조사 ·····71
1.1.2 현장시험 ·····71
1.2 공구별 물리탐사 현황 ·····74
1.3 공구별 실내시험 현황 ·····75
1.3.1 실내토질시험 ·····75
1.3.2 실내암석시험 ·····75
1.4 기타 시험현황 ·····76

제 2 장 구조물별 지층현황

2.1 시추조사 현황 ·····77
2.1.1 시추조사 위치 ·····77
2.1.2 터널구간 ·····80
2.1.3 교량구간 ·····82
2.1.3 깎기구간 ·····128
2.1.4 쌓기구간 ·····137
2.2 시험굴조사 및 핸드오거보링 ·····148
2.2.1 시험굴조사 ·····148
2.2.2 핸드오거보링 ·····149

제 3 장 물리탐사

3.1 탄성파탐사 ·····150
3.1.1 터널구간 ·····150
3.1.2 교량구간 ·····152
3.1.3 토공구간 ·····155
3.2 전기비저항탐사 ·····158
3.2.1 터널구간 ·····158

제 4 장 현장조사 및 시험

4.1 강도 및 변형특성 분석 ·····159
4.1.1 공내재하시험 ·····159
4.1.2 공내전단시험 ·····161
4.1.3 SPT효율시험 ·····162
4.2 수리 및 투수특성 분석 ·····163
4.2.1 지하수위 분포 ·····163
4.2.2 투수시험 ·····166
4.2.3 수압시험 ·····168
4.2.4 지하수 유향유속시험 ·····169
4.2.5 순간충격시험 ·····170
4.2.6 양수시험 ·····171
4.3 불연속면특성 분석 ·····172
4.3.1 공내영상촬영 ·····172
4.3.2 절리면전단시험 ·····176
4.4 동적특성 분석 ·····177
4.4.1 밀도검층 ·····177

4.4.2 하향식탄성파탐사 ·····179
4.4.3 S-PS검층 ·····180
4.4.4 공진주시험 ·····181
4.5 지중응력특성 분석 ·····182
4.5.1 수압파쇄시험 ·····182
4.5.2 AE/DRA 시험 ·····183
4.6 연약지반특성 분석 ·····184
4.6.1 피에조콘관입 및 간극수압소산시험 ·····184
4.6.2 일축압축강도시험 및 삼축압축강도시험 ·····185
4.6.3 압밀시험 ·····186
4.7 실내토질시험 ·····187
4.7.1 기본물성시험 ·····187
4.7.2 직접전단시험 ·····193
4.7.3 다짐 및 CBR시험 ·····194
4.8 실내암석시험 ·····195
4.8.1 암석기본물성 및 일축압축시험 ·····195
4.8.2 점하중강도시험 ·····198
4.8.3 삼축압축 및 인장강도시험 ·····200
4.8.4 이방성시험 ·····202
4.9 GPR탐사 ·····203
4.10 재료원조사 ·····205
4.10.1 재료원 위치 및 현황 ·····205
4.10.2 본선발생암 유용성 검토 ·····208

제5편 성과분석 및 설계지반정수

제 1 장 지질이상대 및 균질절리영역분석

1.1 지질이상대 분석 및 지질 Domain 구분 ·····209
1.1.1 지질이상대 분석 ·····209
1.1.2 지질 Domain 구분 ·····211
1.2 균질절리영역(HFD) 분석 ·····212
1.2.1 수행흐름 및 분석방법 ·····212
1.2.2 동질성 검토결과 ·····215
1.2.3 균질절리영역(HFD) 분석 결과 ·····221

제 2 장 구간별 성과분석

2.1 터널구간 성과분석 ·····223
2.1.1 터널구간 암반분류 ·····223
2.1.2 미시추구간 지질정보 분석 ·····226
2.1.3 지시크리깅 분석 ·····231
2.1.4 암반등급도 ·····235
2.1.5 터널굴착에 따른 수리모델링 분석 ·····236
2.1.6 터널구간 발파영향 분석 ·····240
2.2 교량구간 성과분석 ·····242
2.2.1 교량별 지층현황 ·····242
2.2.2 공학적 특성 분석 ·····246
2.3 토공구간 성과분석 ·····248
2.3.1 공학적 특성 분석 ·····248
2.3.2 쌓기재 특성분석 ·····250
2.3.3 노상지지력비 산정 ·····251
2.4 연약지반 성과분석 ·····252
2.4.1 연약지반 판정 기준 ·····252
2.4.2 연약지반 구역 구분 ·····253
2.4.3 물리적 특성 분석 ·····254
2.4.4 강도 특성 분석 ·····255
2.4.5 압밀 특성 분석 ·····256

제 3 장 설계지반정수 산정

3.1 개요 ·····258
3.1.1 기본방향 ·····258
3.1.2 분석구간 설정 ·····258
3.1.3 설계지반정수 산정방법 ·····259
3.2 연약지반 설계지반정수 산정 ·····260
3.2.1 산정흐름도 ·····260
3.2.2 연약지반 구역 구분 ·····261
3.2.3 물리적 특성 분석 ·····261
3.2.4 강도 특성 분석 ·····263
3.2.5 압밀 특성 분석 ·····264
3.3 토사층의 설계지반정수 산정 ·····265

3.3.1 문헌자료 검토 ·····265
3.3.2 인근지역 적용사례 분석 ·····267
3.3.3 지층별 대표 N값 산정 ·····268
3.3.4 경험식 분석 ·····271
3.3.5 현장 및 실내시험 결과 분석 ·····273
3.3.6 토사층 설계지반정수 산정 ·····275
3.3.7 쌓기재 설계지반정수 산정 ·····285
3.4 풍화암 설계지반정수 산정 ·····286
3.4.1 문헌 및 기존 설계자료 ·····286
3.4.2 풍화암 설계지반정수 산정 ·····287
3.5 기반암 설계지반정수 산정 ·····288
3.5.1 통계분석을 통한 신뢰성 확보 ·····288
3.5.2 단위중량 및 포아송비 ·····291
3.5.3 전단강도 및 변형계수 ·····293
3.6 불연속체 설계지반정수 산정 ·····308
3.6.1 개요 ·····308
3.6.2 시험결과 분석 ·····309
3.6.3 불연속체 설계지반정수 산정 ·····310
3.7 기타 설계지반정수 산정 ·····312
3.7.1 동적 지반특성 분석 ·····312
3.7.2 수리 지반특성 분석 ·····316
3.7.3 지중응력 및 측압계수 산정 ·····318
3.8 설계지반정수 요약 ·····319
3.8.1 연약지반 설계지반정수 ·····319
3.8.2 연속체 설계지반정수 ·····319
3.8.3 불연속체 설계지반정수 ·····322
3.8.4 기타 설계지반정수 ·····322

설 계 편 목 차

제6편 교량기초 설계

제1장 교량기초 설계개요

1.1 설계개요 ·····323
1.1.1 기본방향 ·····323
1.1.2 교량 현황 ·····324
1.2 교량기초 주요검토사항 ·····325
1.2.1 주요 설계 검토사항 ·····325
1.2.2 적용 프로그램 ·····325

제2장 기초형식 선정

2.1 기초형식 검토 ·····326
2.1.1 기초형식 선정 시 고려사항 ·····326
2.1.2 기초형식 선정기준 ·····326
2.1.3 기초형식 검토 ·····327
2.1.4 기초형식 선정 ·····328
2.2 교량기초 시공법 선정 ·····363
2.2.1 말뚝기초 시공성 검토 ·····363
2.2.2 소음·진동 환경 영향원 분석 ·····364
2.2.3 환경성 평가 분석 ·····367
2.2.4 강관말뚝 기초 시공법 검토 ·····368
2.2.5 현장타설 말뚝기초 시공법 검토 ·····370

제3장 교량기초 설계정수

3.1 교량구간 설계지반정수 산정 ·····371
3.1.1 설계지반정수 산정개요 ·····371
3.1.2 설계지반정수 산정결과 ·····371

제4장 교량기초 안정성 검토

4.1 직접기초의 안정성 검토 ·····372
4.1.1 직접기초 현황 ·····372
4.1.2 연직지지력에 대한 안정성 검토 ·····372
4.1.3 연직변위(침하량)에 대한 안정성 검토 ·····374
4.2 말뚝기초의 안정성 검토 ·····375
4.2.1 말뚝기초 현황 ·····375
4.2.2 강관말뚝기초 연직 지지력에 대한 안정성 검토 ·····378
4.2.3 현장타설 말뚝기초 연직지지력에 대한 안정성 검토 ·····382
4.2.4 연직변위(침하량)에 대한 안정성 검토 ·····384
4.2.5 수평변위에 대한 안정성 검토 ·····387
4.3 주요구간 안정성 검토 ·····398
4.3.1 기초의 부등침하 검토 ·····398
4.3.2 말뚝기초 군말뚝 영향 검토 ·····399
4.3.3 고성토부 교대 안정성 검토 ·····401
4.3.4 행신 1교 KTX 고속철도 및 경의선 통과구간 안정성 검토 ·····403
4.3.5 열차 진동영향에 의한 터파기 안정성 검토 ·407

제5장 교량기초 시공방안 검토

5.1 직접기초 시공방안 검토 ·····409
5.1.1 기초터파기 굴착공법 검토 ·····409
5.1.2 기초터파기시 안정성 검토 ·····410
5.2 현장타설 말뚝기초 시공방안 검토 ·····411
5.2.1 현장타설 말뚝기초 시공성 계획 ·····411
5.2.2 현장타설 말뚝기초 시공시 대책수립 ·····413

제6장 기초의 품질 및 유지관리 계획

6.1 말뚝기초 품질관리 계획 ·····414
6.1.1 말뚝머리결합 방안 ·····414
6.1.2 말뚝선단처리 계획 ·····414
6.1.3 말뚝 품질관리 방안 ·····415
6.2 현장타설 말뚝기초 품질관리 계획 ·····416
6.2.1 현장타설 말뚝 건전도 시험 ·····416
6.3 교량기초 재하시험 및 계측계획 ·····417
6.3.1 직접기초 재하시험 ·····417
6.3.2 말뚝기초 재하시험 ·····417
6.3.3 교량기초 계측계획 ·····418
6.3.4 철도횡단 교량 계측관리계획 ·····419

제7편 비탈면 설계

제1장 비탈면 설계개요

1.1 설계개요 ·····423
1.1.1 기본방향 ·····423
1.1.2 주요 검토사항 ·····423
1.2 비탈면 현황 분석 ·····424
1.2.1 쌓기비탈면 지반특성 및 현황 ·····424
1.2.2 깎기비탈면 지반특성 및 현황 ·····425
1.3 비탈면 설계기준 ·····426
1.3.1 비탈면 기울기 기준 ·····426
1.3.2 비탈면 소단 설치기준 ·····428
1.3.3 허용안전율 기준 ·····428
1.3.4 지하수위 적용기준 ·····431
1.3.5 설계 하중 ·····431
1.4 설계지반정수 산정 ·····432
1.4.1 연속체 설계지반정수 ·····432
1.4.2 불연속체 설계지반정수 ·····433

제2장 비탈면 안정성 검토

2.1 설계개요 ·····434
2.1.1 토사 및 풍화암 비탈면 안정해석 ·····434
2.1.2 암반 비탈면 안정해석 ·····436
2.2 쌓기 비탈면 안정성 검토 ·····436
2.2.1 쌓기 비탈면 안정성 검토 ·····439
2.3 깎기 비탈면 안정성 검토 ·····443
2.3.1 암반 비탈면 안정성 검토 ·····443
2.3.2 터널 갱구부 암반 비탈면 안정성 검토 ·····446
2.3.3 토사 비탈면 안정성 검토 ·····448
2.3.4 터널 갱구부 토사 비탈면 안정성 검토 ·····454
2.4 비탈면 안정화 대책 검토 ·····457
2.4.1 비탈면 보강공법 검토 ·····457
2.4.2 비탈면 대책방안 안정성 검토 ·····459
2.5 낙석에 대한 안정성 검토 ·····463
2.5.1 암반비탈면 안정화 및 낙석방지 공법 ·····463
2.5.2 낙석방지공 설계기준 ·····463
2.5.3 낙석 거동해석 ·····464
2.5.4 낙석에 대한 안정성 검토 ·····466

제3장 비탈면 보호공법 선정

3.1 설계개요 ·····467
3.1.1 비탈면 보호공법 검토 ·····467

제4장 비탈면 시공 및 유지관리

4.1 설계개요 ·····470
4.1.1 비탈면 시공시 주요 고려 사항 ·····470
4.1.2 비탈면 계측관리 ·····471
4.1.3 시공 중 비탈면 유지관리 ·····474
4.1.4 시공 후 비탈면 유지관리 ·····475

제8편 연약지반 설계

제1장 연약지반 설계개요

1.1 설계개요 ·····477
1.1.1 기본방향 ·····477
1.1.2 연약지반 주요 검토사항 ·····477
1.2 연약지반 판정 ·····478
1.2.1 연약지반 판정기준 ·····478

제2장 연약지반 현황 및 성과분석

2.1 연약지반 현황 분석 ·····479
2.1.1 연약지반 현황 ·····479
2.1.2 연약지반 Zoning 선정 ·····479
2.2 연약지반 공학적 특성 분석 ·····480
2.2.1 물리적 특성 분석 ·····480
2.2.2 역학적 특성 분석 ·····480
2.2.3 설계지반정수 산정 ·····481

제3장 연약지반 안정성 검토

3.1 연약지반 설계기준 ·····482
3.1.1 쌓기속도 및 설계하중 ·····482
3.1.2 허용 잔류침하량 ·····482
3.1.3 비탈면 최소안전율 ·····482
3.1.4 설계기준 적용 ·····482
3.2 연약지반처리 필요유무 검토 ·····483
3.2.1 연약지반 구간별 지층현황 검토 ·····483
3.2.2 무처리시 연약지반 압밀소요기간 검토 ·····484
3.3 연약지반 개량공법 선정 ·····485
3.3.1 연약지반 개량공법 검토 ·····485
3.3.2 연약지반 활동방지 대책공법 검토 ·····485
3.3.3 수평배수공법 검토 ·····486
3.3.4 연약지반 활동파괴에 대한안정성 검토 ·····486
3.3.5 연약지반 한계 쌓기 검토 ·····487
3.3.6 연약지반 단계 쌓기 검토 ·····489
3.3.7 구간별 연약지반 처리공법 현황 ·····490
3.3.8 구간별 연약지반 처리공법 검토결과 ·····491
3.4 연약지반내 구조물 안정성 검토 ·····492
3.4.1 연약지반 교대 측방유동 검토 ·····492
3.4.2 연약지반 측방유동 대책공법 검토 ·····495
3.4.3 연약지반 측방유동 안정성 검토결과 ·····497
3.4.4 굴착치환시 장비의 Trafficability 검토 ·····498
3.4.5 연약지반상 횡단 구조물 설치방안 ·····498

제4장 연약지반 계측관리 계획

4.1 연약지반 계측관리 계획 ·····499
4.1.1 연약지반 계측관리 ·····499
4.1.2 연약지반 계측계획 ·····499
4.1.3 연약지반 침하안정 관리 ·····500

제9편 토공 설계

제1장 토공 설계개요

1.1 설계개요 ·····503
1.1.1 기본방향 ·····503
1.1.2 토공현황 ·····503

제2장 토공계획

2.1 쌓기구간 토공계획 ·····504
2.1.1 쌓기재료의 특성평가 ·····504
2.1.2 쌓기재료의 토량변화율 ·····505
2.1.3 설계 CBR 검토 ·····506
2.1.4 쌓기재료의 품질 평가 ·····507
2.1.5 쌓기비탈면의 다짐시공 관리 ·····508
2.1.6 쌓기구간 시공관리 ·····508
2.1.7 암버력 쌓기 ·····509
2.2 깎기구간 토공계획 ·····509
2.2.1 굴착 난이도 평가방법 ·····510
2.2.2 깎기구간 굴착방법 선정 ·····513
2.2.3 시공 중 암반분류 기준 검토 ·····514
2.3 깎기·쌓기 경계부 안정성 검토 ·····514
2.3.1 깎기·쌓기 경계부의 부등침하 분석 ·····514
2.3.2 부등침하 대책 ·····515

제3장 발파 설계

3.1 발파 설계 ·····516
3.1.1 발파설계 기본방향 ·····516
3.1.2 시추공 시험발파 ·····516
3.1.3 시험발파 현황 ·····517
3.1.4 시험발파 결과분석 ·····518
3.1.5 발파진동 추정식 비교분석 ·····522
3.2 보안물건별 발파진동 및 발파소음 영향검토 ·523
3.2.1 발파진동 및 소음 허용 기준치 선정 ·····523
3.2.2 발파진동 추정식 및 소음 예측식 선정 ·····524
3.2.3 보안물건별 발파진동 영향권 검토 ·····525

제10편 기타구조물 설계

제1장 보강토옹벽 구조물 설계

1.1 설계개요 ·····527
1.1.1 보강토옹벽 형식 검토 ·····527
1.1.2 보강토옹벽 설계기준 ·····527
1.2 보강토옹벽 안정성 검토 ·····528
1.2.1 보강토옹벽 안정성 검토 ·····528
1.2.2 보강토옹벽 안정성 검토결과 ·····530
1.2.3 보강토옹벽 뒷채움재 검토 ·····533

제2장 횡단구조물 설계

2.1 설계개요 ·····534
2.1.1 횡단구조물 현황 ·····534
2.1.2 횡단구조물 형식 검토 ·····535
2.2 횡단구조물 안정성 검토 ·····535
2.2.1 횡단구조물 안정성 검토 ·····535

제11편 내진 설계

제1장 지반구조물 내진 설계

1.1 설계개요 ·····539
1.1.1 기본방향 ·····539
1.1.2 우리나라의 지진발생 현황 ·····539
1.1.3 지반조건 및 내진설계 검토구간 ·····539
1.2 내진설계 검토기준 ·····540
1.2.1 내진설계 검토 방법 및 기준 ·····540
1.2.2 동적 설계지반정수 산정 ·····542
1.3 지진응답해석 ·····544
1.3.1 지진응답해석 방법 ·····544
1.3.2 입력 지진파 ·····544
1.4 액상화 검토 ·····548
1.4.1 액상화 발생현상 ·····548
1.4.2 액상화 발생 가능성 평가 ·····548
1.4.3 간편 예측법을 통한 액상화 평가 ·····550

제2장 교량기초 내진설계

2.1 설계개요 ·····552
2.1.1 교량 기초의 내진설계 ·····552

제3장 비탈면 내진설계

3.1 설계개요 ·····554
3.1.1 내진해석 방법 ·····554
3.1.2 비탈면 내진 안정성 (등가정적해석) ·····555

제1편 조사계획

제1장 조사개요

제 1 장 조사개요

1.1 조사목적

사 업 명	• 서울~문산 고속도로 민간투자사업 실시설계
사 업 목 적	• 사업구간에 대한 최적설계와 시공에 필요한 지반공학적 정보 제공 • 터널설계 및 지보패턴 선정을 위한 암반등급 산정 • 교량 기초설계와 비탈면 안정해석을 위한 지반자료 제공 • 조사된 자료를 종합 · 분석하여 경제적이고 효율적인 설계 및 시공을 위한 자료 제공

조사계획 수립

- 기존자료 분석 및 현장 사전조사
- 광역적인 지반 및 지질구조특성 분석
- 중점고려사항 선정으로 조사방향 설정

예비 및 상세조사

- 구간별, 구조물별 조사 항목 및 수량 선정
- 단계별 조사를 통한 최적의 조사결과 도출
- 지반특성치 산정을 위한 시험 및 탐사 수행

최적의 조사 및 분석결과 제공

조사성과 종합분석

- 지질이상대 및 지층 급변구간 정보 제공
- 연약지반 및 기초지지층 분포 특성 파악
- 지반특성에 따른 공학적 특성 분석

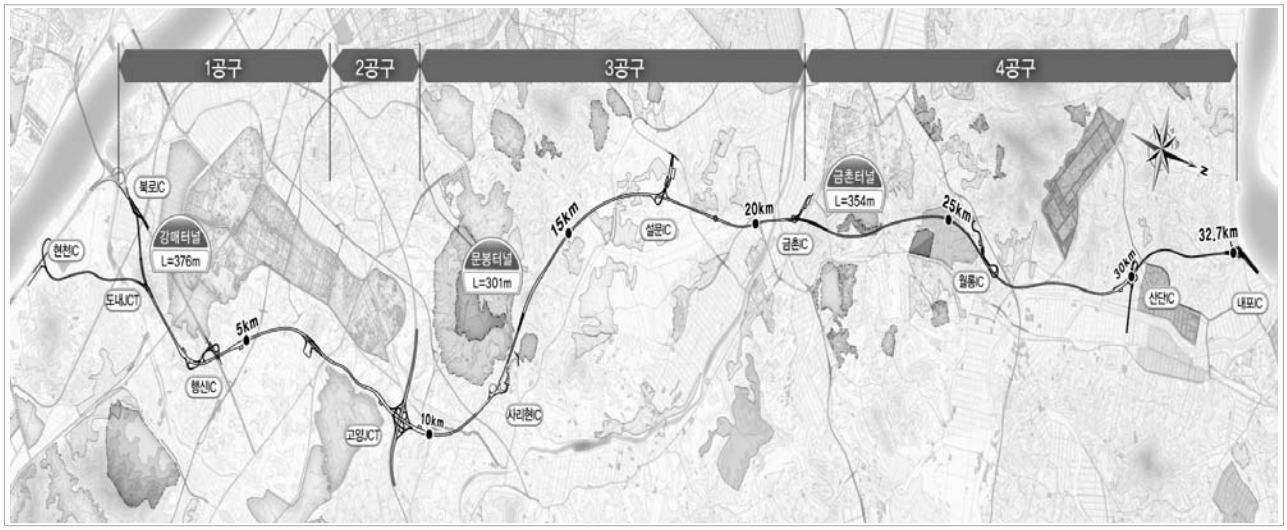
설계반영

- 합리적 설계를 위한 최적의 지반정보 제공
- 지반특성을 고려한 최적공법 선정 및 설계
- 최적설계 및 각종 안전성 검토자료 제공

1.2 조사위치

사업위치	• 경기도 고양시 덕양구 강매동(덕양구 덕은동) ~ 경기도 파주시 문산읍 내포리

구 분	구 간(STA.)	연 장	비 고
1공구	0+000~7+260	• 본선 7.3km, 지선 2.0km	• 지선, 현천IC, 북로JCT, 도내JCT
2공구	7+260~9+980	• 본선 2.7km	• 고양JCT
3공구	9+980~21+220	• 본선 11.2km	• 사리현IC, 설문IC, 금촌IC
4공구	21+220~32+760.54	• 본선 11.6km	• 월롱IC, 산단IC, 내포IC
총 연장	–	34.76km	–



1.3 조사기간

구 분		1차	2차	3차	4차
예 비 조 사		2012. 03 ~ 04	2012. 08 ~ 09	–	–
현 장 조 사 및 시 험	물리탐사	2012. 05	2012.10 ~ 11	–	–
	시추조사	2012. 03 ~ 06	2012. 10 ~ 12	2013. 02 ~ 05	2014. 06 ~ 08
	현장시험	2012. 03 ~ 07	2012. 10 ~ 12	2013. 02 ~ 04	–
	실내시험	2012. 06 ~ 07	2012. 11 ~ 12	2013. 04 ~ 05	–
성과분석 및 보고서 작성		2012. 07 ~2014. 09			

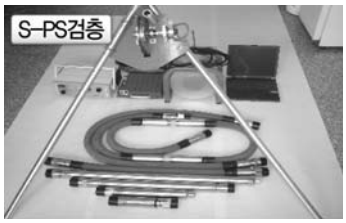
1.4 조사장비

조 사 항 목		조 사 장 비
지표지질 조 사	지표지질조사	• Clinocompass, Profile gauge, Schmidt hammer
	선구조분석	• Landsat-5 TM & DEM • 항공사진
물리탐사	전기비저항탐사	• SAS4000(ABEM, 스웨덴)
	탄성파탐사	• TERRALOCMK6(ABEM, 스웨덴)
현 장 조 사 및 시 험	시추조사	• 유압식 시추기 및 부속장비 1식
	SPT효율시험	• Foundation Pile Diagnostic System-5
	현장투수시험	• 줄자, Stop Watch
	수압시험	• Single Packer, 유량계, Stop Watch, 부대장비
	공내재하시험	• Goodman Jack/Elastometer-2/LLT
	공내전단시험	• BST(Handy Geotechnical Ins. Co, 미국)
	공내영상촬영	• Geologger-3 OBI System(OYO, 일본)
	하향식탄성파탐사	• TERRALOCMK6(ABEM, 스웨덴)
	S-PS검층	• Suspenson PS Logger 3660A(OYO, 일본)
	밀도검층	• Micro Logger (Robertson, 영국)
실내시험	토질시험	• 시험기 1식
	암석시험	• 시험기 1식

물리탐사

현장시험

공내검층



실내시험

제2편 지반조사 일반사항

제1장 토질 · 암반의 분류 및 기재방법

제2장 현장조사 및 시험

제3장 실내시험

제 1 장 토질·암반의 분류 및 기재방법

1.1 토질의 분류 및 기재방법

• 흙의 공학적 특성을 파악하여 토질설계의 기초 자료로 활용

○ 개 요

흙의분류	• 흙의 공학적 분류는 1차 분류 수행 후, 최종적으로 통일분류법(USCS)을 기준으로 분류
기재방법	• 시추주상도의 지층구분은 통일된 기호를 사용하고 N값은 사질토의 상대밀도 및 점성토의 연경도를 추정하는데 사용
기술내용	• 지층상태는 매립층, 전답층, 붕적층, 충적층, 풍화토, 풍화암으로 지층 구분 • 함수상태는 건조(Dry), 습윤(Moist), 젖음(Wet), 포화상태(Saturated)로 구분 • 색조는 흑, 갈, 홍, 적, 황색등에 담(연한)과 암(진한)의 접두어를 사용

1.1.1 토질의 분류방법

○ 육안관찰에 의한 분류방법(구조물기초 설계기준, 2008)

구 분	토립자의 육안적 판별과 일반적인 상태	손으로 쥐었다 놓음		습윤상태에서 손가락으로 끈모양으로 굴릴때
		건 조 상 태	습 윤 상 태	
모 래 (Sand)	• 개개입자의 크기가 판별될 수 있는 입상을 보임 • 건조 상태에서 흘러내림	• 덩어리로 되지 않고 흐트러짐	• 덩어리지나 가볍게 건드리면 흐트러짐	• 끈모양으로 꼬아지지 않음
실트섞인 모래 (Silty Sand)	• 입상이나 실트, 점토가 섞여서 약간 점성 있음 • 모래질의 특성 우세함	• 덩어리지나 가볍게 건드리면 흐트러짐	• 덩어리지며 조심스럽게 다루면 부서지지 않음	• 끈모양으로 꼬아지지 않음
모래섞인 실트 (Sandy Silt)	• 적당량 세립사와 소량의 점토를 함유하고 실트 입자 50% 이상 • 건조되면 덩어리가 쉽게 부서져서 가루가 됨	• 덩어리지며 만져도 부서지지 않음 • 부서지면 밀가루와 같은 감촉	• 덩어리지며 자유롭게 다루어도 부서지지 않음 • 물을 부으면 서로 엉킴	• 끈모양으로 꼬아지지 않으나 작게 끊어지고 부드럽고 약간의 점성 있음
실 트 (Silt)	• 세립사와 점토 함량이 극소량이고 실트입자 함량이 80% 이상 • 건조되면 덩어리지나 쉽게 부서져서 밀가루 감촉의 가루로 됨	• 덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않음	• 덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않으며 물에 젖으면 엉킴	• 완전히 꼬아지지는 않으나 작게 끊어지는 상태로 꼬아지고 부드러움
점 토 (Clay)	• 건조되면 아주 딱딱한 덩어리의 상태로 됨 • 건조 상태에서 잘 부서지지 않음	• 덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않음	• 덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않으며 찰흙 상태로 됨	• 길고 얇게 꼬아지며, 점성 큼

통일분류법

<table>
<tr><th colspan="3">주 요 구 분</th><th>기호</th><th>대표적인 흙</th><th colspan="3">분 류 기 준</th></tr>
<tr><td rowspan="6">조립토
(Coarse-Grained Soil)

#200체 (0.075mm)에 50%이상 남음</td><td rowspan="3">자갈

#4체 (4mm)에 50% 이상 남음</td><td rowspan="2">세립분이 약간 또는 거의 없는 자갈</td><td>GW</td><td>• 입도분포가 좋은 자갈 또는 자갈과 모래의 혼합토, 세립분이 약간 또는 없음</td><td rowspan="6">세립분의 함유율에 의한 분류 :

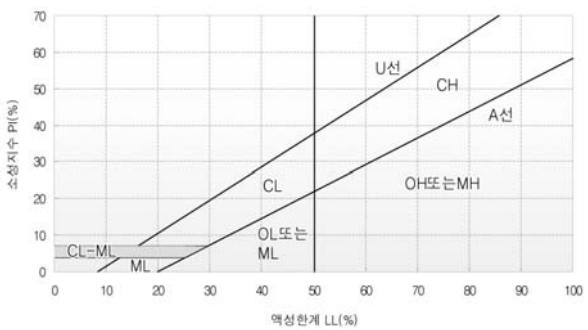
200번체 통과율이 5%이하인 경우 GW, GP, SW, SP

200번체 통과율이 12%이상인 경우 GM, GC, SM, SC

200번체 통과율이 5~12%인 경우 2중 문자로 표시</td><td colspan="2">Cu ＞ 4 (Cu=D_{60}/D_{10})
1＜Cg＜3 (Cg=$(D_{30})^2/(D_{10}\times D_{60})$)</td></tr>
<tr><td>GP</td><td>• 입도분포가 나쁜 자갈 또는 자갈과 모래의 혼합토, 세립분이 약간 또는 없음</td><td colspan="2">GW의 조건이 만족되지 않을 때</td></tr>
<tr><td rowspan="2">세립분을 함유한 자갈</td><td>GM</td><td>• 실트질의 자갈, 자갈·모래·실트의 혼합토</td><td>Atterberg 한계가 A선 밑 또는 소성지수가 4이하</td><td rowspan="2">소성지수가 4~7이면서 Atterberg 한계가 A선 위에 존재 할 때는 2중 문자로 표시</td></tr>
<tr><td>GC</td><td>• 점토질의 자갈, 자갈·모래
• 점토의 혼합토</td><td>Atterberg 한계가 A선 위 또는 소성지수가 7이상</td></tr>
<tr><td rowspan="3">모 래
(Sand)

#4체 (4mm)에 50% 이상 통과</td><td rowspan="2">세립분이 약간 또는 거의 없는 모래</td><td>SW</td><td>• 입도분포가 좋은 모래 또는 자갈질의 모래, 세립분은 약간 또는 없음</td><td colspan="2">Cu ＞ 6
1＜ Cg ＜3</td></tr>
<tr><td>SP</td><td>• 입도분포가 불량한 모래 또는 자갈질 모래</td><td colspan="2">SW의 조건이 만족되지 않을 때</td></tr>
<tr><td>세립분을 함유한 모래</td><td>SM</td><td>• 실트질의 모래, 모래와 실트의 혼합토</td><td>Atterberg 한계가 A선 밑에 있거나 소성지수가 4 이하</td><td rowspan="2">소성지수가 4~7이면서 Atterberg 한계가 A선 위에 존재 할 때는 2중 문자로 표시</td></tr>
<tr><td>SC</td><td>• 점토질의 모래, 모래와 점토의 혼합토</td><td>Atterberg 한계가 A선 밑에 있거나 소성지수가 7 이상</td></tr>
<tr><td rowspan="4">세립토
(Fine-Grained Soil)

#200체 (0.075mm) 50%이상 통과</td><td colspan="2" rowspan="3">액성한계 50% 이하인 실트나 점토</td><td>ML</td><td>• 무기질의 실트, 매우 가는 모래, 암분, 소성이 작은 실트질의 세사나 점토질의 세립사</td><td colspan="3" rowspan="3">• 소성도(Plasticity Chart)는 세립토에 함유된 세립분과 세립토를 분류하기 위해 사용

• 소성도의 빗금친 곳은 2중 표기</td></tr>
<tr><td>CL</td><td>• 소성이 중간값 이하인 유기질 점토, 자갈질 점토, 모래질 점토, 실트질 점토</td></tr>
<tr><td>OL</td><td>• 소성이 작은 유기질 실트 및 점토</td></tr>
<tr><td colspan="3" rowspan="3">액성한계 50% 이상인 실트나 점토</td><td>MH</td><td>• 무기질 실트, 운모질 또는 규소의 세사 또는 실트질 흙, 탄성이 큰 실트</td><td colspan="3" rowspan="3">세립토의 분류를 위한 소성도
 
</td></tr>
<tr><td>CH</td><td>• 소성이 큰 무기질 점토, 탄성이 큰 점토</td></tr>
<tr><td>OH</td><td>• 탄성이 중간값 이상인 유기질 점토</td></tr>
<tr><td colspan="3">고유기성 흙</td><td>Pt</td><td>• 이탄 및 그 밖의 유기질을 많이 함유한 흙</td></tr>
</table>

1.1.2 토질의 기재방법

기본방향	• 흙의 상태에 대한 기재내용은 토질분류, 연경도, 함수상태, 색깔 등이며 다음과 같은 방법에 의하여 그 결과를 시추 주상도에 기록함

○ 흙의 통일분류법(USCS)에 사용되는 기호

토질의 종류		제1문자
조립토	자갈 (Gravel)	G
	모래 (Sand)	S
세립토	실트 (Silt)	M
	점토 (Clay)	C
	유기질의 실트 및 점토	O
유기질토	이탄	Pt

토질의 속성		제2문자
조립토	입도 분포 양호, 세립분 거의 없음	W
	입도 분포 불량, 세립분 거의 없음	P
	세립분 12%이상 함유, A선 아래, 소성지수 4이하	M
	세립분 12%이상 함유, A선 위, 소성지수 7이상	C
세립토	압축성 낮음(Low Compressibility) WL≤50	L
	압축성 높음(High Compressibility) WL≥50	H

○ 상대밀도 및 연경도

조립토 (모래, 자갈)	
관입저항값(N값)	상 대 밀 도
4 이하	매우 느슨 (Very Loose)
4~10	느 슨 (Loose)
10~30	보통 조밀 (Medium Dense)
30~50	조 밀 (Dense)
50 이상	매우 조밀 (Very Dense)

세립토 (점토, 실트)	
관입저항값(N값)	연 경 도
2 이하	매우 연약 (Very Soft)
2~4	연 약 (Soft)
4~8	보통 견고 (Medium Stiff)
8~15	견 고 (Stiff)
15~30	매우 견고 (Very Stiff)
30 이상	고 결 (Hard)

○ 시료의 함수상태

함 수 비 (%)	함 수 상 태
0~10	건조 (Dry)
10~30	습윤 (Moist)

함 수 비 (%)	함 수 상 태
30~70	젖음 (Wet)
70 이상	포화 (Saturated)

○ 시료의 색조

색	1	담				암				
	2	분홍	홍	황	갈	감람	녹	회		
	3	분홍	적	황	갈	감람	녹	청	백	회	흑

주) 시료의 색조는 회색, 갈색, 황색 등의 기본색에 필요에 따라 연한(담), 짙은(암) 등과 같은 접두어를 사용하여 기재

1.2 암반의 분류 및 기재방법

- 일반적으로 연암, 보통암, 경암으로 구분
- 암석의 풍화상태, 불연속면 절리나 파쇄대의 간격, 강도 및 암질 표기 (국제암반역학회, ISRM의 분류방법에 의거 분류)
- 조사과정에서 회수된 시추코어를 암석시험 및 육안으로 관찰하여 American Institute of Professional Geologist에서 제시한 "공학적 목적을 위한 암석시료의 채취방법 및 시추주상도 작성방법" 에 의거 시추주상도 작성
- 색, 불연속면(Discontinuity)의 간격과 상태, 풍화상태, 강도, 암석명 등
- 색은 암석의 기본색(황색, 갈색, 회색, 청색 및 녹색)에 담(연함), 암(진한)의 명암 및 혼색의 서술용어를 사용
- 강도, 풍화정도, 파쇄정도는 암석분류 기준에 의거하여 분류

1.2.1 암반의 분류방법

기본방향	• 지반조사시 암반의 분류는 TCR, RQD, 시추 굴진상태 및 시추 굴진속도, 풍화상태를 관찰하여 시추주상도에 기재하고, 한국도로공사의 분류기준을 참고로 하여 풍화암, 연암, 보통암, 경암으로 구분 • 토공의 작업성(리퍼빌리티)에 의거한 분류는 토사, 리핑암, 발파암으로 구분

○ 토공작업 리퍼빌리티에 따른 암반의 분류(도로설계편람, 2012)

구 분		토 공 작 업		
		토 사 (도져)	리 핑 암	발 파 암
표준관입시험 (N값)		50/10 미만	50/10 이상	-
불연속면의 발달 빈도	BX 크기	-	TCR=5% 이하이고 RQD=0% 정도	TCR=5~10% 이상이고 RQD=0~5% 이상
	NX 크기	-	TCR=20% 이하이고 RQD=0% 정도	TCR=20% 이상이고 RQD=10% 이상
탄성파속도	A그룹 암종	700m/sec 미만	700~1,200m/sec 미만	1,200m/sec 이상
	B그룹 암종	1,000m/sec 미만	1,000~1,800m/sec 미만	1,800m/sec 이상

주) · A그룹 암종 : 편마암, 사질편암, 석회암, 사암, 응회암, 역암, 화강암, 안산암 · B그룹 암종: 흑색편암, 녹색편암

○ 한국도로공사 분류기준(2005)

표준 단면	암 질	특 징	RMR	Q 값	RQD (%)	탄성파 속 도 (km/sec)	일 축 압축강도 (MPa)	코 어 채취율 (%)
Ⅰ	경 암	• 안정성 있고 풍화, 변질 및 물리적, 화학적 영향을 거의 받지 않은 신선한 대괴상의 암질	80~100	40 이상	70 이상	4.5 이상	1,000 이상	90 이상
Ⅱ	보통암	• 균열 및 편리가 다소 발달되어 있으며 일반적으로 절리가 존재하는 층상의 암질	70~80	10~40	40~70	4.0~4.5	800~1,000	70~90
Ⅲ	연 암	• 층리, 절리 및 편리 등이 매우 발달된 상태이며 파쇄대가 존재하는 소괴상의 암질	50~70	4~10	20~40	3.5~4.0	600~800	40~70
Ⅳ	풍화암	• 물리적, 화학적 영향으로 파쇄대가 매우 발달되고 절리가 불규칙적으로 발달된 파쇄상의 풍화된 암질	25~50	1~4	20~40	3.5 이하	250~600	40 이하
Ⅴ	풍화암 (±)	• 풍화작용 심하고 일부가 토괴화된 상태이며 매우 쉽게 부서지고 뜯어낼 수 있는 암질	25 이하	1 이하	20% 이하 N>100:Ⅳ N<100:Ⅴ	3.0 이하	250 이하	–

1.2.2 암반의 기재방법

○ 색깔(Color)

• 암반의 기본색(황색, 갈색, 회색, 청색 또는 녹색)에 담(연한)과 암(진한)의 명암 및 혼색에 대한 서술용어를 사용

○ 불연속면의 간격(Discontinuity Spacing)

기 재 방 법	기 호	Joint 간격	균 열 상 태
불연속면 간격의 최대값, 최소값, 평균값을 주상도에 수록	F5	5cm 이하	• 매우 심한균열 (Highly Fractured)
	F4	5~10cm	• 심 한 균 열 (Fractured)
	F3	10~20cm	• 보 통 균 열 (Moderately Fractured)
	F2	20~100cm	• 약 간 균 열 (Slightly Fractured)
	F1	100 cm이상	• 괴 상 (Massive)

강도(Strength)

기 호	용 어	강 도 상 태
S5	매 우 약 함 (Very Weak)	• 손가락 또는 엄지손톱의 압력으로 눌러 으스러지는 정도
S4	약 함 (Weak)	• 해머로 눌러 으스러지는 정도
S3	보 통 강 함 (Moderately Strong)	• 1회의 약한 해머 타격으로 쉽게 깨지며 모서리가 으스러지는 정도
S2	강 함 (Strong)	• 1~2회의 강한 해머 타격으로 깨지거나 모서리가 각이 지는 정도
S1	매 우 강 함 (Very Strong)	• 여러번의 강한 해머 타격으로 패각상의 조각으로 깨지며 각이 날카로운 정도

풍화상태(Weathered Condition)

기 호	용 어	풍 화 상 태
D5	완 전 풍 화 (Completely Weathered)	• 암석전체가 완전풍화를 받아 흙으로 변화되었으나 모암의 조직과 구조를 지니며 간혹 풍화를 받지 않은 암편을 함유한 상태
D4	심 한 풍 화 (Highly Weathered)	• 암석내부까지 풍화가 진행 중이며 점토물질이 협재되어 있어 부분적으로 쉽게 부술 수 있는 상태
D3	보 통 풍 화 (Moderately Weathered)	• 전 암석 표면에서부터 풍화가 진행 중이며 색조는 변하였으나 손으로 부술 수 없는 상태
D2	약 간 풍 화 (Slightly Weathered)	• 기반암내 발달된 불연속면을 따라 미약한 풍화작용이 시작되고 있으나 암석 자체에는 아무런 풍화작용이 일어나지 않는 상태
D1	신 선 (Fresh)	• 풍화작용의 흔적이 없는 상태

절리면거칠기(Joint Roughness)

구 분	계단형(Stepped)	파동형(Undurating)	평면형(Planar)
거 칠 음 (Rough)			
완 만 (Smooth)			
경 면 (Slikensided)			

1.3 암반의 공학적분류

- 암반분류는 터널이나 비탈면 설계시 지반에 대한 평가를 수행함과 동시에 굴착과 보강 설계에 대한 기준을 제시하는데 이용
- 설계와 수치해석의 입력 물성값 결정을 위한 정량적인 자료와 Guideline 제공

1.3.1 국내의 암반분류 방법

기본방향	• 각 기관별로 설계에 이용된 암반분류 기준들이 아직까지 일관성과 통일성이 없는 기준들이 제시되고 있으며, 시공시의 막장을 관찰하여 결정한 암반등급과 보강패턴과의 관계를 통계분석으로 도출된 RMR과 Q-System을 이용하여 암반분류 수행

○ 국내의 암반분류 기준

구 분	분류목적	분류요소	주 요 내 용	비 고
도로설계편람	토 공	• 탄성파속도 (자연암석) • 내압강도 • 암석종류	• 암석의 깎기 난이도를 기준으로 분류 • 일축압축강도에 의한 암종별 특성치 범위 규정	국토교통부 (2012)
용역협회기준	시 추 암석분류	• 탄성파속도 • 일축압축강도	• 시추주상도상의 암석종류 기재시 탄성파속도 및 일축압축강도에 의한 분류	한국엔지니어링 진흥협회 (2004)
서 울 시	토목공사	• TCR, RQD • 일축압축강도 • 절리면 간격	• TCR, RQD에 의한 암반분류 • 암종별 일축압축강도 및 절리면 간격 등을 고려한 분류내용 기재	서울시 지반조사편람 (2006)
서울 지하철	터 널	• TCR, RQD • 일축압축강도 • 절리면 간격 • RMR과 연계	• 서울지하철 분류기준에 의하여 TCR, RQD에 의한 암반분류 • 암종별 일축압축강도 및 절리면 간격 등을 고려한 분류내용 기재	서울지하철 9호선 설계기준(안) (1997)
고 속 철 도	터 널	• 일축압축강도 • 탄성파속도 • 변형계수 • 지반강도비 • TCR, RQD • 현장 육안관찰	• RQD 및 일축압축강도 등 개별요소에 의해 암반등급 결정 가능성 제시 • 변형계수 및 지반강도의 범위 제시	고속철도 전문시방서 지반분류 (2006)
한국도로공사	터 널	• RQD, TCR • RMR • Q-System • 탄성파속도 • 일축압축강도	• 기존 암반분류 기준으로 적용, RQD 및 일축압축강도 등 개별요소에 의해 암반등급결정 범위 제시	한국도로공사 암반분류기준 (2005)

1.3.2 외국의 암반분류 방법

기본방향	• 1940년대 중반부터 암반분류가 도입된 이래 터널, 댐, 비탈면 등을 대상으로 하는 각종 공사에서 암반조사, 시험, 계측 기술의 진보와 더불어 수치해석 기법이 발달됨에 따라 여러 암반분류 시스템을 도입하여 수행

○ 외국의 암반분류법

분 류 방 법	제 안 자	평 가 요 소																
		암석종류	풍화변질정도	파쇄상황	층리편리상태	절리간격	절리상태	절리·균열의방향	시추코어	암석강도	변형특성	팽창·압출의정도	햄머타격	탄성파속도	지반강도비·지압	RQD	코아채취율	용수의정도	지반의안정성
암반 사하중법	Terzaghi,1946 Rose, 1982			○		○				○		○				◎			
Rabcewicz 암 반 분 류	Rabcewicz & Pacher,1957			○						○		○							
Möller 암반분류	Möller,1963		○			○													
R Q D	Deere,1967															◎			
R S R	Wickham,1974	○				○	○	○		○									
R M R	Bieniawski,1974					○	○	○		◎						◎		○	
Q-System	Barton,1974		○			○	○								◎	◎		○	
스위스 지반분류	SIA 199호,1975																		○
오스트리아지하공사 표준시방서	ÖNORMB2203, 1975									○		○							
프랑스 터널협회 암 반 분 류	AFTES,1975	○								○		○							
Rock Mass Index (RMI)	PalmstrÖm,1995					○	○	○		◎	◎	○			◎	△			
일본 국유철도 기준		○												◎			◎		
일본 도로협회 기준		○	○		○	◎	○		◎				○	◎			◎		
일본 도로공단 기준		○	○		○	◎			◎				○	◎	◎		◎		
일본 농림산성 기준				○		○				◎				◎	◎				
일본수자원개발공단 기준		○	○			◎	○			◎			○	◎					

주) ○ : 정성적 평가, ◎ : 정량적 평가, △: 간접 이용

1.3.3 암반의 공학적분류 기준

기본방향	• 사업구간의 암반분류의 적용은 RQD, RMR, Q-system을 이용한 암반분류 수행

RQD에 의한 암반분류

RQD에 의한 암반분류법 개요

개 요	• 1967년 Deere에 의해 제안 • 코어회수율(TCR : Total Core Recovery)을 발전시킨 개념인 RQD(Rock Quality Designation)는 절리의 발달간격을 나타내는 지수로서 암반 특성을 파악하는 중요한 요소 • 사업구간에서 실시한 BIPS와 BHTV자료에서의 RQD를 산정하여 시추코어에 대한 RQD산정의 적정성 검증
평 가	• $RQD(\%) = \frac{\text{10cm이상 Core 길이의 합}}{\text{총 시추길이}} \times 100(\%)$
특 징	• 신속하게 불연속면의 간격을 정량화, 주관적인 차이가 적음
	• 절리의 방향성, 밀착성, 충전물, 지반응력 등을 고려할 수 없음

RQD에 의한 암반분류법

RQD 범위	100~81	80~61	60~41	40~21	20이하
암반등급	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
암질상태	매우 양호	양호	보통	불량	매우 불량

RMR에 의한 암반분류

RMR에 의한 암반분류법 개요

제 안	• Bieniawski(1976)제안
평 가	• 현장시험이나 시추자료에서 구한 6가지 변수에 점수를 주어 암반을 평가 ① 일축압축강도(15점) ② RQD(20점) ③ 불연속면의 간격(20점) ④ 절리상태(30점) ⑤ 지하수상태(15점) ⑥ 불연속면의 방향
특 징	• 안정성 평가를 위한 공학적 기초정보의 취득이 용이 • 절리군이 작을 때 보수적인 평가 • 많은 적용 사례가 있으며, 비교 검정 및 항목 평가가 비교적 용이 • 터널의 진행방향과 절리방향성을 고려 • 보강방법을 개략적으로 제시 • 지반응력을 고려하지 못함 • 분류요소(6가지)간의 점수가 뚜렷한 경계가 없음

암반분류 요소와 평점

평 가 항 목			평 점						
1	무결암 (Intact Rock) 강도(MPa)	점하중강도	>10	4~10	2~4	1~2	일축압축강도적용		
		일축압축강도	>250	100~250	50~100	25~50	5~25	1~5	<1
	점 수		15	12	7	4	2	1	0
2	R Q D (%)		90~100	75~90	50~75	25~50	<25		
	점 수		20	17	13	8	3		
3	절 리 간 격		>2m	0.6~2m	0.2~0.6m	60~200mm	<60mm		
	점 수		20	15	10	8	5		
4	불연속면 상 태	굴 곡	매우거침	–	약간거침	부드러움			
		연 속 성	<1m	1~3m	3~10m	10~20m	평활면		
		틈	없 음	<1mm	<1mm	1~5mm	>5mm		
		충진물두께	없 음	단단한충진물 <5mm	>5mm	연한충진물 < 5 mm	>5mm (단층점토 존재)		
		풍화상태	신 선	약간풍화	–	심한 풍화	분 해		
	점 수		30	25	20	10	0		
5	지 하 수	터널길이 10m당 유입량(ℓ /min)	없음	<10	10~25	25~125	>125		
		절리수압 /최대주응력비	0	<0.1	0.1~0.2	0.2~0.5	>0.5		
		일반적인 조건	완전건조	습 함	젖음 (간헐적 용출)	물방울이 떨어짐	용출이 심함		
	점 수		15	10	7	4	0		

절리방향에 따른 평점 보정점수

절리 주향/경사		아주 유리함	유 리 함	양 호 함	불 리 함	아주 불리함
6	터 널	0	–2	–5	–10	–12
	기 초	0	–2	–7	–15	–25
	사 면	0	–5	–25	–50	–60

RMR의 구분 및 이용방법

- 6개 항목(1~6) 합산 = RMR : 지반등급의 평가
- 5개 항목(1+2+3+4+6)+15점 = RMR89(Dry 상태에서의 RMR) : GSI 추정에 이용
- 1+2+3+4 = RMR' : 변형계수 산정시 김교원(1993) 식에 사용
- 2+3+4+5 = RCR(Rock Condition Rating) : Q-System에서 SRF 1로 둔 Q값과의 상관관계

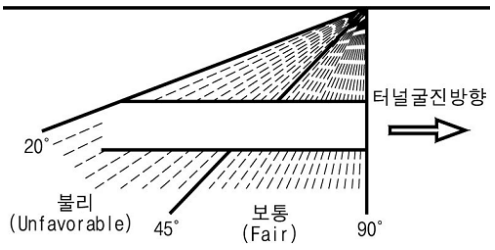
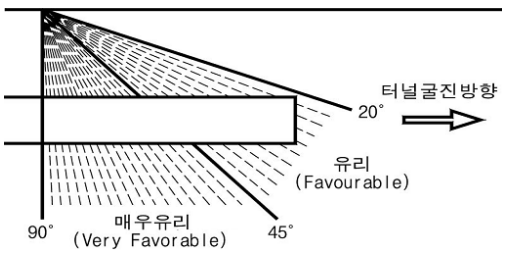
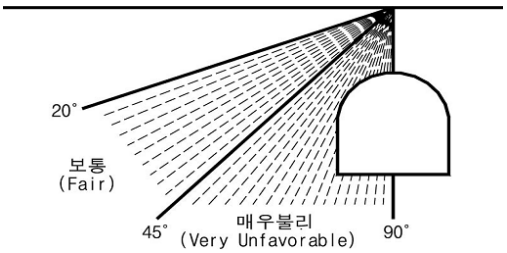
■ RMR 평점합계에 의한 암반등급의 평가

평점합계	81~100	61~80	41~60	21~40	20 이하
등 급	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
평 가	매우 양호 (Very Good)	양 호 (Good)	보 통 (Fair)	불 량 (Poor)	매우 불량 (Very Poor)

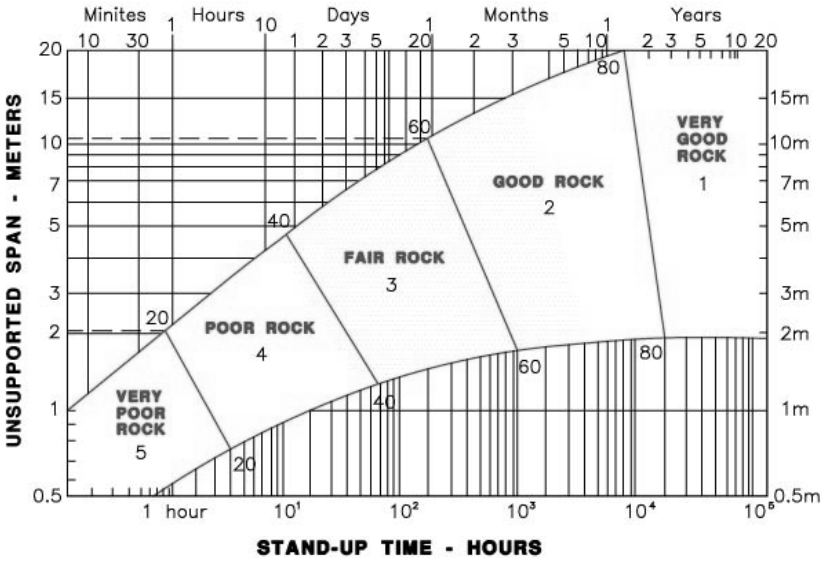
■ RMR 암반등급의 공학적 의미

구 분	Ⅰ등급	Ⅱ등급	Ⅲ등급	Ⅳ등급	Ⅴ등급
평점합계	81~100	61~80	41~60	21~40	20 이하
평 가	매우 양호 (Very Good)	양 호 (Good)	보 통 (Fair)	불 량 (Poor)	매우 불량 (Very Poor)
점착력(kPa)	400 이상	300~400	200~300	100~200	100 이하
마 찰 각(°)	45 이상	35~45	25~35	15~25	15 이하

■ 불연속면의 방향/경사에 따른 터널평가기준

불연속면 방향	불연속면 경사		평 가	
터널축과 직교	역경사	20~45°	불리 (Unfavorable)	
		45~90°	보통 (Fair)	
	순경사	20~45°	양호 (Favorable)	
		45~90°	매우 양호 (Very Favorable)	
터널축과 평행	20~45°		보통 (Fair)	
	45~90°		매우 불리 (Very Unfavorable)	
터널축과 무관	0~20°		보통 (Fair)	

■ 암반 등급별 무지보폭과 최대 안정폭의 상관관계(Bieniawski, 1976)

등 급	I	II	III	IV	V
평균 무지보 자립시간	15m 경간으로 20년	10m 경간으로 1년	5m 경간으로 1주일	2.5m 경간으로 10시간	1.0m 경간으로 30일
					

Q-system에 의한 암반분류

■ Q-Sysyem의 개요

개 요	• 1974년 NGI의 Barton등에 의해 제안 • 200여개의 기 시공된 터널의 보강실적을 통계하여 암반상태와 보강량의 관계 분석 • 1993년 지보패턴을 기존 38개 항에서 강섬유보강 숏크리트를 사용하는 9개항 수정 (Grimstad and Barton)
평 가	• Q 값은 최소 0.001(극히 불량)에서 1,000(극히 양호, 절리가 거의 없음)의 범위
산 정 법	• $Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$ RQD : 10cm 이상 코어의 백분율, J_n : 절리군 수 ⇒ RQD/J_n : 암괴크기의 척도 J_r : 절리면 거칠기, J_a : 절리면 변질정도 ⇒ J_r/J_a : 암괴사이의 마찰각 척도 J_w : 절리내 지하수 저감계수, SRF : 응력 저감계수 ⇒ J_w/SRF : 작용응력 척도
특 징	• 암반의 전단강도에 주안점을 둔 암반분류로 지중응력(심도)을 고려 • 터널의 방향과 절리방향과의 관계는 영향이 적다고 판단 • 터널의 지하공동의 크기 및 형태에 구애받지 않고 적용 • 압출(Squeezing)이나 팽창(Swelling)성 암반에도 적용 • 터널 갱구부 또는 터널 사이의 접속부에 대한 암반평가 및 지보량 산정 기준 제시 • 터널의 전단(Arch)부와 벽면(Wall)부를 구분하여 지보량 산정 • 변수들을 막장에서 비교적 정확히 구별할 수 있음 • 조사자의 정밀성과 숙련성(지질공학적/암반공학적 경험)이 요구

Q-System의 변수 및 평점 기준

A. RQD (암질지수)	
매우 불량	0~25%
불 량	25~50%
보 통	50~75%
양 호	75~90%
매우 양호	90~100%

Notes :
① RQD의 값이 10이하 일 때에는 10으로 하여 계산
② RQD의 값은 100, 95, 90등과 같이 5의 간격 값을 사용

B. J_n (절리군의 수)	
괴상으로 절리가 없거나 약간의 절리	J_n = 0.5~1
1방향의 절리군	2
1방향의 절리군과 산발적인 절리	3
2방향의 절리군	4
2방향의 절리군과 산발적인 절리	6
3방향의 절리군	9
3방향의 절리군과 산발적인 절리	12
4개 혹은 그 이상의 절리군, 심하게 절리가 발달된 상태	15
토사 상태로 파손된 암반	20

Notes : ① 갱도교차부 → $3.0 \times J_n$, ② 갱구 → $2.0 \times J_n$

C. J_r (절리 거칠기 계수)

a) 절리면이 접촉하고 있는 상태
b) 전단변위가 10cm이하에서 절리면접촉

불연속성 절리	J_r = 4
거칠거나, 불규칙하고 파동형	3
완만하고 파동형	2
매끄럽고 파동형	1.5
거칠고 불규칙적이며 평탄함	1.5
완만하고 평탄함	1.0
매끄럽고 평탄함	0.5

Notes :
① 작은 규모와 중간규모의 순으로 기술

c) 전단시 절리면의 접촉이 생기지 않는 경우

절리면 접촉을 막을 정도의 두께로 절리에 점토광물이 포함되어 있을 경우	1.0
절리면의 접촉을 막을 정도로 모래, 자갈 또는 파쇄대가 존재할 경우	1.0

Notes :
① 절리군의 평균간격이 3m이상이면 1.0 가산
② 선상구조(Lineation)가 최소 강도방향으로 배열하고 있거나 선상구조를 갖는 평탄하고 미끄러운 절리에 대해서는 $J_r = 0.5$

D. J_a (절리 변질 계수)

	절리면의 특성		조 건	접촉 절리
절리면이 접촉된 경우	깨끗한 절리	밀착 혹은 접합 절리	석영, Epidote 등의 충진	J_a = 0.75
		신선한 절리면	피복이나 충진이 없으며 얼룩이나 녹이 존재	1
		약간 변질된 절리면	비연화 광물이나 점토가 포함안된 입자 피복	2
	피복 혹은 얇은 두께로 충진된 절리	마찰력이 있는 충진물	모래, 실트질 방해석(비연화)	3
		점착력이 있는 충진물	점토, 녹니석, 활석 등	4

	충진물의 종류	충 진 물	약간의 접촉	접촉 없음
			5mm이하 충진	5mm이상 충진
절리면 접촉이 약간 혹은 거의 안된 경우	마찰력이 있는 충진물	모래, 실트질 방해석 등(비연화)	J_a = 4	8
	강한 점착력의 충진물	점토, 녹니석, 활석등이 치밀한 충진	6	5~10
	약한 점착력의 충진물	점토/녹니석/활석등이 중간~낮은 정도의 치밀성을 보임	8	12
	팽창성 점토 물질	팽창 물성을 나타내는 광물의 충진	8~12	13~20

E. J_w (절리 사이의 물에 의한 감소계수)		
건조상태로 굴착 또는 소량의 용수 국부적으로 5L/min미만	수압P_w < 0.1MPa	J_w = 1.0
적당한 양의 용수와 수압, 가끔 절리 충전물이 유출	1.0~2.5	0.66
충전물 없는 절리를 갖는 암반내에서 다량의 용수와 높은 수압을 가짐	2.5~10.0	0.5
다량의 용수와 높은 수압 충전물의 상당량이 유출		0.3
발파시 다량의 용수 또는 높은 수압, 시간에 따라 감소	>10.0	0.2~0.1
다량의 용수 또는 높은 수압, 시간에 따라 용수량과 수압이 감소하지 않음		0.1~0.05

Notes : ① 마지막 4개는 개략치임, 배수시설을 설치한 경우 J_w값을 증가시킴
② 동결로 인한 특수 문제는 고려되지 않았음

F. SRF (응력저감계수)		
연약대 터널을 교차할 경 우	점토나 화학분해된 암석을 포함하는 연약층 다수존재, 주변암반이 매우 이완됨 (굴착심도와 무관)	SRF = 10
	점토나 화학적으로 풍화된 암석을 포함하는 연약층이 단 1개 일때(굴착심도 50m미만)	5
	점토나 화학적으로 풍화된 암석을 포함하는 연약층이 단 1개 일때(굴착심도 50m이상)	2.5
	견고한 암반에 다수의 전단대(점토 없음), 주변 암반 이완됨(굴착심도와 관계없음)	7.5
	견고한 암반내에 전단대가 1개일 때(점토 없음, 굴착심도 50m미만)	5
	견고한 암반내에 전단대가 1개일 때(점토 없음, 굴착심도 50m이상)	2.5
	이완되고 열린 절리, 절리가 심하게 발달됨(심도와 관계없음)	5

Notes : ① 문제되는 전단대가 터널과 교차하지 않고 영향만을 미치는 경우 SRF를 25~50% 감소

		σ_c/σ_1	σ_θ/σ_1	SRF
견고한 암반의 응력이 문제가 되 는 경 우	지표 부근, 낮은 응력, 절리가 열려 있음	>200	<0.01	2.5
	중간 응력, 적당한 응력 조건	200~10	0.01~0.3	1
	높은 응력에서 대단히 견고한 구조(벽면 제외하고 안정에 유리)	10~5	0.3~0.5	0.5~2
	괴상암반에서 1시간 후에 약간의 Slabbing 발생	5~3	0.5~0.65	5~50
	괴상암반에서 몇 분후에 Slabbing과 암파열(Rock Burst) 발생	3~2	0.65~1	50~200
	괴상암반에서 격렬한 암파열(Rock Burst)과 급격한 변위 발생	<2	>1	200~400

Notes : ② 이방성이 심한 초기응력 조건 : $5 \le \sigma_1/\sigma_3 \le 10$일 때는 σ_c를 $0.75\sigma_c$로, $\sigma_2/\sigma_3 > 10$일 때는 σ_c를 $0.6\sigma_c$로 감소
③ 지표에서 터널천단부까지의 심도가 터널폭보다 적을 때는 SRF 2.5에서 5까지 증가

제 2 장 현장조사 및 시험

2.1 지표지질조사 및 선구조분석

2.1.1 지표지질조사

기본방향	• 사업구간 전반에 걸친 암상분포, 습곡 및 단층위치 파악 • 전 구간에 대한 지질구조를 파악하여 터널 및 교량구간에 존재하는 단층의 영향, 비탈면에 대한 안정평가, 터널내 보강구간 설정 및 암질분류를 목적으로 수행

◎ 절리방향(Orientation)

• 절리의 방향(Orientation)은 절리의 주향과 경사로 정의되는데, 클리노콤파스(Clinocompass)를 사용하여 절리계를 이루고 있는 절리 중에서 주요 암괴의 안정에 영향을 미치는 절리들에 대하여 측정

구 분	기 호	설 명
주향 / 경사	45	45° 경사와 선방향의 주향을 가진 불연속면
		선방향의 주향을 가진 수직 불연속면
불연속면의 종류		절리(Joint)
		층리(Bedding)
		엽리(Foliation)
		연속적인 불연속면 중 실제 확인된 단층
		연속성이 보이지 않는 불연속면 중 추정 단층

◎ 절리의 간격(Spacing)

• 절리간격은 절리간의 수직거리로서 암반을 구성하고 있는 암괴의 크기를 결정하고 암반의 공학적인 성질(암반굴착의 난이도, 파쇄특징, 투수율)등에 영향을 줌
• 굴착시 암반의 파괴와 변형은 굴착크기에 대한 절리발달 간격의 비율이 중요한 요소
• 최소, 평균, 최대 간격(S_{min}, S_{ave}, S_{max})은 각각의 절리군에 대해서 기록

표 시 방 법	간 격
극히 조밀(Extremely Close Spacing)	<20mm
매우 조밀(Very Close Spacing)	20~60mm
조밀(Close Spacing)	60~200mm
보통(Moderate Spacing)	200~600mm
넓음(Wide Spacing)	600~2,000mm
매우 넓음(Very Wide Spacing)	2,000~6,000mm
극히 매우 넓음(Extremely Wide Spacing)	>6,000mm

절리의 연속성(Persistence)

- 절취면에서의 절리의 크기 또는 절리가 연장되는 정도
- 암반 비탈면의 안정성 검토시에는 불안정한 것으로 고려되는 절리의 연속성 정도를 추정하는 것이 매우 중요함

절리연속성의 표현(ISRM)		연속성
매우 낮음	Very Low	<1m
낮 음	Low	1~3m
보 통	Medium	3~10m
높 음	High	10~20m
매우 높음	Very High	>20m

절리면 거칠기(Roughness)

- 절리면의 굴곡이 작은 규모의 Uneveness(요철)와 큰 규모의 Waveness(만곡)로 정의
- 요철과 만곡으로 절리면의 전단강도를 추정(전형적인 JRC값을 보여주는 거칠기 Profile)
- 절리면의 충진물이 없는 경우에는 정확한 추정이 가능하며, Profile Gauge등을 이용하여 측정

구분	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅶ	Ⅷ	Ⅸ
표현	Stepped			Undulating			Planar		
	Rough	Smooth	Slickensided	Rough	Smooth	Slickensided	Rough	Smooth	Slickensided
상태	거침, 계단면	부드러움, 계단면	경면, 계단면	거침, 파상면	부드러움, 파상면	경면, 파상면	거침, 평면	부드러움, 평면	경면, 평면

절리면 간극(Aperture)

- 하나의 불연속면에 서로 인접한 암석간에 분리되어 있는 수직거리
- 보통 물이나 점토등으로 충전되고 만일 충전물질이 없는 경우 간극의 정도는 투수시험으로 추정됨
  절리면의 간극정도는 절리면의 전단강도(마찰각)를 감소시키는 요인

간 극	암반의 성질	
<0.1mm 0.1~0.25mm 0.25~0.5mm	매우 촘촘함(Very Tight) 촘촘함(Tight) 부분적 벌어짐(Party Open)	폐쇄형 (Closed Features)
0.5~2.5mm 2.5~10mm >10mm	벌어짐(Open) 약간넓음(Moderately Wide) 넓음(Wide)	간극형 (Gaped Features)
1~10cm 10~100cm >1m	매우넓음(Very Wide) 극히넓음(Extremely Wide) 동굴같음(Cavernous)	개방형 (Open Features)

암석강도(Strength)

• 절리면 부근에 있는 암석의 일축압축강도로서 정의하며, 절리면의 강도는 절리면 부근에서 종종 발달하는 풍화와 열수변질에 의해서 암괴의 내부에 위치하는 암석의 강도보다도 낮은 경우가 있음
절리면이 거의 벌어지지 않고 충전 물질이 없는 경우에 절리면의 일축압축강도는 전단강도에 중요한 영향을 미침

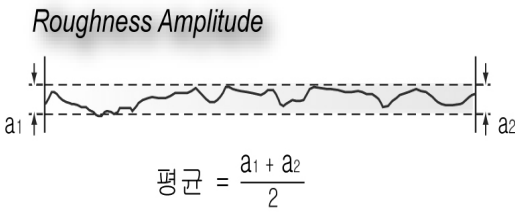
등 급	표 현	특 징	일축압축강도(MPa)
R0	Extremely Weak	손톱에 의해 파임	2.5~10
R1	Very Weak	해머 타격에 의해 부스러짐	10~50
R2	Weak	해머 타격에 의해 움푹 파임	50~250
R3	Medium Strong	해머 1회 타격으로 깨짐	250~500
R4	Strong	해머 1회 이상의 타격에 의해 깨짐	500~1,000
R5	Very Strong	해머의 타격에 의해 깨짐	1,000~2,500
R6	Extremely Strong	해머타격에 의해 약간 깨짐	>2,500

충전물질(Filling)

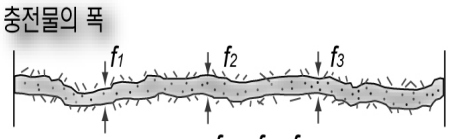
• 절리의 틈새를 충전하고 있는 물질(Calcite, Clay, Sand, Fault Gouge, Breccia 등)은 일반적으로 모암보다 강도가 약함. 충전된 절리의 공학적인 성질(예:전단강도, 변형율, 투수율)은 충전물질의 종류에 따라 다양한 성질을 가짐

항 목	방 법
폭	• 폭의 추정치의 최대와 최소폭은 10%오차 범위에서 측정되어야 함
풍화정도	• 불연속면을 따라 차별적인 풍화의 결과로서 불연속면이 분해된 암석이나 파쇄된 암석으로 구성될 수 있음
광 물	• 충전된 불연속면에 있어 미세한 충전물 부분이 일반적으로 장기간의 전단변형에 영향을 주기 때문에, 특히 활동성 점토나 팽창성 점토가 의심스러운 곳에서는 미세한 충진 물질을 구성하는 광물의 구성성분이 결정되어야 함
입자크기	• 불연속면 충전물의 등급에 대한 개략적인 정량적 표시방법은 점토, 실트, 모래 그리고 암석입자의 백분율의 추정치에 의해 표시될 수 있음
충전물강도	• 충전물의 강도는 MIT로 평가하고 이는 Penetrometer를 사용하여 보다 정밀한 평가로 대치할 수 있음
이전의 전단이력	• 주어진 충전 불연속면에서 이전에 전단변위가 발생했는지의 여부에 대해 세심하게 조사
함수량과 투수율	• 충전된 불연속면의 함수량과 투수성은 “함수량에 의한 분류”에 따라 기록

벽면 거칠기의 크기와 충전물의 폭



$$\text{평균} = \frac{a_1 + a_2}{2}$$



$$\text{평균} = \frac{f_1 + f_2 + f_3}{2}$$

절리면의 투수(Seepage)

- 암반의 투수는 암석내의 공극을 통하여 이루어질 수 있으나(1차 투수율), 주로 절리를 통해서 이루어짐(2차 투수율)
- 지하수위, 투수통로, 수압등은 암반의 유효응력을 낮추는 원인으로 비탈면이나 지반의 안정성을 감소시킬 수 있음

불연속면에서의 투수(Seepage for Discontinuities)

A. 개방된 불연속면	
등 급	내 용
1	불연속면은 매우 Tight하고 건조, 유수의 흔적 없음
2	불연속면은 유수 흔적 없고 건조함
3	불연속면은 건조하나 유수흔적 있음 (착색되어 있음)
4	습기참(습윤), 자유수 흔적 없음
5	불연속면 사이에서 물이 나오지만 지속적이지는 않음
6	불연속면에서 지속적인 물의 흐름을 보여줌

B. 충전된 불연속면	
등 급	내 용
1	충전물은 매우 압밀, 건조, 유수 흔적 없음
2	충전물은 습윤(Damp)하며 자유스러운 유수 흔적 없음
3	충전물은 축축함(Wet). 가끔 물방울이 떨어짐
4	충전물이 밀려 나간 흔적을 보이며, 지속적인 물의 흐름이 있음
5	충전물이 국부적으로 씻겨나감. 밀려나간 곳에서 유수 관찰
6	특히 처음 노출된 곳에서 매우 높은 수압으로 충전물이 완전히 씻겨나감

절리군의 수(Number of Sets)

- 상호 교차하는 절리계를 이루고 있는 절리종류의 숫자임
- 한 방향(Set)만 있으면 Plane failure(평면파괴), Toppling failure(전도파괴)가 발생하고, 두 개 이상의 절리종류가 있으면 Wedge failure(쐐기파괴)의 가능성이 있음

등 급	방 법
I	괴상, 가끔 불규칙한 절리들
II	한 개 군의 절리
III	한 개 군의 절리 + 불규칙한 절리
IV	두 개 군의 절리
V	두 개 군의 절리 + 불규칙한 절리
VI	세 개 군의 절리
VII	세 개 군의 절리 + 불규칙한 절리
VIII	세 개 이상의 절리
IX	파쇄된 암석, 토사 같은 암석

○ 암괴의 크기

- 상호 교차하는 절리들의 상호 방향과 각 절리의 발달간격에 의하여 암괴의 크기가 결정됨
- 암괴의 크기와 각 암괴간의 전단강도는 임의의 응력하에서 암반의 공학적인 거동을 결정하므로 암괴의 크기는 암반의 거동에 관한 지표를 제시함
- 큰 암괴로 이루어진 암반은 적은 변형을 가지는 경향이 있고 비탈면 안정 해석 시에는 작은 암괴로 이루어진 암반은 토사와 같은 파괴형태를 보임, 또한 암석채굴이나 발파시에 암괴의 크기가 공사능률에 영향을 미침

▮ 암괴의 표현방법

정 의	J_v(절리수/m^2)
매우 큰 암괴(Very Large Blocks)	<1.0
큰 암괴(Large Blocks)	1~3
중간 크기의 암괴(Medium-sized Blocks)	3~10
작은 암괴(Small Blocks)	10~30
매우 작은 암괴(Very Small Blocks)	>30

▮ 암반의 표현방법

정 의	J_v(절리수/m^2)
괴 상 형 (Massive)	• 몇 개의 절리가 있거나 간격이 넓은 형태
암 괴 형 (Blocky)	• 거의 같은 크기를 갖는 형태
판 형 (Tabular)	• 한 면의 크기가 다른 두 면보다 훨씬 적은 형태
주 상 형 (Columnar)	• 한 면의 크기가 다른 두 면보다 훨씬 큰 형태
불규칙형 (Irregular)	• 암괴의 크기와 모양이 다양한 형태
파 쇄 형 (Crushed)	• 심하게 절리가 존재하여 각설탕 형태

○ 불연속면 조사 및 분석방법

▮ 조사선을 이용한 조사방법(Scanline Survey Method)

장 비	• Schmidt Hammer : 1조 • Clinocompass : 1조 • Profile Gauge : 1조 • 줄자 및 철자 : 각 1조(각 50m, 10m) • 사진기 : 1조 • 기 타 : Check List, 분필, 테이프(암표면 부착), 지질 해머, 안전장비
장소선정	• 불연속면 보다 간격과 연장이 크고, 거의 평면의 암면에 대해 수행 • 조사 대상 암면은 150~350개의 불연속면을 가지고 있어야 하며, 이 중 50%가 최소한 한쪽 끝의 연장이 인지될 수 있어야 함 • 조사대상 비탈면이 그 지역의 불연속면을 대표하는지를 판단

(계속)

조 사 선 설 정	• 조사선은 20~30m 길이로 줄자 측정 • 조사선은 암면의 주향과 최대 경사의 선을 따라서 암면에 부착되며, 이후의 또 다른 스캔라인은 처음에 직각으로 샘플링 편차를 최소화 할 수 있게 설치 • 불규칙한 암표면일 경우 스캔라인을 암면에 부착시킴 • 20° 이상의 오차가 불규칙한 암면으로 인해 생길 경우에는 스캔라인을 분리하여 측정

방 향 성 측정방법	• 불연속면 노출이 불량 할 때는 이와 유사한 스캔라인에서 떨어져 있는 불연속면을 측정 • 방향 측정의 오차는 주향 ±10°, 경사 ±5° 정도가 됨(Ewan & West, 1981) • 스캔라인과 평행한 불연속면은 인지나 측정이 힘드므로 자료수가 작아지며 이를 나중에 보정 (Terzaghi Correction실시)

불연속면 측정방법	• 불연속면의 연장은 조사 목적에 따라 달리 측정하며 대개 Semi-Trace Length를 기록함 • 심하게 파쇄된 하나의 Zone으로 구성된 불명확한 불연속면에 대해서는 세부적인 측정보다 성격에 대한 기술이 중요 • 간격이 1cm보다 작은 거의 평행한 불연속면(층리, 엽리, 벽개등)은 대표적인 측정치 하나만을 측정하고 0.1m 거리에 발생하는 숫자를 기록함 • 주요 Set에 대해서 슈미트 해머를 이용한 절리면 압축강도(JCS) 측정 • Profile Gauge를 이용한 절리면 거칠기 계수(JRC) 측정 • 절리 충전물, 틈새, 불연속면의 특성(전단절리, 인장절리, 단층 파쇄대)을 측정

T-index 설 정	• Termination Index는 ISRM에서 제시된 것으로 불연속면에 대한 스캔라인 조사에서 불연속면의 3가지 종결 형태를 통해 암의 지수를 결정하는 것을 말함 I : Intact Rock(불연속면이 신선암에서 끝날 경우) A : Another(불연속면이 다른 불연속면과 만나서 끝남) O : Obscure(종결이 불명확) • Termination index 계산 $Ti = \frac{100N_i}{N_i + N_a + N_o}$ % • Termination index의 의미 : Ti 값이 큰 경우는 Ti 값이 작은 경우보다 더 큰 강성과 강도를 가지며 낮은 투수성을 가짐

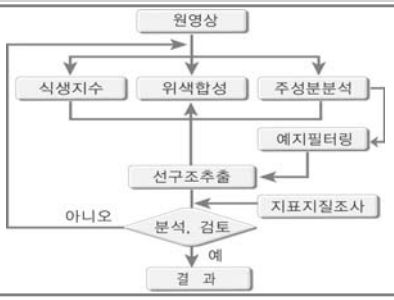
2.1.2 인공위성영상 분석

기본방향	• 인공위성 영상분석을 통하여 사업지역의 지형 및 지질현황과 주요 선구조, 지표이상대 등을 파악하여 최적의 노선 선정과 효율적인 조사계획 수립을 위한 기초 자료로 활용 • 인공위성 영상자료로부터 지질선구조를 추적하고 노선을 교차하는 연약대 파악 • 단층, 분포암종 분석 등 결과를 지반조사 방향 설정의 기초자료 반영

분석개요

구 분	내 용
위성영상 제 원	• Landsat TM(Thematic Mapper)에 의해 관측된 영상 사용 • 공간해상도 30m, 분광해상도 7 밴드
영상처리 방 법	• 사업구간을 포함하는 광역적인 지역의 위성영상자료와 이를 필터링 기법으로 구분한 영상을 제작하여 선구조의 규모에 따른 영향성을 파악함 • 영상처리소프트웨어는 PC Windows용 ER Mapper 사용함
선 구 조 분 석	• 위성영상은 가시광선 영역과 유사한 3, 2, 1 분광밴드를 RGB밴드에 각각 할당하여 자연색 영상을 광역 위성영상 및 상세 위성영상으로 제작하여 선구조 분석을 수행

위성영상 분석원리 및 방법

분석원리 및 방법	분석 흐름도
• 단층 등의 지질구조는 계곡, 절벽 등의 지형적 특징을 가지므로 위성영상 및 음영기복도 상의 지형적 특성을 분석하여 구조선의 분포를 파악하며 이후 지질조사 결과와 상호 보완을 통해 최종 결과를 도출 • 광역적인 지역에 대한 초기 개략탐사의 기본이 되는 탐사방법으로 인공위성으로부터 얻어진 주파수 대역별 Image로 부터 지표나 수역에 대한 정보를 분석하는 방법	

Landsat TM 분석기법 종류

기 법	분 석 방 법
위성영상합성법 (False Color Composition)	가시광선영역 3,2,1, 적외선영역 7,5,3 밴드조합
밴드비율 (Band Ratio)	지표물질의 특성분석을 위하여 B7/B1, B5/B2, B4/B3 밴드 비율 조합
식생지수 (NDVI)	식생에 의한 반사도 값으로서 식생분포 및 활성도와 지질분포와의 상관성 분석
주성분분석 (Principal Compositon Analysis)	밴드 6을 제외한 밴드 조합
공간강조 (Spatial Enhancement)	이미지의 화소값을 조정하여 분석

결과활용	• 정밀 지표지질조사 기초 자료로 활용 • 사업노선 내에 발달된 단층대나 추정 파쇄대의 분포 위치를 확인하여 시추, 물리탐사 위치선정 및 상세 지표지질조사(절리분포) 계획 수립

2.1.3 음영기복도(DEM) 분석

기본방향	• 위성영상 분광특성을 이용하여 선구조 판독이 가능하지만 광선방향과 지표물질에 의한 영향으로 선구조 판독 시 불리한 경우가 있음 • 수치표고자료(Digital Elevation Model)의 음영효과를 이용, 입체분석 시행

○ 음영기복도(DEM)의 정의

• GIS 시스템 구축을 위해 사용되는 자료 중 3차원 좌표에 의하여 지형의 상태를 나타낸 자료를 통칭하여 수치표고자료
(Digital Elevation Model)이라 하고, 그 중에서 수치로 지형을 표현한 자료를 수치지형 모델(Digital Terrain Model)이라 함

○ 수치표고자료의 저장방식

• 수치표고자료가 만들어지고 저장되는 방식은 일정크기의 격자로서 저장되는 격자(Grid) 방식 높이가 같은 지점을 연속적으로 연결하여 만든 등고선에 의한 방식, 단층에 의한 프로파일(Profile) 방식, 그리고 불규칙한 삼각형에 의한 방식(TIN, Triangular Irregular Network)등이 있음

○ 수치지형모델의 구분

구 분	내 용
DEM	• 가상의 태양고도 및 방위각에 대하여 DEM 자료의 각 격자점에서 지표면의 방위각 및 경사방위각에 상응하는 밝기 값을 구하여 이를 Grey Level로 변환시키는 기법 • 관찰자의 위치에 따른 지형지세의 표현이 자유로워짐에 따라 지형지세 판독의 정확도 및 객관성을 향상시킬 수 있음
Directional Derivatives	• 수학적인 미분함수를 사용하여 처리함으로써 경사도에 따른 변곡점을 찾는 기법으로 경사의 변화가 이루어지는 주된 변곡점인 지형의 정상점 및 계곡부위를 나타낼 수 있음 • 이러한 곳들의 긴 연장성을 가진 부분들이 선구조의 형태로써 나타남
Terrain Modeling	• 지형의 경사의 방향에 따라 선구조 형태가 나타나는 특징이 있음 • 방향성을 가진 경사들을 하나의 선구조 형태로 나타냄
Differential and Integral Operators	• 지형의 경사의 방향에 따라 선구조 형태가 나타나는 특징이 있음 • 동일한 방향성을 가진 경사들을 하나의 선구조 형태로 나타냄
Sobel Filtering	• Mask Window 영역에서 양 끝단에 속한 화소들 사이의 합의 차이를 구한 후, 이를 수평과 수직방향에 대하여 평균 크기를 구함으로써 경계부위를 강조하는 역할을 함 • 동일한 방향성을 가진 경사들을 하나의 선구조 형태로 나타냄

○ 적용범위

구 분	내 용
적 용 범 위	• 전체노선 및 노선 영향 구간의 선구조 분석

결과활용	• 구조물 위치 선정 등에 활용 • 선구조 분석 및 노선 선정의 기초 자료

2.2 물리탐사

2.2.1 탄성파탐사

기본방향	• 탄성파속도 분포로부터 개략적인 지층의 연속적인 분포상태와 파쇄대와 같은 저속도 이상대 유무 파악 • 지표지질조사 및 시추조사 결과와 연계하여 미시추구간의 지층 경계 추정

○ 탐사원리 및 방법

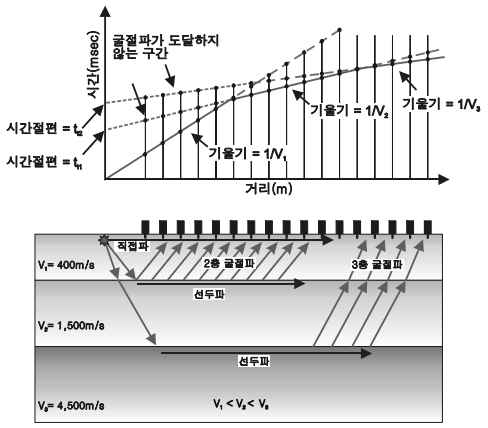
- 지표에서 인공적으로 발생된 탄성파 신호를 지표의 측선상에 등간격으로 설치한 지오폰을 이용하여 수진
- 각 수진점에 도달하는 직접파와 선두파의 초동주시를 읽어 주시곡선을 작성
- 주시곡선 상에 나타나는 각 직선들의 기울기로부터 지층의 속도를 결정하여 각 지층경계면까지 깊이를 계산

탐 사 방 법

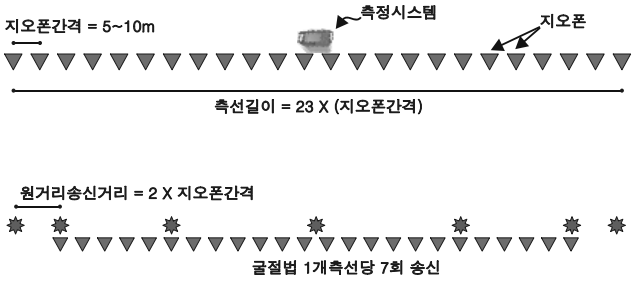
- 탄성파의 발생원으로는 발파 또는 Sludge Hammer를 지표에 고정된 플레이트에 수직 가격하여 종파를 발생시키며, 양단 원/근거리 발파와 중앙발파를 수행
- 탐사목적과 가탐심도에 따라 Geophone 간격을 배열한 후 구간분할 및 중복측정
- 기록된 자료를 자료변환, 트레이스 정리, 필터링등의 전처리 과정을 수행한 후, 초동주시를 취합하여 역산과정을 거쳐 속도분포 및 속도 토모그램 작성

탄성파 탐사장비

주시곡선 개념도



탄성파탐사 모식도



○ 적용현황

구 분	터널구간	교량구간	깎기구간	쌓기구간
수 량(Km)	0.94	0.44	2.87	–

결과활용	• 직접적인 지층 구조를 파악하기 위하여 수행하며, 시추조사 위치 선정에 활용 • 전기비저항탐사, 시추성과 및 시료분석등과 병행하여 단층대 및 지질 이상대의 위치규명에 활용 • 탐사구간의 탄성파속도 분포로부터 터널 입·출구부, 비탈면구간의 지층분포 규명 및 터널구간 암반등급 결정에 활용

2.2.2 전기비저항탐사

기본방향	• 모델링된 단면을 통해 단층 또는 지질구조대로 파악되는 저비저항 이상대 확인 및 개략적인 지층 현황 파악 자료로 활용 • 터널 예정구간의 단층, 파쇄대 및 각종 연약대 분포 양상 파악 • 시추위치 선정 및 미시추구간의 지층 구조 파악

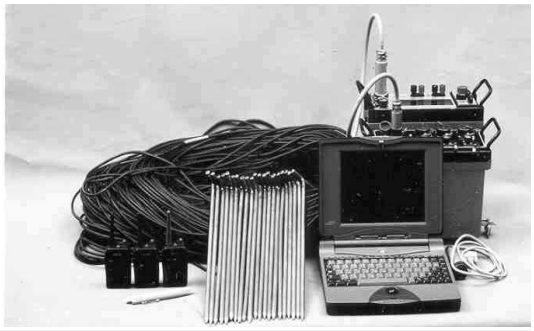
○ 탐사원리 및 방법

- 암석의 전기비저항은 공극율(Porosity), 공극수의 성질, 유체포화도, 조암광물의 종류, 점토광물의 존재여부 및 단층, 파쇄대 등의 요인에 의해서 변화
- 지하매질의 전기비저항 차이에 의한 전위차를 측정하여 지층의 구조, 암석의 분포 상태 등을 규명
- 이상대에 의한 등전위선의 왜곡을 측정하여 지하구조를 해석

장 비 제 원

구 성	장비명	제작국	제작사
본 체	Terameter SAS1000	스웨덴	ABEM
스위치박스	ES464(41ch)	스웨덴	ABEM
기 타	케이블 및 전극	스웨덴	ABEM
해석 S/W	Dipro	한국	지질자원연구원

전기비저항 탐사장비



탐 사 방 법

- 한 쌍의 전류전극(Current Electrode)을 통하여, 직류 전류를 지하에 흘려보내 다른 한 쌍의 전위전극(Potential Electrode)에서 전위차를 측정하여 지하지질구조, 단층, 파쇄대, 지하수 등의 분포를 확인하는 물리탐사법
- 전기비저항 탐사는 전극 배열 방법에 따라 웨너 배열, 슐럼버져 배열, 쌍극자 배열, 단극자 배열 등을 이용한 탐사방법으로 구분됨
- 본 탐사에서는 단위전극간격을 10m, 쌍극자 배열법을 이용하여 탐사 실시

○ 적용현황

구 분	강매터널	
	서울방향	문산방향
수 량(m)	550	550

결과활용	• 이상구조대, 연약대, 파쇄대 위치 및 분포 양상을 파악하여 구조물에 대한 영향 검토를 위한 추가정밀조사의 기초 자료로 활용 • 지층별 전기비저항치와 시추조사로부터 산정된 RMR값, Q값 등과 상관관계 분석을 통해 미시추구간에 대하여 전기비저항값에 의한 암반등급을 평가 • 기타 조사결과와 비교 · 분석하여 암반등급 결정 및 터널 지보패턴 결정에 활용

2.2.3 GPR탐사

기본방향	• 지하 매설물 현황을 파악하기 위하여 GPR탐사 수행 • 지하 매설물의 심도와 위치를 파악하여 시공시 기초 자료로 활용

○ 탐사원리 및 방법

- GPR 탐사법은 안테나로부터 전자파를 짧은 폭의 펄스형태로 지하에 전파시킨 후 전파 경로 중 물리적 성질이 다른 매질의 경계에서 반사되는 전자파를 수신 · 분석하여 지하의 정보를 얻는 물리탐사법의 한 방법
- 전자파가 지하 매질을 전파해 나갈 때 이질의 매질층 또는 이상매체를 이루는 재료 고유의 유전특성에 따라 변화하는 점을 이용하여 각 이질층의 두께 및 위치를 파악

장 비 제 원

구 분	사용 장비
현장조사	ProEX(Professional Explorer Control Unit)
	XV Monitor(GPR 전용 모니터)
	Shielded electronics
실내분석	Ground Vision Ver. 1.4.1
	RadExplorer Ver. 1.0.0.1

GPR탐사 모식도

탐 사 방 법

- 일반적으로 지반조사시 실시하는 비파괴 탐사는 지반의 함수비, 매질의 건조 여부, 다짐도, 종류 등에 의해 유전상수가 달라지게 되며 또한 전자파의 전파 능력은 고주파일수록 멀리 도달하지 못하나 해상도가 커지므로 일반적으로 해상도가 중요시 될 경우는 가능한 고주파를 이용하여 자료를 획득
- 해상력보다는 멀리 도달하는 것이 중요할 경우가 있는 경우에는 저주파를 이용하여 탐사를 실시
- 당 현장에서는 250MHz안테나를 사용하여 탐사를 실시, 250MHz안테나는 토양에서 약 3m, 암반에서 약 5m 심도까지 레이다파가 전달되나 현장 여건에 따라 감쇠현상으로 인하여 실제 투과심도는 많이 감소
- 당 현장에서 실제 투과심도는 최대 3.0~4.0m까지 측정된 것으로 판단
- 전파속도는 각 매질에 따라 다르나 당 현장은 대부분 아스팔트 포장도로와 비포장 토양 구간이므로 일반적인 평균 전파속도인 110mm/ns의 속도 값을 적용
- GPR 탐사시 사용된 안테나 주파수는 해상도(Resolution)에 비례하고 침투심도(Penetrating Depth)에는 반비례

○ 공구별 적용현황

구분	현천IC		강매교
	LINE-1	LINE-2	LINE-3
측선연장(m)	36.0	45.0	25.0

결과활용	• 사업구간 내 2개소를 선정하여 탐사(3개 측선)하였으며, 시공시 굴착에 의한 안전사고(지장물 파손) 예방 대책 수립의 기초 자료로 활용

2.3 현장조사

2.3.1 시추조사

기본방향	• 지반의 성상을 조사하고 시료의 채취 및 각종 원위치 공내시험을 시행하여 설계에 필요한 제반 자료 제공 –지반의 수직적 분포상태, 파쇄대 및 단층대 확인, 지반 공학적 특성 파악 및 시료 채취 –암질상태, 균열상태, 파쇄구간의 분포 및 암석의 강도정수를 구할 수 있는 시료 확보

○ 방법

- 시추작업과 병행하여 지층의 상대밀도와 구성성분을 파악하기 위하여 표준관입시험 병행 실시
- 코어회수율을 높여 정확한 암질상태를 파악하기 위하여 D–3 Core Barrel 및 Diamond Bit 사용
- 채취된 암석 Core는 육안관찰에 의하여 암석 내에 분포된 절리와 절리면의 충전물 등을 파악하고, 절리의 분포상태, TCR, RQD 등의 암반특성을 평가할 수 있는 자료를 조사하여 시추주상도에 기재
- 지하수위의 측정은 지하수체(Ground Water Body) 상면의 위치 또는 시추공에 나타나는 정수면의 위치를 지표면과 일정한 기준면으로부터의 수직거리로 구함(시추종료 24시간 경과 후)

시 추 작 업 전 경 (BH–30)

시 추 작 업 전 경 (BH–234)

○ 적용현황

- 터널구간은 설계에 필요한 지반상태 파악을 위해 계획고하 0.5D까지 시추
- 교량구간은 기초의 침하에 영향을 주지 않는 심도인 풍화암 7.0m, 연암 3.0m, 경암 1.0m 이상 시추
- 깎기구간은 계획고하 2.0m 까지 시추
- 쌓기구간은 침하에 영향을 주지 않는 30/30이상 3회 또는 풍화암 3.0m 시추

결과활용	• 지층상태 및 지지층 확인, 암반분류, 현장시험 및 채취된 시료를 이용하여 실내 토질 및 암석시험 실시 • 주상도 작성으로 암반분류 및 지보패턴 설계에 활용 • 단면도 작성으로 비탈면 설계에 활용

2.3.2 시험굴조사 및 현장밀도시험

○ 시험굴조사

기본방향	• 비탈면 및 터널 입·출구부의 지층 구성 상태 파악, 쌓기재료의 다짐특성 파악 • 노반재료로서 적합성 여부 판단 및 토공량 산출을 위한 토량 환산계수 산정

시험 방법	시험전경(원지반 상태)
• 시험전 표준사 단위중량을 측정 • 시험장소의 지표면을 정리 후 준비된 굴착도구로 흙을 채취 후 '시험기+모래' 무게를 측정, 시험기를 밑판 위에 밀착시킨 후 밸브를 열어 모래를 자유낙하 시킴 • 모래의 흐름이 멈추면 밸브를 닫고 시험기를 들어내고, 밑판 위의 모래를 쓸어모아 시험기에 담음 • 채취된 습윤토 무게와 '시험기+남은 모래' 무게 측정 • 급속 건조기로 파낸 흙의 함수비를 측정	

결과활용	• 현장조사 및 실내시험에 의한 토사층의 품질, 다짐특성, 노상지지력비 산정 • 쌓기재료로서의 적합성 판정 및 경제성을 고려한 쌓기재 및 노반재료로서의 유용가능성 파악 • 자연상태의 현장단위중량을 구하여 비탈면 해석시 적용

○ 현장밀도시험

기본방향	• 토사층을 대상으로 자연상태 및 흐트러진 상태의 단위중량 측정 • 한국공업규격에 의거 현장밀도시험(KS F 2311) 실시

▮ 시험 방법(모래치환법)

- 시험 장소의 지표면을 수평으로 고름
- 지표면에 밑판을 밀착 후 내측의 흙을 팜
- 파낸 흙의 전체중량을 측정함
- 밑판구멍에 깔때기를 맞추어 측정기를 세움
- 밸브를 열고 병 속의 표준사 이동이 멎는 것을 확인한 후 밸브를 잠금
- 측정기와 남은 모래의 중량을 재고 시험 구멍 및 깔때기를 채우는데 필요한 모래의 중량을 구함
- 깔대기를 채우는 데 필요한 모래의 중량을 구하고 시험 구멍의 체적을 구함

○ 적용현황

구 분	터 널 구 간	교 량 구 간	깎 기 구 간	쌓 기 구 간	합계
수 량(회)	–	–	3	–	3

결과활용	• 다짐특성 파악을 통한 시공단계에서 흙쌓기 다짐관리 • 풍화대의 단위중량 파악 • 토량 환산계수 산정

2.3.3 핸드오거보링

기본방향	• 쌓기구간에서 상부지층의 지반구성 상태 확인 • 연약지반의 존재 유 · 무를 확인하기 위하여 실시

원리 및 방법

- 상부 표토층을 인력굴착으로 30~50cm를 걷어냄
- 핸드오거기를 시계방향으로 회전하며 굴진
- 지층의 변화를 파악하여 각 지층별로 교란된 시료를 채취
- 굴진 완료 후 토층의 변화 및 지층의 상태를 상세하게 주상도로 작성

핸드오거보링전경(NHAB-1)

핸드오거보링전경(NHAB-2)

적용현황

구 분	위 치		비 고
	X 좌표	Y 좌표	
NHAB-1	557465.8659	187455.7190	1공구
NHAB-2	564461.7753	186978.0674	3공구
NHAB-3	567043.7814	182855.8150	
NHAB-4	571482.8668	181911.2462	
NHAB-5	577905.3354	181233.6469	4공구
NHAB-6	580982.1592	181023.5020	
NHAB-7	583175.4675	179365.0364	

결과활용	• 연약지반의 존재 유·무 파악 및 개략적인 상부 토층 파악 • 추가 시추조사의 필요성 판단

2.4 현장시험

2.4.1 표준관입시험

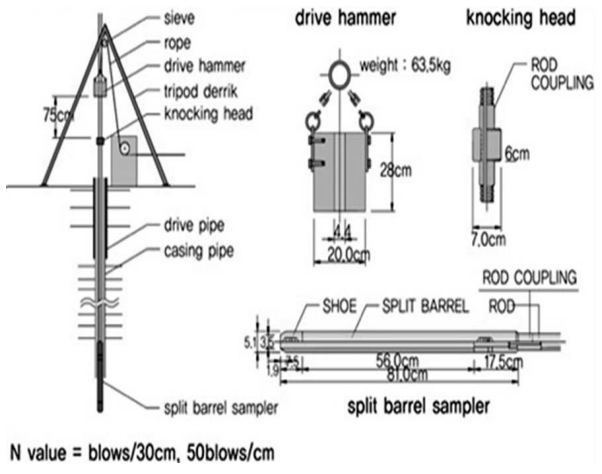
기본방향	• 지층의 상대밀도 및 연경도 확인 • N값으로부터 지반의 강도특성 및 변형특성 파악 • 교란시료를 채취하여 육안판별 및 물성시험 시료로 이용

○ 시험방법

- 한국산업규격(KS F-2318)에 의거 토사 및 풍화대에서 1.0m마다 또는 지층변화 지점에서 시행
- Sampler를 Rod의 하단에 연결, 표준해머(63.5kg)를 76cm 높이에서 자유낙하시켜 관입 깊이를 측정
- 15cm씩 3단계로 시행, Sampler를 30cm 관입하는데 필요한 타격횟수를 N값으로 측정
- 지층이 조밀, 견고하여 30cm 관입이 곤란할 경우 50회 타격하고 관입량을 기록

○ 시험모식도 및 시험전경

표준관입시험 모식도



시 험 전 경

○ 적용현황

구 분	터 널, 깎 기, 교 량, 쌓 기 구 간
수 량	풍화암까지 1.0m 간격으로 전 공에 수행

결과활용	• 지반구성과 강도 분포, 기초의 지지층 심도, 말뚝 항타관입의 가능성, 연약층 유무 파악 • 사질토지반 – 상대밀도, 내부마찰각, 지지력 계수, 침하에 대한 지지력, 액상화 가능성, 간극비 • 점성토지반 – 연경도, 일축압축강도(점착력), 파괴에 대한 지지력 • 말뚝의 연직지지력 및 수평변위, 지반반력 계수, 변형계수, 횡파속도

2.4.2 SPT효율시험

기본방향	• 다양한 요소에 의해 영향을 받는 N값을 현장여건에 맞도록 보정 · 표준화하여 신뢰성 확보 • 현장 실시된 표준관입시험기 해머효율에 대한 결과를 이용, 에너지 효율에 대한 보정 실시

○ 보정 제안식(Skempton, 1986)

$$N_{60} = N \times C_N \times \eta_1 \times \eta_2 \times \eta_3 \times \eta_4$$

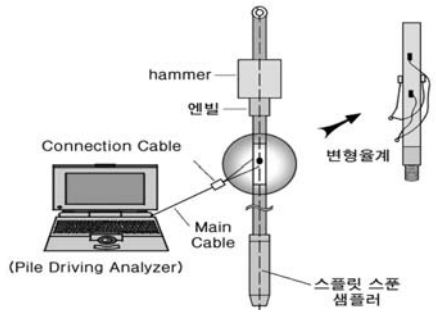
N_{60} : 해머효율 60%로 보정한 표준관입시험 결과

N : 장비별 표준관입시험 결과	C_N : 유효상재하중에 대한 보정
η_1 : 해머효율 보정계수	η_2 : Rod길이 보정계수
η_3 : 샘플러 종류 보정계수	η_4 : 굴착직경에 따른 보정계수

유효상재하중 보정	해머효율 보정
• $C_N=\sqrt{(1/P')} \le 2$ • 유효상재하중에 대한 보정은 시험한 위치에서의 유효상재압력(p')을 1kgf/cm^{2}의 유효상 재압력에 대한 값으로 상기 식과 같이 보정 • 적용성에 대한 논란이 있어 본 검토시 보정 안함	• η_1 = 해머의 효율/60 • 적용 측정된 N값과 에너지 수준은 반비례하며, 해머 효율 60%일때의 N_{60}을 표준으로 함 • 현장 투입된 장비별로 해머에너지 효율을 측정하여 해머효율 보정계수를 결정

ROD 길이에 대한 보정	샘플러 종류별 효율 (Skempton, 1986)
• Rod가 길어지면 Hammer와 Rod 자중의 불균형 및 Rod의 변위등으로 해머의 효율이 저하됨 • 동이론을 이용하여 Rod의 영향을 검토하였으나 N값에 거의 영향을 미치지 못하는 것으로 판단 (Palmer & Stuart, 1957)	• Liner가 없는 경우 : 1.2 • Liner가 있는 경우 : 1.0
	굴착홀 직경에 따른 효율 (Skempton, 1986)
	• 65~115 (mm) : 1.00 • 150 (mm) : 1.05

에너지효율시험 모식도



시 험 전 경

○ 적용현황

구 분	터널, 깎기, 교량, 쌓기구간
수 량(회)	투입 시추기별 각 1회 총 10회 수행

결과활용	• 표준관입시험결과(N값)에 대한 보정 • 측정된 N값의 신뢰도를 확보/사질토의 지반정수 산정, 연경도 분석에 활용

2.4.3 공내재하시험

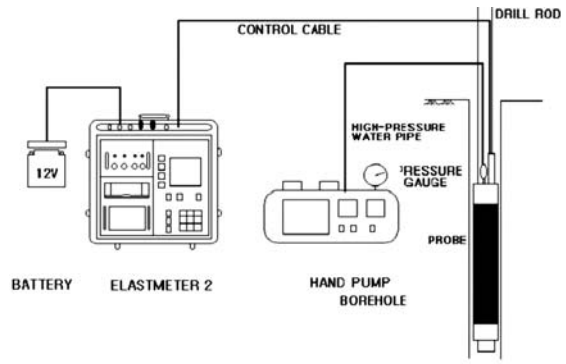
기본방향	• 지층별 변형계수 및 탄성계수를 측정하여 기초지지력 및 침하검토, 비탈면 및 터널의 안정 해석시 입력 자료로 활용하고자 시행

○ 시험방법

- 가압성능 및 시험의 신뢰성을 고려하여 지반조건에 따라 시험법을 달리함
  토사층은 LLT(등분포재하법), 풍화대~연암층 이하는 Elastmeter-II(등분포재하법), 연암층 이상은 Goodman Jack (등변위재하법)을 적용
- 등변위재하법은 Probe를 시험공 공내에 삽입하고 유압 Jack으로 공벽에 하중을 가하는 방식
- 불균질 지반이나 이방성 지반의 경우에는 재하방법에 따라 시험치가 다르게 될 경우도 있기 때문에 재하방향을 명확히 할 필요가 있음

○ 시험모식도 및 제원

등변위 재하 모식도



시 험 전 경(BH-9)

구 분	LLT	PMT(Elastmeter-II)	Goodman Jack Test
가압력 제어	가스압력에 의한 밸브조작	자동 레규레타	핸드펌프에 의한 밸브조작
공벽변위량 측정방법	고무튜브내 주입수량에 산출	고무튜브내 주입수량에 산출	LVDT 공직경의 변화량 측정
재하판의 외경(mm)	60~80	60~80	40~85
재하판의 강성(표준)	유(고무튜브)	유(고무튜브)	강(금속판)
재하 방식	등분포하중	등분포하중	등변위

○ 적용현황

구 분	터 널 구 간	교 량 구 간	토공구간	합계
수 량(회)	7	22	3	32

결과활용	• 말뚝기초 수평지지력 및 수평지반 반력계수 산정시 활용 • 터널구간 암반 종류별 변형계수를 결정하여 터널단면 수치 해석시 적용 • 기초의 허용지지력 추정 및 변형특성 분석 자료로 활용

2.4.4 공내전단시험

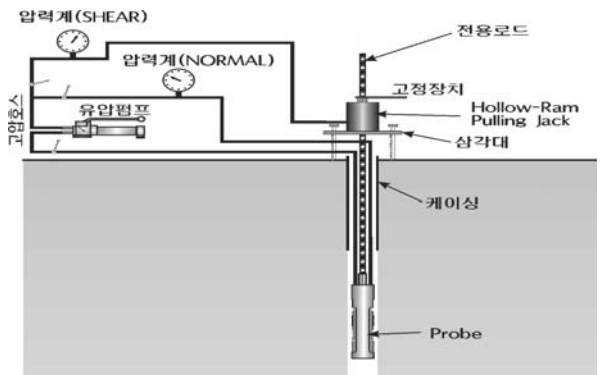
기본방향	• 터널 입 · 출구부, 교량 및 비탈면 구간의 풍화토, 풍화암에 시행 • 기초의 안정성 및 설계를 위한 중요 인자인 지반의 점착력(Cohesion) 및 내부마찰각(Friction Angle)을 산정하기 위해 현장 시추공내에서 실시하는 직접전단시험 • 풍화대는 불교란 시료 채취가 어려우므로 실내시험을 통한 강도정수 산정이 곤란하여 시추공내에서 직접전단시험을 실시하여 풍화토 및 풍화암의 강도정수를 산출함으로서 신뢰성 높은 전단시험을 실시

○ 시험 방법

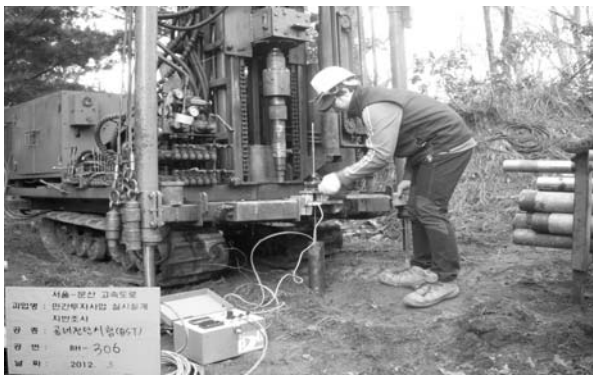
- 시험시추공에 전단부를 삽입
- 시추공 상부 주변 지표면에 인발장치(Pulling Device) 저판을 거치
- 전단부(Shear Head)가 연결된 강봉을 인발장치(Pulling Device)에 장착 고정하여 전단부와 인발장치를 연결
- 인발장치에 장착된 인발회전장치(Screw Arrangment)를 2회/sec의 속도로 회전시켜 전단부를 상향으로 인발(전단) 실시, 이때 인발장치상에 부착된 유압게이지를 통해 나타나는 전단응력의 관찰 최대값을 측정
- 이상의 과정을 반복하여 시험을 실시하여 완료 후 측정된 수직응력(Normal Stress), 전단응력(Shear Stress)값을 선형회귀분석을 실시하여 직선의 파괴포락선(Failure Envelope) 작도 및 시험지층에 대한 점착력(Cohesion)과 내부마찰각(Friction Angle)값을 도출

○ 시험모식도 및 시험전경

공내전단시험 모식도



시 험 전 경



○ 적용현황

구 분	터 널 구 간	교 량 구 간	토공구간	합계
수 량(회)	1	2	1	4

결과활용	• 풍화대 강도정수 산정시 직접적으로 반영 • 비탈면 안정검토 등 각종 안정성 검토시 입력 자료로 활용 • 교량기초 지지력 산정시 적용

2.4.5 지하수위측정

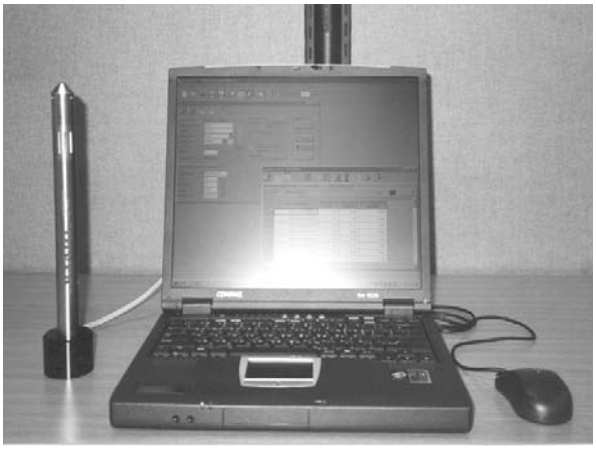
기본방향	• 시추공내 지하수위를 측정하여 기초 굴착시 배수처리 대책, 침투류 해석, 터널 굴착에 따른 지하수위 변동 등을 파악하기 위해 실시

측정방법

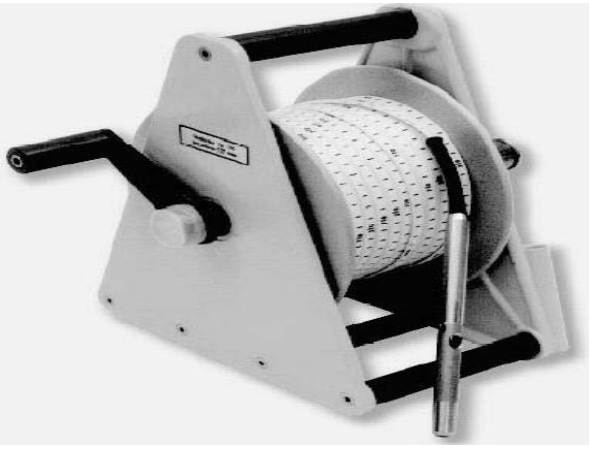
- 시추작업 완료 직후 1차 측정
- 지하수위 측정은 지하수체(Ground Water Body) 상면의 위치 또는 시추공에 나타나는 정수면 (Piezometric Surface)의 위치를 지표면 또는 일정한 기준면부터의 심도를 측정
- 각 시추공별 지하수위 측정은 24시간 경과 후에 2차로 측정하며, 공내 지속측정이 가능한 시추공은 지하수위를 장기간에 걸쳐 측정하여 부록의 시추주상도에 기록

측정장비 및 제원

자동수위계측기



수동수위계측기



구 분	자동수위측정계	수동측정수위계
장비명	• Diver	• KL 010
제조사	• Van Essen instruments	• OTT Hydrometrie
특징	• 직경 22mm, 길이 125mm의 콤팩트한 타입 • 수온, 기온, 대기압, 수위등을 측정 • 자체배터리, 메모리로 독립적으로 기능	• 측정깊이 최대 750m • 프로브 직경 15mm, 길이 175mm, • 수온측정가능

결과활용	• 침투류 해석에 활용 • 가설공사 및 터널의 배수계획의 자료 제공 • 지하수위 변화에 따른 수압 및 유효상재하중 산정 • 직접기초 터파기시 유입수량 계산 및 배수대책 강구 • 비탈면 안정성 검토시 상시 지하수위 조건 및 우기시 지하수위 상승에 따른 안정성 검토 • 암반분류(RMR 분류)시 지하수위 조건에 따라 입력 변수 결정

2.4.6 투수시험

기본방향

- 지반의 투수성을 평가하여 교량기초 터파기시 유입량 계산 및 배수대책 수립
- 비탈면에서 강우에 의한 침투심도를 계산하여 강우강도를 고려한 비탈면 안정성 검토

시험 목적 및 장점

- 시험목적은 수리전도도 및 비저류 계수를 파악하는데 있다.
- 투수시험의 장점은 비교적 간단한 장비 시스템, 짧은 측정시간, 저투수성, 오염지역에 효과적으로 이용 가능

시험 과정 및 변수

- 슬러그 또는 베일러/수위 계측기/수위계, 초시계, 줄자를 이용
- 투수시험 대상부 상부까지 케이싱을 설치하여 케이싱 외부로부터 물을 주입하고 시간에 따른 수위강하를 기록
  ① 정호의 정보 취득 ② 초기정류수위 측정 ③ 초기정류수위로 회복될 때까지 수위 측정
  ④ 수위변화 유발 ⑤ 해석모델을 이용 수리상수 추정 ⑥ 수위변화의 계속적 측정
- 주요 변수로는 초기수위변화, 이방성(anisotropy), 정호반경등이 있음

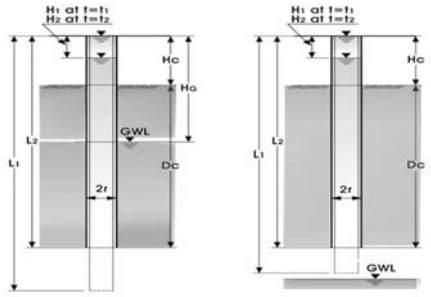
해석방법

- 분포하고 있는 지반의 투수성을 파악하기 위해 시추공내에서 수위 강하법(Falling Head Method) 적용
- 지하수면 하부에 위치

$$K = \frac{D^2}{8LT} Ln \left(\frac{2L}{D} \right) Ln \left(\frac{H_o}{H_t} \right)$$

여기서 D : 케이싱직경 L : 케이싱 상단에서 굴착 깊이까지 거리(cm)
T : 경과시간(sec) H_0 : 경과시간에 따른 수위저하 거리(cm)
H_t : 저하된 시험수위에서 지하수위까지 거리(cm)

모식도



시 험 전 경

적용현황

구 분	터 널 구 간	교 량 구 간	토공구간	합계
수 량(회)	–	63	14	77

결과활용

- 토사지반의 투수계수 K값 산정
- 수치해석에 의한 침투류 해석시 입력 자료로 적용
- 구조물 구간 가시설 설계시 차수공법 검토

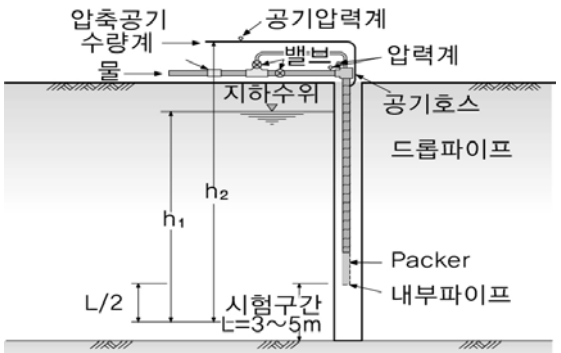
2.4.7 수압시험

기본방향	• 터널 및 비탈면 구간 기반암의 투수성 파악 • 터널 굴착에 따른 지하수 거동분석, 그라우팅 보강 효과 예측 등을 수행하기 위하여 실시 • 지층별 투수계수와 Lugeon값을 산출하여 수리지질 특성을 평가할 목적으로 시행

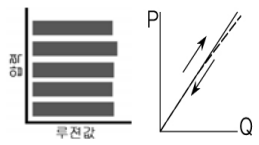
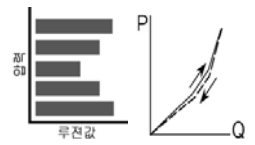
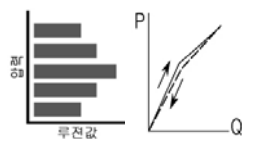
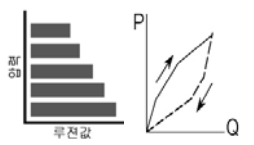
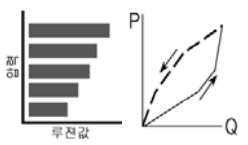
시험원리 및 방법

- 수압을 이용하여 불연속면을 포함한 암반의 투수성을 시험
- 공경 76mm의 시추공에 압력 10kgf/cm^{2}로 주수한 경우 주입 길이 1m당 주입량을 리터단위로 나타낸 것이 루전(Lugeon)값임
- 수압을 이용하여 불연속면을 포함한 암반의 투수성을 시험
- 시험방법은 Single Packer를 사용, 하향식으로 실시하는 것을 원칙으로 하였으며, 압력의 증감은 5~9단계로 실시하여 각 단계에서 주입압력별로 약 10분간 가압시간을 유지하여 정확한 주입수량 측정

모식도



시 험 전 경

층류 (Laminar)	난류 (Turbulent)	팽창 (Dilation)	유실 (Wash-out)	공극충진 (Void Filling)
				

적용현황

구 분	터 널 구 간	교 량 구 간	토공구간	합계
수 량(회)	14	5	3	22

결과활용	• 조사구간 기반암의 투수계수와 Lugeon값 산출 • 투수패턴 파악 (Laminar, Turbulent, Dilation, Wash-out, Void Filling) • 그라우팅 보강설계시 기초 자료로 활용 • 터널굴착에 따른 터널내 유입 수량 검토 • 지반의 불연속면을 고려하여 지하수 거동 변화에 따른 환경피해 요소 검토 및 대책수립

2.4.8 지하수유향 · 유속시험

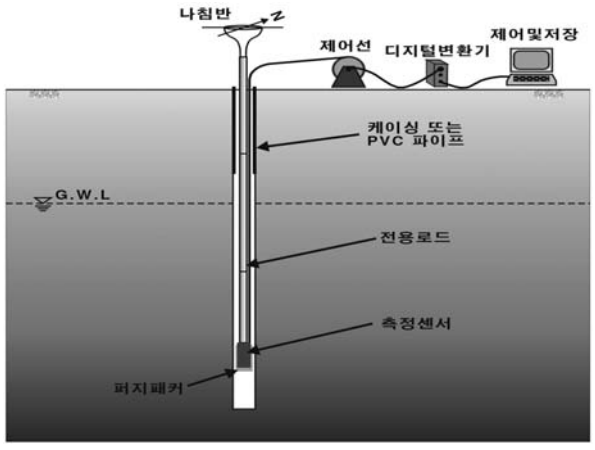
기본방향	• 터널구간 심도별 지하수 유동속도 및 방향성 파악 • 지하수의 유동경로 역할을 하는 불연속면 분포구간에 대한 지하수 유동속도와 방향 측정

○ 시험방법

- 시험공 내에서 지하수의 유향 · 유속 측정은 GFD-4(Alec Electronisc, 일본)의 Heat Pulse방식의 장비를 이용
- 먼저 Probe를 측정하고자 하는 심도에 설치
- Probe는 작은 공극(원지반의 공극)에서 지하수의 큰 공극(관측공)으로 유출시 발생하는 와류(Turbidity Flow)를 방지하기 위하여 Fuzzy Packer를 장착
- 삽입된 Probe가 시추공내의 수온에 안정되도록 기다린 후(약 30여분) 측정
- 측정시 Probe와 컴퓨터를 연결한 후 30초간 열원을 전달하고 이의 이동을 측정하여 전산처리
- Probe는 열원과 센서로 구성되어 있는데 중심 부위의 열원에서 발생한 Source를 각 방향(N, S, E, W)의 센서가 이를 감지하여 수치로 출력
- 이 측정치를 KVA Analytical System 프로그램을 이용, Vector 합성을 통하여 지하수의 흐름과 방향을 계산

○ 시험장비 및 시험전경

시험 모식도



시 험 전 경

○ 적용현황

구 분	터 널 구 간	교 량 구 간	토공구간	합계
수 량(회)	1	–	–	1

결과활용	• 배수계획 및 용수처리 검토시 활용 • 터널의 전체적인 지하수 흐름 경향을 파악하여 설계 및 시공의 기초 자료로 활용 • 지하수의 유동 방향과 유동 속도 파악하여 침투류 해석시 활용

2.4.9 순간충격시험

기본방향	• 순간적으로 물을 주입 후 상승한 수위가 원래의 안정수위로 회복하는 수위변화를 측정 • 투수량 계수(T)와 투수계수(K)를 구하여 수리 해석시 입력 물성치로 활용

시험원리 및 방법

- 시험정의 자연수위를 기록하고 수위의 변화를 측정할 수 있는 TROLL DATA LOGGER 등의 자동 수위 측정기를 설치
- 일정한 체적의 물체 혹은 물을 시험정 내에 순간적으로 삽입 또는 주입하여 지하수위의 상승 또는 하강을 유도한 후 시간 경과에 따른 지하수위 변화량을 측정
- 시간경과에 따른 지하수위 변화량을 AQTESOLV 전산해석 프로그램에 입력하여 Bouwer-Rice 및 Hvorslev 해법 등 2개의 분석법으로 수리상수 해석
- Bouwer-Rice 법 :

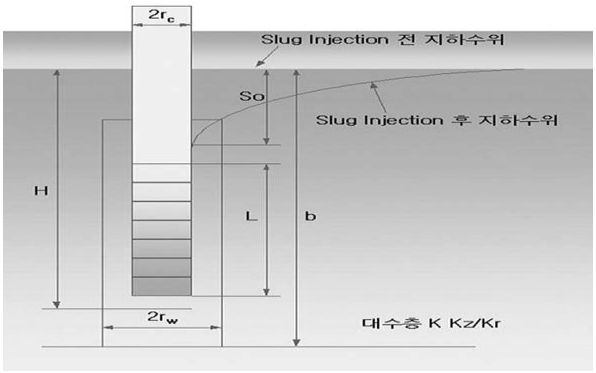
$$\ln(S_o) - \ln(S_t) = \frac{2KL_t}{r^2_{ce}\ln(r_e/r_{we})}, \quad r_{ce} = \sqrt{(r^2_c + n(r^2_w - r^2_c))}, \quad r_{we} = r_w \sqrt{\frac{K_z}{K_r}}$$

- Hvorslev 법 :

$$\ln(S_o) - \ln(S_t) = \frac{2KL_t}{r^2_{ce}\ln(L/2r_{we} + \sqrt{1+(L+2r_{we})^2})}, \quad r_{ce} = \sqrt{(r^2_c + n(r^2_w - r^2_c))}, \quad r_{we} = r_w \sqrt{\frac{K_z}{K_r}}$$

r_{ce} : 우물 케이싱의 반경, L : 스크린의 길이 r_{we} : 자갈로 충진된 부분의 반경,
r_e : 수두가 감소되는 유효반경의 거리

시험 모식도



시 험 전 경

적용현황

구 분	터 널 구 간	교 량 구 간	토공구간	합계
수 량(회)	2	–	–	2

결과활용	• 양수시험 및 회복시험에서 구한 수리상수를 이용하여, 공사 전·후 지하수 변화량에 대한 수리모델링 수행시 기초 자료로 활용 • 공사시 지하수위 변화에 따른 주변지역 지하수의 저하여부 검토 입력 자료로 활용 • 퇴적층을 통한 지하수 유입 대책 수립 자료 이용

2.4.10 양수시험

기본방향	• 대수성 상수를 산출하기 위하여 현장에서 착정조사 및 각종 대수성 시험을 실시 • 지하수 영향검토를 통한 합리적인 설계기초자료 제공 • 지하수 유동체계 변화 및 관정 효율저하 여부 검토 • 수리상수인 투수량계수(T)와 저류계수(S)를 구함

○ 시험원리 및 방법

• 양수정에서 일정양수를 하면서 감시정에서 양수시간대 수위강하율을 측정하고 양수종료 직후부터 수위회복율을 측정

• AQTESOLV Program을 이용하여 Theis법과 Cooper-Jacob법, Theis Recovery법으로 해석

• Theis법 :

$$S=\frac{Q}{4\pi T}W_{(u)},\quad u=r^2\frac{s}{4}T_t,\quad s=\frac{4Tt}{r^2},\quad W_{(u)}=\int_u^{\infty}\left(\frac{e^{-u}}{u}\right)$$

• Cooper-Jacob법 :

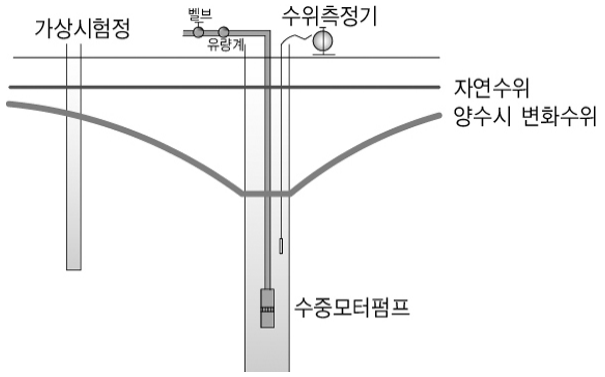
$$S=\frac{2.3Q}{4\pi T}\log_{10}\frac{2.25Tt}{Sr^2}$$

• Theis Recovery법 :

$$S=\frac{Q}{4\pi}T\ \left[\ \ln\left(\frac{t}{t'}\right)-\ln(s)\ \right],\quad S'=\frac{2.3Q}{4\pi T}\log\frac{t}{t'}$$

여기서 S : 저류계수, s : 수위 강하량, Q : 일정 양수량(m^3/day), t : 양수 경과 시간(min),
T : 투수량 계수(cm^2/sec), W(u) : Theis Well Function, r : 양수정과 관측공의 거리(m)

시험 모식도



시 험 전 경

○ 적용현황

구 분	터 널 구 간	교 량 구 간	토공구간	합계
수 량(회)	1	–	–	1

결과활용	• 터널 굴착전 양수정 및 감시정의 자연수위, 안정수위, 양수량 등의 초기 배경값 확보 • 지하수 유동해석 프로그램(Modflow)의 대수층 수리상수 입력인자로 활용 • Slug Test 및 암반 수압시험 결과의 K값을 비교 · 검토시 활용

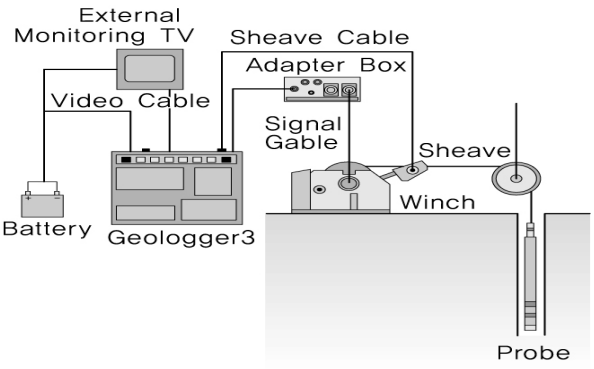
2.4.11 공내영상촬영

기본방향	• 공내영상촬영을 통해 암반내 파쇄대 및 불연속면의 분포 및 발달상태(경사방향, 경사, 틈새)등 지반 불연속면 특성 파악 • 분석된 불연속면 분포 및 발달 상태에 대한 분석 자료는 터널부 수치해석, 갱구부의 비탈면 안정성 해석에 필요한 설계 자료로 활용

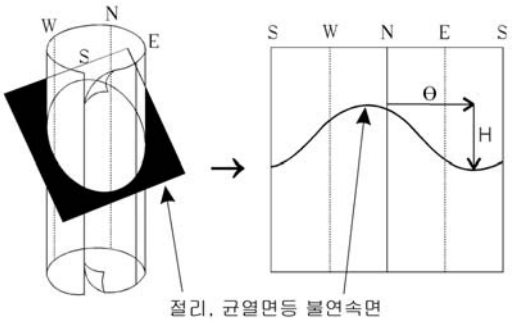
○ 시험원리 및 방법

- 시험대상 시추공 선정후 센서(Probe)를 시험공내에 삽입
- 센서(Probe)를 삽입한 후 윈치에 부착되어 있는 속도조절기를 이용하여 0.5m/min정도의 속도로 내리거나 올리면서 심도에 따라 시추공벽을 연속적으로 360° 촬영한 다음 이를 분석하여 지층에 대한 원위치 정보를 얻음
- 입력된 정보를 심도별 및 불연속면의 특성별로 정렬 후 로즈다이어그램 및 스트레오넷을 이용하여 불연속면, 파쇄대, 단층대 등에 대한 각종 정보를 추정·해석
- 모식도는 공내영상촬영을 이용한 불연속면의 원리를 보여주고 있는데 경사진 불연속면이 존재할 경우 sine 곡선의 형태를 띠게 되며 이때 sine 곡선의 진폭은 경사를, 최대 혹은 최소값의 위치는 주향을 나타냄
- 불연속면 주향, 경사는 불연속면을 Pointing하여 나타나는 sine curve에 대해 다음 식으로 계산
  - 경사각(Dip angle) = $\tan^{-1}\left(\frac{H}{2r}\right)$
  - 경사방향(Dip direction) = θ
- 불연속면들의 주향 및 경사각들에 대한 통계적 분석 및 분류 수행

시험 모식도



경사방향 결정 모식도



○ 적용현황

구 분	터 널 구 간	교 량 구 간	토공구간	합계
수 량(회)	2	–	2	4

결과활용	• 정밀지표지질조사 결과 및 Scanline 분석 결과와 연계하여 암반비탈면 안정해석에 활용 • 불연속면의 발생빈도를 분석하여 확률 절리망 작성, 터널 굴진방향 검토, 암반분류시 활용

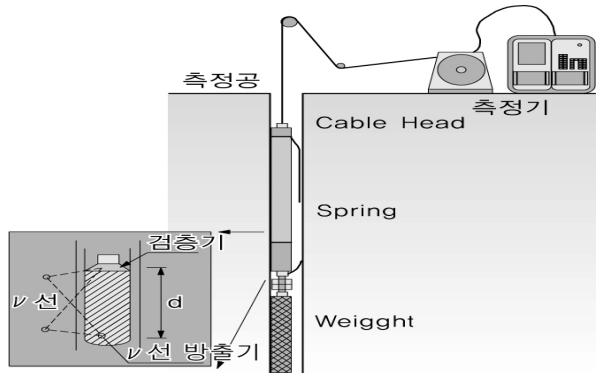
2.4.12 밀도검층

기본방향	• 시추공 주변 지반에 대한 원위치 밀도의 수직적인 분포 측정 • 내진설계시 요구되는 지반의 동적물성치 산정

○ 시험원리 및 방법

- 일반적인 조사시 사질토는 점성토와는 달리 불교란 시료 채취가 어렵고, 그 값을 정확히 측정할 수 있는 현장 시험법이 거의 없어 주로 간접적으로 추정하여 사용
- 방사성 동위원소(Radioisotope)를 이용한 RI Meter로 지층의 원지반 상태 체적밀도(in-situ bulk density)를 측정
- 방사성 물질(γ 선)과 검출기가 일체화되어 있는 밀도검층 Probe를 강하시켜 방사선물질(Co60)에 의해 방사된 γ 선이 지층을 통과할 때 흡수, 산란된 γ 선을 검출해서 지층의 밀도를 유추
- 측정된 심도별 현장밀도는 동적 물성치를 산출하는데 사용-내진 수치해석에 있어서 기본적인 자료를 제공
- 밀도검층의 기록은 그 측정의 규모가 작기 때문에 공내수(또는 이수), 공경의 변화 등의 시추공 환경에 대한 영향을 받아 이에 대한 보정 등이 필요하며 일부 검층기록은 검층기록에 나타나는 물리적 반응특성을 실험적 또는 이론적 방법으로 유도된 관계식을 이용하여 필요한 파라미터를 계산
- 검층 장비는 일반적으로 Sonde, Cable Winch, Encoder, Micrologger, 기록장치, 전원 등으로 구성
- Sonde에는 방사능 선원(감마선원) 및 감마선 검출기가 장착
- 감마선원은 Co^{60} 또는 Cs^{137}인 밀봉선원을 사용-토목분야에서는 방사능 규제를 받지 않는 3.7 MBq 이하의 감마선원(Co^{60})을 주로 이용
- 검출기는 신틸레이션미터가 많이 사용되고 있으며, 감마선원과 검출기 사이에 감마선이 직접 들어오지 않도록 텅스텐과 같은 물질을 이용하여 차폐시킴

시험 모식도



시 험 전 경

○ 적용현황

구 분	터 널 구 간	교 량 구 간	토공구간	합계
수 량(회)	1	2	–	3

결과활용	• 원위치상태에서 주변지반의 밀도분포를 연속적으로 측정 • 시추공 주변 지반의 밀도값을 이용하여 지층별 단위중량 산정에 활용

2.4.13 하향식탄성파탐사

기본방향	• 시추공내 지반의 심도별 탄성파속도(V_p, V_s)산출 및 파쇄대 파악 • 측정 전단파속도(V_s)를 이용하여 지반 동적특성치(G_d, E_d, K_d)산정 • 동포아송비 및 동탄성계수를 산출하여 주요구조물의 내진설계 및 갱구부 안정성 해석에 반영

탐사원리 및 방법

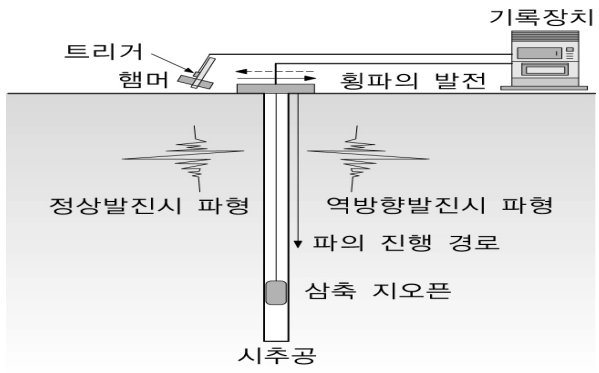
- 시추공 지표에 발진을 위한 구덩이나 블록 제작
- 하향파를 분별하여 수진하기 위해서 3성분 수진기를 공내에 설치(Triaxial geophone)
- 표석물의 양 측면을 Sludge hammer로 가격
- 시추공내에 설치한 삼축 수진기를 통해 자료획득
- 종파 및 횡파자료에서 초동 주시 발췌 시추공-송신점간 이격거리에 따른 주시지연 보정 후 주시곡선을 작성
- 주시곡선으로부터 심도간 구간속도를 계산
- 측정된 탄성파 속도를 토대로 각 구간의 동적특성(G_d, E_d, K_d) 산정
- 동계수 산정에 필요한 포아송비는 다음 식에 의해 산정(적용단위 중량값은 실내시험 값 적용)

$$v = \frac{(V_p^2 - 2V_s^2)}{2(V_p^2 - V_s^2)}$$

여기서, V_p, V_s : 압축파 및 전단파 속도

탐사장비 및 전경

탐 사 장 비



시 험 전 경

적용현황

구 분	터 널 구 간	교 량 구 간	토공구간	합계
수 량(회)	-	2	-	2

결과활용	• 탄성파속도 분포로부터 지반의 동적물성치(동포아송비, 동전단계수, 동탄성계수, 동체적계수)를 산출하여 내진해석에 입력변수로 활용 • 탐사결과 얻어진 지층별 원위치 탄성파속도는 내진설계시 실내시험 결과와 비교 · 분석하여 지반의 동적 특성치 자료로 활용

2.4.14 S-PS검층

기본방향

- 시추공을 이용하여 심도 및 구간별 탄성파 속도(V_p, V_s) 측정
- 내진설계시 요구되는 지반의 동적물성치 산정

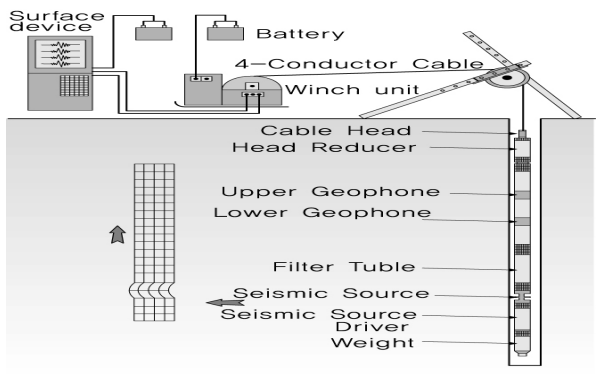
시험원리 및 방법

- 탄성파를 수진하는 지오폰은 Hydrophone을 사용하므로 시험은 지하수위 하부 지반에 가능
- 지하수위 확인 후 시험지점 및 구간을 선정
- Main Body와 Probe를 연결하고 Probe를 시험 공내에 삽입, Probe를 상향 이동하며 일정 간격으로 발진과 수진을 실시하여 검층 수행
- 발진기는 스피커와 같은 원리로 전류에 의한 전자해머가 P파와 S파를 발생
- 상향시 1m마다 지층의 구간속도를 구하므로 정밀도가 높음
- 수진된 파의 도달속도, 파형 등의 측정 자료들은 본체의 Data Logger에 입력 · 저장되며, 필요시 모니터상에 또는 기록지로 재 출력하여 검토
- 상기 과정을 시험 종료까지 반복하여 수행 · 단일 시추공을 대상으로 발진원과 수진기가 일체화된 탐봉(Probe)을 공내에 삽입하여 상향시켜가면서 공내에서 발진과 수진을 실시
- 동적특성치 산정

- 동포아송비 : $\upsilon = \dfrac{(V_p/V_s)^2-2}{2[(V_p/V_s)^2-1]}$
- 동전단탄성계수 : $G_d = p \times V_S^2/g \times 10^{-1}$
- 동탄성계수 : $E_d = 2G_d(1+\upsilon)$
- 동체적탄성계수 : $K_d = E_d/3(1-2\upsilon)$

검층 장비 및 전경

검 층 장 비



검 층 전 경(BH-242)

적용현황

구 분	터 널 구 간	교 량 구 간	토공구간	합계
수 량(회)	1	-	-	1

결과활용

- 시추공내 지반의 심도별 탄성파 속도 측정
- 내진해석에 필요한 지반의 동적물성치(동포아송비, 동전단탄성계수, 동탄성계수)를 파악
- 지층별 동적특성을 결정하여 내진 설계시 기초 자료로 활용

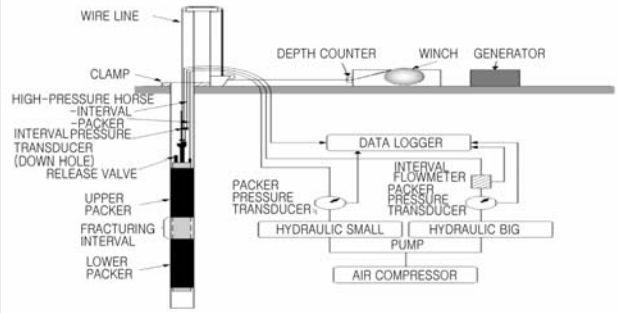
2.4.15 수압파쇄시험

기본방향	• 현지암반의 초기응력과 최대주응력의 방향 측정 • 터널 굴착시 변위 거동에 중요한 영향을 미치는 원 암반지반의 초기 지중응력 측정 • 최적 지보재 설계 및 터널 구조물의 안정성 해석에 필요한 초기 응력상태 파악

○ 시험 방법

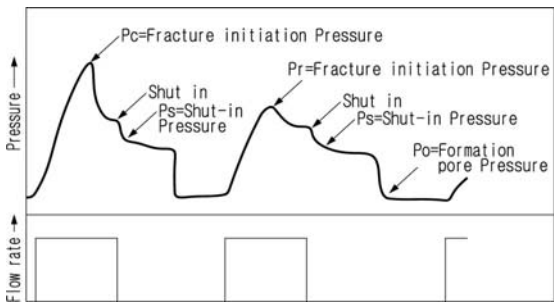
- 공벽 균열이 없는 시험구간 선정
- 균열파쇄압력 Pc(Peak Pressure) 도달할 때까지 시험구간 가압
- 파쇄가 발생한 직후 감압을 시켜 균열이 폐쇄되는 균열 폐쇄압력 Ps(Shut-in Pressure)에 도달시킴
- 일정시간 경과 후 다시 가압을 하여 균열이 열리도록 한 다음 다시 감압
- 이때 균열이 다시 열릴 때의 압력을 균열개구 압력, Pr (Fracture Re-opening Pressure)
- Pr과 Ps를 실내에서 판정할 수 있도록 3회 이상 가압 싸이클을 반복
- 파쇄균열면 방향 측정(Impression Test)

모식도

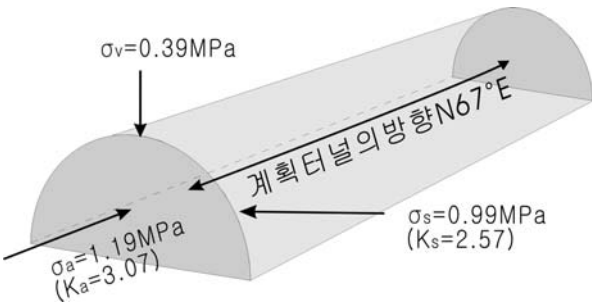


시험 장비

전형적인 압력/유량-시간 이력



시 험 결 과



○ 적용현황

구 분	터 널 구 간	교 량 구 간	토공구간	합계
수 량(회)	1	–	–	1

결과활용	• 터널굴착 예정 지반의 측압계수 K_0산정(수직응력에 대한 수평응력의 비) • 터널 수치해석을 위한 암반 특성치를 산정하여 터널 단면 설계 및 안정해석시 적용

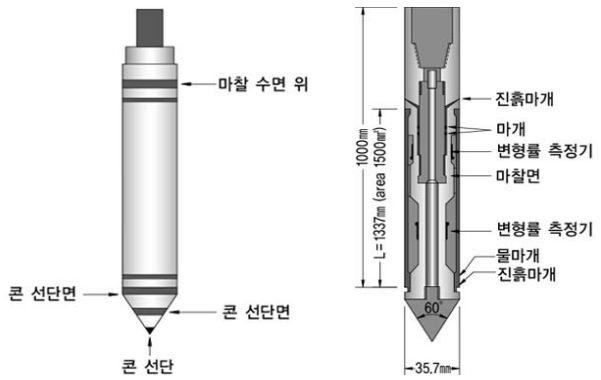
2.4.16 피에조콘관입 및 간극수압소산시험

기본방향	• 콘저항값, 마찰저항력, 간극수압을 측정, 실내시험과 연계 분석하여 비배수전단강도 산정 • 소산시험에 의해 시간경과에 따른 과잉간극수압 측정 및 수평압밀계수 산정

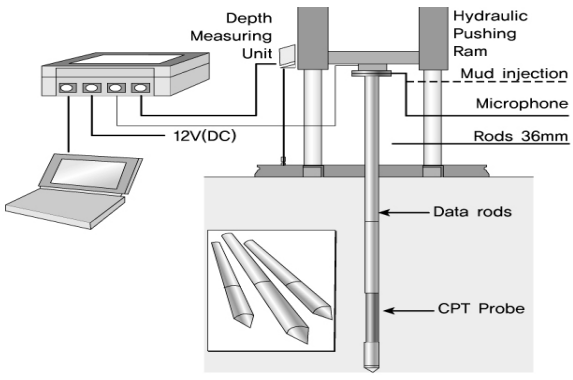
시험원리 및 방법

- 연결로드 끝에 전기식 콘을 장착하고 유압 관입기에 의해 압입하여(압입속도 ASTM 3441규정 2.0cm/sec±0.5) 소정의 심도까지 2.0cm의 간격으로 임의의 심도에서 콘 선단저항치와 슬리브의 마찰력, 간극수압을 연속적으로 측정
- Piezo 부분의 사전 준비에 요구되는 사항(콘의 포화)
  - 다공질 필터부의 공기제거(고압의 진공상태의 액체에 5~24시간 담가두어 포화시킴)
  - Cone의 공기제거, 특히 압력변환기와 직접 인접한 압력실의 공기제거
  - 콘과 필터의 조립(유체안에서 콘팁을 부착한 후 조립하고 멤브레인으로 보호)
- 콘의 관입 및 인발
  - 시스템의 이상 유무를 확인하고 표준관입속도인 2.0cm/sec±0.5로 관입
  - 간극수압 소산시험을 위해 소정의 심도에서 콘의 관입 정지
  - 콘시험이 종료되면 Data를 저장하고 콘을 인발
- 간극수압소산시험
  - 소정의 심도에서 콘 관입을 중단하면 콘에서 측정된 최대 간극수압은 수리 역학적 평형 간극수압에 도달 될 때까지 소산
  - 콘 로드 관입을 정지시키면 표면적으로 정지한 것으로 보이나, 로드에 적용된 탄성(관성) 에너지로 인하여 미세하게 관입이 진행됨
  - 간극수압 소산시험은 정수압을 제외한 관입 과잉간극수압의 50%이상 수압이 소산될 때까지 수행

콘의 모식도



피에조콘관입시험 개략도



적용현황

구 분	터 널 구 간	교 량 구 간	토공구간	합계
수 량(회)	–	1	–	1

결과활용	• 상세한 토층의 판별, 원위치에 대한 비배수전단강도 추정 • 연약 점성토 지반의 물리적, 강도, 변형, 압밀특성 간접 추정

2.4.17 시추공 시험발파

기본방향	• 계획노선 위치별 시추공 시험발파를 통한 발파진동 추정식 및 소음 예측식 산출 • 계획노선 시험발파식과 일반식의 비교분석을 통하여 적합성 검증 및 적용식 선정 • 발파진동 영향권 검토 및 발파설계 자료 활용

○ 시험발파의 수행절차

- 시험발파의 수행절차
  - 사업 현장의 지반, 지질조사, 구간내 주요 보안물건 및 지장물 현황 조사
  - 시추공 시험 발파의 실시, 암종별 진동추정식 산출, 진동식의 보정, 인근지역현장 진동식과 비교 · 검토
  - 소음 · 진동의 기준치 설정 및 발파 영향 평가
- 계측방법
  - Sensor(수신기)는 토사에서는 Sensor에 Spike를 부착하여 지면에 박아 고정시켰으며, 바닥면과 밀착시켜 측정면과 센서가 가능한 한 일체화 되도록 함
  - Trigger Source를 Geophone으로 설정하고, Trigger Level은 0.3~0.51mm/s으로 설정
  - 수진시간 (Record time)은 1회 발파시간을 계산하여 충분한 여진까지 측정 가능하도록 Continuous로 설정
- 발파방법
  - 진동의 수신 여부를 확인하기 위해 100g의 화약을 이용하여 TEST Blasting을 실시
  - 발파시 발생하는 소음을 차단하기 위하여 일부공에 대해서는 전색을 실시하였으며 일부 자연 지하수를 이용
  - 발파는 시추공 저부에서 부터 시작하여 상부로 진행하며, 사용 폭약은 NewMITE(50mm, 800g)를 시추공당 5회 발파 실시

장비 사진(BLASTMATE -Ⅲ)

장비 사진(MINIMATE PLUS)

구 분	BLASTMATE -Ⅲ	MINIMATE PLUS
진동속도의 측정범위	• 최저 0.13mm/s, 최대 254mm/s	• 최저 0.13mm/s, 최대 254mm/s
최대진동속도	• 최대진동속도(PPV, Peak Particle Velocity)의 수직성분과 진행성분, 접선성분의 세성분이 동시에 각각 측정되며, 세 성분의 벡터(Vector)합의 최대값(PVS, Peak Particle Sum)이 측정됨	

○ 적용현황

구 분	터 널 구 간	교 량 구 간	토공구간	합계
수 량(공)	1	–	–	1

결과활용	• 시추공시험발파를 통해 산출된 진동추정식과 보정식, 인근현장 자료를 비교 · 검토하여 발파진동의 영향권 검토시 기준 진동 추정식으로 활용 • 발파 영향권 검토를 통한 적정 지발당 장약량의 설정 및 주변 환경을 고려한 안전설계에 활용

제 3 장 실내시험

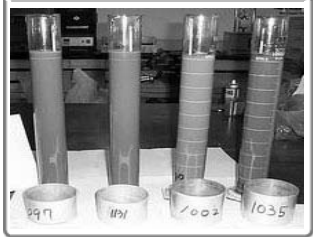
3.1 실내토질시험

3.1.1 물성시험

기본방향	• 시추조사와 병행하여 실시한 표준관입시험, 시험굴조사 및 불교란시료 채취시 얻어진 시료 중 대표적인 시료를 선별하여 흙의 물리적, 역학적 특성을 파악 • 시험방법은 한국산업규격(KS F) 준수

○ 시험장비

비중시험



액성한계

토질물성시험

소성한계

체분석

○ 결과활용

시험 명칭	시험 결과	시험결과의 이용	표준방법
함 수 비 시 험	함수비	지반의 함수상태 파악	KS F 2306
비 중 시 험	비 중	지반의 단위중량 추정	KS F 2308
체 분 석 시 험	입도분포곡선	지반의 입도 조성 파악	KS F 2309
입 도 분 석 시 험			KS F 2302
액 성 한 계 시 험	액성한계	흙의 분류와 공학적 성질 추정	KS F 2303
소 성 한 계 시 험	소성한계		KS F 2304

○ 적용현황

구 분	터 널 구 간	교 량 구 간	토공구간	합계
수 량(회)	7	112	33	152

결과활용	• 지반의 공학적 분류와 기본 물성치 산정에 반영

3.1.2 직접전단시험

기본방향	• 시료의 변형에 따른 저항력을 측정하여 파괴강도, 잔류강도, 한계간극비 등을 측정 • Mohr-Coulomb 파괴규준 강도정수(C, ø) 산정

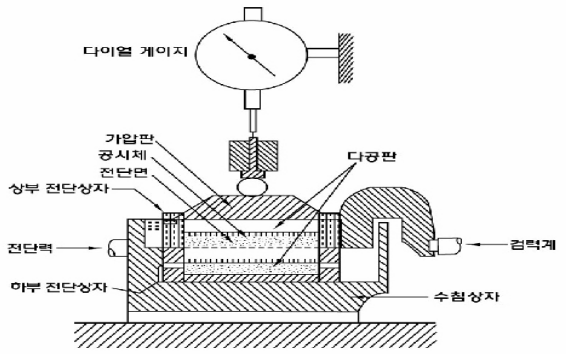
○ 시험원리 및 방법

- 전단상자 속에 시료를 넣고 연직 하중을 가한 다음 흙이 갈라진 수평면을 따라 전단되도록 함(표준규정 KS F2306)
- 연직응력 σ 는 가해진 연직하중 P를 시료의 단면적 A로 나누어 구함
- 전단응력 τ 는 전단력 S를 단면적 A로 나누어 구함
- 이와 같은 방법으로 연직응력을 3, 4회 바꾸어 각 연직응력에 대한 최대전단응력의 값을 구하고, 이 점들을 이용하여 Mohr-Coulomb의 파괴포락선을 작도하여 점착력과 내부마찰각을 구함

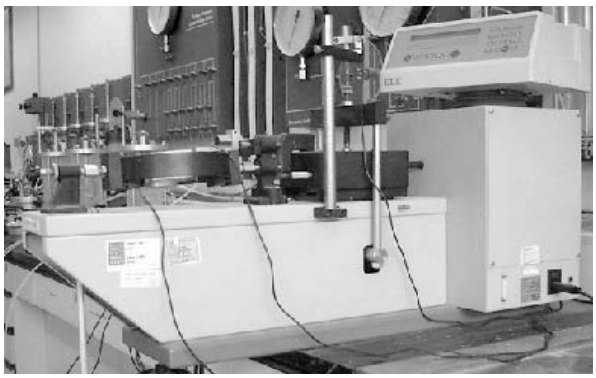
$$\sigma = \frac{P}{A}, \quad \tau = \frac{S}{A}$$

- 사질토 지반의 강도정수 산정 및 비탈면 안정검토, 잔류전단강도를 구하여 진행성 파괴 가능성 평가와 구조물의 안정성 검토

모식도



시험전경



○ 배수조건에 따른 직접전단시험의 종류

- 급 속 시 험 : 연직하중으로 인하여 시료가 압밀되기 전에 급속히 전단. 만일 흙이 점착성이 있고 포화되어 있다면 과잉 간극수압 발생
- 압밀급속시험 : 연직하중을 가하고 연직변위가 정지할 때까지 기다린 다음 흙을 급속히 전단
- 압밀완속시험 : 연직응력을 가한 후 침하가 정지할 때까지 기다린 다음 간극수압이 발생하지 않도록 천천히 전단

○ 적용현황

구 분	터 널 구 간	교 량 구 간	토공구간	합계
수 량(회)	-	-	3	3

결과활용	• 변형-응력 곡선으로부터 토질의 내부 마찰각, 점착력 등의 강도정수 산정 • 자료들과 비교 · 분석하여 강도 정수(점착력, 내부마찰각)값으로 활용 • 비탈면 안정성 검토시 활용

3.1.3 다짐 및 CBR시험

기본방향	• 함수비–건조밀도 관계의 다짐곡선에서 최대건조밀도 및 최적함수비 산정 • 포장층의 본바닥이나 포장재료의 지지력을 측정하여 표준재료 지지력과의 비, CBR값 파악

○ 시험 방법

• 다짐시험
- 건조법, 습윤법, 반복법, 비반복법을 이용하여 시료를 준비
- 몰드와 램머 검정 후 다짐시험을 실시함
- 최적함수비를 전, 후로 6~8개의 함수비를 구할 때까지 다짐시험을 반복함
- 함수비–건조단위중량 관계곡선을 구해 최대 건조단위중량 γ_{max}와 이에 대응하는 최적함수비 W_{opt}를 구함

• CBR시험
- 시료준비
  ① 시료의 최대허용입경에 따라 다짐방법 A 또는 D로 결정
  ② 다짐곡선을 작도하여 γ_{max}와 최적함수비 W_{opt}를 구함
  ③ 조제된 시료를 10kg씩 3개 준비하여 밀폐된 그릇에 담아 둠
  ④ 준비된 시료로 타격수 10, 25, 55회로 다짐을 실시함
- 흡수팽창시험
  : 4일 동안 물속에 침수시키고 1, 2, 4, 8, 24, 48, 72, 96의 각 시간에 팽창량 계측
- 관입시험
  ① 공시체 위에 5kg 하중을 얹음
  ② 재하 장치에 공시체를 장치하고 관입피스톤을 부착시킴
  ③ 피스톤을 1분 동안 1mm의 속도로 공시체에 관입하여, 관입량과 하중 값을 계측

시험명칭	시험결과치	시험결과의 이용	표준방법
다짐시험	최대건조밀도, 최적함수비, 다짐곡선	재료선정 및 흙의 다짐관리	KS F 2312
CBR시험	설계 CBR값	도로의 포장두께 결정	KS F 2320

○ 설계 CBR 산정

• 시방서에서 95% 건조단위중량을 요구한다면 최대 건조단위중량 γ_{max}의 95% 되는 단위중량에서 수평선을 긋고, 건조단위중량과 CBR 값이 만나는 점을 구하여 그 교점으로부터 수선을 내리면 가로축과 만나는 점이 구하고자 하는 CBR 0.95임

• 설계 CBR의 산정
- 최대치가 극단적으로 클 경우

$$\gamma = \frac{X_n - X_{n-1}}{X_n - X_1}$$

- 최대치가 극단적으로 작을 경우

$$\gamma = \frac{X_2 - X_1}{X_n - X_1}$$

여기서, X_n : 최대성과치, X_{n-1} : 2번째 성과치 X_1 : 최소성과치, X_2 : 2번째 최소성과치

○ 적용현황

구 분	터 널 구 간	교 량 구 간	토공구간	합계
다짐/CRB 수량 (회)	–	–	6/3	6/3

결과활용	• 토량환산계수 적용 및 설계 CBR 산정시 활용

3.1.4 일축압축강도시험

기본방향	• 흙의 일축압축강도 및 예민비를 측정

시험원리 및 방법

- 점착력이 있는 시료를 원추형 공시체로 만들어 측압을 받지 않는 상태에서 축하중을 가하여 전단파괴시켜서 시료의 전단강도를 결정하는 방법
- 전단파괴될 때에는 파괴면은 주응력면과 45+φ /2각도를 이루므로 일축압축시험을 하여 주응력면과 파괴면의 각도를 측정하면 전단저항각을 결정
- 재성형(Remolding)을 한 시료로 다시 재하하여 예민비를 측정

적용현황

구 분	터 널 구 간	교 량 구 간	토공구간	합계
수 량(회)	–	3	3	6

결과활용	• 점성토의 전단강도를 구하여 구조물의 안정계산, 기초의 지지력 계산에 활용

3.1.5 삼축압축시험

시험 방법	시 험 전 경
• 사업구간 연약지반층의 강도정수(c, Φ) 파악 • 시험편을 삼축압축챔버에 넣고 일정한 측압을 가한 후 수직으로 하중을 가하여 파괴강도를 얻음 • 시료에 응력을 가하고 간극수압이 0이 될 때 까지 압밀시킨 후 비배수 전단상태로 전단 • 전응력으로 Mohr 원으로 표시하여 포락선으로 C_u를 구함	

적용현황

구 분	터 널 구 간	교 량 구 간	토공구간	합계
수 량(회)	–	1	2	3

결과활용	• 비배수 전단강도(C_u)를 측정 • 연약지반 구간의 활동 안정성 검토 및 단계별 쌓기 계획 수립에 적용

3.1.6 표준압밀시험

기본방향 • 하중단계별 간극비를 측정하여 압축지수 및 압밀계수 등 압밀특성 파악

시험 원리 및 방법	시 험 전 경
• 흙 시료를 링속에 넣고 하부로 압밀하중 가함 • 처음 9.8kPa을 24시간 가한후 침하량 기록한 후 2배 하중가함 • 동일한 방법으로 627.6kPa까지 가한 후 하중제거 • Terzaghi의 1차원 압밀이론 – 흙이 하중을 받게 되면 체적이 감소하게 되는데, 이때 토체를 이루고 있는 흙입자, 간극, 공기 중에서 흙입자와 물은 비압축성이므로 공기의 압축, 용해 또는 간극수가 간극으로부터 빠져나감	

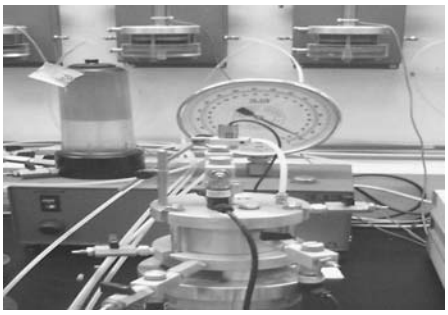
○ 적용현황

구 분	터 널 구 간	교 량 구 간	토공구간	합계
수 량(회)	–	3	3	6

결과활용 • 연약지반의 압축지수, 팽창지수, 선행압밀응력, 압밀계수 측정하여 침하특성 검토에 활용

3.1.7 Rowe Cell압밀시험

기본방향 • 압밀곡선으로부터 수평압밀계수(C_h)와 투수계수(K_h) 측정

시험 방법	시 험 전 경
• 하중을 고정 가로막에 유압을 가하여 Cell의 직경은 75, 150, 250mm으로 압밀시 배수를 조절할 수 있고, 간극수압의 측정 • Back Pressure를 시험 중에 가하여 표준압밀시험에서 불가능한 수평방향 압밀계수를 결정 • 완전히 교란된 시료를 Slurry로 만들어 압밀시험을 수행	

○ 적용현황

구 분	터 널 구 간	교 량 구 간	토공구간	합계
수 량(회)	–	1	–	1

결과활용 • 연약지반의 압축지수, 팽창지수, 선행압밀응력, 수평방향 압밀계수의 산정하여 침하특성 검토에 활용

3.2 실내암석시험

3.2.1 물성시험

기본방향	• 암석의 공학적 특성을 규명하기 위하여 시추조사시 채취된 암석 시료에 대해 실내시험을 실시 • 비중, 밀도, 흡수율, 탄성파속도, 일축압축 등의 실내시험 수행 • 터널지반, 기초지반, 비탈면 지반의 암석 물성치 파악

시험명칭	시험결과치	시험결과의 이용	표 준 방 법		
			KS F	ISRM	ASTM
비중시험	비 중	비중, 흡수율, 함수비, 포화도, 간극비	2518	○	
밀도시험	건조밀도, 습윤밀도	지반내의 응력산정, 지압발생 예측지표	2518	○	
흡수율시험	공극율, 흡수율	암석의 투수성	–	○	
탄성파속도시험	탄성파전파속도, 동적 탄성상수	암반의 균열도 파악, 암반분류	–	○	D2845
일축압축시험	압축강도, 탄성계수, 포아송비	암석의 역학적 특성, 암반분류	2519	○	D2938 D3148

○ 일축압축강도

• 공시체에 구속압을 가하지 않은 상태에서 축방향으로 압축력을 가하여 파괴시의 축방향 하중을 측정
• 일축압축강도(MPa) = 파괴시의 하중(kgf) /시험편의 단면적(㎠)

○ 비중 및 흡수율

• 겉보기 비중 = 시험편의 완전건조 비중/공극을 포함하는 단위외형체적
• 흡수율(%) = (침수된 시험편의 중량–건조된 시험편의 중량)/시험편의 비중

○ 탄성파속도 측정

• 시험편의 탄성파속도를 측정하기 위하여 Sonic Viewer Model을 사용, 측정방법은 시험편의 양면에 Transducer를 접촉시키고 Pulse를 발생시켜 Compressional Wave(P파) 및 Shear Wave(S파)의 전파시간을 측정하여 다음 식에 의하여 속도를 산출한다.

$V_p = L/T_p$, $V_s = L/T_s$

여기서, V_p : P파 속도 T_p : P파 전파시간 V_s : S파 속도
T_s : S파 전파시간 L : 시험편의 길이

○ 적용현황

구 분	터 널 구 간	교 량 구 간	토공구간	합계
수 량(회)	14	24	4	42

결과활용	• 실내시험결과를 통해 얻어진 물성치간의 상관관계를 분석하여 데이터의 신뢰성을 판단 • 설계지반정수 산정시 활용

3.2.2 절리면 전단시험

기본방향
- 터널 및 비탈면 구간 암석 절리면의 건조/포화시 최대, 잔류전단강도 등의 절리특성 값 산정
- JCS, JRC, K_s, K_n 측정

시험 방법

- 암석의 전단면이 절리면과 일치하도록 하여 장축방향으로 시험을 실시
- 시험시 전단변위의 속도는 10분 동안 0.1mm/min보다 작아야 한다.
- 전단시에는 0.5~6.0mm 변위마다 측정 실시
- 변위의 측정값들은 평균전단변위(Δs)와 평균수직변위(Δn)는 평균값을 계산
- 시험편이 일정한 수직응력하에서 전단되고 1cm의 전단변위에 대해 5% 이하의 전단응력의 변화를 보이는 측정값이 나타나면 잔류강도값 측정
- 전단응력 : $\tau = \frac{P_s}{A}$, 수직응력 : $\delta_n = \frac{P_n}{A}$

  여기서, P_s : 전체 전단하중(kgf) , P_n : 전체 연직하중(kgf) , A : 전단면적(kgf)

적용현황

구 분	터 널 구 간	교 량 구 간	토공구간	합계
수 량(회)	1	–	1	2

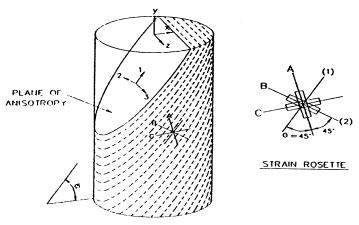
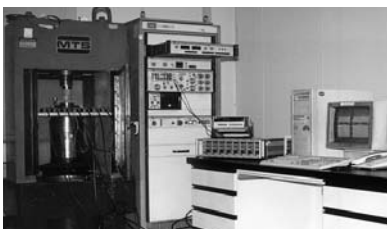
결과활용
- 최대잔류강도와 수직응력의 관계로부터 절리면 점착력과 내부마찰각을 측정
- JCS와 JRC등의 절리 강도값을 분석하여 설계 자료로 활용

3.2.3 이방성 시험

기본방향
- 암석의 생성원인, 절리상태, 풍화정도, 지하수, 초기응력상태 등의 영향에 따른 암반의 이방성 파악

시험 방법

- 층리면에 수직되고 시험편의 중앙높이 지점에서 A, B, C 세 방향의 strain(B는 경사와 일치하는 방향, A 및 C는 B의 좌우측 각각 45° 방향)을 측정하였는데, 측정의 신뢰도를 확보하기 위하여 층리면에 수직이며 시험편 중앙높이 지점은 2개(그림의 정면과 배면) 뿐이므로 2개의 Strain Rosette를 사용하여 6개의 Strain(A, B, C 및 E, F, G)을 측정하였다. 그리고, 층리면에 수평한 지점(그림의 좌측면)에 시험편 가로축에 수평한 방향에 제4의 Strain(D 또는 ε_D)을 측정

모식도	시험전경	적용 현황
		터널구간 1개소

결과활용
- 이방성 탄성계수를 산정하여 터널 수치해석 입력 자료로 활용

3.2.4 삼축압축시험

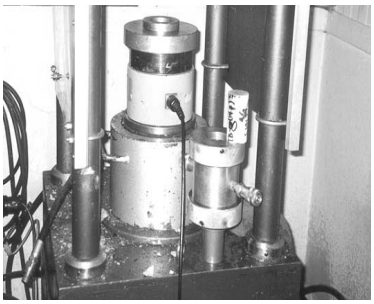
기본방향	• 채취된 암편의 점착력 및 내부마찰각 파악 • 암반의 실제 응력상태와 가장 유사한 결과를 도출하여 각종 시험결과와 상관관계 및 강도정수 산정시 보정치로 활용

○ 시험원리 및 방법

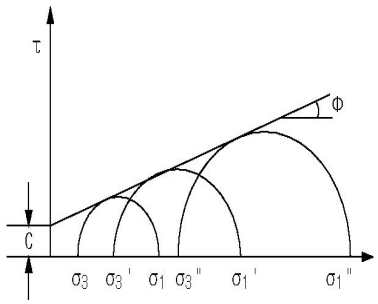
- 시험법은 KS F와 ASTM의 시험법과 ISRM규정을 적용
- 삼축압축 및 삼축신장 조건하에서 변형거동은 구속압, 하중강도, 온도, 함수상태, 시험편의 크기 등에 좌우됨
- 삼축시험은 지반의 토질역학적 거동을 예측하기 위하여 지반의 전단강도를 구하는 시험으로 응력조건과 배수조건을 임의로 조절할 수 있음
- 현장지반의 응력이력이나 구속압력 및 압밀압력을 재현하여 시험할 수 있기 때문에 신뢰도가 큰 시험결과를 얻을 수 있음
- 압력실 압력 σ_3를 다르게 하여 수행한 최소 3개의 시험결과를 Mohr 의 응력원으로 표시하고 이 원들의 공통 접선으로부터 파괴포락선을 구하여 그 기울기인 내부 마찰각(ø)과, 그 절편인 점착력(c)을 구함
- 동일한 성질을 갖는 3~4개의 시험편에 지중의 응력상태를 고려, 측압 및 축하중을 증가시켜 최대 삼축압축응력의 변화를 구하는 시험

○ 시험장비 및 암석시료

삼축압축시험 장비



Mohr의 응력원



시험 후 암석 시료

시험명칭	시험결과치	시험결과의 이용	표 준 방 법		
			KS F	ISRM	ASTM
삼축압축시험	점착력(c) 내부마찰각(ø)	현지암석의 변형파괴 특성	–	○	D2664

○ 적용현황

구 분	터 널 구 간	교 량 구 간	토공구간	합계
수 량(회)	2	–	2	4

결과활용	• 산정된 점착력 및 내부마찰각을 이용하여 수치해석시 설계지반정수산정에 활용 • 암석의 파괴 특성 파악

3.2.5 인장시험

기본방향	• 원주상 공시체에 지름방향으로 원주의 측면에서 선하중을 가하여 압열시켜 간접적으로 암석의 인장강도를 구하는 시험 • 시험용 시편을 직경방향으로 가압하여 파괴를 유도하고 탄성학적으로 해석하며 인장강도 계산 • 간접 인장시험, 압열인장시험인 Brazilian 시험으로 인장강도를 측정

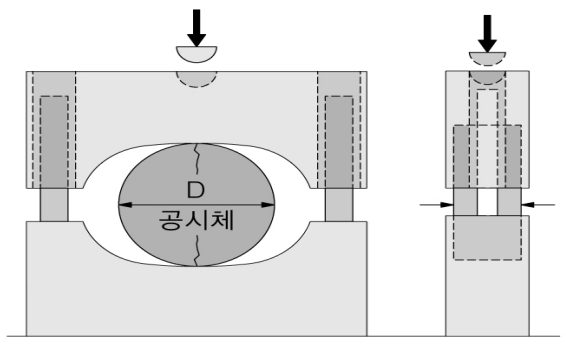
○ 시험원리 및 방법

- 직접인장시험은 공시체의 성형이 상당히 어렵기 때문에 주로 간접인장시험(Brazilian Test)을 활용
- 압열인장 시험편의 형태는 원주형이고 Core를(직경 : 높이=1 : 0.5~0.8), 직경은 20~100mm, NX크기(코어직경 54mm) 이상으로 절단한 후 압축시험용 시편과 같은 방법으로 성형
- 시험편의 상하 직경방향으로 선하중이 가해질 때 시험편 중앙부에, 압축하중에 의해 중앙수직축 상에는 수평방향으로 인장응력이 발생하고 이 수직축선상으로 인장파괴가 일어남
- 디스크 절단면에 평행한 방향으로 코어의 원주곡면부에 가압하여 파괴시하중과 시험편 규격으로부터 인장강도(S_t)를 구함
- 이때, 파괴하중을 P(kgf)라 하고 시험편의 직경과 길이를 각각 D(cm), L(cm) 이라 할 때 인장강도 S(kgf/㎠)는 다음 식으로 구함

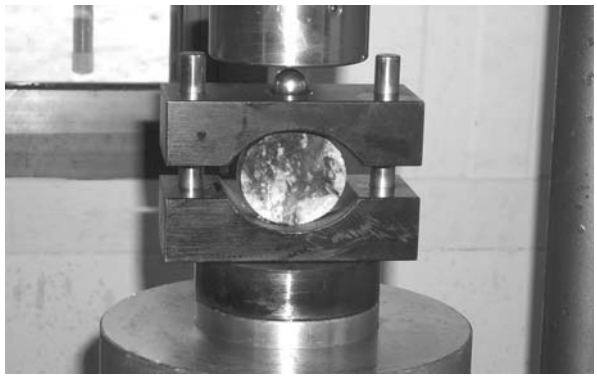
$$S_t = \frac{2p}{\pi DL}$$

– S_t : 인장강도, P : 파괴하중, D : 시험편의 직경, L : 시험편의 길이

모식도



시험전경



○ 적용현황

구 분	터 널 구 간	교 량 구 간	토공구간	합계
수 량(회)	2	–	2	4

결과활용	• 각종 시험결과와 상관관계 분석 및 강도정수 산정시 보정치로 활용 • 일축압축강도(σ_c)와 함께 Mohr 원을 그려 암석의 전단강도를 결정 • 터널에서 인장력에 의한 파괴시 기준으로 활용

3.2.6 점하중시험

기본방향	• 시험의 종류로는 Diametral test, Axial test, Block or irregular lump test가 있음 • 실내암석시험을 통한 일축압축강도와의 상관관계를 도출하여 본 설계지반의 강도분포 산정 • 사업구간의 일축압축강도 분포를 통한 암반분류의 기초자료로 활용

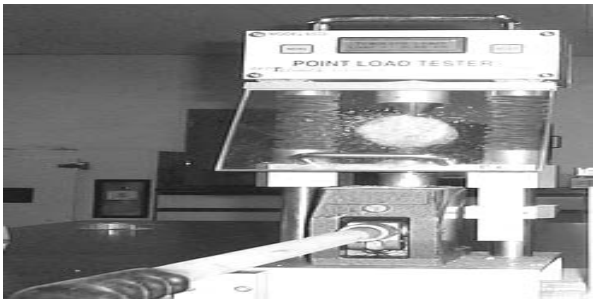
○ 시험원리 및 방법

- 시추에 의한 암석시료에 점하중을 가하여 시료내에 인장력을 유발시켜 암석이 파괴에 이르도록 하는 시험 방법으로 이 결과를 이용하여 일축압축강도를 산출
- 일반적으로 암석의 인장강도는 일축압축강도의 1/10~1/15 정도로 매우 작은데 점하중강도와 일축압축강도와는 비교적 양호한 상관관계를 나타냄
- 암석의 압축강도를 추정하기 위하여 이러한 특성을 이용하여, 암반의 분류(RMR분류)시 암석의 강도를 점하중 시험치로 이용
- 시료의 직경 D는 상하 Point간의 거리로, 이 때 직경단위를 일치시키기 위하여 Inch 단위로 환산한 후 점하중지수(Point Load Index : Is)를 산정
- 이 값은 시료의 크기와 형태에 따라서 변화가 크기 때문에 이를 극복하기 위하여 시료크기와 형태에 따라 보정(ISRM, 1985)하여 사용
- Point Load Index Is_{50}은 다음과 같은 식을 이용하여 구함

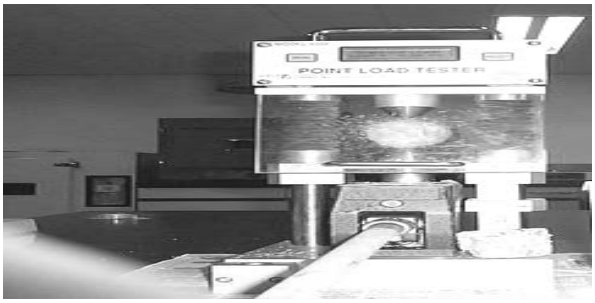
$$Is_{50} = F \cdot Is$$

여기서, Is_{50} : 보정한 Point Load Index Is_{50}(MPa)　　F : 보정 계수
Is : 보정전의 Point Load Index (MPa)

점하중 시험(파괴 전)



점하중 시험(파괴 후)



시험명칭	시험결과치	시험결과의 이용	표 준 방 법		
			KS F	ISRM	ASTM
점하중강도 시험	점하중강도	암석의 강도지수, 암반분류	–	○	

○ 적용현황

구　　분	터 널 구 간	교 량 구 간	토공구간	합계
수　　량(회)	45	22	16	83

결과활용	• 실내시험결과를 통해 얻어진 물성치간의 상관관계를 분석하여 데이터의 신뢰성을 판단 • 설계지반정수 산정시 활용 • 일축압축강도와 점하중 강도와의 관계 규명 • 점하중강도 Is_{50}을 통해 시료성형이 어려운 시편의 일축압축강도값 추정에 활용

3.2.7 공진주시험

기본방향	• 탄성파 전달이론에 근거하여 탄성영역에서 암석의 탄성계수(Young's Modulus), 전단탄성계수(Shear Modulus of Elasticity)와 감쇠비(Damping Ratio)를 구하여 내진 설계시 입력 자료로 제공

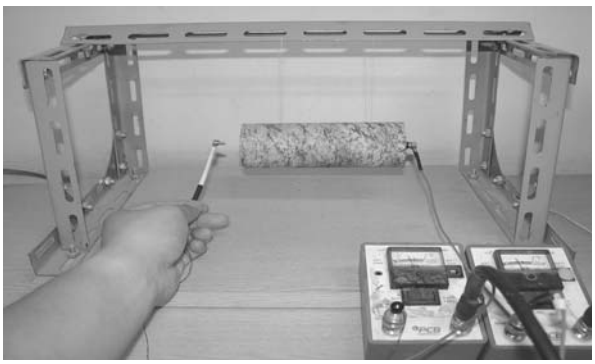
시험원리 및 방법

- 주파수응답곡선을 이용한 전단파속도와 감쇠비 결정
  - 주파수응답곡선으로부터 공진주파수를 결정하여 전단파속도 및 전단탄성계수를, 공진주파수에서 측정된 가속도계의 진폭크기로부터 전단 변형율 결정
- 자유진동감쇠곡선을 이용한 감쇠비 결정
  - 오실로스코프로 신호발생기의 Burst모드기능을 이용하여 자유진동감쇠현상을 만들어내고 이에 얻어지는 감쇠곡선으로부터 감쇠비를 계산
- 시편을 공기중에 양단자유조건(양단자유-공진주 시험 FF-RC; Free-Free Resonant Column)이 되도록 하고, 구속압을 재하하지 않은 상태에서 시험을 수행 압축파 및 전단파 발생시의 시간영역 반응곡선 획득
- FFT(Fast Fourier Transform) 변환을 실시하여 주파수영역(Frequncy Domain) 반응곡선으로 주파수를 측정
- 측정된 주파수 반응곡선으로부터 공진주를 측정하여 탄성계수, 전단탄성계수, 감쇠비를 계산
- 공진주 파수로부터 압축파속도 : $V_c = f_1 \cdot \lambda$ (f_1 = 1차 모드 공진주 파수, λ = 1차 모드 파장 길이)
- 감쇠비(D) : $D = \frac{1}{2} \times \frac{f_2 - f_1}{fm}$
  - 주파수 반응곡선에서 Half-Power Bandwinth Method를 이용하여 결정

(여기서, D = 감쇠비, f_m = 1차 모드 공진주 파수, f_1, f_2 = 공진주 파수에서 진폭의 0.707배에 해당하는 주파수)

시험 장치

탄성파 발생



적용현황

구 분	터 널 구 간	교 량 구 간	토공구간	합계
수 량(회)	1	–	–	1

결과활용	• 전단변형률 크기에 따른 지반의 동적 물성치(전단파속도(V_s), 전단탄성계수(G), 전단변형률(γ), 감쇠비(D)의 변화를 측정 • 동적 지반 특성 파악 및 내진설계를 위한 입력 지반정수로 활용

3.2.8 AE/DRA시험

기본방향	• 현지암반의 초기응력상태 파악 및 측압계수 산정

○ 시험원리 및 방법

▪ AE(Acoustic Emission, 음향 방출법)

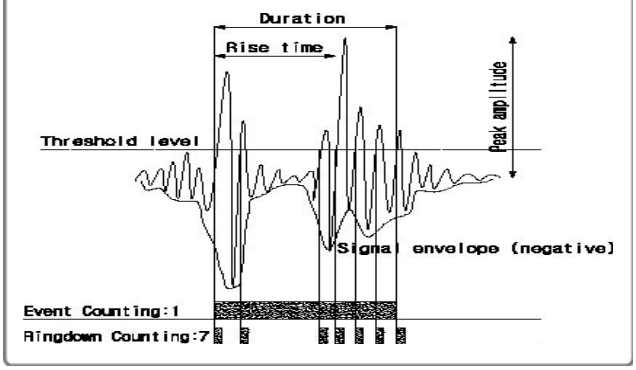
- 미소파괴음 신호는 재료의 손상과 관련된 갑작스런 변형에너지 방출시에 발생하는 탄성파로서, 대부분이 결정 및 교결 입자들로 파괴면의 형성과 함께 각종 에너지가 발생하는데 이러한 에너지 방출의 한 형태로서 발생하는 탄성파가 미소파괴음으로 매질내를 전파하여 재료의 표면에 부착된 압전재료 형태의 AE센서에 도달하여 전기적 신호로 변화되어 취득
- AE 계수(Ringdown Count) : AE 타격음이 검출한계를 교차한 횟수. 미소파괴음 신호의 세기에 대한 평가기준
- AE 에너지(PAC 에너지) : 지속시간동안의 AE Hit 파형 포락선 밑의 면적에 해당하는 측정값으로, Duration과 진폭에는 민감하고, 검출한계 설정값이나 구동 주파수에는 덜 의존적이기 때문에 AE 계수보다 더 많이 사용

▪ DRA(Deformation Rate Analysis, 변형율 변화법)

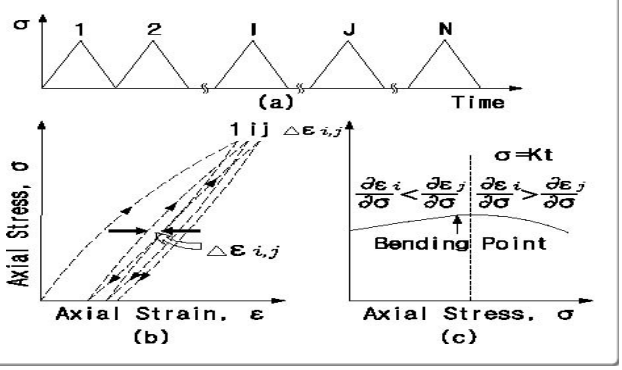
- DRA 방법에서는 두 번이상의 주기압축하중을 시료에 가하여 주기별 편차변형을 측정, 주기하중 시험을 통해 얻은 축방향 변형률의 차와 응력과의 관계를 나타내는 그래프에서 변곡점을 나타내고 변곡점에서의 응력이 암반의 현지응력을 나타냄
- Yamamoto(1991)에 의해 제안

  a) 재하방법 b) 변형률 차의 표시 c) 변곡점의 표시
- 암석내의 응력분포의 비균일성은 현지응력상태하에서 가장 최소화된다는 가정, 그리고 응력비균일성의 증가에 따라 비탄성변형율과 그 변형율 속도는 증가한다는 가정하에서 DRA를 통한 현지응력추정이 제안됨

AE결과 모식도



DRA결과 모식도



○ 적용현황

구 분	터 널 구 간	교 량 구 간	토공구간	합계
수 량(회)	1	–	–	1

결과활용	• 암반의 초기응력 및 측압계수에 대한 수치해석 입력치 산정에 활용 • 수압파쇄시험 결과와 연계하여 결과의 보정 및 미시험 구간에 대한 추정 자료로 활용

3.2.9 암유용성시험

기본방향	• 터널내 암버력 및 입·출구부, 비탈면 굴착시 발생하는 암석의 유용여부 판단 • 시공시 발생되는 발파암에 대하여 쌓기 재료와 구조물 및 포장용 골재로서의 사용 가능성 여부를 검토하여 보다 경제적인 시공이 이루어질 수 있도록 사용 가능성 여부 판단

○ 시험 기준

구 분	시 험 기 준	구 분	시 험 기 준
비중 및 흡수율	KS F2503	안정성 시험	KS F2507
마 모 시 험	KS F2508	알칼리골재반응 시험	KS F2545

○ 시방기준

시험 종목	골재구분	품질기준		비고
		콘크리트용	포장용	
비중	조골재	2.5 이상	2.5 이상	
	세골재	2.5 이상		
흡수율	조골재	3.0 이하	3.0 이하	
	세골재	3.0 이하		
마모율(%)	조골재	40 이하	40이하 35이하 25이하	기층(빈배합 콘크리트 기층) 표층(아스팔트 콘크리트포장) 표층(시멘트 콘크리트포장)
안정성(%)	조골재	12.0 이하	12.0 이하	황산나트륨 사용
	세골재	10.0 이하		
알 칼 리 골 재 반 응		무 해		

○ 적용현황

구 분	터 널 구 간	교 량 구 간	토공구간	합계
수 량(회)	1	–	–	1

결과활용	• 터널 굴착으로 발생하는 암의 유용성 여부를 판단 • 쌓기재, 포장재, 콘크리트 골재로서 사용 가능성 여부 판단

제3편 예비조사

제1장 인근자료 분석

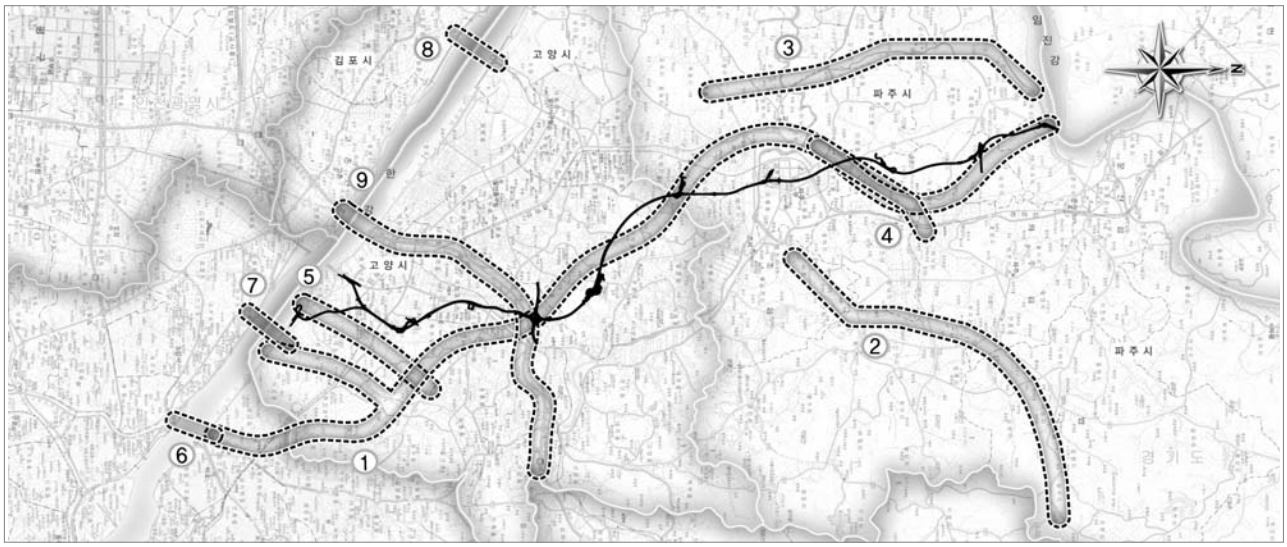
제2장 예비조사 성과분석

제 1 장 인근자료 분석

1.1 기존 및 인근지역 자료 분석

기본방향	• 사업구간 및 인근지역의 건설공사 또는 교량 설계시 시행된 지반조사 및 실내시험 결과 반영 • 사업구간 지질 및 지반특성을 파악하여 조사항목 도출 및 설계에 반영

○ 조사자료 현황도



○ 조사자료 현황

조사구역	조사 이용 자료
①	• 서울~문산 고속도로 민간투자 시설사업 지반조사보고서(2007.8)
②	• 조리~법원 도로건설공사 실시설계보고서(2005.12)
③	• 문발~낙하간 도로 확포장공사 일반보고서(2004.9)
④	• 금촌~월롱간 도로 확포장공사 실시설계 토질조사보고서(2004.2)
⑤	• 강매~원흥간 도로 개설공사 실시설계 종합보고서(1999.5)
⑥	• 서울외곽순환고속도로 건설공사(1, 2공구) 토질조사보고서(1997.12)

1.1.1 기존조사 자료 분석

○ 서울~문산 고속도로 민간투자시설사업 지반조사보고서(2007.8)

조 사 내 용	분 석 내 용
• 시추조사 113공 (터널 15공, 교량 72공, 깎기 6공, 쌓기 12공, 토취장 8공) • 전기비저항 2,000m • 탄성파탐사 6,510m(터널부, 깎기부, 교량부) • 공내영상촬영 7회 • 공내전단시험 8회 • 공내재하시험 34회 • 하향식탄성파탐사 5공 • 절리면전단 6회, 삼축압축 9회, 암유용성 5회	• 토성분류시 대부분 SM으로 나타남(부분적 ML, CL분포) • 하천주변으로 점성토 연약지반 출현(4개 구간) – 층후 : 1.0~3.3m, – 토성 : ML, CL • 창릉천교 지지층 : 연암 GL(–) 15.0~19.4m에 분포 – 기초형식 : 말뚝기초, 현장타설말뚝 • 터널통과구간 암반등급 – 문봉터널 : 2~3등급, 금촌터널 : 2~3등급

1.1.2 인근지역 조사 자료 분석

○ 조리~법원 도로건설공사 실시설계보고서(2005.12)

조 사 내 용	분 석 내 용
• 시추조사 77공(터널 4공, 깎기 12공, 교량 58공, 쌓기 2공, 토취장 1공) • 시험굴조사 16개소(깎기부 15개소, 토취장 1개소) • 핸드오거보링 22개소(쌓기부) • 탄성파탐사 1,555m(터널부 550m, 깎기부 1,005m) • 전기비저항탐사 720m(터널부) • 공내영상촬영 4회(깎기부) • 공내재하시험 11회(터널부 4회, 교량부 7회) • 공내전단시험 깎기부 5회 • 토질/암석시험 1식	• 토성분류시 대부분 SM으로 나타남(부분적 ML, CL분포) • 대능1교 지지층심도 : 2.5~16.5m – 기초형식 : 강관말뚝기초(시점 교대부 및 본선구간), 직접기초(본선구간 및 종점 교대부) • 깎기/쌓기(10/12개 구간) 비탈면 해석결과 일부 깎기 4개 구간에서 불안정한 것으로 해석됨 • 깎기부 일부구간 무한사면 형성 • 터널통과구간 암반등급 – 호명터널 : 3~5등급

○ 문발~낙하간 도로 확·포장공사 일반보고서(2004.9)

조 사 내 용	분 석 내 용
• 시추조사 15공(교량 2공, 쌓기 13공) • 시험굴조사 5개소 • 토질/암석시험 1식	• 토성분류시 대부분 SM, GW로 나타남(부분적 CL분포) • 지지층심도 : 33.0m 이상

○ 금촌~월롱간 도로 확·포장공사 실시설계 토질조사보고서(2004.2)

조 사 내 용	분 석 내 용
• 시추조사 9공(교랑 7공, 깎기 2공) • 시험굴조사 3개소 • 핸드오거보링 4개소 • 토질/암석시험 1식	• 토성분류시 대부분 SM, GW로 나타남(부분적 CL분포) • 덕은3교 지지층심도 : 4.0~8.0m – 기초형식 : 강관말뚝기초, 직접기초 • 깎기/쌓기(2/1개 구간) 비탈면 해석결과 모두 안정한 것으로 해석됨

○ 강매~원흥간 도로 개설공사 실시설계 종합보고서(1999.5)

조 사 내 용	분 석 내 용
• 시추조사 54공 (깎기 3공, 지하차도 6공, 교량 42공, 쌓기 3공) • 핸드오거보링 7개소 • 시험굴조사 5개소 • 토질/암석시험 1식	• 토성분류시 SM, GP, ML, CL로 나타남 • 강매교 지지층심도 : 22.5~25.0m – 기초형식 : 강관말뚝기초 • 깎기/쌓기(2/7개구간) 비탈면 해석결과 일부 쌓기 1개 구간 불안정한 것으로 해석됨

○ 서울외곽순환고속도로 건설공사(1, 2공구) 토질조사보고서(1997.12)

조 사 내 용	분 석 내 용
• 1공구 – 시추조사 123공(교량 104공, 깎기 14공, 성토 5공) • 2공구 – 시추조사 94공(교량 83공, 깎기 11공) – 핸드오거보링 14개소 – 시험굴조사 6개소	• 매립층, 충적층(SC, CL, SM, GM), 풍화대 및 기반암 • 성사2교 지지층심도 : 3.7~9.3m – 기초형식 : 직접기초 • 새말교 지지층심도 : 5.0~9.4m – 기초형식 : 직접기초(교각), 강관말뚝기초(교대) • 벽제교 지지층심도 : 2.3~9.7m –기초형식 : 직접기초

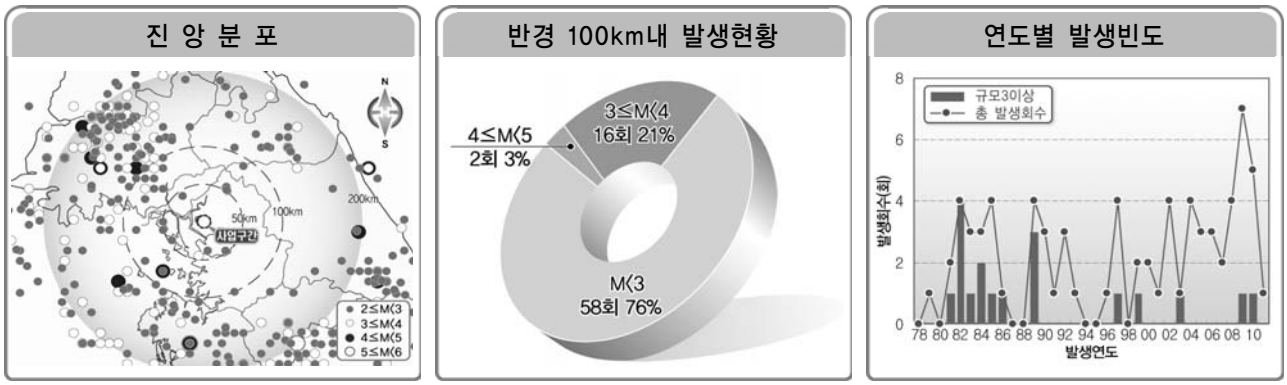
제 2 장 예비조사

2.1 주변 환경 조사 및 분석

2.1.1 지진이력 조사

기본방향	• 지진의 발생빈도 및 규모와 과거의 통계분석을 통한 지반 공학적 위험요소 파악 • 지진재해에 취약한 구조물 등에 대한 상대적인 지진위험도 저감 효과와 장기적 안전성 확보

○ 지진이력 현황



○ 사업구간 주변지역(서울 · 경기)에서 발생한 대표 지진이력

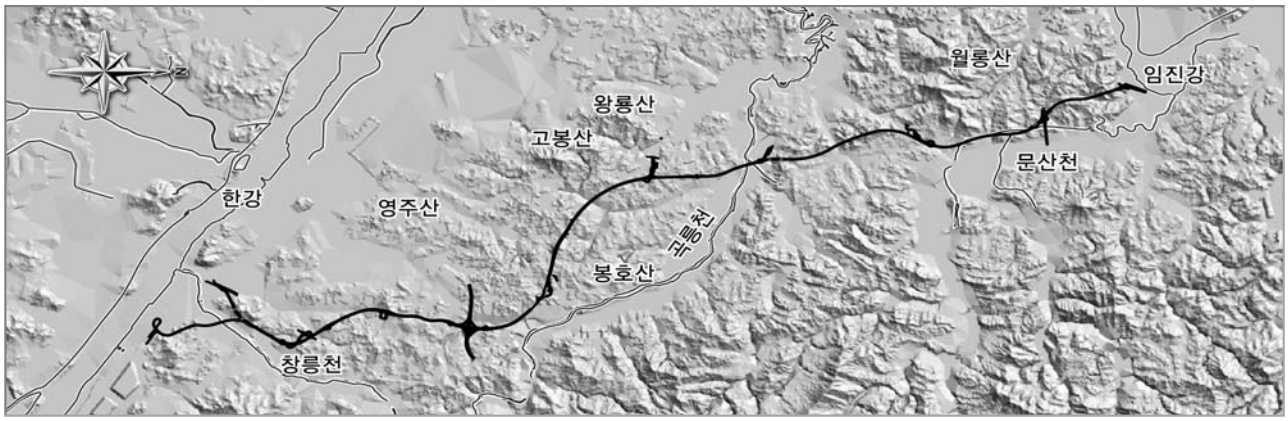
발 생 일 시	규 모(M)	발 생 위 치		진 앙 지
		위 도	경 도	
1984.06.25	2.2	37.00 N	126.80 E	경기도 남부 아산만 지역
1985.01.22	2.1	37.70 N	127.00 E	서울 북방 약 85km 지역
1986.08.11	3.5	37.10 N	126.00 E	경기도 덕적도 남서 해역
1990.06.14	2.3	37.50 N	127.10 E	서울 동부 지역
1992.09.05	2.7	37.00 N	126.80 E	경기도 평택시 서부해안 지역
1992.11.25	2.6	37.70 N	126.40 E	경기도 강화도 중부 지역
1993.03.11	2.8	37.50 N	124.80 E	경기도 옹진군 소청도 해역
1993.06.12	2.7	37.50 N	125.50 E	경기도 소연평도 남서쪽 25km 해역
1997.11.09	2.5	37.80 N	126.80 E	경기도 파주 북쪽 약 5km 지역
1999.06.09	2.6	37.70 N	125.80 E	경기 대연평도 북동쪽 약 10km 해역
2000.10.28	2.7	37.10 N	126.70 E	경기도 수원 남서쪽 약 30km 해역
2001.02.10	2.0	37.10 N	127.60 E	경기 여주 남쪽 약 20km 지역
2002.03.25	2.4	37.10 N	127.20 E	경기 용인 남쪽 약 10km 지역
2004.09.15	2.5	37.50 N	126.90 E	경기 광명시 북동쪽 약 5km 지역
2008.03.15	2.0	38.11 N	127.10 E	경기 연천군 북동쪽 3km 지역
2008.09.11	2.4	38.08 N	127.12 E	경기 연천군 동남동쪽 4km 지역
2008.10.08	2.1	38.12 N	127.11 E	경기 연천군 북동쪽 4km 지역
2009.03.26	2.7	38.09 N	127.11 E	경기 연천군 동쪽 3km 지역
2010.02.09	3.0	37.45 N	126.80 E	경기 시흥시 북쪽 8km 지역

분석결과	• 사업구간 주변(100km이내)에 발생한 지진은 총 76회이며 연평균 2.2회 발생 • 지진발생빈도는 시간에 따라 점차 증가하는 경향을 보임

2.1.2 지형특성 분석

기본방향	• 사업구간 노선 선정시 주요 구간에 대한 토질 및 지질공학적인 자료 획득 • 산계 및 수계 등 지형특성에 따른 분포 암종 및 지질구조를 파악하는 1차적 자료로 활용

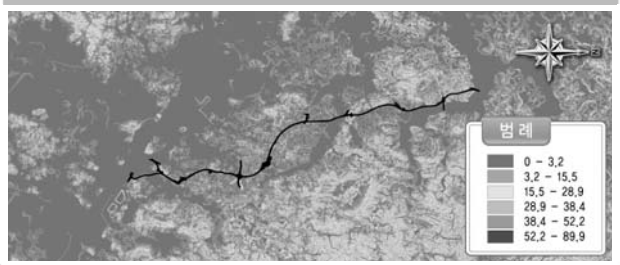
○ 산계 및 수계 분석



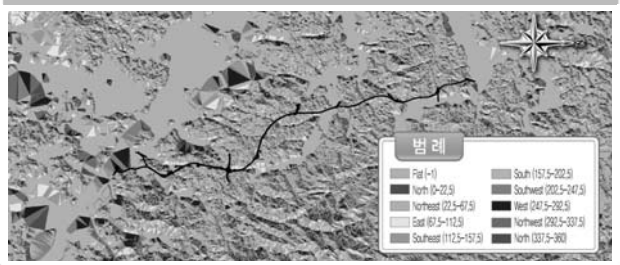
산 계	• 사업노선이 통과하는 지역은 영주산–고봉산–왕룡산–월롱산을 잇는 북북서방향의 산능 발달 • 공릉천을 경계로 남측은 구릉지성 저산능이 발달하고, 북측은 월롱산등 비교적 고산능 발달
수 계	• 사업 시점부의 한강과 사업 종점부의 임진강이 있으며, 1차 지류로는 창릉천, 공릉천, 문산천이 분포 • 창릉천과 공릉천은 직선상의 유로를 형성하여 한강에 유입되고, 문산천은 직선~곡류형 유로를 형성하여 임진강에 유입 • 사업구간이 통과하는 구간은 대부분 저산능 지역으로 수지상 수계로, 공릉천과 문산천에 유입

○ 지형 분석

경사도 분석



경사향 분석



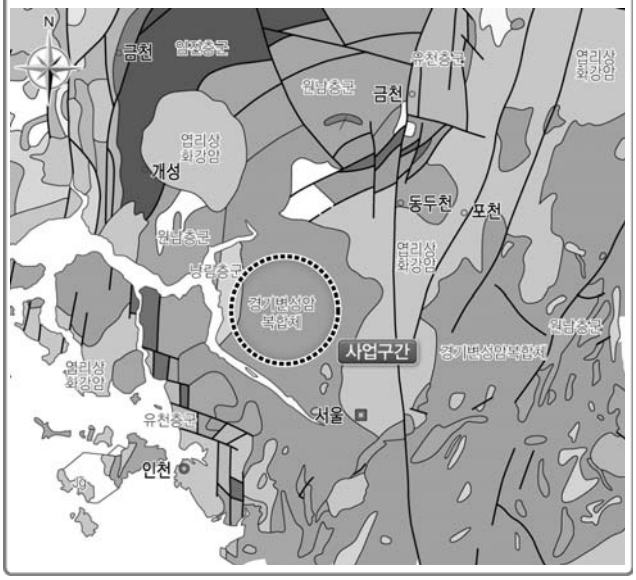
경사도(°)		경사향	
0.0~3.2	65.9%	0.0~22.5	39.1%
3.2~9.2	19.2%	22.5~67.5	6.6%
9.2~15.5	9.6%	67.5~112.5	7.5%
15.5~21.8	2.9%	112.5~157.5	7.4%
21.8~28.9	0.9%	157.5~202.5	7.4%
28.9~38.4	0.5%	202.5~247.5	7.9%
38.4~52.2	0.4%	247.5~292.5	8.5%
52.2~69.1	0.2%	292.5~337.5	8.5%
69.1~89.9	0.2%	337.5~360.0	7.2%

분석결과	• 사업구간의 경사방향은 고른 분포를 나타내며 경사도는 9.2 ° 이내로 완만한 상태를 보임

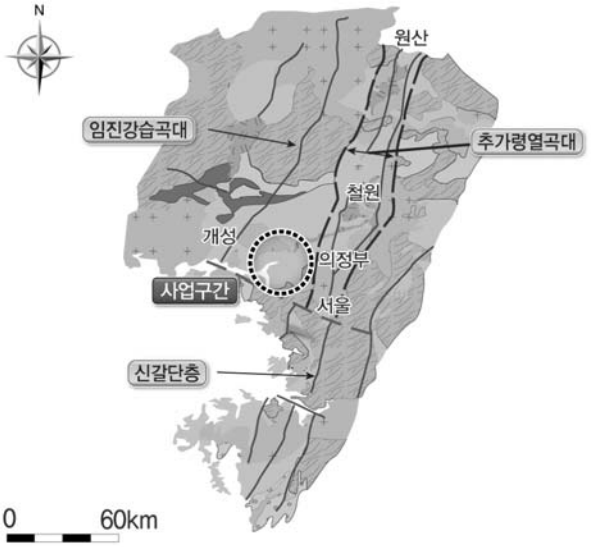
2.1.3 광역지질특성 분석

○ 광역지질분포 및 지체구조 특성 분석

광역지질분포 특성



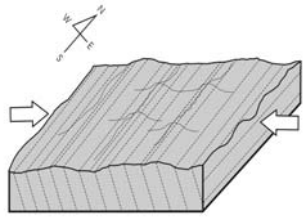
지체구조 분석



- 사업구간의 광역지질은 대부분 경기변성암복합체(편마암, 편암 등으로 구성)로 분포하며, 주변으로 강화도 부근의 원생대 원남층군과 동두천, 포천 부근 중생대 엽리상화강암이 분포
- 사업구간은 원산에서 서울까지 이어지는 북북동 방향의 추가령 열곡대 서측에 위치하며, 지체구조상 안정된 경기육괴에 해당되어 지질구조대(대규모 단층, 파쇄대 등)의 영향은 적음

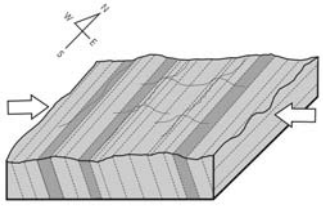
○ 지질변천사

1단계



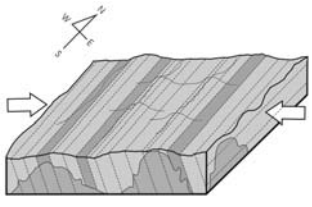
- 변형작용 및 변성작용에 의해 흑운모편마암 형성

2단계



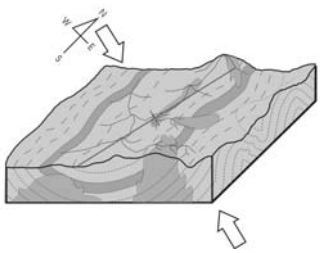
- 변성작용 동안 열수순환작용이 활발하여 석회규산염암 분포

3단계



- 심성암 관입 후 변성작용으로 우백질화강편마암 형성

4단계

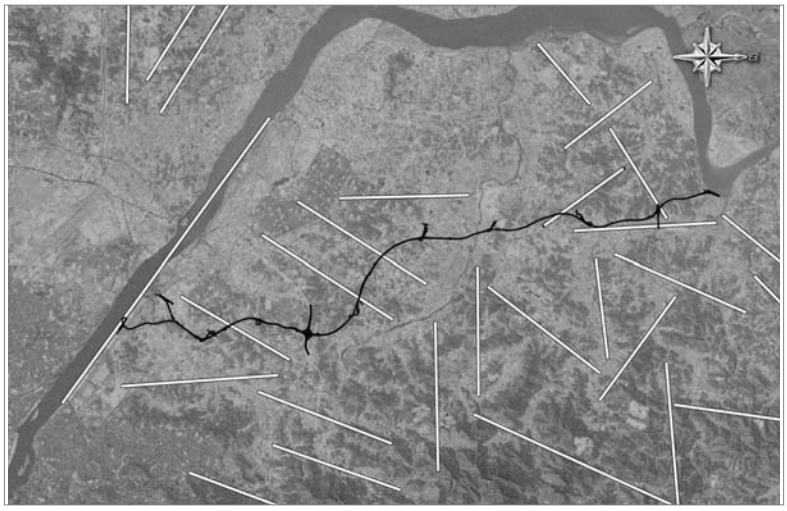


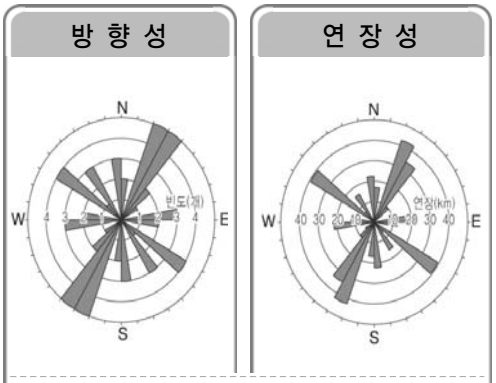
- 동-서방향의 응력에 의해 NE방향의 습곡 발달

2.1.4 선구조 분석

기본방향	• 광역 선구조 분석을 통해 사업구간에 발달하는 선구조의 방향성 및 특성 파악 • 단층 파쇄대의 특성과 위험요인을 예측하고 지반공학적 자료 습득 • 지표지질조사 계획수립을 위한 자료로 활용

○ 위성영상 분석



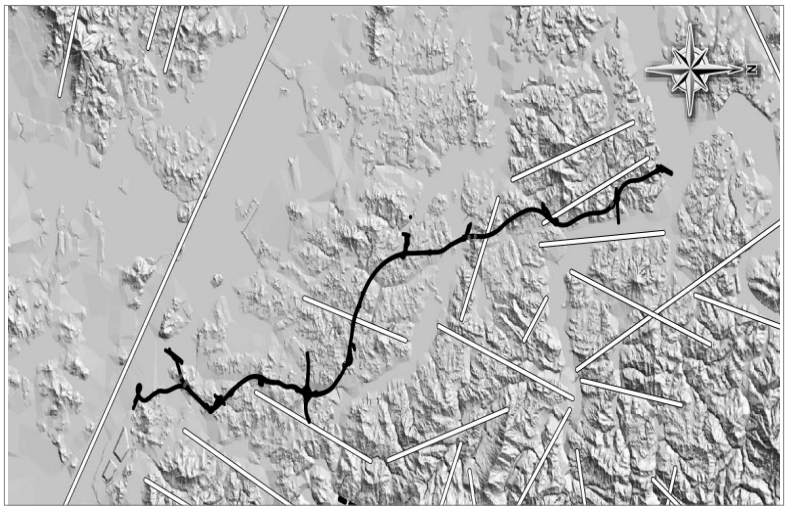


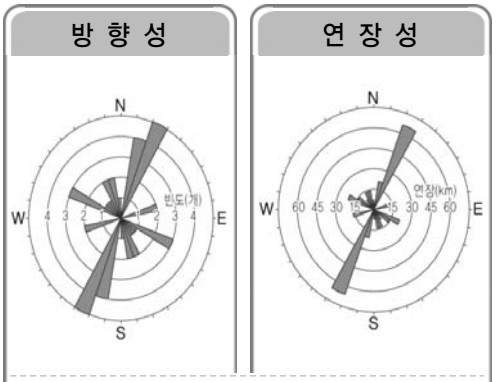
• Set 1 : N20~40E • Set 2 : N50~60W
• Set 3 : N10~20W • Set 4 : N30~40W

분석결과	• 한강을 따라 N30E방향의 선구조 발달 및 연장성 크게 나타남 • 주요 선구조는 N20~40E로 나타나며, N50~60W, N10~20W 및 N30~40W 선구조 발달

○ 음영기복도 분석

• 위성영상에서 분광특성을 이용하여 선구조 판독이 용이하기도 하지만 광선방향에 따른 영향과 지표물질에 의한 영향으로 인해 선구조 판독에 불리한 경우가 발생할 수 있음
➜이를 극복하기 위해 음영기복도를 작성하여 선구조 판독에 활용

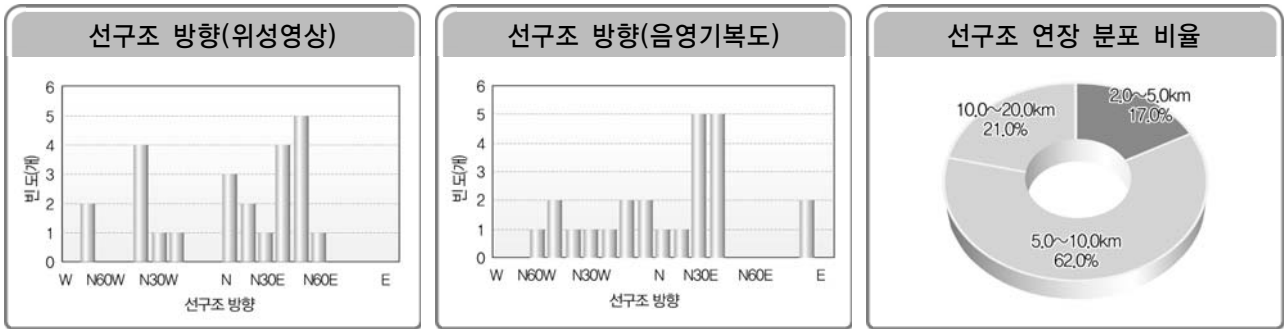




• Set 1 : N10~30E
• Set 2 : N60~70W
• Set 3 : N10~40W

분석결과	• 한강을 따라 발달하는 N20E 방향의 선구조와 이와 직각방향으로 발달하는 N60W방향 선구조 발달 • 선구조의 연장성을 고려한 방향은 N20~30E방향의 선구조가 빈도가 높게 나타남

선구조 빈도 및 연장성 분석

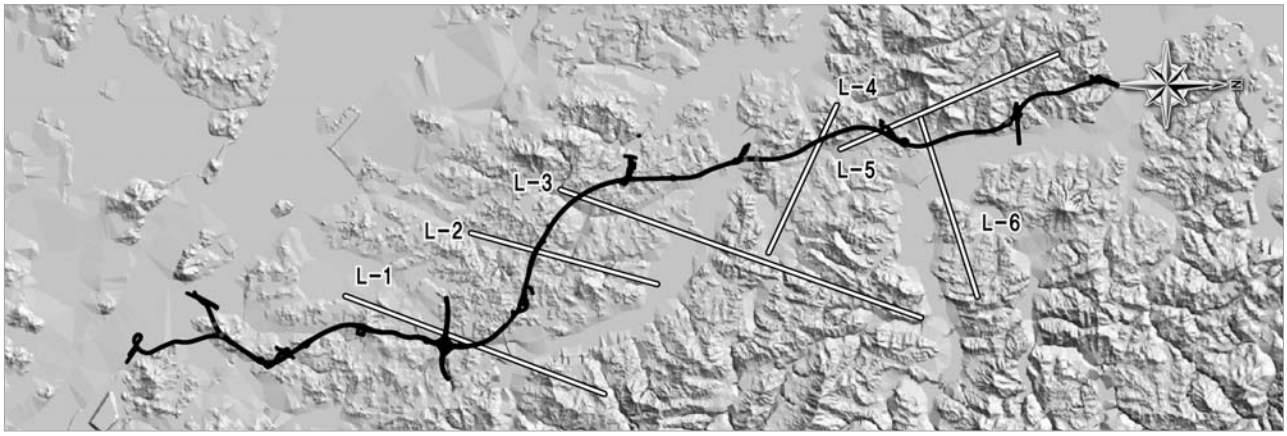


분석결과

- 위성영상과 음영기복도에서 관찰되는 선구조 방향은 유사하게 나타나며, N20~30E방향이 우세함
- 선구조의 연장은 5~10km가 62%로 가장 우세하고, 2~5km 17%, 10~20km 21%로 나타남

노선과 교차하는 선형구조 분석

- 지질도, 위성영상, 음영기복도를 종합 분석하여 사업구간에 형성된 선구조의 분포 특성 및 경향 분석
  ➜ 지반조사 계획 설정의 기초 자료로 활용
- 예비조사 단계에서 각종 정밀지반조사 지역 설정 및 노선결정의 보조수단으로 활용



노선과 교차하는 선형구조 특성

구 분	교차위치(STA)	방 향	교차각(°)	해당 구조물	비 고
L - 1	6+300	N20E	12	깎기부(휴게소)	
L - 2	13+200	N14E	87	쌓기부	
L - 3	15+130	N18E	66	쌓기부	
L - 4	21+640	N64W	66	금촌터널(종점부)	
L - 5	25+850	N22W	62	쌓기부	
L - 6	26+370	N82E	42	쌓기부	

분석결과

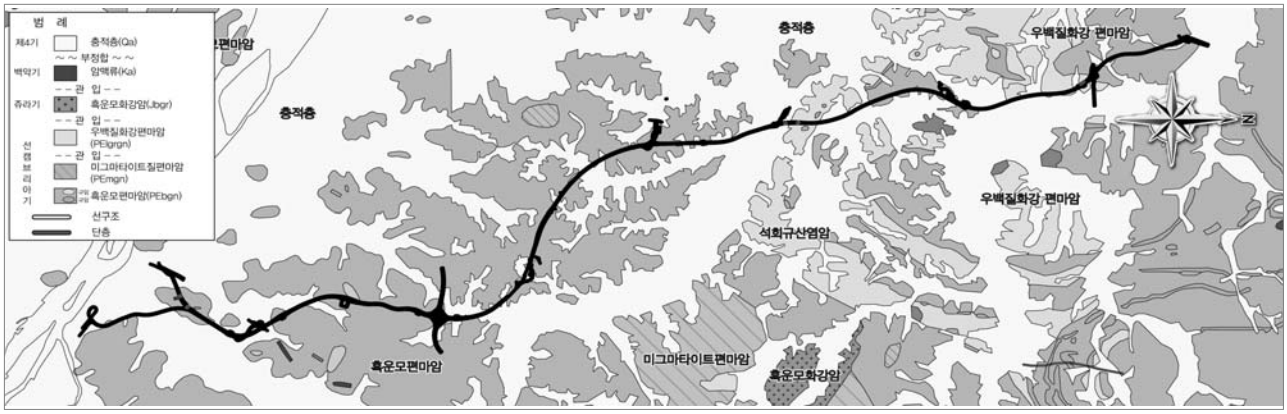
- 사업노선과 교차하는 선형구조는 총 6개로 관측되며, 시점~공릉천 구간은 N14~20E방향으로 서로 평행하게 분포하고, 공릉천~종점구간은 N22~64W 및 N82E 방향의 선형구조가 나타남
- 교차 선형구조는 깍기 및 쌓기구간에 위치하여 터널이나 교량 등의 구조물에는 영향이 없을것으로 판단됨

2.2 지표지질조사

2.2.1 지질분포특성 분석

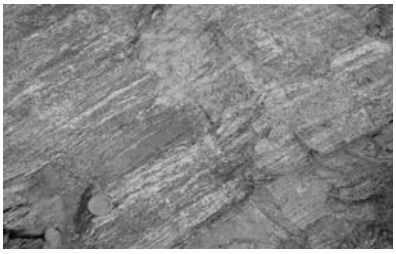
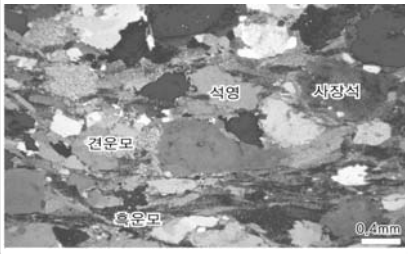
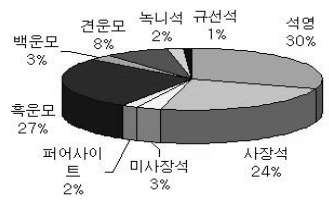
기본방향	• 사업구간은 흑운모편마암이 주된 암종으로 분포하며, 일부 구간은 화강암과 충적층이 분포 • 화강암은 사업구간 인근 지역에 관입되어 분포

○ 지질평면도



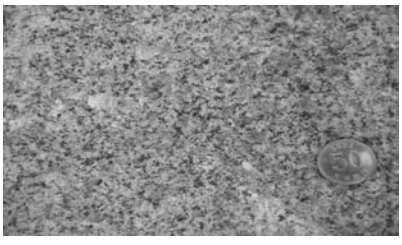
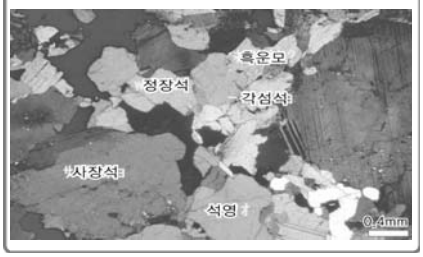
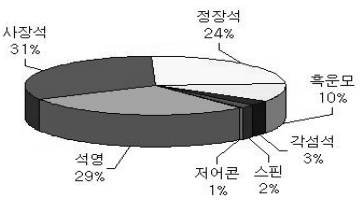
○ 분포 암종 및 특성 분석

■ 흑운모편마암

현장노두사진	박편사진	Modal 분석 결과
		

- 사업구간 대부분 지역에 분포하며, 변성과정에서 생성된 편리가 발달하여 이방성 특성이 있음
  ➜편리와 평행한 방향으로 강도는 약하고 변형이 크며, 수직인 방향으로는 강도는 강하고 변형이 적음
- 흑운모편마암은 풍화에 약함 ➜ 편리를 구성하는 유색광물들은 풍화에 취약한 광물임

■ 화강암

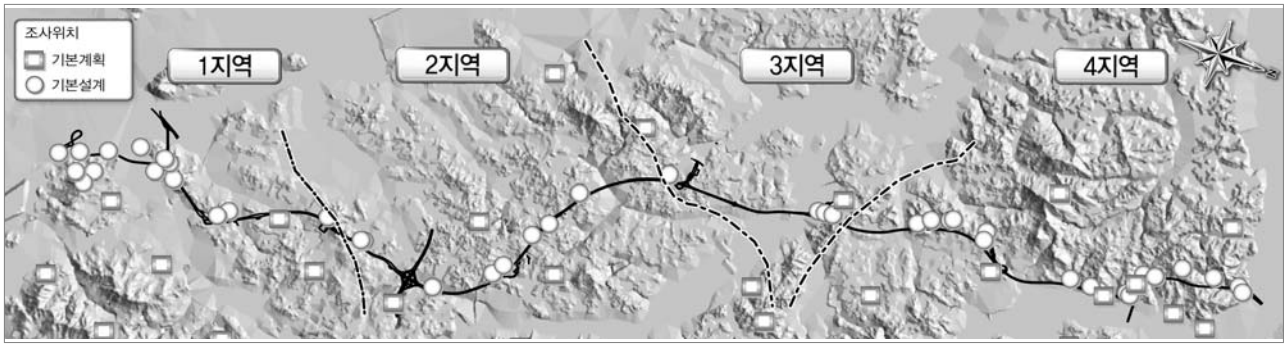
현장노두사진	박편사진	Modal 분석 결과
		

- 사업구간 시점 인근지역에 분포하며, 흑운모편마암을 관입
- 암석의 강도가 크고 입자간의 공극이 비교적 작아 하중이 가해지면 탄성변형에 가까운 변형 특성을 보임

2.2.2 절리특성 분석

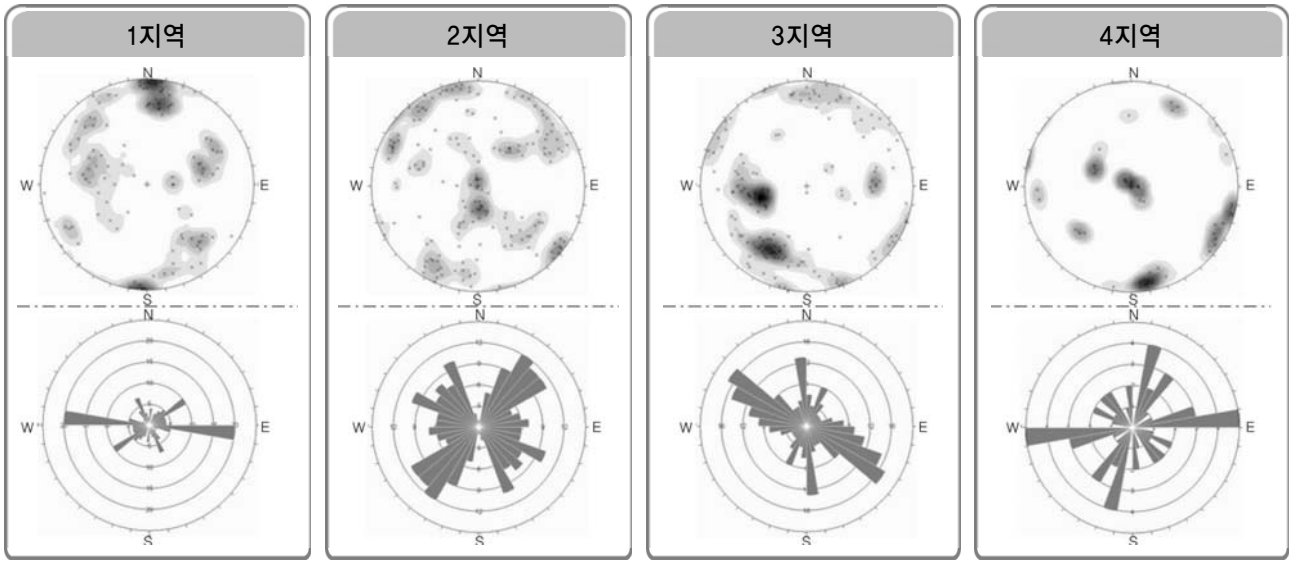
기본방향	• 깎기 및 터널구간을 대상으로 지표노두에서 불연속면의 방향 측정 및 절리군 요소 파악 • 대표 노두지점에서 절리군별 간격, 거칠기(JRC), 벽면강도(JCS) 등 절리면의 공학적 특성 파악

○ 조사위치도



○ 결과분석

구 분	지형적 특성	지질분포 특성	절리군 특성
1지역 (사업시점~5+600)	• 독립적 산능 발달 • 저산능의 구릉지성산지 발달	• 흑운모편마암 분포 • 편리발달, 부분적 안구상구조	• 고각 및 저각절리 발달 • EW주향 절리 발달
2지역 (5+600~15+500)	• 공릉천주변 구릉지성 산지 발달 • 산간 소계곡부 농경지대 발달	• 흑운모편마암 분포 • 편리발달, 부분적 호상구조	• 절리의 방향성 다양 • NE 내지 NW주향 절리 발달
3지역 (15+500~27+200)	• 독립적 산능 발달 • 공릉천주변 구릉지성 산지 발달	• 흑운모편마암 분포 • 편리발달, 부분적 안구상구조	• 35~60 저각절리 우세 • NW주향 절리 발달
4지역 (27+200~사업종점)	• 월롱산 측면부 통과 • 비교적 높은 산능지대 형성	• 흑운모편마암 분포 및 편리 발달 • 주변부 석회규산염암 분포	• 고각절리 우세 • NEE주향 절리 발달



분석결과	• 사업노선 인근 45개의 노두에서 측정한 절리 방향 분석결과, 지역별로 절리군이 상이하게 나타나며, 전반적으로 절리군은 고각의 2개 절리군과 저각의 1개 절리군 등 3개 절리군 발달 우세 • 1, 4지역은 절리군이 유사하게 나타나며, 2, 3지역은 다소 불규칙하게 분산되어 분포

조사위치별 절리 특성

구 분	절리방향(경사/경사방향)			절리간격(cm)			거칠기(JRC)			JCS(MPa)		
	Set 1	Set 2	Set 3	Set 1	Set 2	Set 3	Set 1	Set 2	Set 3	Set 1	Set 2	Set 3
S-1	45/058	62/318	78/188	10~20	5~10	5~20	6~8	8~10	8~10	25~45	20~50	28~35
S-2	20/270	88/200	–	5~10	10~30	–	12~14	10~12	–	40~55	22~48	–
S-3	62/235	12/125	78/332	10~30	10~20	5~10	10~12	12~14	8~10	30~64	25~55	28~63
S-4	65/246	40/045	88/070	5~10	10~30	20~30	8~10	6~8	6~8	33~50	35~62	20~55
S-5	35/150	88/188	78/150	5~10	10~20	20~30	6~8	8~10	8~10	35~75	38~65	50~68
S-6	20/254	83/176	60/232	10~20	10~30	10~20	8~10	12~14	12~14	22~65	20~42	30~56
S-7	38/080	86/085	80/178	5~10	30~50	5~10	10~12	8~10	8~10	25~48	20~50	22~36
S-8	88/040	82/302	50/115	5~20	20~30	10~50	8~10	8~10	8~10	32~54	30~56	32~65
S-9	89/002	25/090	73/060	15~30	20~50	15~40	8~10	12~14	10~12	66~75	66~86	70~83
S-10	23/018	63/007	89/105	5~20	5~20	15~25	8~10	10~12	10~12	58~75	60~72	65~80
S-11	53/295	40/012	59/184	3~20	3~20	5~20	10~12	10~12	10~12	45~65	55~65	52~85
S-12	50/250	44/120	70/350	20~30	5~10	5~20	6~8	6~8	8~10	42~55	45~58	46~60
S-13	85/188	65/135	54/312	5~20	5~20	5~20	12~14	12~14	12~14	15~30	16~28	20~32
S-14	65/185	–	–	5~40	–	–	14~16	–	–	20~33	–	–
S-15	61/320	84/030	34/152	15~30	10~70	10~20	12~14	10~12	12~14	45~55	45~60	48~58
S-16	82/138	88/248	07/075	70~100	50~100	10~30	10~12	10~12	10~12	65~72	66~83	65~80
S-17	78/170	35/228	60/238	20~30	20~30	20~30	10~12	8~10	8~10	28~65	30~68	25~58
S-18	58/125	76/030	46/358	1~10	10~15	1~10	14~16	14~16	14~16	22~30	25~39	25~34
S-19	66/235	60/154	62/041	10~30	10~20	10~20	14~16	14~16	14~16	28~40	30~46	32~45
S-20	19/355	86/120	70/025	15~50	30~50	20~100	10~12	10~12	10~12	62~75	62~86	65~80
S-21	05/170	80/225	76/114	2~20	20~30	20~30	10~12	10~12	8~10	45~60	44~63	45~55
S-22	16/350	80/202	82/118	1~5	5~15	5~20	12~14	10~12	10~12	42~55	40~60	45~61
S-23	35/025	86/160	81/303	5~20	10~30	20~30	12~14	10~12	12~14	45~65	44~62	48~60
S-24	47/128	72/015	55/305	2~20	40~50	10~30	8~10	8~10	8~10	55~70	56~72	58~70
S-25	65/089	85/004	–	1~5	12~18	–	8~10	12~14	–	53~65	55~68	–
S-26	63/038	75/188	59/025	20~30	10~30	10~30	10~12	10~12	10~12	65~80	62~75	66~78
S-27	82/206	58/266	63/065	15~40	40~80	40~80	10~12	8~10	12~14	70~80	68~80	68~78
S-28	35/041	81/152	74/294	5~40	20~60	30~60	8~10	8~10	8~10	62~75	62~78	62~78
S-29	89/010	58/102	36/061	15~20	25~35	10~20	6~8	6~8	10~12	68~85	70~86	68~72
S-30	49/088	78/172	19/230	5~10	20~30	20~30	8~10	8~10	6~8	56~70	55~71	56~71
S-31	34/080	–	–	2~5	–	–	12~14	–	–	49~73	–	–
S-32	32/075	70/355	–	5~10	15~20	–	6~10	8~10	–	54~70	55~74	–
S-33	25/076	84/358	–	5~15	10~30	–	8~10	8~10	–	58~73	56~70	–
S-34	34/075	80/222	88/110	3~10	3~20	15~40	14~16	14~16	12~4	50~72	48~68	45~70
S-35	56/092	61/014	84/128	15~20	15~20	10~15	14~16	12~14	12~14	20~30	18~28	18~34
S-36	38/140	83/251	86/010	10~20	20~30	20~30	8~10	10~12	10~12	25~45	20~46	20~33
S-37	30/115	85/310	71/208	20	30	20	8~10	8~10	12~14	68~75	58~70	58~75
S-38	07/138	57/178	88/234	1	10	20	10~12	10~12	12~14	52~65	55~78	54~65
S-39	05/192	82/322	85/041	15~20	50~70	100	8~10	6~8	10~12	45~62	42~58	42~60
S-40	05/268	84/352	88/286	3	15	30	8~10	10~12	10~12	52~74	42~70	45~70
S-41	74/014	80/262	–	7	20	–	6~8	10~12	–	46~74	50~88	–
S-42	78/292	66/061	12/250	5	7	12	10~12	10~12	8~10	55~70	53~65	55~71
S-43	12/328	75/295	77/205	1	30	30	6~8	8~10	8~10	50~65	55~67	54~67
S-44	80/355	52/045	76/082	4	15	40	8~10	8~10	10~12	64~75	65~82	60~80
S-45	49/164	56/054	70/297	3	20	30	8~10	8~10	8~12	45~70	48~75	42~70

제4편 상세 및 보완조사

제1장 공구별 조사현황

제2장 구조물별 지층현황

제3장 물리탐사

제4장 현장조사 및 시험

제 1 장 공구별 조사현황

1.1 공구별 현장조사 및 시험 현황

1.1.1 현장조사

○ 시추조사(공)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
터널구간	7	–	2	4	13
교량구간	110	51	67	49	277
토공구간	30	21	40	54	145
합계	147	72	109	107	435

○ 시험굴(개소)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
토공구간	3	1	2	3	9

○ 핸드오거보링(개소)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
토공구간	1	–	3	3	7

1.1.2 현장시험

○ 강도 및 변형특성시험

■ 공내재하시험(회)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
터널구간	7	–	4	2	13
교량구간	22	5	5	6	38
토공구간	3	–	7	18	28
합계	32	5	16	26	79

■ 공내전단시험(회)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
터널구간	1	–	–	1	2
교량구간	2	–	–	1	3
토공구간	1	–	2	12	15
합계	4	–	2	14	20

○ 수리특성시험

■ 투수시험(회)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
교량구간	63	22	22	35	142
토공구간	14	9	22	39	84
합계	77	31	44	74	226

■ 수압시험(회)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
터널구간	14	–	6	8	28
교량구간	5	–	1	1	7
토공구간	3	1	5	20	29
합계	22	1	12	29	64

■ 지하수유량유속시험(회)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
터널구간	1	–	1	1	3

■ 양수시험(회)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
터널구간	1	–	1	1	3

■ 순간충격시험(회)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
터널구간	2	–	2	2	6

○ 불연속면 특성 시험

■ 공내영상촬영(회)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
터널구간	2	–	1	1	4
토공구간	2	1	1	7	11
합계	4	1	2	8	15

○ 동적특성 시험

■ S-PS검층(회)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
터널구간	1	–	1	1	3

■ 밀도검층(회)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
터널구간	1	–	1	1	3
교량구간	2	–	2	1	5
토공구간	–	–	–	1	1
합계	3	–	3	3	9

■ 하향식탄성파 탐사(회)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
교량구간	2	–	2	1	5
토공구간	–	–	–	1	1
합계	2	–	2	2	6

■ 공진주시험(회)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
터널구간	1	–	1	1	3

■ 진동반복삼축압축시험(회)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
교량구간	–	1	–	1	2

○ 지중응력특성시험

■ 수압파쇄시험(회)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
터널구간	1	–	1	1	3

■ AE/DRA시험(회)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
터널구간	1	–	1	1	3

○ 연약지반특성 시험

■ 일축압축강도시험(회)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
교량구간	3	–	1	2	6
토공구간	3	–	–	2	5
합계	6	–	1	4	11

■ 피에조콘관입시험 및 간극수압소산시험(개소)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
교량구간	1	–	1	–	2

■ 삼축압축강도시험(회)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
교량구간	1	–	1	2	4
토공구간	2	–	–	2	4
합계	3	–	1	4	8

■ 압밀시험(회)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
교량구간	3	–	1	2	6
토공구간	3	–	–	2	5
합계	6	–	1	4	11

■ Rowe Cell(회)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
쌓기구간	1	–	–	–	1

1.2 공구별 물리탐사 현황

○ 탄성파 탐사(km)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
터널구간	0.94	–	1,13	0.82	2,89
교량구간	0.44	–	–	–	0.44
토공구간	2.87	–	1,55	4,30	8,72
합계	4.25	–	2.68	5.12	12.05

○ 전기비저항 탐사(km)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
터널구간	1.1	–	0.9	0.9	2,9

■ GPR 탐사(단면)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
교량구간	3	–	–	3	6

1.3 공구별 실내시험 현황

1.3.1 실내토질시험

○ 기본물성시험(회)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
터널구간	7	–	2	4	13
교량구간	112	41	64	51	268
토공구간	33	15	40	64	152
합계	152	56	106	119	433

○ 직접전단(회)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
토공구간	3	1	3	2	9

○ 다짐/CBR(회)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
터널구간	6/3	2/1	6/3	4/2	18/9

1.3.2 실내암석시험

○ 기본물성시험 및 일축압축시험(회)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
터널구간	14	–	4	8	26
교량구간	24	11	19	11	65
토공구간	4	1	6	15	26
합계	42	12	29	34	117

○ 삼축압축 및 인장강도시험(회)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
터널구간	2	–	2	2	6
토공구간	2	1	2	7	12
합계	4	1	4	9	18

○ 점하중강도시험(회)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
터널구간	45	–	14	48	107
교량구간	22	2	14	26	64
토공구간	16	4	18	119	157
합계	83	6	46	193	328

■ 절리면전단시험(회)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
터널구간	1	–	1	1	3
토공구간	1	–	2	6	9
합계	2	–	3	7	12

○이방성시험(회)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
터널구간	1	–	1	1	3

○ 본선암유용성(회)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
터널구간	1	–	1	1	3

1.4 기타 시험현황

■ 시추공시험 발파(회)

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
터널구간	1	–	1	1	3

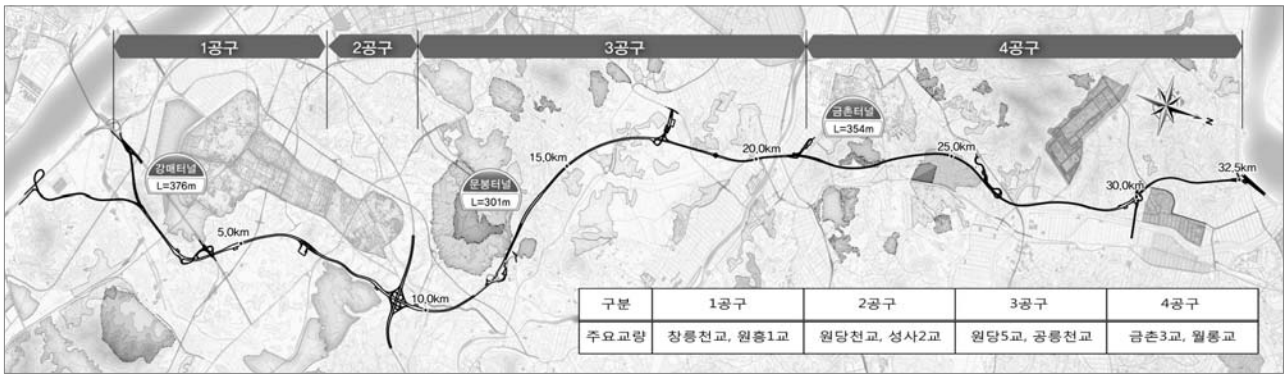
■ SPT에너지효율시험

구 분	1공구	2공구	3공구	4공구	합계
수량(회)	10				10

제 2 장 구조물별 지층현황

2.1 시추조사 현황

2.1.1 시추조사 위치



○ 터널구간

구분	공번	좌표		표고 (EL.m)
		X	Y	
강매 터널	BH-29	556,079.0	186,354.6	51.5
	BH-30	556,106.5	186,354.6	39.5
	BH-31	556,099.1	186,345.3	51.5
	BH-32	556,142.0	186,447.2	50.8
강매 터널	BH-33	556,284.0	186,638.1	61.3
	BH-34	556,330.8	186,648.3	48.2
	BH-35	556,297.6	186,678.7	43.5
	-	-	-	-

○ 교량구간

구분	공번	좌표		표고 (EL.m)
		X	Y	
강매교	BH-1	555,291.9	185,380.0	2.2
강매교	BH-2	555,334.8	185,405.9	6.1
강매교	BH-3	555,380.0	185,422.3	6.7
	BH-4	555,429.2	185,450.1	12.5
	BH-5	555,460.1	185,462.7	7.6
	BH-6	555,514.9	185,488.1	7.4
	BH-7	555,514.9	185,488.1	9.4
북로IC R-B교	BH-8	555,521.6	185,391.2	12.5
	BH-9	555,521.3	185,427.7	7.5
	BH-10	555,547.7	185,450.2	8.5
	BH-11	555,575.8	185,455.3	9.7
강매1교	BH-13	555,731.2	185,593.2	10.8
	BH-14	555,747.3	185,610.1	10.8
강매1교	BH-15	555,768.1	185,631.6	10.1
	BH-16	555,792.2	185,655.7	10.1
북로IC R-A1교	BH-17	555,698.3	185,607.5	9.4
	BH-20	555,778.2	185,709.4	10.1
강매2교	BH-21	555,843.0	185,684.9	9.3
강매3교	BH-24	555,937.6	185,922.0	10.8
	BH-25	555,949.5	185,960.9	10.2
	BH-26	555,983.5	186,024.0	7.8
	BH-27	556,014.9	186,106.1	7.9
	BH-28	556,035.7	186,140.8	10.0
행신1교	BH-41	556,797.0	187,021.0	20.5
	BH-42	556,833.0	187,064.0	17.4
	BH-43	556,899.0	187,113.0	34.0

(계속)

구분	공번	좌표		표고 (EL.m)
		X	Y	
행신2교	BH-45	557,031.7	187,200.1	15.0
행신3교	BH-49	557,293.3	187,378.4	10.0
도내교	BH-53	557,756.9	187,547.9	14.5
	BH-54	557,783.0	187,541.0	14.5
행신IC R-G교	BH-55	557,746.8	187,666.9	19.5
	BH-56	557,776.5	187,643.7	17.5
행신IC교	BH-57	557,918.0	187,508.0	15.8
	BH-58	557,955.0	187,508.0	18.5
미병육교	BH-58-1	558,172.7	187,196.2	30.0
행신IC R-A2교	BH-59	558,238.5	187,103.8	12.0
	BH-60	558,260.7	187,095.7	13.8
미병교	BH-68-2	558,066.0	187,155.0	13.8
행신IC R-B교	BH-69	558,315.0	187,214.0	12.8
	BH-70-2	558,348.0	187,191.0	13.7
행신IC R-A1교	BH-70-1	558,326.0	187,149.0	13.7
	BH-70-2	558,348.0	187,191.0	13.7
원흥1교	BH-72	558,263.9	187,353.7	31.4
	BH-74	558,302.0	187,318.0	18.0
	BH-74-1	558,328.0	187,337.0	16.5
	BH-75	558,370.0	187,298.2	14.5
	BH-76	558,448.0	187,249.0	14.2
	BH-77	558,476.1	187,229.0	13.5
	BH-78	558,521.0	187,191.0	14.2
	BH-79	558,548.0	187,174.0	16.0
원흥2교	BH-87	559,317.0	186,724.0	17.9
	BH-89	559,299.0	186,754.0	17.2
	BH-90	559,354.2	186,709.7	17.8
성사3교	BH-92	559,640.5	186,565.5	15.9
	BH-92-2	559,661.5	186,570.5	15.9
	BH-93	559,694.2	186,543.5	16.8
	BH-93-1	559,733.3	186,545.9	16.8
성사4교	BH-94	559,837.0	186,471.0	17.6

구분	공번	좌표		표고 (EL.m)
		X	Y	
성사4교	BH-94-1	559,879.4	186,469.0	17.6
성사5교	BH-95	560,069.7	186,421.1	20.8
성사6교	BH-104	561,178.0	186,640.0	43.2
	BH-105	561,205.0	186,655.0	37.5
현천IC R-B교	BH-317-1	553,789.6	186,740.9	8.1
	BH-317-2	553,800.0	186,727.0	8.0
	BH-317-3	553,807.0	186,705.0	8.1
	BH-318-1	553,811.2	186,689.0	8.2
	BH-319	553,797.0	186,644.2	7.3
	BH-320	553,749.7	186,610.0	5.0
	BH-321	553,695.0	186,622.0	-1.6
	BH-322	553,651.0	186,661.0	-1.9
	BH-323	553,618.0	186,707.0	-2.0
	BH-324	553,607.7	186,764.8	4.0
	BH-325	553,607.1	186,826.5	4.3
	BH-326	553,625.1	186,882.4	7.3
	BH-327	553,658.0	186,931.0	8.0
	BH-328	553,716.6	186,978.9	9.8
	BH-329	553,766.0	187,013.7	8.1
현천IC R-A교	BH-331	553,683.8	187,037.8	9.0
	BH-332	553,741.6	187,031.2	0.0
	BH-333	553,796.4	187,049.7	7.5
현천교	BH-330	553,803.60	187,038.20	7.0
	BH-334	553,836.0	187,070.6	7.5
	BH-335	553,891.3	187,108.1	7.2
	BH-336	553,943.0	187,144.7	7.3
	BH-338	553,998.5	187,177.7	6.8
	BH-339	554,062.8	187,184.7	9.0
	BH-339-1	554,105.4	187,171.4	10
난점천1교	BH-345-3	554,707.9	186,895.9	8.5
난점천2교	BH-346-1	554,925.4	186,845.4	7.6
창릉천교	BH-356	555,674.4	186,727.0	5.3

(계속)

구분	공번	좌표		표고 (EL.m)	구분	공번	좌표		표고 (EL.m)
		X	Y				X	Y	
창릉천교	BH-357	555,728.8	186,718.8	5.0	창릉천교	BH-361-2	555,934.4	186,698.5	10.4
	BH-358	555,783.3	186,711.3	5.5		BH-361-3	555,982.9	186,696.8	21.5
	BH-359	555,674.4	186,727.0	5.2		BH-362	555,998.0	186,696.5	23.8
	BH-360	555,862.9	186,703.1	7.3		BH-347-2	555118.9	186,885.3	7.5
	BH-360-1	555,878.3	186,704.4	7.3		BH-347-3	555,217.9	186,901.6	11.2
	BH-361	555,907.9	186,699.9	10.5		BH-347-4	555,287.8	186,902.6	10.2
	BH-361-1	555,952.9	186,697.7	12.8		BH-356-1	555,669.2	186,791.6	6.4

○ 깎기구간

구분	공번	좌표		표고 (EL.m)	구분	공번	좌표		표고 (EL.m)
		X	Y				X	Y	
깎기구간	BH-37	556,469.4	186,737.8	62.1	깎기구간	BH-98	560,407.0	186,382.0	46.5
	BH-51-1	557,682.0	187,680.0	34.1		BH-99	560,494.0	186,486.0	47.5
	BH-67	558,192.7	187,257.6	36.0		BH-345	554,537.7	186,992.5	24.6
	BH-85	558,833.7	187,056.2	30.2		–	–	–	–

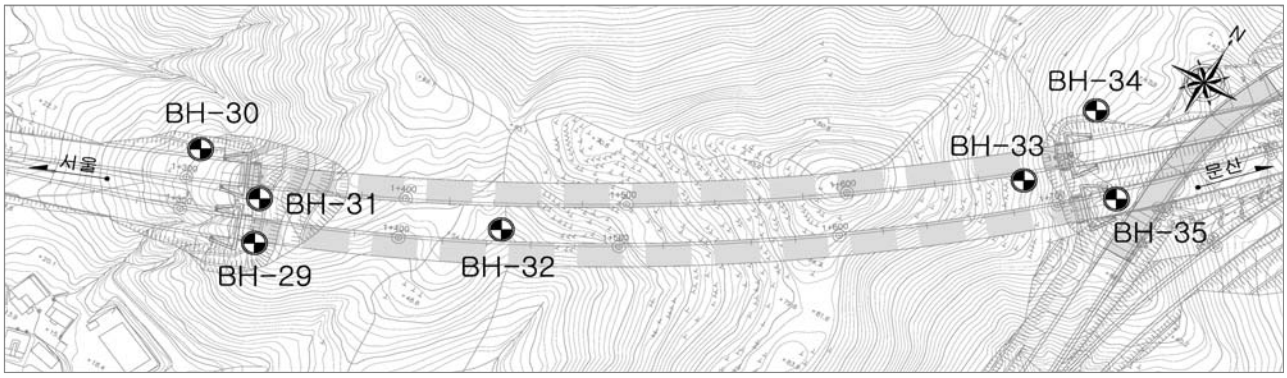
○ 쌓기구간

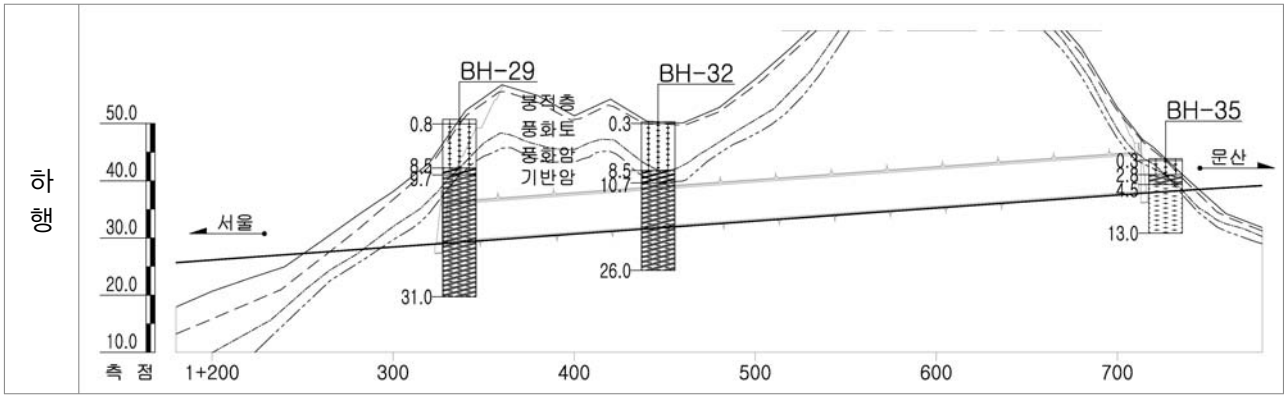
구분	공번	좌표		표고 (EL.m)	구분	공번	좌표		표고 (EL.m)
		X	Y				X	Y	
쌓기 구간	BH-36	556,336.0	186,755.0	26.2	쌓기 구간	BH-86	559,097.0	186,834.0	18.2
	BH-44	556,940.3	187,137.7	33.0		BH-91	559,559.0	186,621.0	15.2
	BH-49-1	557,389.7	187,441.5	8.7		BH-97	560,272.0	186,434.0	29.4
	BH-49-2	557,467.7	187,470.5	9.6		BH-99-1	560,568.7	186,620.3	32.1
	BH-51	557,566.0	187,526.0	12.2		BH-344	554,313.9	554,313.9	8.7
	BH-52	557,473.6	187,434.1	9.6		BH-344-1	554,253.8	187,101.0	9.1
	BH-68-1	558,014.0	187,310.0	17.3		BH-345-4	554,804.2	186,868.5	9.1
	BH-71	558,130.7	187,443.9	27.4		BH-346-1	554,804.2	186,868.5	8.1
	BH-74-2	558,477.3	187,385.4	14.2		BH-347	555,050.0	186,791.7	6.6
	BH-84	558,713.2	187,086.2	25.1		BH-363	556,139.6	186,710.1	25.9

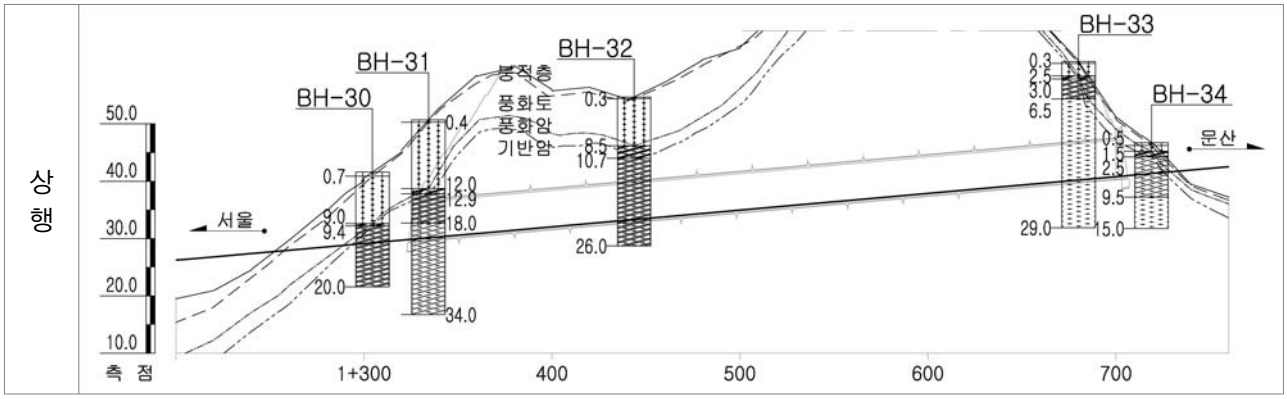
2.1.2 터널구간

○ 강매터널(BH-29, 30, 31, 32, 33, 34, 35)

■ 조사위치 및 지층단면도







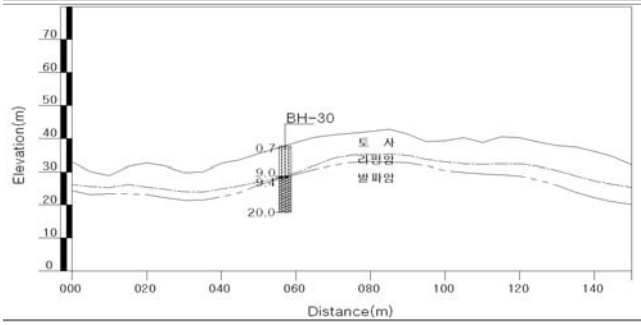
■ 지층상태

구 분	출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
붕적층	0.0	0.3~0.8	실트질 모래	-
풍화토	0.3~0.8	1.0~11.6	실트질 모래	9/30~50/5
풍화암	1.5~12.0	0.4~2.2	실트질 모래	50/8~50/4
연 암	2.8~12.9	1.7~21.3	편마암	52~100%/0~58%
보통암	2.5~18.0	7.0~16.0	편마암	100%/25~80%
경 암	4.5~9.5	5.5~22.5	편마암	100%/31~100%

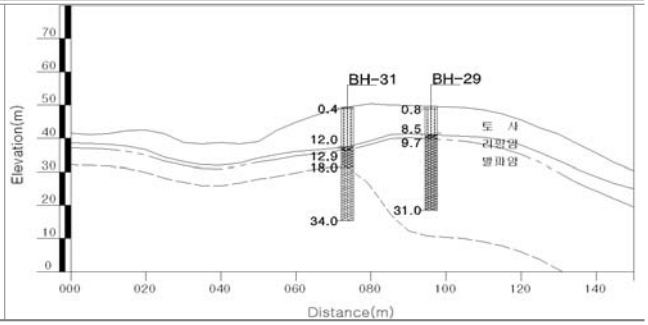
구 분	지 층 개 요
붕적층	• 최상부층으로 지표하 0.3~0.8m 층후로 분포하며 습윤한 상태로 분포 • 갈색~적갈색, 암갈색의 자갈섞인 실트질 모래로 구성
풍화토	• 지표하 0.3~0.8m에서 1.0~11.6m 층후로 분포 • 갈색, 암갈색~적갈색, 편마암의 상부풍화대로 암편섞인 실트질 모래로 구성 • 일부 시추공에서 차별풍화로 인한 연경이 교호함 • 습윤한 상태이며, 느슨~매우조밀한 상대밀도
풍화암	• 지표하 1.5~12.0m에서 0.4~2.2m 층후로 분포 • 습윤한 상태이며, 매우조밀한 상대밀도
연 암	• 지표하 2.8~12.9m에서 1.7~21.3m 이상 층후로 분포 • 담갈색, 담회색~암회색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 52~100/0~58%로 불량~보통양호한 암질 상태 • 매우심한풍화~보통풍화, 약함~보통강함, 매우심한균열~보통균열의 상태
보통암	• 지표하 2.5~18.0m에서 7.0~16.0m 이상 층후로 분포 • 담회색~암회색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 100/25~80%로 불량~양호한 암질 상태 • 보통풍화~약간풍화, 보통강함~강함, 보통균열~약간균열의 상태
경 암	• 지표하 4.5~9.5m에서 5.5~22.5m이상 층후로 분포 • 담회색~암회색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 100/31~100%로 보통~매우양호한 암질 상태 • 보통풍화~약간풍화, 보통강함~강함, 보통균열~약간균열의 상태

시점부 횡단

STA. 1+305

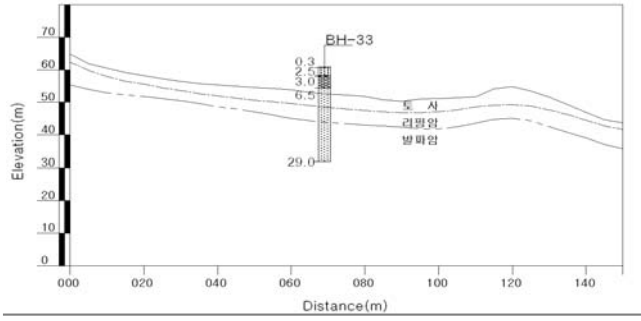


STA. 1+335

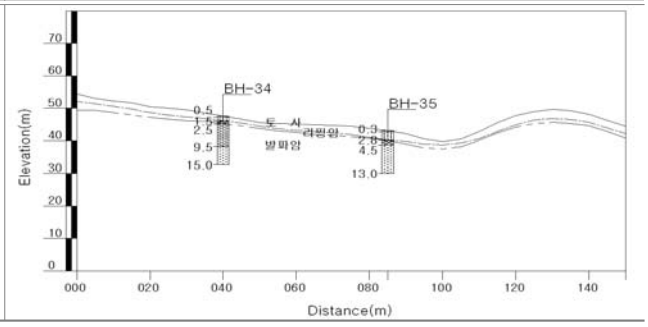


종점부 횡단

STA. 1+690



STA. 1+730

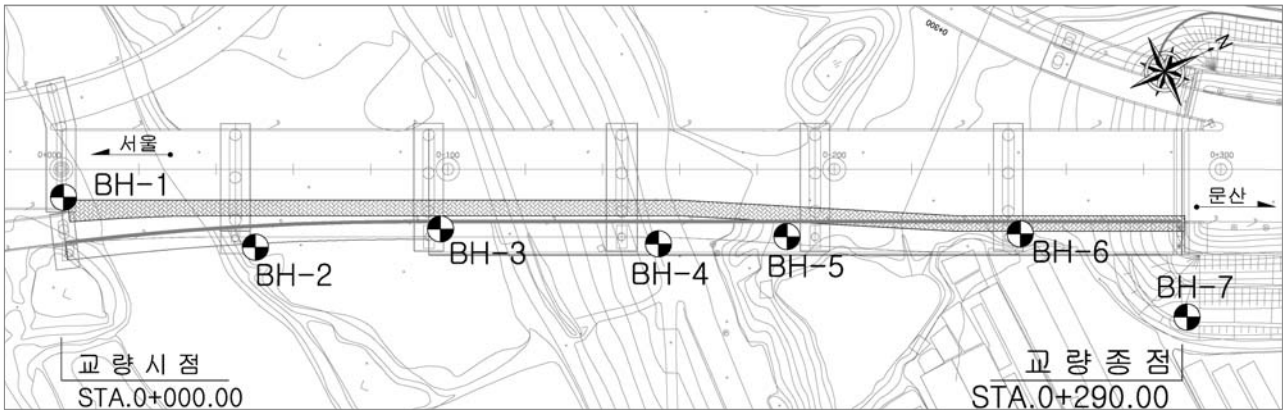


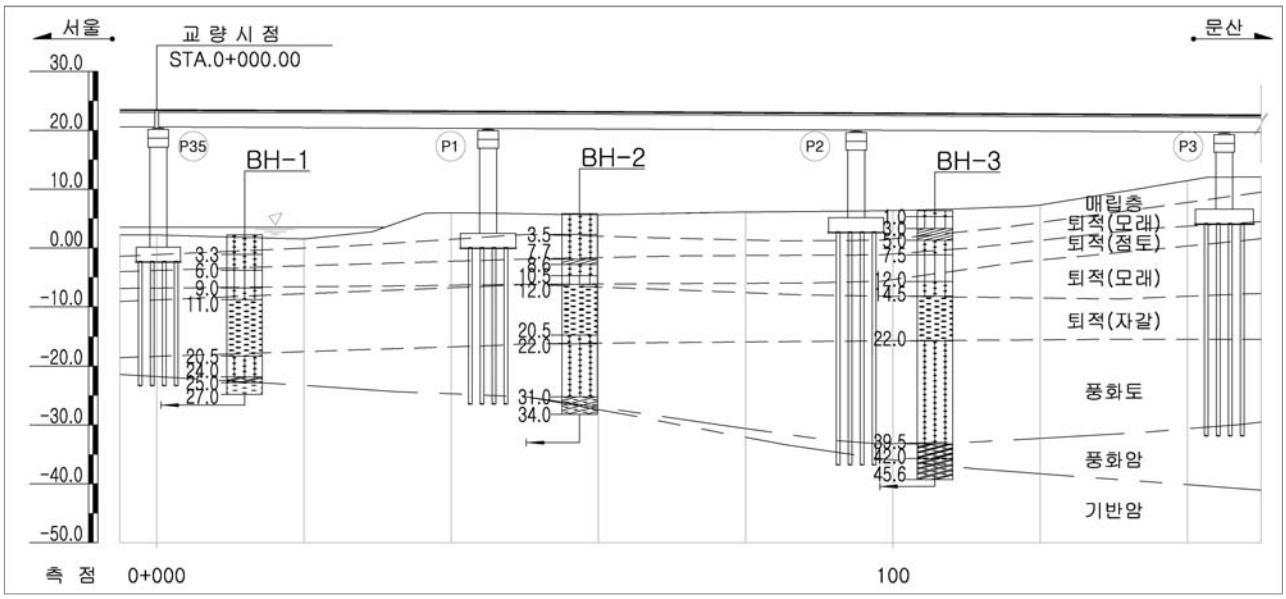
• 강매터널 종점부 토사층(층후 : 1.5~2.8m)에 비해 시점부 토사층(층후 : 8.5~12.0m)이 발달
• 터널통과구간은 기반암으로 분포가 되며 위치 및 지형에 따라 불규칙한 암질상태

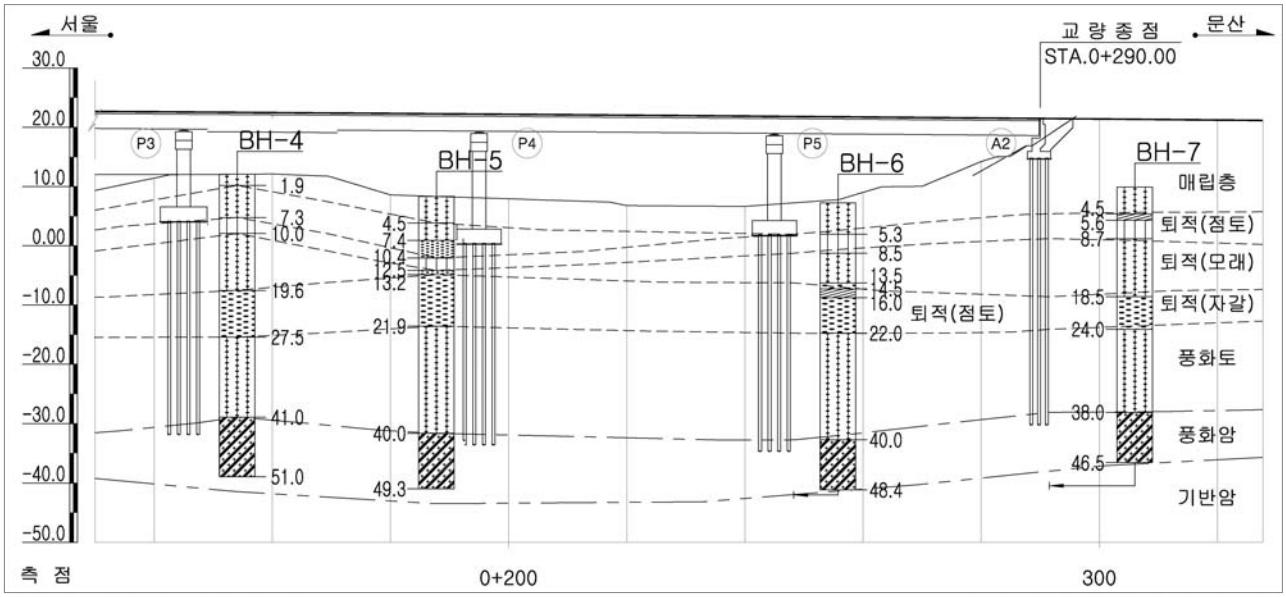
2.1.3 교량구간

○ 강매교(BH-1, 2, 3, 4, 5, 6, 7)

▮ 조사위치 및 지층단면도







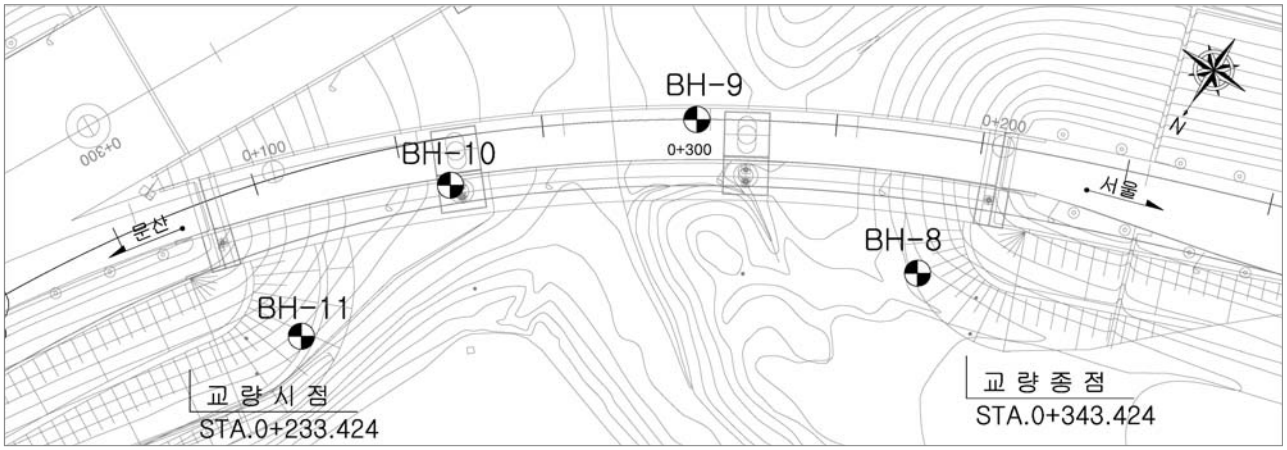
■ 지층상태

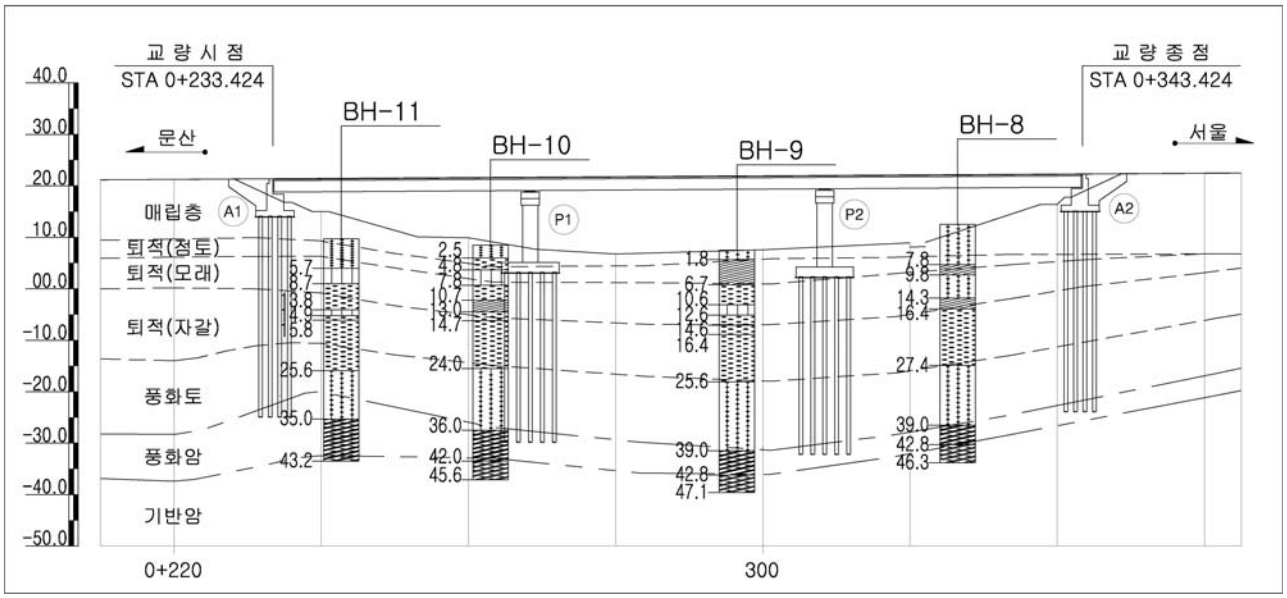
구 분		출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층		0.0	1.0~7.3	실트질 모래	1/30~18/30
퇴적층	점토	1.0~10.4	2.1~8.5	실트질 점토, 점토질 실트	1/30~11/30
	모래	3.3~10.0	4.7~9.8	실트질 모래, 모래	2/30~50/18
	자갈	11.0~19.6	5.5~9.5	모래질 자갈	21/30~50/7
풍화토		20.5~27.5	3.5~18.1	실트질 모래	12/30~50/11
풍화암		38.0~41.0	2.5~10.0	실트질 모래	50/10~50/3
연 암		24.0~42.0	1.0~3.6	편마암	100%/0~39%
보통암		31.0	3.0	편마암	100%/65%
경 암		25.0	2.0	편마암	100%/71%

구 분		지 층 개 요
매립층		• 최상부층으로 지표하 1.0~7.3m 층후로 분포 • 녹갈색~암갈색, 갈색의 실트질 모래로 구성되며, 부분적 자갈 및 점토 함유 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 매우느슨~보통조밀한 상대밀도
퇴적층	점토	• 지표하 1.0~10.4m에서 2.1~8.5m 층후로 분포 • 회갈색~담회색의 실트질 점토, 점토질 실트로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 매우연약~견고한 연경도
	모래	• 지표하 3.3~10.0m에서 4.7~9.8m 층후로 분포 • 회갈색~암갈색의 실트질 모래, 모래로 구성되며 부분적 자갈 및 점토 함유 • 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 매우느슨~매우조밀한 상대밀도
	자갈	• 지표하 11.0~19.6m에서 5.5~9.5m 층후로 분포 • 황갈색~담회색, 암회색의 모래질 자갈로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 보통조밀~매우조밀한 상대밀도
풍화토		• 지표하 20.5~27.5m에서 3.5~18.1m 층후로 분포 • 편마암의 상부 풍화대로 암편섞인 실트질 모래로 구성
풍화암		• 지표하 38.0~41.0m에서 2.5~10.0m 이상 층후로 분포 • 편마암의 하부 풍화대로 굴진시 암편이 섞인 실트질 모래로 분해
연 암		• 지표하 24.0~42.0m에서 1.0~3.6m 이상 층후로 분포하며, 회녹색~암회색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 100%/0~39%로 매우불량~불량한 암질 상태
보통암		• 지표하 31.0m에서 3.0m 이상 층후로 분포하며, 담회색~암회색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 100%/65%로 양호한 암질상태이며 보통풍화~약간풍화, 보통강함~강함, 보통균열의 상태
경 암		• 지표하 25.0m에서 2.0m 이상 층후로 분포하며, 담회색~암회색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 100%/71%로 양호한 암질상태이며 보통풍화, 강함, 보통균열~약간균열의 상태

북로IC R-B교(BH-8, 9, 10, 11)

조사위치 및 지층단면도





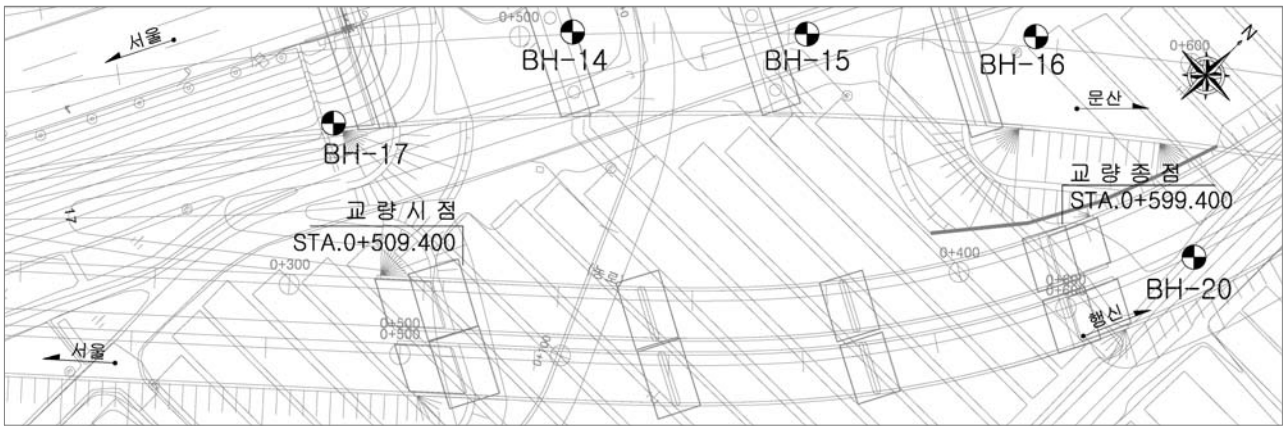
지층상태

구 분		출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층	모래	0.0~2.5	1.8~7.8	실트질 모래, 자갈	4/30~50/1
	점토	7.8	2.0	실트질 점토	10/30~11/30
퇴적층	점토	1.8~14.3	2.1~6.9	실트질 점토, 점토질 실트	3/30~18/30
	모래	6.7~9.8	4.5~6.0	실트질 모래, 점토질 모래, 모래	7/30~29/30
	자갈	14.6~16.4	9.3~11.0	모래질 자갈	14/30~50/4
풍화토		24.0~27.4	9.4~13.4	실트질 모래	20/30~50/11
풍화암		35.0~39.0	3.8~8.2	실트질 모래	50/10~50/3
연 암		42.0~43.7	3.4~3.6	편마암	60~77%/0~5%

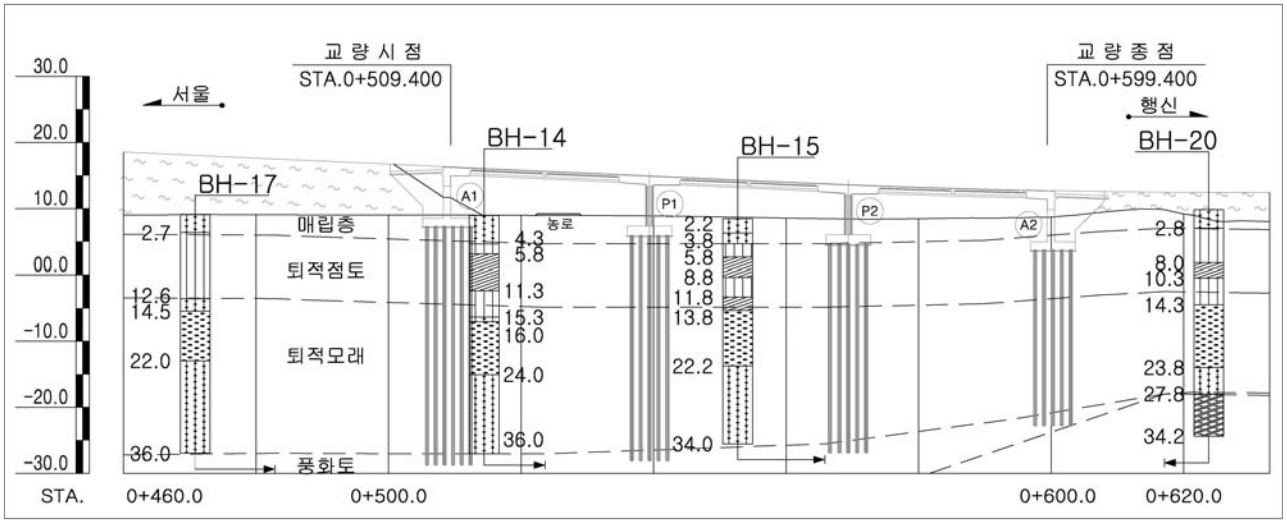
구 분		지 층 개 요
매립층	모래	• 최상부층으로 지표하 0.0~2.5m에서 1.8~7.8m 층후로 분포 • 황갈색~암갈색의 자갈 및 점토섞인 실트질 모래, 자갈로 구성 • 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 매우느슨~매우조밀한 상대밀도
	점토	• 지표하 7.8m에서 2.0m 층후로 분포 • 암회색의 실트질 점토로 구성 • 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 견고한 연경도
퇴적층	점토	• 지표하 1.8~14.3m에서 2.1~6.9m 층후로 분포 • 암회색~암갈색의 실트질 점토, 점토질 실트로 구성 • 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 연약~매우견고한 연경도
	모래	• 지표하 6.7~9.8m에서 4.5~6.0m 층후로 분포 • 암갈색~암회색의 실트질 모래, 점토질 모래, 모래로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 느슨~보통조밀한 상대밀도
	자갈	• 지표하 14.6~16.4m에서 9.3~11.0m 층후로 분포 • 황갈색~회갈색, 담회색의 모래질 자갈로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 보통조밀~매우조밀한 상대밀도
풍화토		• 지표하 24.0~27.4m에서 9.4~13.4m 층후로 분포 • 편마암의 상부 풍화대로 실트질 모래로 구성, 부분적 암편 함유 • 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 보통조밀~매우조밀한 상대밀도
풍화암		• 지표하 35.0~39.0m에서 3.8~8.2m 이상 층후로 분포 • 편마암의 하부풍화대로 굴진시 암편섞인 실트질 모래로 분해 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 매우조밀한 상대밀도
연 암		• 지표하 42.0~43.7m에서 3.4~3.6m 이상 층후로 분포하며, 암회색~회갈색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 60~77%/0~5%로 매우불량한 암질 상태 • 심한풍화~보통풍화, 약함~보통강함, 매우심한균열~심한균열의 상태

○ 북로IC R-A1교(BH-17, 20, 강매1교 : BH-14, 15, 16)

■ 조사위치 및 지층단면도



• 북로IC R-A1교 교각 지역은 지장물(비닐하우스)로 인하여 조사가 불가하여 인근 조사(강매1교 BH-14~16) 활용



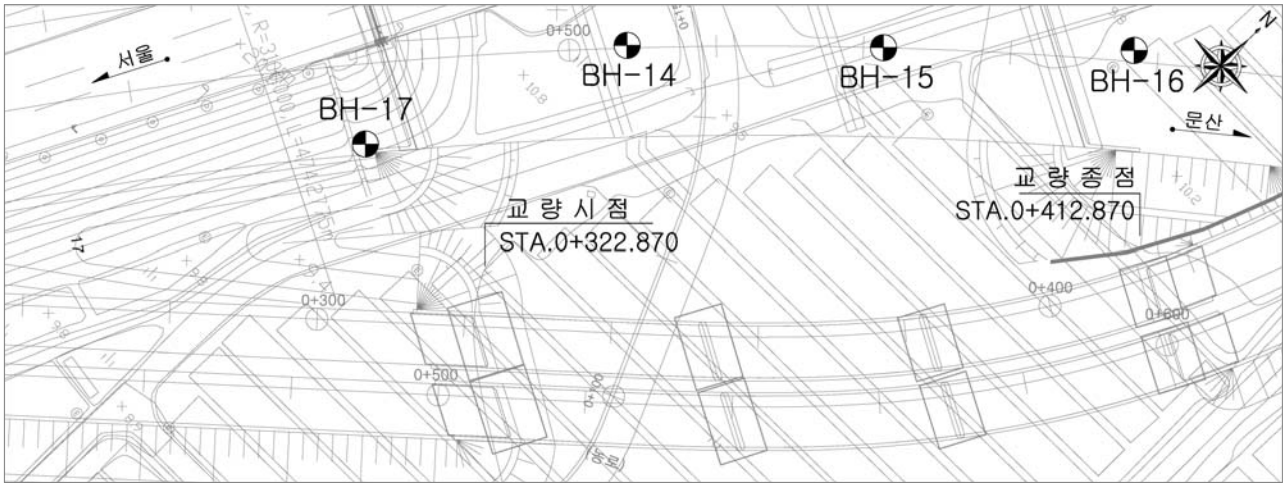
지층상태

구 분		출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층		0.0	2.2~4.3	실트질 모래	5/30~50/2
퇴적층	점토	2.7~4.3	9.9~12.0	실트질 점토, 점토, 점토질 실트	5/30~17/30
	모래	2.2~15.3	0.6~1.9	점토질 모래, 실트질 모래	7/30~25/30
	자갈	13.8~16.0	7.5~9.5	모래질 자갈	42/30~50/4
풍화토		22.0~24.3	1.7~14.0	실트질 모래	9/30~50/12
풍화암		26.0~36.0	4.0~8.5	실트질 모래	50/10~50/2
연 암		27.8~30.0	3.2~6.4	편마암	100~89%/0~34%

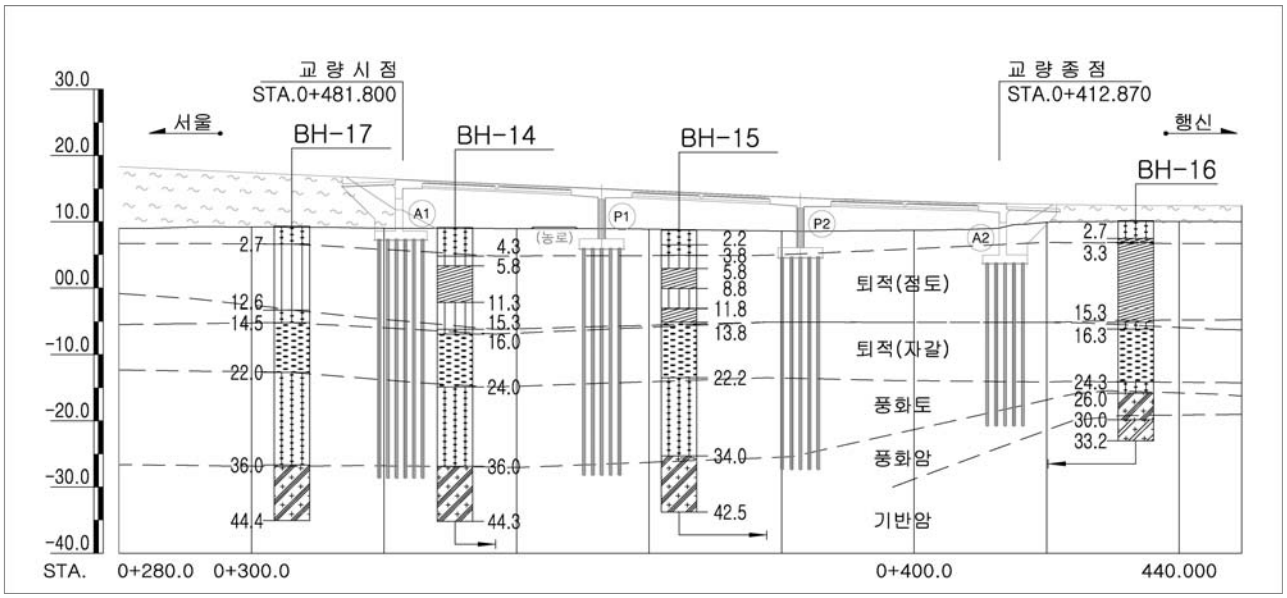
구 분		지 층 개 요
매립층		• 최상부층으로 지표하 2.2~4.3m 층후로 분포 • 암갈색~갈색의 자갈섞인 실트질 모래로 구성되며 표준관입시험 결과 느슨~매우조밀한 상대밀도
퇴적층	점토	• 지표하 2.7~4.3m에서 9.9~12.0m 층후로 분포 • 담회색~암회색의 실트질 점토, 점토, 점토질 실트로 표준관입시험 결과 연약~매우견고한 연경도
	모래	• 지표하 2.2~15.3m에서 0.6~1.9m 층후로 분포 • 암회색의 실트질 모래, 점토질 모래로 구성되며, 표준관입시험 결과 느슨~보통조밀한 상대밀도
	자갈	• 지표하 13.8~16.0m에서 7.5~9.5m 층후로 분포 • 담회색~암갈색, 황갈색의 모래질 자갈로 구성되며, 표준관입시험 결과 조밀~매우조밀한 상대밀도
풍화토		• 지표하 22.0~24.3m에서 1.7~14.0m 층후로 분포 • 황갈색~암갈색의 실트질 모래로 구성되며, 표준관입시험 결과 느슨~매우조밀한 상대밀도
풍화암		• 지표하 26.0~36.0m에서 4.0~8.5m 이상 층후로 분포 • 기반암의 하부풍화대로 굴진시 암편섞인 실트질 모래로 분해
연 암		• 지표하 27.8~30.0m에서 3.2~6.4m 이상 층후로 분포 • TCR/RQD=100~89%/0~34%로 매우불량~불량한 암질상태

북로IC R-D교(BH-17 강매1교 : BH-14, 15, 16)

조사위치 및 지층단면도



• 북로IC R-D교 교각 지역은 지장물(비닐하우스)로 인하여 조사가 불가하여 인근 조사(강매1교 BH-14~16) 활용



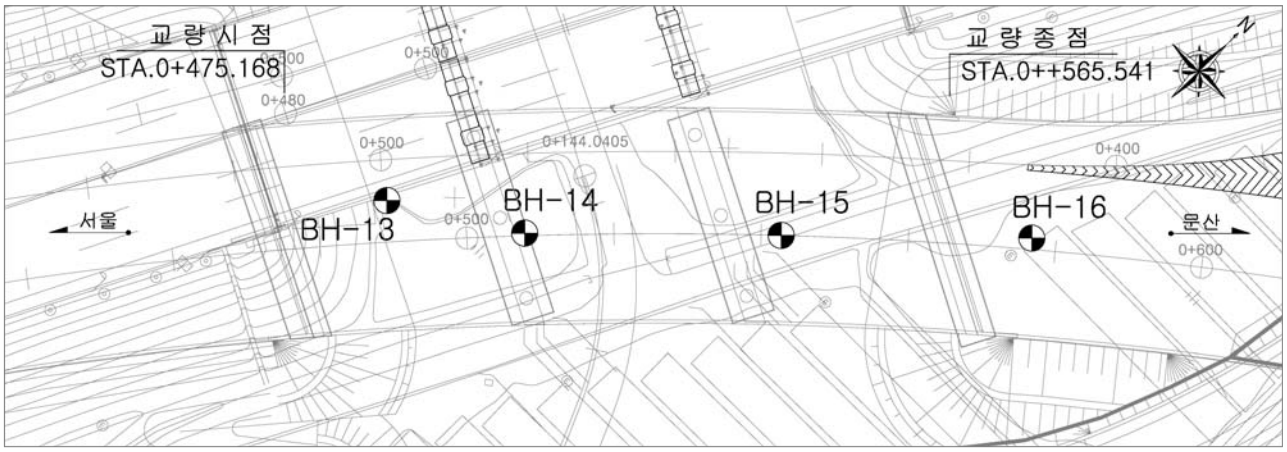
지층상태

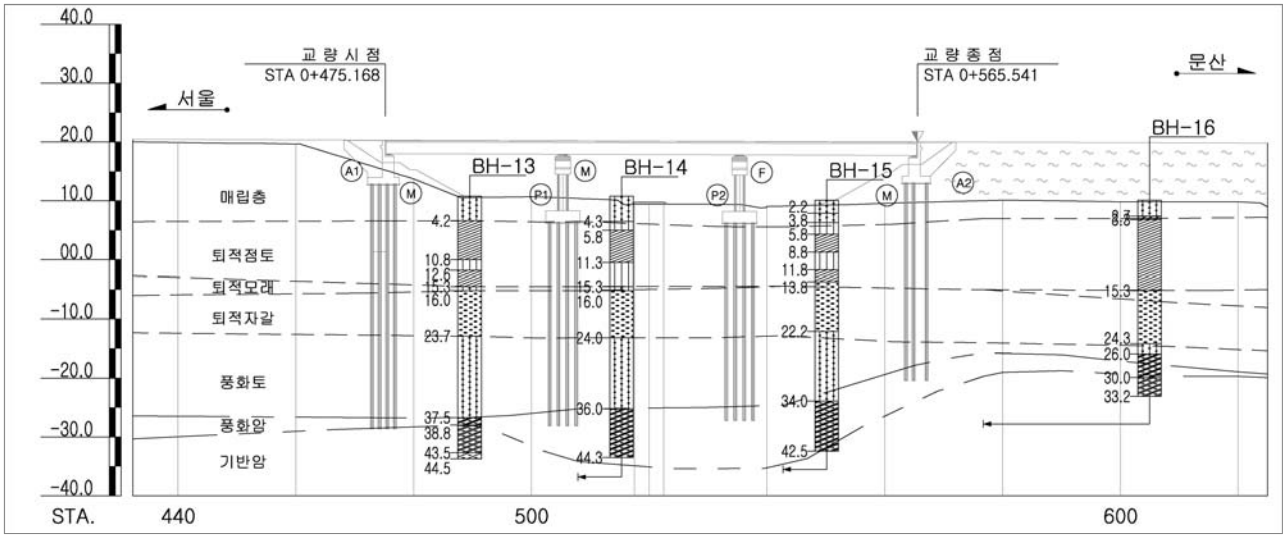
구 분		출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층		0.0	2.2~4.3	실트질 모래	7/30~50/2
퇴적층	점토	2.7~4.3	10.0~12.0	실트질 점토, 점토질 실트	5/30~17/30
	모래	2.2~15.3	0.6~1.9	점토질 모래, 실트질 모래	6/30~24/30
	자갈	13.8~16.0	7.5~9.0	모래질 자갈	42/30~50/6
풍화토		22.0~24.3	1.7~14.0	실트질 모래	9/30~50/12
풍화암		26.0~36.0	4.0~8.5	실트질 모래	50/10~50/4
연 암		30.0	3.2	편마암	89~100%/0~34%

구 분		지 층 개 요
매립층		• 최상부층으로 지표하 2.2~4.3m 층후로 분포 • 암갈색~갈색의 자갈섞인 실트질 모래로 구성되며 표준관입시험 결과 느슨~매우조밀한 상대밀도
퇴적층	점토	• 지표하 2.7~4.3m에서 10.0~12.0m 층후로 분포 • 담회색~암회색의 실트질 점토, 점토, 점토질 실트로 표준관입시험 결과 연약~매우견고한 연경도
	모래	• 지표하 2.2~15.3m에서 0.6~1.9m 층후로 분포 • 암회색의 실트질 모래, 점토질 모래로 구성되며, 표준관입시험 결과 느슨~보통조밀한 상대밀도
	자갈	• 지표하 13.8~16.0m에서 7.5~9.5m 층후로 분포 • 담회색~암갈색, 황갈색의 모래질 자갈로 구성되며, 표준관입시험 결과 조밀~매우조밀한 상대밀도
풍화토		• 기반암의 상부풍화대로 지표하 22.0~24.3m에서 1.7~14.0m 층후로 분포 • 황갈색~암갈색의 실트질 모래로 구성되며, 표준관입시험 결과 느슨~매우조밀한 상대밀도
풍화암		• 기반암의 하부풍화대로 지표하 26.0~36.0m에서 4.0~8.5m 이상 층후로 분포 • 굴진시 암편섞인 실트질 모래로 분해되며 표준관입시험 결과 매우조밀한 상대밀도
연 암		• BH-16번공 지표하 30.0m에서 3.2m 이상 층후로 분포 • TCR/RQD=100~89%/0~34%로 매우불량~불량한 암질상태

○ 강매1교(BH-13, 14, 15, 16)

■ 조사위치 및 지층단면도





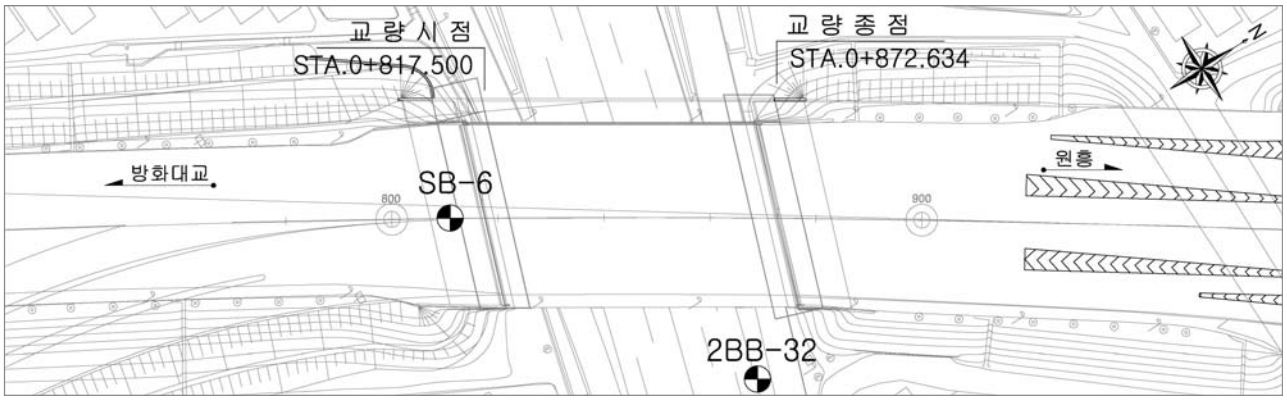
■ 지층상태

구 분		출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층		0.0	2.2~4.3	실트질 모래	5/30~50/2
퇴적층	점토	3.3~4.3	10.0~12.0	실트질 점토, 점토질 실트	7/30~25/30
	모래	2.2~15.3	0.6~1.6	실트질 모래, 점토질 모래	6/30~7/30
	자갈	13.8~16.0	7.7~9.0	모래질 자갈	39/30~50/4
풍화토		22.0~24.3	1.7~13.8	실트질 모래	12/30~50/12
풍화암		26.0~37.5	1.3~8.5	실트질 모래	50/10~50/2
연 암		30.0~38.8	3.2~4.7	편마암	30~100%/0~34%
보통암		43.5	1.0	편마암	100%/45%

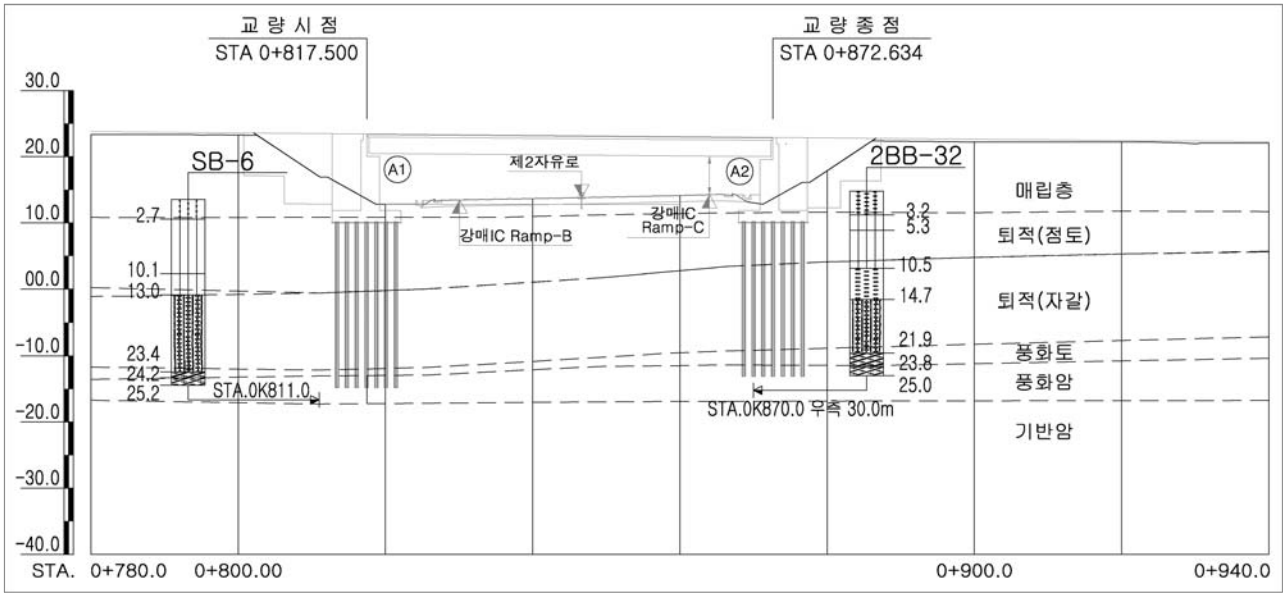
구 분		지 층 개 요
매립층		• 최상부층으로 지표하 2.2~4.3m 층후로 분포 • 황갈색~회갈색, 암갈색의 자갈섞인 실트질 모래로 구성되며, 느슨~매우조밀한 상대밀도
퇴적층	점토	• 지표하 2.7~4.3m에서 10.0~12.0m 층후로 분포 • 담회색, 암회색~암갈색의 실트질 점토, 점토질 실트로 구성되며, 보통견고~매우견고한 연경도
	모래	• 지표하 2.2~15.3m에서 0.6~1.6m 층후로 분포 • 담갈색~담회색, 암회색의 실트질 모래로 구성되며, 느슨한 상대밀도
	자갈	• 지표하 13.8~16.0m에서 7.7~9.0m 층후로 분포 • 암갈색~암회색, 황갈색의 모래질 자갈로 구성되며, 조밀~매우조밀한 상대밀도
풍화토		• 편마암의 상부풍화대로 지표하 22.0~24.3m에서 1.7~13.8m 층후로 분포 • 암갈색~황갈색의 암편섞인 실트질 모래로 구성되며 보통조밀~매우조밀한 상대밀도
풍화암		• 편마암의 하부풍화대로 지표하 26.0~37.5m에서 1.3~8.5m이상 층후로 분포 • 암갈색~황갈색의 암편섞인 실트질 모래로 분해
연 암		• 지표하 30.0~38.8m에서 3.2~4.7m이상 층후로 분포하며 암회색, 황갈색~회갈색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 30~100/0~34%로 매우불량~불량한 암질 상태
보통암		• 지표하 43.5m에서 1.0m이상 층후로 분포하며, 암회색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 100%/45%로 보통인 암질 상태

○ 강매IC 1교(강매~원흥간 도로 건설공사 : SB-6, 2BB-32)

■ 조사위치 및 지층단면도



• 강매IC 1교 지역은 기존조사 자료 활용 ➜ 시공 중 조사 계획 수립



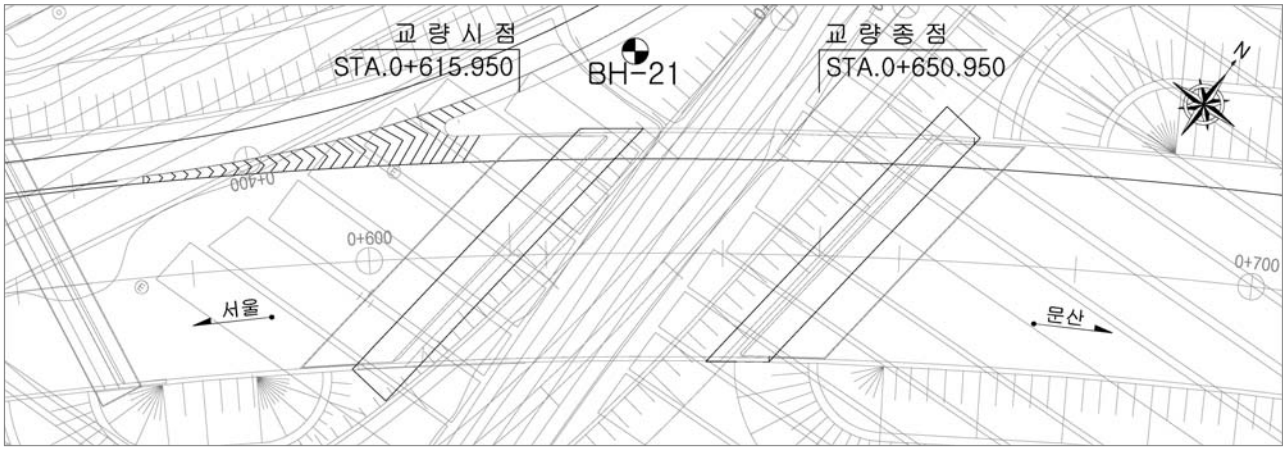
지층상태

구 분		출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층		0.0	2.7~3.2	실트질 모래	6/30~17/30
퇴적층	점토	2.7~3.2	7.3~10.3	실트	7/30~14/30
	모래	10.5	4.2	모래	13/30~21/30
	자갈	13.0~14.7	7.2~10.4	모래질 자갈	24/30~50/2
풍화토		21.9~23.4	0.8~1.9	실트질 모래	40/30~50/18
풍화암		23.8~24.2	1.0~1.2	실트질 모래	50/8~50/7

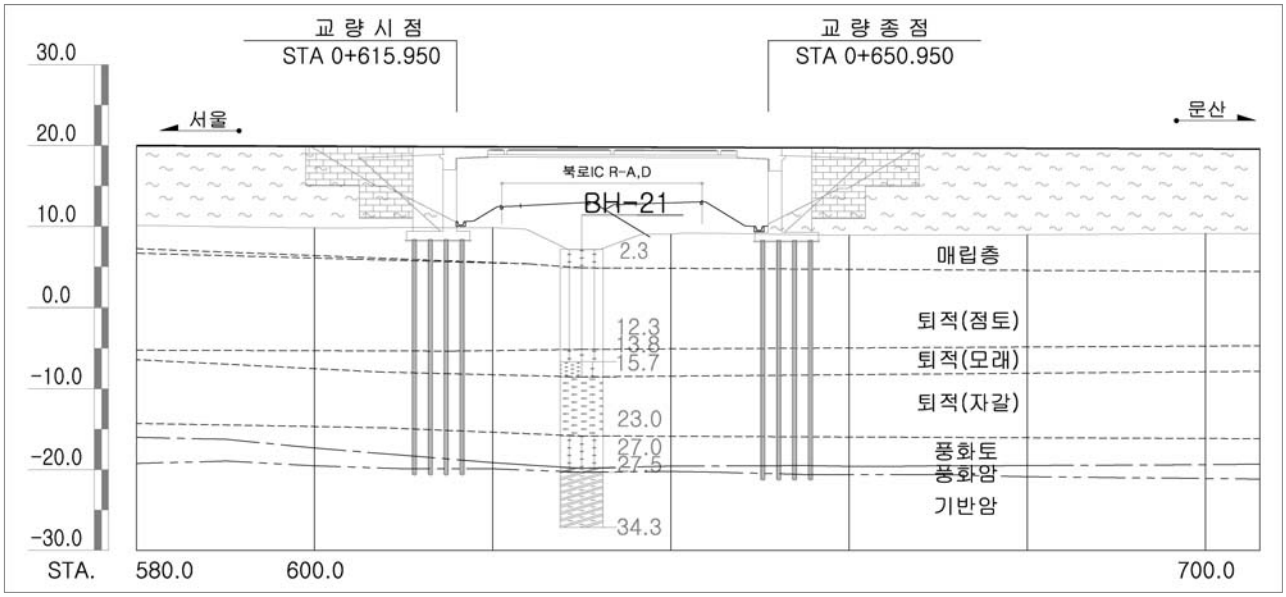
구 분		지 층 개 요
매립층		• 최상부층으로 지표하 2.7~3.2m 층후로 분포 • 실트질 모래로 구성되며, 표준관입시험 결과 느슨~보통조밀한 상대밀도
퇴적층	점토	• 지표하 2.7~3.2m에서 7.3~10.3m 층후로 분포 • 암회색~담회색의 점토질 실트로 구성되며, 표준관입시험 결과 보통견고~견고한 연경도
	모래	• 2BB-32번공 지표하 10.5m에서 4.2m 층후로 분포 • 암회색~황갈색의 모래로 구성되며, 표준관입시험 결과 보통조밀한 상대밀도
	자갈	• 지표하 13.0~14.7m에서 7.2~10.4m 층후로 분포 • 황갈색~암갈색의 모래질 자갈로 구성되며, 표준관입시험 결과 보통조밀~매우조밀한 상대밀도
풍화토		• 편마암의 상부풍화대로 지표하 21.9~23.4m에서 0.8~0.9m 층후로 분포 • 황갈색~담갈색의 암편섞인 실트질 모래로 구성 • 습윤하며 표준관입시험 결과 조밀~매우조밀한 상대밀도
풍화암		• 편마암의 하부풍화대로 지표하 23.8~24.2m에서 1.0~1.2m 이상 층후로 분포 • 굴진시 황갈색~담갈색의 암편섞인 실트질 모래로 분해 • 습윤하며 표준관입시험 결과 매우조밀한 상대밀도

강매2교(BH-21)

조사위치 및 지층단면도



• 강매2교 A2지역은 지장물(비닐하우스)로 인하여 진입이 어려워 조사 불가 ➜ 시공 중 조사 계획 수립



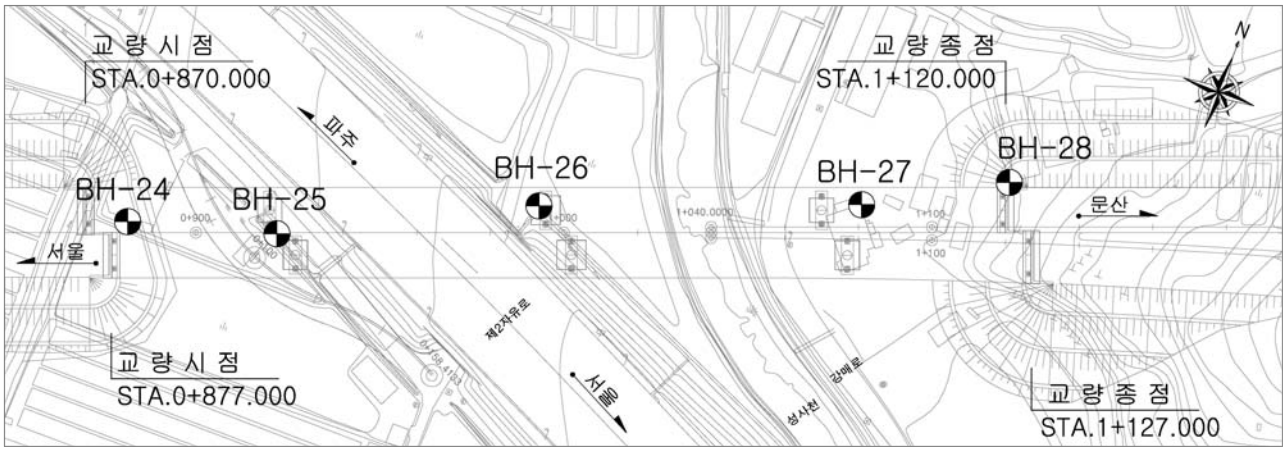
지층상태

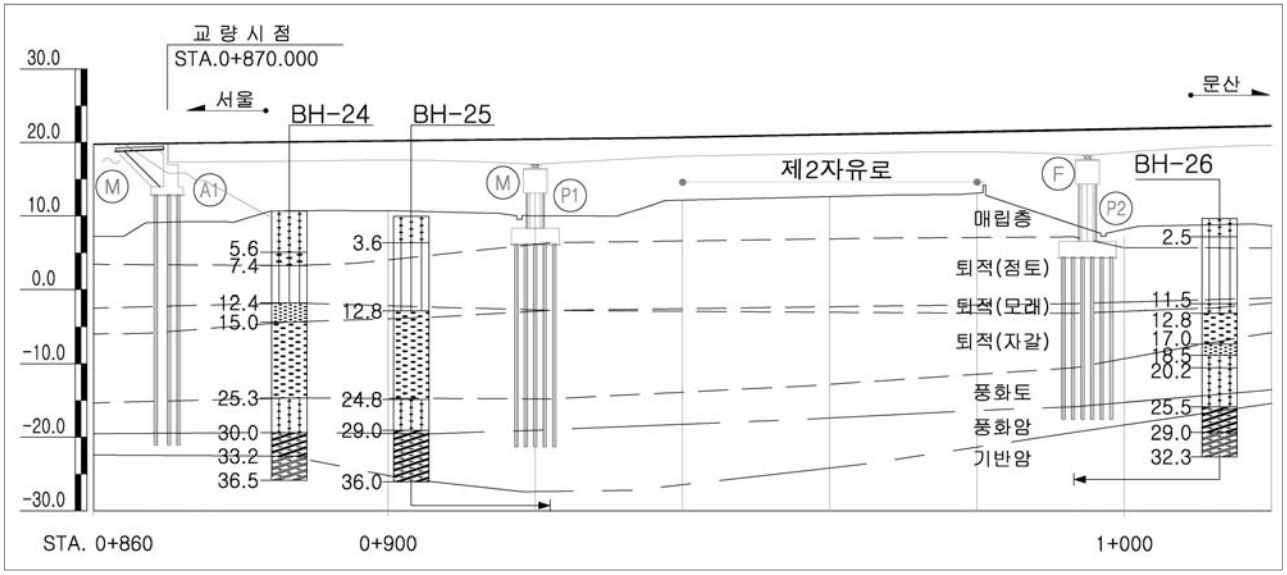
구 분		출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층		0.0	2.3	실트질 모래	7/30~9/30
퇴적층	점토	2.3	10.0	점토질 실트	9/30~11/30
	모래	12.3	3.4	실트질 모래, 자갈질 모래	17/30~42/30
	자갈	15.7	7.3	모래질 자갈	46/30~50/4
풍화토		23.0	4.0	실트질 모래	46/30~50/18
풍화암		27.0	0.5	실트질 모래	50/9
연 암		27.5	6.8	편마암	15~68%/0~19%

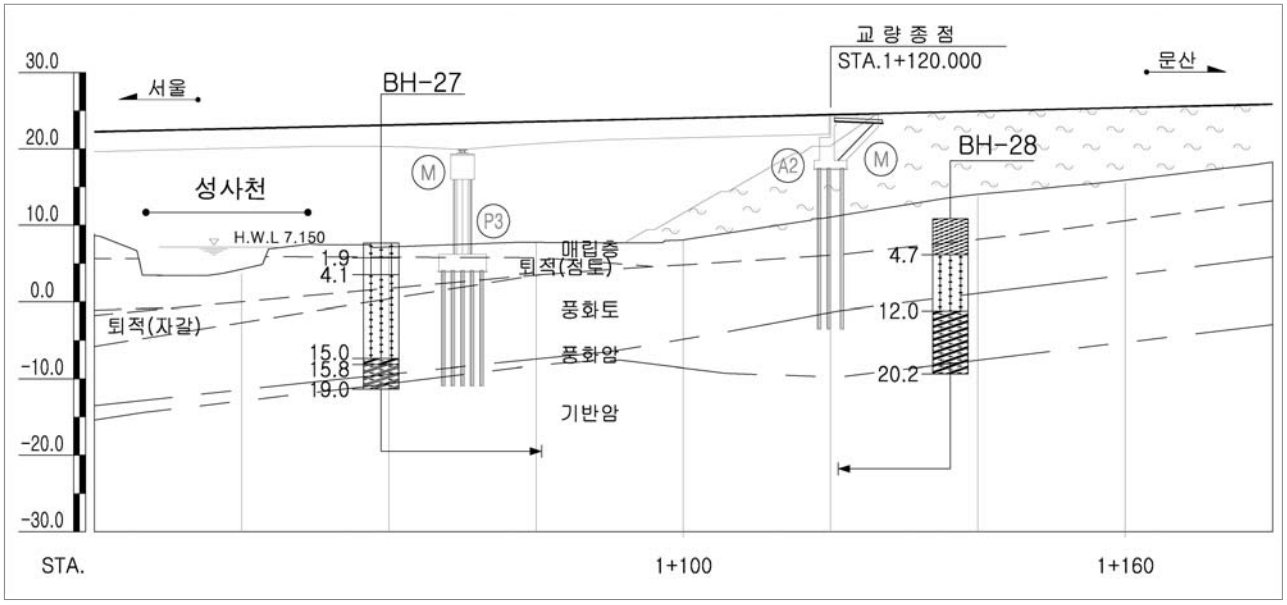
구 분		지 층 개 요
매립층		• 최상부층으로 지표하 2.3m 층후로 분포 • 암회색~담회색의 자갈섞인 실트질 모래로 구성되며, 표준관입시험 결과 느슨한 상대밀도
퇴적층	점토	• 지표하 2.3m에서 10.0m 층후로 분포 • 암회색~담회색의 점토질 실트로 구성되며, 표준관입시험 결과 보통견고~견고한 연경도
	모래	• 지표하 12.3m에서 3.4m 층후로 분포 • 암회색~황갈색의 실트질 모래, 자갈질 모래로 구성되며, 보통조밀~조밀한 상대밀도
	자갈	• 지표하 15.7m에서 7.3m 층후로 분포 • 황갈색~암갈색의 모래질 자갈로 구성되며, 표준관입시험 결과 조밀~매우조밀한 상대밀도
풍화토		• 지표하 23.0m에서 4.0m 층후로 분포 • 황갈색~담갈색을 띄며 편마암의 상부풍화대로 암편섞인 실트질 모래로 구성
풍화암		• 지표하 27.0m에서 0.5m 층후로 분포 • 황갈색~담갈색 띄며 편마암의 하부풍화대로 암편이 협재된 실트질 모래로 분해
연 암		• 지표하 27.5m에서 6.8m 이상 층후로 분포하며, 담갈색~담회색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 15~68%/0~19%로 매우불량한 암질 상태

○ 강매3교(BH-24, 25, 26, 27, 28)

■ 조사위치 및 지층단면도







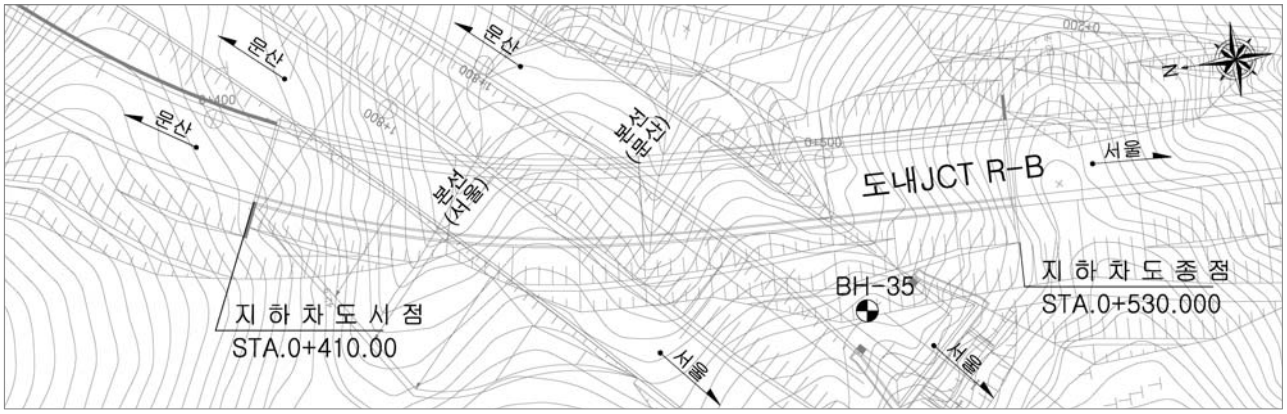
■ 지층상태

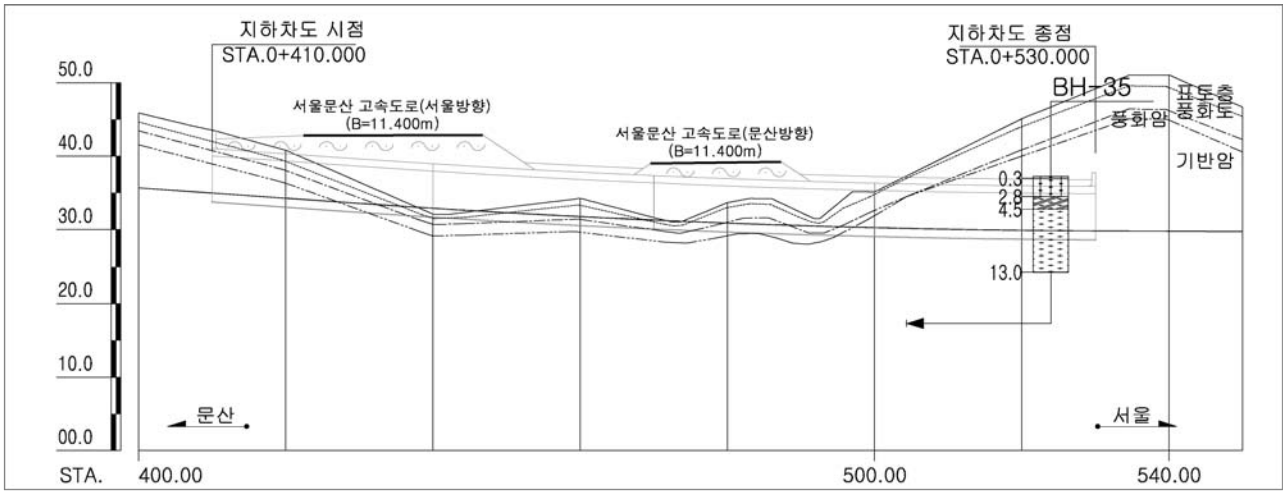
구 분		출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층/붕적층		0.0	1.9~5.6	점토 및 실트질 모래, 실트질 자갈	4/30~29/30
퇴적층	점토	1.9~7.4	2.2~9.2	실트, 점토질 실트	4/30~11/30
	모래	11.5~12.4	2.6~4.5	실트질 모래, 모래	11/30~36/30
	자갈	12.8~15.0	4.2~12.0	모래질 자갈	22/30~50/3
풍화토		4.1~25.3	4.2~10.9	실트질 모래	9/30~50/11
풍화암		12.0~30.0	0.8~8.2	실트질 모래	50/10~50/3
연 암		15.8~33.2	3.2~3.3	편마암	91~100%/18~28%

구 분		지 층 개 요
매립층/붕적층		• 최상부층으로 지표하 1.9~5.6m 층후로 분포 • 자갈섞인 실트질 모래, 실트질 자갈, 점토질 모래로 구성되며, 매우느슨~보통조밀한 상대밀도
퇴적층	점토	• 지표하 1.9~7.4m에서 2.2~9.2m 층후로 분포 • 암회색의 실트, 점토질 실트로 구성되며, 표준관입시험 결과 연약~견고한 연경도
	모래	• 지표하 11.5~12.4m에서 2.6~4.5m 층후로 분포 • 모래, 자갈섞인 실트질 모래로 구성되며, 표준관입시험 결과 보통조밀~조밀한 상대밀도
	자갈	• 지표하 12.8~15.0m에서 4.2~12.0m 층후로 분포 • 모래섞인 자갈로 구성되며, 표준관입시험 결과 보통조밀~매우조밀한 상대밀도
풍화토		• 지표하 4.1~25.3m에서 4.2~10.9m 층후로 분포 • 암편섞인 실트질 모래로 구성되며, 표준관입시험 결과 느슨~매우조밀한 상대밀도
풍화암		• 지표하 12.0~30.0m에서 0.8~8.2m 이상 층후로 분포 • 황갈색~담갈색, 암갈색의 편마암의 하부풍화대로 암편이 협재된 실트질 모래로 분
연 암		• 지표하 15.8~33.2m에서 3.2~3.3m 이상 층후로 분포하며, 회갈색~담회색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 91~100%/18~28%로 매우불량~불량한 암질 상태

도내지하차도(BH-35)

조사위치 및 지층단면도





지층상태

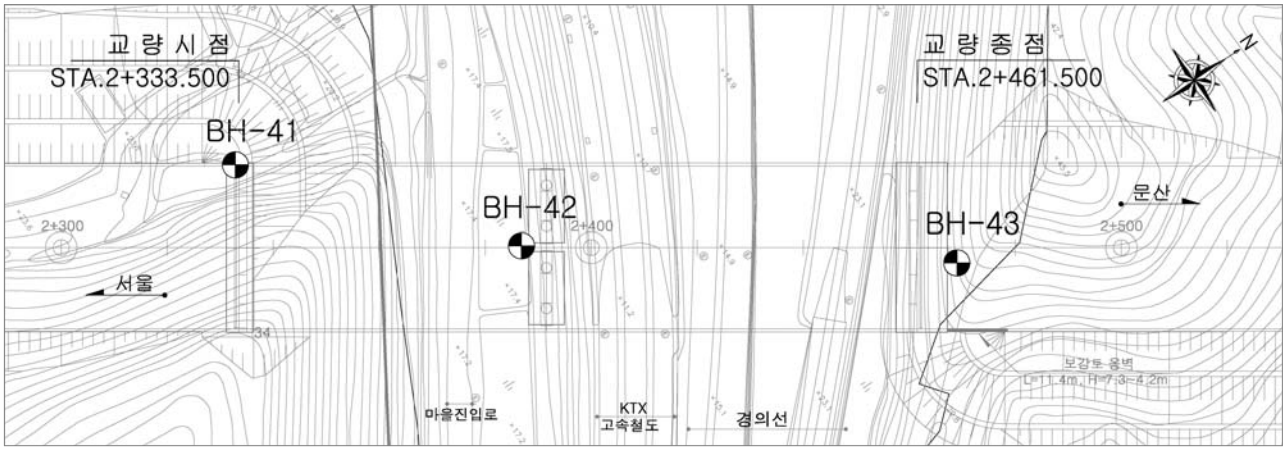
구 분	출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
표토층	0.0	0.3	실트질 모래	-
풍화토	0.3	2.5	실트질 모래	50/30~50/25
연 암	2.8	1.7	편마암	85%/0%
경 암	4.5	8.5	편마암	100%/70~93%

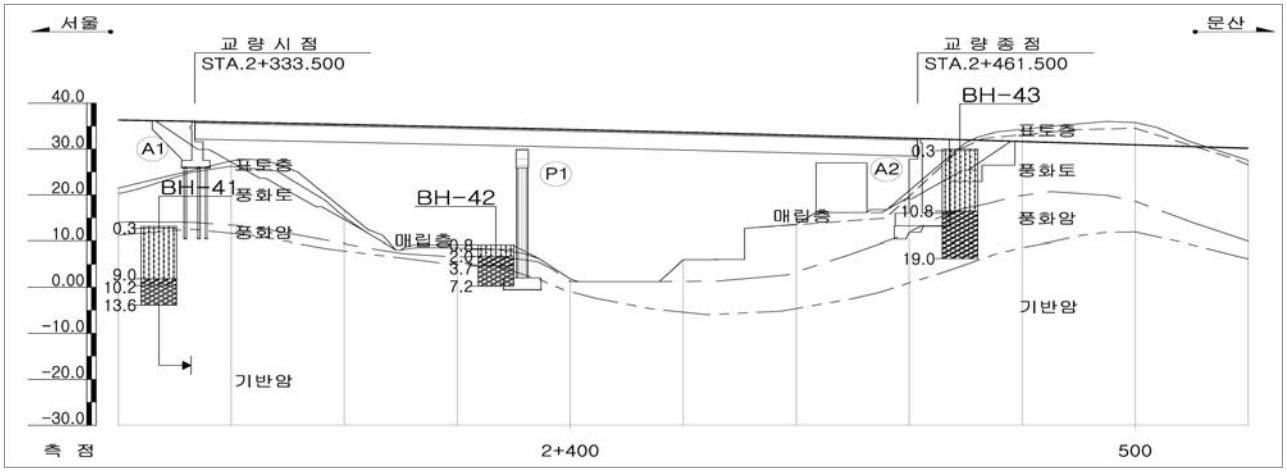
구 분	지 층 개 요
표토층	• 최상부층으로 지표하 0.3m 층후로 분포하며, 갈색~암갈색의 실트질 모래로 구성
풍화토	• 지표하 0.3m에서 2.5m 층후로 분포하며 갈색~암갈색의 암편섞인 실트질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 매우조밀한 상대밀도
연 암	• 지표하 2.8m에서 1.7m 층후로 분포하며, 담회색~암회색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 85%/0%로 매우불량한 암질 상태
경 암	• 지표하 4.5m에서 8.5m이상 층후로 분포하며, 담회색~암회색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 100%/70~93%로 양호~매우양호한 암질 상태

• 미조사 구간으로 탄성파 탐사와 인근 조사(강매터널) 자료를 활용하여 지층선 파악

행신1교(BH-41, 42, 43)

조사위치 및 지층단면도





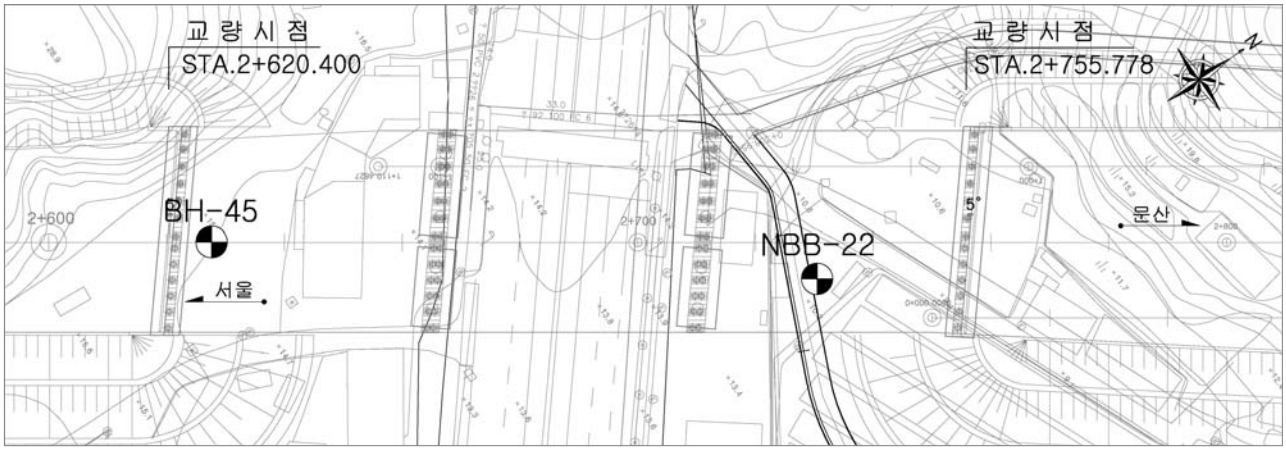
지층상태

구 분	출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층/표토층	0.0	0.3~0.8	실트질 모래	-
풍화토	0.3~0.8	1.2~9.7	실트질 모래	23/30~50/11
풍화암	2.0~10.0	1.2~9.0	실트질 모래	50/10~50/2
연 암	3.7~10.2	3.4~3.5	편마암	89~100%/12~49%

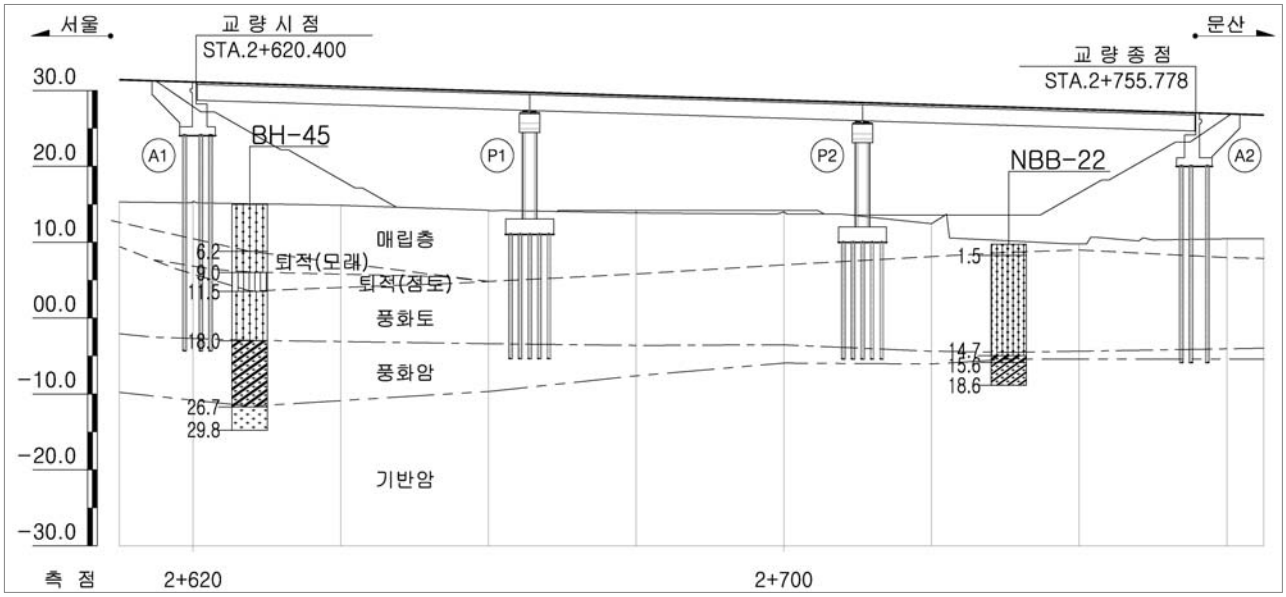
구 분	지 층 개 요
매립층/표토층	• 최상부층으로 지표하 0.3~0.8m 층후로 분포 • 황갈색~암갈색의 자갈섞인 실트질 모래, 실트질 모래로 구성
풍화토	• 지표하 0.3~0.8m에서 1.2~9.7m 층후로 분포하며, 황갈색~암갈색의 암편섞인 실트질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 보통조밀~매우조밀한 상대밀도
풍화암	• 지표하 2.0~10.0m에서 1.2~9.0m 이상 층후로 분포 • 암갈색의 편마암의 하부풍화대로 암편이 협재된 실트질 모래로 분해
연 암	• 지표하 3.7~10.2m에서 3.4~3.5m 이상 층후로 분포하며, 암갈색~암회색의 편마암으로 분포 • TCR/RQD는 89~100%/12~49%로 매우불량~보통인 암질 상태

행신2교(BH-45, 보완설계 : NBB-22)

조사위치 및 지층단면도



• 행신2교 교각 예정 지역은 민원 반대(주차장 부지 : 영업 피해)로 인하여 조사 불가 ➜ 시공 중 조사 계획 수립



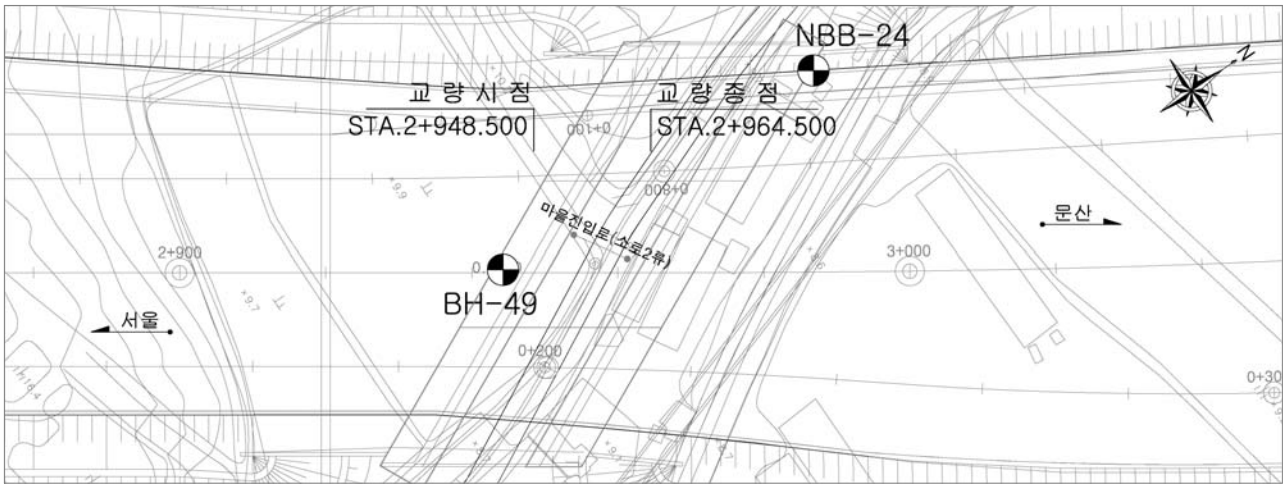
지층상태

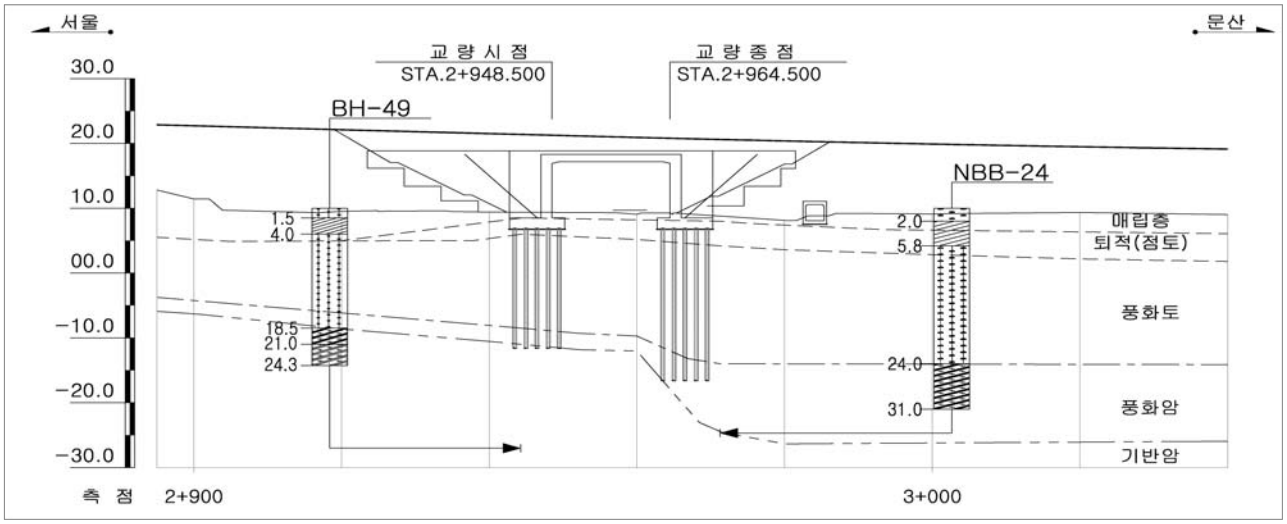
구 분		출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층		0.0	1.5~6.2	실트질 모래	8/30~26/30
퇴적층	점토	9.0	2.5	점토질 실트	7/30~13/30
	모래	6.2	2.8	실트질 모래	3/30~9/30
풍화토		1.5~11.5	6.5~13.2	실트질 모래	23/30~50/15
풍화암		14.7~18.0	0.9~8.7	실트질 모래	50/9~50/5
연 암		15.6	3.0	편마암	59~71%/0~23%
경 암		26.7	3.0	편마암	100%/78%

구 분		지 층 개 요
매립층		• 최상부층으로 지표하 1.5~6.2m 층후로 분포하며 황갈색~암갈색의 자갈섞인 실트질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 느슨~보통조밀한 상대밀도
퇴적층	점토	• 지표하 9.0m에서 2.5m 층후로 분포하며 암회색~암갈색의 점토질 실트로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 보통견고~견고한 연경도
	모래	• 지표하 6.2m에서 2.8m 층후로 분포하며 황갈색의 실트질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 매우느슨~느슨한 상대밀도
풍화토		• 지표하 1.5~11.5m에서 6.5~13.2m 층후로 분포 • 황갈색~암갈색, 편마암의 상부풍화대로 암편섞인 실트질 모래
풍화암		• 지표하 14.7~18.0m에서 0.9~8.7m 이상 층후로 분포 • 황갈색~암갈색의 편마암의 하부풍화대로, 암편이 협재된 실트질 모래로 분해
연 암		• 지표하 15.6m에서 3.0m 이상 층후로 분포하며, 황갈색~암회색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 59~71%/0~23%로 매우불량~불량한 암질 상태
보통암		• 지표하 26.7m에서 3.0m 이상 층후로 분포하며, 암회색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 100%/78% 양호한 암질 상태

○ 행신3교(BH-49, 보완설계 : NBB-24)

■ 조사위치 및 지층단면도





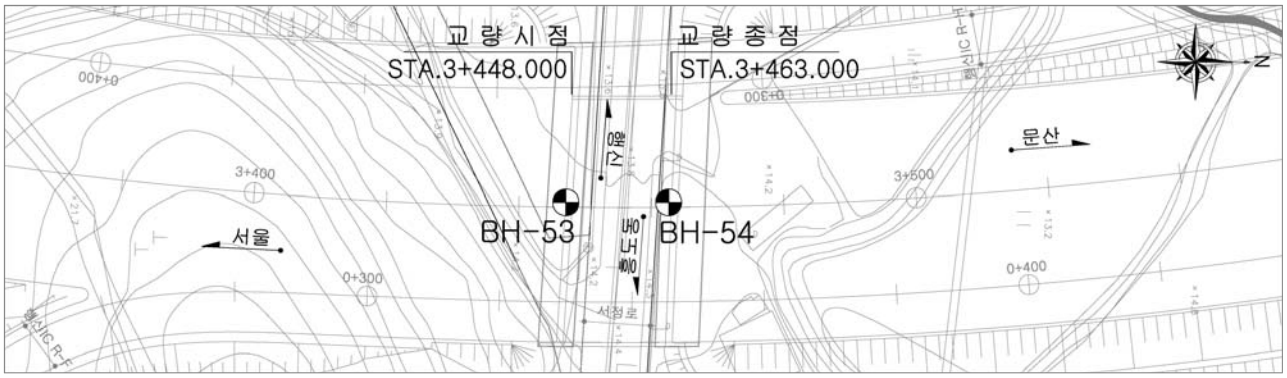
■ 지층상태

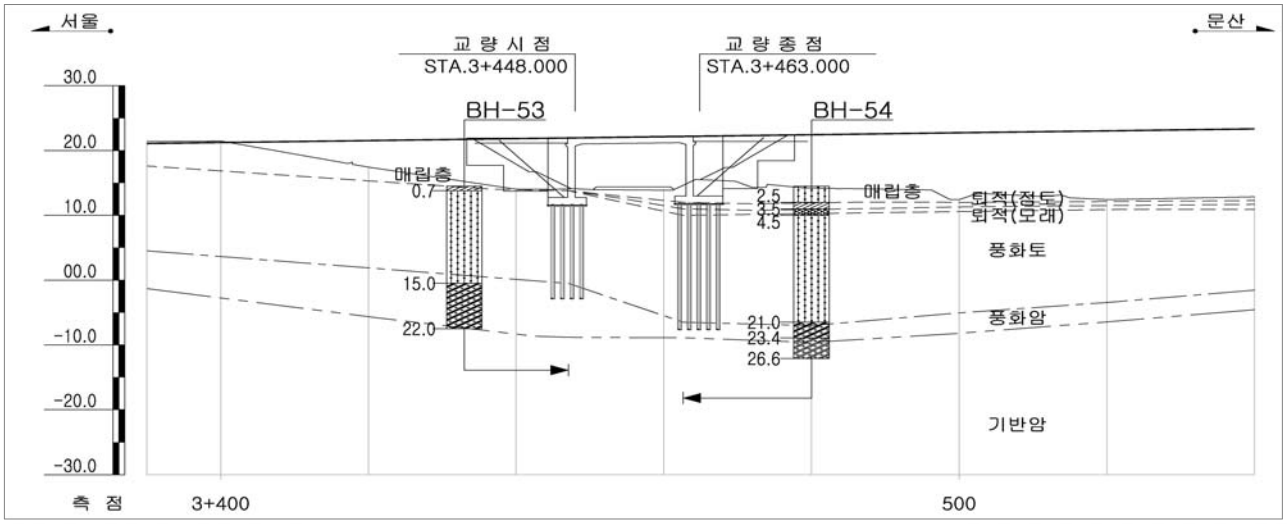
구 분	출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층	0.0	1.5~2.0	실트질 모래, 모래	4/30~12/30
퇴적층	1.5~2.0	2.5~3.8	실트질 점토	3/30~9/30
풍화토	4.0~5.8	14.5~18.2	실트질 모래	8/30~50/12
풍화암	18.5~24.0	2.5~7.0	실트질 모래	50/10~50/3
연 암	21.0	3.3	편마암	50~100%/0~25%

구 분	지 층 개 요
매립층	• 최상부층으로 지표하 1.5~2.0m 층후로 분포하며, 실트질 모래, 모래로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 느슨~보통조밀한 상대밀도
퇴적층	• 지표하 1.5~2.0m에서 2.5~3.8m 층후로 분포하며, 실트질 점토, 부분적 모래 함유 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 연약~견고한 연경도
풍화토	• 지표하 4.0~5.8m에서 14.5~18.2m 층후로 분포하며, 암편섞인 실트질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 느슨~매우조밀한 상대밀도
풍화암	• 지표하 18.5~24.0m에서 2.5~7.0m 이상 층후로 분포 • 편마암 하부풍화대로, 굴진시 암편이 협재된 실트질 모래로 분해
연 암	• 지표하 21.0m에서 3.3m 이상 층후로 분포하며, 암회색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 50~100%/0~25%로 매우불량~불량한 암질 상태

○ 도내교(BH-53, 54)

■ 조사위치 및 지층단면도





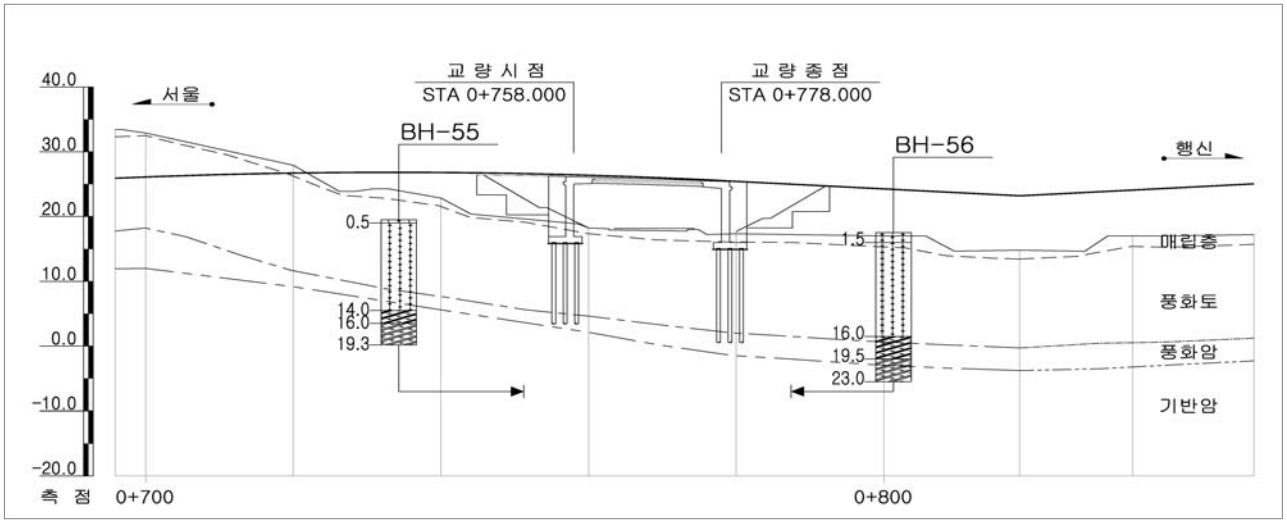
■ 지층상태

구 분		출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층		0.0	0.7~2.5	실트질 모래	5/30~6/30
퇴적층	점토	2.5	1.0	실트질 점토	6/30
	모래	3.5	1.0	점토질 모래	7/30
풍화토		0.7~4.5	14.3~16.5	실트질 모래	5/30~50/13
풍화암		15.0~21.0	2.4~7.0	실트질 모래	50/10~50/5
연 암		23.4	3.2	편마암	93%/24%

구 분		지 층 개 요
매립층		• 최상부층으로 지표하 0.7~2.5m 층후로 분포 • 실트질 모래로 구성, 부분적 자갈 함유 • 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 느슨한 상대밀도
퇴적층	점토	• 지표하 2.5m에서 1.0m 층후로 분포 • 암회색~회색의 모래섞인 실트질 점토로 구성 • 젖음 상태이며, 표준관입시험 결과 보통견고한 연경도
	모래	• 지표하 3.5m에서 1.0m 층후로 분포 • 암회색~암갈색, 황갈색의 점토질 모래로 구성 • 젖음상태 이며, 표준관입시험 결과 느슨한 상대밀도
풍화토		• 지표하 0.7~4.5m에서 14.3~16.5m 층후로 분포 • 편마암 상부풍화대로 실트질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 느슨~매우조밀한 상대밀도
풍화암		• 지표하 15.0~21.0m에서 2.4~7.0m 이상 층후로 분포 • 편마암 하부풍화대로 암편이 협재된 실트질 모래로 분해
연 암		• 지표하 23.4m에서 3.2m 이상 층후로 분포하며, 암회색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 93%/24%의 불량한 암질 상태

○ 행신IC R-G교(BH-55, 56)

■ 조사위치 및 지층단면도



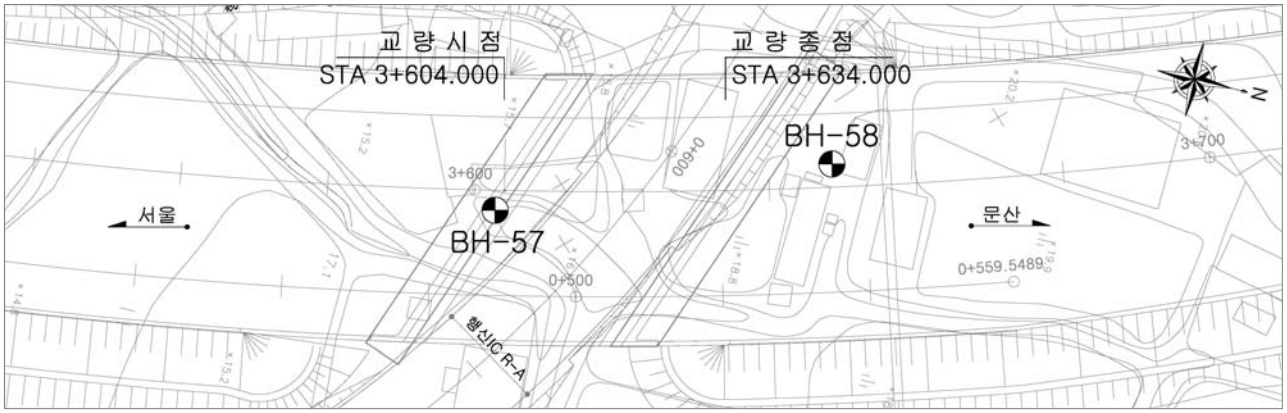
■ 지층상태

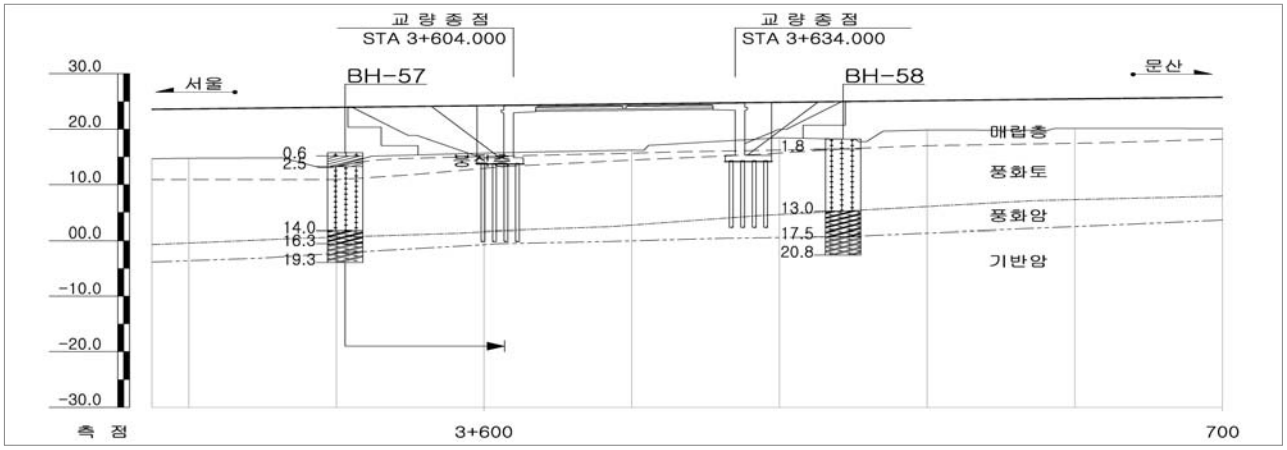
구 분	출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층	0.0	0.5~1.5	실트질 모래	6/30
풍화토	0.5~1.5	13.5~14.5	실트질 모래	7/30~50/14
풍화암	14.0~16.0	2.0~3.5	실트질 모래	50/9~50/6
연 암	16.0~19.5	3.3~3.5	편마암	77~96%/5~9%

구 분	지 층 개 요
매립층	• 최상부층으로 지표하 0.5~1.5m 층후로 분포하며, 암갈색~황갈색이 실트질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 느슨한 상대밀도
풍화토	• 지표하 0.5~1.5m에서 13.5~14.5m 층후로 분포하며, 실트질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 느슨~매우조밀한 상대밀도
풍화암	• 지표하 14.0~16.0m에서 2.0~3.5m 층후로 분포하며, 굴진시 암편섞인 실트질 모래로 분해 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 매우조밀한 상대밀도
연 암	• 지표하 16.0~19.5m에서 3.3~3.5m이상 층후로 분포하며 담회색~담청색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 77~96%/5~9%로 매우불량한 암질 상태

○ 행신IC교(BH-57, 58)

■ 조사위치 및 지층단면도





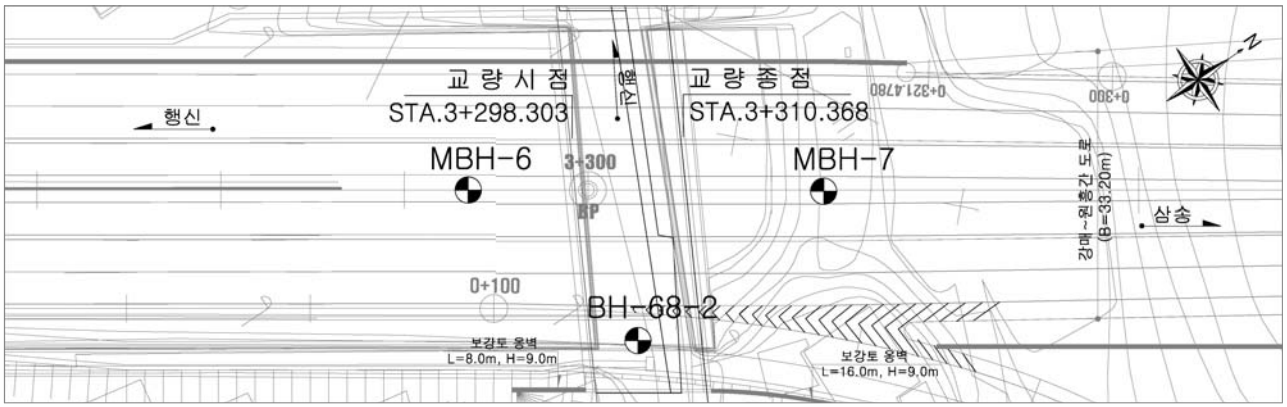
■ 지층상태

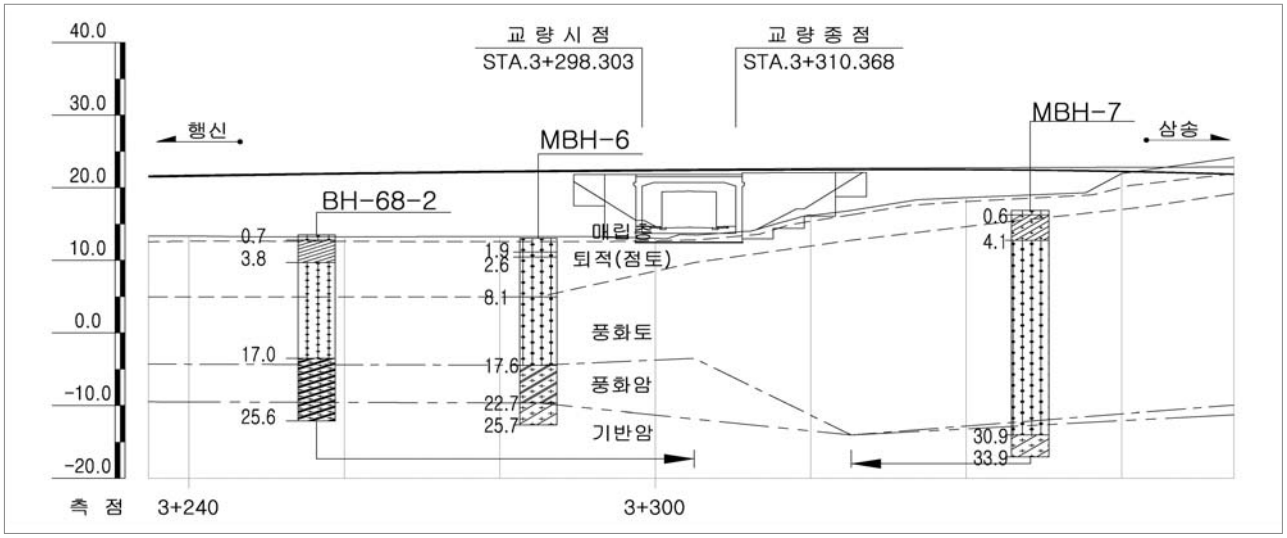
구 분	출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층	0.0	0.6~1.8	실트질 모래	3/30
붕적층	0.6	1.9	실트질 점토	11/30~23/30
풍화토	1.8~2.5	11.2~11.5	실트질 모래	8/30~50/12
풍화암	13.0~14.0	2.3~4.5	실트질 모래	50/10~50/7
연 암	16.3~17.5	3.3~3.4	편마암	80~95%/0%

구 분	지 층 개 요
매립층	• 최상부층으로 지표하 0.6~1.8m 층후로 분포 • 갈색의 실트질 모래로 부분적 자갈 함유하며, 표준관입시험 결과 매우느슨한 상대밀도
붕적층	• 지표하 0.6m에서 1.9m 층후로 분포 • 갈색의 실트질 점토로 구성되며, 표준관입시험 결과 견고~매우견고한 연경도
풍화토	• 지표하 1.8~2.5m에서 11.2~11.5m 층후로 분포 • 황갈색의 편마암 상부풍화대로 실트질 모래로 구성되며, 느슨~매우조밀한 상대밀도
풍화암	• 지표하 13.0~14.0m에서 2.3~4.5m 층후로 분포 • 황갈색의 편마암 하부풍화대로 굴진시 암편이 협재된 실트질 모래로 분해
연 암	• 지표하 16.3~17.5m에서 3.3~3.4m 이상 층후로 분포하며, 회색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 80~95%/0%로 매우불량한 암질 상태

○ 미병교(BH-68-2, 강매~원흥간 도로 자료 활용 : MBH-6, 7)

■ 조사위치 및 지층단면도





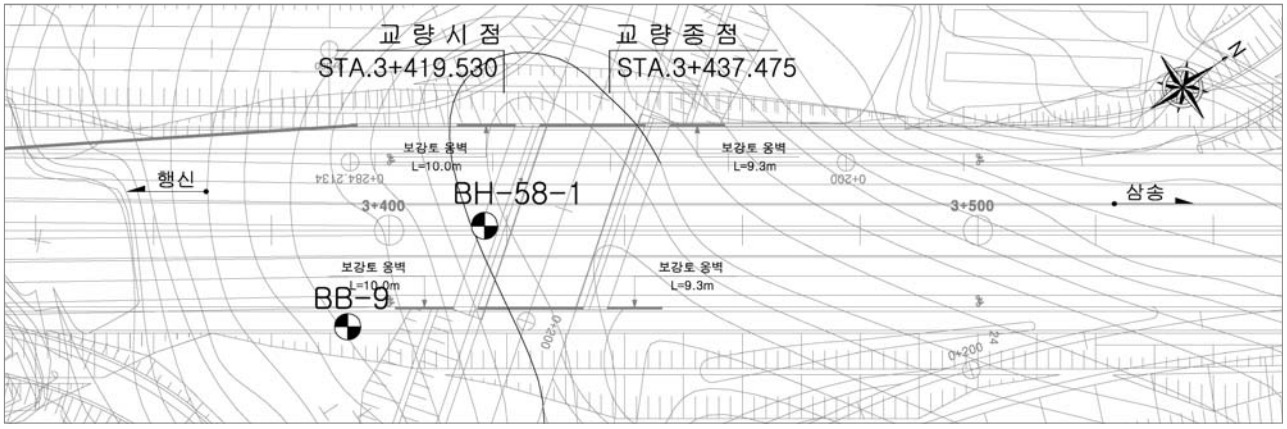
지층상태

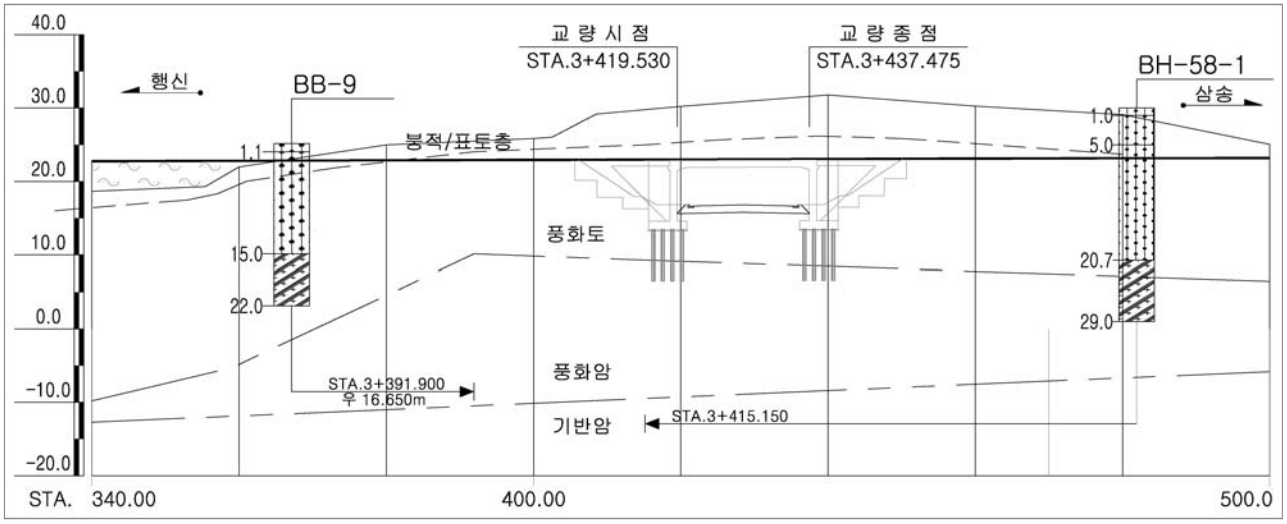
구 분	출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층	0.0	0.7	실트질 모래	–
퇴적층	0.7	3.1	실트질 점토	4/30~9/30
풍화토	3.8	13.2	실트질 모래	12/30~50/12
풍화암	17.0	8.6	실트질 모래	50/10~50/2

구 분	지 층 개 요
매립층	• 최상부층으로 지표하 0.7m 층후로 분포하며, 갈색의 실트질 모래, 부분적 자갈 함유
퇴적층	• 지표하 0.7m에서 3.1m 층후로 분포하며, 암갈색의 실트질 점토, 부분적 모래 및 자갈 함유 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 연약~견고한 연경도
풍화토	• 지표하 3.8m에서 13.2m 층후로 분포하며, 황갈색~갈색의 실트질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 보통조밀~매우조밀한 상대밀도
풍화암	• 지표하 17.0m에서 8.6m 이상 층후로 분포하며, 굴진시 황갈색의 암편섞인 실트질 모래로 분해 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 매우조밀한 상대밀도

○ 미병육교(BH-58-1, 제3자 공고안 : BB-9)

조사위치 및 지층단면도





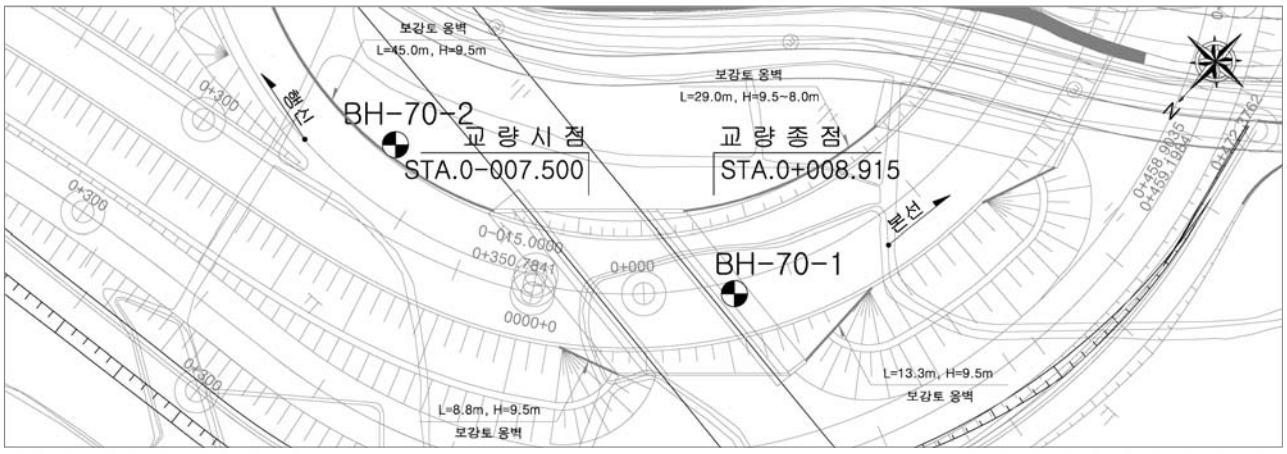
지층상태

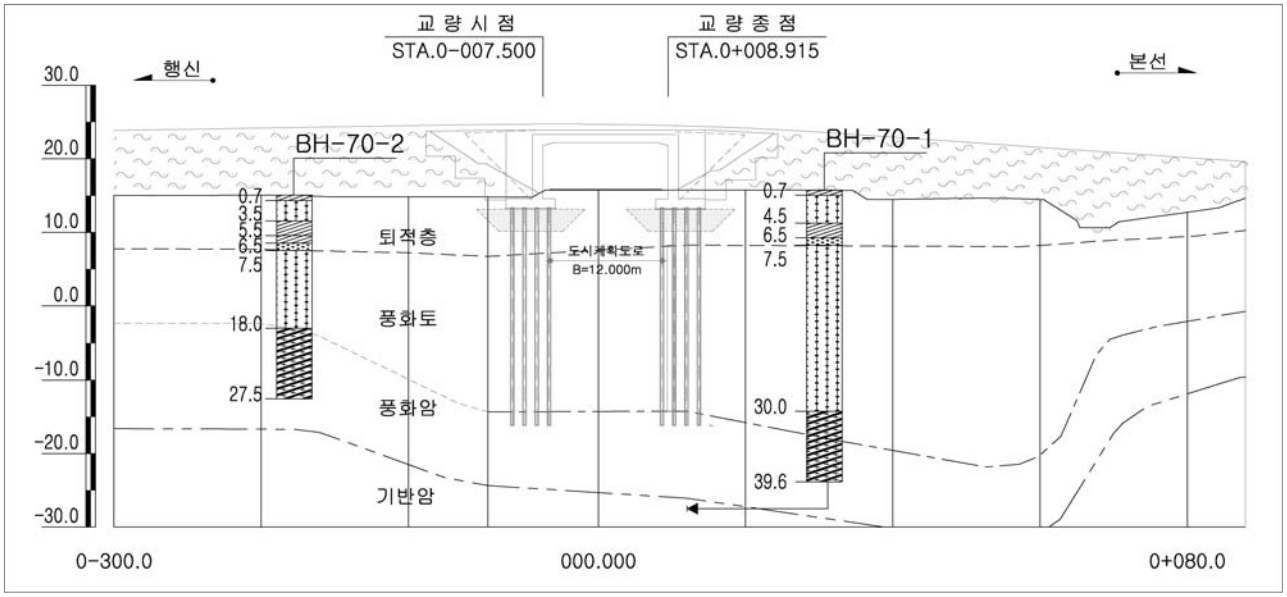
구 분	출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
붕적층/표토층	0.0	1.1~5.0	실트질 모래	12/30~15/30
풍화토	1.1~5.0	13.9~15.7	실트질 모래	14/30~50/1
풍화암	15.0~20.7	7.0~8.3	실트질 모래	50/8~50/1

구 분	지 층 개 요
붕적층/표토층	• 최상부층으로 지표하 1.1~5.0m 층후로 분포하며, 담갈색~암갈색의 실트질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 보통조밀한 상대밀도
풍화토	• 지표하 1.1~5.0m에서 13.9~15.7m 층후로 분포 • 담갈색의 편마암 상부풍화대로 실트질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 보통조밀~매우조밀한 상대밀도
풍화암	• 지표하 15.0~20.7m에서 7.0~8.3m 이상 층후로 분포 • 담갈색의 하부풍화대로 굴진시 암편섞인 실트질 모래로 분해 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 매우조밀한 상대밀도

행신IC A1교(BH-70-1, 70-2)

조사위치 및 지층단면도





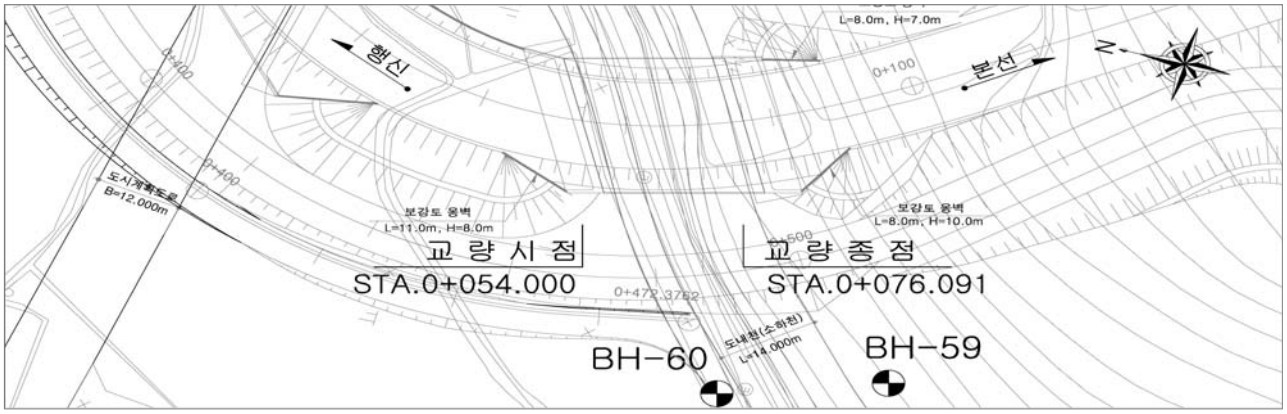
지층상태

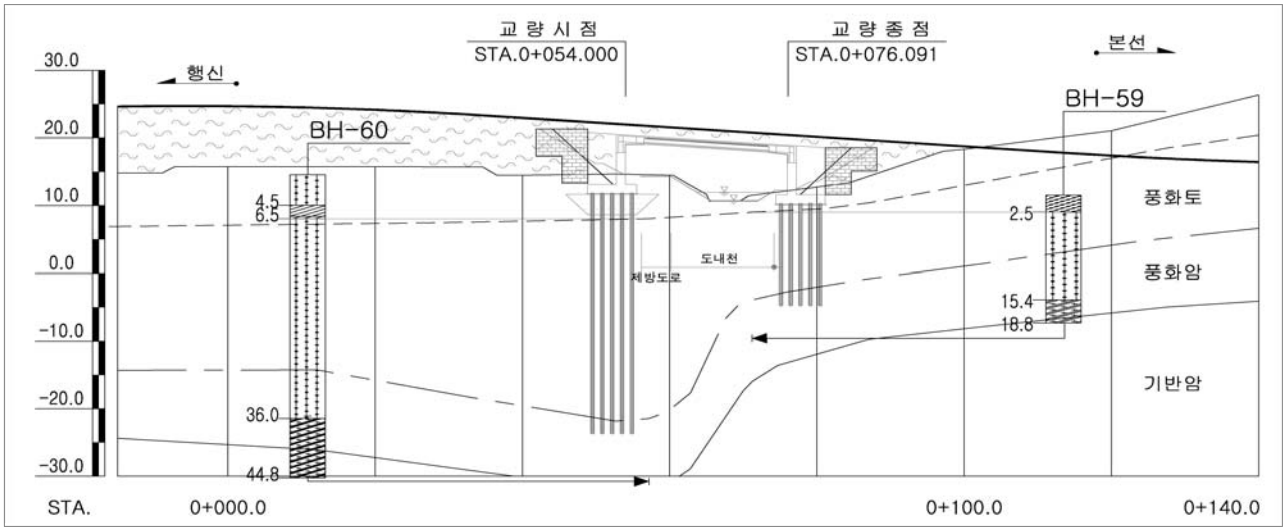
구 분		출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층	점토	0.0	0.7	실트질 점토, 모래질 점토	–
	모래	0.7	2.8~3.8	실트질 모래	3/30~10/30
퇴적층	점토	5.5	1.0	실트질 점토	7/30
	모래	6.5	1.0	모래	9/30~12/30
풍화토		7.5	10.5~22.5	실트질 모래	15/30~50/11
풍화암		18.0~30.0	9.5~9.6	실트질 모래	50/10~50/1

구 분		지 층 개 요
매립층	점토	• 최상부층으로 지표하 2.7m 층후로 분포 • 암회색의 실트질 점토, 자갈섞인 모래질 점토로 구성, 부분적 유기물 함유 • 젖음 상태이며, 표준관입시험 결과 연약~보통견고한 연경도
	모래	• 지표하 0.7m에서 2.8~3.8m 층후로 분포 • 갈색~암갈색의 자갈섞인 실트질 모래로 구성 • 젖음~습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 매우느슨~보통조밀한 상대밀도
퇴적층	점토	• 지표하 5.5m에서 1.0m 층후로 분포 • 암회색의 실트질 점토로 구성 • 젖음 상태이며, 표준관입시험 결과 보통견고한 연경도
	모래	• 지표하 6.5m에서 1.0m 층후로 분포 • 갈색~담회색의 모래로 구성 • 젖음상태이며, 표준관입시험 결과 느슨~보통조밀한 상대밀도
풍화토		• 지표하 7.5m에서 10.5~22.5m 층후로 분포 • 적갈색~담갈색, 갈색의 편마암 상부풍화대로 암편섞인 실트질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 보통조밀~매우조밀한 상대밀도
풍화암		• 지표하 18.0~30.0m에서 9.5~9.6m이상 층후로 분포 • 갈색의 편마암 하부풍화대로 암편이 협재된 실트질 모래로 분해 • 부분적 연경이 교호하여 분포

행신IC R-A2교(BH-59, 60)

조사위치 및 지층단면도





지층상태

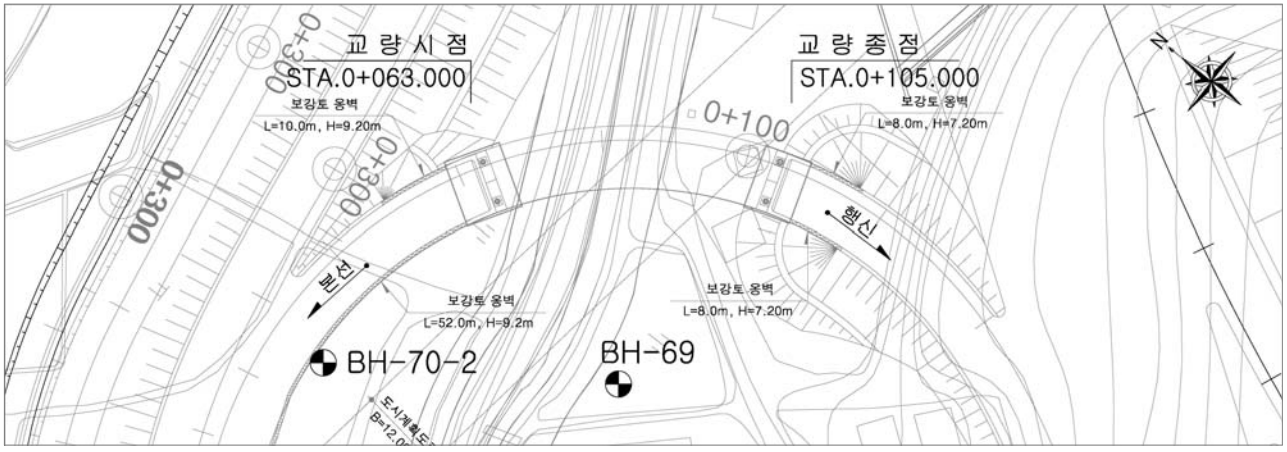
구 분	출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층	0.0	4.5	실트질 모래	2/30~10/30
붕적층	0.0	2.5	점토질 모래	15/30~22/30
퇴적층	4.5	2.0	실트질 점토	6/30~10/30
풍화토	2.5~6.5	12.9~29.5	실트질 모래	10/30~50/12
풍화암	36.0	8.8	실트질 모래	50/10~50/7
연 암	15.4	3.4	편마암	97%/9%

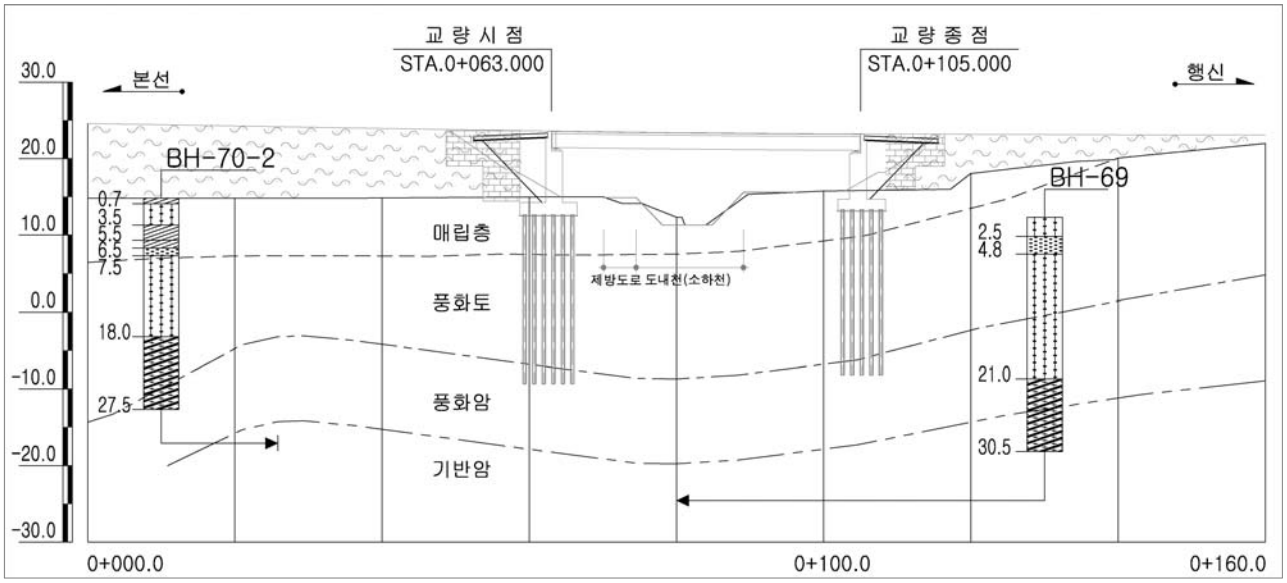
구 분	지 층 개 요
매립층	• 최상부층으로 지표하 4.5m 층후로 분포 • 암갈색의 실트질 모래로 구성, 부분적 자갈 함유 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 매우느슨~보통조밀한 상대밀도
붕적층	• 지표하 0.0m에서 2.5m 층후로 분포 • 갈색의 점토질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 보통조밀한 상대밀도

구 분	지 층 개 요
퇴적층	• 지표하 4.5m에서 2.0m 층후로 분포 • 황갈색의 실트질 점토로 구성, 부분적 모래 함유 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 보통견고~견고한 연경도
풍화토	• 지표하 2.5~6.5m에서 12.9~29.5m 층후로 분포 • 황갈색의 편마암 상부풍화대로 실트질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 보통조밀~매우조밀한 상대밀도
풍화암	• 지표하 36.0m에서 8.8m 이상 층후로 분포 • 황갈색의 편마암 하부풍화대로 굴진시 암편이 협재된 실트질 모래로 분해 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 매우조밀한 상대밀도
연 암	• 지표하 15.4m에서 3.4m 이상 층후로 분포하며, 회색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 97%/9%의 매우불량한 암질 상태 • 보통풍화, 보통강함~강함, 매우심한균열~심한균열의 상태

○ 행신IC R-B교(BH-69, 70-2)

■ 조사위치 및 지층단면도





■ 지층상태

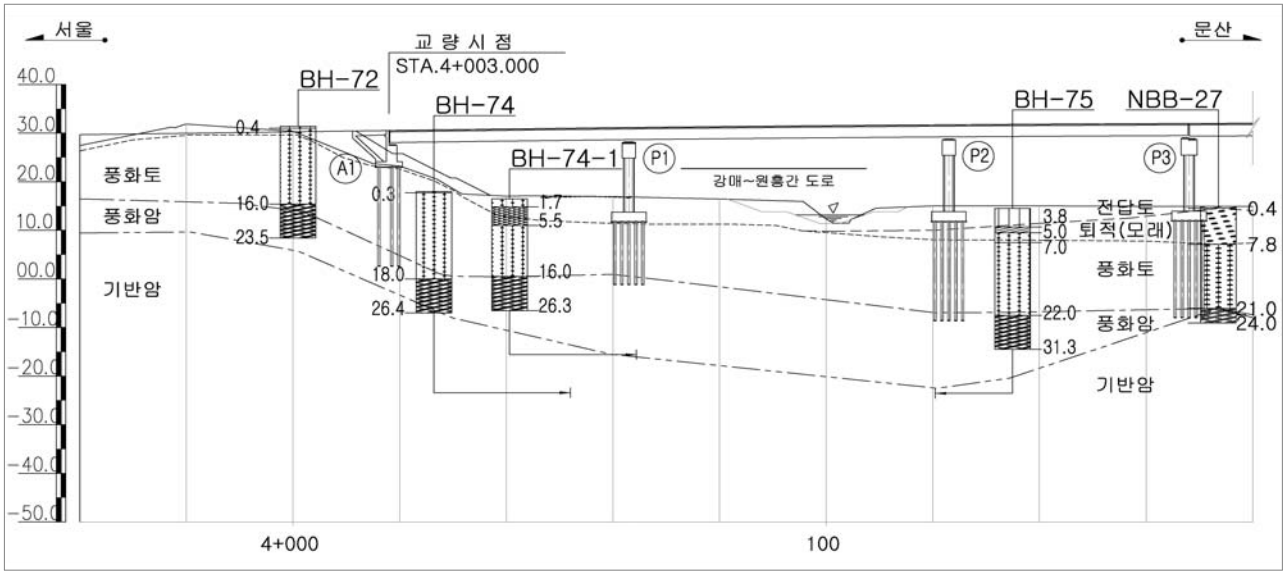
구 분		출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
전답층		0.0	0.7	실트질 점토	–
매립층	점토	3.5	2.0	모래질 점토	3/30~4/30
	모래	0.0~0.7	2.5~2.8	실트질 모래	3/30~10/30
퇴적층	점토	5.5	1.0	실트질 점토	7/30
	모래	2.5~6.5	1.0~2.3	자갈질 모래, 모래	7/30~12/30
풍화토		4.8~6.5	10.5~16.3	실트질 모래	8/30~50/13
풍화암		18.0~21.0	9.5	실트질 모래	50/9~50/1

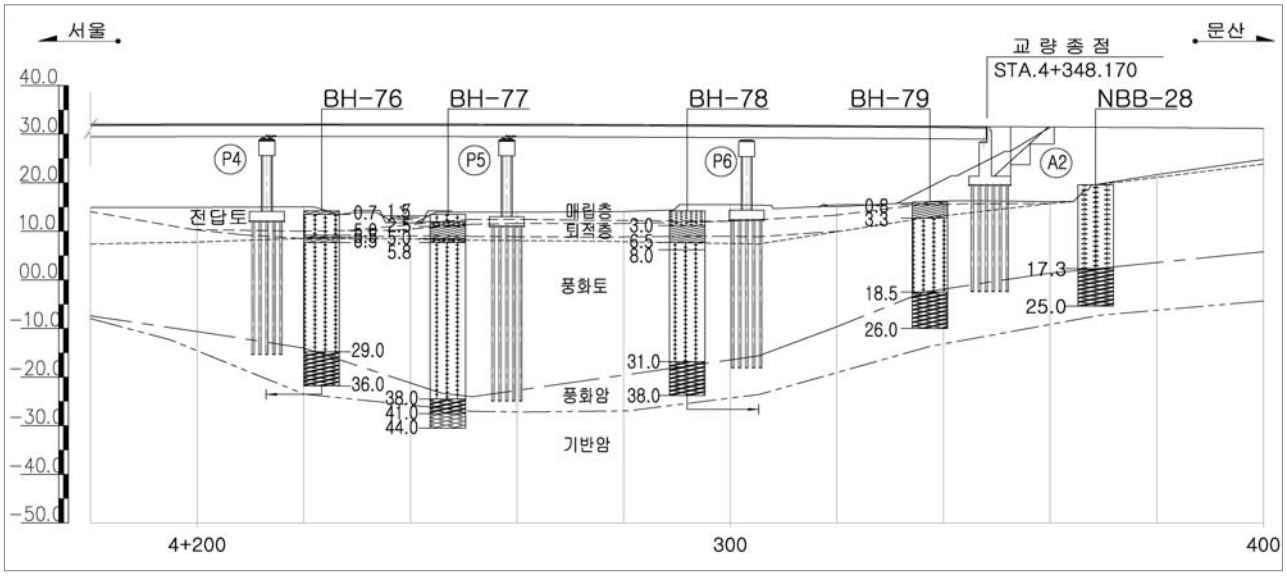
구 분		지 층 개 요
전답층		• BH-70-2번공 최상부층으로 지표하 0.7m 층후로 분포하며 암회색의 실트질 점토로 구성
매립층	점토	• 지표하 3.5m에서 2.0m 층후로 분포하며 암회색의 모래질 점토, 실트질 점토로 구성 • 습윤한 상태이며 표준관입시험결과 연약한 연경도
	모래	• 지표하 0.0~0.7m에서 2.5~2.8m 층후로 분포하며 갈색~암갈색의 실트질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며 표준관입시험결과 매우느슨~보통조밀한 상대밀도
퇴적층	점토	• BH-70-2번공 지표하 5.5m에서 1.0m 층후로 분포하며 암회색의 실트질 점토로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 보통견고한 연경도
	모래	• 지표하 2.5~6.5m에서 1.0~2.3m 층후로 분포하며, 실트질 모래, 모래로 구성 • 습윤한 상대이며 느슨~보통조밀한 상대밀도
풍화토		• 기반암의 상부풍화대로 지표하 4.8~6.5m에서 10.5~16.3m 층후로 분포 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 느슨~매우조밀한 상대밀도
풍화암		• 기반암의 하부풍화대로 지표하 18.0~21.0m에서 9.5m 이상 층후로 분포 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 매우조밀한 상대밀도

○ 원흥1교(BH-72, 74, 74-1, 75, 76, 77, 78, 79, 보완설계 : NBB-27, 28)

■ 조사위치 및 지층단면도

• 문산방향 A1(BH-73)은 급경사 및 하부에 민가가 있어 진입로 개설이 어려워 조사 불가 ➜ 시공 중 조사 계획 수립





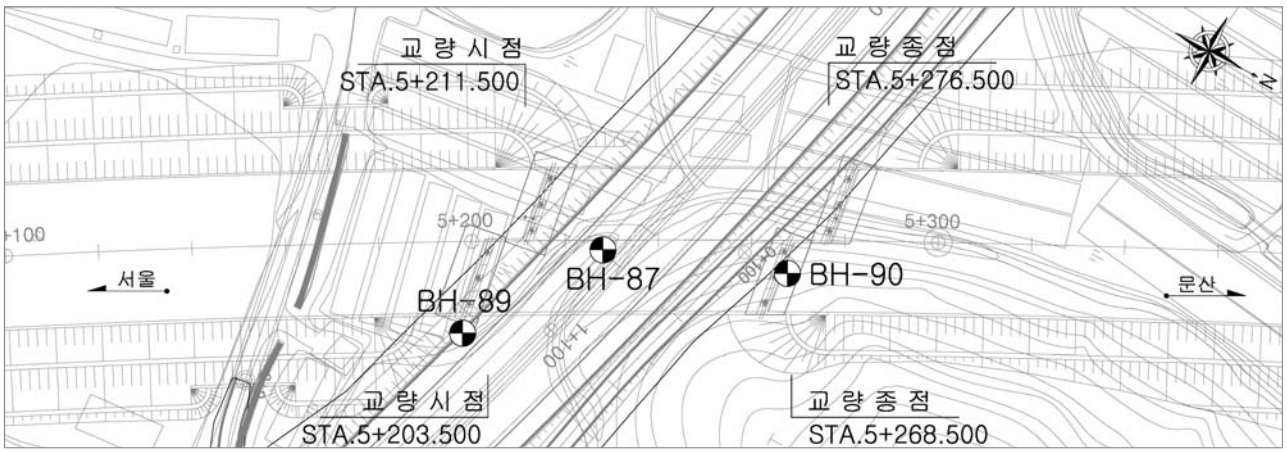
지층상태

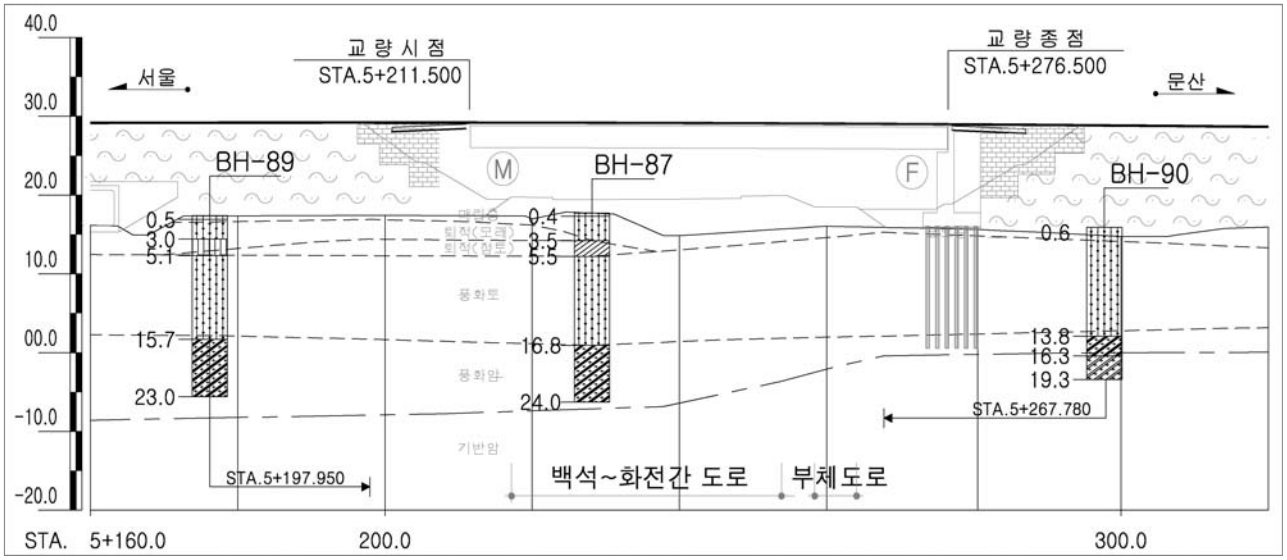
구 분		출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층/전답층	점토	0.0~5.0	0.5~3.8	모래질실트, 실트질점토, 모래질점토	13/30
	모래	0.0~0.7	0.3~5.5	실트질 모래, 점토질모래, 자갈질모래	4/30~38/30
	자갈	0.0	0.8	실트질 자갈	–
퇴적층	점토	0.8~5.5	1.0~3.5	실트질 점토	3/30~9/30
	모래	1.5~6.5	1.5~2.0	실트질 모래, 점토질 모래	4/30~13/30
	자갈	0.4	7.4	모래질 자갈	7/30~18/30
풍화토		0.0~8.0	10.5~32.2	실트질 모래	6/30~50/8
풍화암		16.0~38.0	3.0~10.3	실트질 모래	50/10~50/2
연 암		21.0	3.0	편마암	77%/10%
보통암		41.0	3.0	편마암	100%/80%

구 분		지 층 개 요
매립층/전답층	점토	• 최상부층으로 지표하 0.5~3.8m 층후로 분포 • 암회색의 모래질 실트, 실트질 점토, 모래질 점토로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 견고한 연경도
	모래	• 지표하 0.0~0.7m에서 0.3~5.5m 층후로 분포 • 황갈색~암갈색의 실트질 모래, 점토질 모래, 자갈질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 매우느슨~조밀한 상대밀도
	자갈	• BH-79번공 최상부층으로 지표하 0.8m 층후로 분포 • 암갈색의 실트질 자갈로 구성
퇴적층	점토	• 지표하 0.8~5.5m에서 1.0~3.5m 층후로 분포 • 암갈색~갈색의 실트질 점토로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 연약~견고한 연경도
	모래	• 지표하 1.5~6.5m에서 1.5~2.0m 층후로 분포 • 황갈색~암갈색의 실트질 모래, 점토질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 매우느슨~보통조밀한 상대밀도
	자갈	• 지표하 0.4m에서 7.4m 층후로 분포하며 담회색의 모래섞인 자갈로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 느슨~보통조밀한 상대밀도
풍화토		• 지표하 0.0~8.0m에서 10.5~32.2m 층후로 분포 • 황갈색~암갈색의 편마암 상부풍화대로 실트질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 느슨~매우조밀한 상대밀도
풍화암		• 지표하 16.0~38.0m에서 3.0~10.3m 이상 층후로 분포 • 암갈색~황갈색의 편마암 하부풍화대로 암편이 협재된 실트질 모래로 분해
연 암		• 지표하 21.0m에서 3.0m 이상 층후로 분포하며, 암갈색~담갈색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 77%/10%로 매우불량한 암질 상태
보통암		• 지표하 41.0m에서 3.0m 이상 층후로 분포하며, 암갈색~담갈색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 100%/80%로 양호~매우양호한 암질 상태

○ 원흥2교(BH-87, 89, 90)

■ 조사위치 및 지층단면도





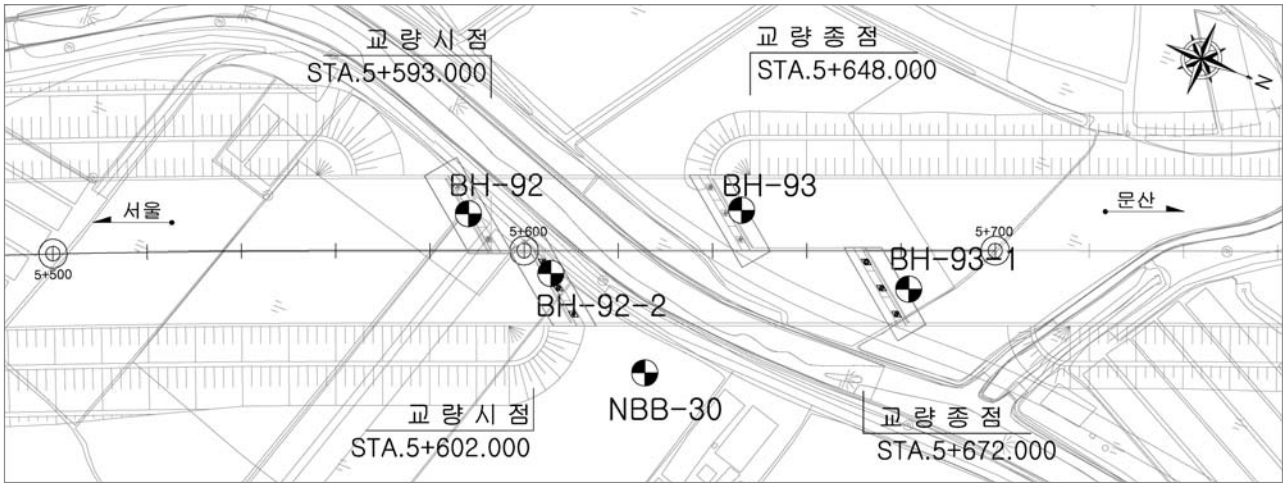
지층상태

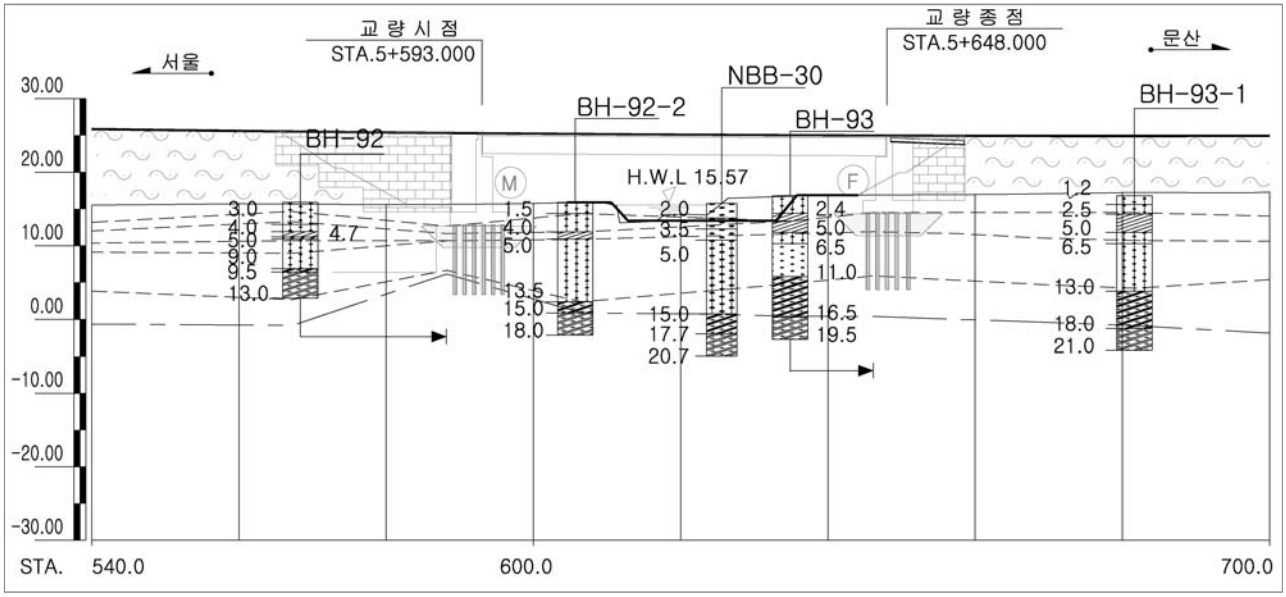
구 분		출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
전답층/표토층		0.0	0.4~0.6	실트질 모래	-
매립층		0.4	3.1	실트질 모래	7/30~10/30
퇴적층	점토	3.0~3.5	2.0~2.1	점토질 실트, 실트질 점토	5/30~12/30
	모래	0.5	2.5	실트질 모래	7/30
풍화토		0.6~5.5	10.6~13.2	실트질 모래	10/30~50/11
풍화암		13.8~16.8	2.5~8.6	실트질 모래	50/9~50/3
연 암		16.3	3.2	편마암	86%/10%

구 분		지 층 개 요
전답층/표토층		• 최상부층으로 지표하 0.4~0.6m 층후로 분포하며 • 황갈색 및 암갈색의 실트질 모래로 구성되며, 부분적 자갈 함유
매립층		• 지표하 0.4m에서 3.1m 층후로 분포 • 암회색의 모래질 실트로 구성되며, 표준관입시험 결과 느슨~보통견고한 조밀한 상대밀도
퇴적층	점토	• 지표하 3.0~3.5m에서 2.0~2.1m 층후로 분포 • 암회색의 실트질 점토, 점토질 실트로 구성되며, 표준관입시험 결과 보통견고~견고한 연경도
	모래	• 지표하 0.5m에서 2.5m 층후로 분포 • 갈색~암회색의 실트질 모래로 구성되며, 표준관입시험 결과 느슨한 상대밀도
풍화토		• 지표하 0.6~5.5m에서 10.6~13.2m 층후로 분포하며 실트질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 느슨~매우조밀한 상대밀도 • BH-89공에서 지표하 7.7~9.2m구간 석영맥이 분포
풍화암		• 지표하 13.8~16.8m에서 2.5~8.6m 이상 층후로 분포 • 암갈색의 편마암의 하부풍화대로 암편이 협재된 실트질 모래로 분해
연 암		• 지표하 16.3m에서 3.2m 이상 층후로 분포하며, 갈색~담회색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 86%/10% 매우불량한 암질 상태

○ 성사3교(BH-92, 92-2, 93, 93-1, 보완설계 : NBB-30)

▮ 조사위치 및 지층단면도





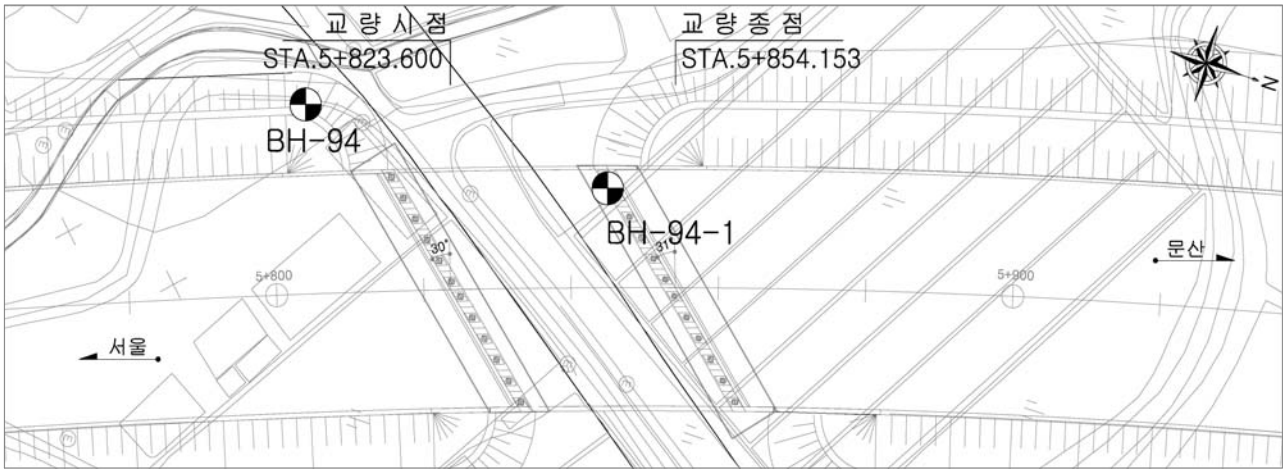
▮ 지층상태

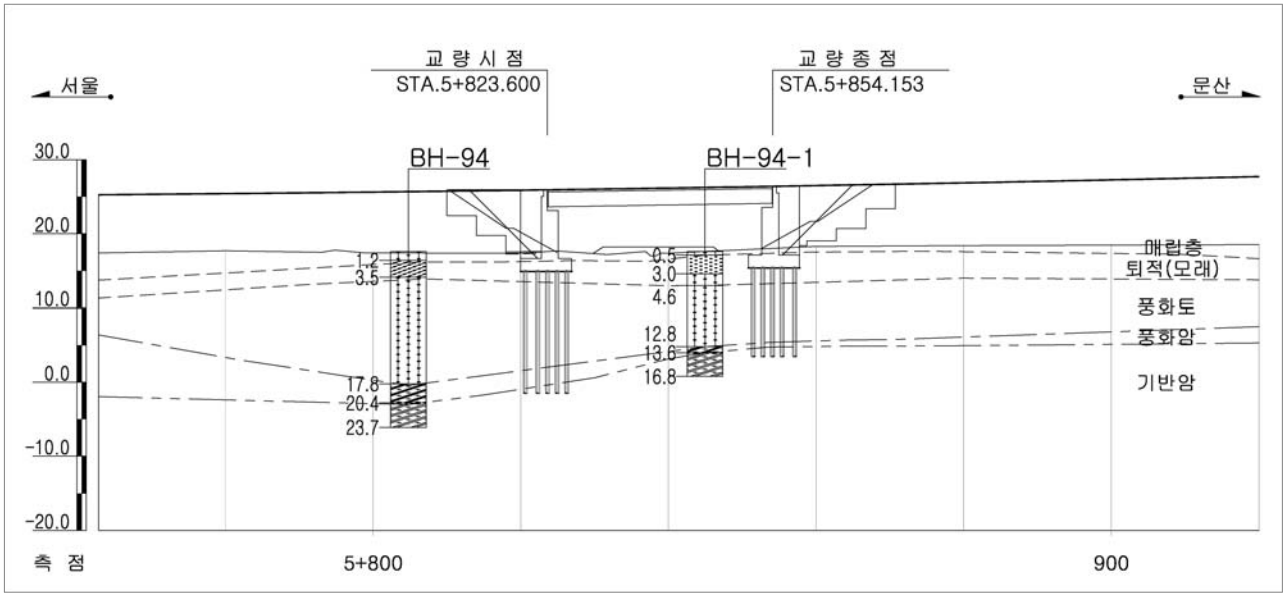
구 분		출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층		0.0	1.2~3.0	실트질 모래	5/30~28/30
퇴적층	점토	2.4~4.0	0.7~2.6	실트질 점토, 모래질 점토	3/30~8/30
	모래	1.2~5.0	1.3~2.8	실트질 모래, 점토질 모래	4/30~28/30
풍화토		5.0~6.5	4.0~10.0	실트질 모래	4/30~50/12
풍화암		9.0~15.0	0.5~5.5	실트질 모래	50/10~50/2
연 암		9.5~18.0	3.2~3.5	편마암	60~100%/0~38%

구 분		지 층 개 요
매립층		• 최상부층으로 지표하 0.0m에서 1.2~3.0m 층후로 분포 • 자갈섞인 실트질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 느슨~보통조밀한 상대밀도
퇴적층	점토	• 지표하 2.4~4.0m에서 0.7~2.6m 층후로 분포 • 암갈색~황갈색 및 갈색의 실트질 점토, 모래질 점토로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 연약~보통견고한 연경도
	모래	• 지표하 1.0~5.0m에서 1.3~2.8m 층후로 분포 • 황갈색~암갈색의 실트질 모래~점토질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 매우느슨~보통조밀한 상대밀도
풍화토		• 지표하 5.0~6.5m에서 4.0~10.0m 층후로 분포 • 황갈색~암갈색의 암편섞인 실트질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 매우느슨~매우조밀한 상대밀도
풍화암		• 지표하 9.0~15.0m에서 0.5~5.5m 층후로 분포 • 황갈색의 편마암 하부풍화대로 암편이 협재된 실트질 모래로 분해 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 매우조밀한 상대밀도
연 암		• 지표하 9.5~18.0m에서 3.2~3.5m이상 층후로 분포하며, 암회색~담회색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 60~100%/0~38%로 매우불량~불량한 암질 상태

○ 성사4교(BH-94, 94-1)

■ 조사위치 및 지층단면도





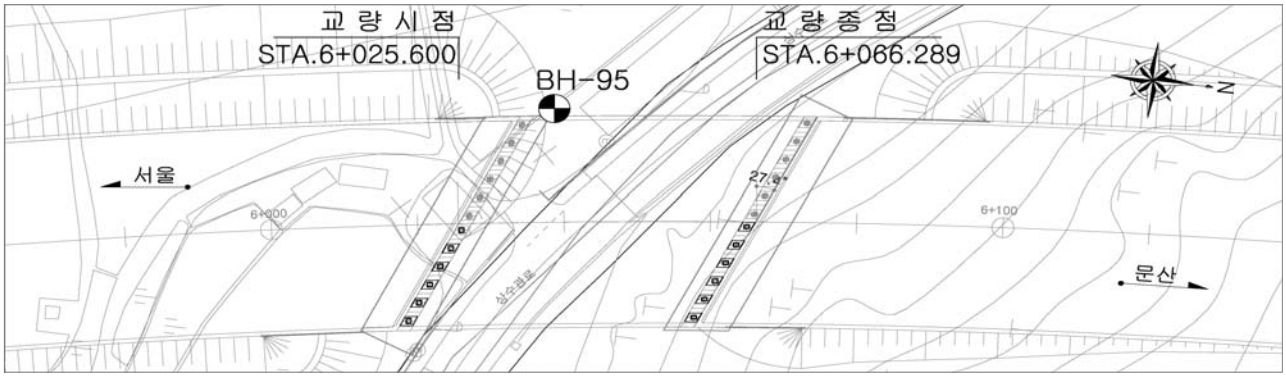
■ 지층상태

구 분	출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층	0.0	0.5~1.2	실트질 모래, 자갈질 모래	4/30
퇴적층	0.5~1.2	2.3~4.1	실트질, 점토질, 자갈질 모래	4/30~21/30
풍화토	3.5~4.6	8.2~14.3	실트질 모래	5/30~50/13
풍화암	12.8~17.8	0.8~2.6	실트질 모래	50/9~50/4
연 암	13.6~20.4	3.2~3.3	편마암	71~84%/3~30%

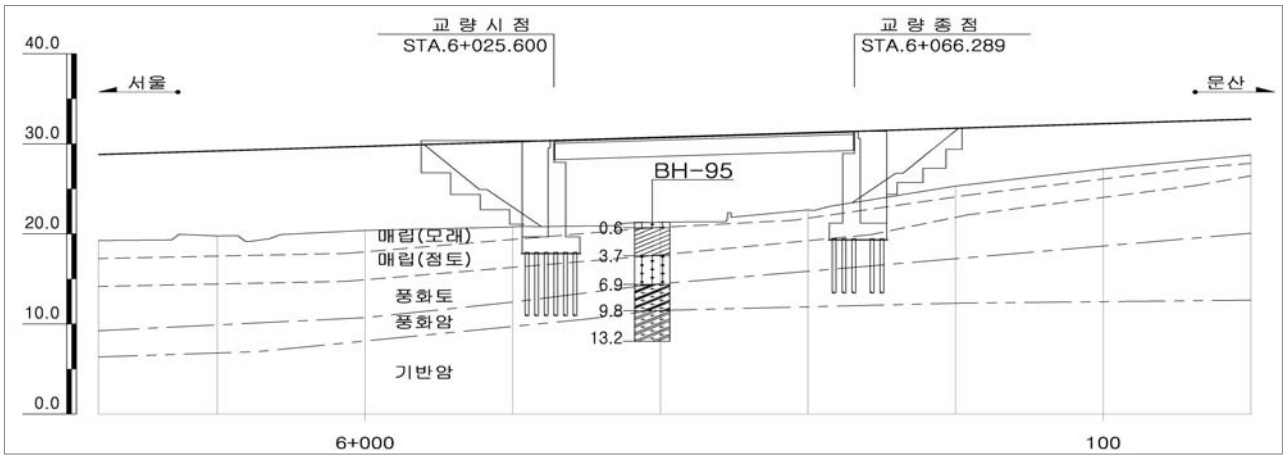
구 분	지 층 개 요
매립층	• 최상부층으로 지표하 0.0m에서 0.5~1.2m 층후로 분포 • 담갈색~암갈색의 자갈섞인 실트질 모래, 실트섞인 자갈질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 매우느슨~느슨한 상대밀도
퇴적층	• 지표하 0.5~1.2m에서 2.3~4.1m 층후로 분포 • 암갈색~암회색, 담갈색의 점토질 모래, 자갈질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 매우느슨~보통조밀한 상대밀도
풍화토	• 지표하 3.5~4.6m에서 8.2~14.3m 층후로 분포 • 암갈색~담갈색, 황갈색의 실트질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 느슨~매우조밀한 상대밀도
풍화암	• 지표하 12.8~17.8m에서 0.8~2.6m이상 층후로 분포 • 기반암의 하부풍화대로 굴진시 암편섞인 실트질 모래로 분해
연 암	• 지표하 13.6~20.4m에서 3.2~3.3m이상 층후로 분포하며, 담회색~암회색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 71~84%/3~30%로 매우불량~불량한 암질 상태

○ 성사5교(BH-95)

▮ 조사위치 및 지층단면도



• 문산방향 A2지역은 급경사 및 민원인 반대로 인하여 조사 불가 ➜ 시공 중 조사 계획 수립



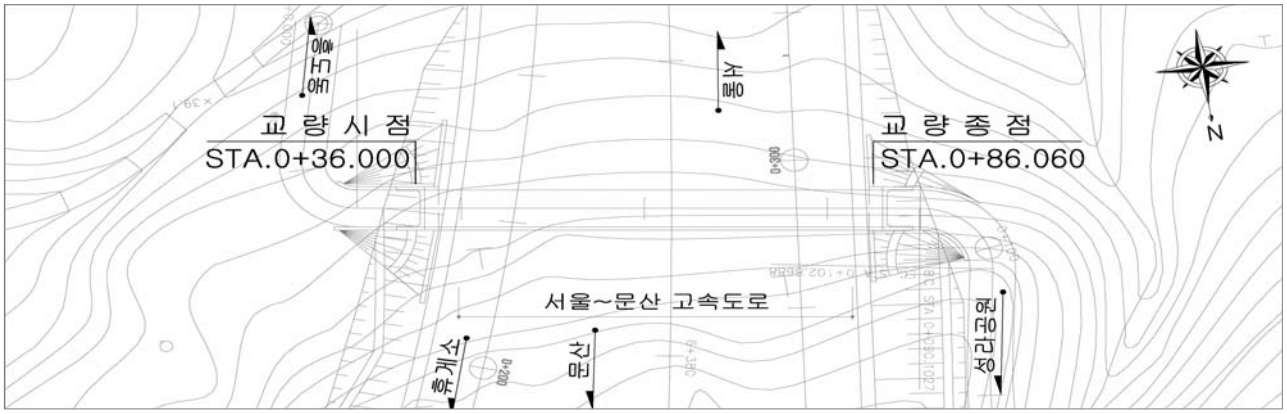
▮ 지층상태

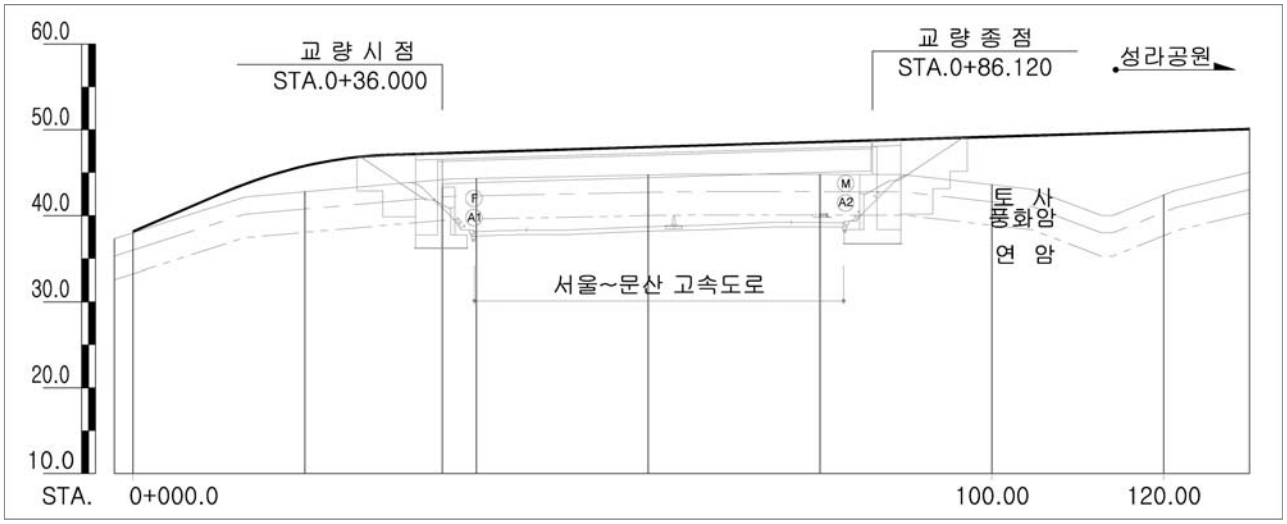
구 분		출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층	모래	0.0	0.6	실트질 모래	–
	점토	0.6	3.1	실트질 점토	5/30~6/30
풍화토		3.7	3.2	실트질 모래	14/30~26/30
풍화암		6.9	2.9	실트질 모래	50/6
연 암		9.8	3.4	산성맥암	65%/5%

구 분		지 층 개 요
매립층	모래	• 최상부층으로 지표하 0.0m에서 0.6m 층후로 분포하며, 암갈색의 실트질 모래로 구성
	점토	• 지표하 0.6m에서 3.1m 층후로 분포하며, 황갈색~갈색의 모래섞인 실트질 점토로 구성 • 습윤~젖음 상태이며, 표준관입시험결과 보통견고~견고한 연경도
풍화토		• 지표하 3.7m에서 3.2m 층후로 분포하며, 갈색~암갈색의 암편섞인 실트질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 보통조밀한 상대밀도
풍화암		• 지표하 6.9m에서 2.9m 층후로 분포 • 기반암의 하부풍화대로 굴진시 황갈색~갈색의 암편이 협재된 실트질 모래로 분해
연 암		• 지표하 9.8m에서 3.4m 이상 층후로 분포하며, 담갈색~황갈색의 산성맥암으로 구성 • TCR/RQD는 65%/5%로 매우불량한 암질 상태

○ 흥도육교

▮ 조사위치 및 지층단면도





• 미조사 구간으로 인근 자료 BH-98번공과 및 탄성파 탐사를 활용하여 지층선 추정

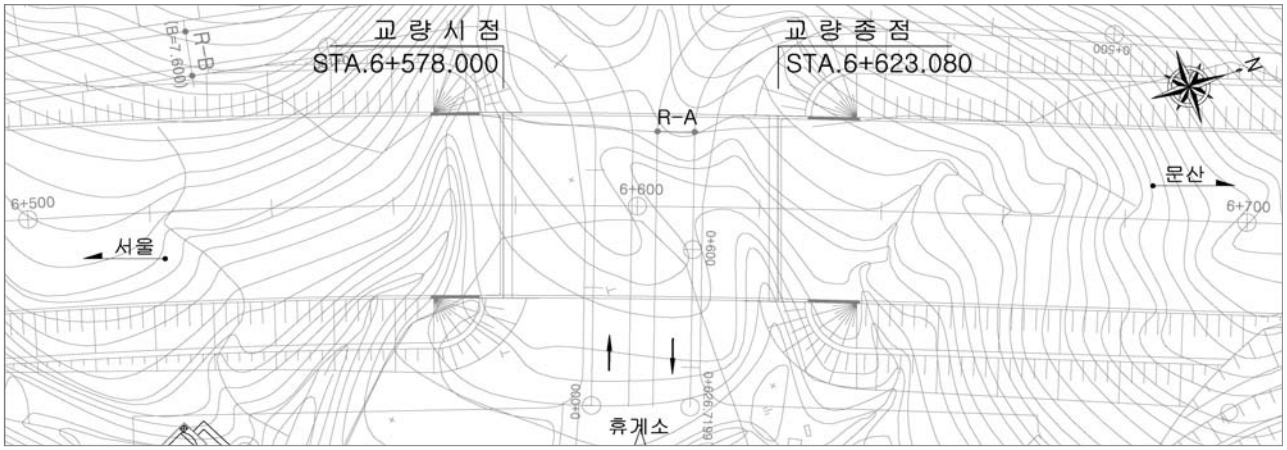
▮ 지층상태

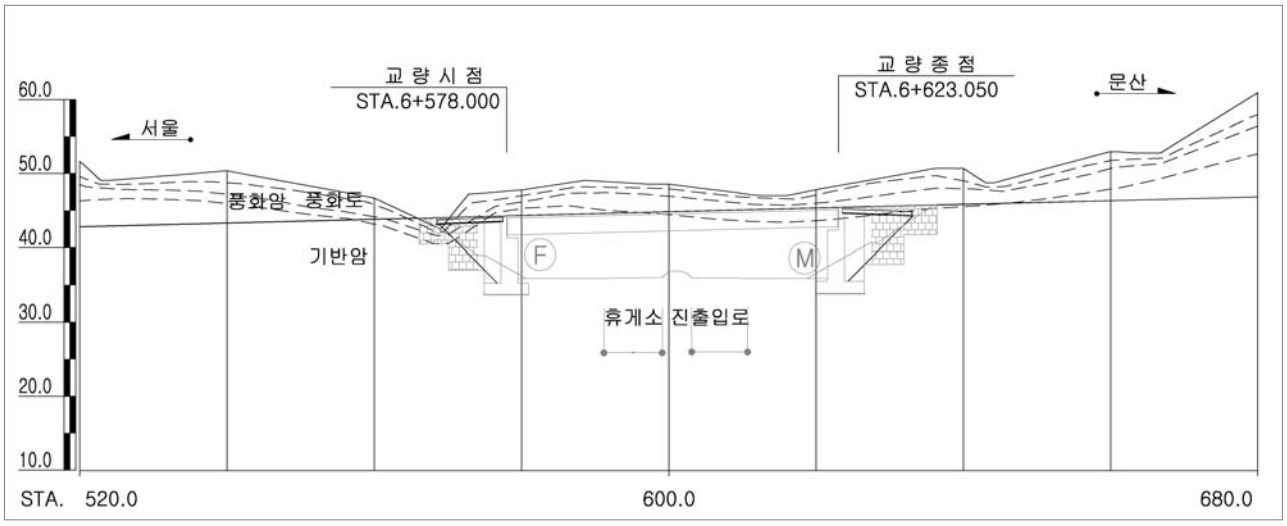
구 분	출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
표토층	0.0	0.3	실트질 모래	-
풍화암	0.3	2.0	실트질 모래	50/9~50/3
연 암	2.3	1.9	편마암	100%/43%
경 암	4.2	9.0	편마암	100%/80~97%

구 분	지 층 개 요
표토층	• 최상부층으로 지표하 0.0m에서 0.3m 층후로 분포하며, 갈색의 자갈섞인 실트질 모래로 구성
풍화암	• 지표하 0.3m에서 2.0m 층후로 분포하며, 굴진시 암편섞인 실트질 모래로 분해
연 암	• 지표하 2.3m에서 1.9m의 층후로 분포하며, 암갈색~암회색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 100/43%로 보통인 암질상태
경 암	• 지표하 4.2m에서 9.0m이상 층후로 분포하며 담회색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 100%/80~97%로 양호~매우양호한 암질상태

○ 성라교

▮ 조사위치 및 지층단면도





• 미조사 구간으로 인근 자료 BH-98번공과 및 탄성파 탐사를 활용하여 지층선 추정

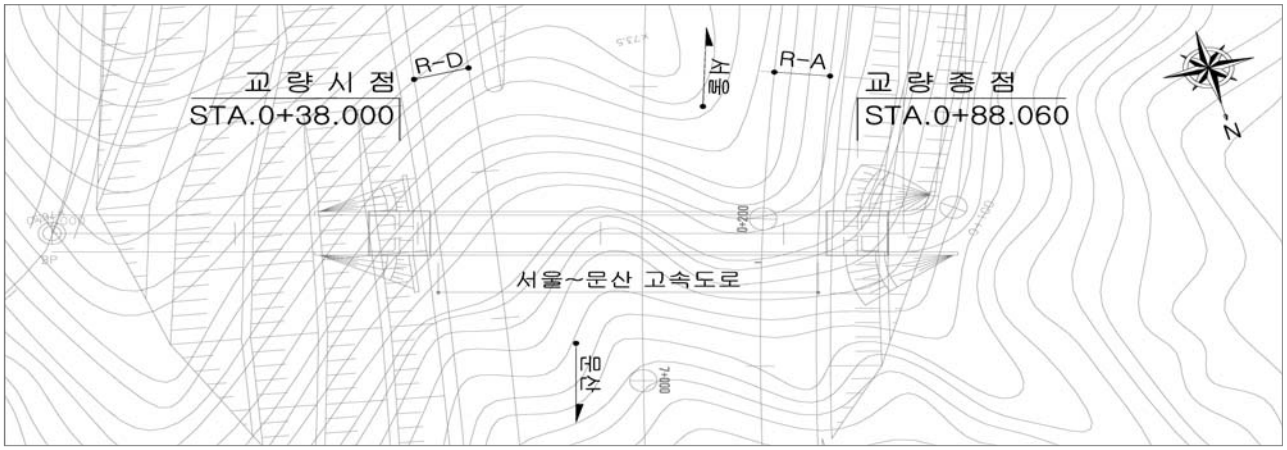
▮ 지층상태

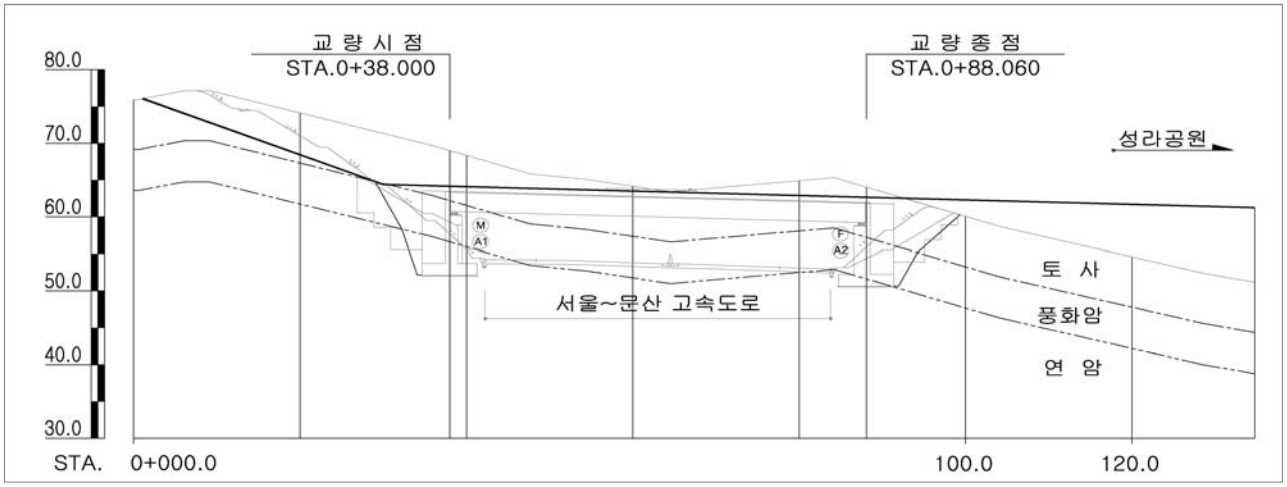
구 분	출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
표토층	0.0	0.3	실트질 모래	-
풍화대	0.3	2.0	실트질 모래	50/9~50/3
연 암	2.3	1.9	편마암	100%/43%
경 암	4.2	9.0	편마암	100%/80~97%

구 분	지 층 개 요
표토층	• 최상부층으로 지표하 0.0m에서 0.3m 층후로 분포하며, 실트질 모래로 구성
풍화대	• 지표하 0.3m에서 2.0m 층후로 분포하며, 암편섞인 실트질 모래로 분해 • 습윤하며 표준관입시험 결과 매우조밀한 상대밀도
연 암	• 지표하 2.3m에서 1.9m이상 층후로 분포하며, 암갈색~암회색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 100%/43%로 보통양호한 암질 상태
경 암	• 지표하 4.2m에서 9.0m이상 층후로 분포하며, 암갈색~암회색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 100%/80~97%로 양호~매우양호 암질 상태

○ 성라육교

▮ 조사위치 및 지층단면도





• 미조사 구간으로 인근 자료 BH-98번공과 및 탄성파 탐사를 활용하여 지층선 추정

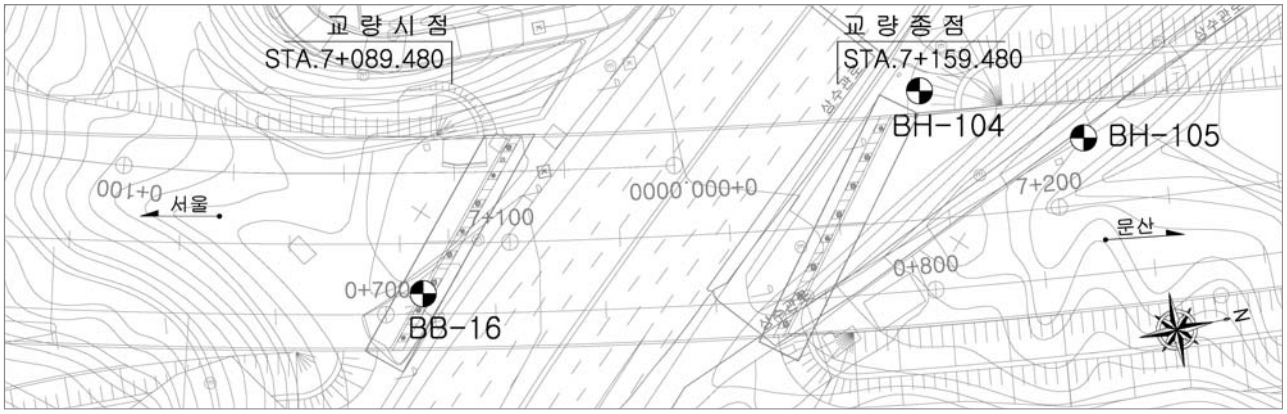
▮ 지층상태

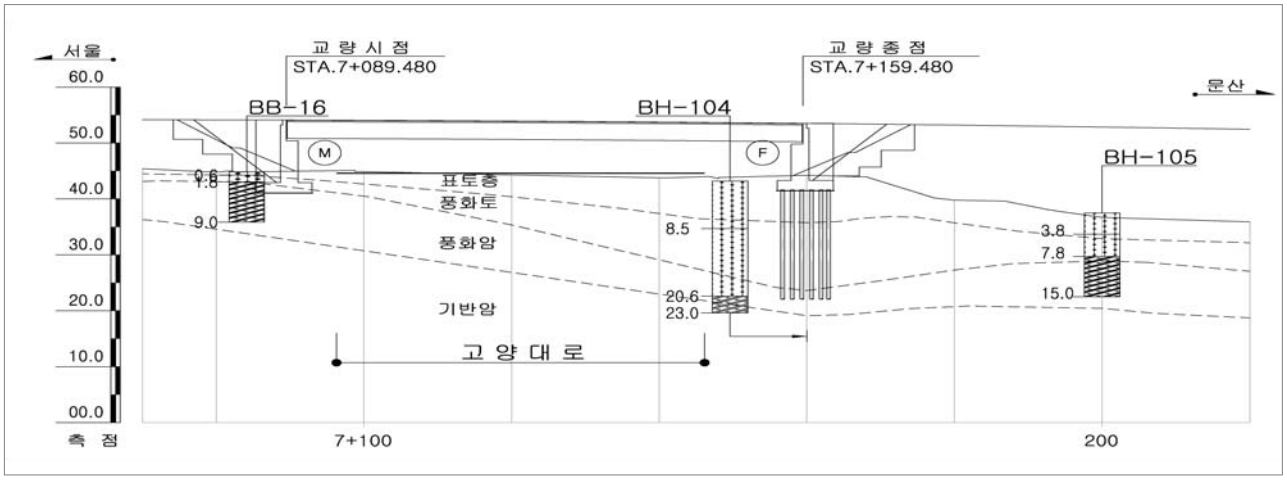
구 분	출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
표토층	0.0	0.3	실트질 모래	-
풍화대	0.3	2.0	실트질 모래	50/9~50/3
연 암	2.3	1.9	편마암	100%/43%
경 암	4.2	9.0	편마암	100%/80~97%

구 분	지 층 개 요
표토층	• 최상부층으로 지표하 0.0m에서 0.3m 층후로 분포하며, 실트질 모래로 구성
풍화대	• 지표하 0.3m에서 2.0m 층후로 분포하며, 암편섞인 실트질 모래로 분해 • 습윤하며 표준관입시험 결과 매우조밀한 상대밀도
연 암	• 지표하 2.3m에서 1.9m이상 층후로 분포하며, 암갈색~암회색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 100%/43%로 보통양호한 암질 상태
경 암	• 지표하 4.2m에서 9.0m이상 층후로 분포하며, 암갈색~암회색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 100%/80~97%로 양호~매우양호 암질 상태

○ 성사6교(BH-104, 105, 제3자 공고안 : BB-16)

▮ 조사위치 및 지층단면도





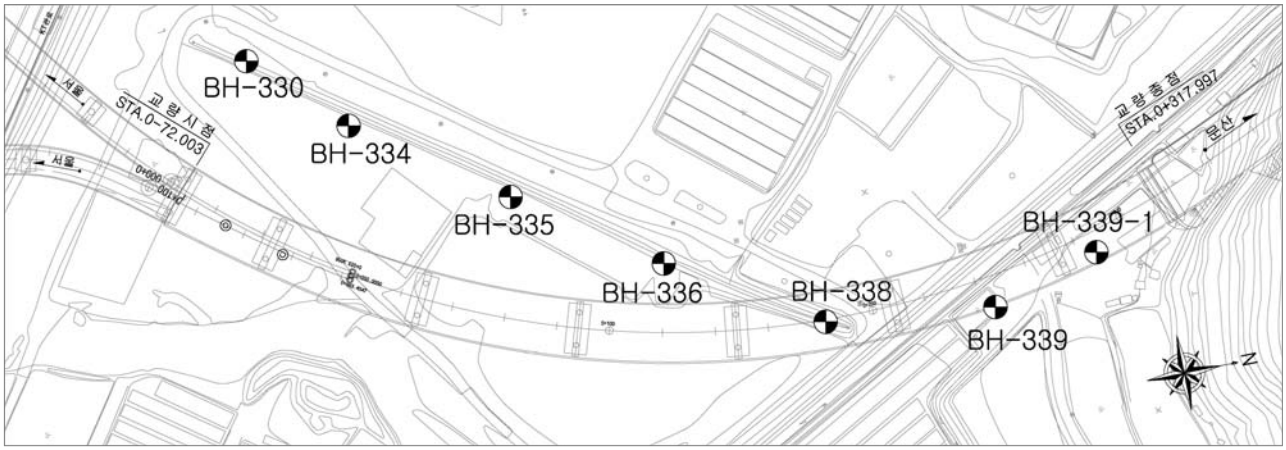
▮ 지층상태

구 분	출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층	0.0	3.8~8.5	실트질 모래	4/30~10/30
붕적층	0.0	0.6	실트질 모래	-
풍화토	0.6~8.5	1.2~12.1	실트질 모래	7/30~50/11
풍화암	1.8~7.8	7.2~8.0	실트질 모래	50/10~50/4
연 암	20.6	3.3	편마암	73%/8%

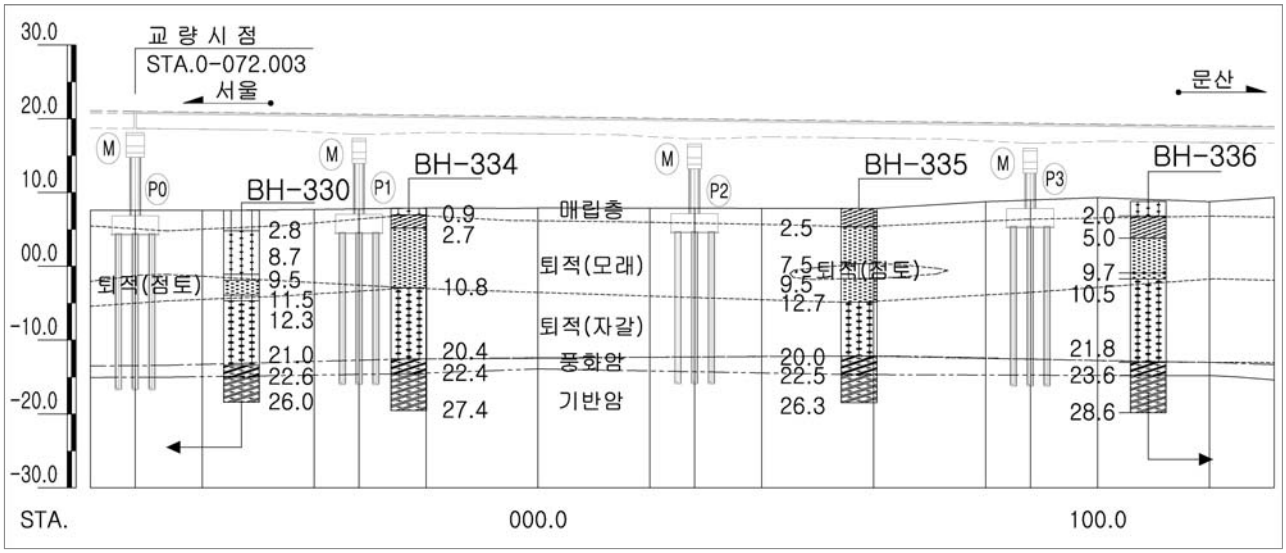
구 분	지 층 개 요
매립층	• 최상부층으로 3.8~8.5m 층후로 분포하며 암갈색~갈색, 황갈색의 실트질 모래, 부분적 자갈 함유 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 매우느슨~보통조밀한 상대밀도
붕적층	• 지표하 0.0m에서 0.6m 층후로 분포하며 담갈색~암갈색의 자갈섞인 실트질 모래로 구성
풍화토	• 기반암의 상부풍화대로 지표하 0.6~8.5m에서 1.2~12.1m 층후로 분포 • 암갈색의 암편섞인 실트질 모래로 구성되며 표준관입시험 결과 느슨~매우조밀한 상대밀도
풍화암	• 기반암의 하부풍화대로 지표하 1.8~7.8m에서 7.2~8.0m 이상 층후로 분포 • 굴진시 황갈~암갈색의 암편섞인 실트질 모래로 분해되며 표준관입시험 결과 매우조밀한 상대밀도
연 암	• 지표하 20.6m에서 3.3m 이상 층후로 분포하며, 담회색~암회색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 73%/8%로 매우불량한 암질 상태

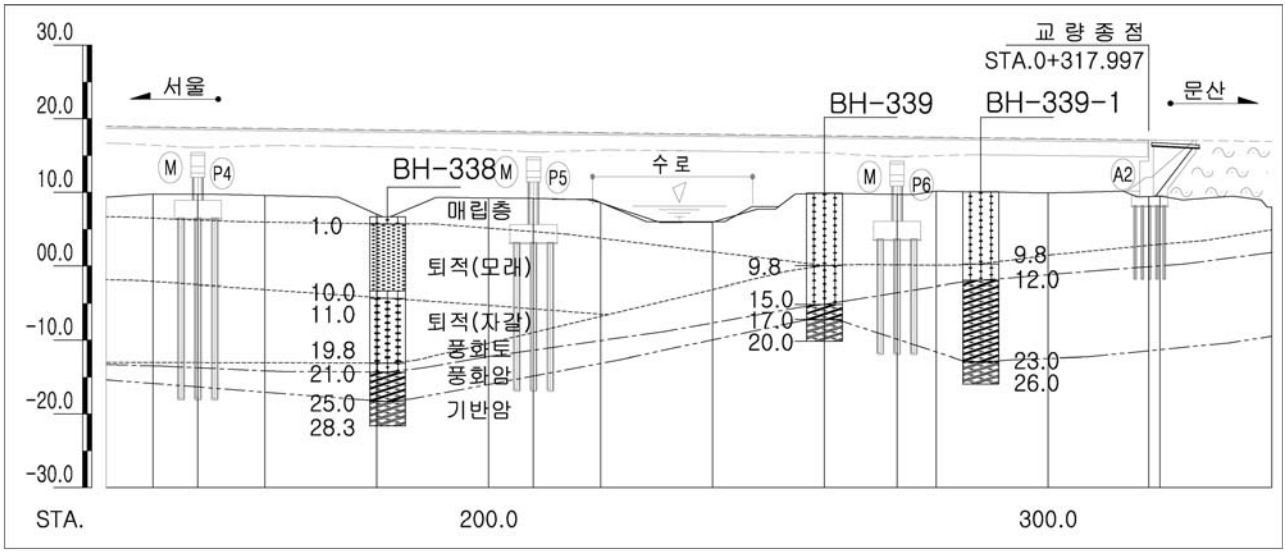
○ 현천교(BH-330, 334, 335, 336, 338, 339, 339-1)

▮ 조사위치 및 지층단면도



• 현천교 시점은 현천IC Ramp-A, B교구간 시점이므로 BH-330 자료 활용





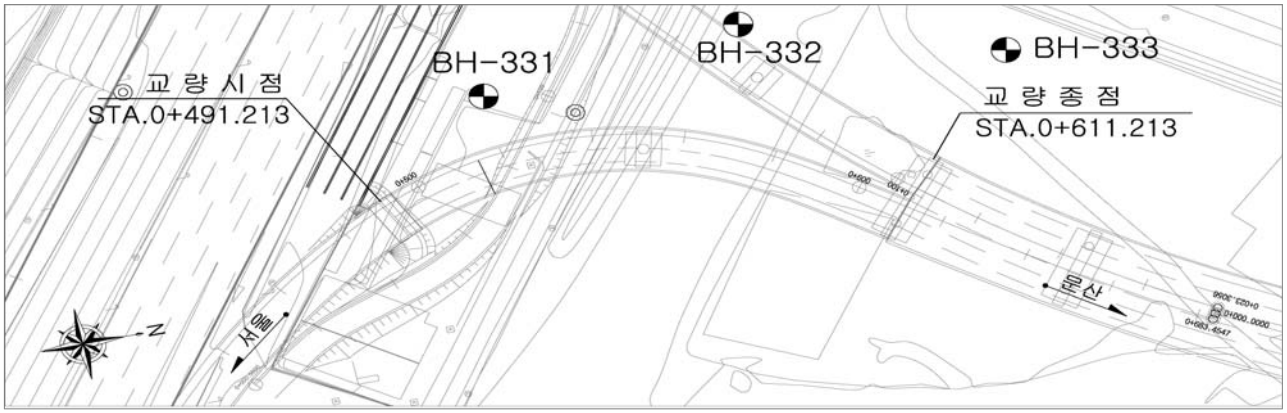
■ 지층상태

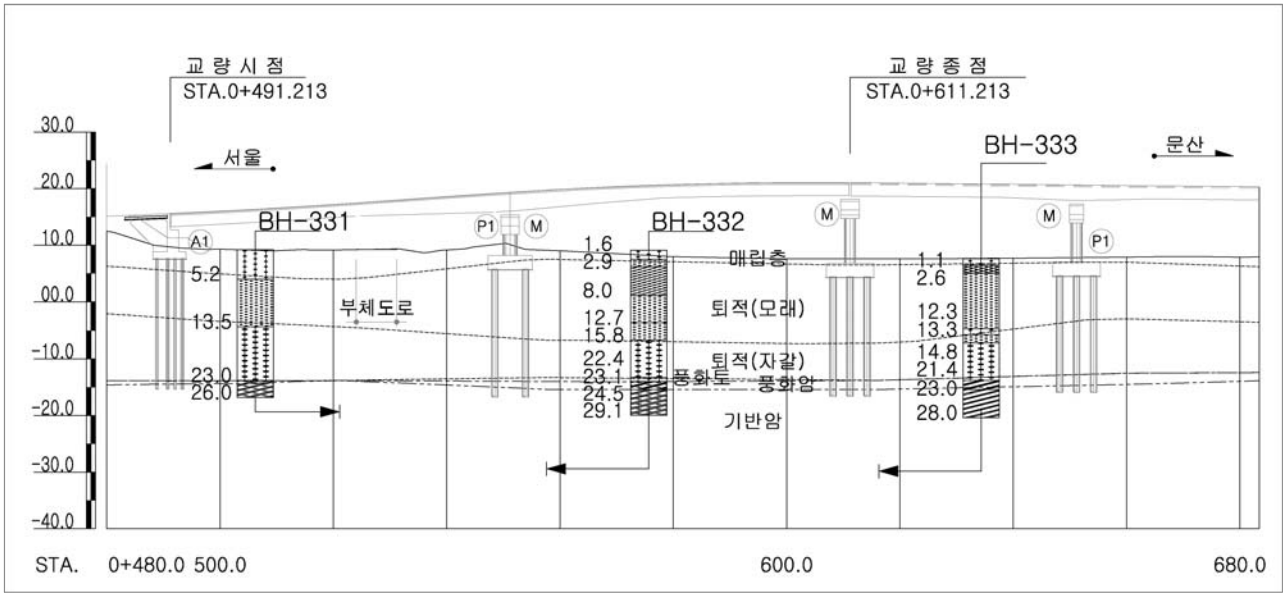
구 분		출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층		0.0	0.9~9.8	실트질 모래, 점토질 모래	3/30~50/2
퇴적층	점토	7.5~11.5	0.8~2.0	실트	6/30~13/30
	모래	0.9~9.5	0.8~9.0	자갈질 모래, 점토질 모래, 모래	4/30~14/30
	자갈	10.5~12.7	7.3~11.3	모래질 자갈	11/30~50/4
풍화토		9.8~19.8	1.2~5.2	실트질 모래	23/30~50/14
풍화암		12.0~21.8	1.6~11.0	실트질 모래	50/10~50/1
연 암		17.0~25.0	3.0~5.0	편마암	52~100%/6~21%
보통암		22.6	3.4	편마암	100%/45%
경 암		23.0	3.0	편마암	100%/72%

구 분		지 층 개 요
매립층		• 최상부층으로 지표하 0.0m에서 0.9~9.8m 층후로 분포 • 갈색~암회색의 자갈섞인 점토질 모래, 실트질 모래로 구성되며, 매우느슨~매우조밀한 상대밀도
퇴적층	점토	• 지표하 7.5~11.5m에서 0.8~2.0m 층후로 분포 • 암회색의 실트로 구성되며, 표준관입시험 결과 보통견고~매우견고한 연경도
	모래	• 지표하 0.9~9.5m에서 0.8~9.0m 층후로 분포 • 황갈색, 암회색~갈색의 자갈질 모래, 점토질 모래, 모래로 구성되며 느슨~보통조밀한 상대밀도
	자갈	• 지표하 10.5~12.7m에서 7.3~11.3m 층후로 분포하며 황갈색~회색의 모래질 자갈로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 보통조밀~매우조밀한 상대밀도
풍화토		• 지표하 9.8~19.8m에서 1.2~5.2m 층후로 분포 • 황갈색~갈색의 실트질 모래로 구성되며 표준관입입시험 결과 보통조밀~매우조밀한 상대밀도
풍화암		• 지표하 12.0~21.8m에서 1.6~11.0m 층후로 분포하며 • 굴진시 담회색~황갈색의 암편이 협재된 실트질 모래로 분해
연 암		• 담회색~암회색의 편마암으로 지표하 17.0~25.0m에서 3.0~5.0m 이상 층후로 분포 • TCR/RQD는 52~100%/6~21%로 매우불량~불량한 암질 상태
보통암		• 지표하 22.6m에서 3.4m이상 층후로 분포 • TCR/RQD는 100%/45%로 보통의 암질 상태
경 암		• 지표하 23.0m에서 3.0m이상 층후로 분포하며, 암회색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 100%/72%로 양호한 암질 상태

○ 현천IC R-A교(BH-331, 332, 333)

■ 조사위치 및 지층단면도





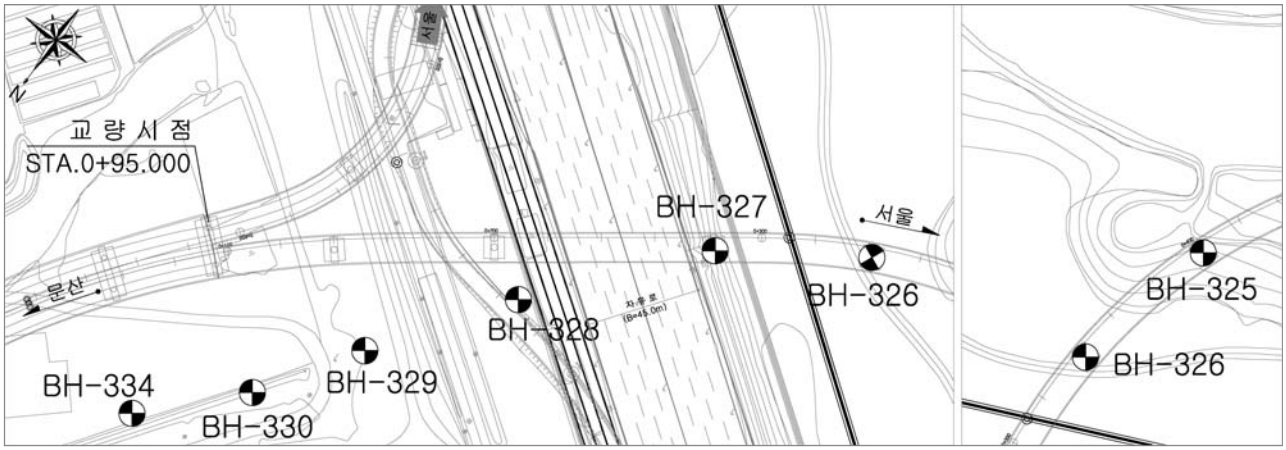
지층상태

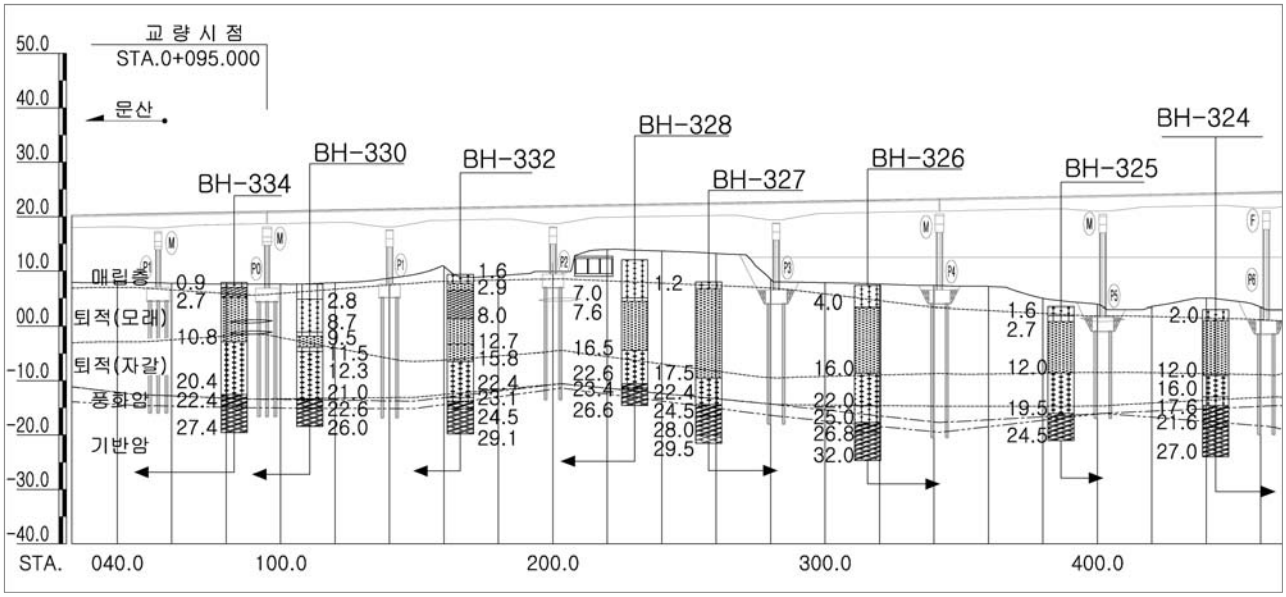
구 분		출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층		0.0	1.1~5.2	실트질 모래	5/30~11/30
퇴적층	모래	1.1~5.2	8.3~14.2	자갈질 모래, 점토질 모래, 모래	4/30~50/30
	자갈	13.5~15.8	6.6~9.5	모래질 자갈	37/30~50/2
풍화토		22.4	0.7	실트질 모래	50/6
풍화암		21.4~23.1	1.4~1.6	실트질 모래	50/3~50/1
연 암		23.0~24.5	3.0~4.6	편마암	56~100%/0~39%

구 분		지 층 개 요
매립층		• 최상부층으로 지표하 0.0m에서 1.1~5.2m 층후로 분포 • 황갈색~갈색의 자갈섞인 실트질 모래로 구성되며 표준관입시험 결과 느슨~보통조밀한 상대밀도
퇴적층	모래	• 지표하 1.1~5.2m에서 8.3~14.2m 층후로 분포 • 갈색~회색, 황갈색의 점토질 모래, 자갈질 모래, 모래로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 느슨~조밀한 상대밀도
	자갈	• 지표하 13.5~15.8m에서 6.6~9.5m 층후로 분포 • 황갈색의 모래질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 조밀~매우조밀 상대밀도
풍화토		• 지표하 22.4m에서 0.7m 층후로 분포 • 기반암의 상부풍화대로 황갈색의 실트질 모래로 구성
풍화암		• 지표하 21.4~23.1m에서 1.4~1.6m 층후로 분포 • 굴진시 암편섞인 실트질 모래로 분해되며 표준관입시험 결과 매우조밀 상대밀도
연 암		• 지표하 23.0~24.5m에서 3.0~4.6m 층후로 분포 • TCR/RQD는 56~100%/0~39%로 매우불량~불량한 암질상태 • 심한~보통풍화, 보통강함~강함, 매우심한~약한균열상태

현천IC R-B교(BH-317-1~317-3, 318-1, 319~330)

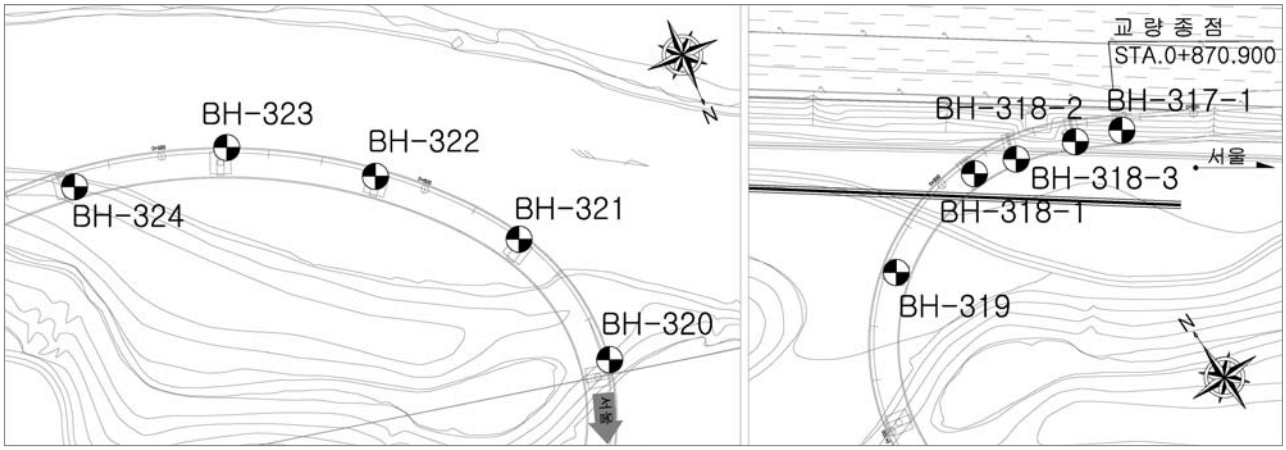
조사위치 및 지층단면도

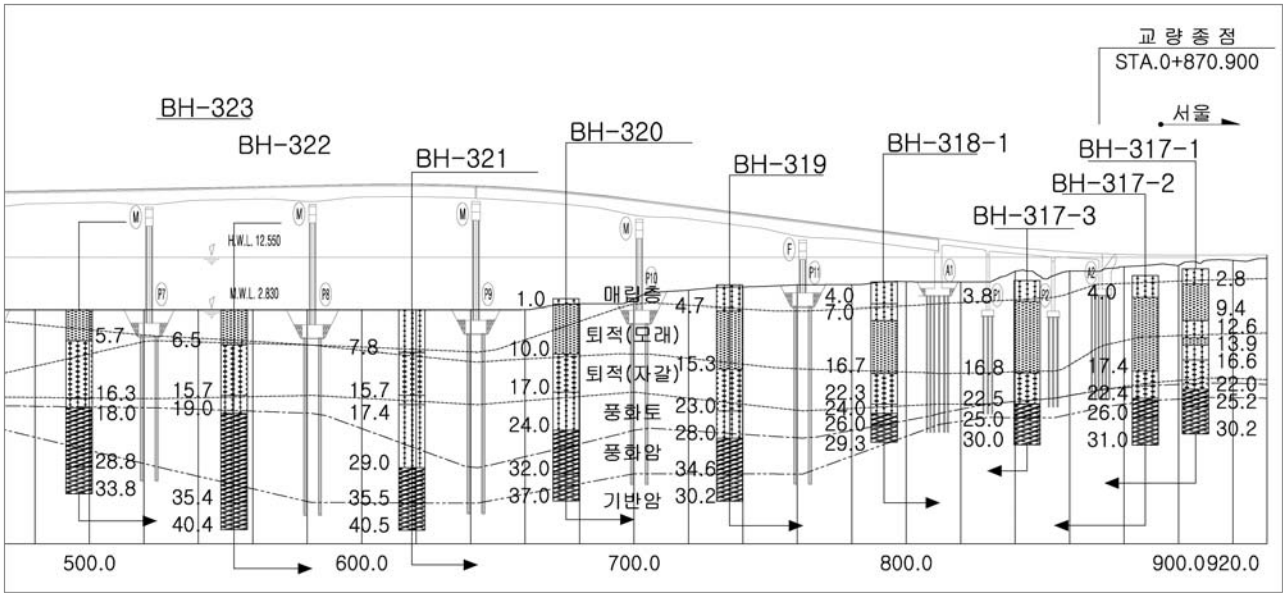




지층상태

구 분		출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층		0.0	0.8~7.0	실트질 모래	2/30~33/30
퇴적층	점토	7.0~11.5	0.6~0.8	모래질 실트, 실트	5/30~13/30
	모래	0.0~16.0	6.5~19.7	자갈질 모래, 점토질 모래, 모래	1/30~50/14
	자갈	5.7~17.4	5.0~10.6	모래질 자갈	18/30~50/1
풍화토		15.7~23.0	1.0~11.6	실트질 모래	21/30~50/11
풍화암		18.0~30.0	0.8~16.4	실트질 모래	50/10~50/2
연 암		19.5~35.5	3.2~5.4	편마암	45~100%/0~46%
보통암		22.6~28.0	1.5~3.4	편마암	100%/45~47%

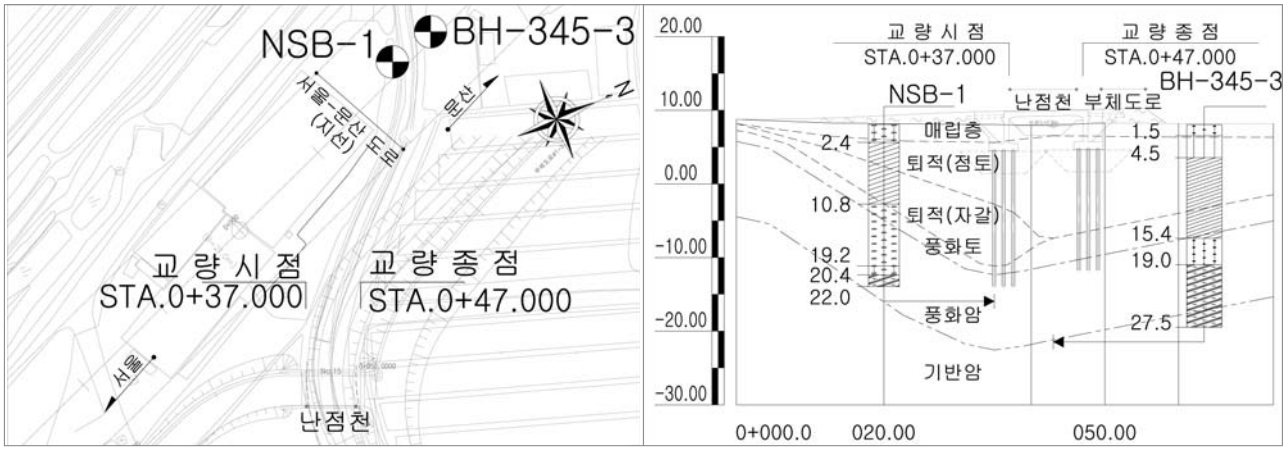




구 분		지 층 개 요
매립층		• 최상부층으로 지표하 0.0m에서 0.8~7.0m 층후로 분포 • 황갈색~갈색의 자갈섞인 실트질 모래로 구성되며 표준관입시험 결과 매우느슨~조밀한 상대밀도
퇴적층	점토	• 지표하 7.0~11.5m에서 0.6~0.8m 층후로 분포 • 암회색의 모래질 실트~실트로 구성되며, 표준관입시험 결과 보통견고~견고한 연경도
	모래	• 지표하 0.0~16.0m에서 0.9~19.7m 층후로 분포 • 담갈색~암회색, 회색~갈색의 점토질 모래, 자갈질 모래, 모래로 매우느슨~매우조밀한 상대밀도
	자갈	• 지표하 5.7~17.4m에서 5.0~10.6m 층후로 분포 • 담회색~암회색의 모래질 자갈로 구성되며, 표준관입시험 결과 보통조밀~매우조밀한 상대밀도
풍화토		• 지표하 15.7~23.0m에서 1.0~11.6m 층후로 분포
풍화암		• 지표하 18.0~30.0m에서 0.8~16.4m 층후로 분포
연 암		• 지표하 19.5~35.5m에서 3.2~5.4m 이상 층후로 분포하며, 담회색~암회색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 45~100%/0~46%로 매우불량~보통인 암질 상태
보통암		• 지표하 22.6~28.0m에서 1.5~3.4m이상 층후로 분포하며, 담회색~암회색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 100%/45~47%로 보통인 암질 상태

난점천 1교(BH-345-3, 보완설계 : NSB-1)

조사위치 및 지층단면도



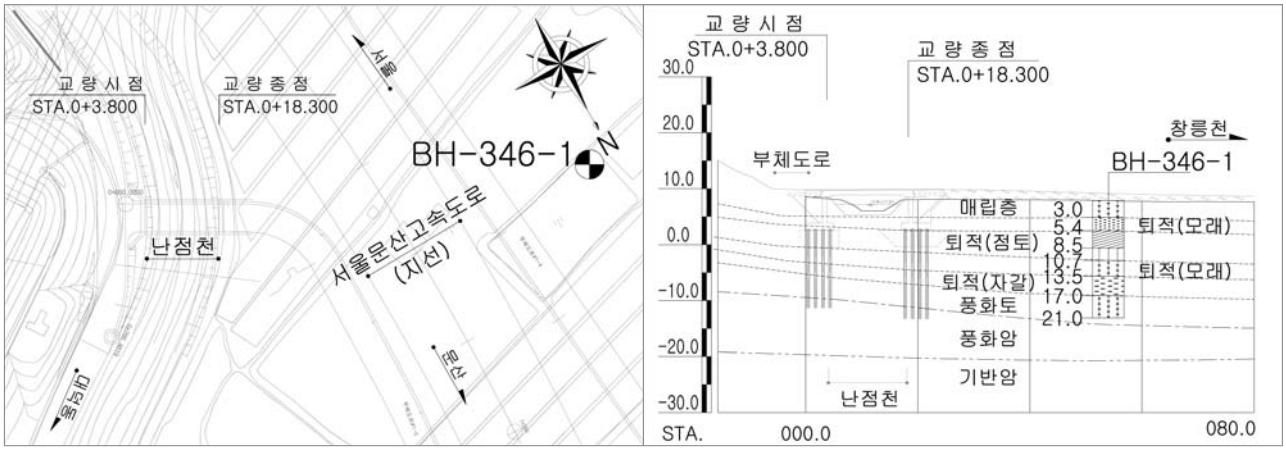
지층상태

구 분		출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층		0.0	1.5~2.4	실트질 모래	5/30~50/11
퇴적층	점토	1.5~2.4	10.8~13.9	점토질 실트, 점토	2/30~8/30
	모래	10.8	8.4	자갈질 모래	16/30~50/14
풍화토		15.4~19.2	1.2~3.6	실트질 모래	17/30~50/13
풍화암		19.0~20.4	1.6~8.5	실트질 모래	50/10~50/2

구 분		지 층 개 요
매립층		• 최상부층으로 지표하 0.0m에서 1.5~2.4m 층후로 분포 • 황갈색~암갈색의 자갈섞인 실트질 모래로 구성되며 부분적으로 폐자재 혼재됨 • 습윤하며 표준관입시험 결과 느슨~매우조밀한 상대밀도
퇴적층	점토	• 지표하 1.5~2.4m에서 10.8~13.9m 층후로 분포 • 암갈색~암회색의 점토질 실트, 점토로 구성 • 습윤하며 표준관입시험 결과 매우연약~보통견고한 연경도
	모래	• NSB-1 번공 지표하 10.8m에서 8.4m 층후로 분포 • 황갈색의 자갈질 모래로 구성되며, 부분적으로 자갈코어 회수 • 습윤하며 표준관입시험 결과 보통조밀~매우조밀한 상대밀도
풍화토		• 기반암의 상부풍화대로 지표하 15.4~19.2m에서 1.2~3.6m 층후로 분포 • 암회색~황갈색의 암편섞인 실트질 모래로 구성 • 습윤하며 표준관입시험 결과 보통조밀~매우조밀한 상대밀도
풍화암		• 기반암의 하부풍화대로 지표하 19.0~20.4m에서 1.6~8.5m 이상 층후로 분포 • 굴진시 암회색~황갈색의 암편섞인 실트질 모래로 구성 • 습윤하며 표준관입시험 결과 매우조밀한 상대밀도

난점천 2교(BH-346-1)

조사위치 및 지층단면도



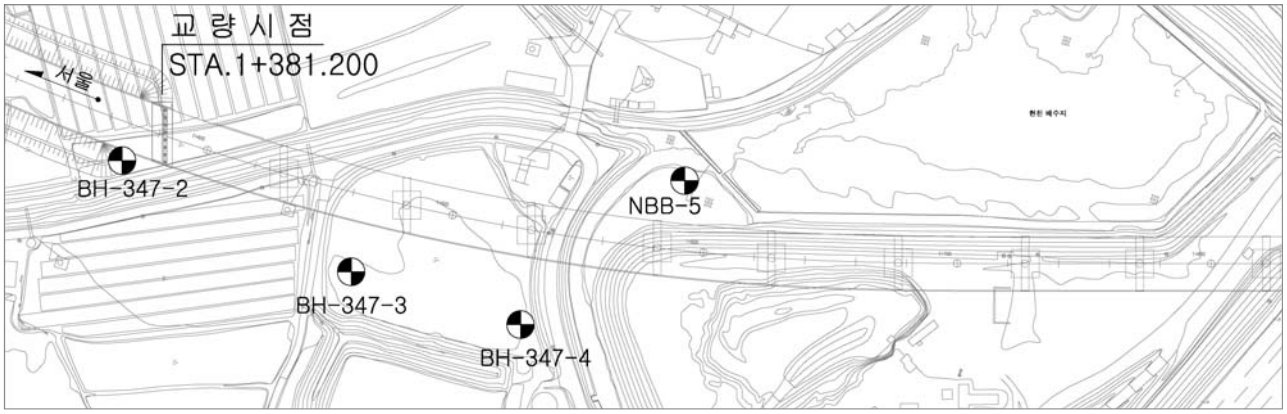
지층상태

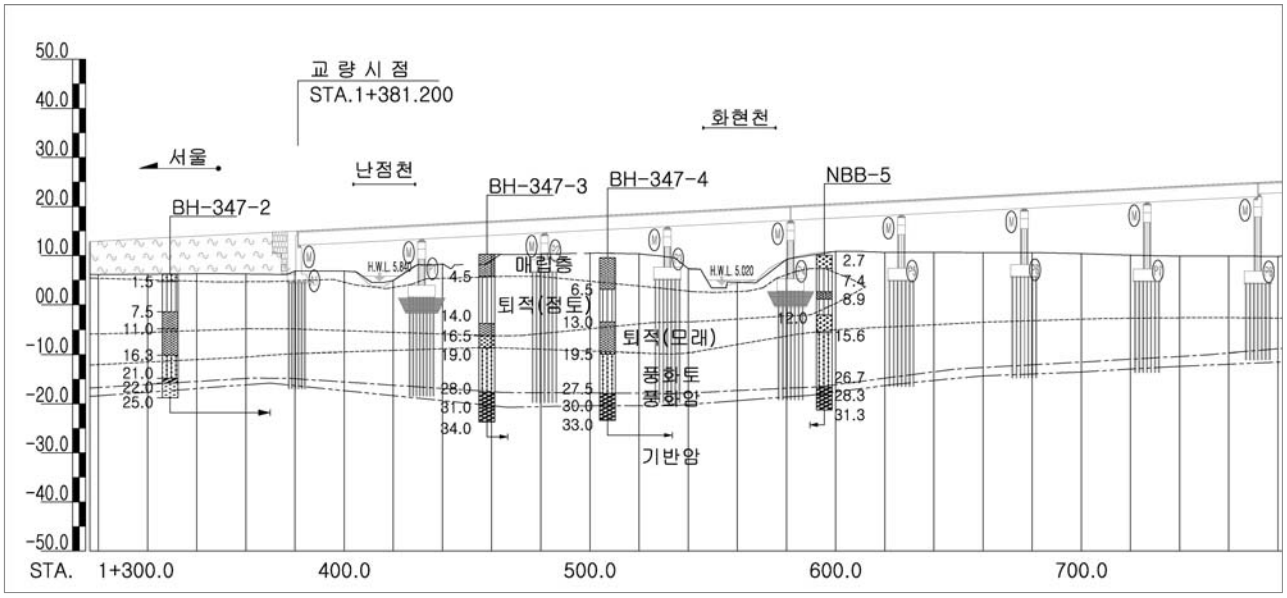
구 분		출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층		0.0	2.4~3.0	실트질 모래, 자갈질 모래	3/30~50/1
퇴적층	점토	5.4~8.5	2.2~3.1	실트질 점토, 실트	3/30~7/30
	모래	10.7	2.8	실트질 모래	9/30~17/30
	자갈	13.5	3.5	실트질 모래	50/11~50/5
풍화토		17.0	4.0	실트질 모래	50/15~50/11

구 분		지 층 개 요
매립층		• 최상부층으로 지표하 0.0m에서 2.4~3.0m 층후로 분포 • 암갈색의 실트질 모래, 자갈질 모래로 구성되며, 부분적으로 자갈코어 회수 • 습윤하며 표준관입시험 결과 느슨~매우조밀한 상대밀도
퇴적층	점토	• 지표하 5.4~8.5m에서 2.2~3.1m 층후로 분포 • 암갈색~암회색의 실트질 점토, 실트로 구성 • 습윤하며 표준관입시험 결과 연약~보통견고한 연경도
	모래	• 지표하 10.7m에서 2.8m 층후로 분포 • 담회색의 실트질 모래로 구성 • 습윤하며 표준관입시험 결과 느슨~보통조밀한 상대밀도
	자갈	• 지표하 13.5m에서 3.5m 층후로 분포 • 담회색의 모래질 자갈로 구성되며, 부분적으로 자갈코어 회수 • 습윤하며 표준관입시험 결과 매우조밀한 상대밀도
풍화토		• 기반암의 상부풍화대로 지표하 17.0m에서 4.0m 이상 층후로 분포 • 황갈색의 암편섞인 실트질 모래로 구성 • 습윤하며 표준관입시험 결과 매우조밀한 상대밀도

○ 창릉천교(BH-347-2, 347-3, 347-4, 356-1, 356~362, 360-1, 361-1~3) 보완설계 : NBB-5

■ 조사위치 및 지층단면도

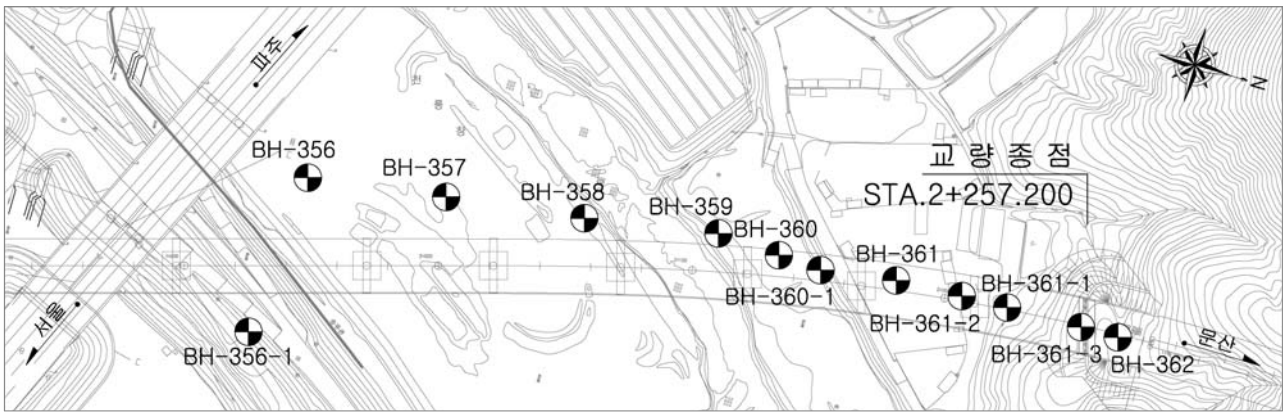


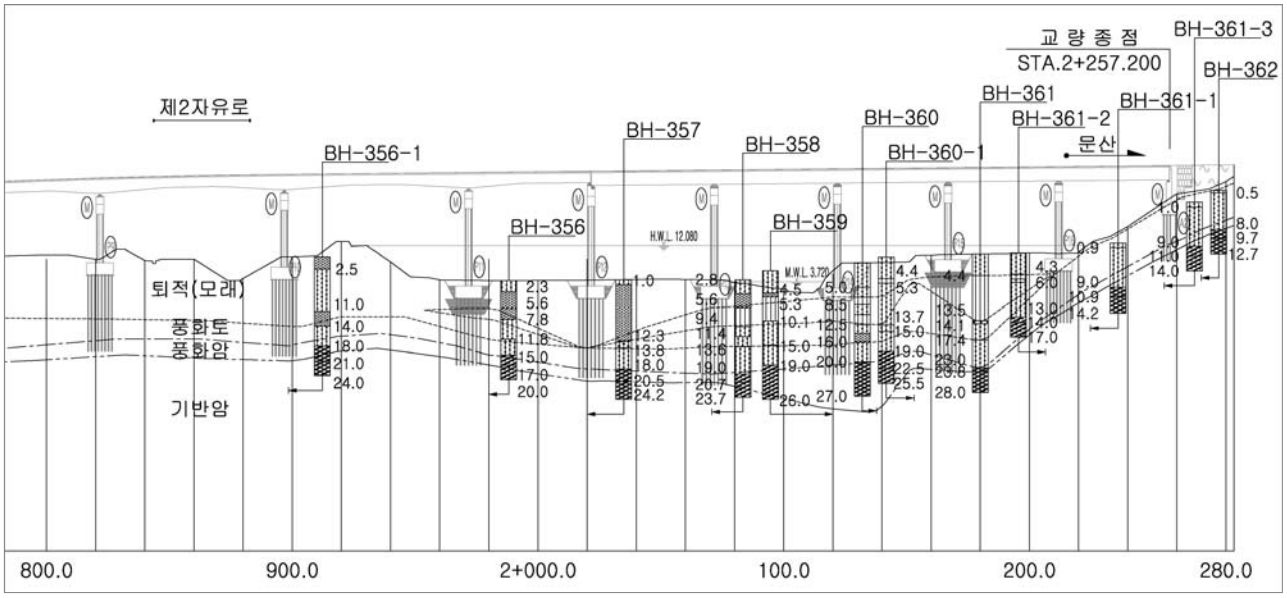


• STA. 1+240~1+440구간은 현천 배수펌프장 부지로 담당 부서와 협의가 불가 ➜ 시공 중 조사 계획 수립

■ 지층상태

구 분		출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립/붕적/표토층		0.0	0.5~6.5	실트질 모래, 모래	1/30~50/21
퇴적층	점토	1.5~7.0	0.9~12.0	점토, 실트	4/30~17/30
	모래	2.3~14.1	0.7~11.5	실트질 모래, 모래	3/30~50/22
	자갈	11.0~16.5	0.6~5.3	모래질 자갈, 자갈	11/30~50/11
풍화토		0.5~19.5	3.2~9.0	실트질 모래	12/30~50/11
풍화암		8.0~28.0	0.8~7.0	실트질 모래	50/10~50/4
기반암		9.7~31.0	3.0~4.2	편마암	57~100%/0~78%



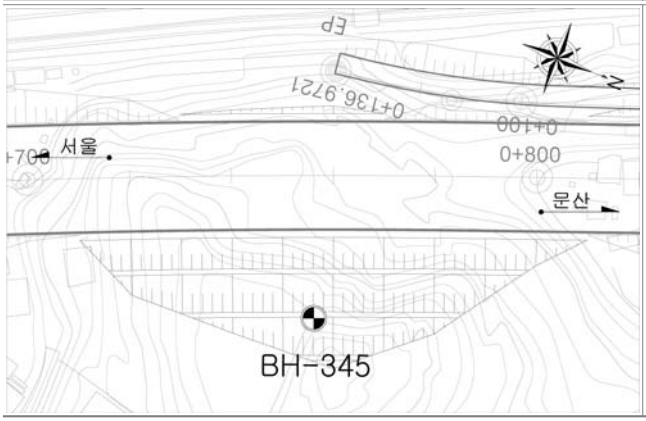
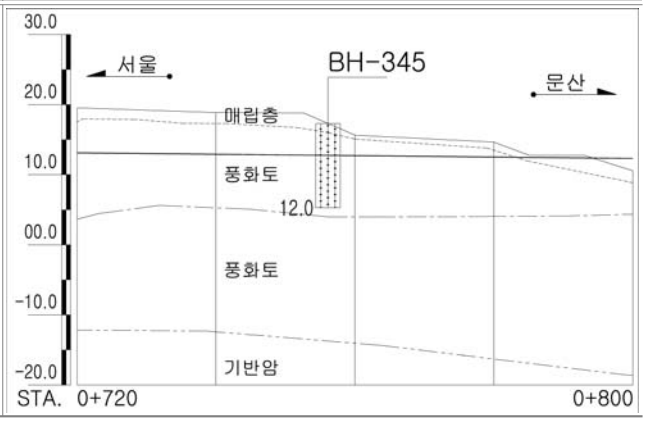


		지 층 개 요
매립층/붕적층/표토층		• 최상부층으로 지표하 0.0m에서 0.5~6.5m 층후로 분포 • 황갈색~암갈색, 갈색의 실트질 모래로 구성되며 표준관입시험 결과 느슨~매우조밀한 상대밀도
퇴적층	점토	• 지표하 1.5~7.0m에서 0.9 ~12.0m 층후로 분포하며, 실트질 점토, 점토질 실트로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 연약~매우견고한 연경도
	모래	• 지표하 2.3~14.1m에서 0.7~11.5m 층후로 분포하며, 실트질 모래, 자갈질 모래, 모래로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 매우느슨~매우조밀한 상대밀도
	자갈	• 지표하 11.0~16.5m에서 0.6~5.3m 층후로 분포하며, 모래질 자갈로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 보통조밀~매우조밀한 상대밀도
풍화토		• 기반암의 상부풍화대로 지표하 0.5~19.5m에서 3.2~9.0m 층후로 분포하며, 실트질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 보통조밀~ 매우조밀한 상대밀도
풍화암		• 기반암의 하부풍화대로 지표하 8.0~28.0m에서 0.8~7.0m 이상 층후로 분포 • 굴진시 암편이 협재된 실트질 모래로 분해되며 표준관입시험결과 매우조밀한 상대밀도
기반암		• 지표하 9.7~31.0m에서 2.0~4.2m이상 층후로 분포하며, 화강편마암 및 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 57~100%/0~78%로 매우불량~양호한 암질 상태

2.1.3 깎기구간

○ 지선 깎기 2구간(STA. 0+720~0+800) : BH-345

■ 조사위치 및 지층단면도

조사위치도	지층단면도
	

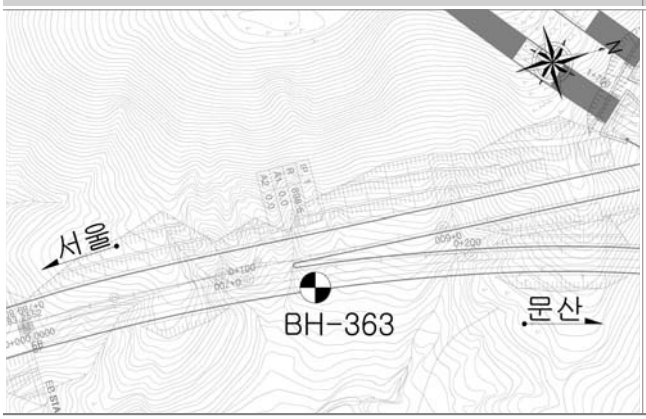
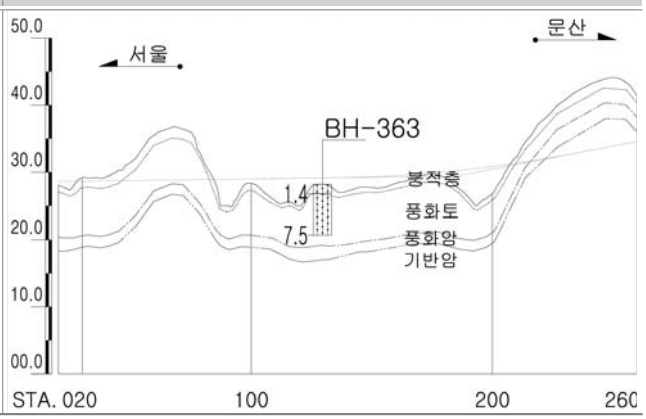
■ 지층상태

구 분	출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
풍화토	0.0	12.0	암편섞인 실트질 모래	50/25~50/11

구 분	지 층 개 요
풍화토	• 기반암의 원지반 잔류토로서 지표하 12.0m 이상 층후로 분포 • 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 매우조밀한 상대밀도

○ 도내JCT Ramp-A(STA. 0+020~0+260) : BH-363

■ 조사위치 및 지층단면도

조사위치도	지층단면도
	

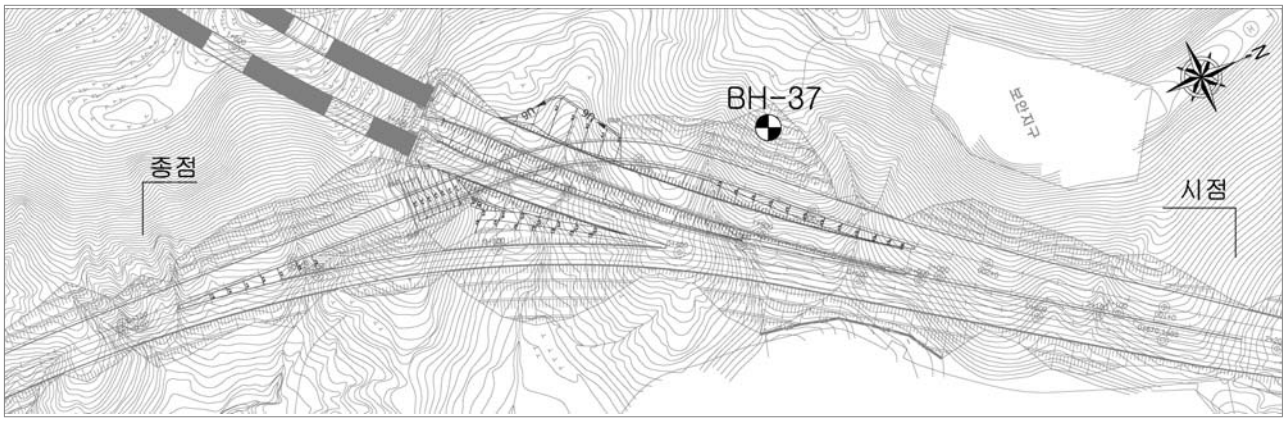
■ 지층상태

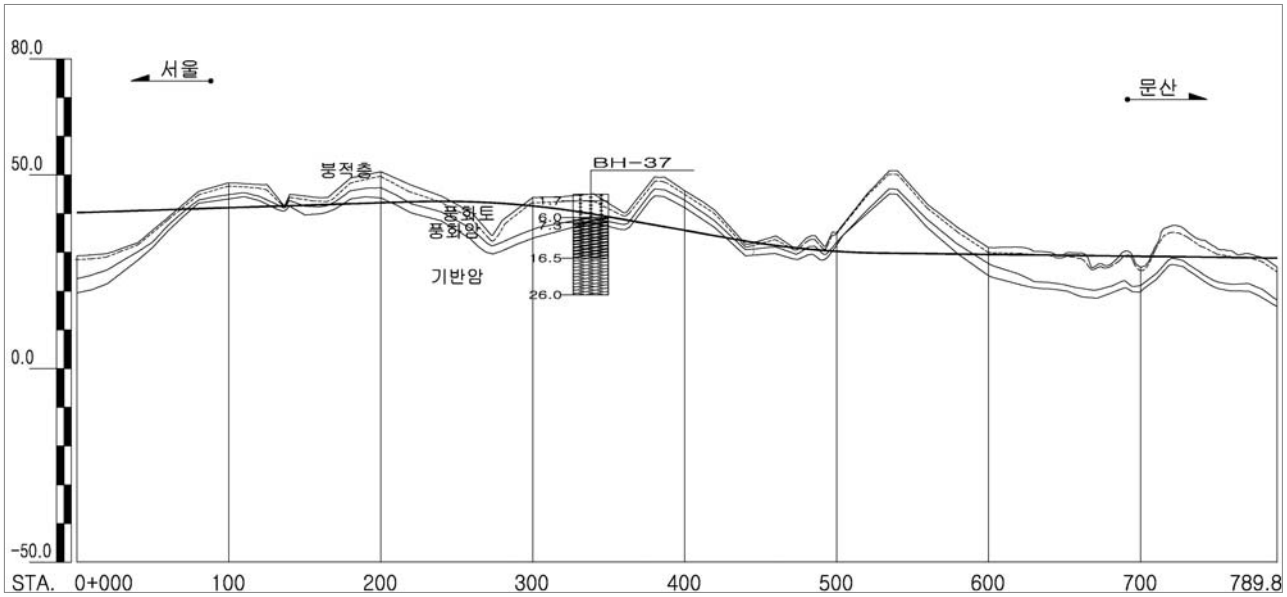
구 분	출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층	0.0	1.4	실트질 모래	7/30
풍화토	1.4	6.1	실트질 모래	21/30~50/17

구 분	지 층 개 요
매립층	• 최상부층으로 지표하 0.0m에서 1.4m 층후로 분포하며 실트질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 느슨한 상대밀도
풍화토	• 기반암의 원지반 잔류토로서 지표하 1.4m에서 6.1m 이상 층후로 분포 • 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 보통조밀~매우조밀한 상대밀도

○ 도내JCT Ramp-B(STA. 0+060~0+700) : BH-37

■ 조사위치 및 지층단면도





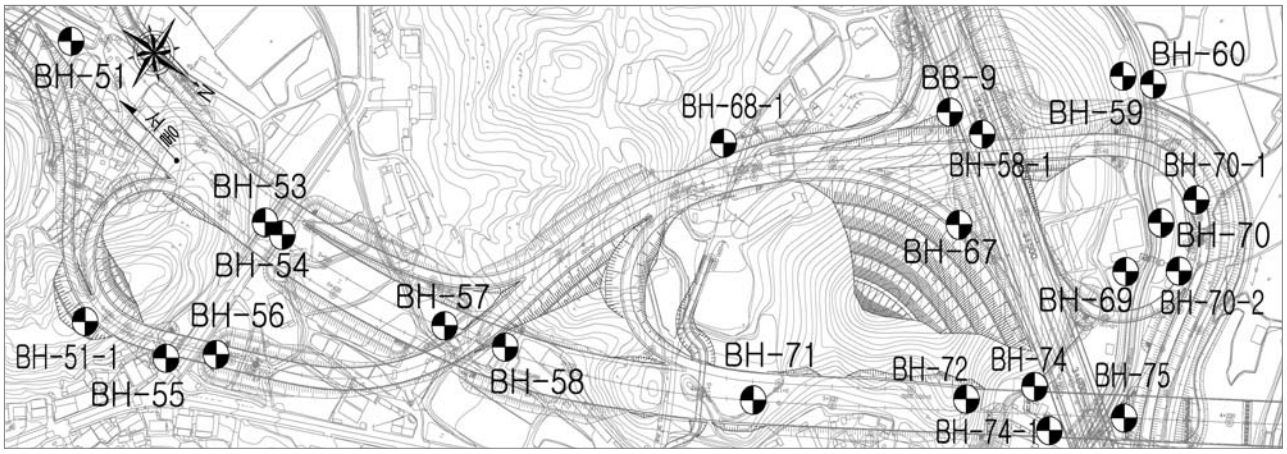
■ 지층상태

구 분	출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
붕적층	0.0	1.7	실트질 모래	27/30
풍화토	1.7	4.3	실트질 모래	31/30~50/14
풍화암	6.0	1.3	실트질 모래	50/7
연 암	7.3	9.2	편마암	75~100%/0~18%
보통암	16.5	9.5	편마암	99~100%/45~80%

구 분	지 층 개 요
붕적층	• 최상부층으로 지표하 0.0m에서 1.7m 층후로 분포하며 실트질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 보통조밀한 상대밀도
풍화토	• 기반암(편마암)의 원지반 잔류토로서 지표하 1.7m에서 4.3m 층후로 분포 • 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 조밀~매우조밀한 상대밀도
풍화암	• 지표하 6.0m에서 1.3m 층후로 분포하며 굴진시 암편섞인 실트질 모래로 분해
연 암	• 지표하 7.3m에서 9.2m 층후로 분포하며, 편마암으로 구성 • 심한풍화~보통풍화, 약함~보통강함의 상태이며 RQD=0~18%로 매우불량한 암질상태
보통암	• 지표하 16.5m에서 분포하며, 편마암으로 구성 • 보통풍화~약간풍화, 보통강함~강함의 상태이며 RQD=45~80%로 보통양호~양호한 암질상태

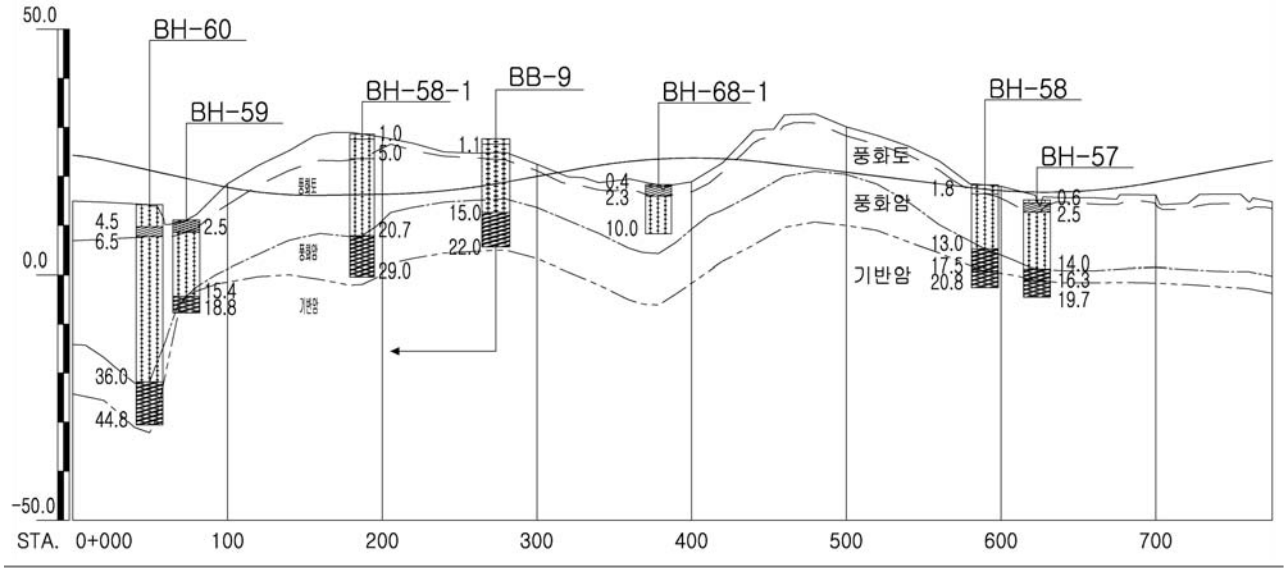
○ 행신IC Ramp구간

▮ 조사위치도



▮ 지층단면도

Ramp-A구간(BH-57, 58, 58-1, 59, 60, 68-1, 제3자 공고안 : BB-9)

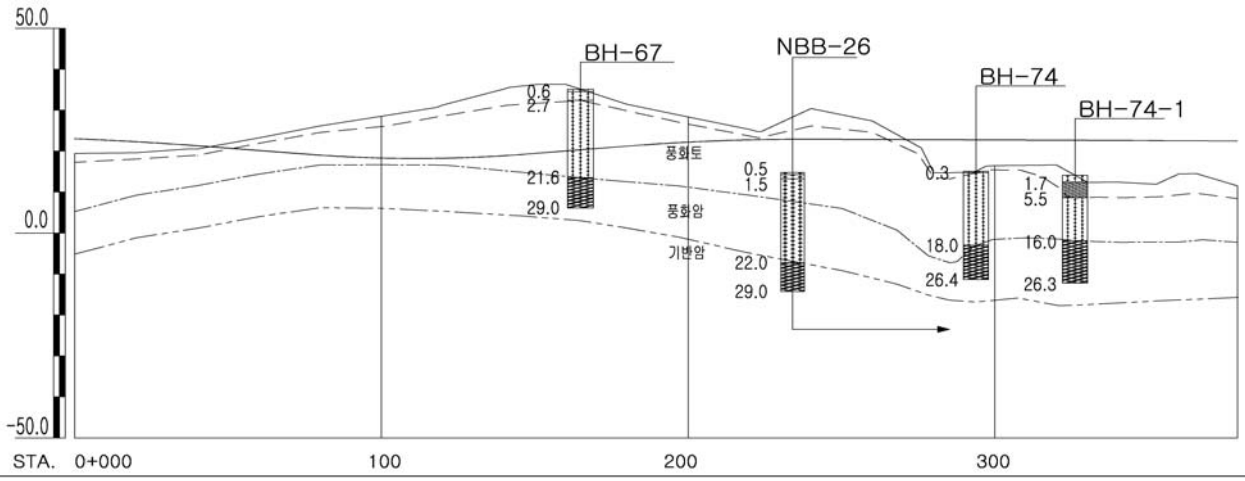


■ 지층상태

구 분		출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층/전답층		0.0	0.6~4.5	실트질 모래	2/30~10/30
붕적층	점토	0.0~0.4	1.9	실트질 점토	11/30~23/30
	모래	0.6~1.0	1.1~4.0	점토질 모래, 실트질 모래	12/30~22/30
퇴적층		0.6~4.5	1.4~2.0	실트질 점토	6/30~10/30
풍화토		1.1~6.5	11.2~29.5	실트질 모래	8/30~50/1
풍화암		13.0~36.0	2.3~8.8	실트질 모래	50/10~50/1
연 암		15.4~17.5	3.3~3.4	편마암	80~95%/0~9%

구 분		지 층 개 요
매립층/표토층		• 최상부층으로 지표하 0.0에서 0.6~4.5m 층후로 분포하며 실트질 모래 • 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 매우느슨~보통조밀한 상대밀도
붕적층	점토	• 지표하 0.0~0.4m에서 1.9m 층후로 분포하며 실트질 점토로 구성 • 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 견고~고결한 연경도
	모래	• 지표하 0.6~1.0m에서 1.1~4.0m 층후로 분포하며 점토질 모래 및 실트질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 보통조밀한 상대밀도
퇴적층		• 지표하 0.6~4.5m에서 1.4~2.0m 층후로 분포하며 실트질 점토로 구성 • 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 보통견고~견고한 연경도
풍화토		• 지표하 1.1~6.5m에서 11.2~29.5m 층후로 분포하며 암편섞인 실트질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 느슨~매우조밀한 상대밀도
풍화암		• 지표하 13.0~36.0m에서 2.3~8.8m 이상 층후로 분포 • 기반암의 하부풍화대로 굴진시 암편섞인 실트질 모래로 분해
연 암		• 지표하 15.4~17.5m에서 3.3~3.4m 이상 층후로 분포하며 암회색~담회색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 80~95%/0~9%로 매우불량한 암질상태를 보임

Ramp-E구간(BH-67, 74, 74-1, 보완설계 : NBB-26)

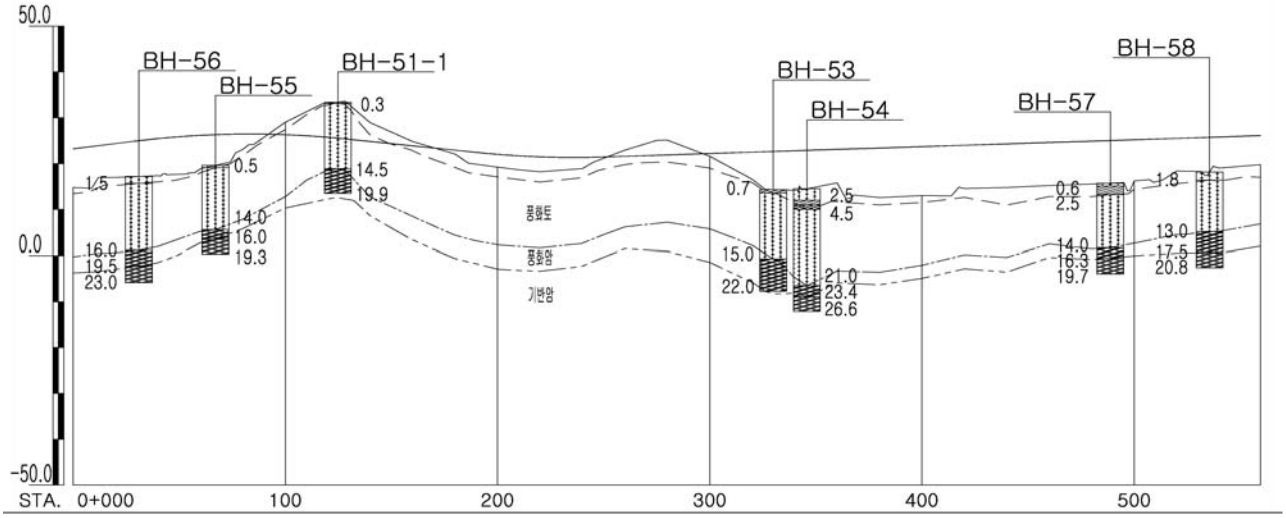


지층상태

구 분	출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
표토층/붕적층	0.0	0.6~2.5	실트질 모래, 점토질 모래	5/30~22/30
풍화토	1.1~2.7	12.9~18.9	실트질 모래	10/30~50/1
풍화암	15.0~21.6	7.0~7.4	실트질 모래	50/8~50/1
연 암	15.4	3.4	편마암	97%/9%

구 분	지 층 개 요
표토층/붕적층	• 최상부층으로 지표하 0.0m에서 0.6~2.5m 층후로 분포하며 실트질 모래, 점토질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 느슨~보통조밀한 상대밀도
풍화토	• 기반암(편마암)의 원지반 잔류토로서 지표하 1.1~2.7m에서 12.9~18.9m 층후로 분포 • 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 느슨~매우조밀한 상대밀도
풍화암	• 지표하 15.0~21.6m에서 7.0~7.4m 이상 층후로 분포 • 기반암의 하부풍화대로 굴진시 암편섞인 실트질 모래로 분해
연 암	• 지표하 15.4m에서 3.4m이상의 층후로 분포하며, 편마암으로 구성 • 보통풍화, 보통강함~강함의 상태이며, RQD=9%로 매우불량한 암질상태

Ramp-F구간(BH-51-1, 53, 54, 55, 56, 57, 58)

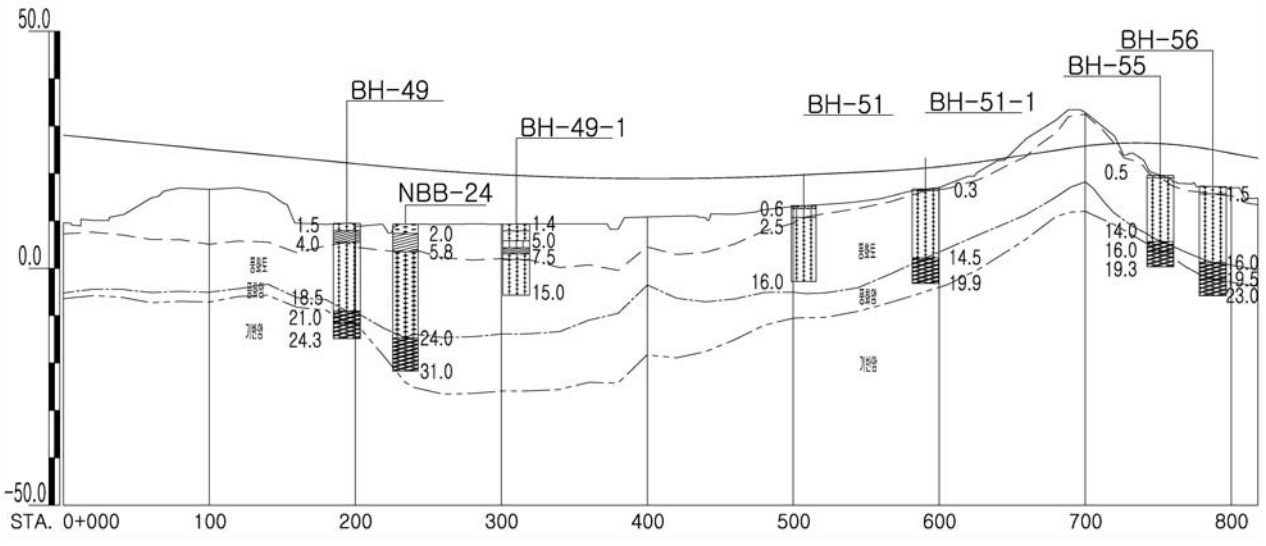


지층상태

구 분		출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층/전답층		0.0	0.3~2.5	실트질 모래	3/30~6/30
퇴적층	점토	0.6~2.5	1.0~1.9	실트질 점토	6/30~23/30
	모래	3.5	1.0	점토질 모래	7/30
풍화토		0.3~4.5	13.5~16.5	실트질 모래	5/30~50/12
풍화암		13.0~21.0	2.0~7.0	실트질 모래	50/10~50/7
연 암		16.0~23.4	3.2~3.5	편마암	77~96%/0~24%

구 분		지 층 개 요
매립층/전답층		• 최상부층으로 지표하 0.0m에서 0.3~2.5m 층후로 분포하며 실트질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 매우느슨~느슨한 연경도
퇴적층	점토	• 지표하 0.6~2.5m에서 1.0~1.9m 층후로 분포하며 암갈색의 실트질 점토로 구성 • 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 보통견고~매우견고한 연경도
	모래	• 지표하 3.5m에서 1.0m 층후로 분포하며 암갈색~담갈색의 점토질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 느슨한 상대밀도
풍화토		• 기반암(편마암)의 원지반 잔류토로서 지표하 0.3~4.5m에서 13.5~16.5m 층후로 분포 • 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 느슨~매우조밀한 상대밀도
풍화암		• 지표하 13.0~21.0m에서 2.0~7.0m 이상 층후로 분포 • 기반암의 하부풍화대로 굴진시 암편섞인 실트질 모래로 분해
연 암		• 지표하 16.0~23.4m에서 3.2~3.5m 이상 층후로 분포하며 편마암으로 구성 • RQD=0~24%로 매우불량~불량한 암질상태

Ramp-G구간(BH-49, 49-1, 49-2, 51, 51-1, 55, 56, 보완설계 : NBB-24)

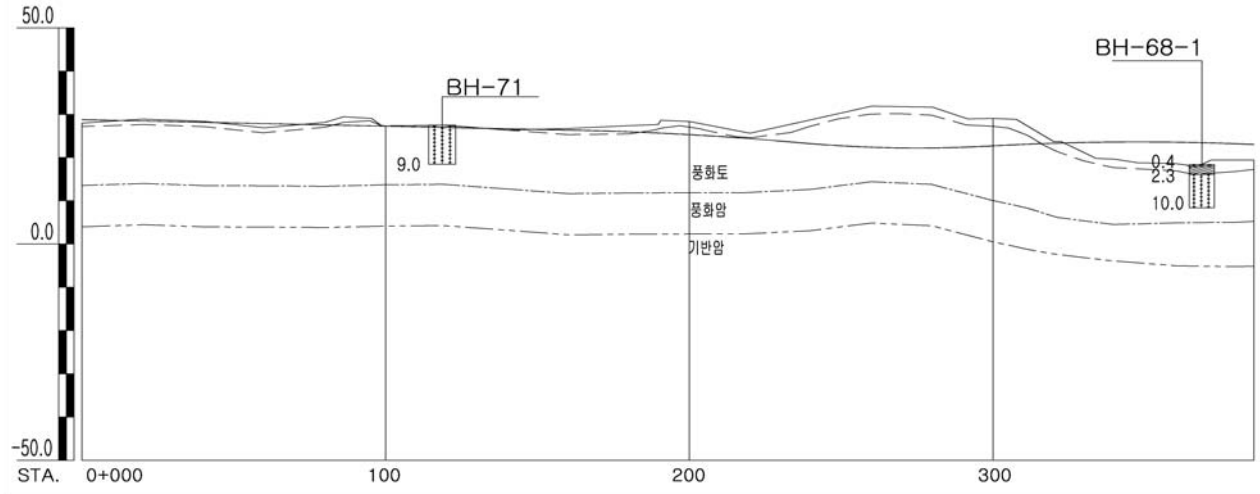


■ 지층상태

구 분		출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
전답층/매립층		0.0	0.3~1.5	실트질 모래, 자갈질 모래	4/30~6/30
퇴적층	점토	0.6~5.0	1.3~2.5	실트질 점토, 실트, 점토	2/30~12/30
	모래	1.4~6.3	1.2~2.1	실트질 모래	5/30~7/30
풍화토		0.3~7.5	7.5~14.5	실트질 모래	7/30~50/12
풍화암		14.0~19.0	2.0~5.4	실트질 모래	50/10~50/3
연 암		16.0~21.0	3.3~3.5	편마암	50~100%/0~25%

구 분		지 층 개 요
전답층/매립층		• 최상부층으로 지표하 0.0m에서 0.3~1.5m 층후로 분포하며 실트질 모래, 자갈질 모래로 구성
퇴적층	점토	• 지표하 0.6~5.0m에서 1.3~2.5m 층후로 분포하며 실트질 점토, 실트, 점토로 구성 • 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 매우연약~견고한 연경도
	모래	• 지표하 1.4~6.3m에서 1.2~2.1m 층후로 분포하며 실트질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 느슨한 상대밀도
풍화토		• 지표하 0.3~7.5m에서 7.5~14.5m층후로 암편섞인 실트질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 느슨~매우조밀한 상대밀도
풍화암		• 지표하 14.0~19.0m에서 2.0~5.4m 이상 층후로 분포 • 기반암의 하부풍화대로 굴진시 암편섞인 실트질 모래로 분해
연 암		• 지표하 16.0~21.0m에서 3.3~3.5m 이상 층후로 분포하며 암회색~회색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 50~100/0~25%로 매우불량~불량한 암질상태

Ramp-I구간(BH-68-1, 71)

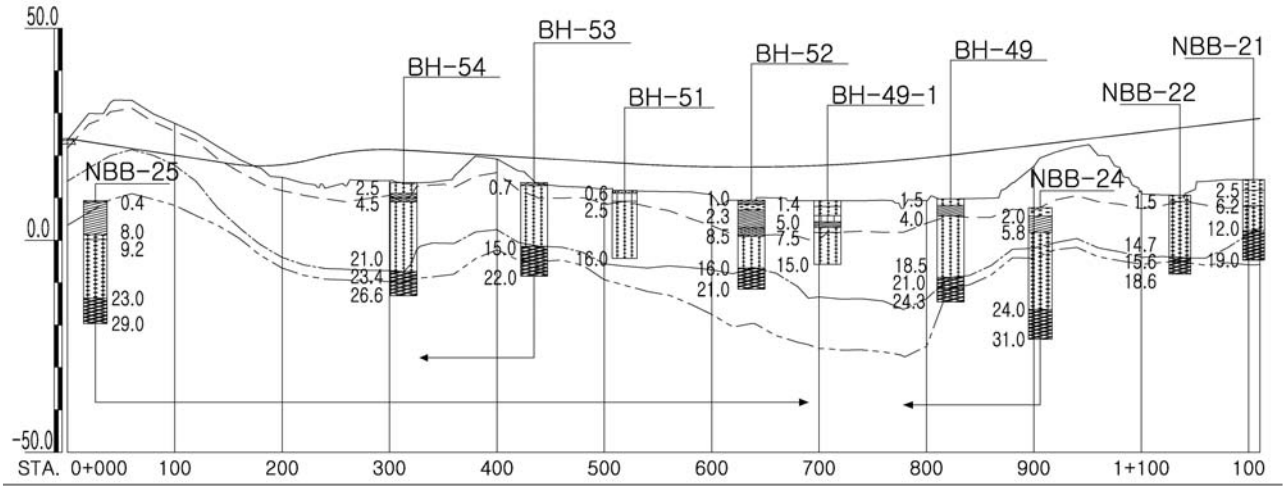


지층상태

구 분	출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
전답층	0.0	0.4	실트질 모래	-
퇴적층	0.4	1.9	실트질 점토	12/30
풍화토	0.0~2.3	7.7~9.0	실트질 모래	17/30~50/14

구 분	지 층 개 요
전답층	• 최상부층으로 지표하 0.0m에서 0.4m 층후로 분포하며 실트질 모래로 구성
퇴적층	• 지표하 0.4m에서 1.9m 층후로 분포하며 실트질 점토로 구성 • 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 견고한 연경도
풍화토	• 지표하 0.0~2.3m에서 7.7~9.0m 이상 층후로 분포하며 암편섞인 실트질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 보통조밀~매우조밀한 상대밀도

Ramp-H구간(BH-49, 49-1, 51, 52, 53, 54, 보완설계 : NBB-21, 22, 25)



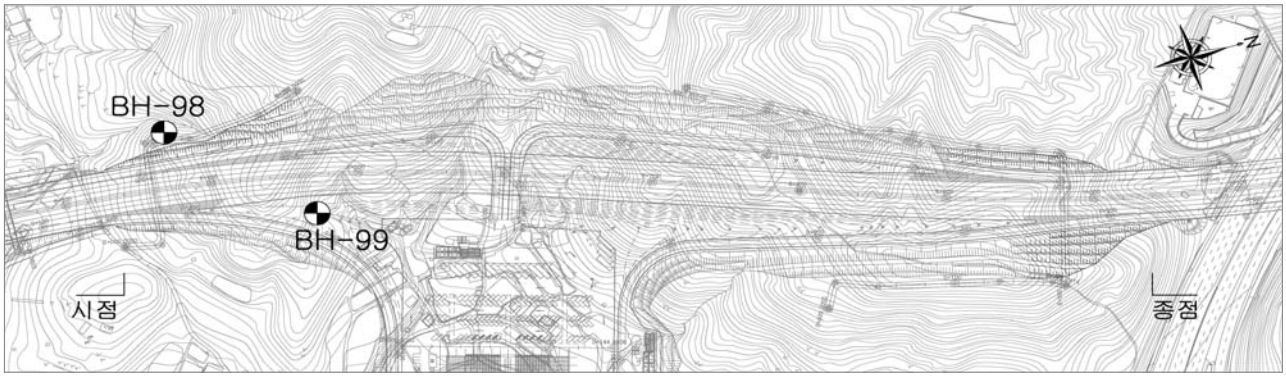
지층상태

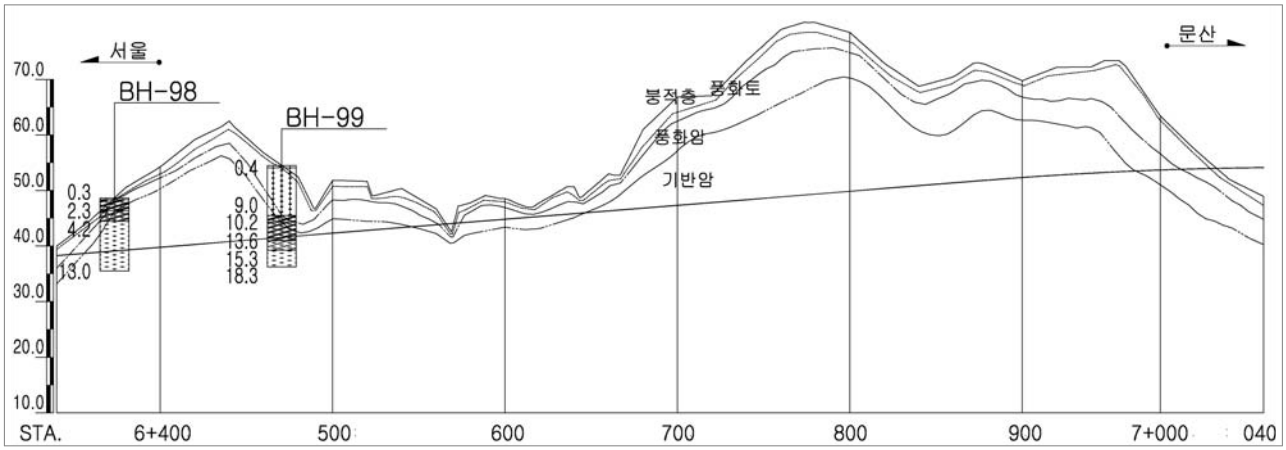
구 분		출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
전답층/매립층		0.0	0.6~2.5	실트질 모래, 자갈질 모래, 점토질 모래	5/30~19/30
퇴적층	점토	0.4~5.0	1.0~7.2	실트질 점토, 실트, 점토	1/30~12/30
	모래	1.4~8.0	1.0~3.7	실트질 모래, 점토질 모래,모래	5/30~19/30
	자갈	1.0	1.3	모래질 자갈	5/30
풍화토		0.7~8.5	7.5~18.2	실트질 모래	5/30~50/12
풍화암		12.0~24.0	0.9~7.0	실트질 모래	50/10~50/3
연 암		15.6~23.4	3.0~3.3	편마암	50~100%/0~25%

구 분		지 층 개 요
전답층/매립층		• 최상부층으로 지표하 0.0m에서 0.6~2.5m 층후로 분포하며 실트질 모래, 자갈질 모래, 점토질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 느슨~보통조밀한 상대밀도
퇴적층	점토	• 지표하 0.4~5.0m에서 1.0~7.2m 층후로 분포하며 실트질 점토, 실트, 점토로 구성 • 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 매우연약~견고한 연경도
	모래	• 지표하 1.4~8.0m에서 1.0~3.7m 층후로 분포하며 실트질 모래, 점토질 모래, 모래로 구성 • 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 느슨~보통조밀한 상대밀도
	자갈	• 지표하 1.0m에서 1.3m 층후로 분포하며 자갈질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 느슨한 상대밀도
풍화토		• 지표하 0.7~8.5m에서 7.5~18.2m 이상 층후로 분포 • 기반암의 상부풍화대로 암편섞인 실트질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 느슨~매우조밀한 상대밀도
풍화암		• 지표하 12.0~24.0m에서 0.9~7.0m 이상 층후로 분포 • 기반암의 하부풍화대로 굴진시 암편섞인 실트질 모래로 분해
연 암		• 지표하 15.6~23.4m에서 3.0~3.3m 이상 층후로 분포하며 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 50~100%/0~25%로 매우불량~불량한 암질상태

○ 본선 깎기 1-2구간(STA.6+340~7+040) : BH-98, 99

▮ 조사위치 및 지층단면도





▮ 지층상태

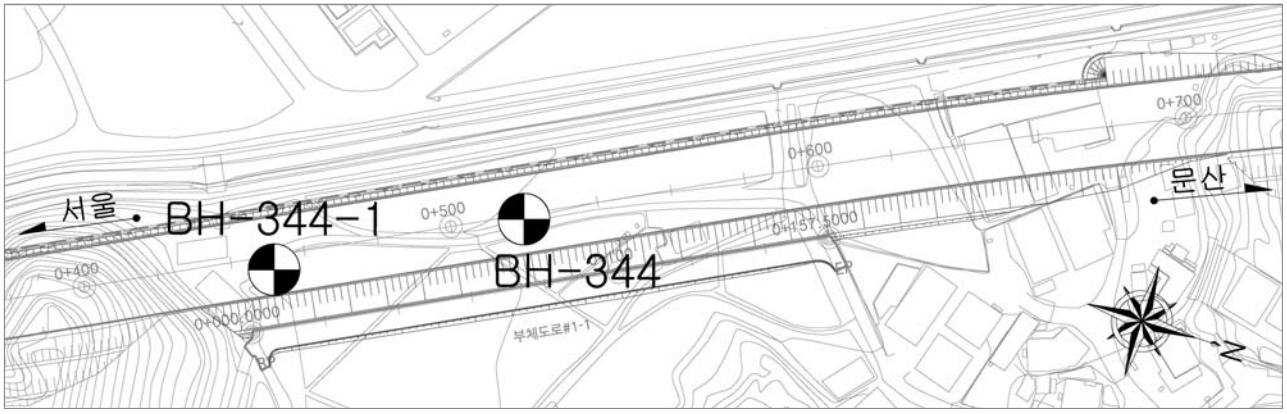
구 분	출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
붕적층	0.0	0.3	실트질 모래	-
풍화토	0.4	9.6	실트질 모래	5/30~50/13
풍화암	0.3~9.0	1.2~2.0	실트질 모래	50/9~50/3
연 암	2.3~10.2	1.9~3.4	편마암	79~100%/13~53%
보통암	13.6	1.7	편마암	100%/52%
경 암	4.2~15.3	3.0~9.0	편마암	100%/80~97%

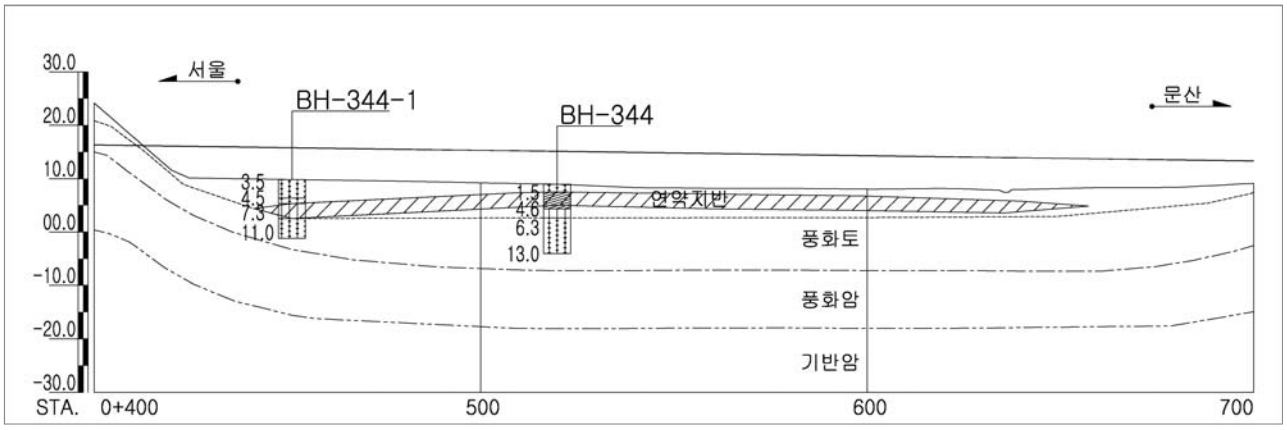
구 분	지 층 개 요
붕적층	• 최상부층으로 지표하 0.0m에서 0.3m 층후로 분포하며 실트질 모래로 구성
풍화토	• 기반암(편마암)의 원지반 잔류토로서 지표하 0.4m에서 9.6m 층후로 분포 • 암편섞인 실트질 모래로 구성되며 표준관입시험 결과 느슨~매우조밀한 상대밀도
풍화암	• 지표하 0.3~9.0m에서 1.2~2.0m 층후로 분포 • 기반암의 하부풍화대로 굴진시 암편섞인 실트질 모래로 분해
연 암	• 지표하 2.3~10.2m에서 1.9~3.4m 층후로 분포 • RQD=13~53%로 매우불량~보통양호한 암질상태로 분포
보통암	• 지표하 13.6m에서 1.7m 층후로 분포하며, RQD=52%로 보통양호한 암질상태
경 암	• 지표하 4.2~15.3m에서 분포하며, RQD=80~97%로 매우양호한 암질상태

2.1.4 쌓기구간

○ 지선 쌓기 1-1구간(STA. 0+420~0+700) : BH-344-1, 344

■ 조사위치 및 지층단면도





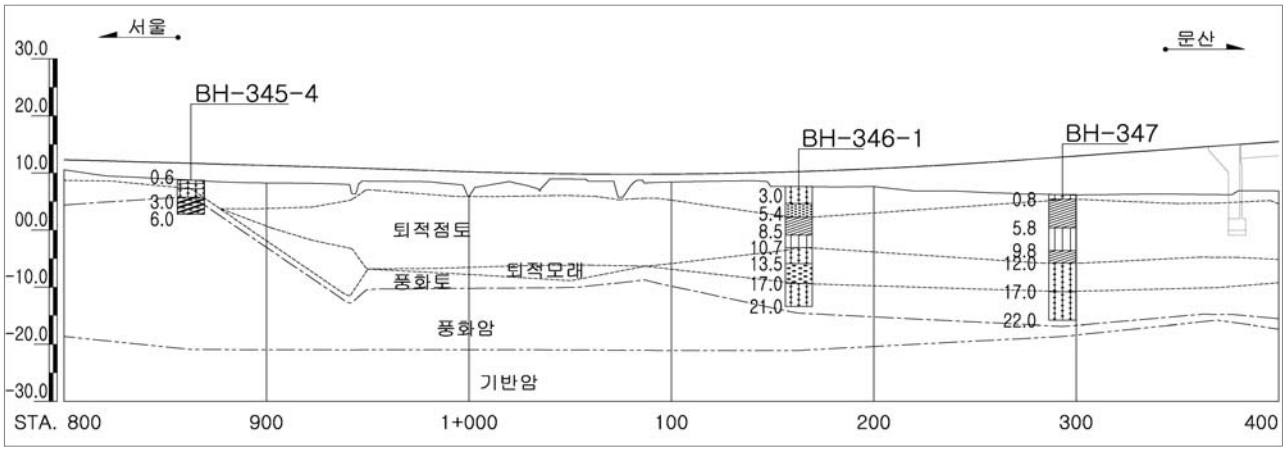
■ 지층상태

구 분		출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층		0.0	1.5~3.5	실트질 모래	7/30~18/30
퇴적층	점토	1.5~4.5	2.8~4.8	실트질 점토, 점토질 실트	2/30~7/30
	모래	3.5	1.0	실트질 모래	5/30
풍화토		6.3~7.3	3.7~6.7	실트질 모래	17/30~50/11

구 분		지 층 개 요
매립층		• 최상부층으로 지표하 0.0m에서 1.5~3.5m 층후로 분포하며 실트질 모래로 구성 • 습윤하며 표준관입시험 결과 매우느슨~보통조밀한 상대밀도
퇴적층	점토	• 지표하 1.5~4.5m에서 2.8~4.8m 층후로 분포하며 실트질 점토와 점토질 실트로 구성 • 습윤하며 표준관입시험 결과 매우연약~보통견고한 연경도
	모래	• BH-344-1번공 지표하 3.5m에서 1.0m 층후로 분포하며, 실트질 모래로 구성 • 습윤하며 표준관입시험 결과 느슨한 상대밀도
풍화토		• 기반암의 상부풍화대로 지표하 6.3~7.3m에서 3.7~6.7m 층후로 분포 • 회갈색~황갈색의 실트질 모래로 구성되며 표준관입시험 결과 보통조밀~매우조밀한 상대밀도

○ 지선 쌓기 1-2구간(STA. 0+820~1+380) : BH-345-4, 346-1, 347

▮ 조사위치 및 지층단면도



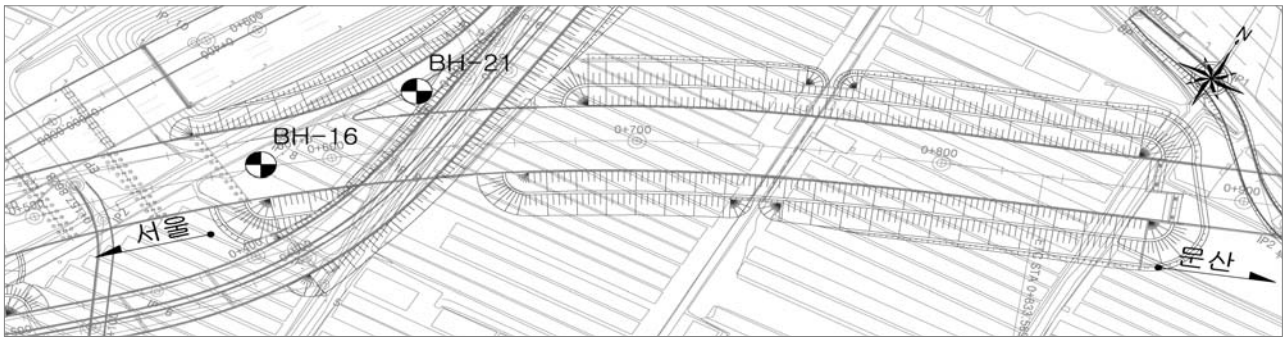
▮ 지층상태

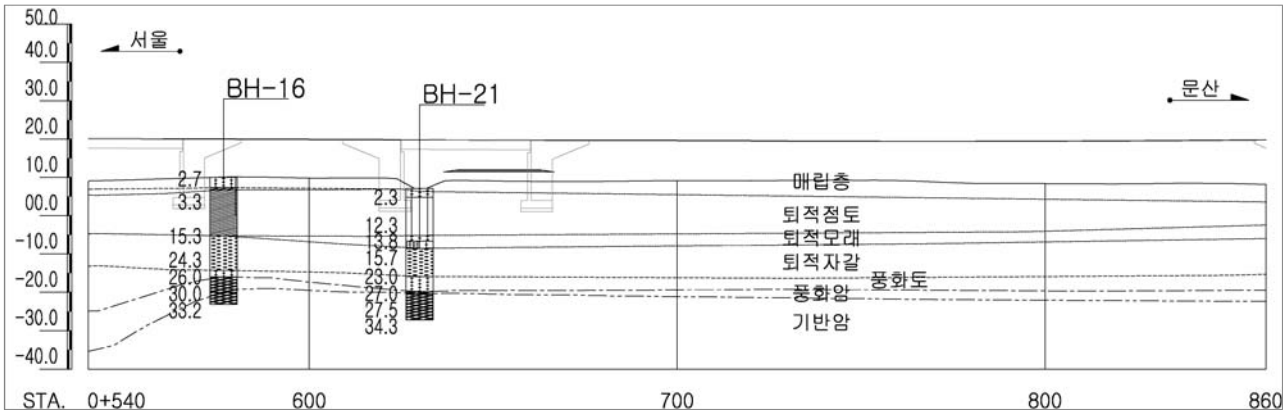
구 분		출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층		0.0	0.6~5.4	실트 및 자갈질 모래	3/30~50/1
퇴적층	점토	0.8~5.4	5.3~13.9	실트질 점토, 점토질 실트	3/30~7/30
	모래	0.6~14.6	0.9~5.0	실트 및 자갈질 모래	9/30~50/5
	자갈	13.5	3.5	모래섞인 자갈	50/11~50/5
풍화토		1.5~19.2	3.0~5.0	실트질 모래	29/30~50/11
풍화암		3.0	3.0	실트질 모래	50/10~50/9

구 분		지 층 개 요
매립층		• 최상부층으로 지표하 0.0m에서 0.6~5.4m 층후로 분포하며 실트질 모래로 구성 • 습윤하며 표준관입시험 결과 매우느슨~보통조밀한 상대밀도
퇴적층	점토	• 지표하 0.8~5.4m에서 5.3~13.9m 층후로 분포하며 실트질 점토와 점토질 실트로 구성 • 습윤하며 표준관입시험 결과 매우연약~보통견고한 연경도
	모래	• 지표하 0.6~14.6m에서 0.9~5.0m 층후로 분포하며, 실트질 모래, 자갈질 모래로 구성 • 습윤하며 표준관입시험 결과 느슨~매우조밀한 상대밀도
	자갈	• 지표하 13.5m에서 3.5m 층후로 분포하며 모래섞인 자갈로 구성 • 습윤하며 표준관입시험 결과 매우조밀한 상대밀도
풍화토		• 기반암의 상부풍화대로 지표하 1.5~19.2m에서 3.0~5.0m 층후로 분포 • 암편섞인 실트질 모래로 구성되며 표준관입시험 결과 보통조밀~매우조밀한 상대밀도
풍화암		• 기반암의 하부풍화대로 지표하 3.0m에서 3.0m이상의 층후로 분포 • 굴진시 암편섞인 실트질 모래로 분해되며 표준관입시험 결과매우조밀한 상대밀도

○ 본선 쌓기 1-1구간(STA. 0+554~0+851) : BH-16, 21

▮ 조사위치 및 지층단면도



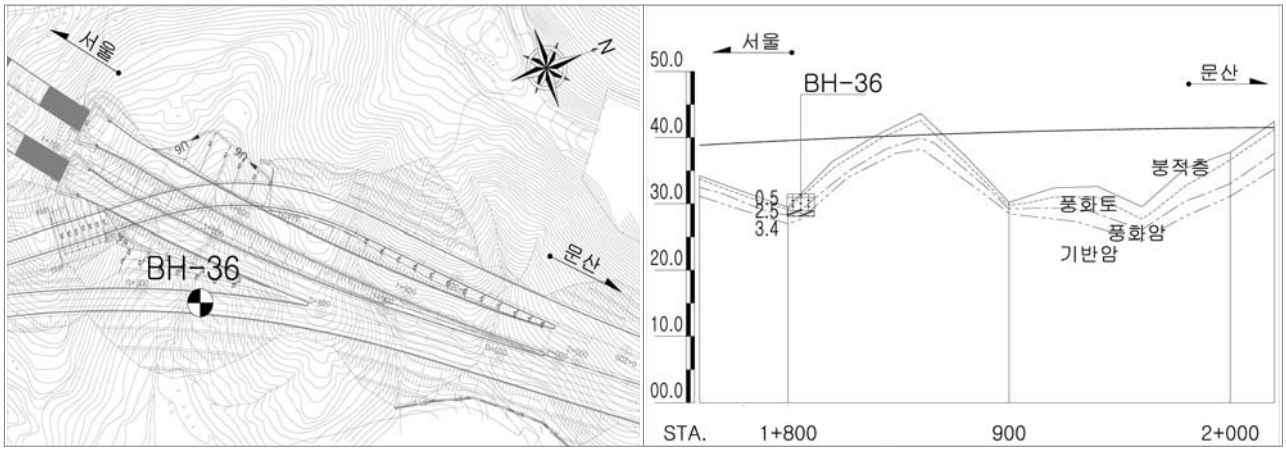


▮ 지층상태

구 분		출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층	모래	0.0	2.3~2.7	실트질 모래	7/30~50/2
퇴적층	점토	2.3~3.3	10.0~12.0	실트질 점토	7/30~17/30
	모래	2.7~12.3	0.6~3.4	점토~실트질 모래, 자갈질 모래	7/30~42/30
	자갈	15.3~15.7	7.3~9.0	모래질 자갈	50/27~50/6
풍화토		23.0~24.3	1.7~4.0	실트질 모래	46/30~50/14
풍화암		26.0~27.0	0.5~4.0	실트질 모래	50/10~50/5
연 암		27.5~30.0	3.2~6.8	편마암	15~100%/0~34%

구 분		지 층 개 요
매립층	모래	• 최상부층으로 지표하 0.0m에서 2.3~2.7m 층후로 분포하며 자갈섞인 실트질 모래로 구성됨 • 습윤하며 표준관입시험 결과 느슨~매우조밀한 상대밀도
퇴적층	점토	• 지표하 2.3~3.3m에서 10.0~12.0m 층후로 분포하며 암회색~암흑색의 실트질 점토로 구성 • 습윤하며 표준관입시험 결과 보통견고~고결한 연경도
	모래	• 지표하 2.7~12.4m에서 2.7~12.3m 층후로 분포 • 암회~암흑색의 실트~점토질 모래, 자갈질 모래로 구성되며 표준관입시험 결과 느슨~조밀한 상대밀도
	자갈	• 지표하 15.3~15.7m에서 7.3~9.0m 층후로 분포하며 황갈색~갈색, 암갈색의 모래질 자갈로 구성 • 습윤하며 표준관입시험 결과 매우조밀한 상대밀도
풍화토		• 기반암의 상부풍화대로 지표하 23.0~24.3m에서 1.7~4.0m 층후로 분포 • 황갈색~암갈색의 암편섞인 실트질 모래로 구성
풍화암		• 기반암의 하부풍화대로 지표하 26.0~27.0m에서 0.5~4.0m 층후로 분포 • 굴진시 황갈색~암갈색의 암편섞인 실트질 모래로 분해
연 암		• 지표하 27.5~30.0m에서 3.2~6.8m 이상 층후로 분포하며 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 15~100%/0~34%로 매우불량~불량한 암질상태

본선 쌓기 1-2구간(STA. 1+760~2+020) : BH-36

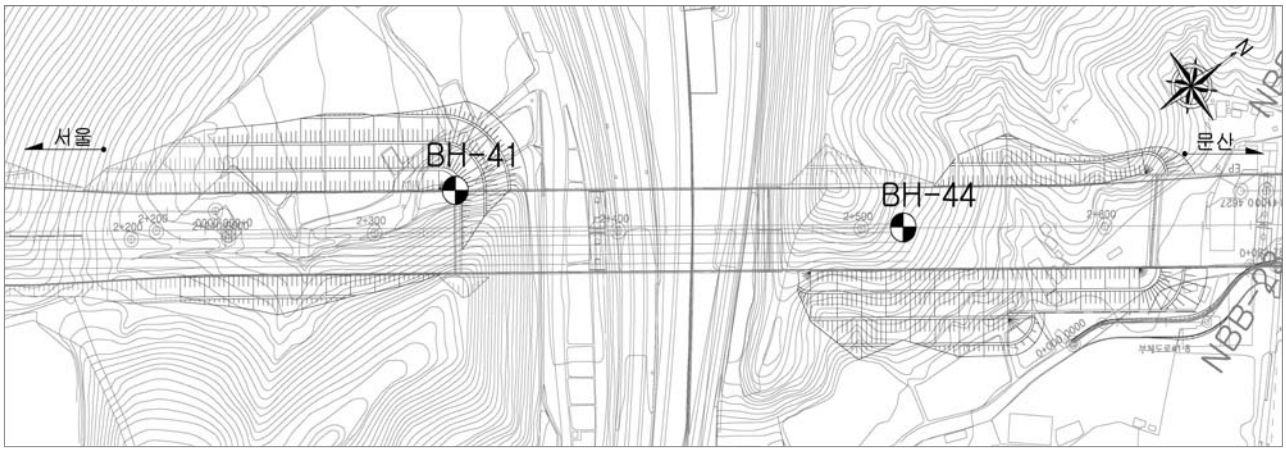


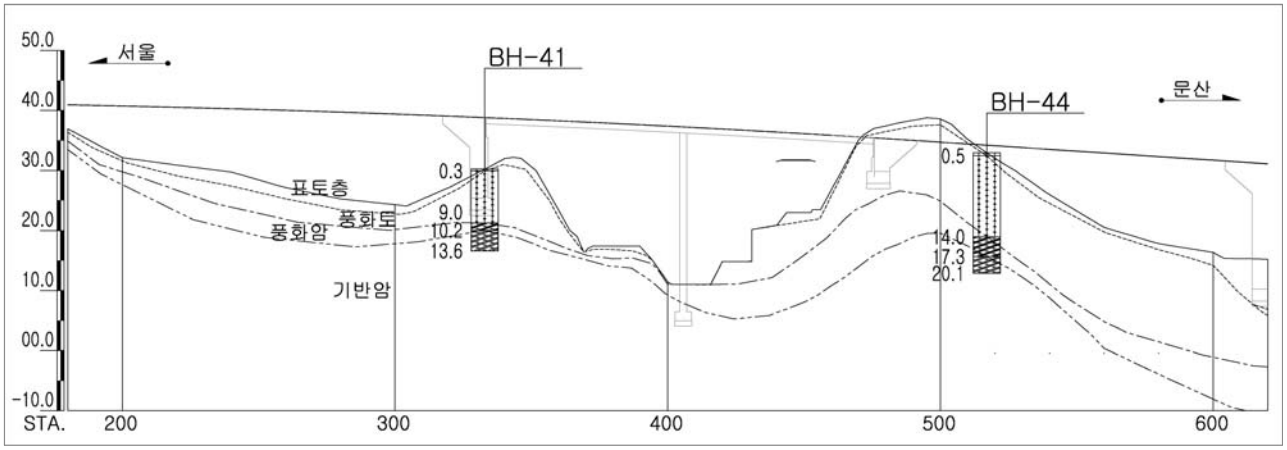
지층상태

구 분	출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층	0.0	0.5	실트질 모래	-
풍화토	0.5	2.0	실트질 모래	41/30~50/25
풍화암	2.5	0.9	실트질 모래	50/7

구 분	지 층 개 요
매립층	• 최상부층으로 지표하 0.0m에서 0.5m 층후로 분포하며, 실트질 모래로 구성
풍화토	• 지표하 0.5m에서 2.0m 층후로 분포 • 기반암의 상부풍화대로 암편섞인 실트질 모래로 구성 • 습윤하며 표준관입시험 결과 조밀~매우조밀한 상대밀도
풍화암	• 지표하 2.5m에서 0.9m이상 층후로 분포 • 기반암의 하부풍화대로 굴진시 암편섞인 실트질 모래로 분해 • 습윤하며 표준관입시험 결과 매우조밀한 상대밀도

본선 쌓기 1-3구간(STA. 2+180~2+620) : BH-41, 44





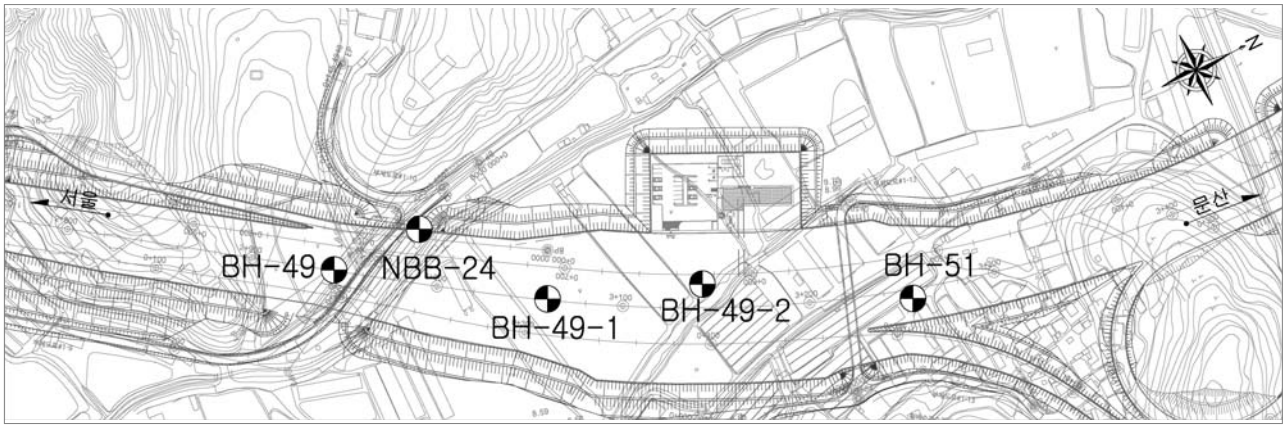
■ 지층상태

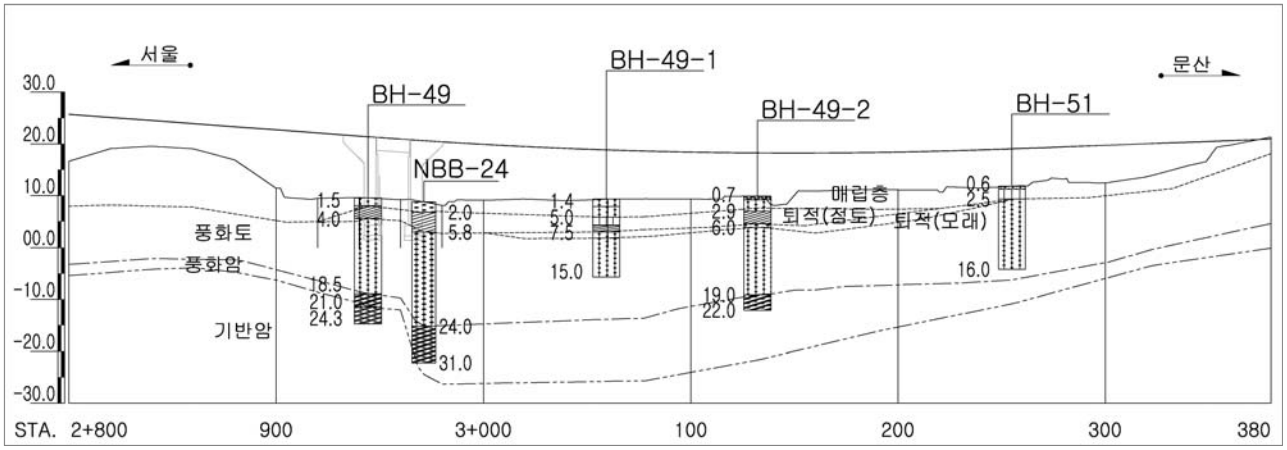
구 분	출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층/표토층	0.0	0.3~0.5	실트질 모래	–
풍화토	0.3~0.5	8.7~13.5	실트질 모래	8/30~50/13
풍화암	9.0~14.0	1.2~3.3	실트질 모래	50/10~50/5
연 암	10.2~17.3	2.8~3.4	편 마 암	100%/12~21%
경 암	20.1	1.3	편 마 암	100%/75%

구 분	지 층 개 요
매립층/표토층	• 최상부층으로 지표하 0.0m에서 0.3~0.5m 층후로 분포하며 황갈색의 실트질 모래로 구성
풍화토	• 기반암의 상부풍화대로 지표하 0.3~0.5m에서 8.7~13.5m 층후로 분포 • 습윤하며 표준관입시험 결과 느슨~매우조밀한 상대밀도
풍화암	• 기반암의 하부풍화대로 지표하 9.0~14.0m에서 1.2~8.7m 층후로 분포 • 굴진시 암갈색의 암편섞인 실트질 모래로 분해
연 암	• 지표하 10.2~17.3m에서 2.8~3.4m 이상 층후로 분포하며 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 100%/12~21%로 매우불량한 암질상태
경 암	• 지표하 20.1m에서 1.3m 이상 층후로 분포하며 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 100%/75%로 양호한 암질상태

○ 본선 쌓기 1-4구간(STA. 2+800~3+380) : BH-49, 49-1, 49-2, 51 보완설계 : NBB-24

■ 조사위치 및 지층단면도





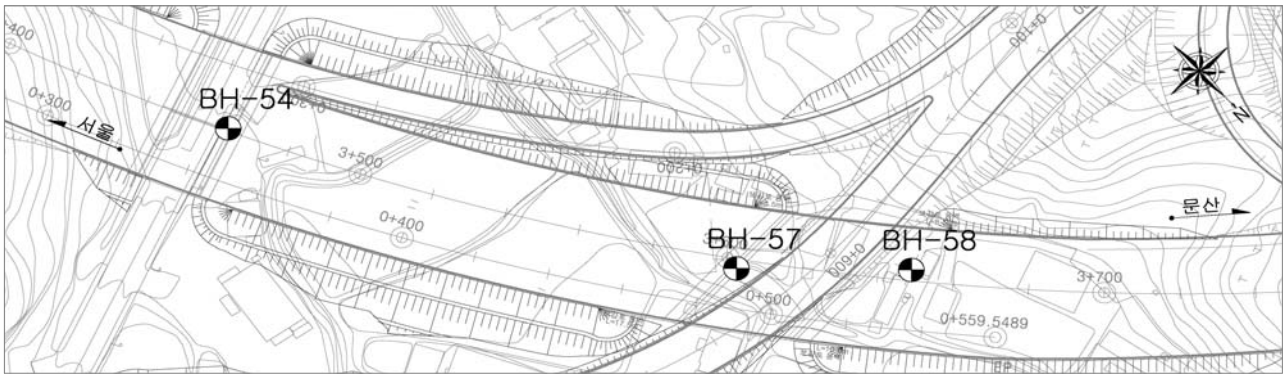
지층상태

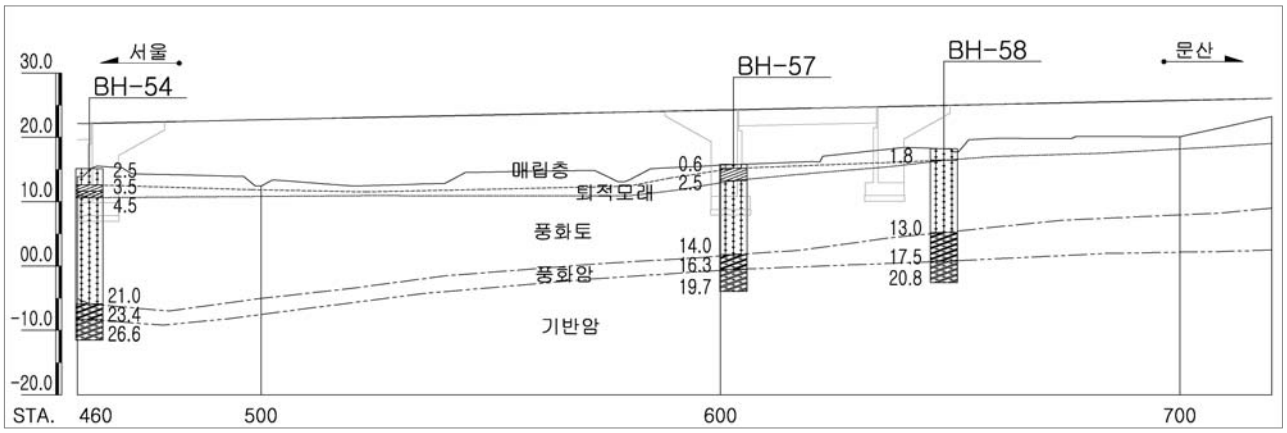
구 분		출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층/붕적층		0.0	0.6~1.5	실트질 모래, 모래	4/30~6/30
퇴적층	점토	0.6~5.0	1.5~4.2	실트질 점토, 점토질 실트	2/30~16/30
	모래	1.4~6.5	0.7~2.1	실트질 모래, 점토질 모래,모래	4/30~8/30
	자갈	1.0	1.3	모래질 자갈	5/30
풍화토		2.5~8.5	7.5~14.5	실트질 모래	4/30~50/12
풍화암		16.0~19.0	2.5~5.0	실트질 모래	50/7~50/3
기반암		21.0	3.3	편 마 암	50~100%/0~25%

구 분		지 층 개 요
매립층/붕적층		• 최상부층으로 지표하 0.0m에서 0.6~1.5m 층후로 분포하며 실트질 모래와 자갈섞인 모래로 구성 • 습윤하며 표준관입시험 결과 매우느슨~느슨한 상대밀도
퇴적층	점토	• 지표하 0.6~5.0m에서 1.5~4.2m 층후로 실트질 점토, 점토질 실트로 구성 • 습윤하며 표준관입시험 결과 매우연약~매우견고한 연경도
	모래	• 지표하 1.4~6.5m에서 0.7~2.1m 층후로 분포 • 실트질 모래, 점토질 모래, 입도분포 불량한 모래로 구성 • 습윤하며 표준관입시험 결과 느슨~보통조밀한 상대밀도
	자갈	• 지표하 1.0m에서 1.3m 층후로 분포 • 습윤하며 표준관입시험 결과 느슨한 상대밀도
풍화토		• 기반암의 상부풍화대로 지표하 2.5~8.5m에서 7.5~14.5m 층후로 분포 • 습윤하며 표준관입시험 결과 매우느슨~매우조밀한 상대밀도
풍화암		• 기반암의 하부풍화대로 지표하 16.0~19.0m에서 2.5~5.0m 이상 층후로 분포 • 굴진시 암편섞인 실트질 모래로 분해
기반암		• 지표하 21.0m에서 3.3m이상 층후로 분포하며 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 50~100%/0~25%로 매우불량~불량한 암질상태

○ 본선 쌓기 1-5구간(STA. 3+460~3+720) : BH-54, 57, 58

▮ 조사위치 및 지층단면도





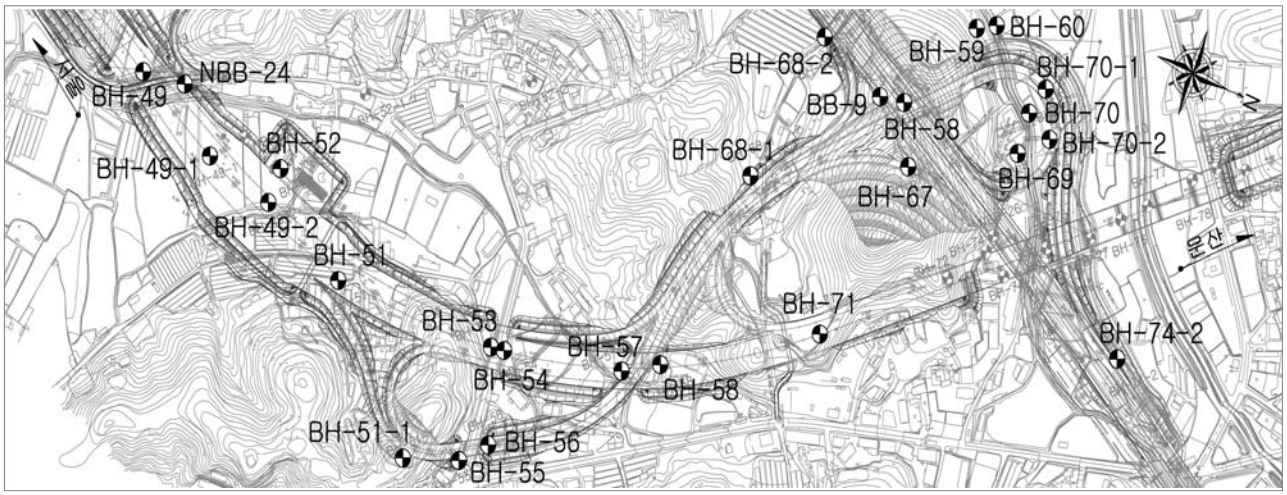
▮ 지층상태

구 분		출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층		0.0	0.8~2.5	실트질 모래	3/30~6/30
퇴적층	점토	0.6~2.5	1.0~1.9	실트질 점토	6/30~23/30
	모래	3.5	1.0	점토질 모래	7/30
풍화토		1.8~4.5	11.2~16.5	실트질 모래	8/30~50/9
풍화암		13.0~21.0	2.3 ~4.5	실트질 모래	50/10~50/7
연 암		16.3~23.4	3.2~3.4	편마암	80~95%/0~24%

구 분		지 층 개 요
매립층		• 최상부층으로 지표하 0.0m에서 0.8~2.5m 층후로 분포하며 실트질 모래로 구성 • 습윤하며 표준관입시험 결과 매우느슨한 상대밀도
퇴적층	점토	• BH-57번공 지표하 0.6m에서 1.9m 층후로 분포하며 실트질 점토로 구성 • 습윤하며 표준관입시험 결과 견고~매우견고한 연경도
	모래	• BH-54번공 지표하 3.5m에서 1.0m 층후로 분포하며 점토질 모래로 구성 • 습윤하며 표준관입시험 결과 느슨한 상대밀도
풍화토		• 기반암의 상부풍화대로 지표하 1.8~4.5m에서 11.2~16.5m 층후로 분포 • 습윤하며 표준관입시험 결과 느슨~매우조밀한 상대밀도
풍화암		• 기반암의 하부풍화대로 지표하 13.0~21.0m에서 2.3~4.5m 층후로 분포
연 암		• 지표하 16.3~23.4m에서 3.2~3.4m 이상의 층후로 분포하며 편마암으로 구성 • 심한풍화~보통풍화상태의 편마암으로서 TCR/RQD는 80~95%/0~24%로 매우불량한 암질상태

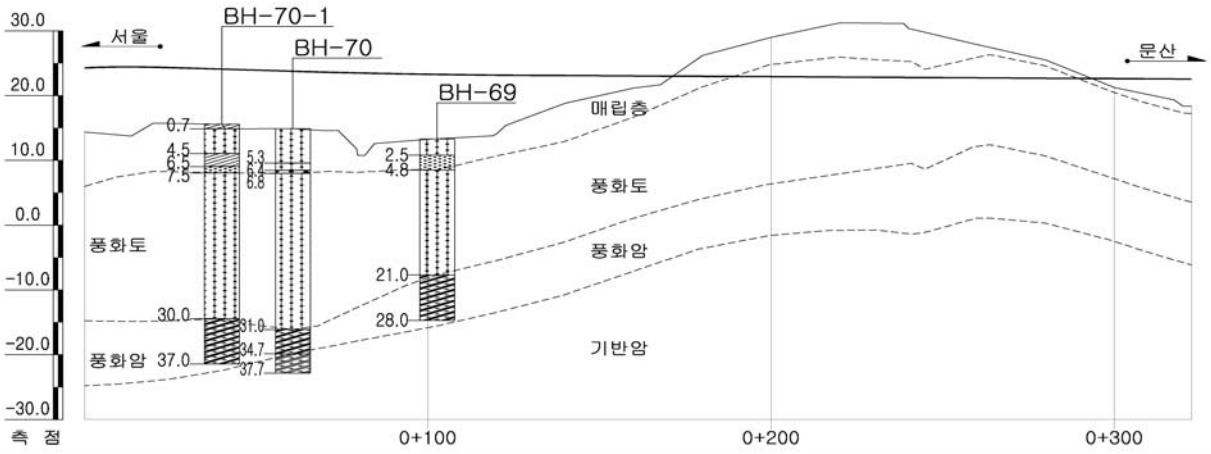
행신IC Ramp구간

조사위치도

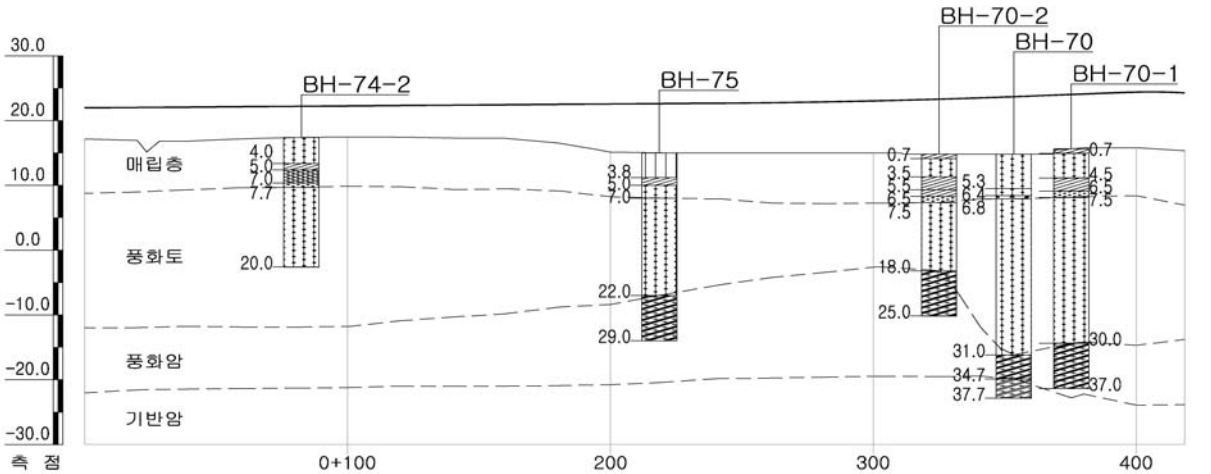


지층단면도

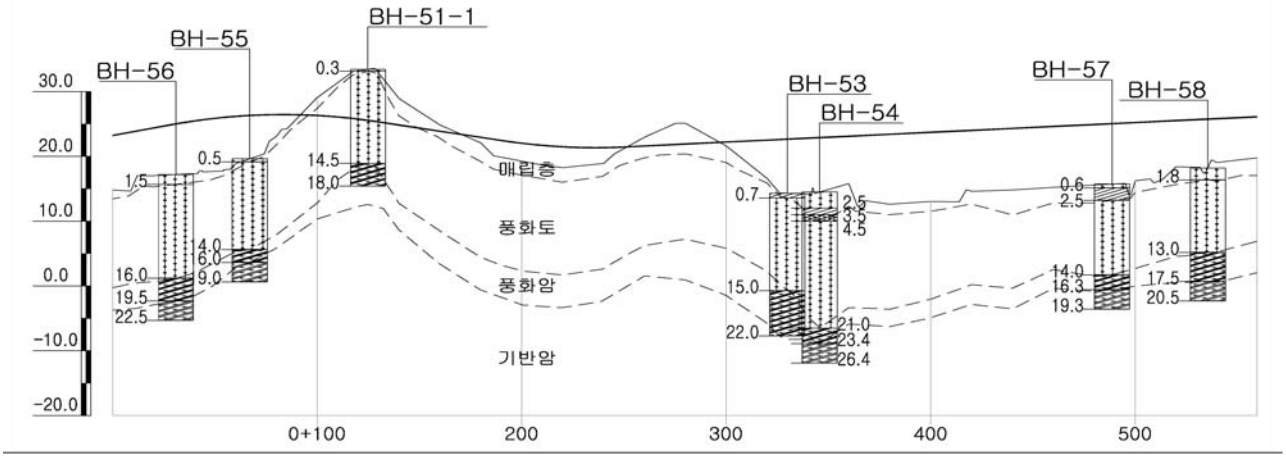
Ramp-B구간(BH-69, 70, 70-1)



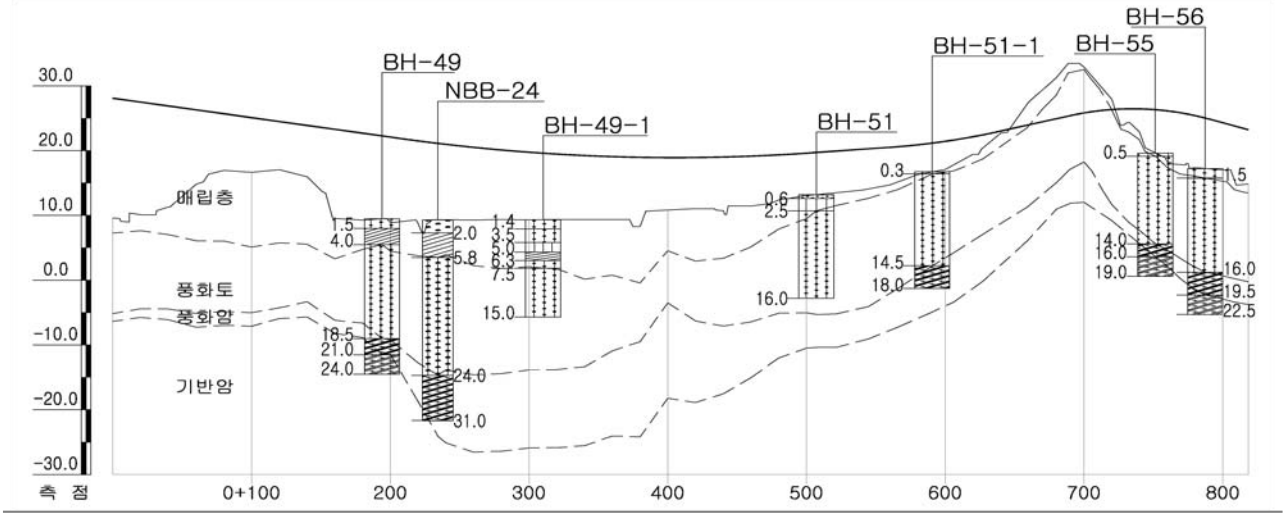
Ramp-C구간(BH-70, 70-1, 70-2, 74-2, 75)



Ramp-F 구간(BH-51-1, 53, 54, 55, 56, 57, 58)



Ramp-G구간(BH-49, 49-1, 49-2, 51, 51-1, 55, 56, 보완설계 : NBB-24)

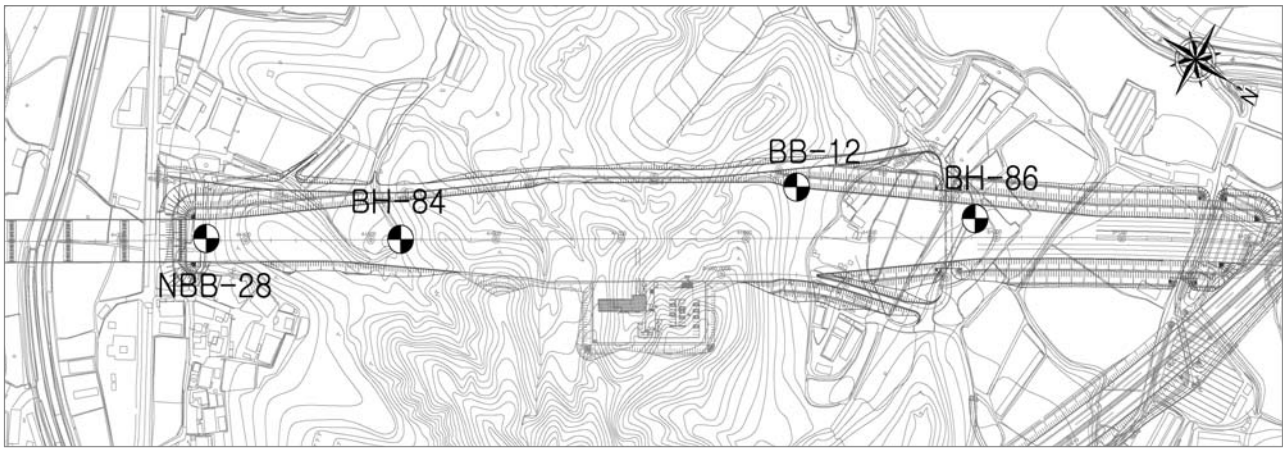


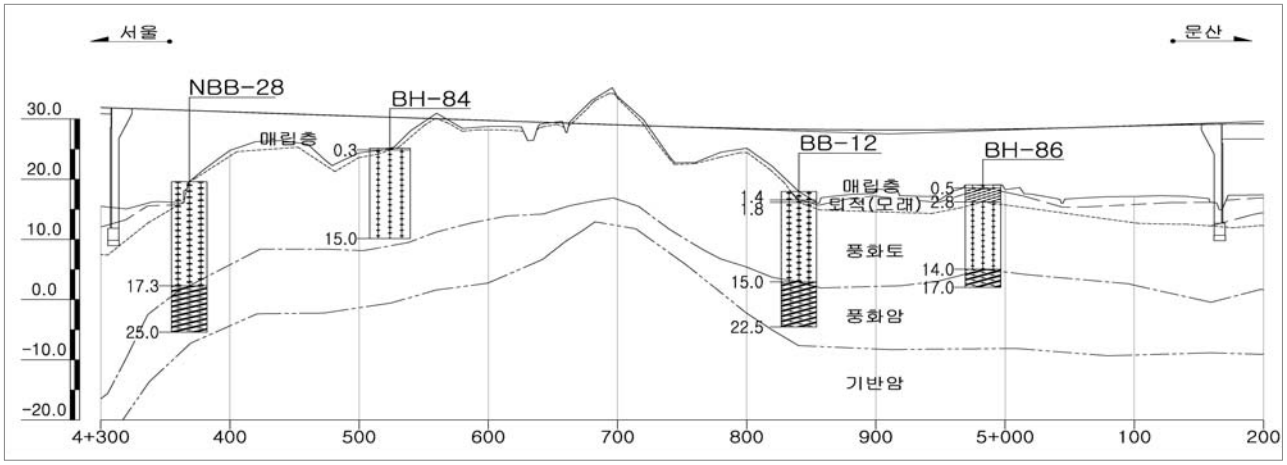
■ 지층상태

구 분		출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층	모래	0.0	0.6~5.3	실트질 모래, 모래	3/30~10/30
	점토	3.5~4.5	2.0	실트질 점토	3/30~5/30
붕적층		0.0~4.0	0.7~3.8	실트질 모래, 점토	3/30~10/30
퇴적층	점토	2.5~5.5	1.0~2.8	실트질 점토, 실트	5/30~7/30
	모래	1.4~6.5	1.0~3.3	실트질 모래, 점토질 모래	5/30~17/30
	자갈	6.4	0.5	실트질 자갈	-
풍화토		0.7~7.7	7.5~24.1	실트질 모래	5/30~50/9
풍화암		13.0~31.0	2.3~9.6	편 마 암	50/10~50/1
기반암		16.3~34.7	3.0~3.5	편 마 암	93~100% / 5~24%

○ 본선 쌓기 1-6구간(STA. 4+308~5+160) : BH-84, 86, 제3자 공고 : BB-12, 보완설계 : NBB-28

▮ 조사위치 및 지층단면도





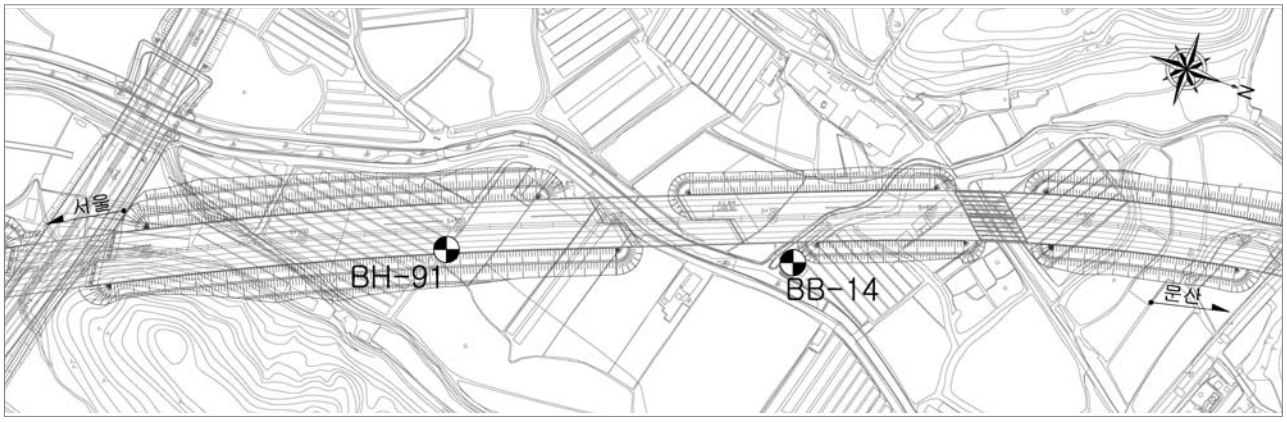
▮ 지층상태

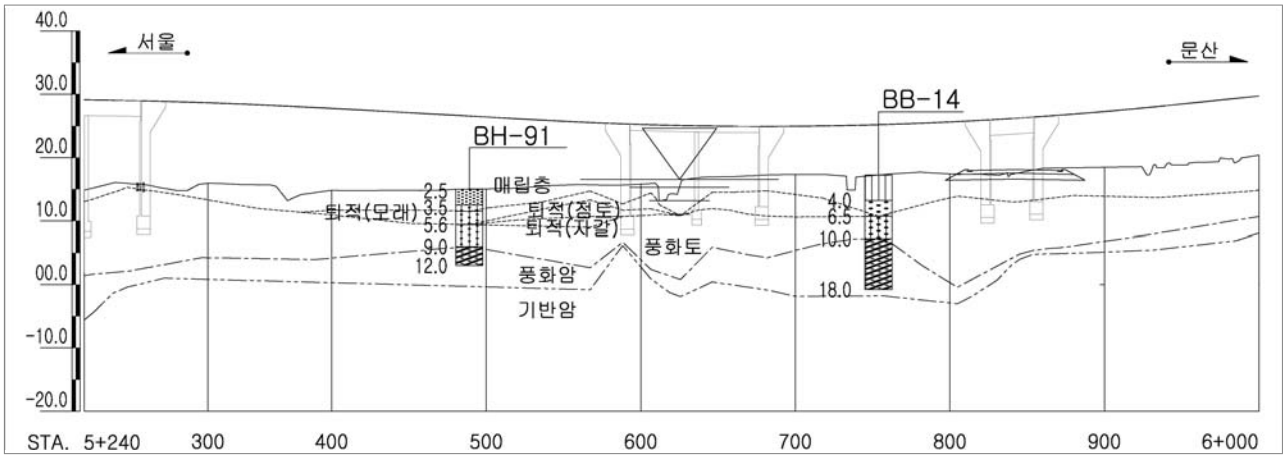
구 분	출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층	0.0	0.3~1.4	실트질 모래	18/30
퇴적층	0.5~1.4	0.4~2.3	점토 및 실트질 모래	4/30~5/30
풍화토	0.0~2.8	11.2~17.3	실트질 모래	7/30~50/4
풍화암	14.0~17.3	3.0~7.7	편 마 암	50/10~50/2

구 분	지 층 개 요
매립층	• 최상부층으로 지표하 0.0m에서 0.3~1.4m 층후로 분포 • 실트질 모래로 구성 • 습윤하며 표준관입시험 결과 보통조밀한 상대밀도
퇴적층	• 지표하 0.5~1.4m에서 0.4~2.3m 층후로 분포하며 실트질 모래로 구성 • 습윤하며 표준관입시험 결과 매우느슨~느슨한 상대밀도
풍화토	• 기반암의 상부풍화대로 지표하 0.0~2.8m에서 11.2~17.3m 층후로 분포 • 습윤하며 표준관입시험 결과 느슨~매우조밀한 상대밀도
풍화암	• 기반암의 하부풍화대로 지표하 14.0~17.3m에서 3.0~7.7m 이상 층후로 분포 • 굴진시 암편섞인 실트질 모래로 분해 • 습윤하며 표준관입시험 결과 매우조밀한 상대밀도

○본선 쌓기 1-7구간(STA. 5+237~6+000) : BH-91, 제3자 공고 : BB-14

▮ 조사위치 및 지층단면도





▮ 지층상태

구 분		출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층/전답층		0.0	1.8~3.5	실트질 모래, 자갈질 모래	4/30~12/30
퇴적층	점토	0.0	4.0	모래질 실트	6/30~13/30
	모래	3.5~4.0	2.1~2.5	실트질 모래, 자갈질 모래	5/30~18/30
풍화토		1.8~6.5	3.4~6.8	실트질 모래	8/30~50/12
풍화암		8.6~9.0	0.5~8.0	실트질 모래	50/10~50/3

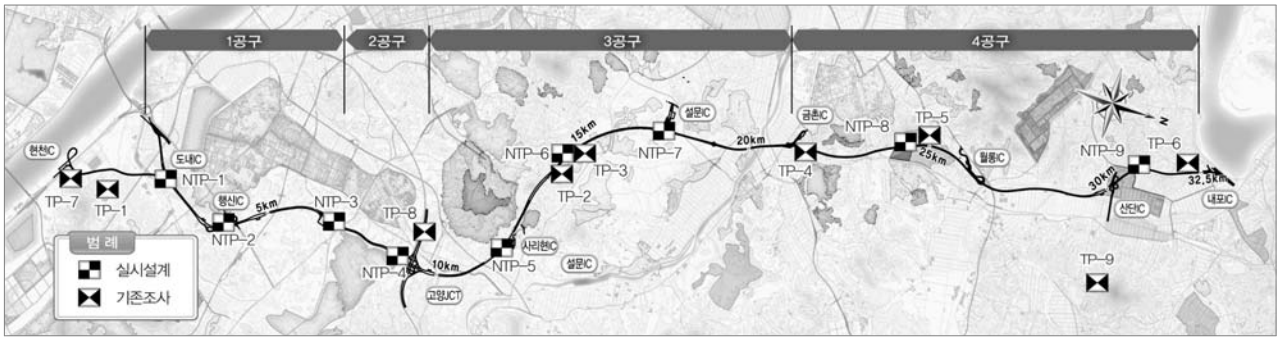
구 분		지 층 개 요
매립층/전답층		• 최상부층으로 지표하 0.0m에서 1.8~3.5m 층후로 분포하며 실트질 모래, 자갈질 모래로 구성 • 습윤하며 표준관입시험 결과 매우느슨~보통조밀한 상대밀도
퇴적층	점토	• BB-14번공의 최상부층으로 최상부층으로 지표하 0.0m에서 4.0m 층후로 분포하며 모래질 실트로 구성 • 습윤하며 표준관입시험 결과 보통견고~견고한 연경도
	모래	• 지표하 3.5~4.0m에서 2.1~2.5m 층후로 분포하며 실트질 모래, 자갈질 모래로 구성 • 습윤하며 표준관입시험 결과 느슨~보통조밀한 상대밀도
풍화토		• 기반암 상부풍화대로 지표하 1.8~6.5m에서 3.4~6.8m 층후로 분포 • 습윤하며 표준관입시험 결과 느슨~매우조밀한 상대밀도
풍화암		• 기반암의 하부풍화대로 지표하 8.6~9.0m에서 0.5~8.0m 이상 층후로 분포 • 굴진시 암편섞인 실트질 모래로 분해

2.2 시험굴조사 및 핸드오거보링

2.2.1 시험굴조사

개 요 • 지층의 구성 상태 및 성토 재료로서의 적합 여부와 다짐 특성 파악

○ 조사위치



○ 기존조사 자료

구 분		심 도 (GL. -m)	구성성분	불교란상태		교란상태		L값
				습윤단위중량 (kN/m³)	건조단위중량 (kN/m³)	습윤단위중량 (kN/m³)	건조단위중량 (kN/m³)	
1공구	TP-1	1.8	풍화암	18.70	19.70	17.02	17.97	0.912
3공구	TP-2	1.5	풍화암	18.42	19.54	16.04	17.02	0.871
	TP-3	2.0	풍화토	15.51	17.97	12.77	14.80	0.824
4공구	TP-4	2.0	풍화토	14.41	16.47	12.08	13.80	0.838
	TP-5	1.8	풍화암	17.00	20.66	14.57	17.70	0.857
	TP-6	1.5	풍화암	17.21	19.78	16.58	19.05	0.963
1공구	TP-7	2.0	풍화토	16.54	17.69	13.06	13.97	0.790
2공구	TP-8	1.9	풍화토	15.30	17.98	12.84	15.08	0.839
4공구	TP-9	1.8	풍화토	14.13	16.31	12.66	14.61	0.896

○ 실시설계조사 자료

구 분		심 도 (GL. -m)	구성성분	불교란상태		교란상태		L값
				습윤단위중량 (kN/m³)	건조단위중량 (kN/m³)	습윤단위중량 (kN/m³)	건조단위중량 (kN/m³)	
1공구	NTP-1	1.0	SM	18.09	14.90	14.36	11.83	1.260
	NTP-2	1.0	SM	17.68	15.49	14.22	12.46	1.244
	NTP-3	1.0	SM	18.51	16.60	13.82	12.39	1.340
2공구	NTP-4	1.0	SM	17.62	14.93	13.38	11.34	1.317
3공구	NTP-5	1.0	SM	17.84	16.74	14.50	13.60	1.231
	NTP-6	1.0	SM	18.25	15.72	13.91	11.98	1.312
	NTP-7	1.0	SM	18.01	15.00	13.93	11.60	1.293
4공구	NTP-8	1.0	SM	18.57	15.21	14.89	12.20	1.247
	NTP-9	1.0	SM	18.27	14.99	12.66	10.39	1.443

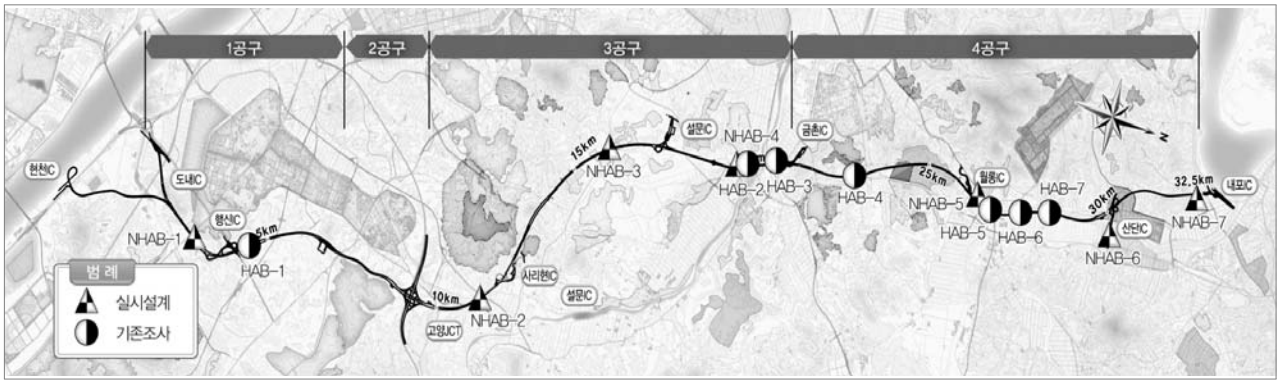
분석결과
- 불교란시료의 습윤단위중량 : 14.13~18.70kN/m³, 건조단위중량 : 14.90~20.66kN/m³
- 교란시료의 습윤단위중량 : 12.08~17.02kN/m³, 건조단위중량 : 10.39~19.05kN/m³
- L값 : 0.79~1.443의 범위로 나타남

2.2.2 핸드오거보링

개 요

- 쌓기구간의 지층 구성 상태 파악, 토질시료 채취 및 실내시험 실시
- 연약지반 분포현황 파악 및 쌓기부 시추조사 시행여부 결정

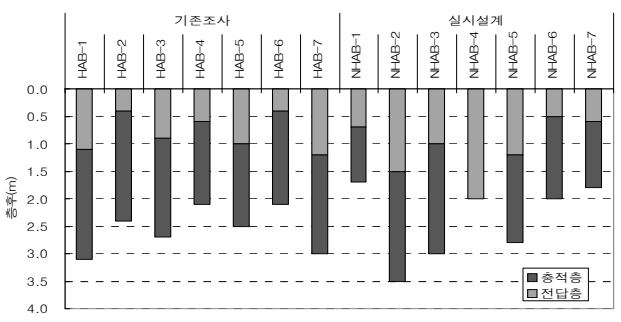
조사위치



구 분			전답층		충적층	
			심도(m)	구성성분	심도(m)	구성성분
기존조사	1공구	HAB-1	0.0~1.1	암회색, 자갈섞인 실트질 모래	1.1~2.0	암회색, 모래질 실트
	3공구	HAB-2	0.0~0.4	회색, 모래질 실트	0.4~2.0	암회색, 실트질 모래
		HAB-3	0.0~0.9	암회색, 실트질 모래	0.9~1.8	암회색, 점토질모래
	4공구	HAB-4	0.0~0.6	암회색, 자갈섞인 실트질 모래	0.6~1.5	암회색, 자갈섞인 실트질 모래
		HAB-5	0.0~1.0	갈색, 실트질 모래	1.0~1.5	갈색~담갈색, 실트질 모래
		HAB-6	0.0~0.4	암회색, 자갈섞인 실트질 모래	0.4~1.7	암회색, 실트질 모래
		HAB-7	0.0~1.2	갈색, 습윤, 실트질 모래	1.2~1.8	암회색, 실트질 모래
실시설계	1공구	NHAB-1	0.0~0.7	암회색, 실트질 점토	0.7~1.0	황갈색, 실트질 모래
	3공구	NHAB-2	0.0~1.5	암갈색, 실트질 모래	1.5~2.0	암회색, 모래질 실트
		NHAB-3	0.0~1.0	암회색, 자갈섞인 실트질 모래	1.0~2.0	암갈색, 모래질 점토
		NHAB-4	0.0~2.0	암갈색, 모래섞인 실트질 점토	–	–
	4공구	NHAB-5	0.0~1.2	암갈색, 실트질 모래	1.2~1.6	암갈색~갈색, 실트질 모래
		NHAB-6	0.0~0.5	암회색, 실트질 점토	0.5~1.5	갈색, 실트질 모래
		NHAB-7	0.0~0.6	암회색, 실트질 점토	0.6~1.2	암회색~갈색, 점토질 모래

현 장 사 진(HAB-2)

핸드오거보링 지층분포



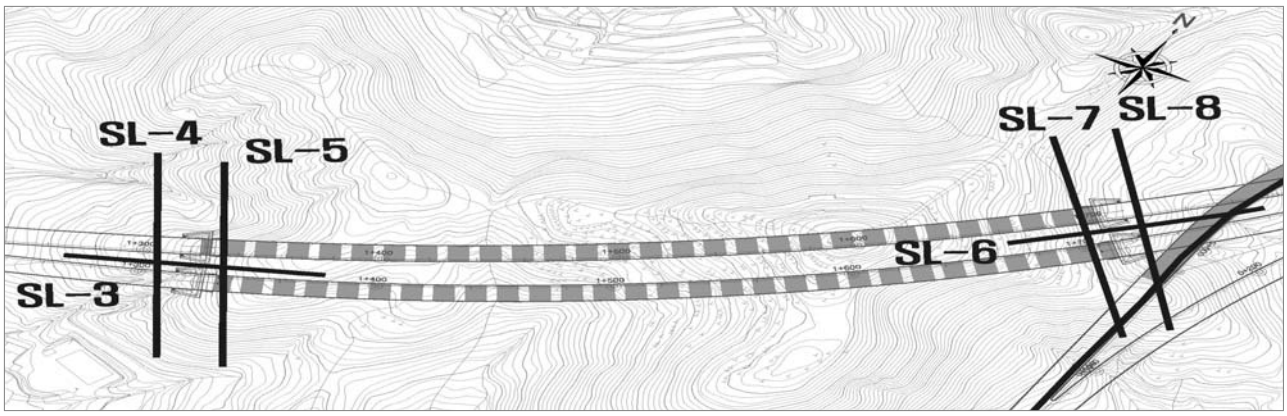
제 3 장 물리탐사

3.1 탄성파탐사

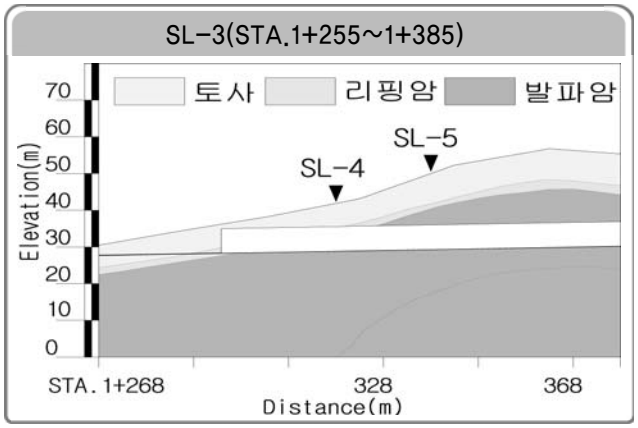
3.1.1 터널구간

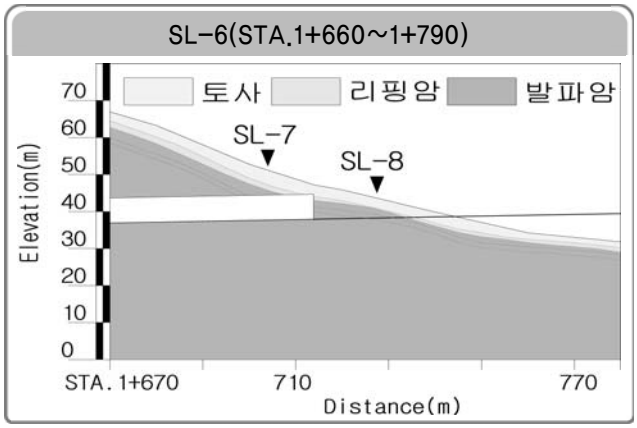
○ 강매터널

■ 위치도



■ 종단 탐사결과



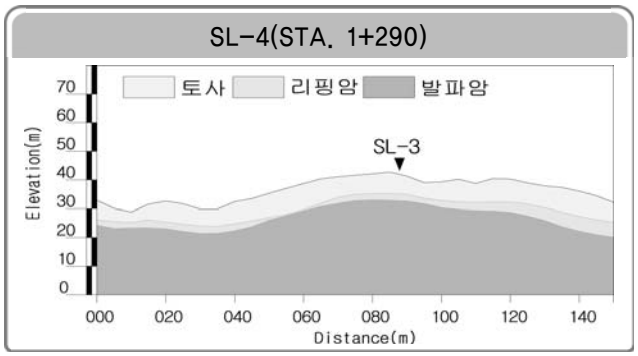


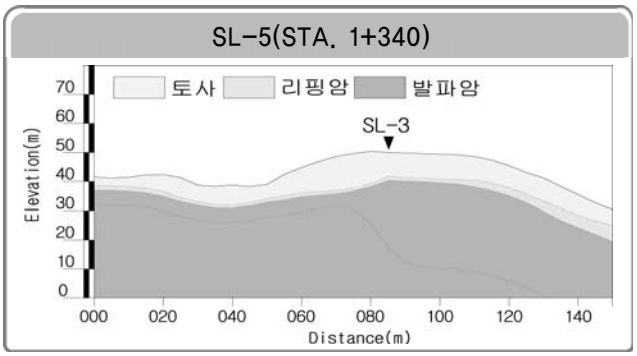
구 분		탄성파속도(m/s)	시 점 부			종 점 부		
			추정심도(m)	층 후(m)	평 균(m)	추정심도	층 후(m)	평 균(m)
토 사		700 이하	0.0~8.9	6.8~8.9	7.2	0.0~4.2	1.5~4.2	2.8
리핑암(풍화암)		700~1,200	6.8~11.1	1.2~2.7	2.1	1.5~4.7	0.1 ~2.1	1.2
발파암	연 암	1,200~1,900	8.0 이상	20.3~32.8	25.1	2.9~8.4	0.7~3.3	1.8
	보통암	1,900~2,900	31.5 이상	–	–	3.5~9.7	1.3~1.4	1.4
	경 암	2,900 이상	–	–	–	4.5 이상	–	–

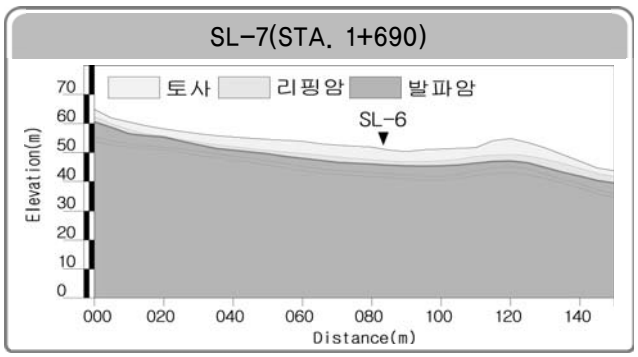
■ 분석결과

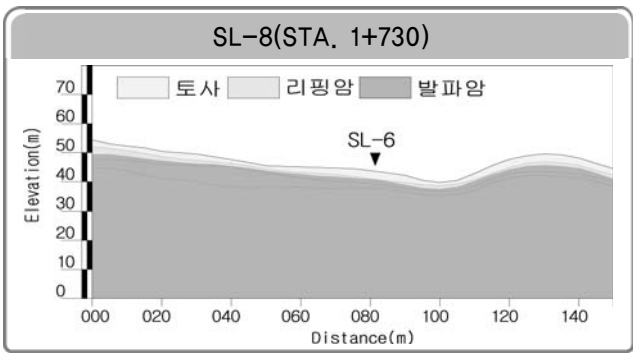
- 시점부 토사층(제1속도층)의 평균 층후는 7.2m, 리핑암(제2속도층)의 평균 층후는 2.1m이고, 종점부 토사층(제1속도층)의 평균 층후는 2.8m, 리핑암(제2속도층)의 평균 층후는 1.2m로 확인됨
- 시점부는 종점부에 비하여 저속도층이 두껍게 분포하며 종점부로 갈수록 발파암이 상부에 출현함

횡단 탐사결과









구 분			탄성파속도(m/s)	추정심도(m)	층 후(m)	평 균(m)
STA. 1+290	토 사		700 이하	0.0~9.1	3.6~9.1	7.1
	리핑암(풍화암)		700~1,200	3.6~12.0	0.3~5.2	2.6
	발파암	연 암	1,200~1,900	5.5 이상	–	–
STA. 1+340	토 사		700 이하	0.0~12.0	2.8~12.0	7.3
	리핑암(풍화암)		700~1,200	2.8~12.9	0.9~5.4	1.9
	발파암	연 암	1,200~1,900	4.1~39.4	4.4~29.2	15.2
		보통암	1,900~2,900	9.3 이상	–	–
STA. 1+690	토 사		700 이하	0.0~5.5	1.8~5.5	3.5
	리핑암(풍화암)		700~1,200	1.8~7.5	0.4~3.0	1.7
	발파암	연 암	1,200~1,900	2.9~9.4	1.8~5.3.	2.9
		보통암	1,900~2,900	5.8~11.7	0.9~2.2	1.4
		경 암	2,900 이상	7.3 이상	–	–
STA. 1+730	토 사		700 이하	0.0~2.9	1.0~2.9	2.1
	리핑암(풍화암)		700~1,200	1.0~5.0	0.2~2.6	1.1
	발파암	연 암	1,200~1,900	2.3~6.6	0.1~2.2	1.2
		보통암	1,900~2,900	2.4~9.7	1.4~7.0	2.9
		경 암	2,900 이상	4.3 이상	–	–

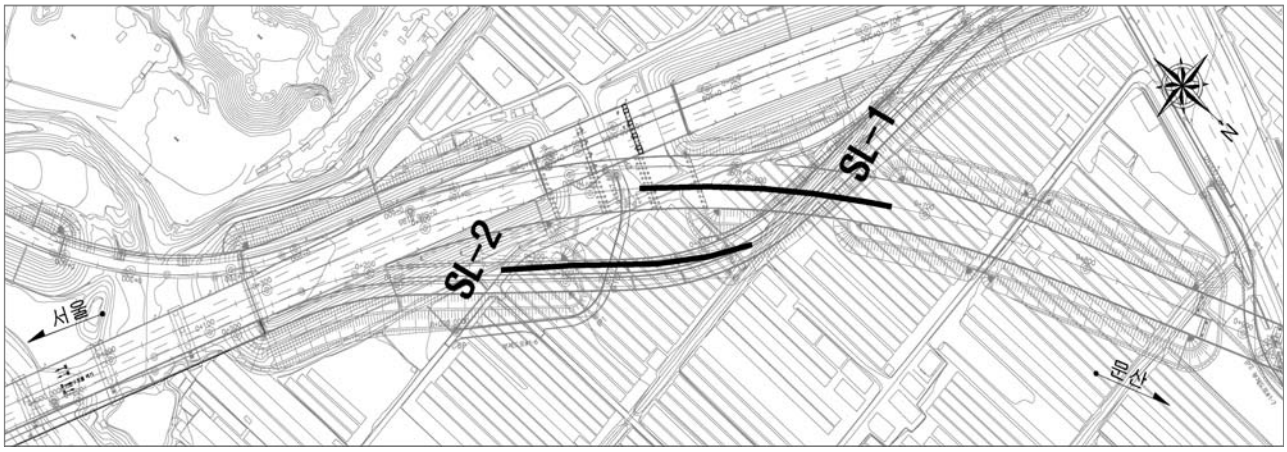
분석결과

- 토사층(제1속도층) 평균 층후는 2.1~7.3m, 리핑암(제2속도층)은 1.1~2.6m, 발파암은 지표하 2.3~5.5m 이후에 출현함
- 터널 시점부에서 종점부로 갈수록 비해 토사, 리핑암이 얇아지는 것으로 나타남
- SL-5(STA. 1+340)구간이 타 탐사 구간에 비하여 저속도층이 두껍게 분포하는 것으로 확인되며, 이는 종단 탐사 및 시추조사 결과와 비교 시 일치하는 것으로 확인됨

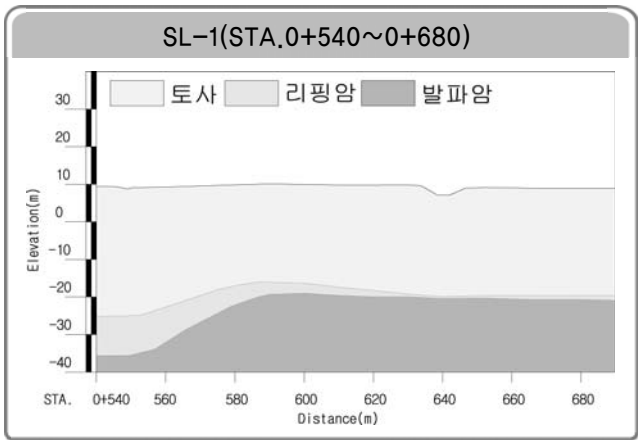
3.1.2 교량구간

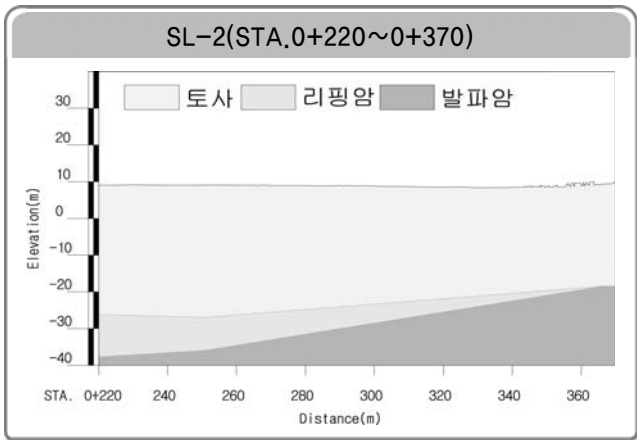
○ 강매1교

▮ 탐사위치도



▮ 종단 탐사결과





구 분		탄성파속도(m/s)	추정심도(m)	층 후(m)	평 균(m)
STA. 0+540~ 0+680	토 사	700 이하	0.0~34.6	25.2~34.6	28.1
	리핑암	700~1,200	25.2~44.0	0.5~10.5	3.7
	발파암	1,200~1,900	27.5 이상	–	–
STA. 0+220~ 0+370	토 사	700 이하	0~37.8	28.5~37.8	31.1
	리핑암	700~1,200	28.5 이상	–	–
	발파암	1,200~1,900	–	–	–

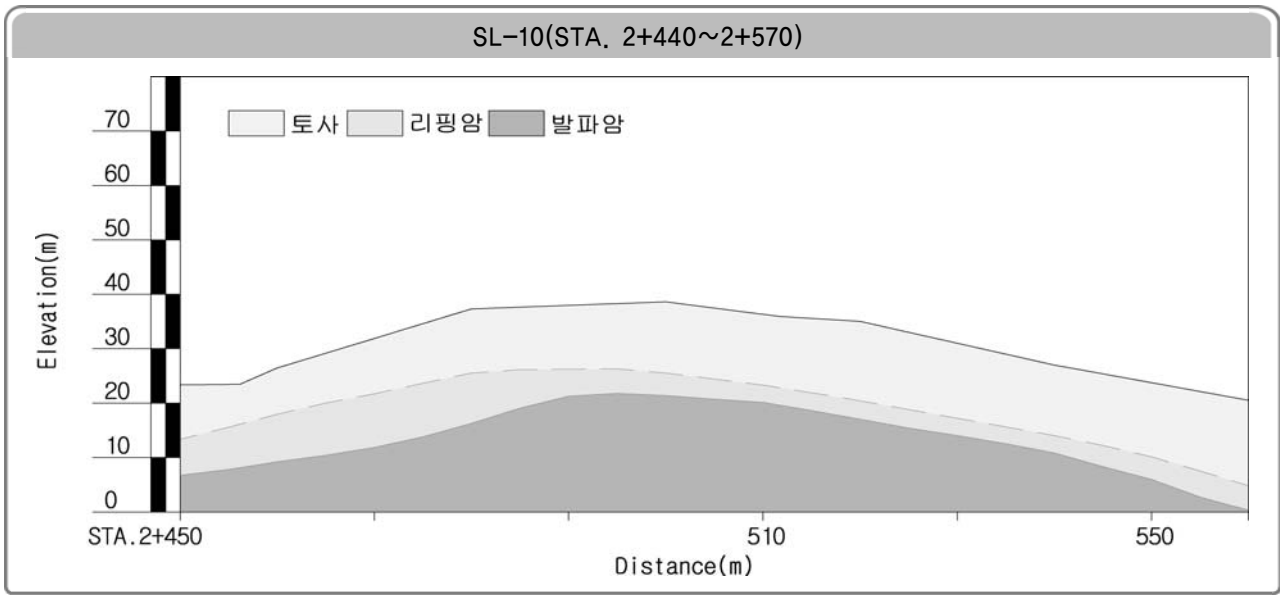
▮ 분석결과

- SL-1측선 분석결과 토사층 25.2~34.6m(평균 28.1m), 리핑암 0.5~10.5m(평균 3.7m), 발파암 출현심도는 지표하 27.5m이상에서 나타날 것으로 예상됨
- SL-2측선 분석결과 층후는 토사층 28.5~37.8m, 리핑암 출현심도는 지표하 28.5m이상에서 나타날 것으로 예상됨
- 전체적으로 제1속도(토사)층이 깊게 나타나며, 리핑암은 SL-1(STA. 0+620), SL-2(STA.0+260)에서 얇아짐

행신1교

탐사위치도

탐사결과



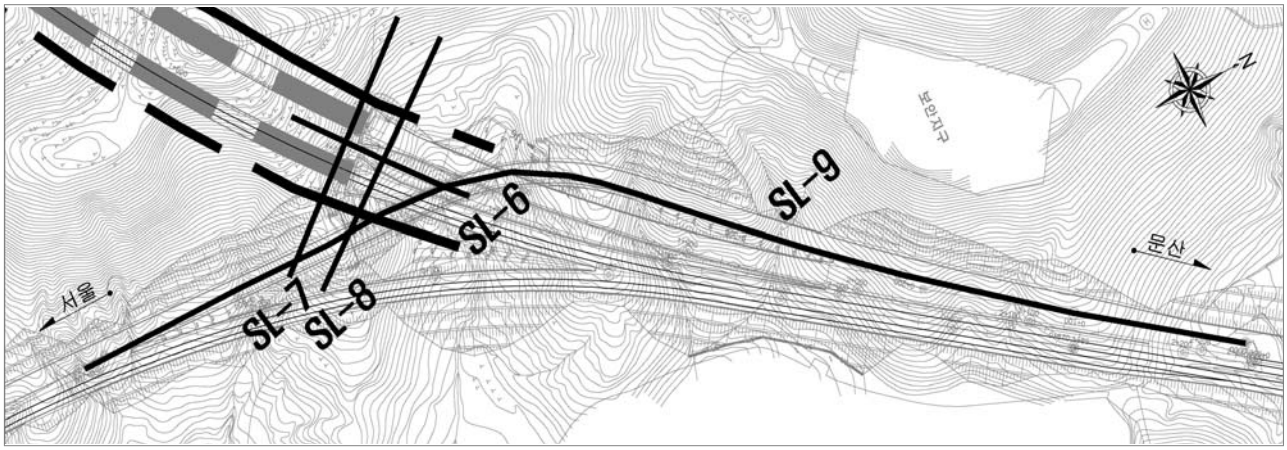
구 분		탄성파속도(m/s)	추정심도(m)	층 후(m)	평 균(m)
토 사		700 이하	0.0~15.8	7.5~15.8	12.2
리핑암(풍화암)		700~1,200	7.5~19.6	3.1~9.9	5.5
발파암	연 암	1,200~1,900	16.0 이상	–	–

분석결과

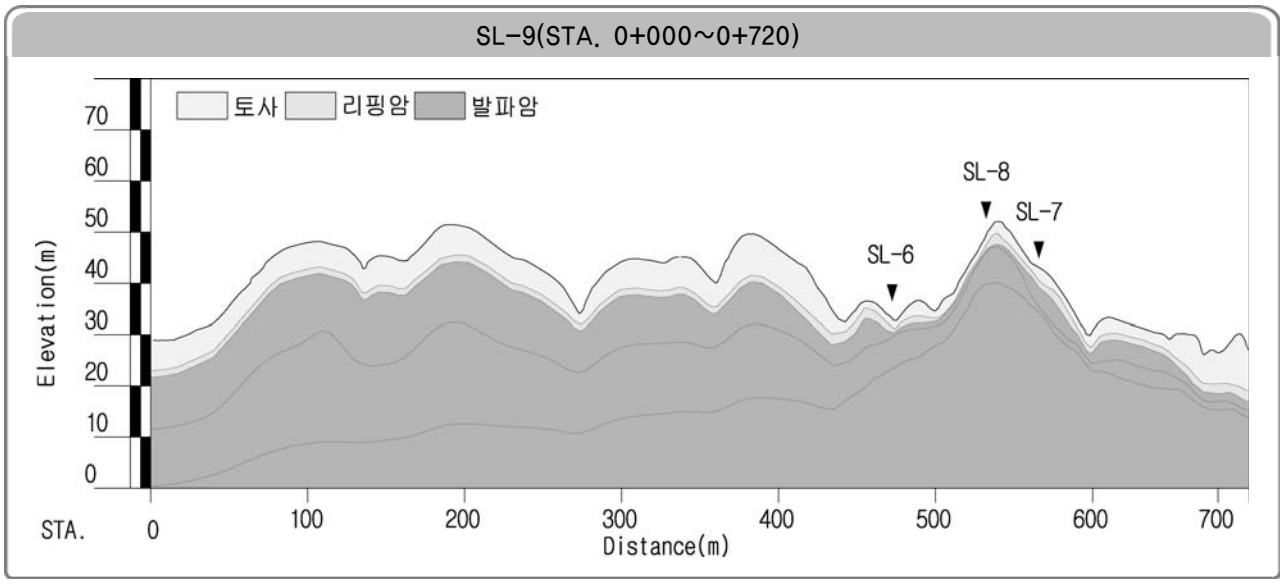
- 전반적으로 구릉지성 지형으로 각 층의 속도층은 지형과 평행하게 분포하는 경향을 보임
- 시추조사 결과와 대비하여 분석한 결과 토사 층후는 7.5~15.8m(평균 12.2m), 리핑암 3.1~9.9m(평균 5.5m), 발파암은 지표하 16.0m이상에서 나타날 것으로 예상됨

도내JCT RAMP-B

탐사위치도



종단 탐사결과(SL-9)



구 분		탄성파속도(m/s)	추정심도(m)	층 후(m)	평 균(m)
토 사		700 이하	0.0~10.3	1.3~10.3	5.8
리핑암(풍화암)		700~1,200	1.3~12.6	0.0~2.5	1.3
발파암	연 암	1,200~1,900	3.3이상	-	-
	보통암	1,900~2,900	-	-	-
	경 암	2,900 이상	-	-	-

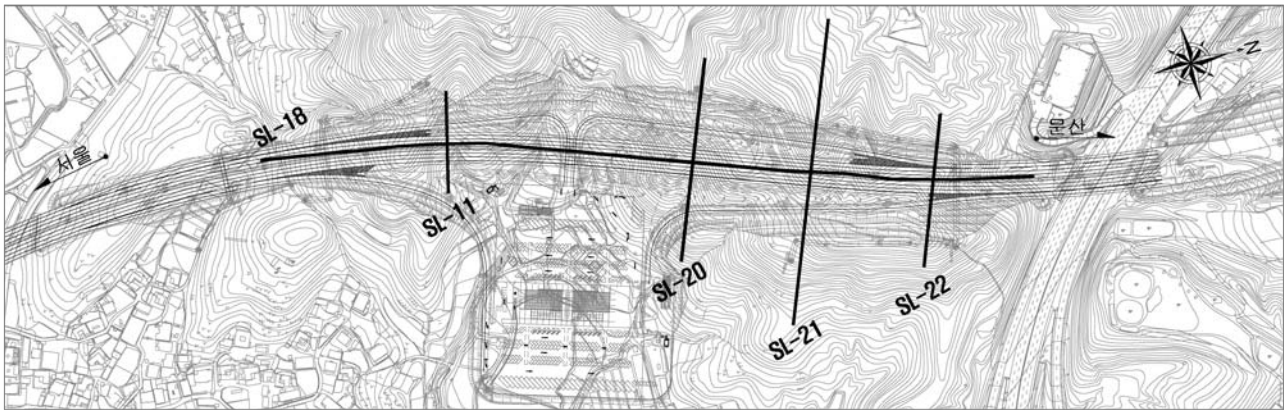
분석결과

- 전반적으로 토사, 풍화암, 연암의 순으로 지층이 분포하며, 강매터널 종점(SL-6~8) 부근 토사층의 층후는 비교적 얇게 분포하는 것으로 예상됨
- 토사를 포함하는 풍화토층(제 1 속도층)의 층후는 1.3~10.3m(평균 5.8m), 풍화암층(제 2 속도층)의 층후는 0.0~2.5m(평균 1.3m), 연암 이상의 기반암층(제 3 속도층)의 출현 심도는 지표하 3.3m이상에서 나타날 것으로 예상됨

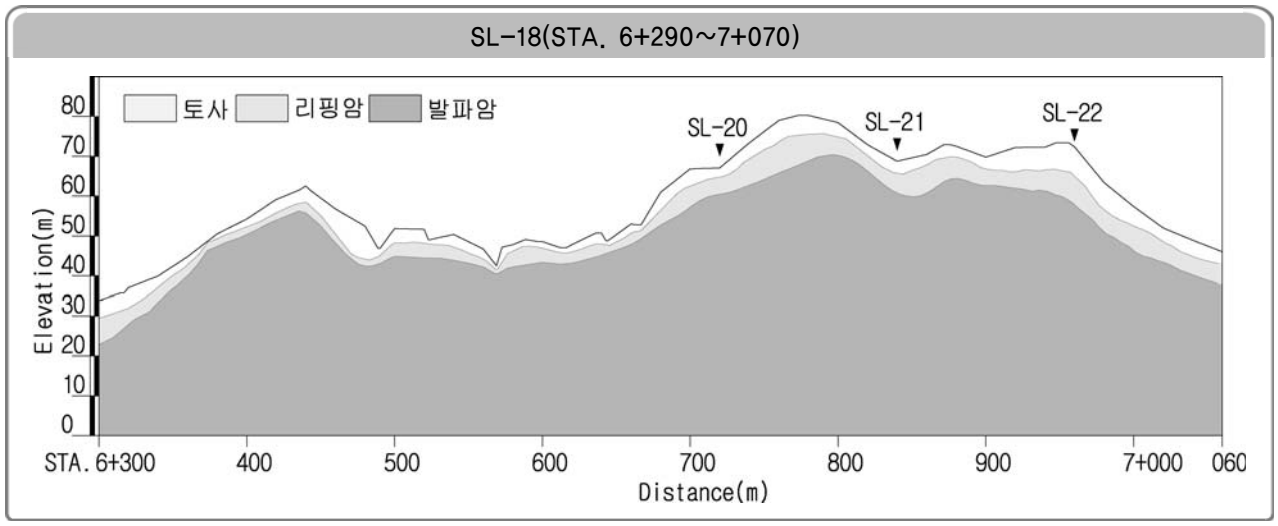
3.1.3 토공구간

○ 본선 깎기구간

▪ 탐사위치도



▪ 종단 탐사결과

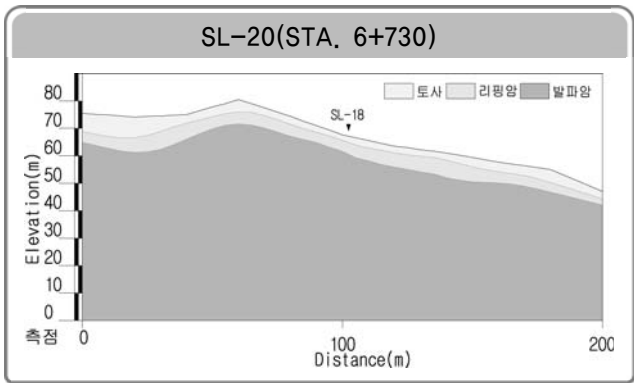


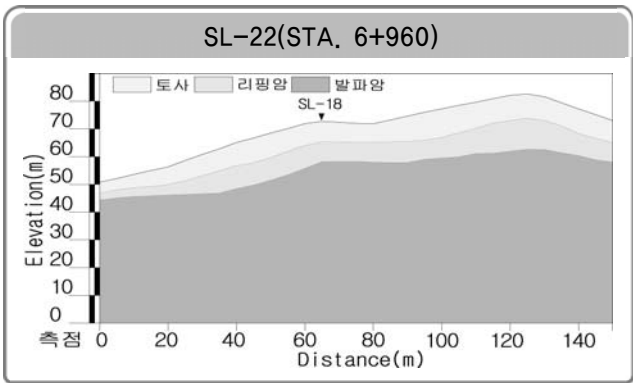
구 분		탄성파속도(m/s)	추정심도(m)	층 후(m)	평 균(m)
토 사		700 이하	0.4~9.0	0.4~9.0	3.6
리핑암(풍화암)		700~1,200	2.0~14.6	1.0~8.2	4.2
발파암	연 암	1,200~1,900	4.4~18.0	1.0~3.5	3.2
	보통암	1,900~2,900	5.6~19.7	0.9~2.3	1.7
	경 암	2,900 이상	5.6~19.7 이상	–	–

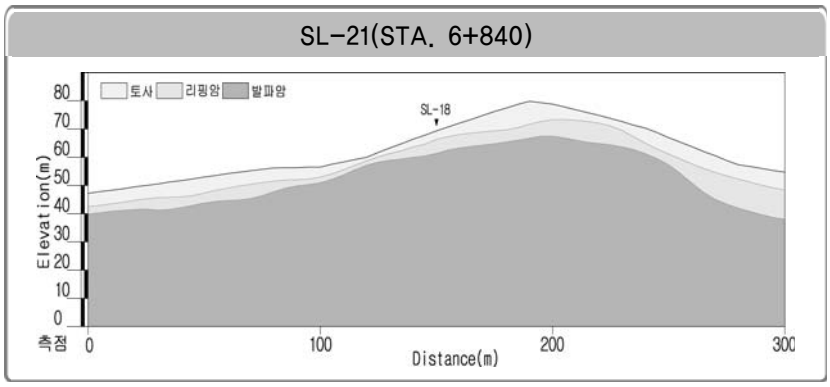
▪ 분석결과

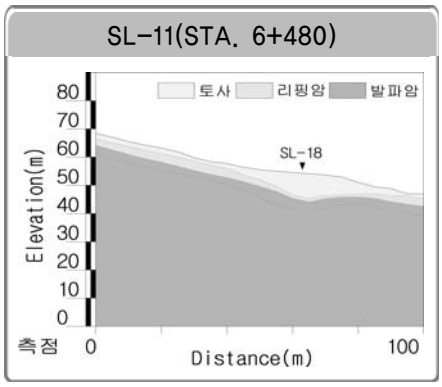
- 계곡부보다 일부 능선부의 저속도층이 두꺼우나, 전체적으로 각 지층의 속도층은 지형과 평행하게 분포하는 양상을 보임
- 토사를 포함하는 풍화토층(제 1 속도층)의 층후는 0.4~9.0m(평균 3.6m), 풍화암층(제 2 속도층)의 층후는 1.0~8.2m(평균 4.2m), 연암 이상의 기반암층(제 3 속도층)의 출현심도는 지표하 4.4m 이상에서 나타날 것으로 예상됨

■ 횡단 탐사결과(SL-11, 20, 21, 22)









구 분		탄성파속도(m/s)	추정심도(m)	층 후(m)	평 균(m)
STA. 6+480	토 사	700 이하	0.0~8.4	0.8~9.0	4.2
	리핑암(풍화암)	700~1,200	1.0~9.0	0.3~3.5	2.4
	연 암	1,200~1,900	4.5~10.0	3.7~6.5	2.2
	보통암	1,900~2,900	6.8 이상	–	–
STA. 6+730	토 사	700 이하	0.0~8.8	1.7~4.6	3.4
	리핑암(풍화암)	700~1,200	1.8~9.6	2.4~6.1	4.8
	연 암	1,200~1,900	4.2~15.0	3.7~6.5	4.5
	보통암	1,900~2,900	7.6 이상	–	3.0
STA. 6+840	토 사	700 이하	0.0~4.6	1.8~4.6	3.2
	리핑암(풍화암)	700~1,200	1.8~8.5	2.4~6.4	4.4
	연 암	1,200~1,900	4.2~14.9	3.4~6.6	4.8
	보통암	1,900~2,900	7.9~14.9	1.7~4.9	2.8
	경 암	2,900 이상	9.6 이상	–	–
STA. 6+960	토 사	700 이하	0.0~7.5	1.6~7.5	4.0
	리핑암(풍화암)	700~1,200	1.6~15.3	1.1~10.2	4.6
	연 암	1,200~1,900	3.6~17.8	1.4~8.6	4.0
	보통암	1,900~2,900	5.6~20.9	1.6~3.1	1.8
	경 암	2,900 이상	7.3 이상	–	–

■ 분석결과

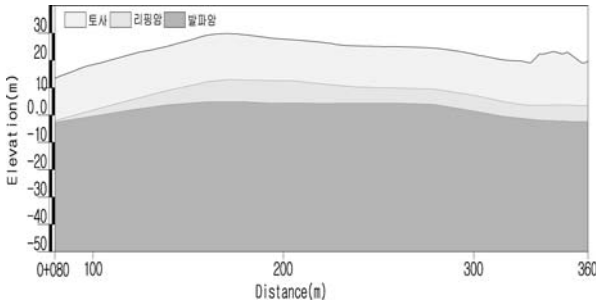
- 토사층(제1속도층) 평균 층후는 3.2~4.0m, 리핑암(제2속도층)은 4.4~4.8m, 발파암은 지표하 3.6~4.2m 이후에 출현
- 종단탐사와 비교하였을 때 전체적으로 속도층 분포는 같은 양상을 보이며 계곡부에 비해 능선부에서 저속도층이 두꺼운 것으로 확인됨

○ 행신IC Ramp구간

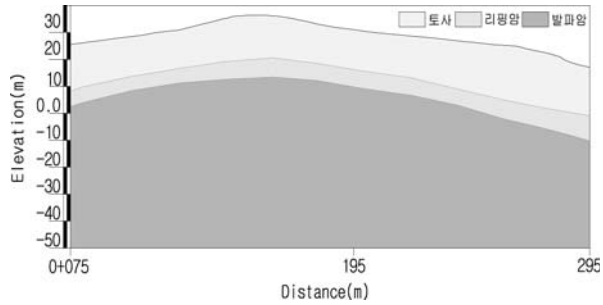
▮ 탐사위치도

▮ 탐사결과

SL-14(STA. 0+070~0+370,Ramp-A)



SL-15(STA. 0+075~0+295,Ramp-E)



구 분		탄성파속도 (m/s)	Ramp-A			Ramp-E		
			추정심도(m)	층 후(m)	평 균(m)	추정심도(m)	층 후(m)	평 균(m)
토 사		700 이하	14.8~19.5	14.8~19.5	16.0	14.2~20.9	14.2~20.9	16.5
리핑암(풍화암)		700~1,200	16.1~25.3	0.6~8.3	5.6	19.6~28.3	5.2~9.3	6.5
발파암	연 암	1,200~1,900	33.2~37.9	10.0~17.7	12.7	29.3~41.3	9.6~14.0	10.1
	보통암	1,900~2,900	40.0~44.7	6.8~6.9	6.8	37.8~50.3	8.1~11.0	8.7
	경 암	2,900 이상	40.0~44.7 이상	–	–	37.8~50.3 이상	–	–

▮ 분석결과

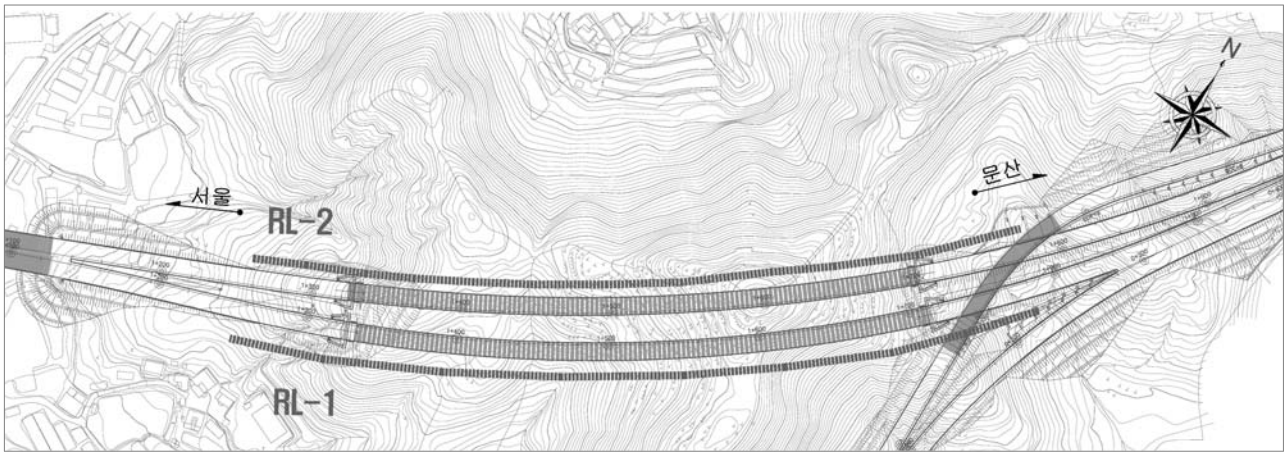
- 전반적으로 토사, 리핑암(풍화암), 발파암(연암, 보통암, 경암) 순으로 지층이 분포함
- Ramp-A구간의 토사를 포함하는 풍화토층(제1속도층)의 층후는 14.8~19.5m(평균 16.0m), 풍화암층(제2속도층)의 층후는 0.6~8.3m(평균 5.6m) 연암이상의 기반암층(제3속도층)의 출현심도는 33.2~37.9m이상일 것으로 예상됨
- Ramp-E구간의 토사를 포함하는 풍화토층(제1속도층)의 층후는 14.2~20.9m(평균 16.5m), 풍화암층(제2속도층)의 층후는 5.2~9.3m(평균 6.5m) 연암이상의 기반암층(제3속도층)의 출현심도는 29.3~41.3m이상일 것으로 예상됨

3.2 전기비저항탐사

3.2.1 터널구간

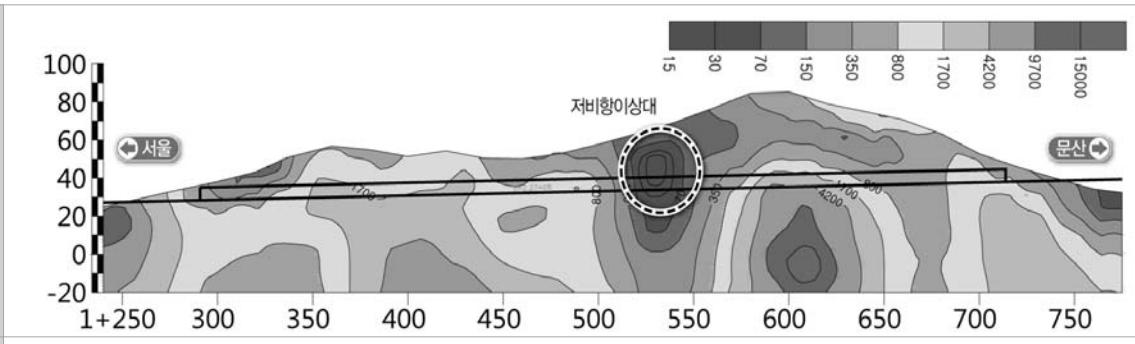
○ 강매터널

■ 탐사위치도

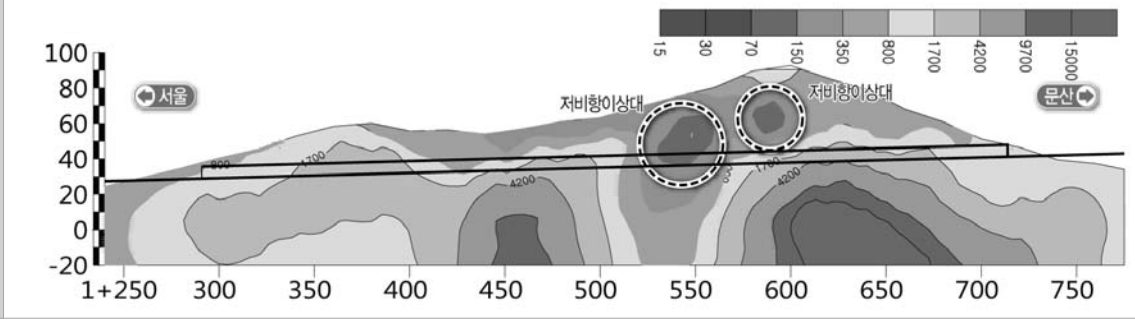


■ 탐사결과

RL-1 (STA. 1+220 ~ 1+760)



RL-2 (STA. 1+220 ~ 1+760)



■ 분석결과

- 강매터널 구간의 저비저항 이상대는 하행(RL-1) : 1개소, 상행(RL-2) : 2개소로 총 3개소가 분포하는 것으로 예상되며, 터널 계획고 하부~상부에 존재할 것으로 판단됨
- 터널 계획고의 전기비저항 값은 150Ω m~10,000Ω m 전기비저항대 분포
- 상행 STA. 1+520~1+620, 하행 STA. 1+510~1+570에서 350Ω m이하의 저비저항 이상대 분포
- 저비저항 이상대는 암질의 변화 또는 소규모 파쇄대의 영향인 것으로 판단됨
- 하행에 비해 상행의 전기비저항 값이 비교적 낮게 나타나며, 하행 STA. 1+620~1+680 비저항대는 고비저항대 내에 저비저항대가 혼재되어 있어 소규모 파쇄대의 영향인 것으로 예상됨

제 4 장 현장조사 및 시험

4.1 강도 및 변형특성 분석

4.1.1 공내재하시험

개 요

- 지층별 변형계수 및 탄성계수를 측정하여 기초 지지력, 침하검토 및 비탈면 및 터널의 안정 해석시 입력 자료로 활용
- 점성토 : LLT, 풍화암 및 연암 : Elastometer-II, 연암~경암 : Goodman Jack 시험기로 수행

○ 실시설계조사 자료

■ 터널구간

구 분	공 번	심 도(m)	지 층	RQD(%)/N값	변형계수(MPa)	탄성계수(MPa)	비고
강매 터널	BH-31	14.5	연 암	0	565	698	PMT
	BH-31	25.0	보통암	80	15,757	85,269	GMJ
	BH-32	15.0	연 암	0	602	735	PMT
	BH-32	22.0	연 암	34	5,193	19,029	GMJ
	BH-33	5.0	연 암	26	725	1,031	PMT
	BH-33	11.0	경 암	90	18,850	87,985	GMJ
	BH-35	8.0	경 암	93	20,353	83,344	GMJ

■ 교량구간

구 분	공 번	심 도(m)	지 층	RQD(%)/N값	변형계수(MPa)	탄성계수(MPa)	비고
북로CR-B교	BH-9	45.0	연 암	0	478	734	PMT
강매1교	BH-16	31.0	연 암	0	585	1,223	PMT
강매2교	BH-24	34.0	연 암	18	870	1,179	PMT
원흥1교	BH-74	21.0	풍화암	50/2	261	577	PMT
	BH-77	43.0	보통암	80	13,704	49,682	GMJ
원흥2교	BH-90	15.0	풍화암	50/4	385	489	PMT
성사3교	BH-93	18.0	연 암	25	574	1,161	PMT
현천IC R-A교	BH-334	24.3	연 암	15	563	1,220	PMT
	BH-356	18.5	연 암	33	3,145	5,941	PMT
	BH-338	23.0	풍화암	50/4	258	392	PMT
현천IC R-B교	BH-318-1	25.0	풍화암	50/6	268	743	PMT
	BH-318-1	27.5	연 암	16	6,201	22,514	GMJ

(계속)

구 분	공 번	심 도(m)	지 층	RQD(%)/N값	변형계수(MPa)	탄성계수(MPa)	비고
현천IC R-B교	BH-320	34.0	연 암	23	646	1,254	PMT
	BH-324	26.5	연 암	46	583	1,084	PMT
	BH-325	23.7	연 암	24	708	1,109	PMT
	BH-326	10.5	연 암	8	436	795	PMT
	BH-329	23.8	연 암	17	617	1,214	PMT
	BH-330	25.0	연 암	45	11,664	39,850	GMJ
창릉천교	BH-360-1	24.9	연 암	26	1,301	2,141	PMT
	BH-348	32.0	풍화암	50/6	271	386	PMT
	BH-350	33.5	연 암	10	729	1,415	PMT
	BH-362	9.0	풍화암	50/5	198	375	PMT

■ 깎기구간

공 번	심 도(m)	지 층	RQD(%)/N값	변형계수(MPa)	탄성계수(MPa)	비고
BH-37	10.0	연 암	17	623	995	PMT
BH-44	19.0	연 암	21	712	971	PMT

■ 쌓기구간

공 번	심 도(m)	지 층	RQD(%)/N값	변형계수(MPa)	탄성계수(MPa)	비고
BH-347	4.0	퇴적(점토)	4/30	3.14	-	LLT

◎ 결과분석

구분	변형계수(MPa)				
	퇴적층	풍화암	연 암	보통암	경 암
터널구간	-	-	565~5,193	15,757	18,850~20,353
교량구간	-	198~385	436~11,664	13,704	-
깎기구간	-	-	623~712	-	-
쌓기구간	3.14	-	-	-	-

분석결과

• 연암의 변형계수는 터널구간(565~5,193MPa), 교량구간(436~11,664MPa), 깎기구간(623~712MPa)로 구간별 위치 및 지층상태에 따라 편차가 크게 나타남

4.1.2 공내전단시험

개 요

• 풍화대층에 대한 비탈면의 안정성 해석을 위한 설계지반정수 자료로 활용
➜ 풍화대층의 원위치 상태의 점착력(C)과 내부마찰각(ø)측정

○ 실시설계조사 자료

▪ 터널구간

구 분	공 번	심 도(m)	지 층	N값	점착력(kPa)	내부마찰각(°)
강매터널	BH-31	5.0	풍화토	50/24	17.4	27.7

▪ 교량구간

• 1공구

구 분	공 번	심 도(m)	지 층	N값	점착력(kPa)	내부마찰각(°)
현천IC R-B교	BH-318-1	23.0	풍화토	50/11	19.4	28.9
현천교	BH-338	20.0	풍화토	50/14	18.2	29.3

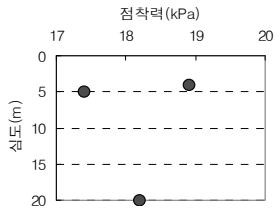
▪ 깎기구간

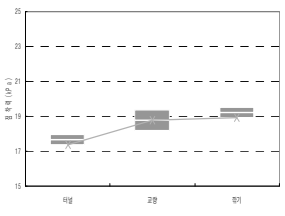
공 번	심 도(m)	지 층	N값	점착력(kPa)	내부마찰각(°)
BH-37	4.0	풍화토	50/14	18.9	27.8

○ 결과분석

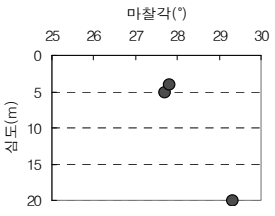
구분	점착력(kPa)		마찰각(°)	
	풍화토	풍화암	풍화토	풍화암
터널구간	17.4	–	27.7	–
교량구간	18.2~19.4	–	29.3~28.9	–
깎기구간	18.9	–	27.8	–

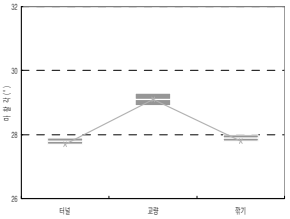
점착력





마찰각





분석결과

• 점착력(C)은 터널구간(17.4kPa) 교량구간(18.2~19.4kPa, 평균 18.8kPa), 깎기구간(18.9kPa)로 분포
• 마찰각(°)은 터널구간 (27.7 °) 교량구간 (28.9~29.3 ° , 평균 29.1 °), 깎기구간 (27.8 °)로 분포

4.1.3 SPT효율시험

개 요	• 표준관입시험시 롯드에 전달된 실제 타격에너지를 측정한 후 이를 이론적 타격에너지와 비교하여 에너지 전달율을 구함으로써 N값의 신뢰도 확보

○ 시험현황

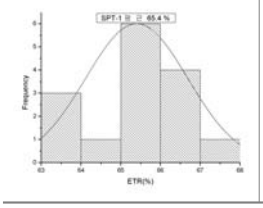
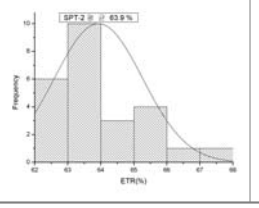
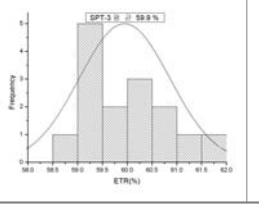
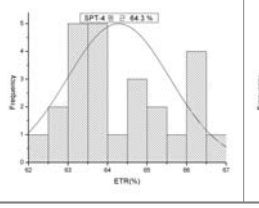
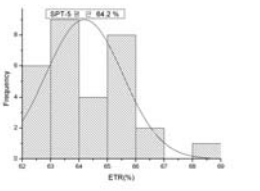
구 분	기존조사				실시설계			
	터널	교량	깎기	쌓기	터널	교량	깎기	쌓기
수량(회)	1	3	–	–	2	5	2	1

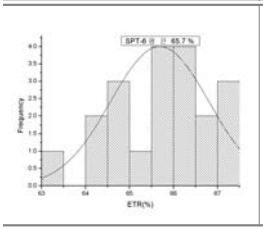
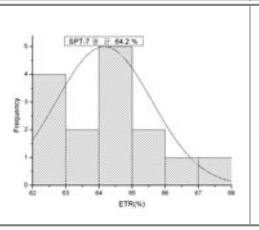
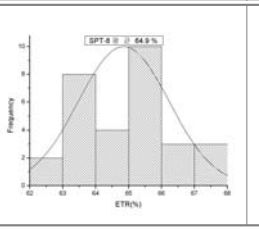
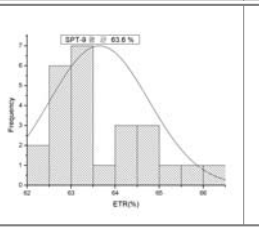
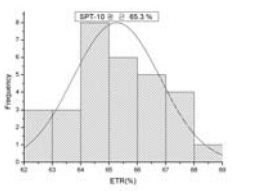
○ 기존조사 자료

공 번		BB-43	BB-51	BB-53	TTB-5
측정지층		풍화암	풍화토	풍화토	풍화토
ETR (%)	범위	49.1~61.5	48.1~58.3	53.0~65.5	50.6~56.2
	평균	54.1	53.2	60.1	52.6
적용해머		Donut Hammer	Donut Hammer	Auto Hamme	Donut Hammer

○ 실시설계조사 자료

공 번		SPT-1	SPT-2	SPT-3	SPT-4	SPT-5	SPT-6	SPT-7	SPT-8	SPT-9	SPT-10
측정지층		풍화토	풍화토	풍화암	풍화암	풍화암	풍화토	퇴적층	풍화토	퇴적층	풍화토
ETR (%)	범위	63.1~67.2	62.2~67.5	58.5~61.9	62.3~66.6	62.4~68.0	63.4~67.4	62.3~67.2	62.5~67.6	62.4~66.3	62.8~68.1
	평균	65.4	63.9	59.9	64.3	64.2	65.7	64.2	64.9	63.6	65.3
적용해머		Auto Hammer									

SPT-1	SPT-2	SPT-3	SPT-4	SPT-5
				

SPT-6	SPT-7	SPT-8	SPT-9	SPT-10
				

분석결과	• 기존 조사시 평균ETR 52.6~60.1%(평균 55.0%)로 나타남 • 금회 조사시 평균ETR 59.9~65.7%(평균 64.1%)로 나타남

4.2 수리 및 투수특성 분석

4.2.1 지하수위 분포

개 요

• 사업구간내 시추공에 대한 지하수위내 수압 및 유효 상재하중을 측정하여 안정된 지하수위 분포 현황을 파악

○ 기존조사 자료

구 분		터널구간	교량구간	깎기구간	쌓기구간
지하수위	GL. -m	1.7~16.3	0.4~9.5	1.3~17.3	3.9
	EL. m	39.2~95.6	2.1~53.5	19.8~60.3	2.7~4.3

○ 실시설계조사 자료

▪ 터널구간

구 분	지 하 수 위		구 분	지 하 수 위		구 분	지 하 수 위	
	GL. -m	EL. m		GL. -m	EL. m		GL. -m	EL. m
BH-29	18.6	32.9	BH-32	12.3	38.5	BH-35	1.0	42.5
BH-30	10.3	29.2	BH-33	3.2	58.1	-	-	-
BH-31	6.7	44.8	BH-34	5.2	43.0	-	-	-

▪ 교량구간

구 분	지 하 수 위		구 분	지 하 수 위		구 분	지 하 수 위	
	GL. -m	EL. m		GL. -m	EL. m		GL. -m	EL. m
BH-1	2.6	-0.4	BH-14	7.8	3.0	BH-42	1.9	15.5
BH-2	4.5	1.6	BH-15	7.1	3.0	BH-43	심도이하	-
BH-3	4.6	2.1	BH-16	7.0	3.1	BH-45	7.6	7.4
BH-4	7.8	4.7	BH-17	7.6	1.8	BH-49	1.2	8.8
BH-5	4.9	2.7	BH-20	6.8	3.3	BH-53	8.2	6.3
BH-6	5.9	1.5	BH-21	6.3	3.0	BH-54	2.0	12.5
BH-7	7.5	1.9	BH-24	7.9	2.9	BH-55	4.0	15.5
BH-8	6.3	6.2	BH-25	6.8	3.4	BH-56	4.0	13.5
BH-9	8.1	-0.6	BH-26	4.8	3.0	BH-57	4.8	11.0
BH-10	3.6	4.9	BH-27	2.3	5.6	BH-58	5.0	13.5
BH-11	5.5	4.2	BH-28	5.3	4.7	BH-58-1	7.0	23.0
BH-13	7.7	3.1	BH-41	4.0	16.5	BH-59	5.2	6.8

(계속)

구 분	지 하 수 위		구 분	지 하 수 위		구 분	지 하 수 위	
	GL. -m	EL. m		GL. -m	EL. m		GL. -m	EL. m
BH-60	4.5	9.3	BH-94-1	1.8	15.8	BH-333	3.7	3.8
BH-67	11.2	24.8	BH-95	3.5	17.3	BH-334	3.9	3.6
BH-68-2	3.0	10.8	BH-99	7.0	40.5	BH-335	4.5	2.7
BH-69	2.3	10.5	BH-104	7.3	35.9	BH-336	3.8	3.5
BH-70	6.8	7.0	BH-105	4.5	33.0	BH-338	4.5	2.3
BH-70-1	1.7	12.0	BH-316	8.1	1.9	BH-339	5.7	3.3
BH-70-2	2.5	11.2	BH-317	7.9	2.1	BH-339-1	5.4	4.6
BH-72	6.3	25.1	BH-317-1	3.5	4.6	BH-345-1	6.4	2.7
BH-74	7.0	11.0	BH-317-2	4.2	3.8	BH-345-3	3.3	5.2
BH-74-1	6.2	10.3	BH-317-3	4.5	3.6	BH-346	3.8	4.3
BH-75	3.8	10.7	BH-318-1	4.5	3.7	BH-348	4.7	3.4
BH-76	3.0	11.2	BH-319	3.4	3.9	BH-349	4.6	3.8
BH-77	3.8	9.7	BH-320	2.8	2.2	BH-350	8.2	0.3
BH-78	3.0	11.2	BH-321	수상	-	BH-355	7.6	5.5
BH-79	3.2	12.8	BH-322	수상	-	BH-356	1.8	3.5
BH-86-1	2.5	14.0	BH-323	수상	-	BH-357	2.4	2.6
BH-87	4.2	13.7	BH-324	2.9	1.1	BH-358	1.4	4.1
BH-89	3.9	13.3	BH-325	0.8	3.5	BH-359	2.6	2.6
BH-90	4.8	13.0	BH-326	3.6	3.7	BH-360	6.8	0.5
BH-92	2.5	13.4	BH-327	5.0	3.0	BH-360-1	4.7	2.6
BH-92-1	2.0	13.5	BH-328	8.7	1.1	BH-361	7.5	3.0
BH-92-2	2.8	13.1	BH-329	4.0	4.1	BH-361-1	심도이하	-
BH-93	2.6	14.2	BH-330	4.5	2.5	BH-361-2	7.2	3.2
BH-93-1	2.8	14.0	BH-331	7.0	2.0	BH-361-3	심도이하	-
BH-94	3.6	14.0	BH-332	4.0	4.8	BH-362	심도이하	-

■ 깎기구간

구 분	지 하 수 위		구 분	지 하 수 위		구 분	지 하 수 위	
	GL. -m	EL. m		GL. -m	EL. m		GL. -m	EL. m
BH-37	7.6	54.5	BH-51-1	8.8	25.3	BH-57-1	8.8	28.6
BH-98	6.9	39.6	BH-345	4.6	20.0	-	-	-

■ 쌓기구간

구 분	지 하 수 위		구 분	지 하 수 위		구 분	지 하 수 위	
	GL. -m	EL. m		GL. -m	EL. m		GL. -m	EL. m
BH-36	1.5	24.7	BH-68-1	1.7	15.6	BH-99-1	2.0	30.1
BH-44	심도이하	-	BH-71	3.0	24.4	BH-344	2.8	5.9
BH-49-1	3.2	5.5	BH-74-2	4.2	10.0	BH-344-1	4.3	4.8
BH-49-2	2.7	6.9	BH-84	7.0	18.1	BH-345-4	2.3	6.8
BH-51	3.2	9.0	BH-85	4.5	25.7	BH-346-1	6.5	1.6
BH-52	0.7	8.9	BH-86	5.0	13.2	BH-347	5.3	1.3
BH-52-1	2.0	10.0	BH-91	3.8	11.4	BH-363	심도이하	-
BH-52-2	1.8	12.3	BH-97	2.3	27.1	-	-	-

○ 결과분석

구분	지하수위	
	GL. -m	EL. m
터널구간	1.0~18.6	29.2~58.1
교량구간	0.8~11.2	-0.6~40.5
깎기구간	4.6~8.8	20.0~54.5
쌓기구간	0.7~7.0	1.3~30.1

분석결과

- 지하수위 측정결과 터널구간 GL.(-) 1.0~18.6m, 교량구간 GL.(-) 0.8~11.2m, 깎기구간 : GL.(-) 4.6~8.8m, 쌓기구간 : GL.(-) 0.7~7.0m범위로 분포
- 구조물 및 위치에 따라 편차가 나타남

4.2.2 투수시험

개 요	• 지반의 투수성을 평가하여 교량기초 터파기시 유입량 계산 및 배수대책 수립 • 비탈면에서 강우에 의한 침투심도를 계산하여 강우강도를 고려한 비탈면 안정성 검토

시험현황

구분	터널	교량	깎기	쌓기
수량(회)	–	62	4	10

기존조사 자료

교량구간

공 번	심 도(m)	지 층	N값	투수계수(cm/sec)	비고
BB-11	2.0~3.0	퇴적층(CL)	10/30	$6.78X10^{-5}$	

실시설계조사 자료

교량구간

구 분	심 도 (m)	지 층	N값	투수계수 (cm/sec)	구 분	심 도 (m)	지 층	N값	투수계수 (cm/sec)
BH-2	5.0~6.0	퇴적층(SM)	7/30	$2.57X10^{-4}$	BH-58-1	9.0~10.0	풍화토	29/30	$3.21X10^{-4}$
BH-4	12.0~13.0	퇴적층(SM)	9/30	$1.97X10^{-4}$	BH-59	2.0~3.0	풍화토	15/30	$7.80X10^{-4}$
BH-6	11.0~12.0	퇴적층(SM)	6/30	$8.78X10^{-4}$	BH-60	3.0~4.0	매립층(SM)	2/30	$2.37X10^{-3}$
BH-8	10.0~11.0	퇴적층(SM)	13/30	$7.66X10^{-4}$	BH-68-2	5.0~6.0	풍화토	13/30	$5.15X10^{-4}$
BH-10	16.0~17.0	퇴적층(GP)	30/30	$5.88X10^{-3}$	BH-70	4.0~5.0	매립층(SM)	4/30	$1.79X10^{-3}$
BH-14	26.0~27.0	풍화토	31/30	$1.69X10^{-4}$	BH-70-1	5.0~6.0	퇴적층(CL)	4/30	$4.56X10^{-4}$
BH-16	5.0~6.0	퇴적층(CL)	9/30	$9.44X10^{-5}$	BH-70-2	8.0~9.0	풍화토	15/30	$3.21X10^{-4}$
BH-20	25.0~26.0	풍화토	50/16	$3.15X10^{-4}$	BH-72	3.0~4.0	풍화토	35/30	$5.63X10^{-4}$
BH-24	13.0~14.0	퇴적층(SP)	11/30	$6.98X10^{-4}$	BH-74	4.0~5.0	풍화토	29/30	$3.31X10^{-4}$
BH-26	12.0~13.0	퇴적층(SM)	27/30	$5.34X10^{-4}$	BH-74-1	4.0~5.0	매립층(SC)	7/30	$9.70X10^{-4}$
BH-27	7.0~8.0	풍화토	13/30	$1.78X10^{-4}$	BH-75	4.0~5.0	퇴적층(CL)	5/30	$6.24X10^{-5}$
BH-41	1.0~2.0	풍화토	23/30	$5.20X10^{-4}$	BH-76	15.0~16.0	풍화토	28/30	$1.98X10^{-4}$
BH-49	2.0~3.0	퇴적층(CL)	3/30	$6.81X10^{-5}$	BH-78	4.0~5.0	퇴적층(CL)	9/30	$3.48X10^{-5}$
BH-53	3.0~4.0	풍화토	12/30	$8.82X10^{-5}$	BH-79	5.0~6.0	풍화토	7/30	$2.79X10^{-4}$
BH-54	3.0~4.0	퇴적층(SC)	6/30	$2.04X10^{-4}$	BH-86-1	3.0~4.0	퇴적층(SM)	3/30	$1.24X10^{-3}$
BH-56	5.0~6.0	풍화토	10/30	$6.41X10^{-5}$	BH-90	3.0~4.0	풍화토	43/30	$3.56X10^{-4}$
BH-57	4.0~5.0	풍화토	35/30	$6.00X10^{-5}$	BH-94	4.0~5.0	풍화토	5/30	$6.70X10^{-4}$
BH-58	5.0~6.0	풍화토	22/30	$2.49X10^{-4}$	BH-95	4.0~5.0	풍화토	14/30	$4.51X10^{-4}$

(계속)

구 분	심 도 (m)	지 층	N값	투수계수 (cm/sec)	구 분	심 도 (m)	지 층	N값	투수계수 (cm/sec)
BH-99	3.0~4.0	풍화토	30/30	$5.61X10^{-4}$	BH-339-1	6.0~7.0	매립층(SM)	10/30	$2.86X10^{-3}$
BH-104	5.0~6.0	매립층(SM)	7/30	$1.86X10^{-3}$	BH-345-3	0.6~1.5	매립층(SM)	5/30	$3.50X10^{-3}$
BH-105	5.0~6.0	풍화토	50/24	$3.81X10^{-4}$	BH-348	8.0~9.0	퇴적층(ML)	9/30	$7.32X10^{-5}$
BH-317-1	10.0~11.0	퇴적층(SM)	6/30	$7.08X10^{-4}$	BH-349	12.0~13.0	퇴적층(SP)	13/30	$8.29X10^{-4}$
BH-319	14.0~15.0	퇴적층(SP)	15/30	$8.33X10^{-4}$	BH-356	8.0~9.0	퇴적층(SM)	11/30	$5.04X10^{-4}$
BH-325	3.0~4.0	퇴적층(SP)	4/30	$1.90X10^{-3}$	BH-358	8.0~9.0	퇴적층(ML)	10/30	$8.50X10^{-5}$
BH-326	4.0~5.0	퇴적층(SP)	5/30	$1.09X10^{-3}$	BH-359	11.0~12.0	퇴적층(SP)	35/30	$3.69X10^{-3}$
BH-329	4.0~5.0	퇴적층(SC)	7/30	$6.03X10^{-4}$	BH-355	14.0~15.0	퇴적층(SM)	8/30	$1.45X10^{-3}$
BH-331	17.0~18.0	퇴적층(GM)	50/10	$2.63X10^{-3}$	BH-360-1	10.0~11.0	퇴적층(SP)	14/30	$2.07X10^{-3}$
BH-332	6.0~7.0	퇴적층(SC)	8/30	$7.61X10^{-4}$	BH-361	10.0~11.0	퇴적층(ML)	6/30	$6.98X10^{-5}$
BH-333	17.0~18.0	퇴적층(GM)	50/18	$3.32X10^{-3}$	BH-361-2	9.0~10.0	풍화토	38/30	$2.28X10^{-4}$
BH-334	6.0~7.0	퇴적층(SP)	5/30	$1.21X10^{-3}$	BH-361-3	6.0~7.0	풍화토	28/30	$1.31X10^{-4}$
BH-336	4.0~5.0	퇴적층(SC)	7/30	$6.47X10^{-5}$	BH-362	4.0~5.0	풍화토	34/30	$2.02X10^{-4}$
BH-339	11.0~12.0	풍화토	24/30	$5.91X10^{-4}$	–	–	–	–	–

■ 깎기구간

구 분	심 도 (m)	지 층	N값	투수계수 (cm/sec)	구 분	심 도 (m)	지 층	N값	투수계수 (cm/sec)
BH-37	3.0~4.0	풍화토	42/30	$1.19X10^{-4}$	BH-67	12.0~13.0	풍화토	27/30	$4.27X10^{-4}$
BH-51-1	2.0~3.0	풍화토	13/30	$1.11X10^{-4}$	BH-345	9.0~10.0	풍화토	50/15	$1.76X10^{-4}$

■ 쌓기구간

구 분	심 도 (m)	지 층	N값	투수계수 (cm/sec)	구 분	심 도 (m)	지 층	N값	투수계수 (cm/sec)
BH-44	10.0~11.0	풍화토	50/25	$4.26X10^{-4}$	BH-52-2	3.0~4.0	풍화토	15/30	$7.51X10^{-4}$
BH-49-1	0.5~1.5	매립층(SM)	6/30	$4.43X10^{-3}$	BH-68-1	3.0~4.0	풍화토	24/30	$2.90X10^{-3}$
BH-49-2	1.5~2.5	퇴적층(SM)	4/30	$8.88X10^{-4}$	BH-86	4.0~5.0	풍화토	9/30	$1.07X10^{-4}$
BH-52	7.0~8.0	퇴적층(SC)	8/30	$9.35X10^{-5}$	BH-344-1	2.0~3.0	매립층(SM)	11/30	$4.04X10^{-3}$
BH-52-1	4.0~5.0	풍화토	8/30	$6.14X10^{-4}$	BH-347	15.0~16.0	퇴적층(SM)	50/5	$6.46X10^{-4}$

○ 결과분석

구분	매립층	퇴적층			풍화토
		점토	모래	자갈	
교량구간	$2.22X10^{-3}$	$8.06X10^{-5}$	$9.76X10^{-4}$	$3.94X10^{-3}$	$3.41X10^{-4}$
깎기구간	–	–	–	–	$2.08X10^{-4}$
쌓기구간	$4.03X10^{-3}$	–	$5.43X10^{-3}$	–	$9.59X10^{-4}$

4.2.3 수압시험

개 요

- 터널구간 및 비탈면 구간내에 분포하는 기반암의 투수특성 및 암질상태 파악
- 수리지질학적 특성을 규명하여 시공을 위한 굴착시 지하수의 유출량파악 및 지하수 처리결정

○ 실시설계조사 자료

▮ 터널구간

구 분	공 번	심 도(m)	지층	RQD(%)	K(cm/sec)	루젼값	Flow Type
강매터널	BH-29	18.0 ~ 23.0	연 암	40~58	$1.74X10^{-5}$	1.513	Dilation
	BH-29	23.0 ~ 28.0	연 암	34~38	$1.50X10^{-5}$	1.178	Dilation
	BH-30	10.0 ~ 15.0	연 암	17~53	$2.10X10^{-5}$	1.638	Dilation
	BH-30	15.0 ~ 20.0	연 암	12~44	$4.03X10^{-5}$	3.151	Dilation
	BH-31	19.0 ~ 22.0	보통암	51	$2.60X10^{-5}$	2.232	Laminar Flow
	BH-31	25.0 ~ 30.0	보통암	77~80	$1.65X10^{-5}$	1.158	Dilation
	BH-32	14.5 ~ 19.5	연 암	0~6	$4.88X10^{-5}$	3.778	Laminar Flow
	BH-32	20.0 ~ 25.0	연 암	23~34	$2.24X10^{-5}$	1.769	Dilation
	BH-33	7.5 ~ 12.5	경 암	78~90	$5.75X10^{-6}$	0.377	Dilation
	BH-33	20.0 ~ 25.0	경 암	86~100	$4.64X10^{-6}$	0.389	Dilation
	BH-34	4.5 ~ 9.5	보통암	57~60	$7.18X10^{-6}$	0.566	Dilation
	BH-34	10.0 ~ 15.0	경 암	77~97	$4.11X10^{-6}$	0.310	Dilation
	BH-35	5.0 ~ 10.0	경 암	70~93	$4.50X10^{-6}$	0.371	Dilation
	BH-35	10.0 ~ 13.0	경 암	82~90	$5.41X10^{-6}$	0.482	Dilation

▮ 교량구간

구 분	공 번	심 도(m)	지층	RQD(%)	K(cm/sec)	루젼값	Flow Type
현천R-B	BH-329	22.8~25.8	연 암	10	$8.07X10^{-6}$	7.016	Laminar Flow
현천교	BH-334	22.8~25.8	연 암	7	$8.91X10^{-6}$	7.974	Dilation
	BH-336	25.6~28.6	연 암	10	$1.19X10^{-4}$	9.593	Wash-Out
창릉천교	BH-348	39.0 ~ 42.0	보통암	45	$5.77X10^{-6}$	0.498	Dilation
	BH-362	9.7 ~ 12.7	연 암	24	$6.82X10^{-5}$	5.850	Laminar Flow

▮ 깎기구간

공 번	심 도(m)	지층	RQD(%)	K(cm/sec)	루젼값	Flow Type
BH-37	17.0~22.0	보통암	49~80	$2.37X10^{-5}$	2.100	Dilation
BH-98	10.0~13.0	경 암	97	$6.54X10^{-6}$	0.577	Dilation
BH-99	10.0~15.9	연암~보통암	13~53	$1.07X10^{-4}$	5.822	Void Filling

○ 결과분석

구분	평균 투수계수(cm/sec)			평균 Lugeon		
	연 암	보통암	경 암	연 암	보통암	경 암
터널구간	$2.75X10^{-5}$	$1.66X10^{-5}$	$4.88X10^{-6}$	2.171	1.391	0.386
교량구간	$6.82X10^{-5}$	$5.77X10^{-6}$	–	7.608	0.498	–
깎기구간	$1.07X10^{-4}$	$2.37X10^{-5}$	$6.54X10^{-6}$	5.822	2.100	0.577

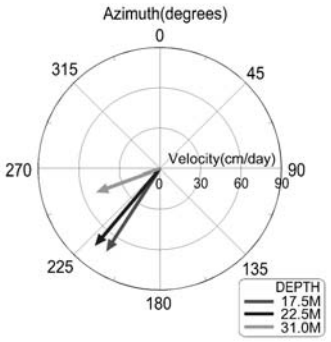
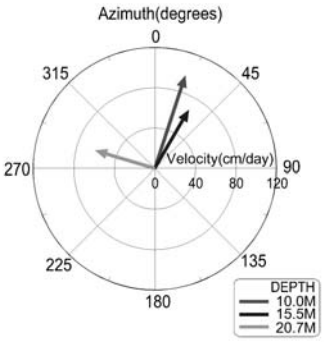
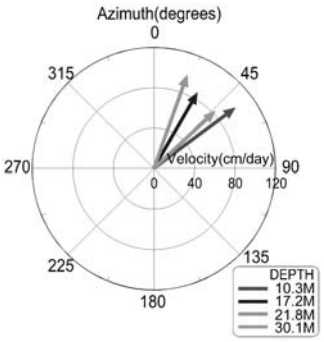
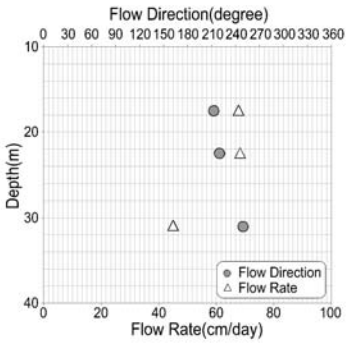
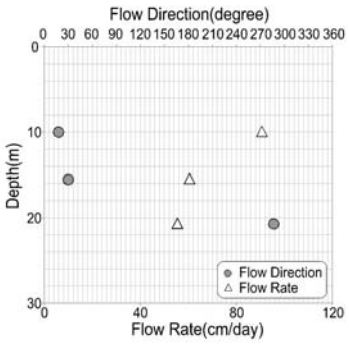
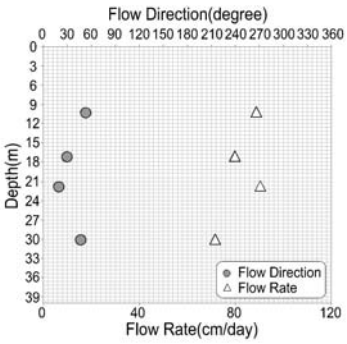
4.2.4 지하수 유향유속시험

개 요

- 터널구간 불연속면 분포구간에 대한 지하수 유동속도 및 방향성 측정
- 터널의 전체적인 지하수 흐름 경향 파악 및 설계시공의 기초자료로 활용

○ 실시설계조사 시험결과

구 분		공 번	측정심도(m)	유향(MN)	유속(cm/day)	주흐름방향
1공구	강매터널	BH-31	17.5	212.9	67.74	SSW~SWW
			22.5	220.0	68.34	
			31.0	249.7	44.96	
3공구	문봉터널	BH-179	10.0	018.1	90.72	NWW~NNE
			15.5	030.0	60.48	
			20.7	286.8	55.54	
4공구	금촌터널	BH-240	10.3	053.2	88.84	NNE~NEE
			17.2	029.8	79.78	
			21.8	019.6	90.43	
			30.1	046.9	71.57	

구 분	BH-31	BH-179	BH-240
심도별 Diagram 분석결과			
주 흐름방향			

분석결과

- BH-31 유향은 212.9° ~249.7° (SSW~SWW방향)이며 44.96~68.34cm/day의 유속을 보임
- BH-179 유향은 286.8° ~30.0° (NWW~NNE방향)이며 55.54~90.72cm/day의 유속을 보임
- BH-240 유향은 19.6° ~53.2° (NNE~NEE방향)이며 71.57~90.43cm/day의 유속을 보임

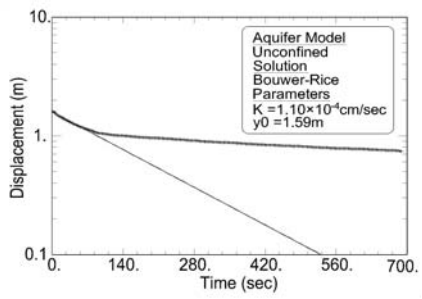
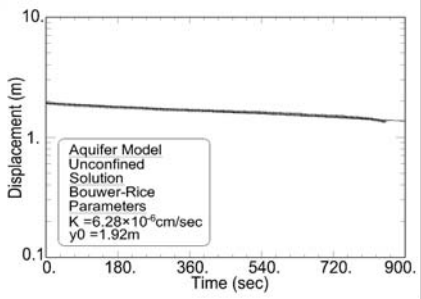
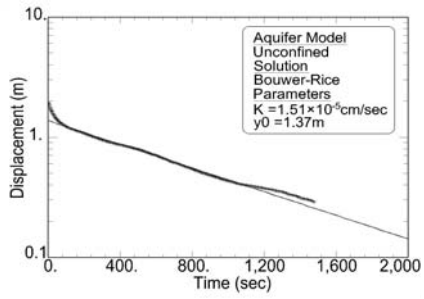
4.2.5 순간충격시험

개 요

- 순간적으로 물을 주입후 상승한 수위가 원래의 안정수위로 회복하는 수위변화를 측정
- 투수량 계수(T)와 투수계수(K)를 구하여 수리 해석시 입력 물성치로 활용

○ 실시설계조사 시험결과

구 분		공번	심도 (m)	초기수위 (m)	대수층 두께 (m)	수리상수		
						분석방법	K(cm/sec)	T(cm^2/sec)
1공구	강매 터널	BH-31	34.0	17.15	16.85	Bouwer-Rice	1.10×10^{-4}	0.186
						Hvorslev	1.59×10^{-4}	0.268
						평균	1.35×10^{-4}	0.227
		BH-34	15.0	3.50	11.50	Bouwer-Rice	3.73×10^{-4}	0.429
						Hvorslev	5.21×10^{-4}	0.599
						평균	4.47×10^{-4}	0.514
3공구	문봉 터널	BH-179	30.5	7.45	23.05	Bouwer-Rice	6.28×10^{-6}	0.014
						Hvorslev	8.32×10^{-6}	0.019
						평균	7.30×10^{-6}	0.017
		BH-180	20.1	8.76	11.34	Bouwer-Rice	6.26×10^{-6}	0.007
						Hvorslev	8.68×10^{-6}	0.010
						평균	7.47×10^{-6}	0.008
4공구	금촌 터널	BH-240	33.0	3.20	29.80	Bouwer-Rice	1.51×10^{-5}	0.045
						Hvorslev	2.05×10^{-5}	0.061
						평균	1.78×10^{-5}	0.053
		BH-242	29.0	2.15	26.85	Bouwer-Rice	3.52×10^{-4}	0.898
						Hvorslev	4.65×10^{-4}	1.186
						평균	4.09×10^{-4}	1.042

BH-31	BH-179	BH-240
Bouwer-Rice법	Bouwer-Rice법	Hvorslev법
		

분석결과

- 시험결과 투수계수(K)는 $7.30X10^{-6}$ ~ $4.47X10^{-4}$cm/sec의 범위를 보이며 투수량 계수(T)는 0.008~1.042cm^2/sec의 범위를 나타냄

4.2.6 양수시험

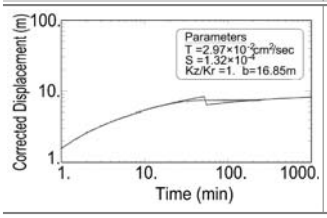
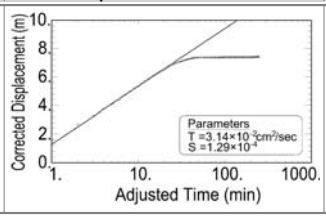
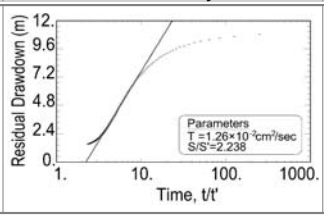
개 요

- 시공시 지하수 유동체계 변화 검토
- 양수시험과 수위회복시험을 하여 대수층의 수리상수인 수리전도도(K)와 저류계수(S) 산정

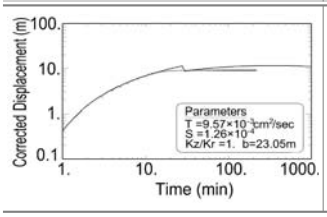
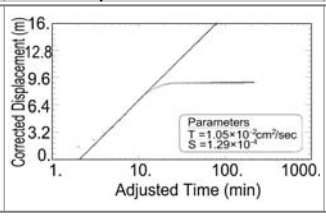
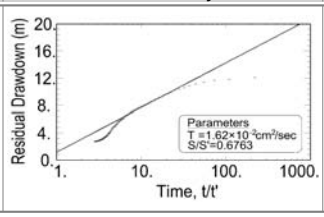
○ 실시설계조사 시험결과

구 분		공번	심도 (m)	초기수위 (m)	대수층 두께 (m)	양수량 (m^3/day)	수리상수(K) 분석방법	K(cm/sec)	T(cm^2/sec)	S
1공구	강매 터널	BH-31	34.0	17.15	16.85	6	Theis	1.77×10^{-5}	2.97×10^{-2}	1.32×10^{-4}
							Cooper & Jacob	1.86×10^{-5}	3.14×10^{-2}	1.29×10^{-4}
							Recovery	7.50×10^{-6}	1.26×10^{-2}	–
							평 균	1.46×10^{-5}	2.46×10^{-2}	1.31×10^{-4}
3공구	문봉 터널	BH-179	30.5	7.45	23.05	5	Theis	4.15×10^{-6}	9.57×10^{-3}	1.26×10^{-4}
							Cooper & Jacob	4.56×10^{-6}	1.05×10^{-2}	1.29×10^{-4}
							Recovery	7.02×10^{-6}	1.62×10^{-2}	–
							평 균	5.24×10^{-6}	1.21×10^{-2}	1.28×10^{-4}
4공구	금촌 터널	BH-239	60.5	26.02	34.48	5	Theis	2.43×10^{-6}	8.38×10^{-3}	1.25×10^{-4}
							Cooper & Jacob	2.96×10^{-6}	1.02×10^{-3}	1.25×10^{-4}
							Recovery	3.94×10^{-6}	1.36×10^{-3}	–
							평 균	3.11×10^{-6}	1.07×10^{-3}	1.25×10^{-4}

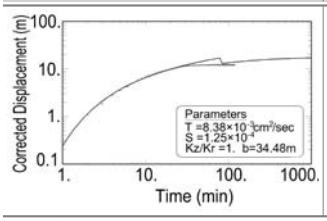
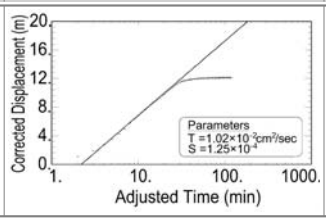
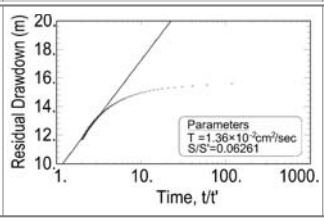
BH-31

Theis법	Cooper & Jacob법	Recovery	분석결과
			• 투수계수(K)는 0.75~1.86X10^{-5}cm/sec (평균1.46x10^{-6}cm/sec) • 저류계수(S)는 평균 1.31x10^{-4}을 나타냄

BH-179

Theis법	Cooper & Jacob법	Recovery	분석결과
			• 투수계수(K)는 4.15~7.02X10^{-6}cm/sec (평균5.24x10^{-6}cm/sec) • 저류계수(S)는 평균 1.28x10^{-4}

BH-239

Theis법	Cooper& Jacob	Theis Recovery	분석결과
			• 투수계수(K)는 2.43~3.94X10^{-6}cm/sec (평균 3.11x10^{-6}cm/sec) • 저류계수(S)는 평균 1.25x10^{-4}

4.3 불연속면특성 분석

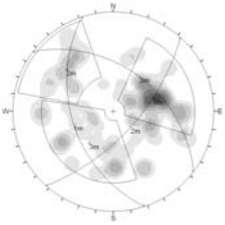
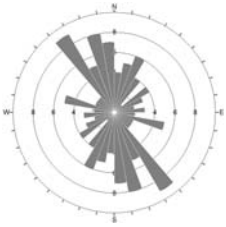
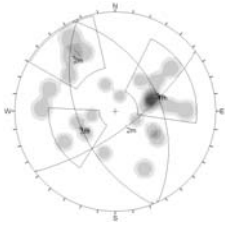
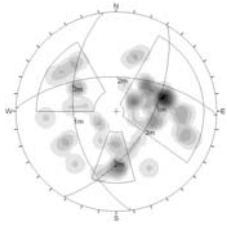
4.3.1 공내영상촬영

개 요	• 암반내 파쇄대 및 불연속면의 분포 및 발달상태(경사방향, 경사, 틈새)등 지반 불연속면 특성 파악 • 불연속면 분포 및 발달 상태에 대한 분석 자료는 터널부 수치해석, 갱구부의 비탈면 안정성 해석에 필요한 설계 자료로 활용

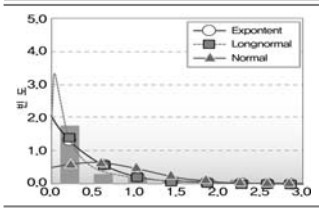
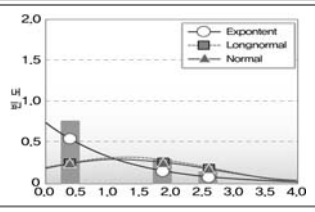
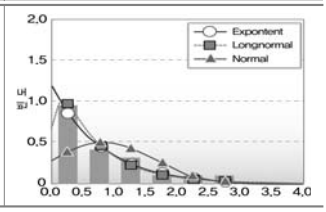
○ 시험결과

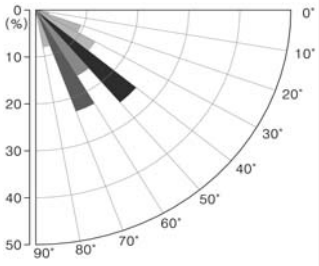
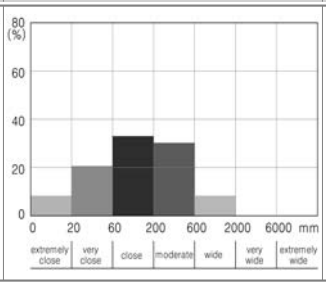
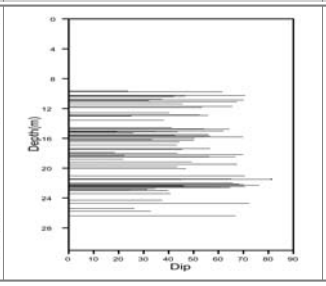
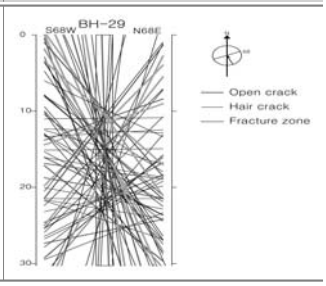
▪ BH-29

구 분	탐사구간(m)	전체절리(All Crack)	개구성절리(Open Crack)	미세절리(Hair Crack)
Set 1	2.0~30.3	45/252	49/248	44/262
Set 2		64/132	69/143	52/002
Set 3		43/037	42/065	53/121
갯 수		74	26	48

전체 절리(Pole Diagram)	전체 절리(Rose Diagram)	개구성 절리(Pole Diagram)	미세 절리(Pole Diagram)
			

구 분	절리간격(m)
Set 1	0.473
Set 2	1.275
Set 3	0.827

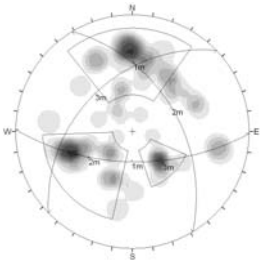
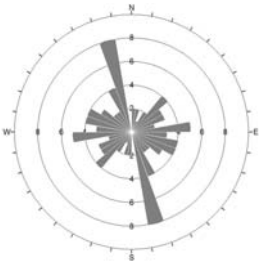
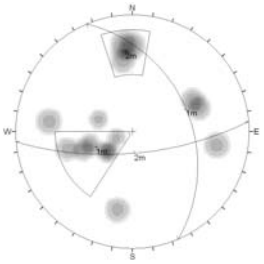
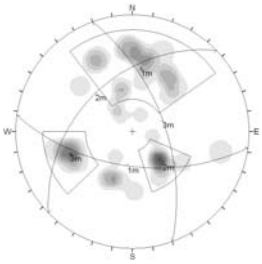
Set 1	Set 2	Set 3
		

절리면 경사분석	절리면 간격분석	심도별 절리방향 및 빈도수	절리전개도
			

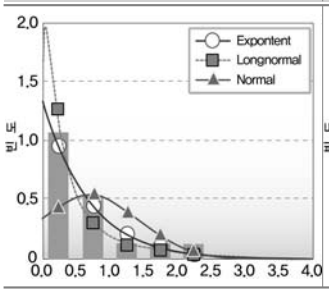
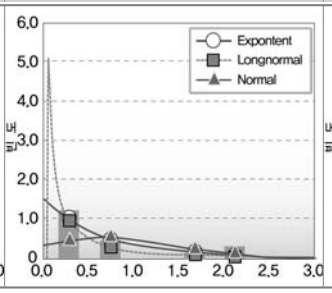
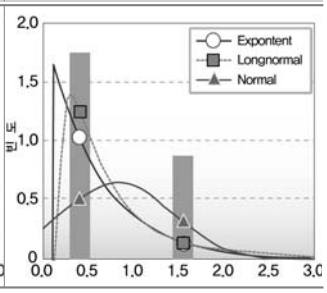
• 주 방향은 전체 절리군에서 45/252, 개구성 절리 49/248의 경사각과 경사방향을 보임
• 절리군 경사각은 주로 40° ~ 50° 가 우세
• 절리간격은 60~200mm간격이 주 분포 양상을 보임(ISRM표기: Close)
• 전체 절리에서 미세절리가 69.4%, 개구성절리가 35.1%를 차지함
• 절리의 간극은 1.1~4.4m를 나타냄
• 파쇄구간은 10.28~10.38m, 11.71~11.86m, 15.13~15.27m, 15.62~15.67m, 18.0~18.2m에서 나타남

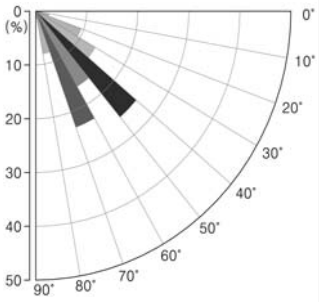
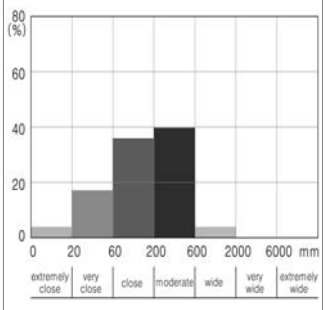
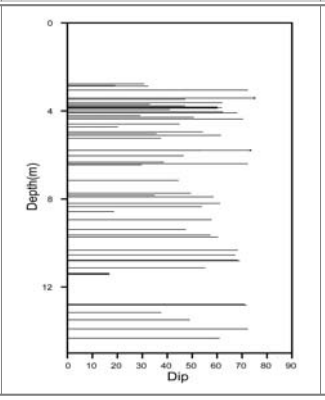
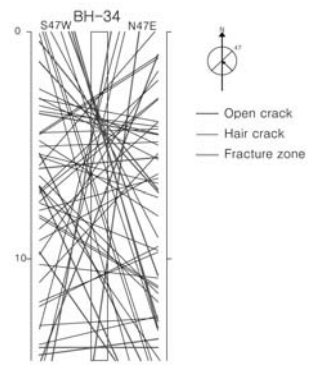
■ BH-34

구 분	탐사구간(m)	전체절리(All Crack)	개구성절리(Open Crack)	미세절리(Hair Crack)
Set 1	2.0~14.5	61/181	37/067	57/188
Set 2		47/059	69/175	41/316
Set 3		41/316		59/070
갯 수		54	15	39

전체 절리(Contour Map)	전체 절리(Rose Diagram)	개구성 절리(Contour Map)	미세 절리(Contour Map)
			

구 분	절리간격(m)
Set 1	0.696
Set 2	0.700
SetT 3	0.812

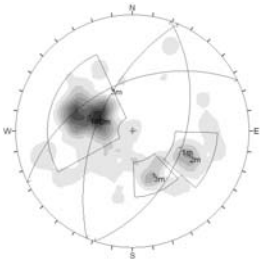
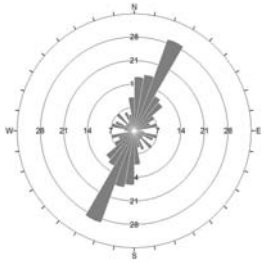
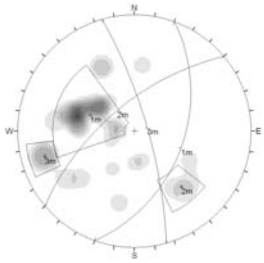
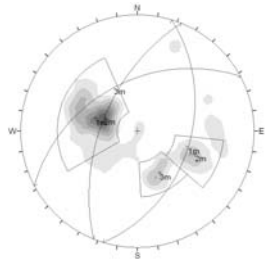
Set 1	Set 2	Set 3
		

절리면 경사분석	절리면 간격분석	심도별 절리방향 및 빈도수	절리전개도
			

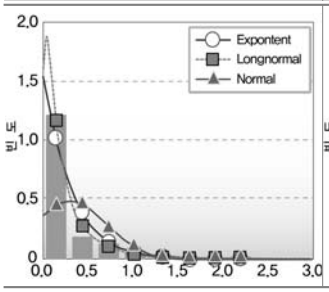
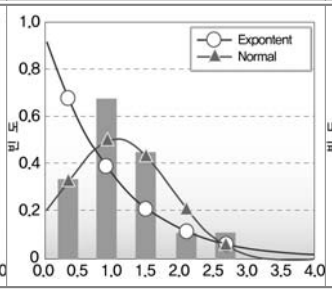
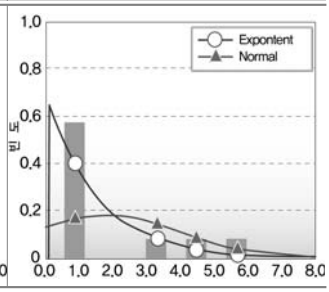
- 주 방향은 전체 절리군에서 61/181, 개구성 절리 37/067의 경사각과 경사방향을 보임
- 절리군 경사각은 주로 40° ~ 50° 가 우세
- 절리간격은 200~600mm간격이 주 분포 양상을 보임(ISRM표기: Moderate)
- 전체 절리에서 미세절리가 72.2%, 개구성 절리가 27.8%를 차지함
- 절리의 간극은 1.1~4.7m를 나타냄

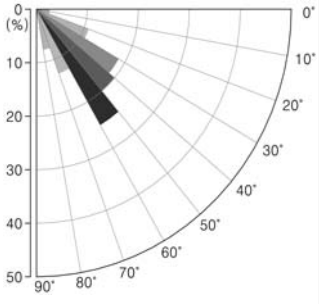
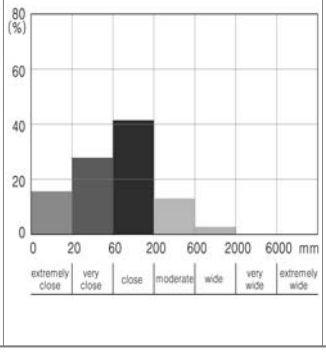
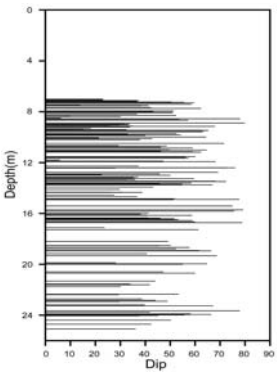
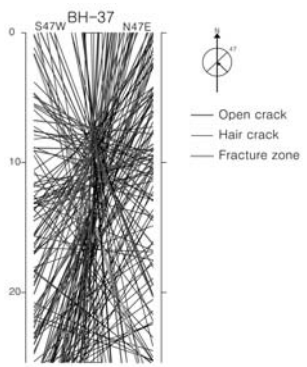
BH-37

구 분	탐사구간(m)	전체절리(All Crack)	개구성절리(Open Crack)	미세절리(Hair Crack)
Set 1	2.0~25.4	42/109	44/110	41/107
Set 2		56/293	64/320	56/292
Set 3		45/334	77/074	44/332
갯 수		156	36	120

전체 절리(Contour Map)	전체 절리(Rose Diagram)	개구성 절리(Contour Map)	미세 절리(Contour Map)
			

구 분	절리간격(m)
Set 1	0.207
Set 2	1.059
Set 3	1.767

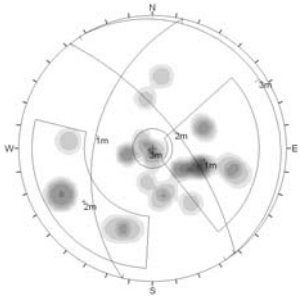
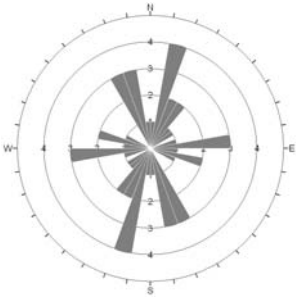
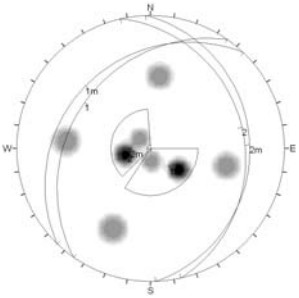
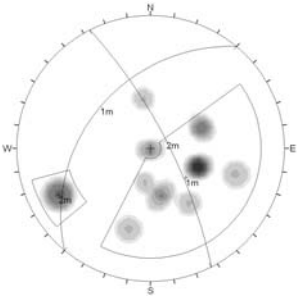
Set 1	Set 2	Set 3
		

절리면 경사분석	절리면 간격분석	심도별 절리방향 및 빈도수	절리전개도
			

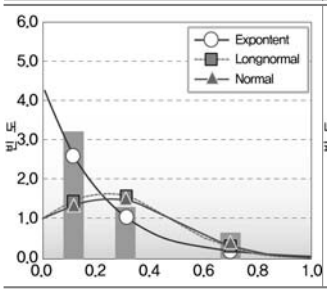
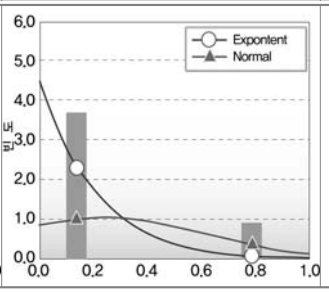
- 주 방향은 전체 절리군에서 42/109, 개구성 절리 44/110의 경사각과 경사방향을 보임
- 절리군 경사각은 주로 50° ~ 60° 가 우세
- 절리간격은 60~200mm간격이 주 분포 양상을 보임(ISRM표기: Close)
- 전체 절리에서 미세절리가 76.9%, 개구성 절리가 23.1%를 차지함
- 절리의 간극은 1.3~8.7m를 나타냄
- 파쇄구간은 15.72~15.83m에서 나타남

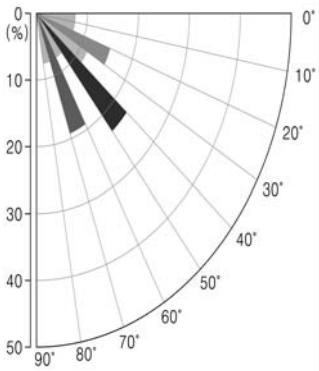
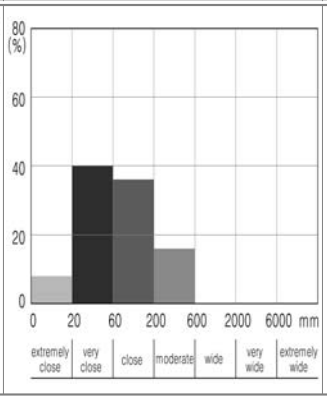
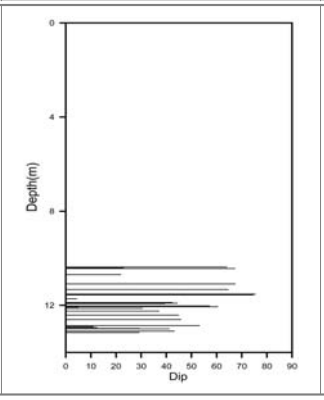
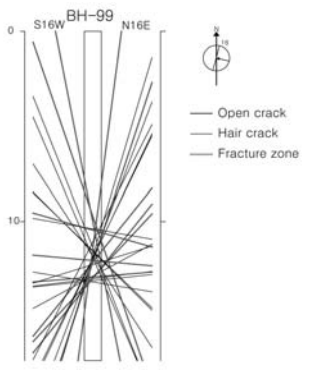
■ BH-99

구 분	탐사구간(m)	전체절리(All Crack)	개구성절리(Open Crack)	미세절리(Hair Crack)
Set 1	2.0~17.3	43/283	22/314	147/066
Set 2		66/052	17/088	24/327
Set 3		3/057		
갯 수		73	19	54

전체 절리(Contour Map)	전체 절리(Rose Diagram)	개구성 절리(Contour Map)	미세 절리(Contour Map)
			

구 분	절리간격(m)
Set 1	0.237
Set 2	0.246
SetT 3	–

Set 1	Set 2	Set 3
		–

절리면 경사분석	절리면 간격분석	심도별 절리방향 및 빈도수	절리전개도
			

- 절리군의 주 방향성은 43/283, 개구성 절리 22/314의 경사각과 경사방향을 보임
- 절리군 경사각은 주로 40° ~ 50° 가 우세
- 절리간격은 20-600mm 간격이 주 분포 양상을 보임(ISRM 표기: Very close)
- 전체 절리에서 미세절리가 61.5%를 차지하며, 개구성 절리가 38.5%를 차지함
- 절리의 간극은 1.7~12.5m를 나타냄

4.3.2 절리면전단시험

개 요

• 기반암에 발달하는 자연절리면의 전단특성을 파악하고 불연속체의 전단강성과 수직강성 점착력과 마찰각 산정 ➜ 불연속체 해석물성치 산정시 기초 자료로 활용

○ 시험현황

구분	기존조사				실시설계			
	터널	교량	깎기	쌓기	터널	교량	깎기	쌓기
수량(회)	3	–	2	–	3	–	9	–

○ 기존조사 자료

구 분		공 번	심도(m)	점착력 (kPa)	마찰각(°)		JRC	JCS (MPa)
					최대	잔류		
3공구	문봉터널	TTB-1	19.3~19.4	100.0	43.2	32.0	12~14	83.0
	깎기구간	CCB-2	25.4~25.6	50.0	30.9	24.8	2~4	70.0
4공구	금촌터널	TTB-4	15.3~21.0	60.0	32.1	21.1	4~6	87.0
	영태터널	TTB-12	37.0~37.3	30.0	36.8	28.7	0~2	110.0
	깎기구간	CCB-5	37.2~37.3	100.0	26.1	22.8	0~2	84.0

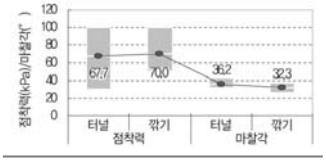
○ 실시설계조사 자료

구 분		공 번	심도(m)	점착력 (kPa)	마찰각(°)		JRC	JCS (MPa)
					최대	잔류		
1공구	강매터널	BH-29	21.4~21.7	116.4	37.4	32.8	8~10	91.0
	깎기	BH-99	16.3~16.8	60	32.0	28.2	4~6	24.15
3공구	문봉터널	BH-180	10.1~10.6	80.6	32.6	29.2	2~4	69.1
	깎기구간	BH-159	26.0~26.4	50.1	35.4	31.8	4~6	31.2
		BH-202	27.9~28.2	90	40.1	35.1	12~14	39.84
4공구	금촌터널	BH-241	8.5~8.8	63.4	32.8	29.0	0~2	40.2
	깎기구간	BH-252-1	31.4~32.0	70	30.8	27.4	2~4	43.07
		BH-284	25.7~25.9	90.9	35.5	31.6	4~6	81.2
		BH-287	24.9~25.2	80	36.9	32.6	8~10	37.27
		BH-293	29.0~29.5	70	32.8	28.5	6~8	46.77
		BH-298-1	24.8~25.5	80	33.7	29.3	4~6	52.16
		BH-302	34.0~34.3	77.8	38.1	33.3	2~4	74.9

○ 결과분석

구 분		터널구간			깎기구간		
		연암	보통암	경암	연암	보통암	경암
점착력(kPa)		116.4	63.4	30.0~100	90.0	77.8~90.9	50.0~100
마찰각 (°)	최대	37.4	32.8	32.1~43.2	40.1	32.8~38.1	26.1~36.9
	잔류	32.8	29.0	21.1~32.0	35.1	28.5~33.3	22.8~32.6

경암의 점착력-마찰각



분석결과

• 터널구간의 점착력은 30.0~116.4kPa, 깎기구간의 점착력은 50.0~100.0kPa 범위로 분포
• 터널구간의 마찰각은 32.1~43.2°, 깎기구간의 마찰각은 26.1~40.1° 범위로 분포

4.4 동적특성 분석

4.4.1 밀도검층

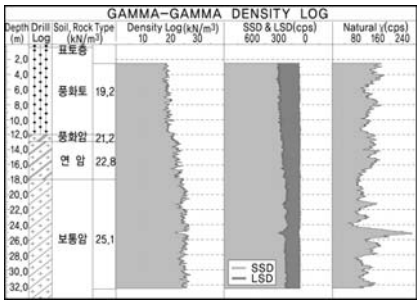
개 요	• 시추공을 이용하여 심도 및 구간별 탄성파 속도(V_p, V_s) 측정 • 내진설계시 요구되는 지반의 동적물성치 산정

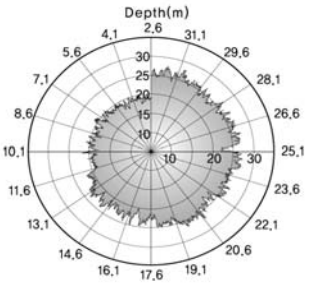
○ 시험결과

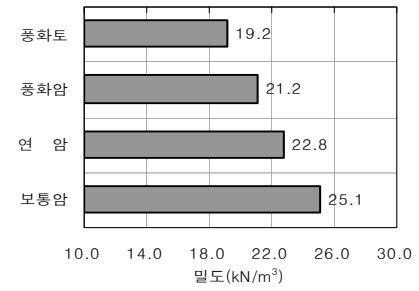
■ BH-31

구 분	심 도 (m)	자연감마		밀도(kN/m³)	
		범위	평균	범위	평균
풍화토	2.5~12.0	105.0~195.7	143.5	17.1~21.8	19.2
풍화암	12.0~12.9	129.6~165.4	152.9	20.4~22.2	21.2
연 암	12.9~18.0	94.3~181.0	140.4	20.3~25.1	22.8
보통암	18.0~32.5	60.7~300.4	129.2	22.1~27.6	25.1

검층 결과	심도별 밀도	지층별 밀도



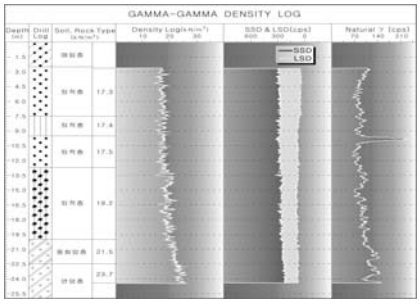


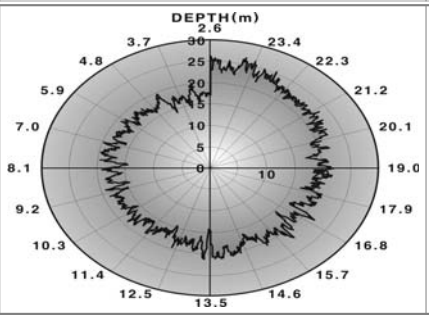


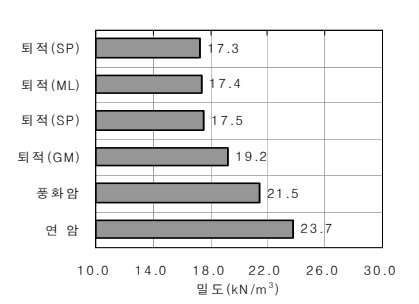
■ BH-335

구 분	심 도 (m)	자연감마		밀도(kN/m³)	
		범위	평균	범위	평균
퇴적층(SP)	2.6~7.5	72.1~131.5	97.8	14.1~19.9	17.3
퇴적층(ML)	7.5~9.5	75.6~116.9	96.3	14.6~19.5	17.4
퇴적층(SP)	9.5~12.7	70.8~254.3	105.5	14.9~19.9	17.5
퇴적층(GM)	12.7~20.0	76.1~127.1	103.9	14.5~22.1	19.2
풍화암	20.0~22.5	105.5~161.8	129.7	18.6~23.2	21.5
연 암	22.5~24.4	105.4~167.5	137.3	21.6~26.2	23.7

검층 결과	심도별 밀도	지층별 밀도

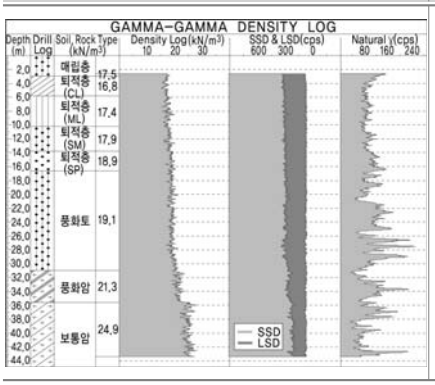
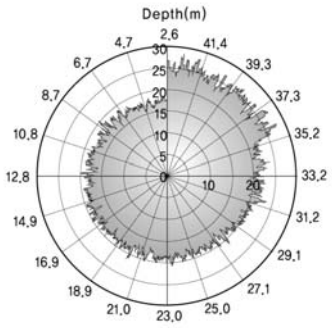
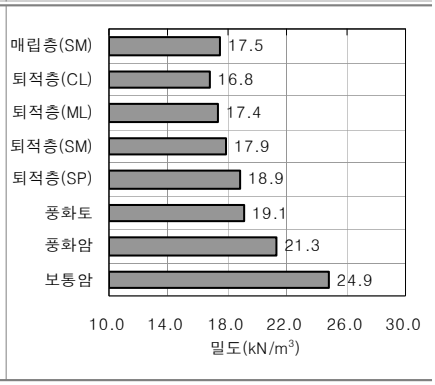






■ BH-348

구 분	심 도 (m)	자연감마		밀도(kN/m³)	
		범위	평균	범위	평균
매립층(SM)	2.6~3.0	134.3~165.8	150.6	16.8~18.3	17.5
퇴적(CL)	3.0~5.8	76.1~141.7	102.5	15.2~18.0	16.8
퇴적(ML)	5.8~10.2	70.6~124.1	95.4	15.2~20.1	17.4
퇴적(SM)	10.2~13.8	76.7~133.9	98.6	16.0~19.9	17.9
퇴적(SP)	13.8~16.6	98.0~168.5	127.5	16.6~20.4	18.9
풍화토	16.6~31.0	52.7~275.2	126.2	16.8~21.5	19.1
풍화암	31.0~35.6	38.2~251.2	110.2	18.9~23.8	21.3
보통암	35.6~43.4	34.6~251.2	100.8	21.8~28.2	24.9

검층 결과	심도별 밀도	지층별 밀도
		

○ 결과분석

구 분	터널구간		교량구간		비고
	범위	평균	범위	평균	
붕적층	–	–	–	–	
퇴적층(CL)	–	–	15.2~18.0	16.8	
퇴적층(ML)	–	–	–	–	
퇴적층(SM)	–	–	16.0~19.9	17.9	
퇴적층(SP)	–	–	–	–	
퇴적층(GM)	–	–	14.5~22.1	19.2	
풍화토	17.1~21.8	19.2	16.8~21.5	19.1	
풍화암	20.4~22.2	21.2	–	–	
연 암	20.3~25.1	22.8	21.6~26.2	23.7	
보통암	22.1~27.6	25.1	21.8~28.2	24.9	

분석결과

• 터널구간의 평균밀도는 풍화토 : 19.2kN/m³, 풍화암 : 21.2kN/m³, 연암 : 22.8kN/m³, 보통암 : 25.1kN/m³의 범위값을 보임

4.4.2 하향식탄성파탐사

개 요

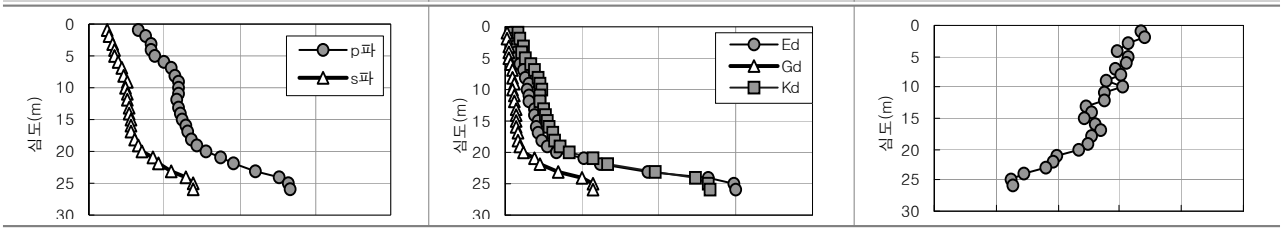
- 측정 전단파속도(V_s)를 이용하여 지반 동적특성치(G_d, E_d, K_d)산정
- 포아송비 및 동탄성계수를 산출하여 주요구조물의 내진설계 및 갱구부 안정성 해석에 반영

○ 시험결과

■ BH-335

구 분	심도(m)	밀도 (kN/m³)	탄성파속도		동적특성치(MPa)			
			V_p(m/s)	V_s(m/s)	동포아송비	동전단계수	동탄성계수	동체적계수
매립층	0.0~2.5	17.8	350	131	0.418	31	87	178
퇴적층(SP)	2.5~7.5	17.3	457	184	0.403	60	168	287
퇴적층(ML)	7.5~9.5	17.4	579	241	0.395	101	282	448
퇴적층(SP)	9.5~12.7	17.5	590	248	0.392	108	300	466
퇴적층(GM)	12.7~20.0	19.2	661	295	0.375	169	464	619
풍화암	20.0~22.5	21.5	912	440	0.348	417	1,126	1,235
연 암	22.5~26.0	23.7	1,256	644	0.322	993	2,621	2,433

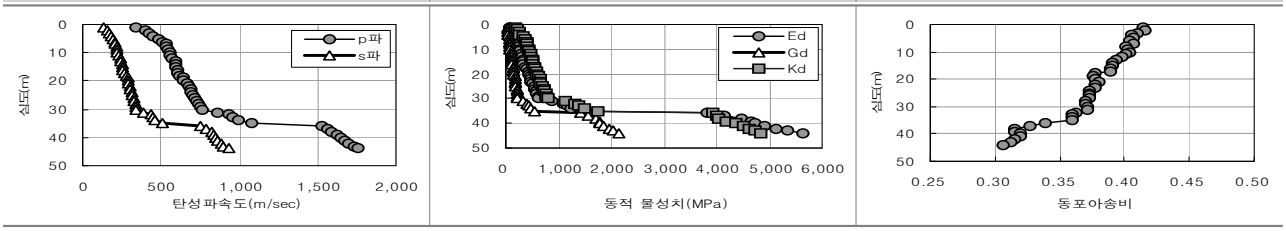
심도별 탄성파 속도 | 심도별 동적특성치 | 심도별 동포아송비



■ BH-348

구 분	심도(m)	밀도 (kN/m³)	탄성파속도		동적특성치(MPa)			
			V_p(m/s)	V_s(m/s)	동포아송비	동전단계수	동탄성계수	동체적계수
매립층	0.0~3.0	17.5	375	143	0.42	36	102	200
퇴적(CL)	3.0~5.8	16.8	455	180	0.41	55	154	276
퇴적(ML)	5.8~10.2	17.4	534	215	0.40	80	226	390
퇴적(SM)	10.2~13.8	17.9	574	237	0.40	101	281	456
퇴적(SP)	13.8~16.6	18.9	595	253	0.39	121	335	507
풍화토	16.6~31.0	19.1	689	308	0.38	183	502	668
풍화암	31.0~35.6	21.3	964	448	0.36	431	1,174	1,414
보통암	35.6~45.0	24.9	1,646	850	0.32	1,804	4,753	4,356

심도별 탄성파 속도 | 심도별 동적특성치 | 심도별 동포아송비



4.4.3 S-PS검층

개 요	• 시추공을 이용하여 심도 및 구간별 탄성파 속도(V_p, V_s) 측정 • 내진설계시 요구되는 지반의 동적물성치 산정

○ 실시설계조사 자료

■ BH-31(1공구 강매터널)

구 분	심도(m)	탄성파속도		동적특성치			
		V_p(m/s)	V_s(m/s)	동탄성계수 (MPa)	동전단계수 (MPa)	동체적계수 (MPa)	동포아송비
풍화토	9.0~12.0	1,953	324	618	208	7,200	0.49
풍화암	12.0~12.9	2,212	507	1,640	556	9,840	0.47
연 암	12.9~18.0	2,854	1,319	11,100	4,060	13,600	0.36
보통암	18.0~30.0	4,153	2,030	28,400	10,600	30,100	0.34

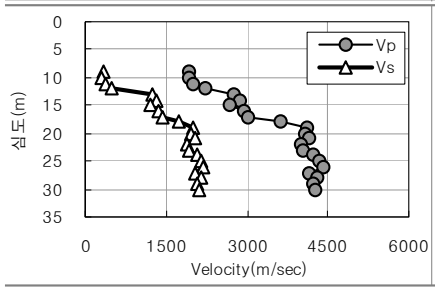
■ BH-179(3공구 문봉터널)

구 분	심도(m)	탄성파속도		동적특성치			
		V_p(m/s)	V_s(m/s)	동탄성계수 (MPa)	동전단계수 (MPa)	동체적계수 (MPa)	동포아송비
연 암	6.0~6.5	3,484	1,653	18,400	6,800	21,200	0.36
보통암	6.5~15.5	3,852	1,849	23,400	8,660	26,000	0.35
경 암	15.5~26.0	4,498	2,224	35,000	13,100	36,100	0.34

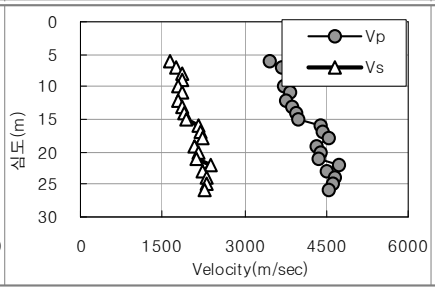
■ BH-242(4공구 금촌터널)

구 분	심도(m)	탄성파속도		동적특성치			
		V_p(m/s)	V_s(m/s)	동탄성계수 (MPa)	동전단계수 (MPa)	동체적계수 (MPa)	동포아송비
붕적층	3.0~3.8	1,667	238	303	102	4,860	0.49
연 암	3.8~6.5	3,345	1,561	16,500	6,050	19,600	0.36
경 암	6.5~25.0	4,918	2,513	44,800	16,900	42,200	0.32

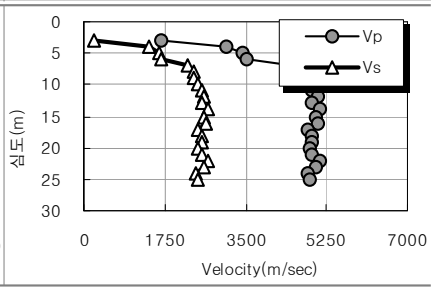
BH-31



BH-179



BH-242



분석결과	• 지층별 탄성파 속도(Vs)는 붕적층 238m/sec, 풍화토 324m/sec, 풍화암 507m/sec, 연암 1,319~1,653 m/sec, 보통암 1,849~2,030m/sec, 경암 2,224~2,513m/sec의 범위 • 지층별 동전단계수는(Gd)는 붕적층 102MPa, 풍화토 208MPa, 풍화암 556MPa, 연암 4,060~6,800MPa, 보통암 8,660~10,600MPa, 경암 13,100~16,900MPa의 범위

4.4.4 공진주시험

개 요

- 설계지역의 지반의 동적특성(전탄성계수와 재료감쇠비) 파악을 위하여 실시
- 사업구간의 변형율에 따른 동적특성을 파악하여 지진 응답 해석등 내진설계에 활용

○ 기존조사 자료

■ 시험결과

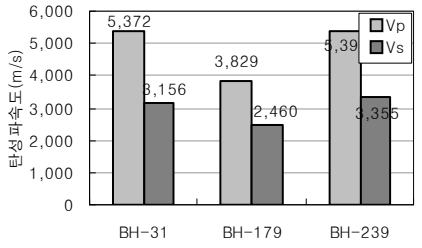
구 분		공 번	심도 (m)	P파				S파			
				fr(Hz)	V_P(m/s)	E_d(MPa)	감쇠비(%)	fr(Hz)	V_S(m/s)	E_d(MPa)	감쇠비(%)
3공구	문봉터널	TTB-2	15.7	33,093	6,718	119,808	0.49	22,247	4,516	54,145	1.24
4공구	금촌터널	TTB-3	13.5	35,217	7,170	142,403	0.46	25,942	5,282	77,272	0.71
	영태터널	TTB-12	37.1	32,464	6,623	118,813	0.42	22,550	4,600	57,326	0.69

○ 실시설계조사 자료

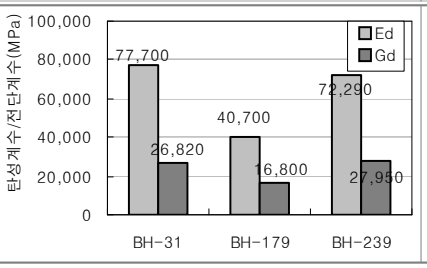
■ 시험결과

구 분		공 번	심도 (m)	NO.	P파				S파			
					fr(Hz)	V_P(m/s)	E_d(MPa)	감쇠비(%)	fr(Hz)	V_S(m/s)	G_d(MPa)	감쇠비(%)
1공구	강매 터널	BH-31	19.0 ~ 19.2	1	25,497	5,370	77,620	0.61	14,992	3,157	26,830	0.58
				2	25,513	5,373	77,710	0.62	14,999	3,159	26,860	0.56
				3	25,520	5,375	77,760	0.62	14,969	3,152	26,750	0.56
				평균	25,510	5,372	77,700	0.62	14,987	3,156	26,820	0.57
3공구	문봉 터널	BH-179	10.8 ~ 11.1	1	18,501	3,830	40,710	1.00	11,917	2,467	16,890	0.78
				2	18,509	3,831	40,750	0.97	11,894	2,462	16,830	0.79
				3	18,486	3,827	40,650	1.09	11,841	2,451	16,680	0.80
				평균	18,499	3,829	40,700	1.02	11,884	2,460	16,800	0.79
4공구	금촌 터널	BH-239	37.3 ~ 37.6	1	25,497	5,395	72,290	0.43	16,083	3,355	27,950	0.31
				2	25,513	5,394	72,250	0.43	16,068	3,352	27,900	0.30
				3	25,520	5,397	72,340	0.42	16,098	3,358	28,010	0.31
				평균	25,510	5,395	72,290	0.43	16,083	3,355	27,950	0.31

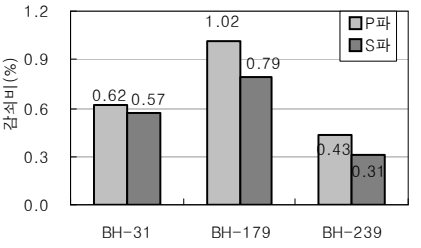
탄성파 속도



탄성계수-전단계수



감쇠비



분석결과

- 비구속압축파 감쇠비는 0.419~1.09%, 전단파 감쇠비는 0.30~1.241%의 분포

4.5 지중응력특성 분석

4.5.1 수압파쇄시험

개 요

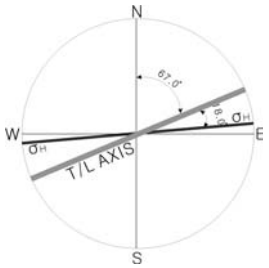
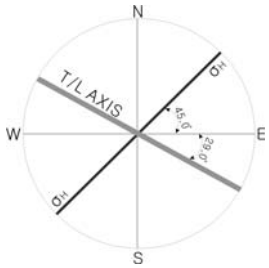
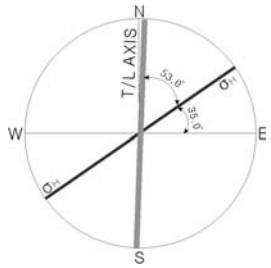
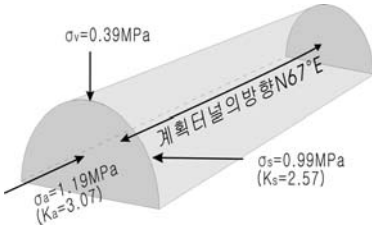
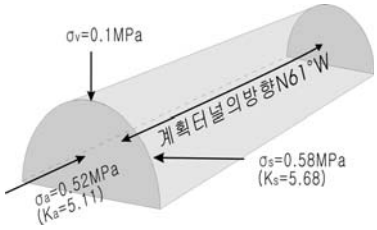
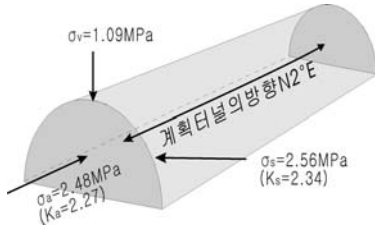
- 사업구간내 최대 · 최소 수평응력의 크기, 작용방향, 측압계수의 크기 및 심도별 변화 특성 파악
- 암반의 측압계수 및 주응력 방향에 따른 터널 안정성 평가 자료 제공

◎ 심도별 시험결과

구 분		공 번	심도 (m)	σ_h (MPa)	σ_H (MPa)	σ_v (MPa)	측압계수(K)		
							K_h	K_H	K_H/K_h
1공구	강매터널	BH-31	19.0	1.20	1.43	0.51	2.34	2.78	1.19
			25.0	1.43	1.82	0.68	2.12	2.70	1.27
			28.5	1.57	1.85	0.77	2.04	2.41	1.18
3공구	문봉터널	BH-179	18.3	1.66	1.81	0.49	3.35	3.67	1.09
			23.0	1.85	1.94	0.62	2.99	3.12	1.04
			25.7	1.89	2.04	0.69	2.72	2.94	1.08
4공구	금촌터널	BH-239	37.5	2.36	2.51	1.01	2.33	2.48	1.06
			41.7	2.35	2.77	1.13	2.09	2.46	1.18
			50.4	2.49	2.79	1.36	1.83	2.05	1.12

◎ 측압계수

구 분		공 번	최대수평응력의 방향	터널방향	교차각(°)
1공구	강매터널	BH-31	N85E±5°	N67E	18
3공구	문봉터널	BH-179	N45E±5°	N61W	74
4공구	금촌터널	BH-239	N55E±5°	N02E	53

BH-31	BH-179	BH-239
		
		

분석결과

- 측압계수(K)는 1.04~1.27의 범위를 나타내며 하부로 갈수록 작아지는 경향을 보임

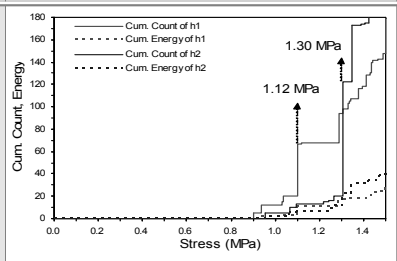
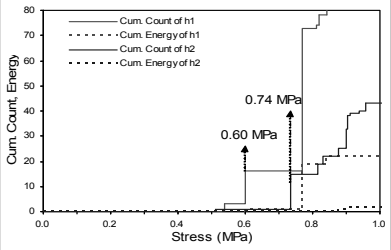
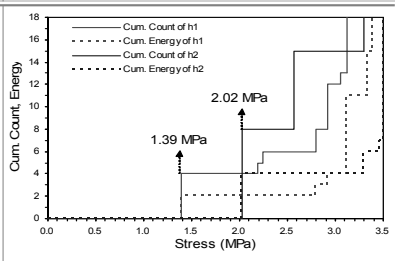
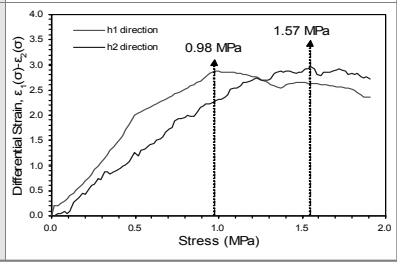
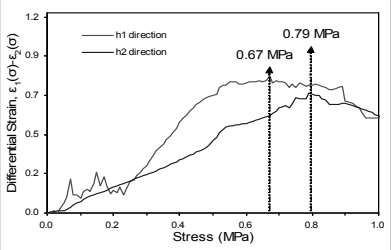
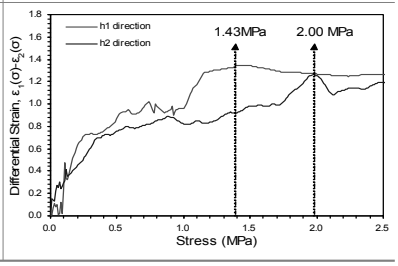
4.5.2 AE/DRA 시험

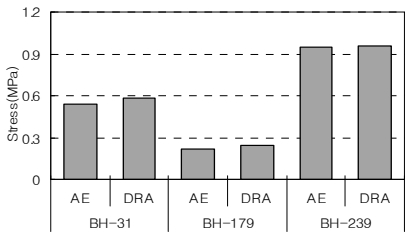
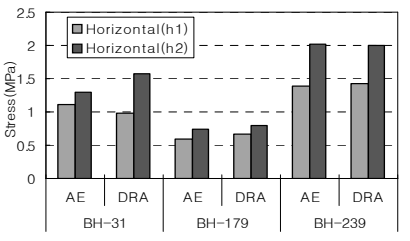
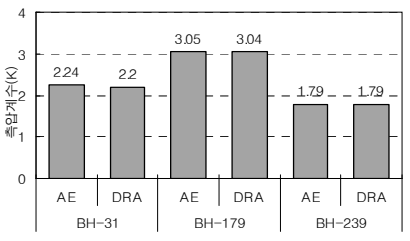
개 요

- 시추코어의 축방향 변형률과 응력과의 관계를 통하여 암반의 현지응력상태 파악
- 수압파쇄시험 결과와 연계하여 터널구간 측압계수 산정시 활용

○ 시험결과

구 분		공 번	심 도(m)	지 층	암 종	현장응력추정값		측압계수(K)	
						AE	DRA	AE	DRA
1공구	강매 터널	BH-31	20.5~20.8	보통암	편마암	0.54	0.58	2.24	2.20
						1.12	0.98		
						1.30	1.57		
3공구	문봉 터널	BH-179	7.9~8.3	보통암	편마암	0.22	0.24	3.05	3.04
						0.60	0.67		
						0.74	0.79		
4공구	금촌 터널	BH-239	37.6~37.9	경 암	편마암	0.95	0.96	1.79	1.79
						1.39	1.43		
						2.02	2.00		

구 분	BH-31	BH-179	BH-239
AE시험			
DRA시험			

수직응력	수평응력	측압계수
		

분석결과

- 시험결과 K=1.79~3.05의 범위를 보이고 심도에 따라 측압계수의 차이가 있음

4.6 연약지반특성 분석

4.6.1 피에조콘관입 및 간극수압소산시험

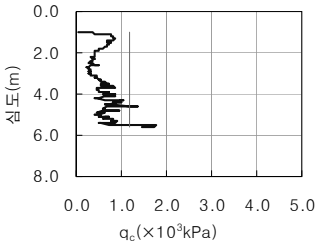
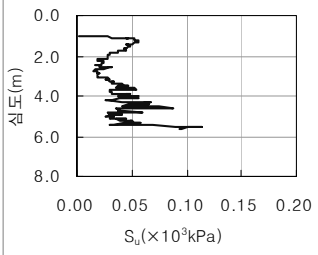
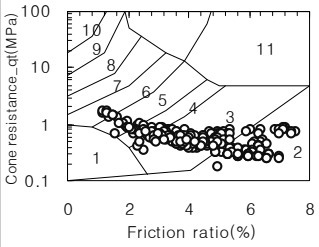
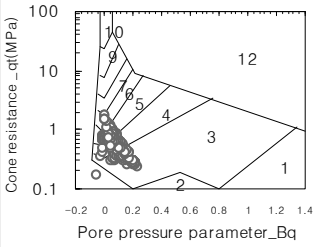
개 요

- 콘저항값, 마찰저항력, 간극수압을 측정 및 실내시험과 연계 분석하여 비배수전단강도 산정
- 소산시험에 의해 시간경과에 따른 과잉간극수압 측정 및 수평압밀계수 산정

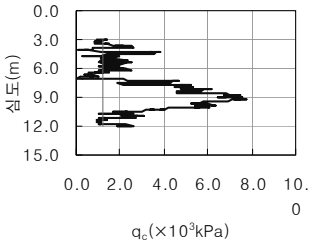
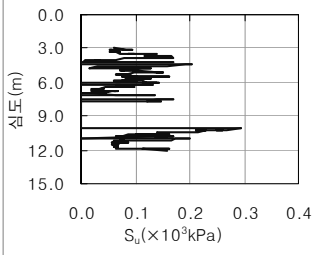
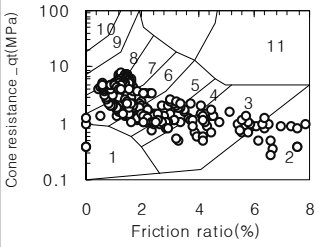
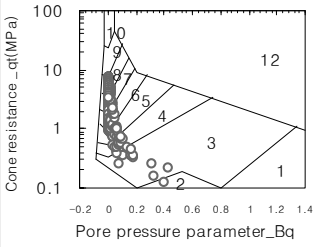
○ 피에조콘관입시험

구 분		심 도(m)	콘저항값(kPa)		간극수압(MPa)		비배수전단강도(kPa)	
			범위	평균	범위	평균	범위	평균
1공구	BH-346	3.0~12.0	29.0~7,718	2,899	0.0~171	71.3	2.1~149.7	84.6
3공구	BH-234	1.0~5.6	51.0~1,489	593.4	0.0~111	71.2	2.6~94.6	37.9

■ BH-234

콘저항값	비배수전단강도	간극수압비(B_q)를 이용한 흙분류	마찰응력비(F_r)를 이용한 흙분류
			

■ BH-346

콘저항값	비배수전단강도	간극수압비(B_q)를 이용한 흙분류	마찰응력비(F_r)를 이용한 흙분류
			

○ 간극수압소산시험

구 분		심 도(m)	t_{50}(sec)	수평압밀계수(cm^2/s)				수평투수계수 (cm/s)
				Torstensson	Teh	Houlsby & Teh	평 균	
1공구	BH-346	8.0	1,060.4	5.56×10^{-3}	7.36×10^{-3}	8.64×10^{-3}	7.19×10^{-3}	3.58×10^{-6}
3공구	BH-234	4.8	1,333.2	4.42×10^{-3}	5.86×10^{-3}	7.95×10^{-3}	6.08×10^{-3}	3.98×10^{-6}

분석결과

- 실트, 모래 및 유기질토가 부분적 협재되어 콘관입저항력 및 비배수전단강도의 분포 범위가 큼
- 수평압밀계수는 6.08~7.19 × $10^{-3}cm^2$/sec범위로 Torstensson 제안식에 의한 값이 작게 나타남

4.6.2 일축압축강도시험 및 삼축압축강도시험

개 요

- 연약 점토층에서 채취한 불교란시료에 대하여 일축압축강도(불교란/교란) 및 예민비 측정
- Mohr-Coulomb 파괴기준으로부터 전단강도 산출, 유효응력에 대한 점착력 및 마찰각 측정

○ 시험현황

구분	기존조사				실시설계			
	터널	교량	깎기	쌓기	터널	교량	깎기	쌓기
일축(회)	–	–	–	2	–	6	–	5
삼축(회)	–	–	–	4	–	4	–	4

○ 기존조사 자료

구분	일축강도			삼축압축				USCS
	불교란 (kPa)	교란 (kPa)	예민비	전응력		유효응력		
				C (kPa)	φ (°)	C′ (kPa)	φ (°)	
NSB-2	69.2	33.9	2.0	–	–	–	–	ML
NSB-2	50.4	33.5	1.5	–	–	–	–	ML
B-8	–	–	–	17.1	13.0	22.9	15.0	ML

구분	일축강도(kPa)			삼축압축				USCS
	불교란 (kPa)	교란 (kPa)	예민비	전응력		유효응력		
				C (kPa)	φ (°)	C′ (kPa)	φ (°)	
B-11	–	–	–	20.7	12.0	23.6	14.0	CL
NSB-2	–	–	–	45.7	–	–	–	ML
NSB-2	–	–	–	33.0	–	–	–	ML

○ 실시설계 시험결과

구분		일축강도			삼축압축				USCS
		불교란 (kPa)	교란 (kPa)	예민비	전응력		유효응력		
					C(kPa)	φ (°)	Cc′ (kPa)	φ (°)	
1공구	BH-1	46.11	10.14	4.55	–	–	–	–	ML
	BH-52	64.76	16.16	4.01	–	–	–	–	CL
3공구	BH-234	38.64	13.19	2.93	19.59	16.89	14.66	25.06	CL
4공구	BH-277	56.27	15.09	3.73	20.12	18.33	15.36	28.16	CL
	BH-281	44.17	8.73	5.1	18.83	10.60	13.11	22.10	CL
	BH-307	68.58	13.75	4.98	29.61	18.19	22.03	32.42	CL
	BH-310	63.15	14.18	4.45	29.82	14.75	14.98	28.29	ML
1공구	BH-346	82.57	23.18	3.56	–	–	–	–	CL
	~~BH-346-1~~	61.85	14.27	4.33	31.33	24.19	9.47	27.98	CL
	BH-347	61.59	12.68	4.9	21.02	12.89	13.51	23.18	CL
	BH-350	73.02	21.82	3.3	25.79	16.8	16.61	27.10	ML

분석결과

- 일축강도는 점토층 38.6~82.6kPa(평균 62.0), 실트층 46.1~73.0kPa(평균 54.6) 값을 보임
- 전응력상태의 점착력은 점토층 18.83~31.33kPa(평균 23.2), 실트층 17.1~45.7kPa(평균 31.4) 값을 보임

4.6.3 압밀시험

개 요

- 표준압밀 : 하중단계별 간극비를 측정하여 압축지수 및 압밀계수 등 압밀특성 파악
- Rowe Cell : 압밀곡선으로부터 수평압밀계수(C_h)와 투수계수(k_h) 측정

○ 시험현황

구분	기존조사				실시설계			
	터널	교량	깎기	쌓기	터널	교량	깎기	쌓기
수 량(회)	–	–	–	4	–	6	–	5

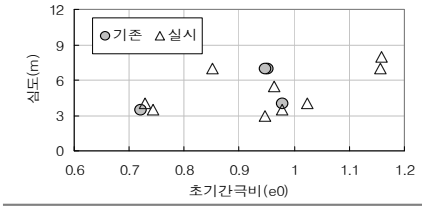
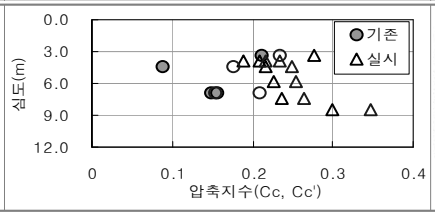
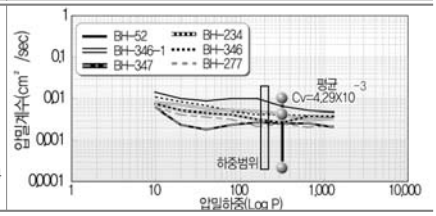
○ 기존조사 자료

구 분	초기간극비	P_c(kPa)	과압밀비	압축지수	수정압축지수	C_v(cm^2/s)	k_v(cm/s)	USCS
B-8	0.950	102.1	1.9	0.089	0.176	4.23×10^{-4}	5.03×10^{-7}	ML
B-11	0.720	36.4	0.5	0.155	0.209	2.07×10^{-3}	6.28×10^{-7}	CL
NSB-2	0.977	170.2	2.6	0.212	0.234	3.69×10^{-3}	7.34×10^{-8}	ML
NSB-2	0.946	173.8	1.7	0.148	0.154	4.87×10^{-3}	5.83×10^{-8}	ML

○ 실시설계 시험결과

▮ 표준압밀시험

구 분		초기간극비	P_c(kPa)	과압밀비	압축지수	수정압축지수	C_v(cm^2/s)	k_v(cm/s)	USCS
1공구	BH-1	1.158	103.99	1.0	0.299	0.347	6.99×10^{-3}	3.58×10^{-7}	ML
	BH-52	0.963	215.77	4.0	0.226	0.253	1.00×10^{-2}	2.29×10^{-7}	CL
	BH-346	0.743	234.42	3.4	0.189	0.216	4.28×10^{-3}	6.55×10^{-8}	CL
	BH-346-1	1.157	114.02	0.9	0.236	0.264	5.05×10^{-3}	1.18×10^{-7}	CL
	BH-347	0.729	186.21	2.4	0.217	0.250	2.74×10^{-3}	6.67×10^{-8}	CL
	BH-350	–	167.88	–	0.182	–	–	–	ML
3공구	BH-234	0.978	127.94	3.3	0.210	0.233	4.16×10^{-3}	1.47×10^{-7}	CL
4공구	BH-277	0.946	133.97	3.3	0.276	0.329	3.24×10^{-3}	1.66×10^{-7}	CL
	BH-281	–	101.16	–	0.212	–	–	–	CL
	BH-307	1.023	123.88	1.7	0.285	0.339	5.10×10^{-3}	1.20×10^{-7}	CL
	BH-310	0.851	96.38	0.9	0.193	0.263	2.34×10^{-4}	5.36×10^{-8}	ML

초기간극비	압축지수	연직압밀계수
		

▮ Rowe Cell압밀시험

구 분		초기간극비	P_c(kPa)	압축지수	C_v(cm^2/s)	k_v(cm/s)	USCS
1공구	BH-346-1	1.16	111.2	0.255	2.25×10^{-3}	6.22×10^{-7}	CL

분석결과

- 초기간극비는 점토층 0.720~1.157(평균 0.907), 실트층 0.851~1.158(평균 0.976) 값을 보임
- 수정압축지수는 점토층 0.209~0.339(평균 0.262), 실트층 0.154~0.347(평균 0.235)값을 보임

4.7 실내토질시험

4.7.1 기본물성시험

개 요

- 시추조사와 병행하여 실시한 표준관입시험 및 불교란시료에 대하여 입도분석 및 물성시험 수행
- 지층별 대표시료를 선정하여 흙의 물리적 특성 파악 및 지층분류시 활용

○ 터널구간

구 분	공 번	심 도 (m)	지 층	함수비 (%)	비 중	Atterberg Limits(%)		통과중량 백분율(%)				USCS
						LL	PI	No.4	No.10	No.200	0.002mm	
강매 터널	BH-29	7.0	풍화토	13.9	2.655	N.P	N.P	98.5	89.0	24.7	–	SM
	BH-30	4.0	풍화토	7.1	2.650	N.P	N.P	55.4	43.5	15.1	–	SM
	BH-31	6.0	풍화토	8.5	2.653	N.P	N.P	82.7	66.0	20.8	–	SM
	BH-32	2.0	풍화토	16.6	2.657	N.P	N.P	95.5	81.0	25.1	–	SM
	BH-33	2.0	풍화토	9.6	2.651	N.P	N.P	66.5	52.9	23.6	–	SM
	BH-34	1.0	풍화토	5.7	2.650	N.P	N.P	61.9	45.0	23.1	–	SM
	BH-35	2.0	풍화토	7.5	2.654	N.P	N.P	72.8	53.2	16.1	–	SM

○ 교량구간

구 분	공 번	심 도 (m)	지 층	함수비 (%)	비 중	Atterberg Limits(%)		통과중량 백분율(%)				USCS
						LL	PI	No.4	No.10	No.200	0.002mm	
강매교	BH-1	8.0~8.8	퇴적층	41.6	2.689	42.8	16.1	–	100.0	97.3	14.6	ML
	BH-1	10.0	퇴적층	19.7	2.658	N.P	N.P	97.7	90.7	14.1	–	SM
	BH-2	9.0	퇴적층	23.3	2.665	N.P	N.P	98.6	93.6	24.4	–	SM
	BH-3	11.0	퇴적층	34.2	2.677	36.3	11.2	–	100.0	98.5	14.6	ML
	BH-4	15.0	퇴적층	15.7	2.656	N.P	N.P	92.5	74.5	12.9	–	SM
	BH-5	7.0	퇴적층	23.7	2.666	N.P	N.P	94.9	90.7	46.4	6.6	SM
	BH-6	10.0	퇴적층	21.9	2.664	N.P	N.P	99.4	97.2	12.4	–	SM
	BH-7	10.0	퇴적층	28.1	2.664	N.P	N.P	–	100.0	23.1	–	SM
북로IC R-B교	BH-8	16.0	퇴적층	31.9	2.684	34.2	11.7	–	100.0	97.5	14.1	CL
	BH-9	8.0	퇴적층	21.9	2.645	N.P	N.P	91.5	90.3	7.3	–	SP-SM
	BH-10	9.0	퇴적층	21.4	2.642	N.P	N.P	97.3	88.3	7.8	–	SP-SM
	BH-11	11.0	퇴적층	20.1	2.637	N.P	N.P	96.1	84.4	4.3	–	SP
강매1교	BH-13	11.0	퇴적층	30.8	2.675	32.9	9.0	–	100.0	96.4	13.1	ML

(계속)

구 분	공 번	심 도 (m)	지 층	함수비 (%)	비 중	Atterberg Limits(%)		통과중량 백분율(%)				USCS
						LL	PI	No.4	No.10	No.200	0.002mm	
강매1교	BH-13	13.0	퇴적층	31.2	2.683	33.9	12.3	-	100.0	96.2	14.3	CL
	BH-14	6.0	퇴적층	26.9	2.684	33.4	11.6	-	100.0	93.2	15.4	CL
	BH-14	10.0	퇴적층	33.1	2.687	36.1	13.5	-	100.0	98.0	15.3	CL
	BH-15	7.0	퇴적층	29.3	2.686	35.2	12.4	-	100.0	98.4	16.4	CL
	BH-15	12.0	퇴적층	31.6	2.684	34.0	11.8	-	100.0	95.1	14.4	CL
	BH-16	7.0	퇴적층	47.1	2.695	49.2	24.0	-	100.0	97.9	18.0	CL
	BH-16	11.0	퇴적층	35.0	2.689	38.2	14.8	-	100.0	96.3	16.1	CL
	BH-17	6.0	퇴적층	29.6	2.672	N.P	N.P	-	100.0	73.4	10.7	ML
	BH-17	14.0	퇴적층	22.1	2.662	N.P	N.P	-	100.0	17.4	-	SM
북로IC R-A1교	BH-20	8.0	퇴적층	33.0	2.687	35.7	22.2	100.0	99.7	98.7	15.0	CL
	BH-20	12.0	퇴적층	31.7	2.677	33.8	24.1	100.0	98.1	92.6	12.7	ML
강매2교	BH-21	13.0	퇴적층	24.3	2.662	N.P	N.P	98.6	74.7	18.8	-	SM
	BH-21	14.0	퇴적층	10.6	2.640	N.P	N.P	40.2	25.4	9.3	-	SP-SM
강매3교	BH-24	11.0	퇴적층	31.4	2.674	32.9	23.8	100.0	99.7	98.4	12.2	ML
	BH-25	7.0	퇴적층	34.4	2.678	36.1	24.8	100.0	99.2	96.5	14.2	ML
	BH-26	7.0	퇴적층	30.7	2.670	N.P	N.P	100.0	99.4	94.4	11.2	ML
	BH-27	4.0	퇴적층	33.4	2.672	N.P	N.P	100.0	98.6	87.3	11.0	ML
	BH-28	3.0	붕적층	16.3	2.669	29.2	19.6	96.4	69.0	38.4	6.5	SC
행신1교	BH-41	5.0	풍화토	13.7	2.657	N.P	N.P	94.8	53.6	24.5	-	SM
	BH-42	1.0	풍화토	6.4	2.654	N.P	N.P	78.2	47.7	18.2	-	SM
	BH-43	2.0	풍화토	6.7	2.651	N.P	N.P	74.0	38.7	17.5	-	SM
행신2교	BH-45	9.0	퇴적층	32.5	2.677	35.1	24.5	100.0	99.4	97.0	13.7	ML
행신3교	BH-49	3.0	퇴적층	27.2	2.681	31.3	11.6	96.1	89.4	58.7	13.1	CL
도내교	BH-53	4.0	풍화토	34.7	2.661	N.P	N.P	99.7	99.4	43.6	12.2	SM
	BH-54	4.0	퇴적층	17.6	2.670	30.2	10.1	83.6	65.2	28.2	-	SC
행신IC R-G교	BH-55	3.0	퇴적층	11.4	2.655	N.P	N.P	81.2	39.5	17.5	-	SM
	BH-56	4.0	풍화토	17.8	2.658	N.P	N.P	93.1	79.8	42.2	11.1	SM

(계속)

구 분	공 번	심 도 (m)	지 층	함수비 (%)	비 중	Atterberg Limits(%)		통과중량 백분율(%)				USCS
						LL	PI	No.4	No.10	No.200	0.002mm	
행신 IC교	BH-57	5.0	풍화토	12.3	2.662	N.P	N.P	86.4	75.2	26.9	-	SM
	BH-58	9.0	풍화토	10.8	2.665	N.P	N.P	97.9	80.2	26.2	-	SM
미병육교	BH-58-1	18.0	풍화토	13.9	2.665	NP	NP	100.0	92.7	23.8	-	SM
행신IC R-A1교	BH-59	3.0	풍화토	27.1	2.668	N.P	N.P	100	97.7	48.5	12.3	SM
	BH-60	4.0	매립층	24.6	2.665	36.4	15.9	93.9	84.9	35.1	8.4	SM
미병교	BH-68-2	6.0	풍화토	16.4	2.661	N.P	N.P	93.9	83.2	28.2	-	SM
행신IC R-A2교	BH-69	3.0	퇴적층	14.5	2.647	N.P	N.P	81.5	48.7	1.4	-	SP
	BH-70	5.0	매립층	14.9	2.663	N.P	N.P	81.9	69.8	28.1	-	SM
행신IC R-C교	BH-70-1	5.0	매립층	27.1	2.676	34.2	13.4	92.4	85.5	51.2	11.2	CL
	BH-70-2	2.0	매립층	9.9	2.660	N.P	N.P	63.7	56.2	24.9	-	SM
원흥 1교	BH-72	7.0	풍화토	16.4	2.657	N.P	N.P	97.7	90.0	27.9	-	SM
	BH-74	5.0	풍화토	13.9	2.655	N.P	N.P	100	93.7	26.5	-	SM
	BH-74-1	4.0	매립층	18.1	2.679	31.8	11.0	95.9	88.3	42.3	8.9	SC
	BH-75	4.0	퇴적층	29.0	2.688	36.3	16.0	99.0	96.5	82.4	19.3	CL
	BH-76	4.0	매립층	14.9	2.66	N.P	N.P	90.1	71.4	28.7	-	SM
	BH-77	2.0	퇴적층	27.4	2.674	33.5	21.2	66.0	50.9	33.8	4.8	SC
	BH-77	4.0	퇴적층	37.4	2.690	39.7	23.1	95.5	93.5	75.5	15.3	CL
	BH-78	4.0	퇴적층	26.2	2.693	38.5	18.9	99.8	99.1	92.5	26.7	CL
	BH-79	2.0	퇴적층	21.4	2.690	35.1	16.4	100	99	86.2	23.0	CL
통로암거	BH-86-1	3.0	퇴적층	22.9	2.665	N.P	N.P	98.3	90.4	42.1	8.5	SM
원흥2교	BH-87	3.0	매립층	24.4	2.664	N.P	N.P	93.2	79.2	36.3	5.3	SM
	BH-89	4.0	퇴적층	22.1	2.675	N.P	N.P	93.3	82.2	54.4	9.0	ML
	BH-90	3.0	풍화토	19.1	2.659	N.P	N.P	95.4	90.3	24.2	-	SM
성사 3교	BH-92	4.0	퇴적층	26.6	2.689	38.3	17.0	100	99.3	84.0	26.8	CL
	BH-92-1	6.0	퇴적층	14.7	2.641	N.P	N.P	45.0	38.3	14.7	-	GM
	BH-92-2	3.0	퇴적층	31.4	2.664	N.P	N.P	100	95.0	41.8	9.9	SM
	BH-93	6.0	퇴적층	12.1	2.650	N.P	N.P	83.7	74.8	21.0	-	SM
	BH-93-1	6.0	퇴적층	13.1	2.648	N.P	N.P	76.6	67.8	19.9	-	SM

(계속)

구 분	공 번	심 도 (m)	지 층	함수비 (%)	비 중	Atterberg Limits(%)		통과중량 백분율(%)				USCS
						LL	PI	No.4	No.10	No.200	0.002mm	
성사 4교	BH-94	2.0	퇴적층	39.3	2.674	42.6	18.5	100.0	99.9	38.5	5.5	SC
	BH-94-1	3.0	퇴적층	17.3	2.657	N.P	N.P	97.2	90.4	12.8	-	SM
성사5교	BH-95	2.0	전답토	24.1	2.680	30.5	10.0	-	100.0	84.9	13.7	CL
흥도육교	BH-99	5.0	풍화토	13.5	2.657	N.P	N.P	98.4	51.9	16.4	-	SM
성사 6교	BH-104	5.0	매립층	18.0	2.646	N.P	N.P	78.0	65.4	22.0	-	SM
	BH-105	7.0	풍화토	15.6	2.658	N.P	N.P	100	98.6	19.8	-	SM
현천IC R-B교	BH-318-1	6.0	퇴적층	14.3	2.658	N.P	N.P	92.0	62.3	27.9	-	SM
	BH-318-1	19.0	퇴적층	5.5	2.645	N.P	N.P	32.3	27.1	13.4	-	GM
	BH-320	6.0	퇴적층	30.1	2.642	N.P	N.P	81.8	44.2	2.3	-	SP
	BH-320	10.0	퇴적층	11.6	2.649	N.P	N.P	24.0	16.9	14.0	-	GM
	BH-324	8.0	퇴적층	9.9	2.637	N.P	N.P	95.1	69.3	4.0	-	SP
	BH-324	14.0	퇴적층	8.3	2.650	N.P	N.P	34.4	26.3	18.4	-	GM
	BH-328	9.0	퇴적층	24.4	2.630	N.P	N.P	96.9	65.8	4.5	-	SP
	BH-329	18.0	퇴적층	5.1	2.649	NP	NP	33.7	29.3	13.7	-	GM
현천IC R-A교	BH-331	20.0	퇴적층	8.2	2.655	NP	NP	44.8	36.5	13.0	-	GM
	BH-332	13.0	퇴적층	8.2	2.642	NP	NP	51.4	42.1	4.5	-	SP
	BH-333	5.0	퇴적층	26.6	2.646	NP	NP	100	99.9	2.5	-	SP
현천교	BH-330	3.0	퇴적층	27.0	2.666	NP	NP	100.0	99.9	41.2	5.8	SM
	BH-334	4.0	퇴적층	16.6	2.651	NP	NP	-	100	4.7	-	SP
	BH-335	14.0	퇴적층	6.9	2.644	N.P	N.P	38.5	24.1	12.3	-	GM
	BH-336	4.0	퇴적층	25.1	2.667	27.3	19.1	-	100	47	14.6	SC
	BH-338	10.0	퇴적층	34.1	2.678	36.7	25.5	100.0	98.6	95.3	20.6	ML
	BH-339	10.0	퇴적층	13.1	2.662	NP	NP	93.1	82.2	15.5	-	SM
	BH-339-1	10.0	퇴적층	10.5	2.659	NP	NP	98.5	94.3	48.4	10.5	SM
난점천	BH-345-3	8.0	퇴적층	26.1	2.677	33.6	21.2	99.9	99.3	94.6	13.8	CL
수로박스	BH-345-1	7.0	퇴적층	35.7	2.689	39.2	22.6	100.0	98.6	93.0	15.4	CL
수로박스	BH-346	3.5~4.3	퇴적층	27.3	2.682	31.7	21.2	100.0	99.2	94.5	13.4	CL
수로박스	BH-346	16.0	퇴적층	7.1	2.651	N.P	N.P	43.0	24.5	13.2	-	SM

(계속)

구 분	공 번	심 도 (m)	지 층	함수비 (%)	비 중	Atterberg Limits(%)		통과중량 백분율(%)				USCS
						LL	PI	No.4	No.10	No.200	0.002mm	
창릉천교	BH-348	10.0	퇴적층	22.7	2.663	N.P	N.P	95.7	64.0	21.1	–	SM
	BH-350	5.0~5.8	퇴적층	33.5	2.685	35.1	25.8	100.0	99.8	98.0	19.9	ML
	BH-350	12.0	퇴적층	26.2	2.647	N.P	N.P	99.2	21.3	3.5	–	SP
	BH-350	14.0	퇴적층	13.0	2.638	N.P	N.P	60.4	12.5	3.5	–	SP
	BH-355	4.0	퇴적층	26.8	2.683	31.9	20.9	100.0	98.3	89.0	12.6	CL
	BH-356	7.0	퇴적층	33.3	2.665	N.P	N.P	100.0	99.8	99.2	10.8	CL
	BH-357	8.0	퇴적층	13.3	2.644	N.P	N.P	49.9	20.9	2.5	–	SP
	BH-357	13.0	퇴적층	11.0	2.651	N.P	N.P	42.2	31.0	15.0	–	GM
	BH-358	4.0	퇴적층	13.9	2.658	N.P	N.P	79.8	26.8	3.2	–	SP
	BH-360	9.0	퇴적층	12.1	2.655	N.P	N.P	73.8	31.4	23.1	–	SM
	BH-360-1	4.0	퇴적층	19.5	2.656	N.P	N.P	90.2	26.3	3.9	–	SP
	BH-361	15.0	퇴적층	19.1	2.659	N.P	N.P	79.8	34.7	14.4	–	SM
	BH-361-1	2.0	풍화토	7.3	2.650	N.P	N.P	62.0	31.5	16.7	–	SM
	BH-361-2	9.0	풍화토	11.4	2.655	N.P	N.P	85.7	63.1	12.7	–	SM
	BH-361-3	6.0	풍화토	25.5	2.664	N.P	N.P	98.5	91.7	47.8	8.5	SM
	BH-362	3.0	풍화토	10.7	2.652	N.P	N.P	75.3	51.0	24.2	–	SM

■ 지층별 결과분석

구 분		함수비(%)	비 중	Atterberg Limits(%)		통과중량 백분율(%)		USCS
				LL	PI	No.4	No.200	
매립층		9.9~27.1	2.646~2.679	31.8~36.4	11.0~15.9	63.7~95.9	22.0~51.2	SM,CL
붕적층/전답층		16.3~24.1	2.669~2.680	29.2~30.5	10.0~19.6	96.4	38.4~54.9	SM,CL
퇴적층	점토층	21.4~47.1	2.665~2.695	31.3~49.2	11.6~24.0	95.5~100	58.7~99.2	CL
	실트층	22.1~41.6	2.670~2.689	32.9~42.8	9.0~25.8	93.3~100	54.4~98.5	ML
	모래층	7.1~39.3	2.63~2.674	27.3~42.6	10.1~21.2	40.2~100	1.4~48.4	SM,SP,SC
	자갈층	5.1~14.7	2.641~2.655	N.P	N.P	24.0~45.0	12.3~18.4	GM
풍화토		6.4~34.7	2.650~2.668	N.P	N.P	62.0~100	12.7~48.5	SM

분석결과

- 교량구간의 토질은 SM, CL, ML, SC, GP, GM으로 구성됨
- 함수비: 7.1~47.1%, 비중: 2.641~2.695, #200통과중량 백분율: 1.4~99.2%

○ 깎기구간

공 번	심 도 (m)	지 층	함수비 (%)	비 중	Atterberg Limits(%)		통과중량 백분율(%)				USCS
					LL	PI	No.4	No.10	No.200	0.002mm	
BH-37	2.0	풍화토	11.8	2.656	N.P	N.P	98.4	93.8	28.3	–	SM
BH-51-1	1.0	풍화토	10.3	2.660	NP	NP	88.7	85.3	21.6	–	SM
BH-345	5.0	풍화토	11.9	2.654	N.P	N.P	90.5	75.3	25.7	–	SM
BH-98	1.0	풍화암	8.6	2.651	N.P	N.P	87.7	69.8	14.1	–	SM
BH-99	5.0	풍화토	13.5	2.657	N.P	N.P	100.0	98.4	16.4	–	SM

■ 지층별 결과분석

구 분	함수비(%)	비 중	Atterberg Limits(%)		통과중량 백분율(%)		USCS
			LL	PI	No.4	No.200	
풍화토	10.3~13.5	2.654~2.66	N.P	N.P	88.7~100	16.4~28.3	SM
풍화암	8.6	2.651	N.P	N.P	87.7	14.1	SM

분석결과

- 깎기구간의 토질은 SM으로 구성됨
- 함수비: 8.6~13.5%, 비중: 2.651~2.66, #200통과중량 백분율: 14.1~28.3%

○ 쌓기구간

공 번	심 도 (m)	지 층	함수비 (%)	비중	Atterberg Limits(%)		통과중량 백분율(%)				USCS
					LL	PI	No.4	No.10	No.200	0.002mm	
BH-36	2.0	풍화토	8.8	2.651	N.P	N.P	84.6	63.1	19.8	–	SM
BH-44	4.0	풍화토	9.7	2.654	N.P	N.P	77.3	43.2	24.6	–	SM
BH-49-2	4.0	퇴적층	36.3	2.678	46.7	23.6	100.0	99.9	98.6	18.4	CL
BH-344	5.0	퇴적층	27.4	2.671	N.P	N.P	–	100.0	88.1	10.2	ML
BH-344-1	7.0	퇴적층	33.6	2.679	35.3	24.8	100.0	99.5	92.8	14.8	ML
BH-345-4	2.0	풍화토	29.4	2.664	N.P	N.P	92.6	66.9	26.9	–	SM
BH-346-1	7.0~7.8	퇴적층	42.0	2.693	45.4	24.4	100.0	99.4	95.4	17.1	CL
BH-346-1	9.0	퇴적층	37.4	2.680	N.P	N.P	100.0	98.5	89.5	10.2	ML
BH-347	4.0~4.8	퇴적층	26.6	2.684	33.4	21.3	100.0	92.7	65.2	13.2	CL
BH-347	7.0	퇴적층	32.0	2.678	35.3	24.5	100.0	98.5	91.8	13.9	ML

■ 지층별 결과분석

구 분		함수비(%)	비 중	Atterberg Limits(%)		통과중량 백분율(%)		USCS
				LL	PI	No.4	No.200	
퇴적층	점토층	26.6~42.0	2.678~2.693	33.4~46.7	21.3~24.4	100	65.2~98.6	CL
	실트층	27.4~37.4	2.671~2.680	35.3	24.5~24.8	100	88.1~92.8	ML
풍화토		8.8~29.4	2.651~2.664	N.P	N.P	77.3~92.6	19.8~26.9	SM

분석결과
- 쌓기구간의 토질은 SM, CL, ML으로 구성됨
- 퇴적점토층의 함수비:26.6~42.0%, 비중:2.678~2.693, #200통과중량 백분율:65.2~98.6%
- 퇴적실트층의 함수비:27.4~37.4%, 비중:2.671~2.680, #200통과중량 백분율:88.1~92.8%

4.7.2 직접전단시험

개 요
- 쌓기재의 흙재료를 대상으로 다짐상태의 직접전단시험을 수행하여 쌓기재료의 전단강도 산출

○ 시험결과

공 번		지 층	점착력(kPa)	마찰각(°)	USCS
1공구	NTP-1	풍화토	12.47	29.5	SM
	NTP-2	풍화토	13.99	29.4	SM
	NTP-3	풍화토	10.09	31.4	SM
2공구	NTP-4	풍화토	9.73	38.7	SM
3공구	NTP-5	풍화토	8.53	35.5	SM
	NTP-6	풍화토	13.54	30.5	SM
	NTP-7	풍화토	5.67	32.6	SM
4공구	NTP-8	풍화토	14.11	28.4	SM
	NTP-9	풍화토	11.46	32.1	SM

분석결과
- 실트질 모래로 구성되며 점착력은 5.67~14.11kPa(평균 : 11.07kPa), 마찰각은 28.4~38.7°(평균 : 32.0°)의 범위 값을 보임

4.7.3 다짐 및 CBR시험

개 요

- 쌓기재료로 사용되는 재료에 대하여 다짐 및 실내CBR시험을 수행하여 다짐특성 파악
- 쌓기재료에 대한 밀도, 입도 및 다짐특성에 따른 쌓기재료 유용성 평가시 활용

○ 시험현황

구분	기존조사				실시설계			
	터널	교량	깎기	쌓기	터널	교량	깎기	쌓기
수 량(회)	–	–	9	–	–	–	9	–

○ 기존조사 자료

공 번		심 도 (m)	지 층	A다짐		D다짐		CBR(%)	USCS
				건조단위중량 (kN/m^3)	OMC(%)	건조단위중량 (kN/m^3)	OMC(%)		
1공구	TP-1	1.8	풍화암	18.36	14.2	19.42	10.8	12.8	SM
3공구	TP-2	1.5	풍화암	18.18	14.9	19.36	11.4	12.4	SM
	TP-3	2.0	풍화토	17.72	15.4	18.93	12.7	11.4	SM
4공구	TP-4	2.0	풍화토	17.89	15.5	19.01	12.1	11.7	SM
	TP-5	2.0	풍화암	18.23	14.7	19.38	10.4	12.1	SM
	TP-6	2.0	풍화암	17.82	15.7	18.86	11.9	10.8	SM
1공구	TP-7	2.0	풍화토	18.30	14.9	19.49	10.7	12.5	SM
2공구	TP-8	1.9	풍화토	17.76	16.3	18.74	12.5	10.6	SM
4공구	TP-9	2.0	풍화토	17.92	16.1	18.82	12.0	10.3	SM

○ 실시설계 시험결과

공 번		심 도 (m)	지 층	A다짐		D다짐		CBR(%)	USCS
				건조단위중량 (kN/m^3)	OMC(%)	건조단위중량 (kN/m^3)	OMC(%)		
1공구	TP-1	1.0	풍화토	16.94	15.9	18.54	12.7	13.2	SM
	TP-2	1.0	풍화토	17.30	14.8	18.87	11.9	13.7	SM
	TP-3	1.0	풍화토	17.39	13.8	19.05	11.1	16.5	SM
2공구	TP-4	1.0	풍화토	17.86	13.2	19.49	10.3	17.2	SM
3공구	TP-5	1.0	풍화토	18.36	12.3	19.76	9.8	18.1	SM
	TP-6	1.0	풍화토	17.57	15.6	19.06	12.2	15.2	SM
	TP-7	1.0	풍화토	17.82	14.1	19.39	11.4	16.9	SM
4공구	TP-8	1.0	풍화토	17.19	14.9	18.77	11.8	14.2	SM
	TP-9	1.0	풍화토	17.66	14.3	19.13	11.5	16.1	SM

분석결과

- 건조단위중량은 A다짐:16.94~18.36kN/m^3(평균 17.6), D다짐:18.54~19.76kN/m^3 (평균 19.1)로 나타남
- CBR는 10.3~18.1%(평균 15.7%)의 범위로 나타남

4.8 실내암석시험

4.8.1 암석기본물성 및 일축압축시험

개 요

- 시추조사시 채취된 대표적 시료에 대하여 암석의 물리적 성질과 일축압축강도 측정
- 지층 및 암종별로 물리·역학적 특성을 규명하고 안정성검토 및 설계지반정수 산정시 활용

○ 시험결과

구 분	공 번	심 도 (m)	지 층	단위중량 (kN/m^3)	탄성파속도(m/s)		일축강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)	포아송비
					P파	S파			
강매 터널	BH-29	14.1~14.4	연 암	23.52	822	540	7.9	11,490	0.30
	BH-29	18.5~18.6	연 암	26.85	5,524	3,564	78.4	52,080	0.18
	BH-30	12.0~12.3	연 암	27.24	5,313	3,578	117.3	61,600	0.33
	BH-30	18.3~18.5	연 암	27.27	5,492	3,616	138.0	74,280	0.21
	BH-31	14.0~14.2	연 암	25.41	3,870	21,44	8.6	8,450	0.25
	BH-31	26.7~26.8	보통암	27.26	5,588	3,786	124.3	64,740	0.32
	BH-32	19.4~19.5	연 암	25.90	4,602	2,873	83.6	66,390	0.26
	BH-32	22.4~22.5	연 암	26.56	5,826	4,131	209.3	76,880	0.27
	BH-33	5.9~6.1	연 암	26.04	4,395	2,732	35.1	31,610	0.19
	BH-33	13.9~14.3	경 암	26.58	4,696	2,911	37.2	36,090	0.28
	BH-34	3.3~3.5	보통암	26.27	5,245	3,395	71.7	43,160	0.26
	BH-34	10.9~11.0	경 암	26.98	5,462	3,460	34.2	28,670	0.17
	BH-35	5.1~5.3	경 암	27.01	5,396	3,597	88.3	51,590	0.16
	BH-35	9.1~9.4	경 암	26.85	5,563	3,801	160.1	87,270	0.21

■ 지층별 결과분석

구 분	단위중량 (kN/m^3)	탄성파속도(m/s)		일축강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)	포아송비
		P파	S파			
연 암	23.5~27.3	822~5,908	540~4,131	7.9~209.3	8,449~133,088	0.18~0.33
보통암	26.3~27.3	4,679~5,588	2,485~3,786	25.4~124.3	31,981~64,741	0.25~0.32
경 암	26.5~27.1	4,662~6,360	2,764~4,175	34.2~194.8	26,716~156,165	0.13~0.38

교량구간

구 분	공 번	심 도 (m)	지 층	단위중량 (kN/m^3)	탄성파속도(m/s)		일축강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)	포아송비
					P파	S파			
강매교	BH-1	25.2~25.3	경 암	26.64	4,297	2,683	99.0	37.63	0.20
	BH-3	44.3~44.5	연 암	26.38	4,429	2,713	147.1	50.52	0.24
강매 2교	BH-21	32.2~32.4	연 암	27.08	4,567	2,931	107.3	34.46	0.18
강매3교	BH-27	18.5~18.65	연 암	27.08	2,882	1,737	69.2	27.83	0.26
행신1교	BH-42	5.8~6.0	연 암	26.05	4,661	2,878	67.3	53.61	0.49
행신IC R-A1교	BH-59	16.0~16.15	연 암	26.77	4,048	2,394	78.5	39.88	0.23
원흥1교	BH-77	42.7~43.0	보통암	27.93	4,917	3,079	110.6	41.17	0.21
성사4교	BH-92-1	19.0~19.2	보통암	26.39	5,122	3,297	157.1	49.36	0.24
	BH-93-1	18.6~18.8	연 암	26.18	3,461	2,040	48.6	22.38	0.27
현천IC R-B교	BH-318-1	28.1~28.5	연 암	25.86	4,366	2,724	111.6	33.43	0.33
	BH-320	32.4~32.6	연 암	27.07	4,674	2,839	71.8	37.28	0.29
	BH-328	25.0~25.1	연 암	27.38	4,518	2,868	114.2	37.93	0.20
	BH-330	24.8~25.0	보통암	26.77	3,561	2,104	37.3	23.01	0.25
현천IC R-A교	BH-331	25.4~25.5	연 암	26.47	3,937	–	73.0	25.69	0.25
현천교	BH-335	22.7~22.8	연 암	26.56	4,208	2,606	53.2	51.41	0.22
	BH-338	27.0~27.15	연 암	26.65	3,960	2,359	54.6	27.21	0.28
	BH-339	18.3~18.4	연 암	27.18	2,639	2,936	85.9	27.08	0.21
창릉천교	BH-349	38.35~38.5	경 암	26.81	4,032	2,434	55.2	24.34	0.22
	BH-356	17.4~17.5	연 암	25.58	3,942	2,386	107.4	28.58	0.26
	BH-358	20.7~21.0	연 암	25.36	3,726	2,326	117.0	37.56	0.22
	BH-360-1	24.9~25.1	연 암	24.74	2,367	1,353	40.8	9.35	0.31
	BH-361-2	15.8~16.0	연 암	24.95	2,866	1,663	32.8	8.79	0.29

(계속)

구 분	공 번	심 도 (m)	지 층	단위중량 (kN/m³)	탄성파속도(m/s)		일축강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)	포아송비
					P파	S파			
창릉천교	BH-362	10.8~11.0	연 암	26.47	4,611	2,903	98.6	32.60	0.46

■ 지층별 결과분석

구 분	단위중량 (kN/m³)	탄성파속도(m/s)		일축강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)	포아송비
		P파	S파			
연 암	25.52~28.12	1,413~5,175	720~3,452	15.1~160	8.1~55.17	0.17~0.49
보통암	25.68~27.93	2,596~5,183	1,490~3,313	20.0~157.1	10.74~54.28	0.2~0.33
경 암	26.64	4,297	2,683	99.0	37.63	0.2

분석결과

- 연 암 ➜ 일축압축강도: 15.1~160.0MPa, 포아송비: 0.17~0.49 범위로 나타남
- 보통암 ➜ 일축압축강도: 20.0~157.1MPa, 포아송비: 0.2~0.33 범위로 나타남
- 경 암 ➜ 일축압축강도: 99.0MPa, 포아송비: 0.2 범위로 나타남

○ 토공구간

공 번	심 도 (m)	지 층	단위중량 (kN/m³)	탄성파속도(m/s)		일축강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)	포아송비
				P파	S파			
BH-37	12.0~12.2	연 암	26.66	5,102	3,175	80.2	55,81	0.23
BH-98	3.92~4.2	연 암	27.00	4,575	2,695	76.8	49.04	0.26
BH-99	15.7~15.9	경 암	27.47	4,859	3,063	42.0	27.48	0.21
BH-99	17.3~17.5	경 암	26.41	3,539	2,088	39.7	21.76	0.28

■ 지층별 결과분석

구 분	단위중량 (kN/m³)	탄성파속도(m/s)		일축강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)	포아송비
		P파	S파			
연 암	24.75~28.73	1,253~5102	706~3175	14.0~253.3	6.0~55.81	0.15~0.28
보통암	25.09~27.41	1,683~4,844	925~3,097	17.5~133.5	5.56~63.33	0.7~0.32
경 암	25.76~27.47	3,229~4,859	1,973~3,063	39.7~130.6	21.76~45.71	0.21~0.28

분석결과

- 연 암 ➜ 일축압축강도: 14.0~253.3MPa, 포아송비: 0.15~0.28 범위로 나타남
- 보통암 ➜ 일축압축강도: 17.5~133.5MPa, 포아송비: 0.7~0.32 범위로 나타남
- 경 암 ➜ 일축압축강도: 39.7~130.6MPa, 포아송비: 0.21~0.28 범위로 나타남

4.8.2 점하중강도시험

개 요

- 실내암석시험을 통한 일축압축강도와의 상관관계를 도출하여 본 설계지반의 강도분포 산정
- 본 설계구간의 일축압축강도 분포를 통한 암반분류의 기초 자료로 활용

○ 터널구간

구 분	공 번	심 도 (m)	지 층	$I_{s(50)}$ (MPa)	q_u (MPa)	구 분	공 번	심 도 (m)	지 층	$I_{s(50)}$ (MPa)	q_u (MPa)
강매 터널	BH-29	11.7~11.8	연 암	2.59	51.9	강매 터널	BH-32	17.8~17.9	연 암	1.81	36.1
	BH-29	14.0~14.1	연 암	1.98	39.7		BH-32	21.8~22.0	연 암	1.59	31.9
	BH-29	15.0~15.2	연 암	4.79	95.8		BH-32	24.5~24.6	연 암	4.41	88.2
	BH-29	18.6~18.8	연 암	5.60	111.9		BH-33	6.3~6.5	연 암	3.01	60.2
	BH-29	20.8~21.0	연 암	3.19	63.9		BH-33	8.2~8.3	경 암	6.72	134.5
	BH-29	22.6~22.7	연 암	3.00	60.0		BH-33	9.7~9.9	경 암	4.41	88.2
	BH-29	25.5~25.6	연 암	5.98	119.6		BH-33	14.3~14.4	경 암	5.21	104.3
	BH-29	26.5~26.7	연 암	2.40	47.9		BH-33	15.7~15.8	경 암	4.78	95.7
	BH-29	30.2~30.4	연 암	4.21	84.2		BH-33	20.4~20.7	경 암	6.00	119.9
	BH-30	10.3~10.4	연 암	3.01	60.2		BH-33	23.3~23.4	경 암	4.37	87.4
	BH-30	12.3~12.4	연 암	3.96	79.2		BH-33	24.6~24.7	경 암	4.56	91.3
	BH-30	14.8~14.9	연 암	1.60	32.0		BH-33	27.5~27.8	경 암	4.15	83.1
	BH-30	16.3~16.4	연 암	3.19	63.9		BH-34	3.2~3.3	보통암	2.40	47.9
	BH-30	18.5~18.7	연 암	4.40	88.1		BH-34	5.8~5.9	보통암	5.42	108.4
	BH-31	13.9~14.0	연 암	1.99	39.7		BH-34	9.0~9.2	보통암	5.21	104.3
	BH-31	16.4~16.5	연 암	2.82	56.3		BH-34	10.1~10.2	경 암	6.40	127.9
	BH-31	19.8~19.9	보통암	4.40	88.1		BH-34	14.0~14.2	경 암	4.02	80.3
	BH-31	23.5~23.7	보통암	5.00	100.0		BH-35	3.1~3.2	연 암	2.01	40.2
	BH-31	26.9~27.0	보통암	5.59	111.8		BH-35	5.0~5.1	경 암	5.22	104.4
	BH-31	29.7~29.9	보통암	4.80	96.1		BH-35	7.1~7.3	경 암	5.64	112.8
	BH-31	33.2~33.4	보통암	4.40	88.0		BH-35	11.4~11.6	경 암	4.82	96.4
	BH-32	13.6~13.7	연 암	1.61	32.1		BH-35	12.5~12.7	경 암	4.22	84.3
	BH-32	17.3~17.4	연 암	2.01	40.2						

■ 지층별 결과분석

구 분	연암		보통암		경암	
	범위	평균	범위	평균	범위	평균
$I_{s(50)}$(MPa)	1.59~5.98	3.09	2.4~5.59	4.65	4.02~6.72	5.04
q_u(MPa)	31.9~119.6	61.9	47.8~111.8	93.1	80.3~134.5	100.8

깎기구간

구 분	공 번	심 도 (m)	지 층	$I_{s(50)}$ (MPa)	q_u (MPa)
도내 JCT	BH-37	9.7~9.8	연 암	1.60	32.0
	BH-37	13.3~13.4	연 암	4.01	80.2
	BH-37	15.5~15.6	연 암	3.20	64.0
	BH-37	17.8~17.9	보통암	6.99	139.7

구 분	공 번	심 도 (m)	지 층	$I_{s(50)}$ (MPa)	q_u (MPa)
도내 JCT	BH-37	21.8~22.0	보통암	6.79	135.7
	BH-37	23.0~23.2	보통암	5.99	119.8
	BH-37	24.8~25.0	보통암	6.01	120.1
	-	-	-	-	-

지층별 결과분석

구 분	연암		보통암		경암	
	범위	평균	범위	평균	범위	평균
$I_{s(50)}$(MPa)	1.6~4.0	2.9	6.0~7.0	6.4	-	-
q_u(MPa)	32.0~80.2	58.7	119.8~139.7	128.8	-	-

교량구간

구 분	공 번	심 도 (m)	지 층	$I_{s(50)}$ (MPa)	q_u (MPa)
행신3교	BH-49	22.8~22.9	연 암	2.42	48.4
도내교	BH-54	25.1~25.2	연 암	2.56	51.1
도내교	BH-55	18.2~18.3	연 암	1.89	37.9
행신IC R-G교	BH-56	22.5~22.6	연 암	2.71	54.2
행신 IC교	BH-57	18.8~18.9	연 암	2.03	40.6
	BH-58	17.8~17.9	연 암	1.64	32.8
행신IC R-A1교	BH-59	16.5~16.6	연 암	2.83	56.6
행신IC R-A2교	BH-70	35.7~35.8	연 암	1.48	29.7
성사 3교	BH-92	10.3~10.5	연 암	6.54	130.7
	BH-92-2	16.3~16.5	연 암	6.34	126.8
	BH-93	16.9~17.1	연 암	5.19	103.8

구 분	공 번	심 도 (m)	지 층	$I_{s(50)}$ (MPa)	q_u (MPa)
성사3교	BH-93-1	19.3~19.4	연 암	4.10	82.0
현천IC R-B교	BH-318-1	27.7~27.9	연 암	3.04	60.9
	BH-320	33.0~33.1	연 암	2.54	50.7
	BH-324	26.6~26.7	연 암	1.89	37.9
	BH-328	24.9~25.1	연 암	2.81	56.2
	BH-330	23.3~23.4	보통암	3.20	64.0
현천교	BH-335	25.0~25.1	연 암	2.28	45.7
	BH-338	26.0~26.1	연 암	2.05	41.0
창릉천교	BH-350	34.6~34.7	연 암	3.32	66.3
	BH-357	21.6~21.8	연 암	2.21	44.1
-	-	-	-	-	-

지층별 결과분석

구 분	연암		보통암		경암	
	범위	평균	범위	평균	범위	평균
$I_{s(50)}$(MPa)	1.5~6.5	3.0	3.2	3.2	-	-
q_u(MPa)	29.7~130.7	59.9	64	64	-	-

4.8.3 삼축압축 및 인장강도시험

개 요

- 삼축압축 : Mohr-coulomb의 파괴포락선을 작도하여 점착력과 내부마찰각을 파악
- 인장강도 : 원주상 공시체에 선하중을 가하여 압열시켜 간접적으로 암석의 인장강도 측정

○ 시험현황

구분	기존조사				실시설계			
	터널	교량	깎기	쌓기	터널	교량	깎기	쌓기
수 량(회)	4	4	1	–	6	–	12	–

○ 터널구간

■ 기존조사 자료

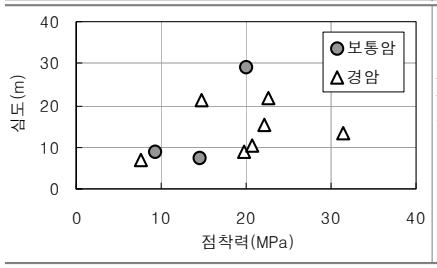
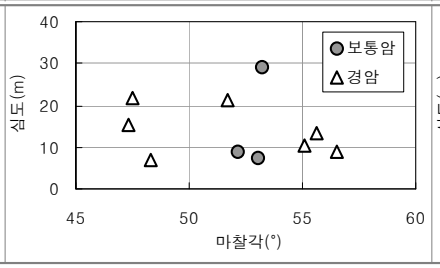
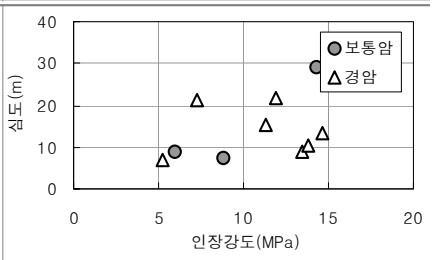
구 분		공 번	심 도(m)	지 층	점착력(MPa)	마찰각(°)	인장강도(MPa)
3공구	문봉터널	TTB-2	15.5~16.5	경 암	22.2	47.3	11.3
4공구	금촌터널	TTB-3	13.5~14.8	경 암	31.5	55.6	14.7
		TTB-4	21.0~22.0	경 암	14.7	51.7	7.3
		TTB-6	21.5~21.95	경 암	22.5	47.5	11.9

■ 실시설계 시험결과

구 분		공 번	심 도(m)	지 층	점착력(MPa)	마찰각(°)	인장강도(MPa)
1공구	강매터널	BH-31	29.0~29.7	보통암	20.0	53.2	14.3
		BH-34	10.2~10.9	경 암	20.8	55.1	13.8
3공구	문봉터널	BH-179	7.3~7.8	보통암	14.6	53.0	8.8
		BH-180	8.8~9.3	경 암	19.7	56.5	13.5
4공구	금촌터널	BH-241	8.8~9.3	보통암	9.2	52.1	6.0
		BH-242	7.1~7.8	경 암	7.6	48.3	5.2

■ 지층별 결과분석

구 분	점착력(MPa)		마찰각(°)		인장강도(MPa)	
	범위	평균	범위	평균	범위	평균
보통암	9.2~20.0	14.6	52.1~53.2	52.8	6.0~14.3	9.7
경 암	7.6~31.5	19.9	47.3~56.5	51.7	5.2~14.7	11.1

점착력	마찰각	인장강도
		

교량구간

기존조사 자료

구 분		공 번	심 도(m)	지 층	점착력(MPa)	마찰각(°)	인장강도(MPa)
3공구	설문IC2육교	BB-33	9.9~10.5	경 암	19.9	50.5	10.1
4공구	금촌육교	BB-45	7.7~8.3	연 암	23.9	50.8	11.9
	능산3교	BB-60	10.3~10.5	보통암	18.9	49.6	9.6

깎기구간

기존조사 자료

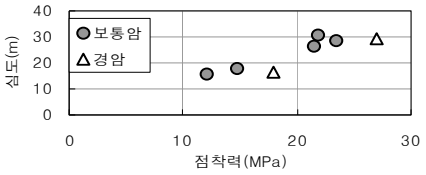
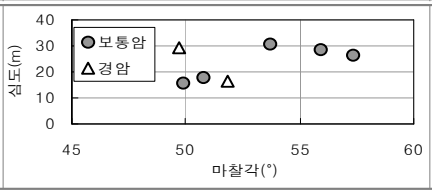
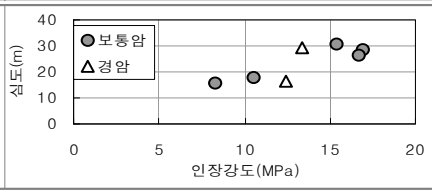
공 번		심 도(m)	지 층	점착력(MPa)	마찰각(°)	인장강도(MPa)
4공구	CCB-5	29.0~32.0	경 암	27.0	49.7	13.4

실시설계 시험결과

공 번		심 도(m)	지 층	점착력(MPa)	마찰각(°)	인장강도(MPa)
1공구	BH-37	17.9~18.6	보통암	14.7	50.8	10.5
	BH-99	16.3~16.8	경 암	11.7	44.6	8.6
2공구	BH-109	15.47~15.77	보통암	12.0	49.9	8.3
3공구	BH-159	16.2~16.8	경 암	18.0	51.8	12.4
	BH-202	25.4~25.9	연 암	9.3	46.3	7.0
4공구	BH-252-1	31.4~32.1	경 암	16.5	50.2	10.9
	BH-282	22.8~22.95	보통암	–	–	15.4
	BH-282	30.9~31.9	보통암	21.8	53.7	–
	BH-284	24.8~24.9	보통암	–	–	16.9
	BH-284	28.85~29.5	보통암	23.4	55.9	–
	BH-287	29.2~29.7	경 암	20.1	53.9	11.8
	BH-293	25.5~26.0	보통암	12.4	47.7	8.0
	BH-298-1	24.8~25.5	경 암	19.1	53.2	11.7
	BH-302	26.7~27.25	보통암	21.5	57.3	16.7

■ 지층별 결과분석

구 분	점착력(MPa)		마찰각(°)		인장강도(MPa)	
	범위	평균	범위	평균	범위	평균
연 암	9.3	9.3	46.3	46.3	7.0	7.0
보통암	9.2~23.4	16.62	47.7~57.3	52.2	6.0~52.1	15.7
경 암	7.6~20.8	16.69	44.6~56.5	52.19	5.2~13.8	10.98

점착력	마찰각	인장강도
		

분석결과 • 점착력은 7.6~31.5MPa, 마찰각은 44.6~57.3, 인장강도는 7.0~15.7MPa 범위 보임

4.8.4 이방성시험

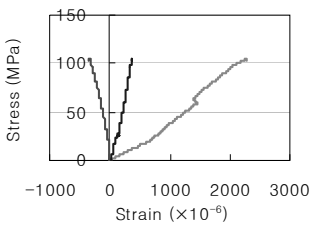
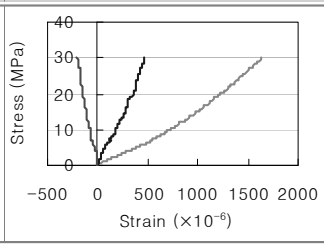
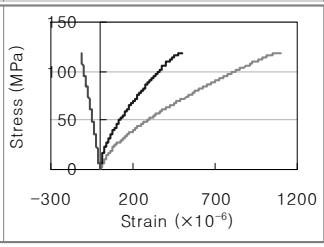
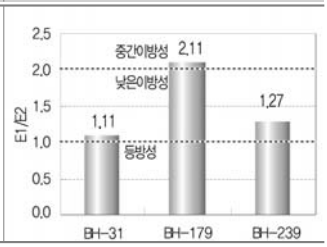
개 요 • 절리상태, 풍화정도, 지하수, 초기응력 등의 영향을 받은 암석에 대해 E_1, E_2 등 이방성 축방향 탄성계수를 측정하여 암석의 이방성 정도를 평가

○ 평가기준

구 분	등방성	낮은 이방성	중간 이방성	높은 이방성	매우 높은 이방성
E_1/E_2	1.0~1.1	1.0~2.0	2.0~4.0	4.0~6.0	> 6.0

○ 실시설계 시험결과

구 분		공 번	심 도(m)	지 층	방향	탄성계수(MPa)	E_1/E_2	마찰각(°)	q_u(MPa)
1공구	강매 터널	BH-31	19.5~19.8	경 암	E_1	65,080	1.11	50.0	104.8
					E_2	58,750			
3공구	문봉 터널	BH-179	10.8~11.1	보통암	E_1	25,360	2.11	57.0	30.0
					E_2	12,020			
4공구	금촌 터널	BH-239	37.9~38.2	경 암	E_1	97,940	1.27	48.0	118.9
					E_2	77,250			

BH-31	BH-179	BH-239	이방성 평가
			

분석결과 • 편마암에 대한 이방성 평가결과 E_1/E_2=1.11~2.11의 범위로 낮은~중간이방성을 보임

4.9 GPR탐사

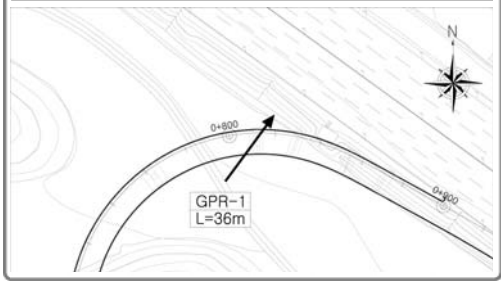
개 요	• 사업구간내 지하매설물 위치와 심도를 파악하여 시공시 기초 자료로 활용

○ 조사위치도

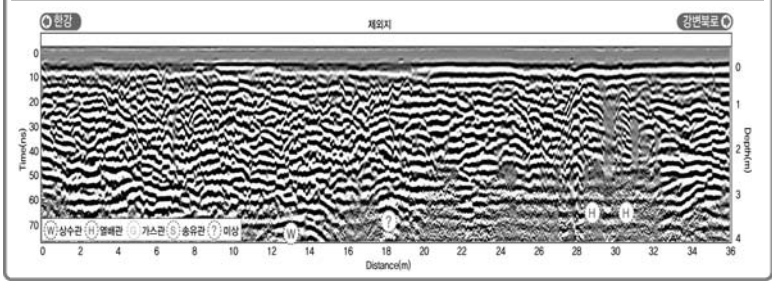
○ 탐사결과

■ GPR-1

상세위치도

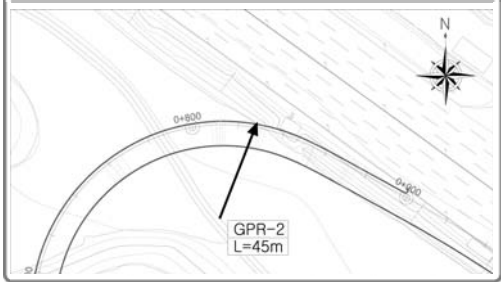


단면도

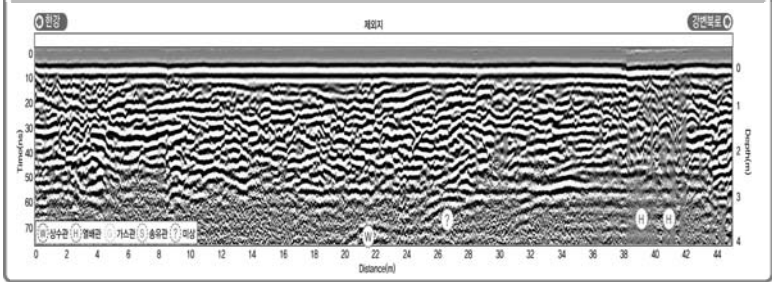


■ GPR-2

상세위치도

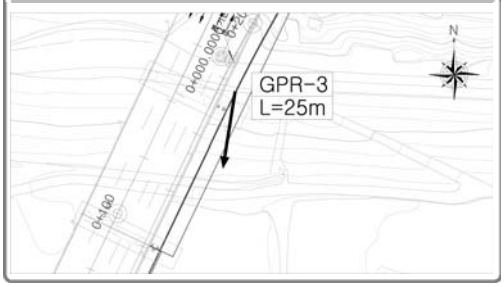


단면도

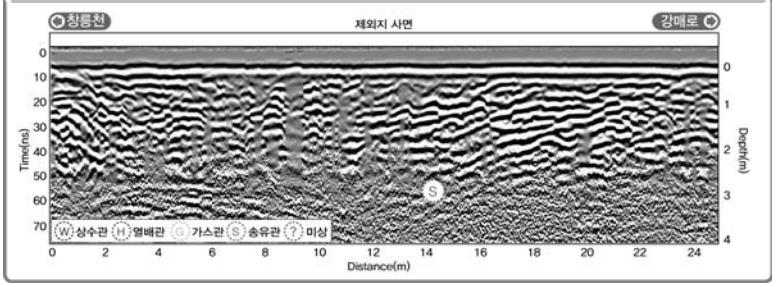


■ GPR-3

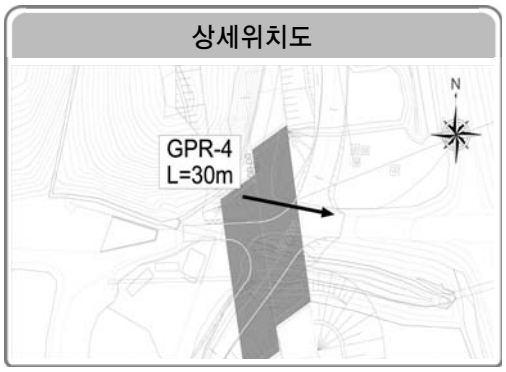
상세위치도

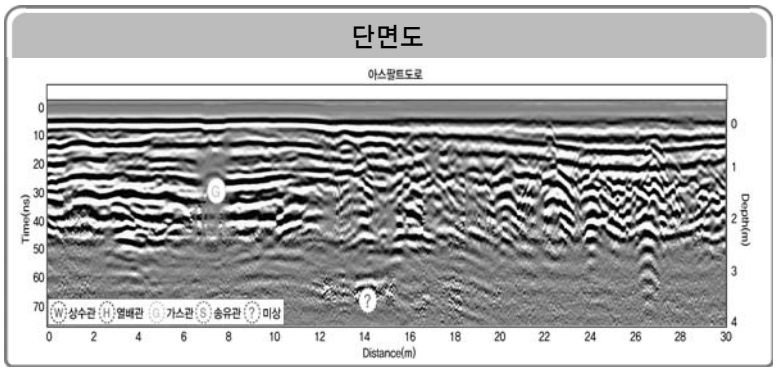


단면도

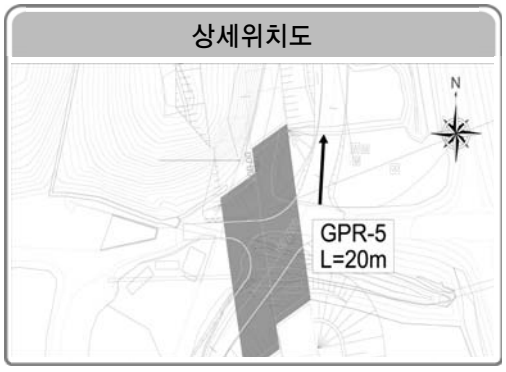


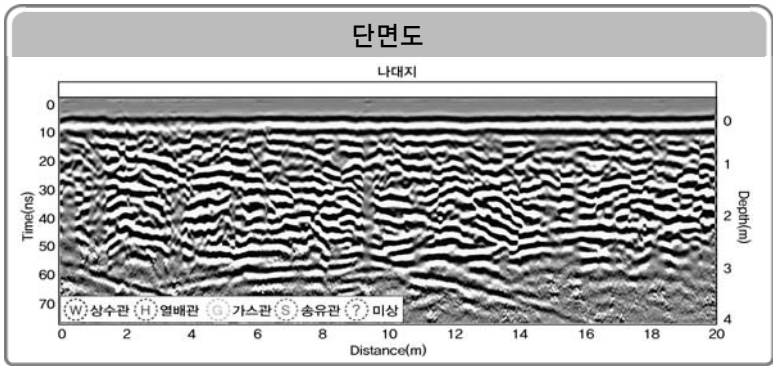
■ GPR-4



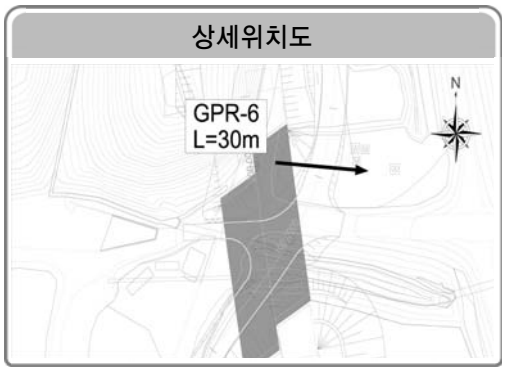


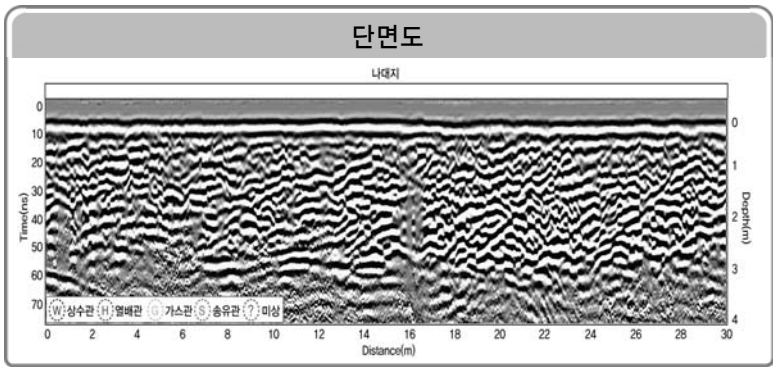
■ GPR-5





■ GPR-6



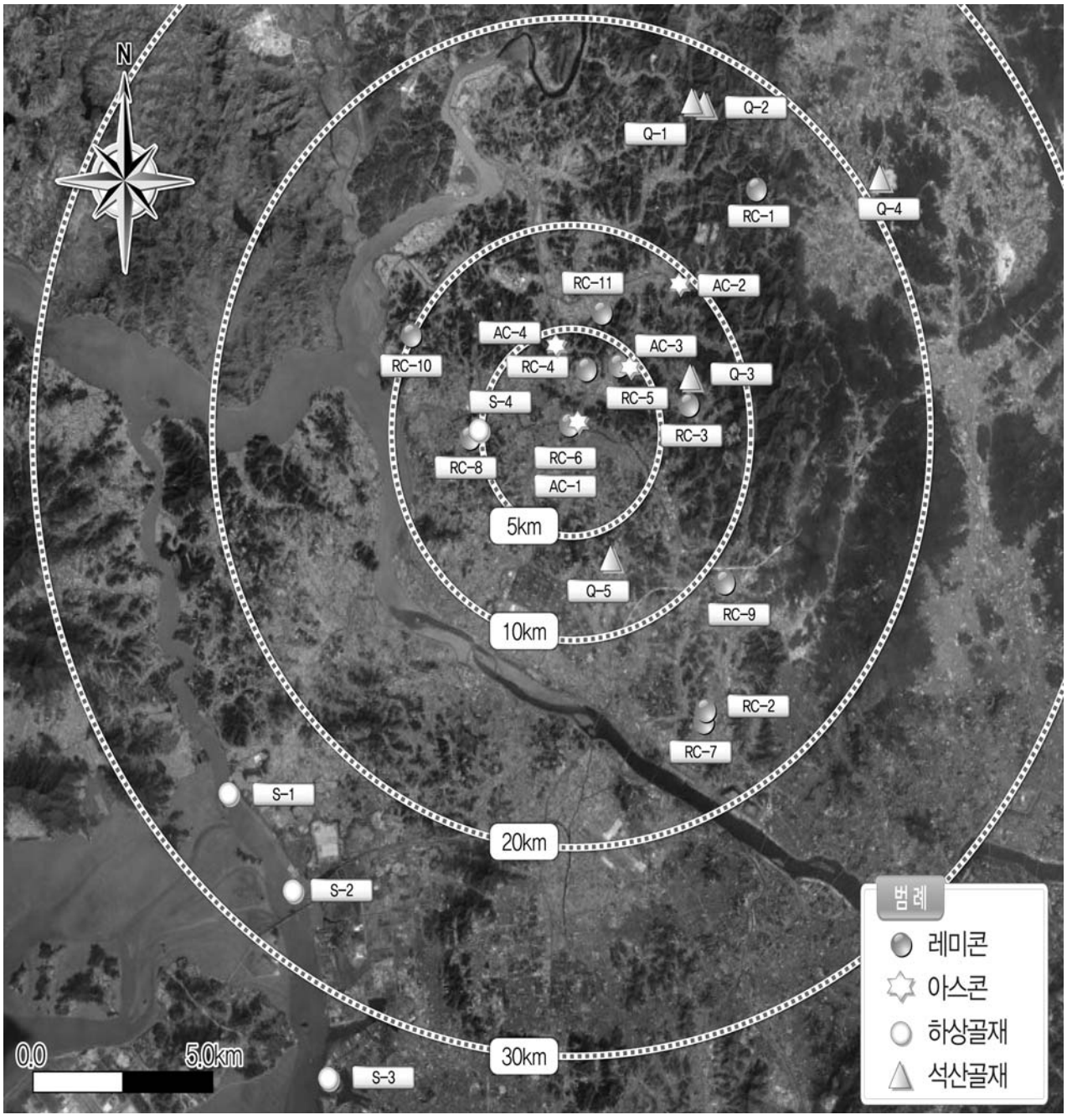


○ 분석결과

구분	분포/심도(m)						비고
	상수관	미상관	열배관1	열배관2	송유관	가스관	
GPR-1	13.0/3.5	18.0/3.2	30.7/3.2	30.7/3.2	–	–	
GPR-2	21.4/3.6	26.7/3.1	38.9/3.2	40.8/3.2	–	–	
GPR-3	–	–	–	–	14.4/2.6	–	
GPR-4	–	14.2/3.2	–	–	–	7.4/1.2	광역상수도관이 탐사심도 이하에 매설되어 있어 측정 불가
GPR-5	–	–	–	–	–	–	
GPR-6	–	–	–	–	–	–	

4.10 재료원조사

4.10.1 재료원 위치 및 현황



구분	레미콘	아스콘	석산골재	하상골재	합계
고양	3		1	–	4
파주	8	4	3	1	16
기타	–	–	1	3	4

레미콘

구 분	업체명	주 소	연락처	생산량 (m^3/hr)	운반거리 (Km)
RC-1	미화콘크리트(주)	경기도 파주시 법원읍 갈곡리 13-1	031-958-8111~4	390	23.9
RC-2	(주)삼표-일산공장	경기도 파주시 광탄면 분수리 205	031-943-0963	480	12.4
RC-3	(주)삼표-서부공장	경기도 고양시 덕양구 도내동 625-5	031-978-8630~1	540	16.1
RC-4	성신양회(주)	경기도 파주시 조리읍 오산리 48-2	031-947-1001	570	8.4
RC-5	신성콘크리트공업(주)	경기도 파주시 월롱면 영태리 787-1	031-945-3381~2	450	8.3
RC-6	(주)신흥	경기도 파주시 금능동 11번지	031-943-1100	420	5.7
RC-7	아주산업(주)	경기도 고양시 덕양구 도내동 625-3	031-971-5111~2	720	18.2
RC-8	(주)우신	경기도 파주시 교하읍 하지석리 439-3	031-941-4900	420	8.2
RC-9	유진기업(주)	경기도 고양시 덕양구 대자동 255-1	031-966-9111	840	18.2
RC-10	(주)파주레미콘	경기도 파주시 탄현면 금산리 345-1	031-942-0171	420	18.15
RC-11	한일산업(주)-파주	경기도 파주시 파주읍 백석리 27번지	031-943-0101	420	10.84

RC-1

RC-3

RC-5

RC-7

RC-9

RC-11

아스콘

구분	업체명	주소	연락처	생산량 (m^3/hr)	운반거리 (Km)
AC-1	신흥아스콘(주)	경기도 파주시 금릉동 11-1번지	031-944-4123	360	5.7
AC-2	(주)대원아스콘	경기도 파주시 광탄면 방축리 5-6	031-941-0871	320	14.9
AC-3	태창아스콘(주)	경기도 파주시 월롱면 영태리 14-12	031-943-7611	280	8.07
AC-4	아스콘플러스	경기도 파주시 월롱면 위전리 546-4	031-945-3381	270	9.15

AC-1	AC-2

AC-3	AC-4

석산

구분	업체명	주소	연락처	생산량 (m^3/hr)	운반거리 (Km)
Q-1	아주산업(주)	경기도 파주시 법원읍 금곡리 산20-2	031-940-4621	6,183,889	25.5
Q-2	유진기업	경기도 파주시 법원읍 금곡리 102-2번지	031-958-8227	5,392,676	25.5
Q-3	(주)삼표 일산사업소	경기도 파주시 광탄면 분수리 206-5	031-943-0963	-	19.0
Q-4	(주)삼표 양주사업소	경기도 양주시 은형면 도하리 산345-7	031-867-6095	-	34.8
Q-5	인선 ENT	경기도 고양시 일산동구 식사동 725-1	031-969-1500	-	10.3

하상골재

구분	업체명	주소	연락처	생산량 (m^3/hr)	운반거리 (Km)
S-1	(주)백석해운	경기도 김포시 대곶면 대벽리 701-1	031-987-6272	8,000	42.32
S-2	(주)삼표	인천광역시 서구 오류동 1469-11	032-576-0038	3,000	50.31
S-3	선광공사	인천광역시 중구 북성동1가 97	032-763-0113	18,000	59.99
S-4	교하환경	경기도 파주시 교하읍 하지석리 438-1	031-943-9988	-	9.5

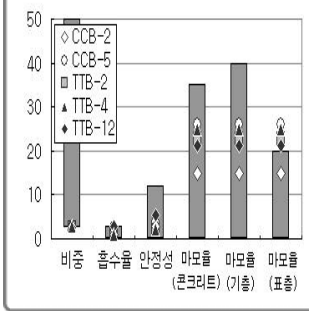
4.10.2 본선발생암 유용성 검토

○ 기존조사 자료

▮ 조골재 적용성 검토

시험종목	구분	기준	본선암				
			CCB-2	CCB-5	TTB-2	TTB-4	TTB-12
비중	콘크리트/포장	2.50이상	2.69	2.61	2.67	2.70	2.65
흡수율(%)	콘크리트/포장	3.00이하	0.81	2.43	1.22	0.87	2.80
안정성(%)	콘크리트/포장	12이하	2.9	3.8	2.5	2.1	5.3
마모율(%)	콘크리트	40이하	14.8	25.8	22.7	25.1	21.3
	포장용 기층/표층	40/25(이하)					

적용성 검토

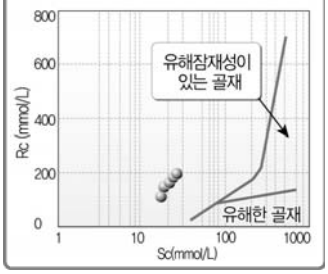


- 본선암 조골재 적용성 검토 결과, 콘크리트 및 포장용 기준에 대부분 만족하는 것으로 나타남
- 포장용 표층용 기준에 일부 부적합한 것으로 나타나므로 시공시 선별하여 사용되어야 할 것으로 판단됨

▮ 알칼리반응 유해성검토

시험종목	구분	본선암				
		CCB-2	CCB-5	TTB-2	TTB-4	TTB-12
알칼리 잠재반응	용해 실리카량 : Sc (mmol/L)	17.09	23.20	21.53	18.09	26.20
	알칼리농도의 감소량 : Rc (mmol/L)	111.9	184.5	162.8	148.6	195.4

골재 유해성

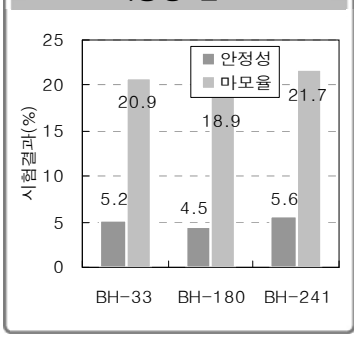


- 골재 유해성 검토결과 알칼리 잠재반응에 무해한 것으로 나타남

○ 실시설계조사 자료

시험종목	구분	기준	본선암		
			BH-33	BH-180	BH-241
비중	콘크리트/포장	2.50이상	2.68	2.65	2.73
흡수율(%)	콘크리트/포장	3.00이하	0.44	0.59	0.45
안정성(%)	콘크리트/포장	12이하	5.2	4.5	5.6
마모율(%)	콘크리트	40이하	20.9	18.9	21.7
	포장용 기층/표층	40/25(이하)			

적용성 검토



- 본선암 조골재 적용성 검토 결과, 콘크리트 및 포장용 기준에 모두 만족하는 것으로 나타남

제5편 성과분석 및 설계지반정수

제1장 지질이상대 및 균질절리영역분석

제2장 구간별 성과분석

제3장 설계지반정수 산정

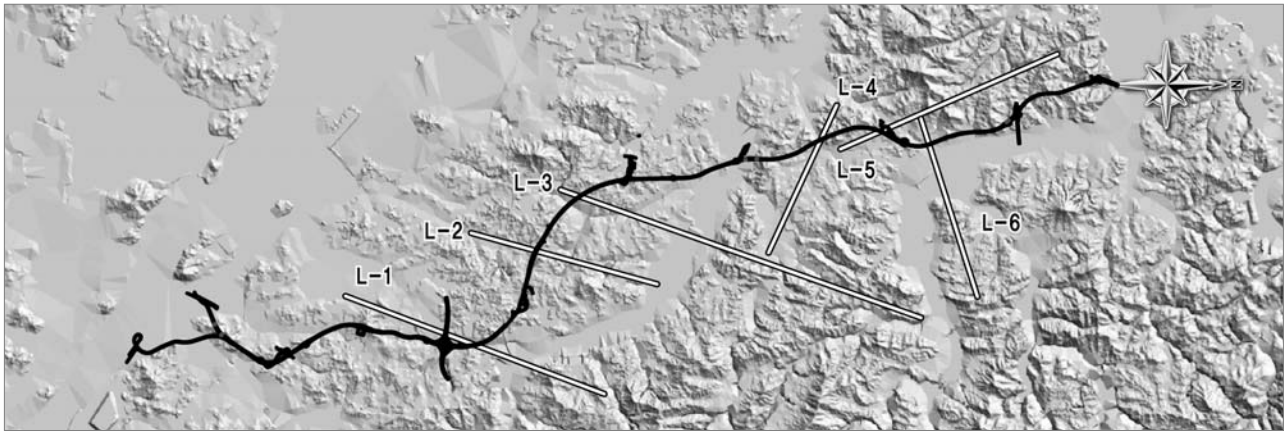
제 1 장 지질이상대 및 균질절리영역분석

1.1 지질이상대 분석 및 지질 Domain 구분

1.1.1 지질이상대 분석

기본방향	• 교량 및 터널구조물에 영향을 주는 파쇄대 및 단층대 등 지질이상대 파악 • 선구조분석 및 지표조사, 물리탐사, 시추조사 등 다양한 방법을 통하여 지질이상대 정밀 파악

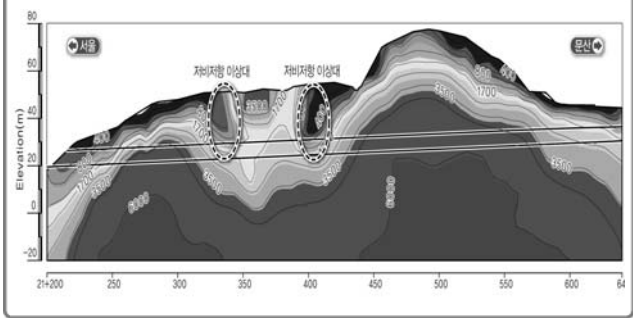
○ 교차 선구조 및 지표지질조사에 의한 지질이상대 분석



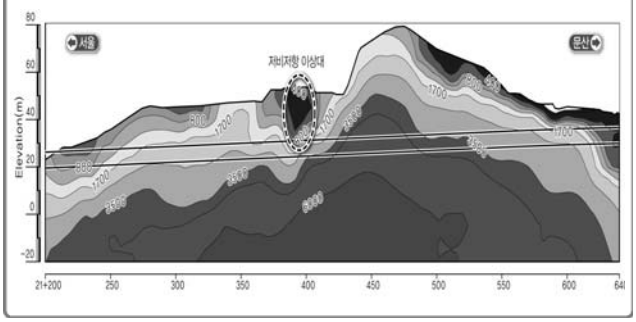
구 분	교차위치(STA)	방 향	교차각(°)	해당 구조물
L - 1	6+300	N20E	12	깎기부(휴게소)
L - 2	13+200	N14E	87	쌓기부
L - 3	15+130	N18E	66	쌓기부
L - 4	21+640	N64W	66	금촌터널(종점부)
L - 5	25+850	N22W	62	쌓기부
L - 6	26+370	N82E	42	쌓기부

○ 물리탐사(전기비저항)에 의한 지질이상대 분석

금촌터널 상행선



금촌터널 하행선

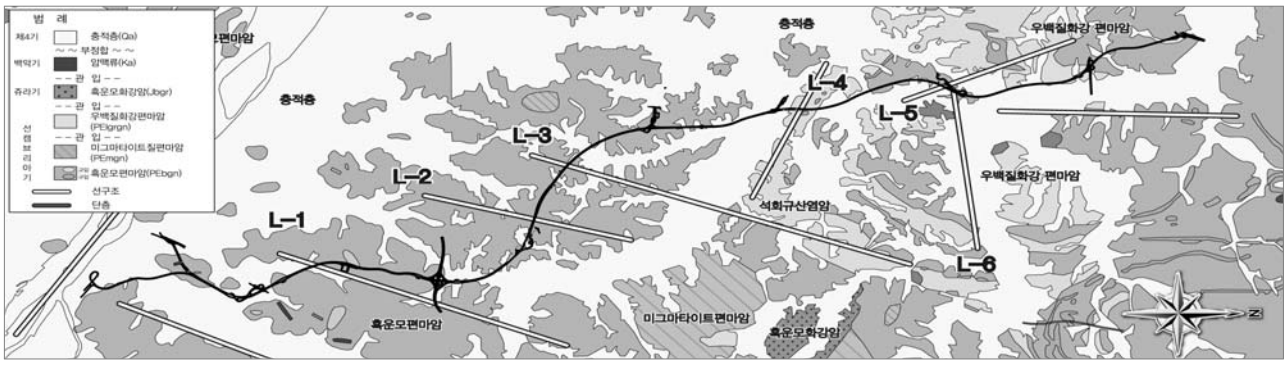


• 저비저항이상대는 하행 : 1개소, 상행 : 2개소로 총 3개소가 분포하며, 터널 계획고 상부에 존재할 것으로 판단됨
• 하행 STA. 21+390에 400Ω m이하의 저비저항이상대가 나타나는데 이는 암질의 변화 또는 소규모 파쇄대의 영향

○ 시추조사에 의한 파쇄대 및 단층대 분석

구 분		위 치(STA.)	구 간(m)	특 징	비 고
행신1교	BH-41	2+332.9	11.2~11.8	Slickenside 발달	
성사5교	BH-94-1	5+845.3	13.6~16.0	파쇄발달 및 점토 충진	L-1 인접
토공부	BH-99	6+475.2	13.6~15.3	Slickenside 및 수직절리 발달	
고양 JCT	BH-115	9+300 부근	9.3~16.2	Slickenside 발달, 단층점토 충진	L-1 인접
	BH-117	9+300 부근	10.2~13.5	Slickenside 발달, 단층점토 충진	L-1 인접
	BH-124	9+300 부근	20.5~21.5	Slickenside 발달, 점토 충진	L-1 인접
원당천1교	BH-149	10+490.0	9.4~12.0	Slickenside 및 파쇄 발달, 점토 충진	
사리현IC	BH-160	11+900 부근	10.0~15.5	차별풍화에 의한 암반내 토사화	
토공부	BH-170	12+927.7	10.3~13.3	파쇄대 분포, 차별풍화에 의한 토사화	
문봉터널	BH-179	13+753.0	9.0~12.5	부분적 Slickenside 발달	
토공부	BH-191	15+543.5	10.5~11.7	Slickenside 발달, 부분적 토사화	L-3 인접
성석1교	BH-191-1	15+562.6	8.0~11.0	Slickenside 발달, 부분적 토사화	
장진천2교	BH-219-1	19+593.2	20.1~23.1	Slickenside 발달, 차별풍화 발달	
금촌터널	BH-241	21+640.0	6.5~7.0	부분적 Slickenside 발달, 공동발달	L-4 인접
토공부	BH-284	29+110.0	6.0~19.6	부분적 파쇄대 및 차별풍화 발달	

○ 지질이상대 종합분석



구 분	교차위치 (STA.)	조 사 내 용				예상폭 (m)	조 사 결 과	사업노선과 영향
		선구조	지표조사	물리탐사	시추조사			
L - 1	6+300	◎	◎	-	◎	3~5m 내외	소규모 단층파쇄 발달	토공구간(휴게소)/고양JCT 주변지역 파쇄대 발달 예상
L - 2	13+200	◎	◎	-	-	-	-	영향 없음
L - 3	15+130	◎	-	-	◎	1m 내외	차별풍화 발달	영향 없음
L - 4	21+640	◎	◎	-	◎	1m 내외	부분적 차별풍화 발달	영향 없음
L - 5	25+850	◎	◎	-	-	-	-	영향 없음
L - 6	26+370	◎	-	-	-	-	-	영향 없음

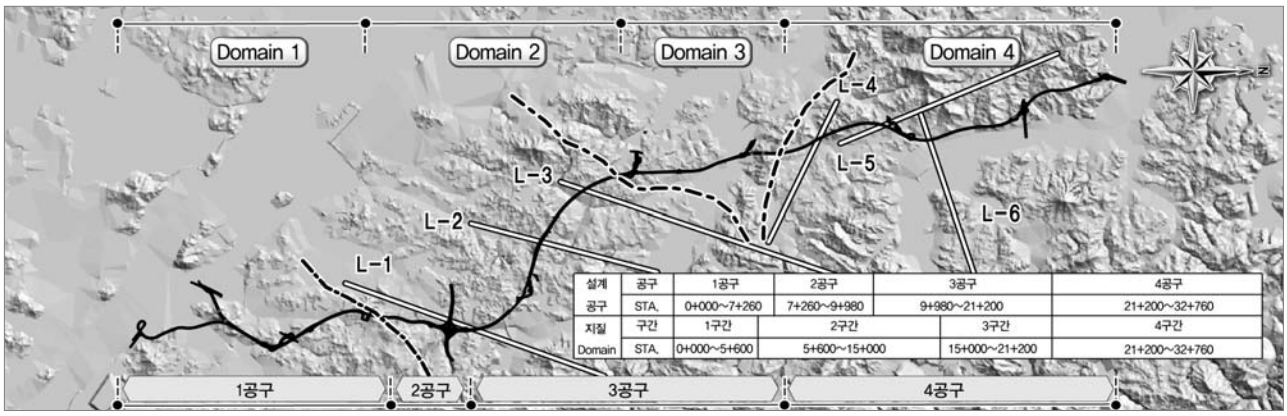
분석결과

- 선구조 L-1은 주변부의 시추조사 결과 단층활면(Slickenside)을 동반한 파쇄대가 발달하므로 토공구간(휴게소) 및 고양JCT 주변지역에 소규모 단층파쇄대가 발달할 가능성이 있음
- 선구조 L-2~6은 상세조사 결과 부분적 파쇄대 및 차별풍화에 기인한 지층 이상대만 확인되며, 구릉지성 산지 계곡부를 통과하는 토공구간으로 지질이상대의 영향은 미미할 것으로 판단됨

1.1.2 지질 Domain 구분

기본방향	• 사업구간의 지형과 지질특성을 비교·분석하여 동일한 지질특성을 보이는 지질 Domain 구분 • 지질 Domain별 설계지반정수 적용구간 선정 및 균질절리영역분석시 1차적 분류요소로 활용

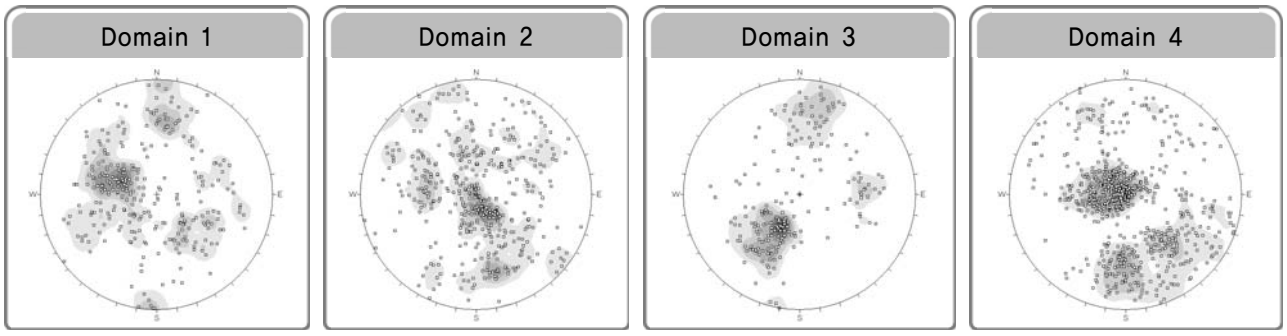
○ 선구조 및 지형특성 분석



설계 공구	1공구	2공구	3공구	4공구
공구 STA.	0+000~7+260	7+260~9+980	9+980~21+200	21+200~32+760

지질 구간	1구간	2구간	3구간	4구간
Domain STA.	0+000~5+600	5+600~15+000	15+000~21+200	21+200~32+760

○ 불연속면 방향 분석



○ 지질 Domain 구분

구 분	Domain 1	Domain 2	Domain 3	Domain 4
STA.(km+m)	• 사업시점~5+600	• 5+600~15+500	• 15+500~21+200	• 21+200~사업종점
지질분포	• 편마암 분포	• 편마암 분포	• 편마암 분포, 주변 미그마 타이트편마암 발달	• 편마암 분포 • 주변 석회규산염암 분포
선구조 특성	• 한강/창릉천 수계 방향 NE~NW 선구조 발달	• 공릉천 주변 NNE방향 선구조 발달 • 선구조 L-1~3 발달	• 공릉천 주변 NW방향 선구조 발달	• 월롱산 주변 NE~NW 방향 선구조 발달 • 선구조 L-4~6 발달
지층분포 특성	• 풍화대 깊게 발달 • 창릉천주변 점토/실트 분포	• 부분적 풍화대 발달 • 점토/실트 발달 미약	• 공릉천주변 점토 발달 • 지역적 지층편차 심함	• 부분적 풍화대 발달 • 점토/실트 발달 미약
지형적 요소	• 한강 및 창릉천 주변 퇴적지대 발달	• 공릉천주변 구릉지성 산지 발달	• 공릉천주변 퇴적지대 및 구릉산지 발달	• 월롱산 측면부 통과
사업공구	1공구	2공구	3공구	4공구

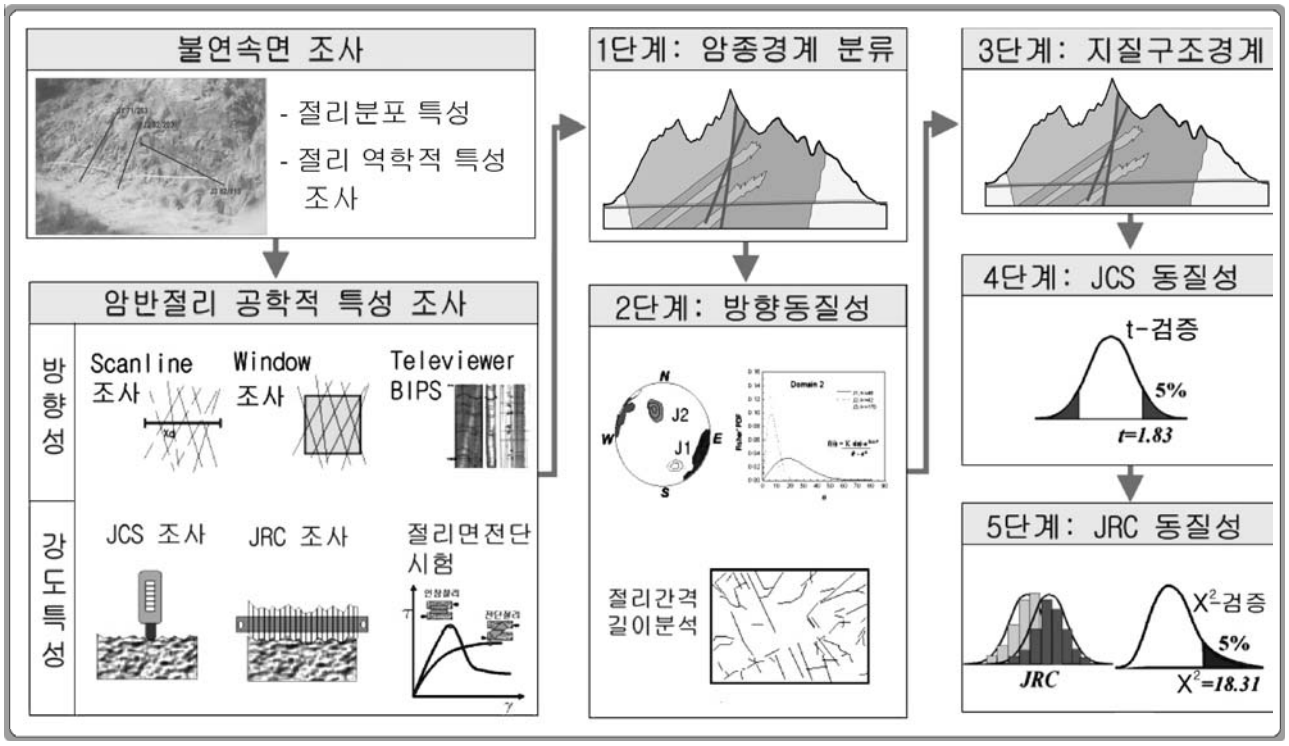
분석결과	• 지질 Domain은 지질분포와 선구조 및 지형적 요소를 고려하여 4개 구간으로 구분 • 지질 Domain과 사업공구 구간의 차이는 있으나 지질 Domain을 기준으로 각 구간별 설계정수

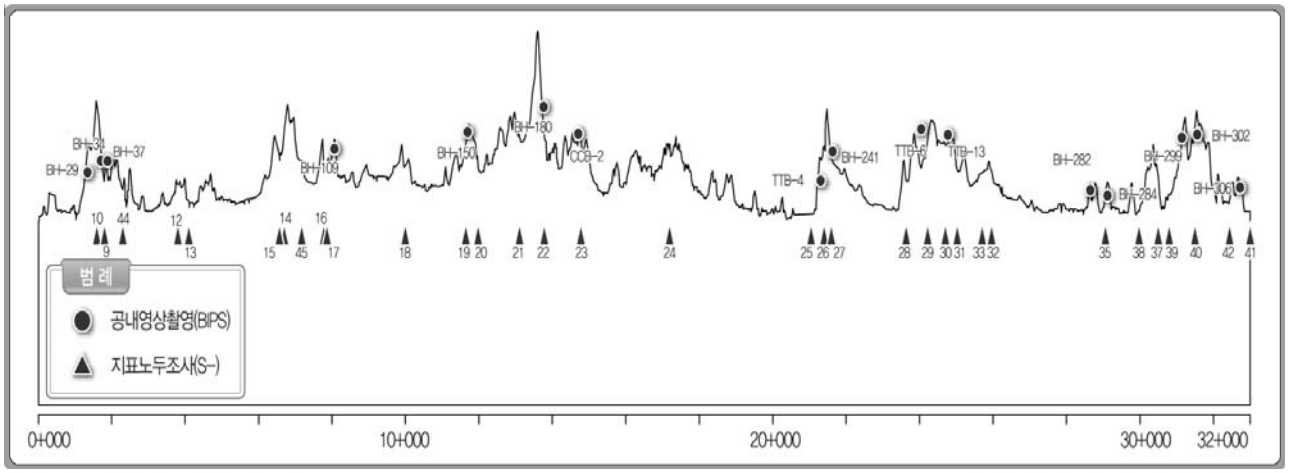
1.2 균질절리영역(HFD) 분석

1.2.1 수행흐름 및 분석방법

○ 중점분석사항

- 터널구간 및 깎기 구간은 불연속면등 공학적 특성이 터널 설계에 중요한 역할을 함
- 특히 터널과 같은 선형암반구조물은 전체 노선을 따라 불연속면의 공학적 특성이 서로 다른 구간이 나타날 가능성이 있음
- 따라서 불연속면의 주요특징인 방향, 간격, 강도 등이 동질성을 보이는 구간 설정 필요
- 기존에는 절리방향성만을 가지고 영역(Domain)을 구분하였으나, 본 조사에서는 절리방향성 외에 역학적 특성(JCS, JRC)을 반영한 균질절리영역(Homogeneous Fracture Domain, HFD)으로 구분하는 접근법 선택
- 노선 전 구간을 대상으로 ① 암석의 종류 ② 지질구조대 ③ 절리방향 ④ 절리면강도 ⑤ 절리거칠기를 우선 순위로 선택하여 통계학적 검증 및 분석단계를 통해 균질절리영역(HFD)으로 분류





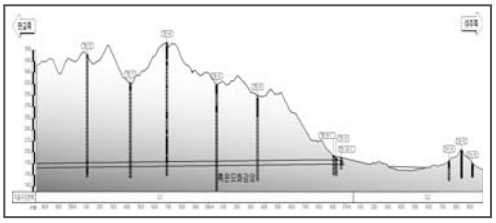
○ 분석방법 및 조사자료

▌균질절리영역 구분 순서

- 균질절리영역 구분은 암종, 절리군 방향성, 지질구조대, 절리면강도(JCS) 및 절리거칠기(JRC) 등의 항목을 조사하여 우선순위에 따라 단계적으로 각 항목별 동질성을 보이는 영역을 파악하고 최종적으로 균질한 절리특성을 보이는 영역으로 균질절리영역으로 구분하였으며, 이를 위해 다음의 지반조사를 수행하였음
  - 암종, 지질구조대 : 문헌조사, 위성영상분석, 시추조사, 물리탐사
  - 절리방향성 : 터널 및 깎기 구간인근 총 33곳에서 지표노두 불연속면조사를 통한 지표절리의 방향자료 획득
    터널 및 깎기 구간에 위치한 총 20공(기존조사:5개소, 실시설계:15개소)에서 공내영상촬영을 통한 지중절리의 방향자료 획득
  - 강도특성 : 시추코어 및 지표노두에 대한 JCS, JRC 측정과 일부 시추 코아에 대한 절리면 전단시험
- 최종적으로 파악된 균질절리영역은 이후 불연속체 해석을 통해 설계에 반영

– 1단계 : 암종에 따른 영역구분과 영역경계설정을 위한 지질구조대 파악

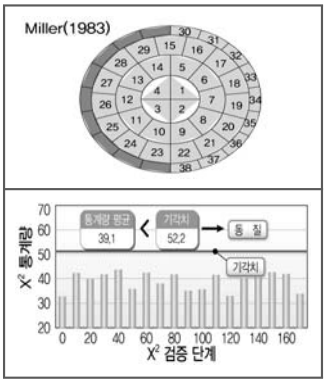
- 절리의 생성은 암석의 생성과 밀접한 관계를 가지므로, 터널구간을 동일 암종이 나타나는 영역들로 구분하며 이후 절리특성별 경계는 위성영상 분석, 지표지질조사 및 물리탐사를 통해 파악된 지질구조선과 시추조사에서 확인된 지질구조대를 바탕으로 결정함



– 2단계 : 절리방향성의 동질성 판단

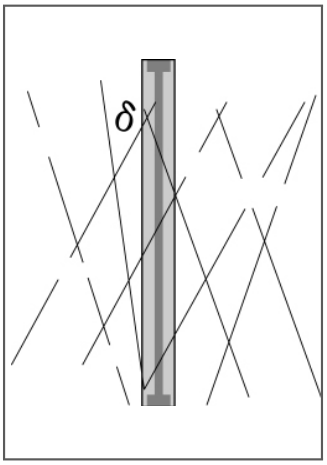
• Miller Patch를 이용한 방법(공내영상촬영 자료 이용)

방 법	• 암종이 동일하면 절리의 방향성이 동일할 가능성이 크므로, 암종에 따라 인접 시추공에서 측정한 절리방향의 동일성을 검토 • 터널별로 공내영상촬영을 수행하고, 지표지질조사 시 측정된 절리들의 방향성과 비교하여 결정
동질성 판단법	• 공내영상촬영에서 획득된 지중절리방향자료에 대해 시추공별 절리 방향성의 동질성 여부를 판단하여, 절리 방향성이 동일한 것으로 나타나는 영역들을 구분함



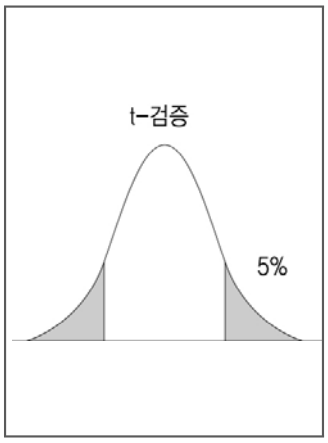
• 두 절리군의 법선벡터간 사이각을 이용한 방법(지표노두조사 자료 이용)

방 법	• 동일 암종의 경우 동일한 지질환경과 지구조운동을 겪었으므로 절리 방향성이 유사할 확률이 높음 • 공내영상촬영에서 획득된 지중절리 방향 자료에 대해 각각 노두별, 시추공별 절리 방향성의 동질성 여부를 판단, 절리 방향성이 동일한 것으로 나타나는 영역들로 구분함
동질성 판단법	• 각 절리군의 법선벡터간의 사이각(δ)을 구한 후 가중치 부여 ⇒$\delta < 10^\circ$: 3점, $10^\circ \le \delta < 20^\circ$: 2점, $20^\circ \le \delta < 30^\circ$: 1점, $30^\circ \le \delta$: 0점 • 두 시추공의 절리군 수 중 최대 절리군 수에 최대 점수 3을 곱한 것을 분모로 하고, 절리군의 법선벡터간 사이각에 부여된 가중치의 합을 분자로 한 점수를 기준으로 동질성 판단⇒점수가 클수록 절리방향 동질성이 높음



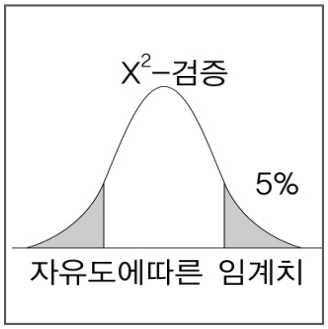
– 3단계 : 절리면강도(JCS) 특성에 따른 동질영역 구분 (t–검정 적용)

방 법	• 시추코어에 대한 슈미트해머 타격을 통해 절리면 압축강도(JCS)를 측정하여 동질성 여부를 판단하여 동일한 절리면 압축강도를 보이는 영역으로 구분함
동질성 판단법	• 인접 시추공에서 획득된 절리면강도 자료에 대해 F–검정을 실시하여, 두 자료간의 등분산 가정여부를 검증 • F–검정 이후 적합한 통계모형을 결정하고, 이에 맞는 t–검정을 실시 • 유의수준 0.05에 대한 기각치보다 검정통계량이 작으면 두 시추공의 절리면강도 사이에 동질성이 존재하고 역으로 검정통계량이 크면 동질성이 존재하지 않는 것으로 판단함



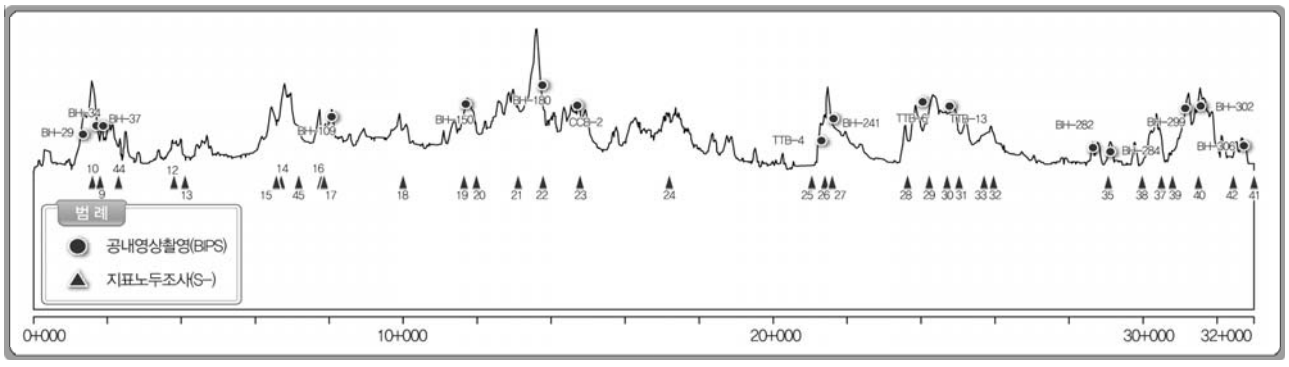
– 4단계 : 절리거칠기(JRC) 특성에 따른 동질영역 구분 (카이제곱(X^2) 검정 적용)

방 법	• 시추코어 절리면에서 프로파일게이지를 통해 획득된 절리면 거칠기(JRC)에 대해 동일한 거칠기 특성을 보이는 영역으로 구분함
동질성 판단법	• 절리거칠기를 프로파일게이지로 측정한 후 Barton의 10개 표준거칠기 단면과 비교하여 절리거칠기계수(Joint Roughness Coefficient, JRC) 산정 • JRC는 0~20 범위내의 값을 가지므로 일종의 범주형 변수이므로 X^2– 검정을 통해 인접한 두 시추공의 절리면 거칠기 특성의 동질성 여부를 판단함



조사자료

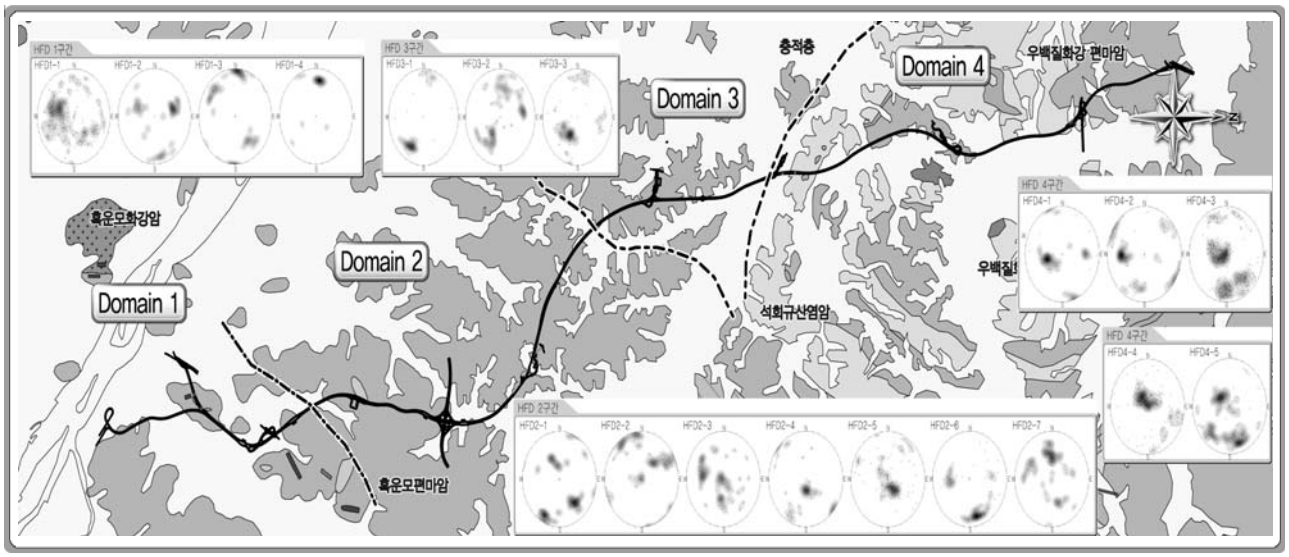
구 분	공내영상촬영(BIPS)		지표 노두조사	비 고
	기존조사	실시설계		
수 량	5 공	15 공	33개소	
위 치	TTB–4, 6, 13, 14 CCB–2	BH–29, 34, 37, 99, 109, 159, 180, 241, 282, 284, 287, 293, 299, 302, 306	S–9~45 (S–11, 34, 36 43 제외)	
JCS 측정	–	공당 10회(총 120회)	개소당 10회(총 330회)	
JRC 측정	–	공당 10회(총 120회)	개소당 10회(총 330회)	



• 사업구간의 균질절리 영역 파악을 위하여 BIPS 20개소(기존조사:5개소, 실시설계:15개소), 지표노두조사(33개소) 및 JCS(지표노두조사 : 개소당 10회, 총 330회), JRC(지표노두조사 : 개소당 10회, 총 330회)를 시행하여 분석

1.2.2 동질성 검토결과

○ 지질분포 및 지질구조에 따른 동질성 분석



○ 절리방향에 따른 동질성 분석

■ Miller Patch 방법(공내영상촬영)

구 분		0°	20°	40°	60°	80°	100°	120°	140°	160°	170°	X^2합 평균	우측 p값	검 증
BH-29 vs BH-34	BH-29	18.4	17.8	18.9	22.2	20.5	19.8	20.0	17.9	16.2	21.4	45.4	0.074	동 질
	BH-34	25.2	24.4	25.9	30.4	28.1	27.2	27.4	24.5	22.1	29.4			
BH-34 vs BH-37	BH-34	45.3	51.4	41.4	48.5	55.2	39.3	48.1	50.3	37.4	53.7	62.6	0.001	비동질
	BH-37	15.7	17.8	14.3	16.8	19.1	13.6	16.6	17.4	12.9	18.6			
BH-37 vs BH-109	BH-37	14.1	13.9	14.4	14.2	14.2	15.0	15.3	13.4	14.2	14.3	45.1	0.079	동 질
	BH-109	30.1	29.6	30.9	30.3	30.4	32.1	32.6	28.6	30.3	30.5			
BH-109 vs BH-159	BH-109	44.0	38.1	38.8	43.5	39.5	39.6	43.3	37.9	38.8	40.7	68.9	0.000	비동질
	BH-159	31.2	27.0	27.5	30.8	28.0	28.0	30.7	26.8	27.5	28.8			
BH-159 vs BH-180	BH-159	54.4	50.9	51.9	54.3	50.7	51.6	53.5	51.0	51.9	50.8	124.0	0.000	비동질
	BH-180	74.7	69.9	71.2	74.5	69.6	70.9	73.5	70.0	71.3	69.8			
BH-180 vs CCB-2	BH-180	38.7	41.2	39.9	38.1	41.3	40.0	38.2	41.3	40.2	40.2	91.1	0.000	비동질
	CCB-2	50.1	53.2	51.6	49.3	53.5	51.7	49.4	53.5	52.0	51.9			
CCB-2 vs TTB-4	CCB-2	20.4	19.5	18.6	19.2	18.6	18.9	20.4	19.5	19.8	21.7	45.3	0.075	동 질
	TTB-4	26.9	25.7	24.5	25.3	24.6	24.9	26.9	25.7	26.1	28.5			
TTB-4 vs BH-241	TTB-4	44.2	44.8	50.2	44.6	37.9	41.3	38.2	36.9	43.6	44.5	58.4	0.004	비동질
	BH-241	15.1	15.3	17.1	15.2	12.9	14.1	13.0	12.6	14.9	15.2			
BH-241 vs TTB-6	BH-241	12.1	11.7	10.5	10.4	10.5	9.8	10.9	11.0	10.6	10.5	62.1	0.002	비동질
	TTB-6	55.8	53.9	48.5	48.1	48.6	45.0	50.1	50.8	48.8	48.6			
TTB-6 vs TTB-13	TTB-6	96.3	113.3	111.7	97.9	118.9	128.9	109.3	116.3	117.9	125.4	127.8	0.000	비동질
	TTB-13	8.8	10.3	10.2	8.9	10.8	11.7	9.9	10.6	10.7	11.4			
TTB-13 vs BH-282	TTB-13	90.1	94.1	93.4	90.8	93.8	93.2	90.7	93.8	92.7	92.1	236.0	0.000	비동질
	BH-282	137.4	143.4	142.4	138.4	143.0	142.1	138.3	143.1	141.4	140.5			

구 분		0°	20°	40°	60°	80°	100°	120°	140°	160°	170°	X^2합 평균	우측 p값	검 증
BH-282 vs BH-284	BH-282	76.5	78.9	76.2	78.9	80.8	78.0	77.8	82.2	72.3	75.8	127.6	0.000	비동질
	BH-284	48.8	50.3	48.6	50.3	51.5	49.7	49.6	52.4	46.1	48.3			
BH-284 vs BH-299	BH-284	32.9	29.4	31.4	32.5	29.3	33.3	33.9	30.8	31.5	32.0	123.0	0.000	비동질
	BH-299	93.9	83.9	89.6	92.9	83.6	95.1	96.9	88.0	90.0	91.4			
BH-299 vs BH-302	BH-299	38.6	33.2	33.3	39.2	35.2	35.1	36.1	33.2	32.1	38.2	73.8	0.236	동 질
	BH-302	42.0	36.1	36.3	42.7	38.3	38.2	39.2	36.2	35.0	41.5			
BH-302 vs BH-306	BH-302	39.2	35.1	35.2	39.5	38.5	37.2	39.8	38.2	37.3	40.9	78.5	0.000	비동질
	BH-306	43.0	38.5	38.6	43.4	42.2	40.8	43.7	41.9	40.9	44.9			

■ 절리군 법선벡터에 의한 방법(지표노두조사)

구 분	S-09	S-10	S-12	S-13	S-14	S-15	S-16	S-17	S-18	S-19	S-20	S-21	S-22	S-23	S-24
S-10	7/9														
S-12	3/9	4/9													
S-13	6/9	5/9	3/9												
S-14	1/9	1/9	0/9	2/9											
S-15	6/9	6/9	5/9	6/9	0/9										
S-16	11/9	7/9	2/9	9/9	2/9	6/9									
S-17	3/9	2/9	3/9	6/9	3/9	2/9	6/9								
S-18	6/9	7/9	5/9	5/9	1/9	5/9	5/9	2/9							
S-19	4/9	5/9	4/9	4/9	3/9	3/9	5/9	6/9	5/9						
S-20	9/9	10/9	3/9	5/9	1/9	6/9	8/9	3/9	8/9	5/9					
S-21	7/9	4/9	1/9	8/9	3/9	4/9	10/9	5/9	5/9	5/9	7/9				
S-22	8/9	6/9	2/9	9/9	3/9	5/9	12/9	7/9	4/9	6/9	10/9	11/9			
S-23	9/9	9/9	3/9	7/9	1/9	6/9	11/9	7/9	6/9	4/9	7/9	8/9	10/9		
S-24	4/9	5/9	7/9	6/9	0/9	7/9	3/9	1/9	6/9	4/9	5/9	3/9	2/9	4/9	
S-25	8/9	5/9	3/9	7/9	1/9	5/9	7/9	3/9	6/9	4/9	7/9	6/9	6/9	7/9	4/9

동 질
비 동 질

구 분	S-26	S-27	S-28	S-29	S-30	S-31	S-32	S-33	S-34	S-35	S-37	S-38	S-40	S-41	S-42	S-45
S-27	7/9															
S-28	6/9	8/9														
S-29	3/9	7/9	8/9													
S-30	3/9	5/9	4/9	6/9												
S-31	0/9	0/9	0/9	3/9	2/9											
S-32	4/9	2/9	4/9	4/9	2/9	3/6										
S-33	3/9	3/9	4/9	5/9	3/9	3/6	5/6									
S-34	6/9	9/9	10/9	7/9	7/9	3/6	5/6	8/9								
S-35	9/9	7/9	4/9	9/9	6/9	1/6	4/6	3/9	7/9							
S-37	6/9	7/9	7/9	6/9	5/9	1/6	2/6	4/9	10/9	5/9						
S-38	5/9	5/9	6/9	3/9	3/9	0/6	1/6	3/9	7/9	4/9	7/9					
S-40	6/9	7/9	8/9	6/9	4/9	0/6	4/6	6/9	11/9	7/9	9/9	6/9				
S-41	6/9	6/9	7/9	4/9	3/9	0/6	4/6	4/9	8/9	6/9	7/9	5/9	9/9			
S-42	5/9	6/9	6/9	4/9	3/9	0/6	3/6	3/9	5/9	7/9	5/9	3/9	8/9	7/9		
S-43	4/9	7/9	7/9	4/9	4/9	0/6	2/6	4/9	9/9	4/9	8/9	6/9	8/9	8/9	5/9	
S-44	11/9	9/9	9/9	9/9	5/9	0/6	5/6	5/9	8/9	11/9	7/9	4/9	10/9	9/9	8/9	5/9

동 질
비 동 질

○ 절리벽면강도(JCS) 동질성 분석

▮ 1구간

구 분		t-검정 통계량						단측검정		양측검정		검 정 결 과
		평 균	표준편차	분산	공동분산	자유도	t-통계량	p 값	t 기각치	p 값	t 기각치	
S-09 vs S-10	S-09	76.4	4.70	22.04	46.183	18	3.060	0.0034	1.7341	0.0067	2.1009	비동질
	S-10	67.1	8.39	70.32								
S-10 vs S-12	S-10	67.1	8.39	70.32	61.717	18	4.298	0.0002	1.7341	0.0004	2.1009	비동질
	S-12	52.0	7.29	53.11								
S-12 vs S-13	S-12	52.0	7.29	53.11	39.911	18	9.415	1.12×10^{-8}	1.7341	2.24×10^{-8}	2.1009	비동질
	S-13	25.4	5.17	26.71								
S-13 vs S-14	S-13	25.4	5.17	26.71	21.378	18	-1.064	0.1507	1.7341	0.3014	2.1009	동 질
	S-14	27.6	4.01	16.04								

▮ 2구간

구 분		t-검정 통계량						단측검정		양측검정		검 정 결 과
		평 균	표준편차	분산	공동분산	자유도	t-통계량	p 값	t 기각치	p 값	t 기각치	
S-14 vs S-15	S-14	27.6	4.01	16.04	17.939	18	-1.3×10^{1}	1.1×10^{-10}	1.7341	2.2×10^{-10}	2.1009	비동질
	S-15	51.5	4.45	19.83								
S-15 vs S-16	S-15	51.5	4.45	19.83	26.606	18	-9.142	1.7×10^{-8}	1.7341	3.5×10^{-8}	2.1009	비동질
	S-16	72.6	5.78	33.38								
S-16 vs S-17	S-16	72.6	5.78	33.38	46.022	18	-4.6×10^{-1}	0.3250	1.7341	0.6500	2.1009	동 질
	S-17	74.0	7.66	58.67								
S-17 vs S-18	S-17	74.0	7.66	58.67	43.917	18	14.3403	1.4×10^{-11}	1.7341	2.7×10^{-11}	2.1009	비동질
	S-18	31.5	5.40	29.17								
S-18 vs S-19	S-18	31.5	5.40	29.17	32.056	18	-1.579	0.0658	1.7341	0.1316	2.1009	동 질
	S-19	35.5	5.91	34.94								
S-19 vs S-20	S-19	35.5	5.91	34.94	32.922	18	-1.4×10^{1}	1.8×10^{-11}	1.7341	3.6×10^{-11}	2.1009	비동질
	S-20	71.7	5.56	30.90								
S-20 vs S-21	S-20	71.7	5.56	30.90	40.233	18	6.134	4.3×10^{-6}	1.7341	8.6×10^{-6}	2.1009	비동질
	S-21	54.3	7.04	49.57								
S-21 vs S-22	S-21	54.3	7.04	49.57	53.789	18	0.609	0.2748	1.7341	0.5496	2.1009	동 질
	S-22	52.3	7.62	58.01								
S-22 vs S-23	S-22	52.3	7.62	58.01	50.450	18	0.094	0.4629	1.7341	0.9258	2.1009	동 질
	S-23	52.0	6.55	42.89								
S-23 vs S-24	S-23	52.0	6.55	42.89	38.250	18	-3.435	0.0015	1.7341	0.0030	2.1009	비동질
	S-24	61.5	5.80	33.61								
S-24 vs S-25	S-24	61.5	5.80	33.61	27.500	18	0.8528	0.2025	1.7341	0.4050	2.1009	동 질
	S-25	59.5	4.62	21.39								

■ 3구간

구 분		t-검정 통계량						단측검정		양측검정		검 정 결 과
		평 균	표준편차	분산	공동분산	자유도	t-통계량	p 값	t 기각치	p 값	t 기각치	
S-25 vs S-26	S-25	59.5	4.62	21.39	28.161	18	-5.098	3.8×10^{-5}	1.7341	7.5×10^{-5}	2.1009	비동질
	S-26	71.6	5.91	34.93								
S-26 vs S-27	S-26	71.6	5.91	34.93	26.517	18	-1.3×10^{-1}	0.4489	1.7341	0.8978	2.1009	동 질
	S-27	71.9	4.25	18.10								
S-27 vs S-28	S-27	71.9	4.25	18.10	24.183	18	0.1364	0.4465	1.7341	0.8930	2.1009	동 질
	S-28	71.6	5.50	30.27								
S-28 vs S-29	S-28	71.6	5.50	30.27	40.489	18	-2.389	0.0140	1.7341	0.0280	2.1009	비동질
	S-29	78.4	7.12	50.71								

■ 4구간

구 분		t-검정 통계량						단측검정		양측검정		검 정 결 과
		평 균	표준편차	분산	공동분산	자유도	t-통계량	p 값	t 기각치	p 값	t 기각치	
S-29 vs S-30	S-29	78.4	7.12	50.71	40.778	18	5.8127	8.3×10^{-6}	1.7341	1.7×10^{-5}	2.1009	비동질
	S-30	61.8	5.55	30.84								
S-30 vs S-31	S-30	61.8	5.55	30.84	50.289	18	-7.6×10^{-1}	0.2295	1.7341	0.4590	2.1009	동 질
	S-31	64.2	8.35	69.73								
S-31 vs S-32	S-31	64.2	8.35	69.73	52.200	18	0.0619	0.4757	1.7341	0.9513	2.1009	동 질
	S-32	64.0	5.89	34.67								
S-32 vs S-33	S-32	64.0	5.89	34.67	37.867	18	0.0727	0.4714	1.7341	0.9429	2.1009	동 질
	S-33	63.8	6.41	41.07								
S-33 vs S-34	S-33	63.8	6.41	41.07	63.400	18	1.0110	0.1627	1.7341	0.3254	2.1009	동 질
	S-34	60.2	9.26	85.73								
S-34 vs S-35	S-34	60.2	9.26	85.73	57.450	18	10.5319	1.9×10^{-9}	1.7341	4.0×10^{-9}	2.1009	비동질
	S-35	24.5	5.40	29.17								
S-35 vs S-37	S-35	24.5	5.40	29.17	29.922	18	-1.8×10^{1}	3.2×10^{-13}	1.7341	6.5×10^{-13}	2.1009	비동질
	S-37	68.3	5.54	30.68								
S-37 vs S-38	S-37	68.3	5.54	30.68	49.361	18	2.1960	0.0207	1.7341	0.0414	2.1009	비동질
	S-38	61.4	8.25	68.04								
S-38 vs S-40	S-38	61.4	8.25	68.04	77.489	18	-7.6×10^{-1}	0.2279	1.7341	0.4559	2.1009	동 질
	S-40	64.4	9.32	86.93								
S-40 vs S-41	S-40	64.4	9.32	86.93	135.272	18	-5.9×10^{-1}	0.2793	1.7341	0.5586	2.1009	동 질
	S-41	67.5	13.55	183.6								
S-41 vs S-42	S-41	67.5	13.55	183.6	116.450	18	1.3054	0.1041	1.7341	0.2082	2.1009	동 질
	S-42	61.2	7.02	49.29								
S-42 vs S-43	S-42	61.2	7.02	49.29	42.428	18	1.2015	0.1226	1.7341	0.2451	2.1009	동 질
	S-43	57.7	5.96	35.57								
S-43 vs S-44	S-43	57.7	5.96	35.57	36.117	18	-6.065	4.9×10^{-6}	1.7341	9.9×10^{-6}	2.1009	비동질
	S-44	74.0	6.06	36.67								

○ 절리거칠기(JRC) 동질성 분석

▮ 1구간

구	분	절리거칠기(JRC)										우측 p값	검정 결과
		0~2	2~4	4~6	6~8	8~10	10~12	12~14	14~16	16~18	18~20		
S-09 / S-10	관찰수	0/0	0/0	0/0	2/1	5/5	1/4	2/0	0/0	0/0	0/0	0.902	동 질
	X^2검정	–	–	–	0.17	0.00	0.90	1.00	–	–	–		
S-10 / S-12	관찰수	0/0	0/0	0/3	1/5	5/2	4/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0.279	동 질
	X^2검정	–	–	1.50	1.33	0.64	2.00	–	–	–	–		
S-12 / S-13	관찰수	0/0	0/0	3/1	5/3	2/5	0/1	0/0	0/0	0/0	0/0	0.925	동 질
	X^2검정	–	–	0.50	0.25	0.64	0.50	–	–	–	–		
S-13 / S-14	관찰수	0/0	0/0	1/0	3/0	5/0	1/5	0/4	0/1	0/0	0/0	0.054	동 질
	X^2검정	–	–	0.50	1.50	2.50	1.33	2.00	0.50	–	–		

▮ 2구간

구	분	절리거칠기(JRC)										우측 p값	검정 결과
		0~2	2~4	4~6	6~8	8~10	10~12	12~14	14~16	16~18	18~20		
S-14 / S-15	관찰수	0/0	0/0	0/0	0/0	0/2	5/4	4/4	1/0	0/0	0/0	0.960	동 질
	X^2검정	–	–	–	–	1.00	0.06	0.00	0.50	–	–		
S-15 / S-16	관찰수	0/0	0/0	0/0	0/0	2/6	4/4	4/0	0/0	0/0	0/0	0.740	동 질
	X^2검정	–	–	–	–	1.00	0.00	2.00	–	–	–		
S-16 / S-17	관찰수	0/0	0/0	0/1	0/3	6/5	4/1	0/0	0/0	0/0	0/0	0.751	동 질
	X^2검정	–	–	0.50	1.50	0.05	0.90	–	–	–	–		
S-17 / S-18	관찰수	0/0	0/0	1/0	3/0	5/0	1/2	0/6	0/2	0/0	0/0	0.044	비동질
	X^2검정	–	–	0.50	1.50	2.50	0.17	3.00	1.00	–	–		
S-18 / S-19	관찰수	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	2/1	6/7	2/2	0/0	0/0	1.000	동 질
	X^2검정	–	–	–	–	–	0.17	0.04	0.00	–	–		
S-19 / S-20	관찰수	0/0	0/0	0/0	0/0	0/7	1/3	7/0	2/0	0/0	0/0	0.049	비동질
	X^2검정	–	–	–	–	3.50	0.50	3.50	1.00	–	–		
S-20 / S-21	관찰수	0/0	0/0	0/0	0/3	7/6	3/1	0/0	0/0	0/0	0/0	0.906	동 질
	X^2검정	–	–	–	1.50	0.04	0.50	–	–	–	–		
S-21 / S-22	관찰수	0/0	0/0	0/0	3/0	6/1	1/3	0/6	0/0	0/0	0/0	0.138	동 질
	X^2검정	–	–	–	1.50	1.79	0.50	3.00	–	–	–		
S-22 / S-23	관찰수	0/0	0/0	0/0	0/0	1/4	3/4	6/2	0/0	0/0	0/0	0.915	동 질
	X^2검정	–	–	–	–	0.90	0.07	1.00	–	–	–		
S-23 / S-24	관찰수	0/0	0/0	0/0	0/5	4/5	4/0	2/0	0/0	0/0	0/0	0.268	동 질
	X^2검정	–	–	–	2.50	0.06	2.00	1.00	–	–	–		
S-24 / S-25	관찰수	0/0	0/0	0/0	5/2	5/2	0/4	0/2	0/0	0/0	0/0	0.478	동 질
	X^2검정	–	–	–	0.64	0.64	2.00	1.00	–	–	–		

■ 3구간

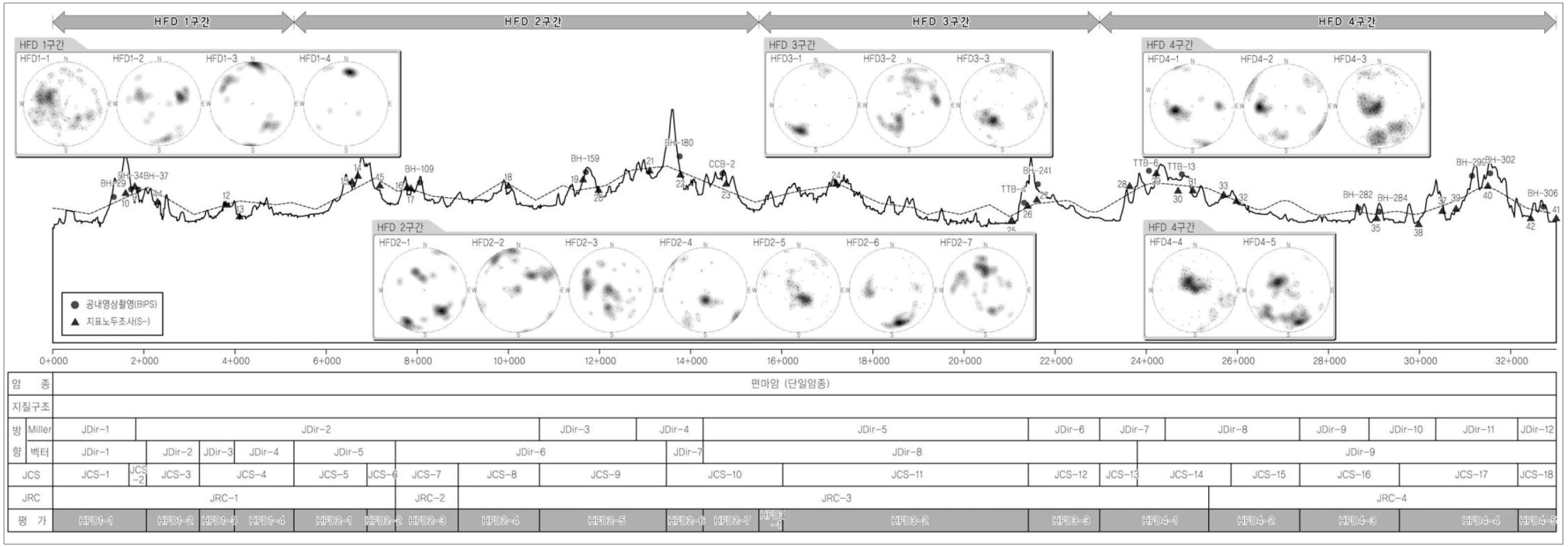
구	분	절리거칠기(JRC)										우측 p값	검정 결과
		0~2	2~4	4~6	6~8	8~10	10~12	12~14	14~16	16~18	18~20		
S-25 / S-26	관찰수	0/0	0/0	0/0	2/0	2/2	4/8	2/0	0/0	0/0	0/0	0.804	동 질
	X^2검정	–	–	–	1.00	0.00	0.67	1.00	–	–	–		
S-26 / S-27	관찰수	0/0	0/0	0/0	0/2	2/2	8/5	0/1	0/0	0/0	0/0	0.931	동 질
	X^2검정	–	–	–	1.00	0.00	0.35	0.50	–	–	–		
S-27 / S-28	관찰수	0/0	0/0	0/0	2/3	2/7	5/0	1/0	0/0	0/0	0/0	0.439	동 질
	X^2검정	–	–	–	0.10	1.39	2.50	0.50	–	–	–		
S-28 / S-29	관찰수	0/0	0/0	0/2	3/2	7/4	0/2	0/0	0/0	0/0	0/0	0.833	동 질
	X^2검정	–	–	1.00	0.10	0.41	1.00	–	–	–	–		

■ 4구간

구	분	절리거칠기(JRC)										우측 p값	검정 결과
		0~2	2~4	4~6	6~8	8~10	10~12	12~14	14~16	16~18	18~20		
S-29 / S-30	관찰수	0/0	0/0	2/3	2/5	4/2	2/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0.901	동 질
	X^2검정	–	–	0.10	0.64	0.33	1.00	–	–	–	–		
S-30 / S-31	관찰수	0/0	0/1	3/1	5/3	2/2	0/3	0/0	0/0	0/0	0/0	0.789	동 질
	X^2검정	–	0.50	0.50	0.25	0.00	1.50	–	–	–	–		
S-31 / S-32	관찰수	0/0	1/0	1/1	3/3	2/6	3/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0.740	동 질
	X^2검정	–	0.50	0.00	0.00	1.00	1.50	–	–	–	–		
S-32 / S-33	관찰수	0/0	0/0	1/4	3/4	6/2	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0.915	동 질
	X^2검정	–	–	0.90	0.07	1.00	–	–	–	–	–		
S-33 / S-34	관찰수	0/0	0/0	4/0	4/0	2/0	0/1	0/6	0/3	0/0	0/0	0.018	비동질
	X^2검정	–	–	2.00	2.00	1.00	0.50	3.00	1.50	–	–		
S-34 / S-35	관찰수	0/0	0/0	0/0	0/0	0/0	1/3	6/4	3/3	0/0	0/0	0.998	동 질
	X^2검정	–	–	–	–	–	0.50	0.20	0.00	–	–		
S-35 / S-37	관찰수	0/0	0/0	0/0	0/1	0/1	3/4	4/4	3/0	0/0	0/0	0.822	동 질
	X^2검정	–	–	–	0.50	0.50	0.07	0.00	1.50	–	–		
S-37 / S-38	관찰수	0/0	0/0	0/0	1/0	1/3	4/5	4/2	0/0	0/0	0/0	0.973	동 질
	X^2검정	–	–	–	0.50	0.50	0.06	0.33	–	–	–		
S-38 / S-40	관찰수	0/0	0/0	0/0	0/1	3/7	5/2	2/0	0/0	0/0	0/0	0.751	동 질
	X^2검정	–	–	–	0.50	0.80	0.64	1.00	–	–	–		
S-40 / S-41	관찰수	0/0	0/0	0/3	1/2	7/3	2/2	0/0	0/0	0/0	0/0	0.840	동 질
	X^2검정	–	–	1.50	0.17	0.80	0.00	–	–	–	–		
S-41 / S-42	관찰수	0/0	0/0	3/0	2/3	3/5	2/2	0/0	0/0	0/0	0/0	0.930	동 질
	X^2검정	–	–	1.50	0.10	0.25	0.00	–	–	–	–		
S-42 / S-43	관찰수	0/0	0/0	0/1	3/5	5/4	2/0	0/0	0/0	0/0	0/0	0.935	동 질
	X^2검정	–	–	0.50	0.25	0.06	1.00	–	–	–	–		
S-43 / S-44	관찰수	0/0	0/0	1/0	5/0	4/6	0/4	0/0	0/0	0/0	0/0	0.319	동 질
	X^2검정	–	–	0.50	2.50	0.20	2.00	–	–	–	–		

1.2.3 균질절리영역(HFD) 분석 결과

○ HFD구간 분석 결과



○ HFD구간별 절리특성 분석

구 분		HFD 1구간 (STA. 사업시점~5+600)				HFD 2구간 (STA. 5+600~15+500)							HFD 3구간 (STA. 15+500~23+000)			HFD 4구간 (STA. 23+000~사업종점)				
		HFD1-1	HFD1-2	HFD1-3	HFD1-4	HFD2-1	HFD2-2	HFD2-3	HFD2-4	HFD2-5	HFD2-6	HFD2-7	HFD3-1	HFD3-2	HFD3-3	HFD4-1	HFD4-2	HFD4-3	HFD4-4	HFD4-5
STA.(km+m)		사업시점~2+050	2+050~3+220	3+220~4+000	4+000~5+600	5+600~6+900	6+900~7+520	7+520~8+900	8+900~10+700	10+700~13+460	13+460~14+280	14+280~15+500	15+500~16+020	16+020~21+400	21+400~23+000	23+000~25+380	25+380~27+380	27+380~29+560	29+560~32+150	32+150~사업종점
절리군 방향	Set 1	42/111	49/252	82/186	64/188	55/319	83/154	50/106	21/344	21/333	68/345	45/178	60/034	56/187	38/039	32/070	48/089	13/086	13/165	26/130
	Set 2	49/307	41/112	67/130	–	80/025	57/236	42/005	88/132	16/135	46/090	55/110	74/189	46/039	83/189	87/345	89/121	63/319	69/287	63/343
	Set 3	62/066	75/352	56/320	–	31/160	04/084	05/024	68/027	72/213	51/263	45/334	–	56/259	60/276	55/270	74/229	70/004	69/334	66/041
JCS(MPa)		59.9	52.0	25.4	27.6	51.6	73.3	38.2	71.7	48.5	46.2	55.6	71.6	66.2	61.1	57.4	42.4	53.6	58.2	63.4
JRC		8.6	7.1	8.4	13.0	12.0	9.4	12.0	10.0	9.7	7.5	9.6	11.0	9.9	9.1	7.9	14.0	8.0	8.8	10.0
주요 구조물		강매터널, 창릉천교, 현천IC				문봉터널, 공릉천교							금촌터널, 장진천2교			금촌3교, 월롱교				
비 고																				

제 2 장 구간별 성과분석

2.1 터널구간 성과분석

2.1.1 터널구간 암반분류

RMR에 의한 암반분류

구성요소	산정식	범위	지반등급	Output
• 점하중지수 (Is_{50}) • RQD • 불연속면의 간격 (J_s) • 불연속면의 상태 (J_c) • 지하수 조건 (J_w) • 불연속면의 방향 (J_o)	• 6가지 변수의 합계 점수 (Is_{50} + RQD + J_s + J_c + J_w + J_o)	0~100	Very Poor ~Very Good	• 지보하중 (P) = (100−RMR)/100×γ B • 현지변형계수(Em) = 2×RMR−100 • 점착력, 내부마찰각 • 터널폭에 따른 자립시간

암반등급기준

평점합계	81~100	61~80	41~60	21~40	20 이하
등급/평가	Ⅰ/매우양호	Ⅱ/양호	Ⅲ/보통	Ⅳ/불량	Ⅴ/매우불량

분류결과

공 번		구 분	분류구간 (G.L(−)m)	점하중지수 (MPa)	RQD(%)	절리간격 (mm)	불연속면 상태	지하수 상태	절리방향	총점 / 등급
강매터널	BH−29	상부1D	9.7~14.7	1.98~2.59	11~18	0~160	12	Wet	유리	29~32
				4~7	3	5		7	−2	Ⅳ
		통과구간	14.7~21.4	1.98~5.6	18~58	0~230	10~16	Wet~Damp	유리	29~52
				4~12	3~13	5~8		7~10	−2	Ⅳ~Ⅲ
		하부1D	21.4~31.0	2.4~5.98	24~58	10~320	12~16	Wet~Damp	유리	37~52
				7~12	3~13	5~8		7~10	−2	Ⅳ~Ⅲ
	BH−30	통과구간	9.4~12.4	1.9~3.96	0~53	0~350	8~16	Flow~Damp	유리	18~52
				4~7	3~13	5~8		0~10	−2	Ⅴ~Ⅲ
		하부1D	12.4~20.0	3.19~4.4	12~53	0~350	16~19	Wet~Damp	유리	39~54
				7~12	3~8	5~8		7~10	−2	Ⅳ~Ⅲ
	BH−31	통과구간	13.9~20.6	1.99~4.4	0~51	0~340	10~20	Flow~Damp	유리	20~61
				4~12	3~13	5~8		0~10	−2	Ⅴ~Ⅱ
		하부1D	20.6~34.0	4.4~5.59	25~80	0~750	16~28	Wet~Dry	유리	46~80
				12	8~17	5~10		7~15	−2	Ⅲ~Ⅱ

(계속)

공 번		구 분	분류구간 (G.L(-)m)	점하중지수 (MPa)	RQD(%)	절리간격 (mm)	불연속면 상태	지하수 상태	절리방향	총점 / 등급
강매터널	BH-32	상부1D	10.7~11.8	1.9	0	0~80	10	Drop	유리	24
				4	3	5		4	-2	Ⅳ
		통과구간	11.8~18.5	1.61~2.01	0~6	0~110	10~21	Drop~Wet	유리	24~38
				4~7	3	5		4~7	-2	Ⅳ
		하부1D	18.5~26.0	1.81~4.41	6~34	0~300	10~22	Wet~Drop	유리	24~47
				4~12	3~8	5~8		4~7	-2	Ⅳ~Ⅲ
	BH-33	상부1D	3.0~13.9	1.9~6.72	0~90	0~500	6~26	Flow~Damp	유리	16~76
				4~12	3~20	5~10		0~10	-2	Ⅴ~Ⅱ
		통과구간	13.9~20.6	4.78~6.0	31~86	0~360	22~28	Wet~Dry	유리	55~80
				12	8~17	8~10		7~15	-2	Ⅲ~Ⅱ
		하부1D	20.6~29.0	4.15~6.0	82~100	50~540	28~30	Dry	유리	80~85
				12	17~20	10		15	-2	Ⅱ~Ⅰ
	BH-34	하부1D	5.4~15.0	4.02~6.4	57~97	10~510	24~28	Damp~Dry	유리	65~83
				12	13~20	8~10		10~15	-2	Ⅱ~Ⅰ
	BH-35	하부1D	5.6~13.0	4.22~5.64	70~93	10~500	26~28	Damp~Dry	유리	67~83
				12	13~20	8~10		10~15	-2	Ⅱ~Ⅰ

Q-System에 의한 암반분류

개요	평가	산정방법
• 1974년 NGI의 Barton등에 의해 제안 • 200여개의 기 시공된 터널의 보강실적을 통계하여 암반상태와 보강량의 관계분석 • 1993년 지보패턴을 기존 38개항에서 강섬유보강 숏크리트를 사용하는 9개항 수정(Grimstad and Barton)	0.001 ~1,000	$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$ • RQD/J_n : 암괴크기의 척도 • J_r/J_a : 암괴사이의 마찰각 척도 • J_w/SRF : 작용응력 척도

분류항목	지반조사 활용	분류항목	지반조사 활용
RQD	• 시추코아측정, 공내영상촬영 등을 통한 코아의 손상여부 판단	J_a	• 시추코아, 공내영상촬영 등을 통한 자료획득
J_n	• 시추코아, 공내영상촬영 등의 자료검색을 통한 자료 획득	J_a	• 수압시험에 의한 투수계수 등 자료 활용
J_r	• 시추코아, 실내시험결과(JRC)참조	J_a	• 시추코아의 암반상태 • 암석시험 결과

■ Q-System에 의한 일반적인 지반등급산정 기준

Q값의 범 위	1000 ~400	400 ~100	100 ~40	40 ~10	10 ~4	4 ~1	1 ~0.1	0.1 ~0.01	0.01 ~0.001
암반등급	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅶ	Ⅷ	Ⅸ
암질	지극히 양호	극히 양호	매우 양호	양호	보통	불량	매우 불량	극히 불량	지극히 불량

■ 사업구간 Q값 적용 범위

암반등급	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
암질	매우 양호	양호	보통	불량	매우 불량
Q값의 범위	63.0 이상	3.9~63.0	0.25~3.9	0.016~0.25	0.016 이하

■ 분류결과

공 번		구 분	분류구간 (G.L(-)m)	Q-System						Q-Value	등급
				RQD(%)	J_n	J_r	J_a	J_w	SRF		
강매터널	BH-29	상부1D	9.7~14.7	11~18	6.0	1.5~2.0	6.0~10.0	0.66	2.5	0.10~0.73	Ⅳ~Ⅲ
		통과구간	14.7~21.4	18~58	6.0~9.0	1.5~2.0	2.0~6.0	0.66~1.0	2.5	0.73~2.67	Ⅲ
		하부1D	21.4~31.0	24~58	6.0~9.0	1.5~2.0	2.0~4.0	0.66~1.0	2.5	0.41~2.67	Ⅲ
	BH-30	통과구간	9.4~12.4	0~53	4.0~20.0	1.0~2.0	2.0~10.0	0.33~1.0	2.5	0.01~2.75	Ⅴ~Ⅲ
		하부1D	12.4~20.0	12~53	4.0~6.0	1.5~2.0	2.0~4.0	0.66~1.0	2.5	0.66~2.75	Ⅲ
	BH-31	통과구간	13.9~20.6	0~51	4.0~20.0	1.5~2.0	2.0~10.0	0.33~1.0	2.5	0.01~5.50	Ⅴ~Ⅱ
		하부1D	20.6~34.0	25~80	4.0~9.0	2.0~4.0	0.75~3.0	0.66~1.0	2.5	1.1~24.0	Ⅲ~Ⅱ
	BH-32	상부1D	10.7~11.8	0	6.0	1.5	10.0	0.5	2.5	0.05	Ⅳ
		통과구간	11.8~18.5	0~6	20.0	1.5~2.0	1.0~10.0	0.5~0.66	2.5	0.02~0.26	Ⅳ~Ⅲ
		하부1D	18.5~26.0	6~34	4.0~20.0	1.0~3.0	1.0~10.0	0.5~0.66	2.5	0.02~1.54	Ⅳ~Ⅲ
	BH-33	상부1D	3.0~13.9	0~90	4.0~9.0	1.5~3.0	0.75~10.0	0.33~1.0	2.5	0.03~36.0	Ⅳ~Ⅱ
		통과구간	13.9~20.6	31~86	4.0~12.0	3.0~4.0	0.75~2.0	0.66~1.0	2.5	2.31~48.0	Ⅲ~Ⅱ
		하부1D	20.6~29.0	82~100	2.0~4.0	4.0	0.75	1.0	2.5	45.3~96.0	Ⅱ~Ⅰ
	BH-34	하부1D	5.4~15.0	57~97	4.0~9.0	3.0~4.0	0.75~1.0	1.0	2.5	8.0~53.3	Ⅱ
	BH-35	하부1D	5.6~13.0	70~93	2.0~9.0	3.0~4.0	0.75	1.0	2.5	15.1~101.3	Ⅱ~Ⅰ

2.1.2 미시추구간 지질정보 분석

기본방향	• 터널 설계 기준에 의거하여 지반조사를 수행한 구간을 제외한 모든 지역(민원 및 진입로 개설 불가 구간, 시추공과 시추공 사이 등)을 미시추 구간으로 분류 • 시추조사, 현장시험 및 물리탐사(전기비저항탐사)를 수행하고 각 조사 자료의 상관관계를 분석하여 미시추 구간에 대해 신뢰성 있는 자료를 획득하는데 목적이 있음

○ 수행흐름

기존자료 분석 ➡ 지표지질조사 ➡ 물리탐사

- 주요 구조대 추정/확인
- 단층, 절리, 층리, 파쇄대의 방향/성상/위치 현황 및 암종 분포 현황 파악
- 물리탐사 결과 분석 ➜ 기반암 심도, 지질 연약대 및 함수대 추정

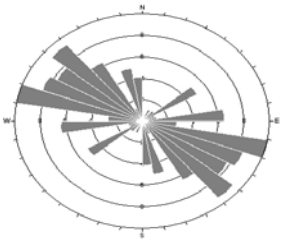
⬇

시추조사 ➡ 시추공내 현장시험 ➡ 실내시험

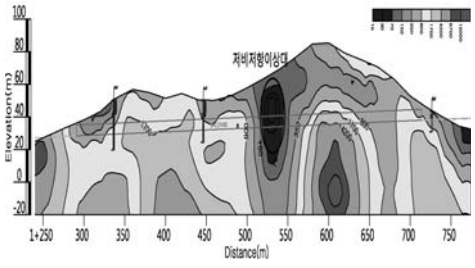
- 시추주상도 작성, 시추 Core에 대한 암반분류(RMR & Q-System) 수행
- 심도별 역학적/수리적 특성 파악
- 공내영상촬영, 시추 Core 절리 Mapping을 통해 터널 심도 구간의 주절리군의 방향성/특성 파악

시추조사

시추공내 현장시험



물리탐사



⬇

종 합 분 석

- 지반등급 분류 기준 마련
  - –RMR값 "20이하 : 21~40 : 41~60 : 61~80 : 81이상" 을 기준으로 5개 등급 산정
  - –Q 값 "0.016이하 : 0.16~0.25 : 0.25~3.9 : 3.9~63.0 : 63.00이상 " 을 기준으로 5개 등급 산정
- 탄성파속도(V_P)와 Q값과의 상관관계 분석 ➜ RMR = 7.515 Ln(Q)+48.514
- 전기비저항치(R)와 암반분류 값(RMR)과의 관계 설정 ➜ 전기비저항치 $=186\times e^{(0.0369\times RMR)}$
- 단층대/지질연약대/함수대 확정

⬇

지반등급 결정과 지보패턴 부여

○ 암반분류 시스템 사이의 상관관계 분석

▮ RMR과 Q-System의 비교

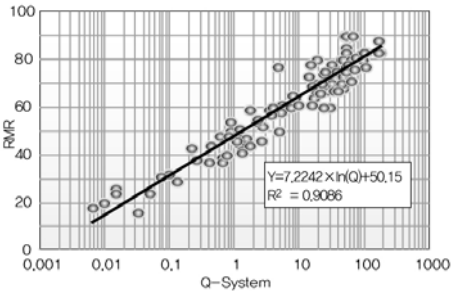
암반분류법	RMR	Q-SYSTEM	공통
구성 요소	• 일축압축강도(σc) • 연속면의 간격 (Js) • 연속면의 상태 (Jc) • 불연속면의 방향 (Jo)	• 불연속면의 군수 (Jn) • 불연속면의 거칠기(Jr) • 불연속면의 변질 정도(Ja) • 응력감소계수(SRF)	• Rock Quality Designation (RQD) • 지하수 조건(Jw)
산 정 식	RMR = σc+RQD+Js+Jc+Jw+Jo	Q = RQD/Jn×Jr/Ja×Jw/SRF	
범 위	0~100	0.001~1,000	
암 반 등 급	Very Poor(Ⅴ)~Very Good(Ⅰ)	Exc. Poor(Ⅸ)~Exc. Good(Ⅰ)	
Output	• 지보하중 P = (100-RMR)/100×γ B • 현지변형계수 Em = 2×RMR-100 • 점착력, 내부마찰각 • 터널폭에 따른 자립시간	• 지보압 Proof = 2/Jr×Q-1/3 • 무지보폭 계산 • Support Category	

▮ RMR, Q-System, RQD, GIS 상호간의 상관관계 비교

-암반분류 시스템 간의 상관관계 고찰

• RMR과 Q-System 의 상관관계식을 이용하여 각 System에서의 지반등급 경계를 설정
• RMR과 RQD의 상관관계식은 등급별 설계정수 결정시 RQD에 의한 방법에 적용
• RMR과 GSI의 상관관계식은 GSI를 이용하여 등급별 설계정수 결정시 반영

-RMR과 Q-System의 상관관계

제안자	상관식	본 사업구간의 상관관계
Bieniawski(1976)	RMR = 9 LnQ + 44 (r^2=0.77)	• 상관관계(R^2)는 RMR=7.2242×ln(Q)+50.15로서 정확한 상관관계의 정립은 어렵지만 일반적으로 알려진 Bieniawisk의 식의 R^2이 0.77로서 본 사업구간에서의 상관관계와 매우 유사함으로 결과를 상호 보완할 수 있는 자료로 활용 가능성이 큼
Rutledge(1978)	RMR = 5.9 LnQ + 43 (r^2=0.85)	
Moreno(1980)	RMR = 5.4 LnQ + 55.2 (r^2=0.55)	
Clarke(1981)	RMR = 5.0 LnQ + 60.8 (for, Tunnal Heading)	
	RMR = 4.6 LnQ + 55.5 (for, Boring Core)	
Budavari(1981)	RMR = 10.5 LnQ + 41.8 (r^2=0.66)	
Barton(1995)	RMR = 15.0 LogQ + 50	
구 호 본(1994)	RMR = 13.0 LnQ + 60	
R.K.Goel (1995)	RMRmod = 8 LnQ + 30 (r^2=0.92)	
건설기술연구원(1992)	RMR = 59.597+13.234*log(Q) (r^2=0.566)	

주) RMRmod : 일축압축강도와 절리방향에 대한 배점, N : Q-System에서 SRF를 1로 둔 값

○ 암반분류 결과와 전기비저항값의 상관관계 분석

▮ 개요

- 전기비저항탐사는 넓은 영역과 깊은 심도까지 비교적 정확도를 가지고 손쉽게 지반정보를 파악할 수 있는 물리탐사 기법
- 암반분류를 위한 현장의 전기비저항치의 정확한 해석을 위해서는 암석의 전기비저항치에 영향을 미치는 다양한 물리 · 환경적 요인을 파악해야 함

▮ 전기비저항에 영향을 미치는 요인(C.S.Gokhale와 J.M.Katae의 연구결과

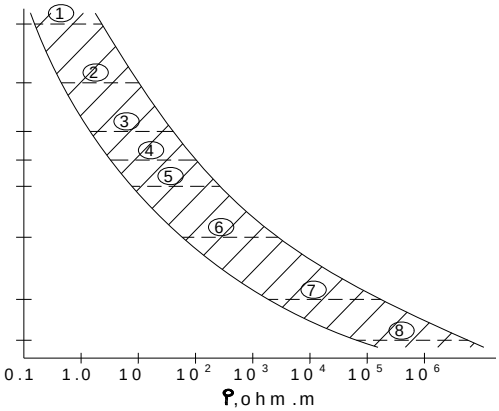
- 관련 문헌 : Tunnelling Asia '97 Proceeding (p.11~22)
- 연구개요 : 전기비저항치에 영향을 미치는 물리적/환경적 요인들에 대한 연구 결과들을 분석하여 주요한 영향인자 도출
- 연구결과
  - –전기비저항치에 영향을 미치는 물성 : 공극률, 비중, 함수비, 포화도, 투수계수, 암석의 종류, 온도 등
  - –전기비저항치는 암반의 강도 및 변형 특성(일축압축강도, 탄성계수 등)과 관계가 있음
  - –암반 층후에 해당하는 응력이 작용하는 지점에서의 전기비저항치(가비저항)는 진비저항치(Overburden 이 “0” 인 경우의 전기비저항치)로 환산하여 분석하여야 함 : 암반응력에 대한 보정 실시
  - –암석 종류, 즉 광물 조성, 구성 조직등에 따라 비저항치는 차이가 남
  - –Overburden의 증가에 따른 비저항치 증가 관계는 Curvilinear로 초기에는 급속히 증가하다가 증가율이 감소 : 공극과 균열의 닫힘 영향

▮ 암석의 종류에 따른 전기비저항 값의 범위

– Telford의 연구 결과(1976)

구 분	암석종류	전기비저항값 범위(Ω m)
화성암	화강암(Granite)	300~1,000,000
	섬장암(Syenite)	100~1,000,000
	섬록암(Diorite)	10,000~100,000
	반암(여러종류)(Porphyry)	60~10,000
변성암	편암(석회질 및 운모)(Schists)	20~10,000
	편마암(여러종류)(Gneiss)	68,000(습윤시)~3,000,000(건조시)
	규암(여러 종류)(Quartzites)	10~200,000,000
퇴적암	셰일(응고)(Consolidated Shales)	20~2,000
	역암(Conglomerates)	2,000~10,000
	사암(Sandstones)	1~640,000,000
	석회암(Limestones)	50~10,000,000
	점토(Clays)	1~100

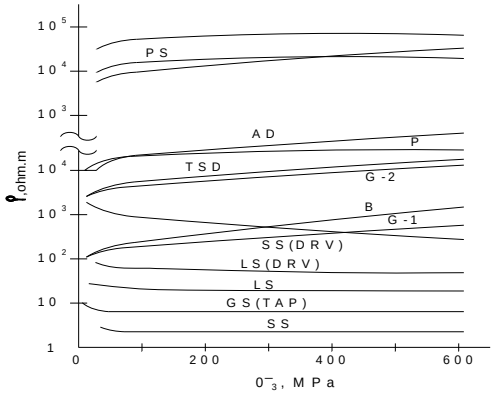
– Whiteley의 연구 결과(1983)

암 석 종 류	Graph
① Metal Sulphide Ores ② Clay, Graphitic shale, Soft shale, Sandstone saturated with salt water ③ Hard shale ④ Sand and gravel saturated with fresh water ⑤ Hard sandstone ⑥ Soft limestone, Fresh coal ⑦ Dolomite, dense limestone and fresh igneous and metamorphic rocks ⑧ Dry quartzites	

- 상기 연구 결과 암석에 따른 전기비저항치 범위는 광물 성분의 포함정도, 구성조직의 치밀도, 미세균열의 발달 정도 등에 따라 차이가 남
- 보편적으로 퇴적암이 가장 낮은 범위를 보이고, 변성암 및 화성암은 같은 분포 범위를 보임
- 본 사업구간에 분포하는 암종은 대부분 편마암에 해당하여 전기비저항치의 분포 범위가 차이가 나지 않을 것으로 판단됨
- 따라서 본 사업에서는 전기비저항치에 미치는 영향을 암종의 영향보다는 심도 영향을 중점적으로 검토

▮ 암석의 종류에 따른 전기비저항 값의 범위

– Stesky 등의 연구결과(1973)

암 석 종 류	Graph
PS = Serpentinized peridotite AD = Dunite P = Peridotite TSD = Dunite G–2 = Gabbro B = Basalts G–1 = Gabbro SS = Serpentinite LS = Serpentinized Lherzolite GS = Gabbro	

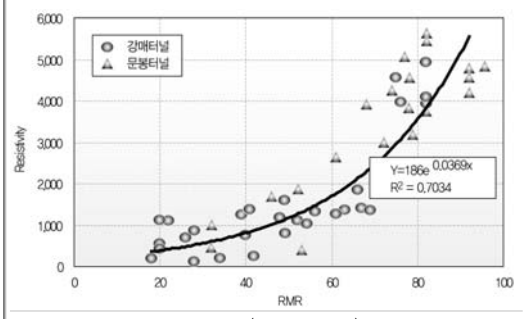
- 일반적으로 봉압(암반응력)이 증가할수록 전기비저항치는 증가
- 40MPa(약 1,500m 심도에 해당하는 응력) 이내의 봉압조건에서는 급격한 증가 양상을 보이다가 이후에는 증가율이 저하
- 화강암과 석회암을 대상으로 하는 시험 결과는 제시되지 않았으나 일반적인 경향을 보일 것으로 예상됨
- Serpentite 등 광물을 함유한 암석이나 건조한 상태의 시험조건에서는 봉압이 증가할수록 전기비저항치는 감소하는 양상을 보임
- 따라서 심도 50m 내외인 본 사업구간에서는 심도에 따른 전기비저항치 변화 양상은 없는 것으로 보며 일반적인 분석방향을 적용하기로 함

2차적 암반분류

• RMR과 전기비저항값과의 상관성을 분석 후 비저항치 및 암반등급 산정에 반영

전기비저항치를 이용한 암반분류

RMR-전기비저항 상관성 분석



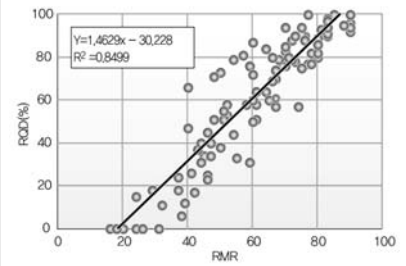
• Resistivity=186×e$^{(0.0369\times RMR)}$

구분	적용 RMR범위	비저항값(Ω m)
Ⅰ등급	81이상	3,500 이상
Ⅱ등급	61~80	1,700~3,500
Ⅲ등급	41~60	800~1,700
Ⅳ등급	21~40	400~800
Ⅴ등급	20 이하	400이하

암반분류의 상관성 분석

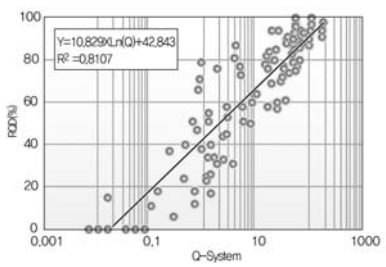
• RMR, Q분류 등 암반분류의 공학적 활용성을 높이기 위하여 상관성 분석 실시
➜결과값이 상관식과 비교하여 상이한 지점에 대해 재검토를 수행하여 오류를 최소화 함

RMR-RQD 상관관계



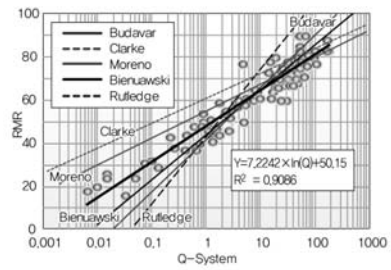
• RQD=1.4629×RMR-30.228

Q-RQD의 상관관계



• RQD=10.829×ln(Q)+42.643

RMR-Q 상관관계



• 사업적용
➜RMR=7.2242×ln(Q)+50.15

암반등급 적용기준

구분	Ⅰ등급	Ⅱ등급	Ⅲ등급	Ⅳ등급	Ⅴ등급
RMR	81이상	61~80	41~60	21~40	20 이하
Q-System	63.0 이상	3.9~63.0	0.25~3.9	0.016~0.25	0.016 이하
전기비저항(Ω m)	3,500이상	1,700~3,500	800~1,700	400~800	400 이하

분석결과

• 암반등급 분류기준은 RMR, 각 인자의 상관식, 암반등급별 분포범위를 고려하여 산정
• 전기비저항 값과 RMR 상관성 분석결과 Resistivity=186e$^{(0.0369\times RMR)}$로 지수함수적 증가

2.1.3 지시크리깅 분석

개요

- RMR은 터널의 설계 및 시공과정에서 암반을 평가하는 매우 중요한 요소이지만 대부분 RMR은 시추공에서 획득한 코어를 직접 분석하여 얻는 값이기 때문에 그 정보의 분포가 매우 좁고, 제한적이어서 시추공 이외의 지역에 대한 양상을 파악하기가 매우 어려움
- 미시추 구간의 RMR 분포를 추정하기 위해서 전기비저항 탐사와 같은 지구물리 탐사 자료와 시추코아의 RMR 자료를 지구통계학적으로 복합 · 해석하였음
- 지구통계학은 난수함수 모델(random function modeling)에 기반한 공간분석 기술로 측정되지 않은 지점의 값들이 공간적으로 의존하는 난수함수의 집합이라는 가정을 통해 대상 지역의 관심변수에 대해 추정하는 방법임 (Goovaert, 1997)
- 지금까지 RMR 추정과 관련한 지구통계학의 적용은 단순히 시추공 상의 1차원 RMR 정보를 크리깅 기법 (Kriging)을 통해 2차원 분포로 확장하거나 시뮬레이션을 이용하는 방법(Ozturk, 2002; Ryuetal, 2003)등이 있었으나 공간적으로 제한된 정보에 대해 크리깅을 적용하는 것은 오해석을 유발하거나 지나치게 단순한 결과를 내놓을 가능성이 많음
- 본 보고서에서는 이전의 RMR 추정 방식의 단점을 극복하기 위해 지구물리탐사 자료와 시추공에서 획득된 정보를 복합적으로 해석하였음
- 복합해석은 1차원 시추공 자료에 대해 전기비저항 탐사와 같은 지구물리탐사 자료를 지구통계학적으로 결합하는 방식을 채택

이론적 배경

지구통계학의 정의

- 조사되지 않은 지점들의 미지의 값들과 관련한 불확실성을 모델링하고, 각 불확실성 모델로부터 최적의 추정치를 제공하기 위한 학문 분야로 크리깅 기법, 시뮬레이션 기법으로 나눌 수 있음

크리깅기법

① 크리깅의 정의

- 크리깅은 최적 선형불편향 추정자(best linear unbiased estimator : BLUE)이며, 기지 값들의 가중치 선형 결합 형태를 가지는 추정자를 말함

$$Z^* = \sum_{i=1}^{n} \lambda_i Z_i$$

Z_i : 공간상에 분포하는 자료값

λ_i : Z_i에 해당되는 가중치(weight)

Z^* : 크리깅에 의한 추정치

- 크리깅의 가중치는 추정치가 불편향(unbiased)이고, 추정분산(estimation variance)이 최소가 되도록 결정(즉, 불편향 조건과 최소추정분산 조건을 만족시키도록 가중치를 결정)하며, 이 두 조건은 다음과 같음

$$E[Z - Z^*] = 0$$

$$E[Z - Z^*]^2 = E[Z^2] - 2E[Z Z^*] + E[Z^{*2}]$$

- 크리깅의 종류

구 분		내 용	비 고
선형크리깅 (linear kriging)		확률집합체의 조건에 따라 단순크리깅(simple kriging), 상크리깅(ordinary kriging), 만능크리깅(universal kriging) 등	
비선형크리깅 (Non-linear kriging)	로그정규크리깅	자료의 로그변환	
	다변량 가우시안 크리깅	자료의 정규 점수 변환(normal score transformation), 로그정류 크리깅의 일반화	
	순위크리깅	자료의 등분포 변환(uniform transformation) 혹은 순위	
	지표크리깅	자료의 지표 변환(indicator transformation)	
	선언적크리깅	자료의 특정 다항식 변환	

② 크리깅의 특징

- 최소자승법의 개념에서 지엽적 최적 추정치(Locally Optimal Prediction)를 제공
- Exact Interpolator이며, 추정오차 평가가 가능
- 자료 조건에 따라 공간적으로 변화하는 곡선화(Smoothing)
- 추정치 위치와 자료 위치 사이의 공분산을 찾는 과정

③ 크리깅의 문제점

- 지엽적으로 정확한 추정치는 다음 두 가지를 유지할 수 없음
  (a) 측정 자료의 분포와 (b) 이들 자료의 공간적 구조

- 크리깅 추정치가 비선형 모델(유동해석, 가시화 등)에서 매개변수로서 사용될 경우, 곡선화 효과는 오히려 역효과가 있음

- 크리깅 분산(Kriging Variance), 즉 추정 오차는 불확실성의 완전한 측도가 될 수 없음
  (만약, Gaussian Random Field의 가정 하에서 크리깅을 적용하더라도 그 Random Feild가 Gaussian임을 확인할 수 없음)

- 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해서 시뮬레이션(Simulation)을 적용할 수 있으며, 그 특징 및 장점은 아래와 같음

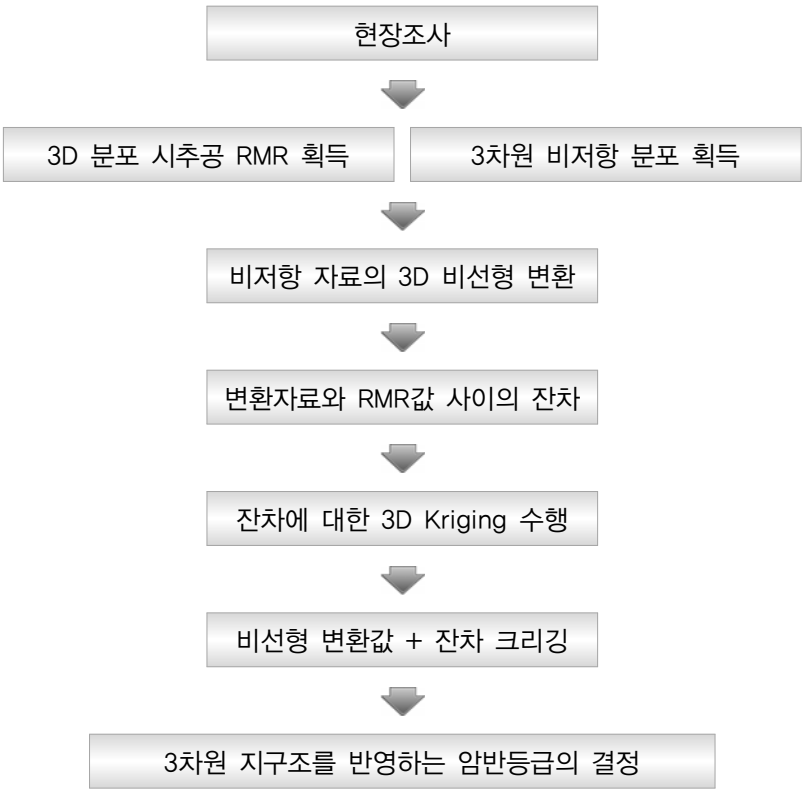
–시뮬레이션은 측정 자료(샘플자료) 및 그의 분포, 그리고 공간적 상관성(변동도)의 재생성을 강제할 수 있음
–불확실성의 전파에 대한 Monte-Carlo 기법에서 사용할 수 있음

○ 크리깅 방법 및 절차

- 지구통계학은 조사되지 않은 미지의 값들과 관련한 불확실성을 모델링하고, 각 불확실성 모델로부터 최적의 추정치를 제공하기 위한 학문 분야임
- 지구통계학에서는 각 자료의 공간변화성 모델에 기초하여 추정(Estimation)과 시뮬레이션(Simulation)을 통해 불확실성을 모델링
- 지구통계학적 접근법인 크리깅의 특징 및 문제점은 다음과 같이 정리할 수 있으며, 이와 같은 단점을 보완하기 위해 지구통계학적 시뮬레이션 방법을 적용

크리깅의 특징	크리깅의 문제점	대안적 방법 : 시뮬레이션
• 최소자승법 측면에서 지엽적 최적 추정치 제공 • 완전 재삽연산자(Exact Interpolator) • 추정오차의 평가 가능 • 곡선화 효과(Smoothing Effect)	• 크리깅 추정치는 측정 자료의 분포와 공간적 구조를 유지할 수 없음 • 비선형 모델링으로 활용시 곡선화 효과는 단점으로 적용 • 크리깅 분산, 즉 추정오차는 불확실성의 완전한 측도로 이용될 수 있음	⇨ • 시뮬레이션은 측정 자료 및 그 분포 그리고, 공간적 상관성을 재생성 • 불확실성 전파에 대한 Monte-Carlo기법을 적용하여, 불확실성에 대한 측도를 제공

- 이상의 위 과정은 GMS 6.0 프로그램을 사용하여 1차적으로 지표 모델링을 작성 후 시추공간의 RMR 자료를 3차원 공간상에 배치하여 이에 따른 1차적인 시추공간을 3차원적으로 모델링
- 2차적으로 물리탐사(전기비저항탐사)자료와 상호 비교 · 분석하여 변화된 RMR값과 시추공간상의 RMR자료를 공간 배치함에 따라 3차원 크리깅 기법을 적용하여 미시추 구간 및 공간상의 3차원 RMR 분포도를 작성

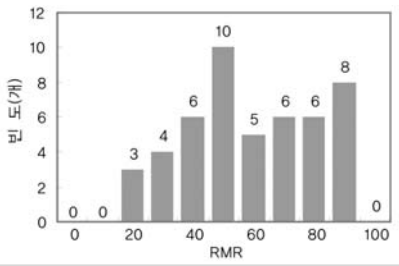


강매터널 3차원 암반등급 산정

시추자료의 통계분석 및 공간변화량 분석

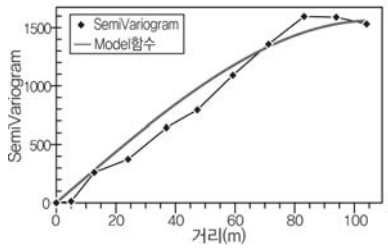
• RMR, Q분류 등 암반분류의 공학적 활용성을 높이기 위하여 상관성 분석 실시
➜ 결과값이 상관식과 비교하여 상이한 지점에 대해 재검토를 수행하여 오류를 최소화 함

시추자료 암반분류 분석



• 시추자료 RMR Ⅱ~Ⅳ등급 우세

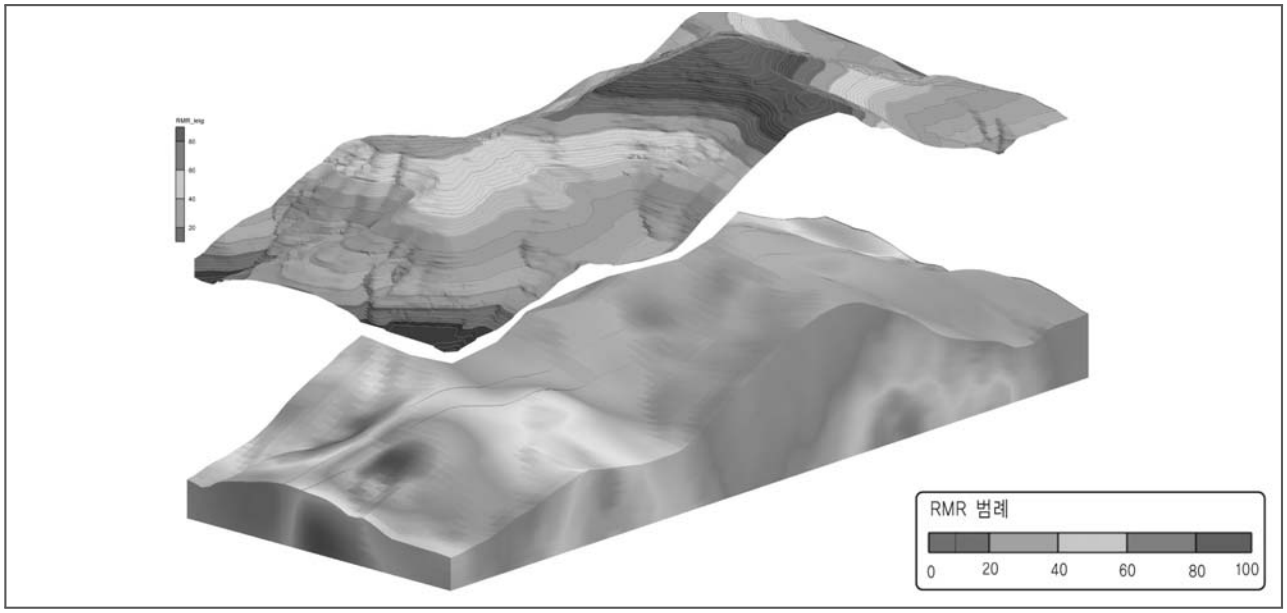
반변동도 분석



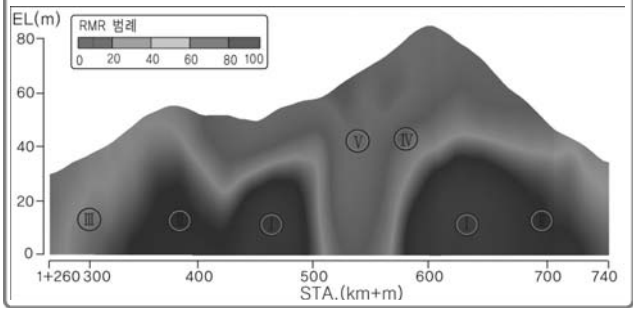
• Contribution : 1560.6, Range : 106.0

구분	전기비저항 (Ω-m)	RMR
Cutoff 1	400	20
Cutoff 2	800	40
Cutoff 3	1,700	60
Cutoff 4	3,500	80

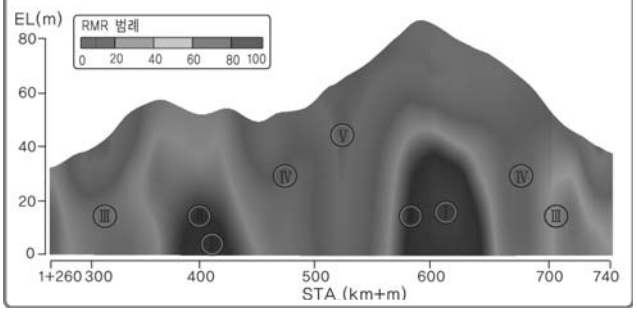
터널구간 암반등급도 분석



서울방향(상행)



문산방향(하행)

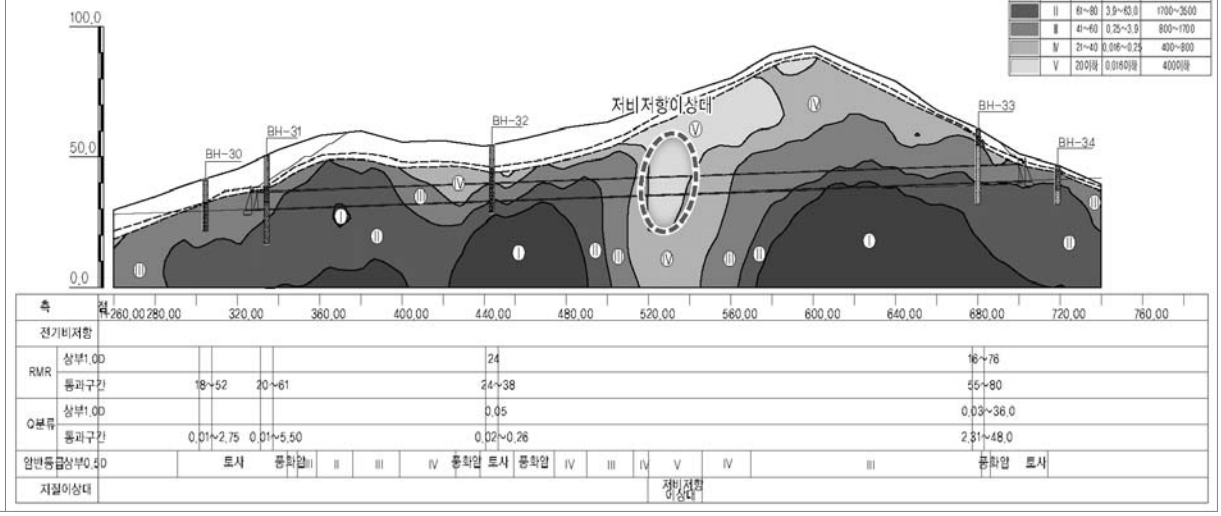


• 서울방향의 암반등급은 Ⅳ~Ⅰ등급으로 이루어지며, STA.1+500~600지점은 매우불량~불량한 암질상태
• 문산방향의 암반등급은 Ⅳ~Ⅴ등급으로 이루어지며 STA.1+450~550, 1+650~700지점은 불량~매우불량한 암질상태

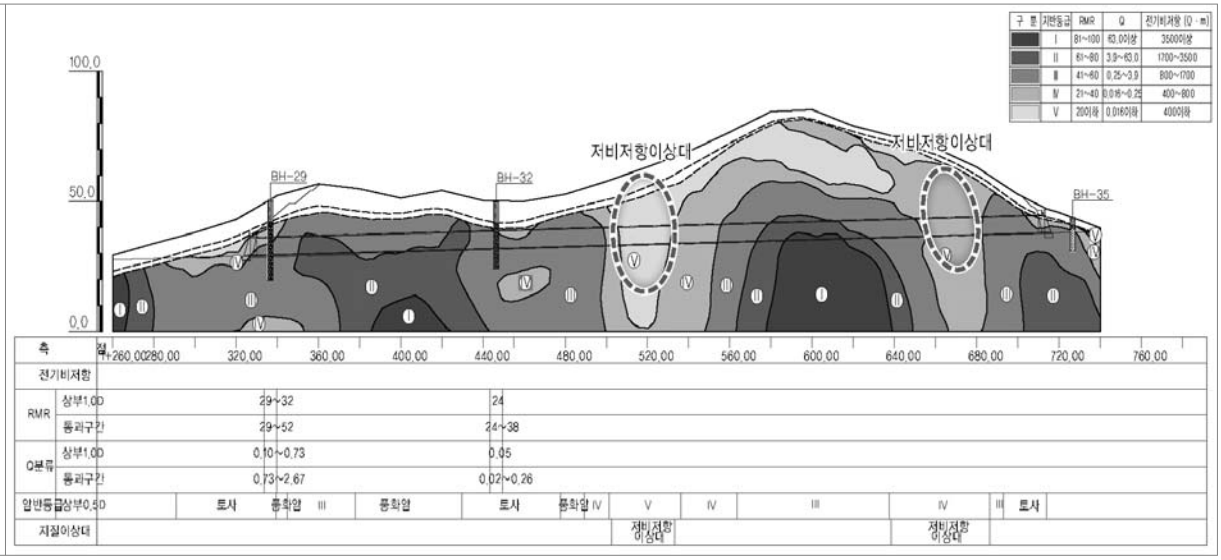
2.1.4 암반등급도

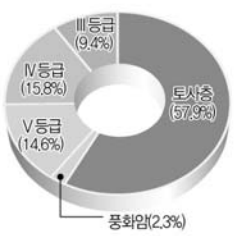
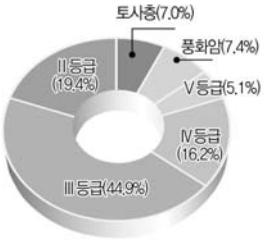
강매터널

서울방향



문산방향



서울방향		문산방향	
1.0D	통과구간	1.0D	통과구간
			

- 서울 및 문산방향의 1.0D구간은 토사층(57.9~59.3%)이 우세하게 분포하여 매우불량한 암질상태를 보임
- 서울 및 문산방향의 통과구간은 Ⅳ~Ⅲ등급(61.1~66.9%)우세하게 분포하여 보통~불량한 암질상태를 보임

2.1.5 터널굴착에 따른 수리모델링 분석

개 요	• 사업지역의 지하수 유동특성 분석을 통한 점오염원 및 비점오염원에 의한 영향분석 • 터널시공 전 · 후의 지하수내 오염물질 거동특성 파악으로 오염원 확산 예측 • 터널로부터 오염물 확산경로/범위 평가 및 최적관리 방안 도출

○ 수리영향 분석개요

- 터널 건설 시공 시 와 시공 후 시간에 따른 지하수위 변화를 분석
- 터널 시공 후 오염물이 유출된 경우 시간에 따른 오염물의 거동을 파악하기 위해 지하수 유동 및 오염물 거동 모델링을 실시
- 모델링 도구는 다공성 포화 매질 내에서의 지하수 유동 및 오염물 거동을 모의할 수 있는 3차원 유한차분모형인 Visual Modflow Ver 3.1 프로그램 이용

해석 지역 지형특성 분석	유동해석 (Modflow)	오염물 거동 해석 (MT3D)
• 조사지형 고도 분석 • 관측정에서 수위 측정	• 해석구간 모델링 1. 정류해석 –관측정에서 관측된 지하수위를 근거로 자연 상태의 지하수위 분포 파악 2. 부정류 해석 –정류 결과를 토대로 시간을 고려하여 서울~문산 건설공사 작업시 시간에 따른 지하수계 영향 변화를 판단	1. 오염물 주입 – 서울~문산 건설공사에서 시간에 따른 오염물 분포 양상 파악 2. 오염물 주입 부근에 농도관측정을 설치하여 오염물의 주요 이동 경로 및 이동 속도 파악
모델 영역 및 유역		
• 모델 지역 설정 및 격자망 구성 • 경계조건 및 초기조건 입력		
대수층 설정 및 수리상수 결정		
• 대수층 설정 및 수리상수 결정		

○ 입력정수 정의

- 저류계수(Storage, S)
  - 단위 수두(Piezometric Head)변화시에 단위표면적을 통하여 흐르는 지하수 양을 의미
  - 피압 대수층의 경우, $S = Ss \cdot b$
  - 비피압 대수층의 경우, $S = Sy + Ss \cdot b \approx Sy$
- 비저류계수(Specific storage, Ss)
  - 단위수두 변화시 단위체적의 다공질 매체로부터 배수될 수 있는 지하수의 체적

$$Ss = \gamma_w(\alpha + n\beta)$$

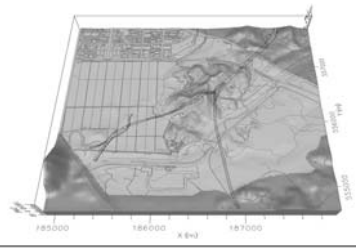
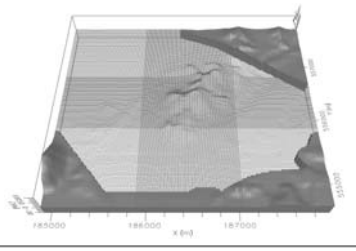
여기서, γ_w : 물의 단위중량
α : 대수층의 압축률
β : 유체(지하수)의 압축률
n : 간극률

  - 포화된 매체의 압축성을 나타내는 항으로 물의 압축성과 대수층이 압축성으로 나타냄
  - 일반적으로 대수층의 압축률에 비하여 물의 압축률은 매우 작기 때문에($\alpha \rangle\rangle\rangle \beta$), 비저류계수는 근사적으로 지하수위 변화에 기인하는 대수층의 압축률로 보기도 함 (Freeze and Cherry, 1979)
- 비산출률(Specific yield, Sy)
  - 단위체적의 포화 다공질 매체(Soil Mass)에서 중력 배수되는 수량을 나타냄
  - 비피압대수층의 경우 비산출율은 간극률과 같음($Sy \cong n$)

분석결과

강매터널

– 모의영역 설정

모 의 영 역	격자망 구성	구 분	격자망 구성
		전체크기	195행×206행×3층
		셀의 크기	20m×20m 단. 터널 주변은 10m×10m의 세 격자로 구성

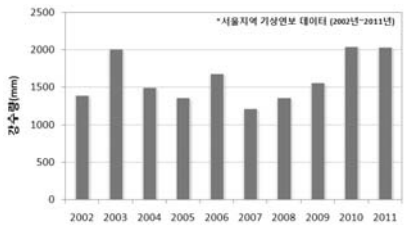
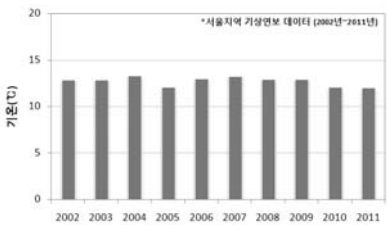
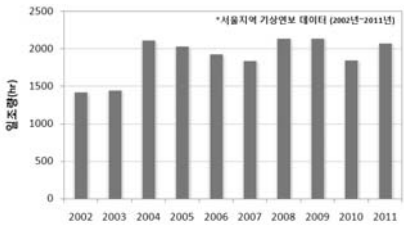
– 수리상수 및 지하수 함양량 산정

• 수리특성 정수 산정

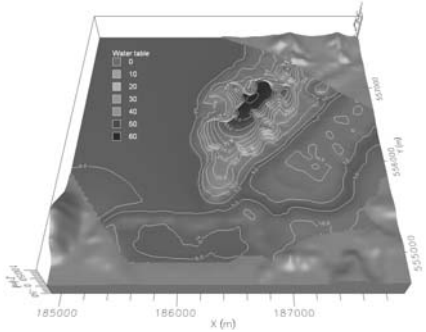
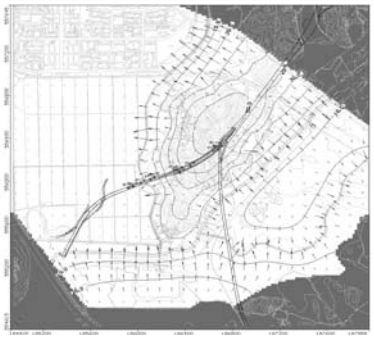
구분	수리전도도(K, cm/sec)	비저류계수(Ss, 1/m)	비산출율(Sy)
풍화토 및 퇴적층	3.01×10^{-4}	1.0×10^{-4}	0.20
연암 및 보통암	4.50×10^{-5}	1.0×10^{-5}	0.15
기반암	5.27×10^{-6}	1.0×10^{-6}	0.10

• 기상현황 및 지하수함양량 산정

- 서울기상관측소에서 관측된 10년간 기상연보 데이터를 분석한 결과 강수량은 1212.3~2043.5mm/yr, 기온은 12.0~13.3℃, 일조량은 1421.4~2145.4hr의 범위로 관측됨
- 기상데이터 분석 결과를 바탕으로 손실량(Turc, Coutagne법) 및 증발산량(Thornthwaite법) 분석을 통한 지하수함양량은 연간강수량의 22.8~23.9%로 산정됨
- 산정결과 함양량은 10년간 평균 강수량 1,615.5mm/yr의 23.4%인 377.45mm/yr로 산정됨

연평균 강수량(mm)	연평균 기온(℃)	연평균 일조량(hr)
		

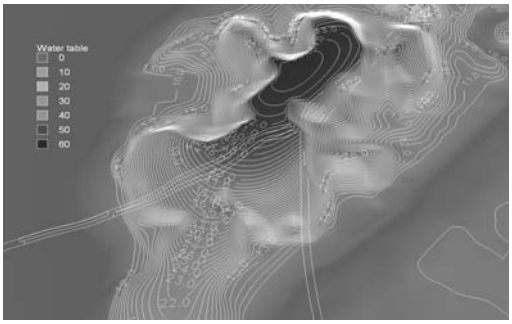
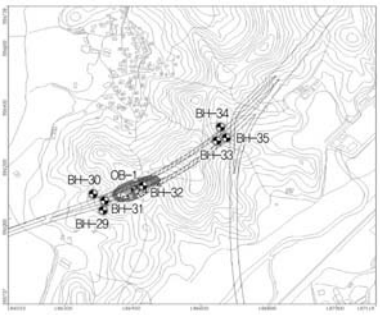
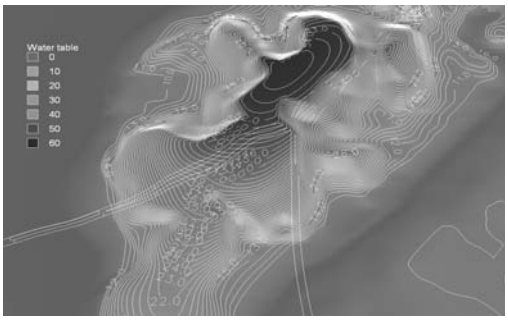
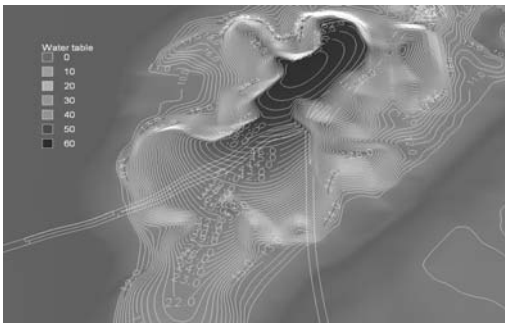
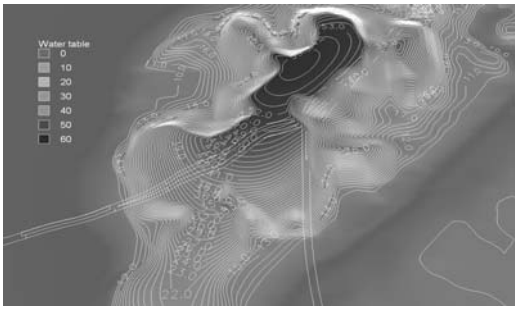
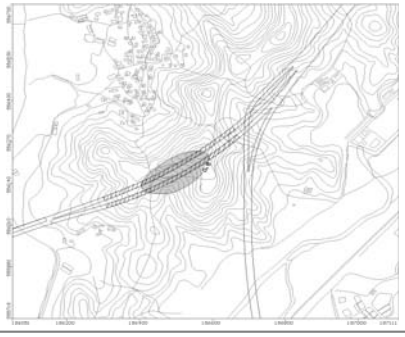
– 현재상태 지하수 유동모의 결과

정류상태 지하수위 분포	정류상태 지하수 유동 방향	분 석 결 과
		• 강매터널 굴착 전 현재 자연 상태의 지하수위 분포 및 지하수 흐름특성 파악 • 터널굴착이후의 유동변화를 모사하기 위한 초기수위로 활용 • 분석결과 모의 영역내 지하수위는 EL+3.0~58.9m로 분포하며, 전반적인 지하수 유동은 지표면에서 함양되어 창릉천 및 성사천으로 유출되는 것으로 나타남

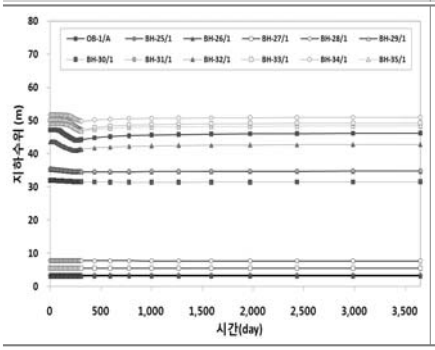
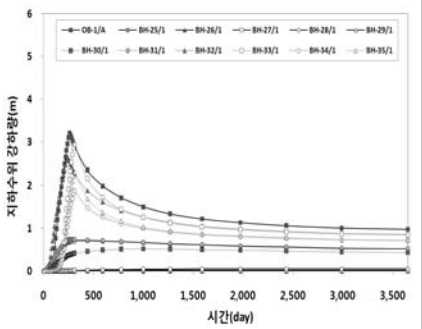
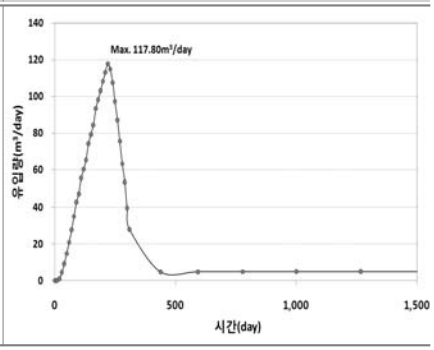
– 터널 건설에 따른 지하수위 변화 모델링 결과

• 지하수위 분포

• 터널공사에 의한 주변지역 지하수위 변화, 인접지역 영향범위 파악 및 터널내 지하수위 유입량 검토
• 분석결과 터널시공 중 지하수위는 OB-1관측점에서 최대 강하량이 발생하는 것으로 나타남
• 원지반수위 47.46m에서 최대 3.27m(93.1%)강하는 것으로 나타났으나, 시공완료 1년 후 원지반수위의 -1.76m(96.3%)까지 지하수위가 회복되며 시공완료 10년 후에는 원지반수위의 -0.95m(97.9%)까지 지하수위가 회복되는 것으로 분석됨
• 터널굴착에 의해 1m이상의 지하수 강하가 발생하는 영향범위는 터널시공완료시 최대 약 135m로 예측되나 이후 지하수함양에 의한 수위회복으로 영향 범위 감소함

구 분	지하수위	지하수위 강하 분포
터널굴착 50%		
터널굴착 완료		
터널시공 완료		
터널시공 완료 10년후		

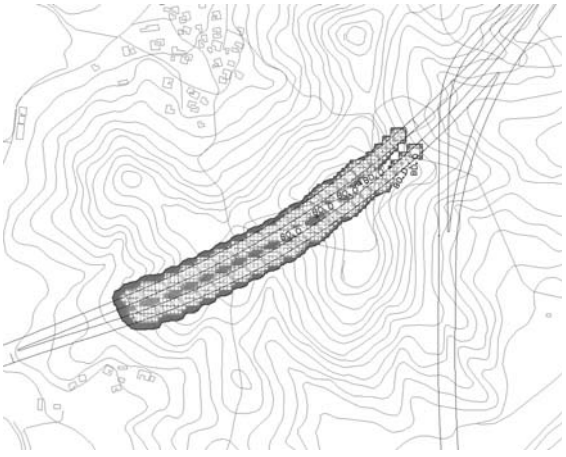
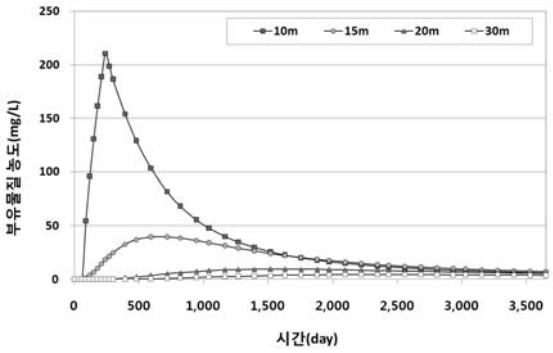
• 지하수위 변화 및 유입량 분석

지하수위 변화 곡선	지하수위 강하 곡선	터널내 지하수위 유입량
		

구 분	터널굴착 50%	터널굴착 완료	터널시공 완료 (굴착+방수처리)	터널시공완료 1년 후	터널시공완료 10년 후
터널내 유입량 (m^3/day)	58.22	121.12	28.34	4.99	5.24
터널내 유입량 (m^3/day/m)	0.204	0.423	0.099	0.017	0.018

– 오염물 거동 분석

- Modflow의 터널굴착에 의한 지하수 유동분석 모델 및 결과를 적용하여 오염원 거동분석 수행
- 보수적인 검토를 위하여 오염원이 항시 굴착된 터널 저면에 분포하는 것을 가정하여 해석을 수행
- Ss의 발생 농도는 환경영향평가 결과와 문헌자료를 참고로 1,750mg/l로 적용
- 수질 및 수생태계보전에 관한 법률상 사업지역의 배출수 농도기준은 80mg/l로 터널굴착에 의해 발생하는 오탁수의 수평방향 최대 확산 거리는 19m로 나타남

굴착완료 직후 오염확산 범위	터널로부터 거리별 오염물 농도변화
	

- 터널시공 중 지하수위는 최대 3.27m까지 강하는 것으로 나타났으나, 시공완료 1년 후 본래 수위의 96.3%까지 지하수위가 회복되며 시공완료 10년 후에는 본래 수위의 97.9%까지 지하수위가 회복되는 것으로 분석됨
- 터널굴착에 의해 발생하는 오탁수의 최대 확산 거리는 19m로 나타났으며 이는 터널굴착으로 인한 터널 인접부근에서의 지하수 흐름이 터널을 향하기 때문에 오염원의 확산거리가 적게 발생하는 것으로 판단됨

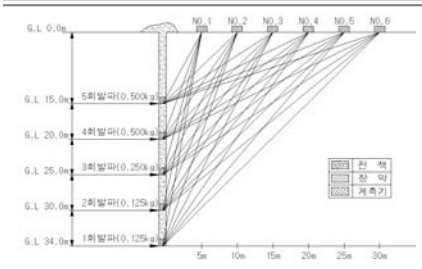
2.1.6 터널구간 발파영향 분석

○ 강매터널

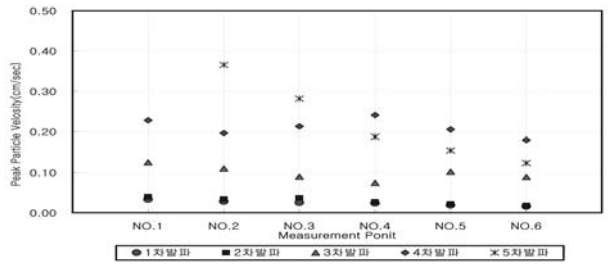
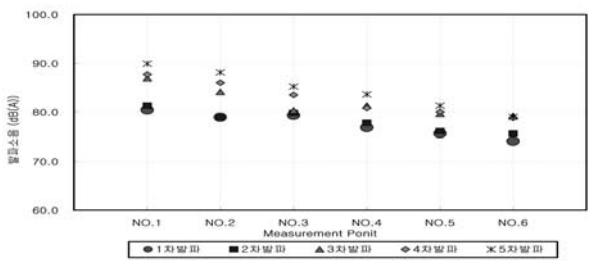
▮ 발파 현황

구 분	발파심도(m)	발파 횟수	장약량(kg)	사용화학
BH-31	15.0~34.0	5회	0.125 ~ 0.5	New Miteplus - I

▮ 발파 진행 및 전경

장약배열 및 계측기 설치도	시험발파 장비	진동측정기 설치
		

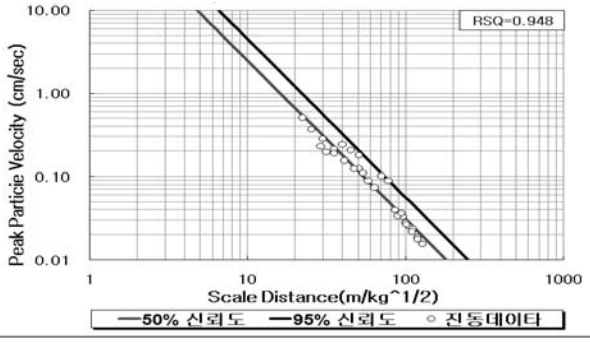
▮ 발파 진동 및 소음 분포

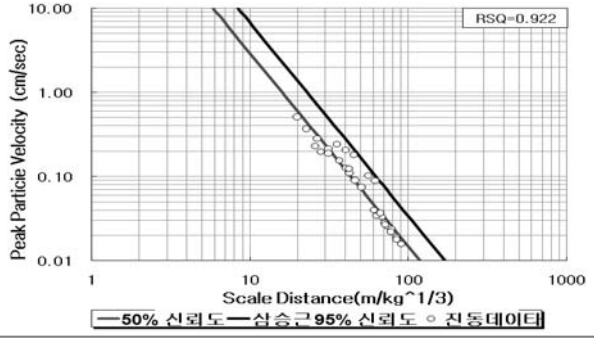
진동 분포도	소음 분포도
	

▮ 발파진동 결과분석

- 추정식 산출

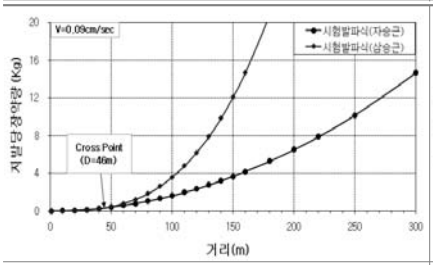
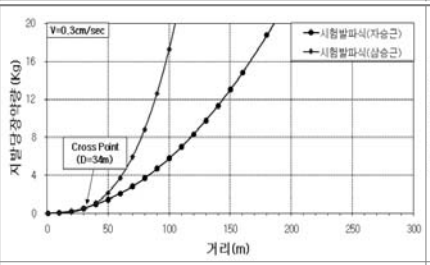
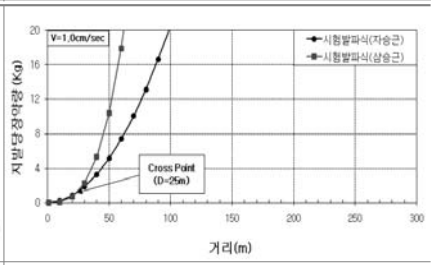
자승근 회귀식 및 도표		삼승근 회귀식 및 도표	
50% 신뢰선	95% 신뢰선	50% 신뢰선	95% 신뢰선
$V=197.47(\frac{D}{W^{1/2}})^{-1.90}$	$V=357.69(\frac{D}{W^{1/2}})^{-1.90}$	$V=584.36(\frac{D}{W^{1/3}})^{-2.30}$	$V=1346.64(\frac{D}{W^{1/3}})^{-2.30}$





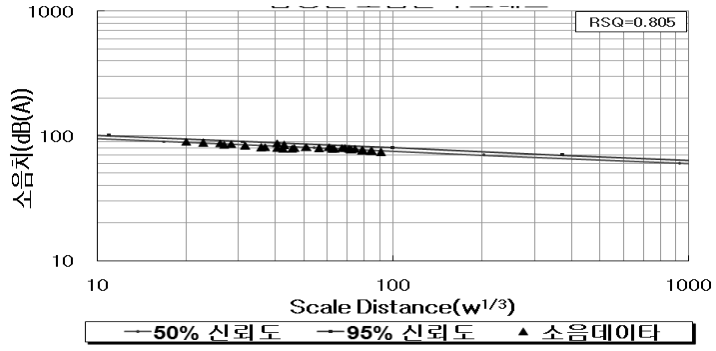
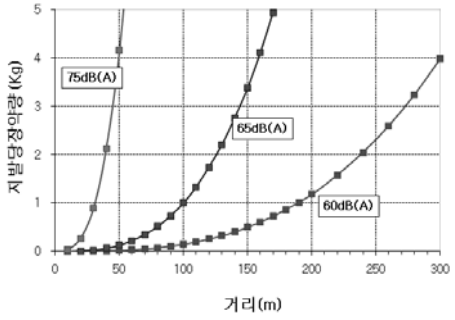
- 발파진동추정식은 95% 회귀선을 사용
- 자승근과 삼승근 중에서 발파진동 허용치별 지발당 장약량이 적게 산출된 회귀식을 이용하여 본 사업구간의 적용 장약량으로 활용

• 발파진동 허용치별 회귀선 교차지점 추정

0.09cm/sec	0.3cm/sec	1.0cm/sec
		
• 교차지점 : 46m	• 교차지점 : 34m	• 교차지점 : 25m

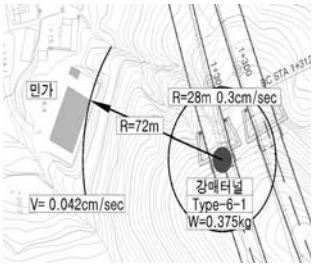
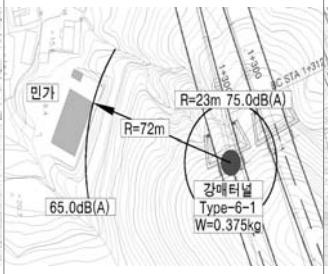
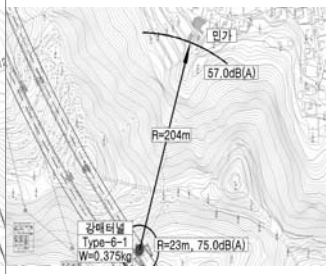
발파소음 결과분석

• 추정식 및 장약량 산출

삼승근 회귀식 및 도표		지발당 허용 장약량 그래프
50% 신뢰선	95% 신뢰선	
$dB(A) = 119.66(\frac{D}{W^{1/3}})^{-0.101}$	$dB(A) = 127.36(\frac{D}{W^{1/3}})^{-0.101}$	
		
		발파소음 허용기준 : 60, 65, 75 dB(A)

• 지반특성이 고려된 발파진동추정식의 발파상수(K)와 감쇠지수(n)를 산출하여 발파진동의 전파특성 예측 및 발파공해로 인한 피해 최소화 발파설계

발파진동 및 소음 영향검토

발파진동 영향 검토		발파소음 영향 검토	
시점부	종점부	시점부	종점부
			
• 0.042cm/sec < 0.3cm/sec ⇒ O.K	• 0.006cm/sec < 0.3cm/sec ⇒ O.K	• 65.0dB(A) < 75.0dB(A) ⇒ O.K	• 57.0dB(A) < 75.0dB(A) ⇒ O.K

2.2 교량구간 성과분석

2.2.1 교량별 지층현황

교량명	위치	해당 공번	풍화암		연암		보통암		경암	
			출현심도	N값	출현심도	RQD(%)	출현심도	RQD(%)	출현심도	RQD(%)
강매교	A1	BH-1	-	-	24.0	0	-	-	25.0	71
	P1	BH-2	-	-	-	-	31.0	65	-	-
	P2	BH-3	39.5	50/7	42.0	39	-	-	-	-
	P3	BH-4	41.0	50/10~4	-	-	-	-	-	-
	P4	BH-5	40.0	50/9~6	-	-	-	-	-	-
	P6	BH-6	40.0	50/10~3	-	-	-	-	-	-
	A2	BH-7	38.0	50/10~3	-	-	-	-	-	-
북로IC R-B교	A2	BH-8	39.0	50/6~3	42.8	5	-	-	-	-
	P2	BH-9	39.0	50/9~6	43.7	0	-	-	-	-
	P1	BH-10	36.0	50/10~4	42.0	0	-	-	-	-
	A1	BH-11	35.0	50/9~3	-	-	-	-	-	-
	A1	BH-17	36.0	50/10~2	-	-	-	-	-	-
북로IC R-A교	A2	BH-20	-	-	27.8	0	-	-	-	-
강매1교	A1	BH-13	37.5	50/5	38.8	0	43.5	45	-	-
	P1	BH-14	36.0	50/10~2	-	-	-	-	-	-
	P2	BH-15	34.0	50/10~4	-	-	-	-	-	-
	A2	BH-16	26.0	50/10~5	30.0	0~34	-	-	-	-
강매2교	A1	BH-21	27.0	50/9	27.5	0~19	-	-	-	-
강매3교	A1	BH-24	30.0	50/10~3	33.2	18	-	-	-	-
	P1	BH-25	29.0	50/10~4	-	-	-	-	-	-
	P2	BH-26	25.5	50/9	29.0	28	-	-	-	-
	P3	BH-27	15.0	50/10	15.8	23	-	-	-	-
	A2	BH-28	12.0	50/9~7	-	-	-	-	-	-
행신1교	A1	BH-41	9.0	50/7	10.2	12	-	-	-	-

*NBB-, NSB- : 보완설계 조사공, BB- : 제3자 공고 조사공

(계속)

교량명	위치	해당 공번	풍화암		연암		보통암		경암	
			출현심도	N값	출현심도	RQD(%)	출현심도	RQD(%)	출현심도	RQD(%)
행신1교	P1	BH-42	2.0	50/10~2	3.7	0~49	-	-	-	-
	A2	BH-43	10.8	50/10~3	-	-	-	-	-	-
행신2교	A1	BH-45	18.0	50/9~5	-	-	-	-	26.7	78
	A2	*NBB-22	14.7	50/8	15.6	0~23	-	-	-	-
행신3교	A1	BH-49	18.5	10/3~2	21.0	0~25	-	-	-	-
	A2	*NBB-24	24.0	50/10~3	-	-	-	-	-	-
도내교	A1	BH-53	15.0	50/10~5	-	-	-	-	-	-
	A2	BH-54	21.0	50/10~8	23.4	24	-	-	-	-
행신ICR-G교	A1	BH-55	14.0	50/7~6	16.0	9	-	-	-	-
	A2	BH-56	16.0	50/9~7	19.5	5	-	-	-	-
행신IC교	A1	BH-57	14.0	50/9~7	16.3	0	-	-	-	-
	A2	BH-58	13.0	50/10~7	17.5	0	-	-	-	-
미병교	A1	BH-68-2	17.0	50/10~2	-	-	-	-	-	-
미병육교	A1	*BB-9	15.0	50/7~2	-	-	-	-	-	-
행신ICR-A교	A2	BH-59	-	-	15.4	9	-	-	-	-
	A1	BH-60	36.0	50/10~7	-	-	-	-	-	-
행신ICR-B교	A2	BH-69	21.0	50/8~2	-	-	-	-	-	-
	A1	BH-70	31.0	50/10~6	34.7	6	-	-	-	-
행신ICR-C교	A2	BH-70-1	30.0	50/9~5	-	-	-	-	-	-
	A1	BH-70-2	18.0	50/10~1	-	-	-	-	-	-
원흥1교	서울 A1	BH-72	16.0	50/10~3	-	-	-	-	-	-
	서울 P1	BH-74	18.0	50/7~2	-	-	-	-	-	-
	문산 P1	BH-74-1	16.0	50/10~7	-	-	-	-	-	-
	P2	BH-75	22.0	50/10~8	-	-	-	-	-	-
	P3	*NBB-27	-	-	21.0	10	-	-	-	-
	P4	BH-76	29.0	50/9~3	-	-	-	-	-	-
	P5	BH-77	38.0	50/10~3	-	-	-	-	41.0	80
	P6	BH-78	31.0	50/10~3	-	-	-	-	-	-

*NBB-, NSB- : 보완설계 조사공, BB- : 제3자 공고 조사공

(계속)

교량명	위치		해당 공번	풍화암		연암		보통암		경암	
				출현심도	N값	출현심도	RQD(%)	출현심도	RQD(%)	출현심도	RQD(%)
원흥1교	A2		BH-79	18.5	50/8~3	-	-	-	-	-	-
원흥2교	서울	P1	BH-87	16.8	50/9~3	-	-	-	-	-	-
	문산	A1	BH-89	15.7	50/8~3	-	-	-	-	-	-
	문산	A2	BH-90	13.8	50/9~3	16.3	10	-	-	-	-
성사3교	서울	A1	BH-92	9.0	50/10	9.5	38	-	-	-	-
	문산	A1	BH-92-2	13.5	50/5	15.0	23	-	-	-	-
	문산	A2	BH-93-1	13.0	50/10~3	18.0	0~5	-	-	-	-
	서울	A2	BH-93	11.0	50/10~2	16.5	25	-	-	-	-
성사4교	A1		BH-94	17.8	50/9~7	20.4	30	-	-	-	-
	A2		BH-94-1	12.8	50/8	13.6	3	-	-	-	-
성사5교	A1		BH-95	6.9	50/15~6	9.8	5	-	-	-	-
흥도육교	A1		BH-98	0.3	50/9~3	2.3	43	-	-	4.2	80~97
성사6교	A1		*BB-16	1.8	50/10~4	-	-	-	-	-	-
	A2		BH-104	-	-	20.6	8	-	-	-	-
현천교	P1		BH-330	21.0	50/5~4	-	-	22.6	45	-	-
	P2		BH-334	20.4	50/8~3	22.4	7~15	-	-	-	-
	P3		BH-335	20.0	50/10~7	22.5	12~21	-	-	-	-
	P4		BH-336	21.8	50/5	23.6	6~10	-	-	-	-
	P5		BH-338	21.0	50/9~3	25.0	15	-	-	-	-
	P6		BH-339	15.0	50/7~4	17.0	7	-	-	-	-
	A2		BH-339-1	12.0	50/10~1	-	-	-	-	23.0	72
현천IC R-A교	A1		BH-331	-	-	23.0	35	-	-	-	-
	P1		BH-332	23.1	50/6~1	24.5	27~ 39	-	-	-	-
	A2		BH-333	21.4	50/7~3	23.0	0~30	-	-	-	-

*NBB-, NSB- : 보완설계 조사공, BB- : 제3자 공고 조사공

(계속)

교량명	위치	해당 공번	풍화암		연암		보통암		경암	
			출현심도	N치	출현심도	RQD(%)	출현심도	RQD(%)	출현심도	RQD(%)
현천IC R-B교	A1	BH-330	21.0	50/5~4	-	-	22.6	45	-	-
	P1	BH-329	22.0	50/6~4	22.8	10~17	-	-	-	-
	P2	BH-328	22.6	50/7~2	23.4	14	-	-	-	-
	P4	BH-326	25.0	50/6~2	26.8	0~8	-	-	-	-
	P5	BH-325	-	-	19.5	0~24	-	-	-	-
	P6	BH-324	19.6	50/8~6	21.6	0~46	-	-	-	-
	P10	BH-320	24.0	50/10~3	32.0	23~26	-	-	-	-
	P11	BH-319	30.0	50/5~2	34.6	13~40	-	-	-	-
	A1	BH-318-1	24.0	50/8~6	26.0	16	-	-	-	-
	A2	BH-317-1	22.0	50/9~2	25.2	10~26	-	-	-	-
수로박스1	A1	BH-345-1	19.0	50/8~3	-	-	-	-	-	-
	A2	BH-346	17.0	50/10~6	-	-	-	-	-	-
난점천 1교	A1	NSB-1	20.4	50/9~8	-	-	-	-	-	-
	A2	BH-345-3	19.0	50/10~2	-	-	-	-	-	-
창릉천교	A1	BH-348	31.0	50/10~3	-	-	-	-	-	-
	P1	BH-349	29.0	50/9	36.0	12	-	-	38.0	60
	P2	BH-350	29.0	50/3~1	32.5	10	-	-	-	-
	P7	BH-355	30.0	50/10~3	-	-	-	-	-	-
	P8	BH-356	15.0	50/8	17.0	33	-	-	-	-
	P9	BH-357	18.0	50/2~1	20.5	23	-	-	-	-
	P10	BH-358	19.0	50/7	20.7	15	-	-	-	-
	P11	BH-359	19.0	50/10~4	-	-	-	-	-	-
	P12	BH-360	20.0	50/7	-	-	-	-	-	-
	P13	BH-361	23.0	50/8	23.8	0~9	-	-	-	-
	A2	BH-362	8.0	50/9~5	9.7	24	-	-	-	-

*NBB-, NSB- : 보완설계 조사공, BB- : 제3자 공고 조사공

○ 지층 분포 현황

구분	풍화암	연 암	보통암	경 암
출현심도(m)	1.8~41.0	3.7~43.7	13.6~43.5	15.3~41.0

분석결과

- 지지층인 풍화암:GL.(-)1.8~41.0m, 연암:GL.(-)3.7~43.7m, 보통암:GL.(-)13.6~43.5m, 경암:GL.(-)15.3~41.0m로 분포
- 한강주변 교량의 연암층(GL.(-) 19.5~43.7m)이 비교적 깊게 분포

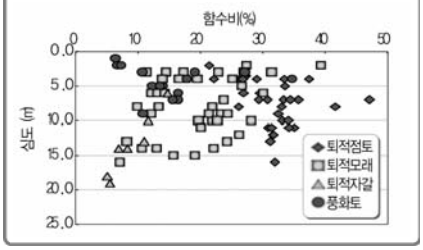
2.2.2 공학적 특성 분석

토사 및 풍화대 특성분석

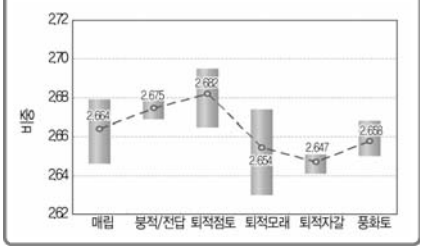
물리적 특성

구 분		함수비(%)	비 중	Atterberg Limits(%)		통과중량 백분율(%)		USCS
				LL	PI	No.4	No.200	
매립층		9.9~27.1	2.646~2.679	31.8~36.4	11.0~15.9	63.7~95.9	22.0~51.2	SM, SC, CL
붕적층/전답층		16.3~24.1	2.669~2.68	29.2~30.5	10.0~19.6	96.4	38.4~84.9	SC, CL
퇴적층	점성토	21.4~47.1	2.665~2.695	31.3~49.2	9.0~25.8	93.3~100.0	54.4~99.2	CL, ML
	사질토	7.1~39.3	2.63~2.674	27.3~42.6	10.1~21.2	40.2~100.0	1.4~47.0	SM, SP, SC
	자갈층	5.1~14.7	2.641~2.651	N.P	N.P	24.0~45.0	12.3~18.4	GM
풍화토		6.4~34.7	2.65~2.668	N.P	N.P	62.0~100.0	16.4~48.5	SM

함수비



비중



분석결과

- 평균 함수비/비중
  - –퇴적점토: 31.4%/2.682
  - –퇴적모래 : 19.7%/2.654
  - –퇴적자갈 : 9.0%/2.647
  - –풍 화 토 : 15.2%/2.658

강도특성

– 공내전단시험

구분	N값	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	비고
풍화토	50/14~50/11	18.2~19.4	28.9~29.3	–

변형특성

– 공내재하시험

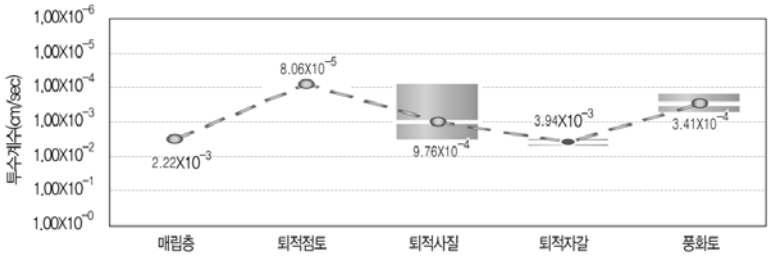
구분	N값	변형계수(MPa)	탄성계수(MPa)	비고
풍화암	50/6~50/2	198~385	375~743	–

수리특성

– 투수시험

지층		평균 k, cm/sec
매립층		$2.22X10^{-3}$
퇴적층	점성토	$8.06X10^{-5}$
	사질토	$9.76X10^{-4}$
	자갈층	$3.94X10^{-3}$
풍화토		$3.41X10^{-4}$

지층별 투수계수

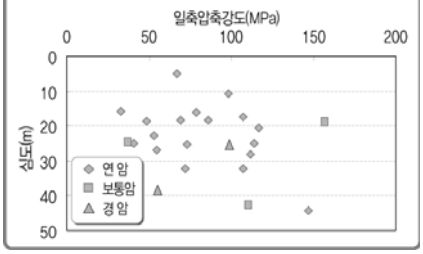


기반암의 특성분석

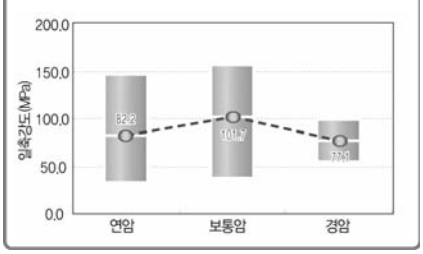
강도특성

지층	단위중량 (kN/m³)	탄성파속도(m/s)		일축강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)	포아송비
		P파	S파			
연 암	24.74~27.38	2,367~4,674	1,353~2,936	32.8~147.1	8.79~53.61	0.18~0.49
보통암	26.39~27.93	3,561~5,122	2,104~3,297	37.3~157.1	23.01~49.36	0.21~0.25
경 암	26.64~26.81	4,032~4,297	2,434~2,683	55.2~99.0	24.34~37.63	0.20~0.22

심도별 일축압축강도



지층별 일축압축강도



분석결과

- 일축압축강도(MPa)/평균(MPa)
  - –연 암 : 32.8~147.1/82.2
  - –보통암 : 37.3~157.1/101.7
  - –경 암 : 55.2~99.0/77.1

변형특성

– 공내재하시험

구분	RQD(%)	변형계수(MPa)	탄성계수(MPa)	비고
연 암	0~46	436~11,664	734~39,850	–
보통암	80	13,704	49,682	–

수리 및 내진특성

– 수압시험

구 분	연암	보통암	경암	비고
평균 k, cm/sec	$6.82X10^{-5}$	$5.77X10^{-6}$	–	–

동적지반특성분석

구 분	밀도 (kN/m³)	탄성파속도		동적특성치			
		V_p(m/s)	V_s(m/s)	동포아송비	동전단계수(MPa)	동탄성계수(MPa)	동체적계수(MPa)
매립층	17.5~17.8	350	131	0.418	31	87	178
퇴적(CL)	16.8	455	180	0.41	55	154	276
퇴적(ML)	17.4	534~579	215~241	0.395~0.40	80~101	226~282	390~448
퇴적(SM)	17.9	574	237	0.40	101	281	456
퇴적(SP)	17.3~17.5	457~590	184~248	0.392~0.403	60~108	168~300	287~466
퇴적(GM)	19.2	661	295	0.375	169	464	619
풍화토	19.1	689	308	0.38	183	502	668
풍화암	21.5	912	440	0.348	417	1,126	1,235
연 암	23.7	1,256	644	0.322	993	2,621	2,433
보통암	24.9	1,646	850	0.32	1,804	4,753	4,356

2.3 토공구간 성과분석

2.3.1 공학적 특성 분석

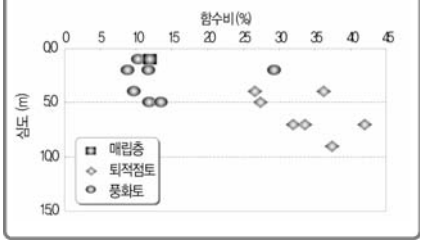
○ 토사 및 풍화대 특성분석

■ 물리적 특성

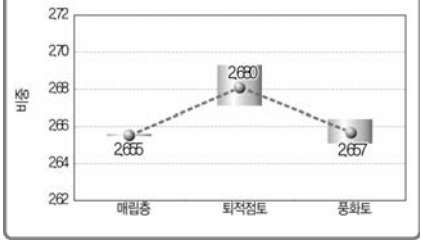
– 기본물성시험

구 분		함수비(%)	비 중	Atterberg Limits(%)		통과중량 백분율(%)		USCS
				LL	PI	No.4	No.200	
매립층		11.2	2.655	N.P	N.P	70.5	25.7	SM
퇴적층	점성토	26.6~42.0	2.671~2.963	33.4~46.7	21.3~24.8	100	65.2~98.6	CL, ML
풍화토		8.8~29.4	2.651~2.664	N.P	N.P	77.3~100	16.4~28.3	SM
풍화암		8.6	2.651	N.P	N.P	87.7	14.1	SM

함수비



비중



분석결과

- 평균 함수비/비중
  - –매 립 층 : 11.2%/2.665
  - –퇴적점토: 33.6%/2.680
  - –풍 화 토 : 13.6%/2.657

■ 강도특성

– 공내전단시험

구분	N값	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	비고
풍화토	50/14	18.9	27.8	–

■ 변형특성

– 공내재하시험

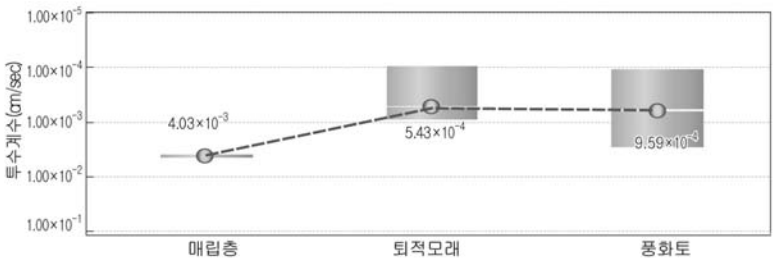
구분	N값	변형계수(MPa)	탄성계수(MPa)	비고
퇴적층	4/30	3.14	–	–

■ 수리특성

– 투수시험

지층		평균 k, cm/sec
매립층		$4.03X10^{-3}$
퇴적층	사질토	$5.43X10^{-4}$
풍화토		$9.59X10^{-4}$

지층별 투수계수



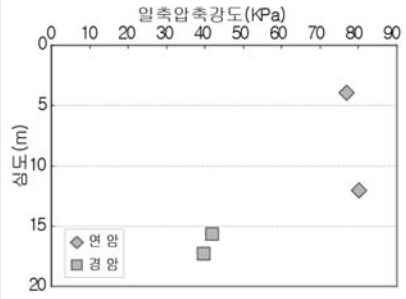
기반암 특성분석

강도특성

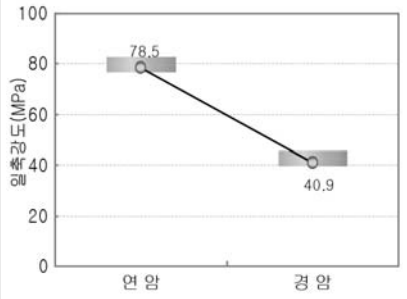
– 기본물성 및 일축압축강도

지층	단위중량 (kN/m³)	탄성파속도(m/s)		일축강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)	포아송비
		P파	S파			
연 암	26.66~27.00	4,575~5,102	4,695~3,175	76.8~80.2	49.0	0.23~0.26
경 암	26.41~27.47	3,539~4,859	2,088~3,063	39.7~42.0	21.8~27.5	0.21~0.28

심도별 일축압축강도



지층별 일축압축강도



분석결과

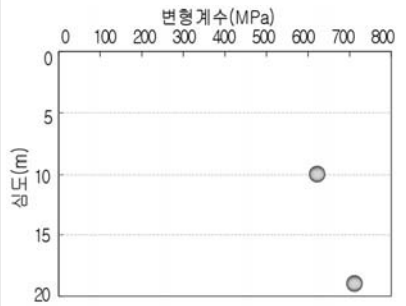
- 일축압축강도(MPa)/평균(MPa)
  –연 암 : 76.8~80.2/78.5
  –경 암 : 39.7~42.0/40.9
- 연암에 비해 경암이 매우 낮게 평가됨

변형특성

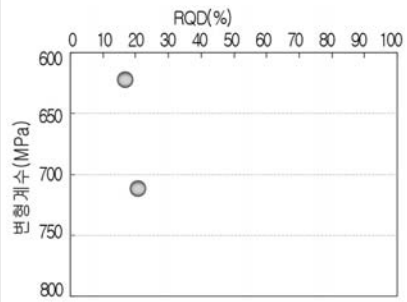
– 공내재하시험

지층	RQD(%)	변형계수(MPa)	탄성계수(MPa)	비고
연 암	17~21	623~712	971~995	–

심도별 변형계수



RQD–변형계수



분석결과

- 변형계수(MPa)/평균
  –연 암 : 623~712/667.5
- 심도가 깊어질수록 변형계수 증가
- RQD가 증가할수록 변형계수 증가

수리 및 내진특성

– 수압시험

구 분	연암	보통암	경암
평균 k, cm/sec	–	$2.37X10^{-5}$	–

2.3.2 쌓기재 특성분석

○ 쌓기재료의 품질기준

구 분	노 상		노 체	비고
	상부노상	하부노상		
최대치수(mm)	100 이하	150 이하	300 이하	–
수정 CBR	10 이상	5 이상	2.5 이상	KS F 2320
No.4체 통과량(%)	25~100	–	–	–
No.200체 통과분(%)	0~25	50 이하	–	KS F 2301, KS F 2309
소 성 지 수	10 이하	30 이하	–	KS F 2303

○ 쌓기재료의 다짐 특성 및 품질평가

구 분		수정 CBR (%)	#4체통과량 (%)	#200체통과량 (%)	소성지수 (%)	쌓기재 적부 판정		
						상부노상	하부노상	노체
1공구	NTP-1	13.2	97.9	41.4	–	부적합	적합	적합
	NTP-2	13.7	97.0	44.8	–	부적합	적합	적합
	NTP-3	16.5	89.0	36.4	–	부적합	적합	적합
2공구	NTP-4	17.2	84.8	37.4	–	부적합	적합	적합
3공구	NTP-5	18.1	71.9	29.0	–	부적합	적합	적합
	NTP-6	15.2	93.2	39.3	–	부적합	적합	적합
	NTP-7	16.9	89.5	40.9	–	부적합	적합	적합
4공구	NTP-8	14.2	100.0	38.1	–	부적합	적합	적합
	NTP-9	16.1	96.1	43.3	–	부적합	적합	적합

분석결과

- 검토결과 하부노상과 노체의 품질기준은 만족하나 상부노상은 #200통과율이 기준치에 미달
- 제한된 시료에 의하여 실시되었으므로 실제 토공 작업시 다소 차이가 있을 것 으로 판단

○ 토공변화율 산정결과

구 분		자연상태		다짐특성						흐트러진 상태	
		함수비 (%)	건조밀도 (kN/m^3)	A다짐(90%)			D다짐(95%)			건조밀도 (kN/m^3)	L
				γ_{dmax} (kN/m^3)	OMC (%)	C	γ_{dmax} (kN/m^3)	OMC (%)	C		
1공구	NTP-1	21.4	15.2	16.94	15.9	0.997	18.54	12.7	0.863	14.60	1.041
	NTP-2	14.1	15.8	17.30	14.8	1.015	18.87	11.9	0.882	14.40	1.098
	NTP-3	11.5	16.9	17.39	13.8	1.082	19.05	11.1	0.936	14.00	1.210
2공구	NTP-4	18.0	15.2	17.86	13.2	0.948	19.49	10.3	0.823	13.60	1.120
3공구	NTP-5	6.6	17.1	18.36	12.3	1.033	19.76	9.8	0.910	14.70	1.162
	NTP-6	16.1	16.0	17.57	15.6	1.014	19.06	12.2	0.886	14.10	1.137
	NTP-7	20.1	15.3	17.82	14.1	0.954	19.39	11.4	0.830	14.20	1.077
4공구	NTP-8	22.1	15.5	17.19	14.9	1.003	18.77	11.8	0.870	15.10	1.027
	NTP-9	21.9	15.3	17.66	14.3	0.962	19.13	11.5	0.841	12.90	1.185

2.3.3 노상지지력비 산정

○ 설계 CBR산정

CBR갯수(n)	2	3	4	5	6	7	8	9	10이상
d2	1.41	1.91	2.24	2.48	2.67	2.83	2.96	3.08	3.18

$$\text{설계CBR} = \text{CBR평균치} - \frac{\text{CBR 최대치} - \text{CBR 최소치}}{d2}$$

○ 기각판정 계수

CBR갯수(n)	3	4	5	6	7	8	9	10이상
r(n,0.05)	0.941	0.765	0.642	0.560	0.507	0.468	0.437	0.412

	기각판정:V〈γ 이면 O.K
최대치 기각	$v = \frac{X_{max} - X_{max-1}}{X_{max} - X_{min}}$ • X_{max} : 최대성과치, X_{max-1} : 2번째 최대성과치

	기각판정:V〈γ 이면 O.K
최소치 기각	$v = \frac{X_{min-1} - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$ • X_{min} : 최소성과치, X_{min-1} : 2번째 최소성과치

○ CBR시험 결과

■ 기본계획

구분	TP-1	TP-2	TP-3	TP-4	TP-5	TP-6	TP-7	TP-8	TP-9
CBR(%)	12.8	12.4	11.4	11.7	12.1	10.8	12.5	10.6	10.3

■ 실시설계

구분	NTP-1	NTP-2	NTP-3	NTP-4	NTP-5	NTP-6	NTP-7	NTP-8	NTP-9
CBR(%)	13.2	13.7	16.5	17.2	18.1	15.2	16.9	14.2	16.1

○ CBR판정 결과

구분	분석결과	판정결과
시험치 판정	총 18개소(기본계획 : 9개소, 실시설계 : 9개소)	-
최대치 판정	18.1 - 17.2 / 18.1 - 10.3 = 0.115 〈 0.412	O.K
최소치 판정	10.6 - 10.3 / 18.1 - 10.3 = 0.038 〈 0.412	O.K
설계CBR 산정	13.7 - ((18.1 - 10.3) / 3.18)= 11.3	

2.4 연약지반 성과분석

2.4.1 연약지반 판정 기준

기본방향	• 계획노선의 연약지반 분포구간에 대하여 시추조사 및 불교란 시료에 대한 실내시험 수행 • 연약지반 판정기준을 수립 · 적용하여 해당지역의 물리적, 역학적 성질을 파악 • 설계시 연약지반 처리대책 수립을 위해 분포 구간에 대한 설계기초자료 제공

○ 연약지반 판정

■ 기존문헌에 의한 판정기준

– 도로설계요령(2002)

구 분	이탄질 지반 및 점토질 지반		사질토 지반
	층두께 10m 미만	층두께 10m 이상	–
N 값	4 이하	6 이하	10 이하
q_u(MPa)	0.06 이하	0.1 이하	–
q_c(MPa)	0.8 이하	1.2 이하	4.0 이하

– 한국토지공사–단지조성공사 설계 및 적산기준(2005)

구 분	점성토 또는 유기질토		모래 또는 사질토
	층두께 10m 미만	층두께 10m 이상	–
N 값	3 이하	5 이하	10 이하
q_u(MPa)	0.06 이하	0.1 이하	–

– 토질 특성에 따른 기준(도로설계실무편람, 1996)

구 분	토 질 구 분			토질 정수			
				W_n(%)	e_o	q_u(MPa)	N 값
이탄질	고유기질토 (Pt)	피트(Peat)	섬유질 고압축토	300 이상	7.5 이상	0.04 이하	1 이하
		흑니	분해가 진척된 고유기질토	250~300	5.0~7.5		
점토질	세립토	유기질토	소성도 A선 이하	100~200	2.5~5.0	0.1 이하	4 이하
		화산회질 점토	소성도 A선 이상	50~100	1.25~2.5		
		실트	소성도 A선 이하	30~50	0.8~1.25		
		점토	소성도 A선 위	30 이하	0.8 이하		
사질토	사질토	SM, SC	200체 통과량 : 15~50%	30~50	0.8~1.25	거의 0	10이하
		SP–SC, SW–SM	200체 통과량 : 15 이하	30 이하	0.8 이하		

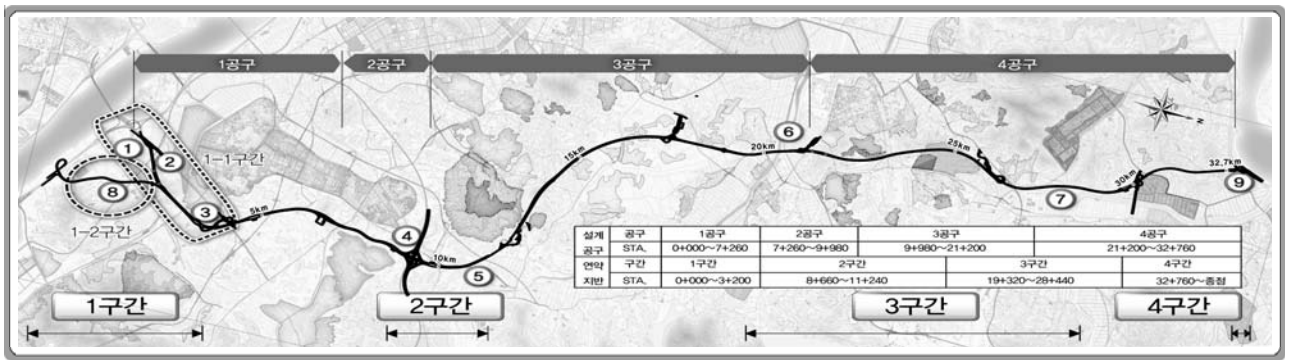
주) q_u : 일축압축강도, q_c : 콘지지력, q_b : 장기허용지지력

■ 연약지반 판정 기준

구 분	이탄질 지반 및 점토질 지반		사질토 지반	비 고
층 두께	층두께 10m 미만	층두께 10m 이상	–	
N 값	4 이하	6 이하	10 이하	• 도로설계요령 기준 적용
q_u(MPa)	0.06 이하	0.1 이하	–	
q_c(MPa)	0.8 이하	1.2 이하	4.0 이하	

2.4.2 연약지반 구역 구분

○ 연약지반 분포구간 분석



위 치(STA.)		구성 토질	출현심도 (G.L(-)m)	층후(m)	N 값	대상 지층	연약층 하부지층	비 고
①	사업시점~0+300	CL	1.8~14.5	0.9~1.5	1/30~4/30	퇴적층	퇴적층(SM, GP)	
		ML	1.0~12.0	0.5~6.5	2/30~4/30			
②	1+000~1+318	ML	1.9~9.0	1.0~1.1	4/30	퇴적층	퇴적층(SM), 풍화토	
③	3+000~3+200	CL	0.0	8.0	1/30~2/30	퇴적층	퇴적층(SM, SC)	
		ML	4.0	2.5	3/30~4/30			
④	8+660~9+540	CL	0.0~4.0	0.7~2.2	1/30~4/30	매립, 붕적, 퇴적층	퇴적층(SM, SC, SP, GP) 풍화토	부분적 분 포
		ML	3.5	3.5	2/30~3/30			
⑤	10+640~11+240	CL	0.0~0.8	1.2~2.2	3/30~4/30	매립, 붕적, 퇴적층	퇴적층(SM, GP) 붕적층(SM)	부분적 분 포
		ML	1.4~5.0	1.0~2.0	2/30~3/30			
⑥	19+320~21+160	CL	0.0~8.0	1.0~6.4	2/30~4/30	퇴적층	퇴적층(SM, SW) 풍화토	
		ML	1.0~4.7	0.7~2.9	1/30~4/30			
⑦	27+900~28+440	CL	1.5~9.0	1.0~3.5	3/30~4/30	퇴적층	퇴적층(SP, SW)	
⑧	(지선) 0+060~1+760	CL	0.8~5.4	1.0~11.9	3/30~6/30	퇴적층	퇴적층(SM, GP) 풍화토	
		ML	2.6~9.0	1.0~4.0	2/30~6/30			
⑨	32+760~종점, 내포IC Ramp-B	CL	3.0~4.5	2.0~6.1	2/30~6/30	퇴적층	퇴적층(SM, SP), 풍화토	
		ML	4.0~7.5	2.0~10.0	2/30~6/30			

○ 점토(CL) 연약지반구간 선정

구 분		지형적 조건	연약지반 분포현황	비 고
1구간	1-1구간 (①~③지역)	• 창릉천 하류 농경지구간 통과	• 출현심도 : 1.8~14.5m • 층후 : 0.9~8.0m(평균 2.4m)	사업시점~ 3+200
	1-2구간 (⑧지역)	• 한강 주변 및 창릉천 하류 주변 구릉지성 산지내 농경지 통과	• 출현심도 : 0.8~5.4m • 층후 : 1.0~11.9m(평균 4.4m)	지선0+0 ~1+381
2구간 (④~⑤지역)		• 공릉천 지류 주변 구릉지성 산지내 농경지 통과	• 출현심도 : 0.0~4.0m • 층후 : 0.7~2.2m(평균 1.6m)	8+660~ 9+540
3구간 (⑥~⑦지역)		• 공릉천 및 문산천 주변 퇴적지대 발달 및 농경지 통과	• 출현심도 : 0.0~8.0m • 층후 : 1.0~6.4m(평균 3.3m)	19+320~ 28+600
4구간(⑨지역)		• 임진강 주변 퇴적지대 발달 및 농경지 통과	• 출현심도 : 3.0~4.5m • 층후 : 2.0~6.1m(평균 4.0m)	32+760~ 내포IC Ramp

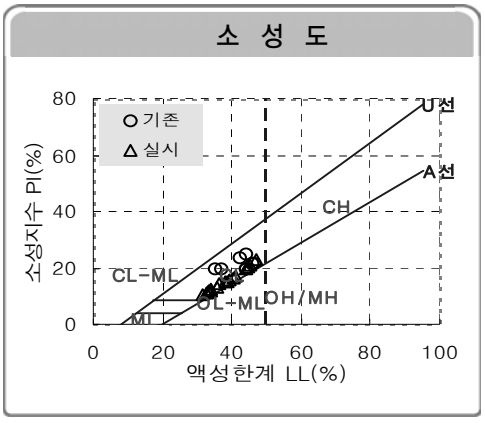
• 연약지반 1구간(1-1구간, 1-2구간)은 사업 1공구(지선 STA.0+000~2+000, 본선 STA.0+000~7+260)에 해당

2.4.3 물리적 특성 분석

기본방향

- 점토의 Consistency는 외력에 대한 유동 및 변형에 저항하는 정도를 나타내므로 연약지반 성토시 흙의 거동을 판단
- 점토광물에 따라 변화되는 함수비 특성은 자연시료의 역학적 특성과 연관되어 있음
- 흙이 함유한 수분(함수비)의 양이 클수록 입자간 상호작용은 작아지며, 액성한계가 클수록 팽창 또는 수축하려는 경향이 우세함

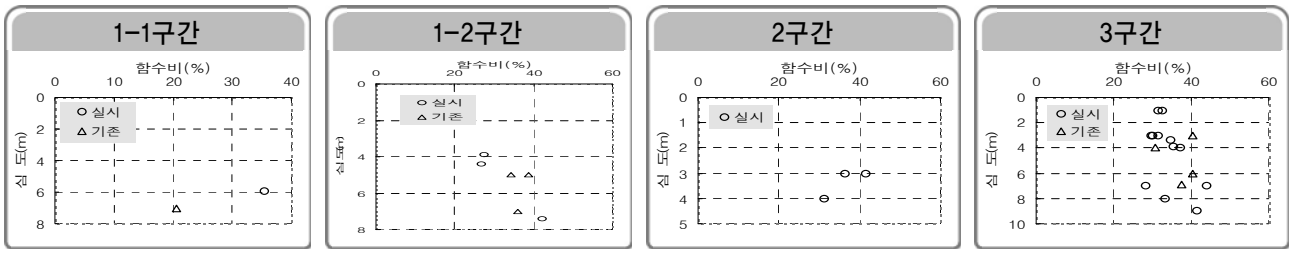
소성도 및 활성도



구 분		2μ m 통과량(%)	액성한계(%)	소성지수(%)	활성도
1-1구간	범 위	15.0~16.1	38.0~44.1	14.8~20.0	0.92~1.33
	평 균	15.6	41.1	17.4	1.13
1-2구간	범 위	13.2~19.0	31.7~46.5	10.5~21.6	0.78~1.34
	평 균	15.6	41.2	17.7	1.12
2구간	범 위	13.4~15.6	33.5~44.4	12.0~20.3	0.88~1.30
	평 균	14.2	39.0	15.9	1.11
3구간	범 위	8.6~17.5	32.5~47.2	10.9~24.9	0.8~2.3
	평 균	13.5	38.0	16.5	1.28
4구간	범 위	3.9~22.1	36.1~44.2	8.80~22.9	0.48~1.04
	평 균	15.9	38.7	14.5	0.71

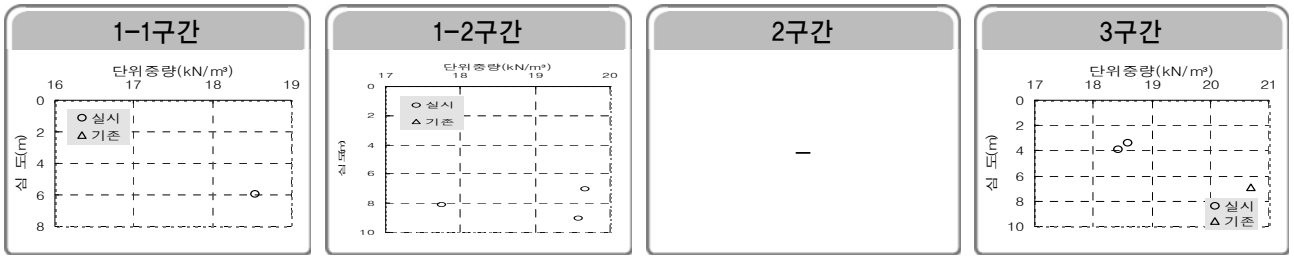
함수비 및 단위중량

함수비



구 분	1-1구간	1-2구간	2구간	3구간	4구간
범 위	20.5~35.4	26.6~42.0	31.3~41.5	28.1~44.0	31.5~37.8
평 균	28.0	34.2	36.3	34.9	34.6

단위중량(γ_t)



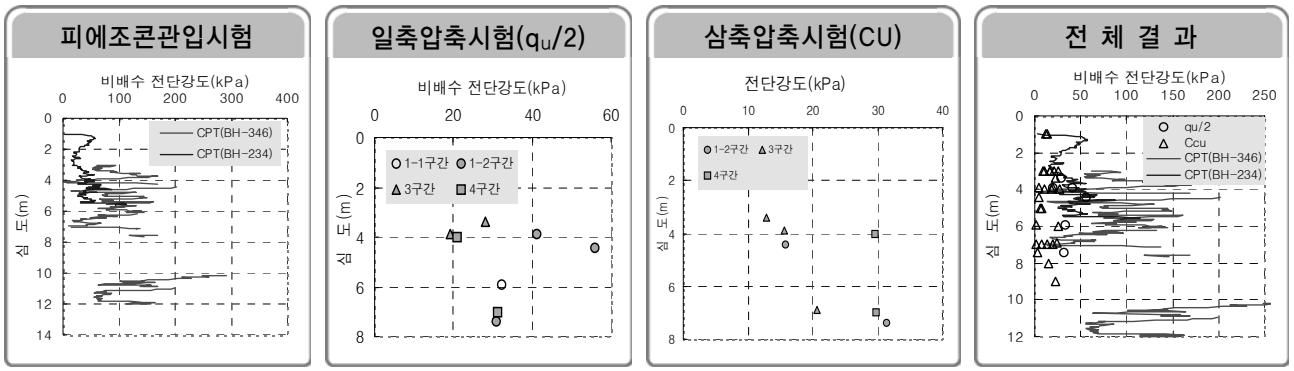
구 분	1-1구간	1-2구간	2구간	3구간	4구간
범 위	18.5	17.8~19.7	–	18.4~20.7	18.4~19.1
평 균	18.5	19.0	–	19.2	18.7

2.4.4 강도 특성 분석

기본방향

- 점토의 비배수전단강도는 경계조건, 하중재하속도와 방향, 구속응력, 초기응력 등의 변수에 영향을 받으므로 불교란시료(U/D)를 채취하여 실내시험 수행
- 삼축압축시험에서 얻어진 비배수전단강도는 $q_u/2$의 경향을 보이며, 연속적 측정이 이루어진 값이 아니므로 심도에 따른 특성은 보이지 않음

전단강도

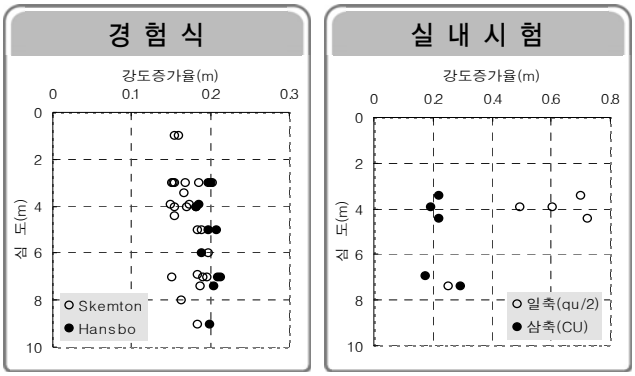


구 분	피에조콘관입시험		일축압축($q_u/2$)		삼축압축(CU)	
	범 위	평 균	범 위	평 균	범 위	평 균
1-1구간	–	–	32.4	32.4	–	–
1-2구간	2.1~149.7	84.6	30.8~41.3	34.9	15.7~31.3	23.5
3구간	15.4~94.6	36.7	19.3~28.1	23.2	12.8~20.1	16.4
4구간	–	–	21.0~31.3	26.1	29.6~29.8	29.7

- CPT에 의한 비배수전단강도는 2.1~149.7 kPa정도이며, 일축압축시험으로 추정한 비배수전단강도는 19.3~41.3 kPa임
- 1-2구간(지선구간) 지역에 분포하는 점토의 S_u는 실트와 모래가 혼재하여 3구간보다 다소 높게 나타남

강도증가율(m) 산정

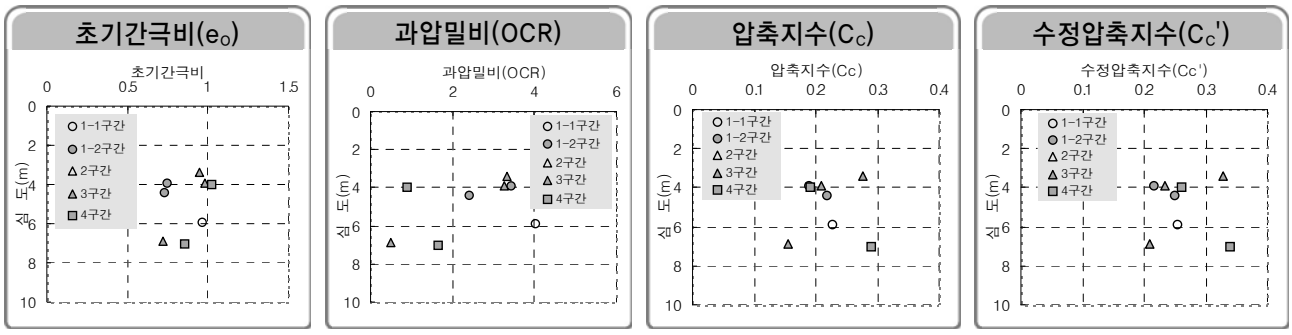
구 분		산 정 방 법	비 고
경험식	Skemton	0.11+0.0037×PI	
	Hansbo	0.0045×LL (LL > 40)	
실내시험	일축압축	$Su/P' = \frac{qu/2}{\gamma' z}$	선형회귀
	삼축(UU)	$Su/P' = \frac{Cuu}{\gamma' z}$	선형회귀
	삼축(CU)	$Su/P' = \frac{\sin\Phi'}{1+\sin\Phi'}$	선형회귀
현장시험		$Su/P' = \frac{Su(Ffield)}{\gamma' z}$	선형회귀



구 분	경 험 식		실 내 시 험			현장시험	전체자료
	Skemton	Hansbo	일축압축	삼축(UU)	삼축(CU)		
1-1구간	0.16~0.18	0.20	0.60	–	–	–	0.16~0.60
1-2구간	0.15~0.19	0.20~0.21	0.25~0.72	–	0.22~0.29	1.32	0.15~1.32
2구간	0.15~0.19	0.20	–	–	–	–	0.15~0.20
3구간	0.15~0.20	0.18~0.21	0.49~0.70	–	0.17~0.22	1.13	0.15~1.13
4구간	0.14~0.19	0.20	–	–	–	–	0.14~0.20

2.4.5 압밀 특성 분석

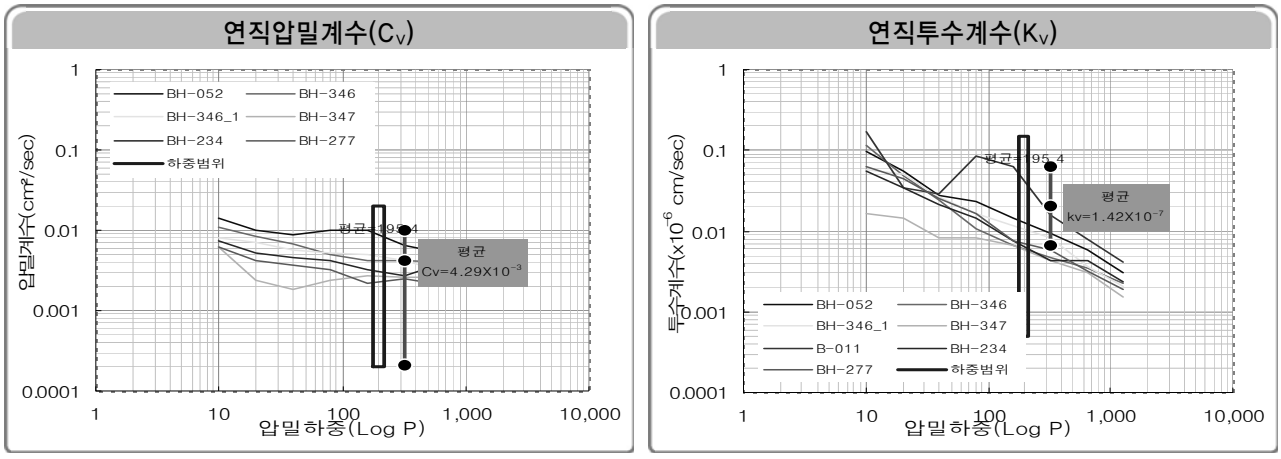
◯ 초기간극비(e_o), 과압밀비(OCR) 및 압축지수(C_c)



구 분	초기간극비(e_o)		과압밀비(OCR)		압축지수(C_c)		수정압축지수(C_c')	
	범 위	평 균	범 위	평 균	범 위	평 균	범 위	평 균
1-1구간	0.96	0.96	4.02	4.02	0.23	0.23	0.25	0.25
1-2구간	0.73~1.16	0.88	0.93~3.42	2.25	0.19~0.24	0.21	0.22~0.26	0.24
3구간	0.72~0.98	0.88	0.49~3.32	2.36	0.16~0.28	0.21	0.21~0.33	0.26
4구간	0.85~1.03	0.94	0.89~1.66	1.27	0.19~0.29	0.24	0.26~0.34	0.30

- 점토층의 과압밀비는 0.49~4.02범위(평균 2.3)로서 상부 매립활동이 진행되어 대부분 과압밀(OC) 상태로 나타남
- 압축지수는 0.16~0.29(평균 0.22). 수정압축지수는 0.21~0.34(평균 0.26)범위로서 구간별로 유사하게 나타남

◯ 연직압밀계수(C_v) 및 투수계수(K_v)

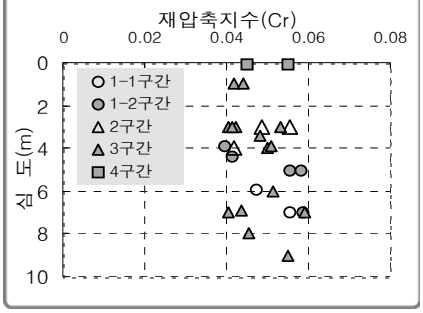


구 분	연직압밀계수(10^{-3} cm^2/sec)		연직투수계수(10^{-7} cm/sec)	
	범 위	평 균	범 위	평 균
1-1구간	9.84	9.84	2.29	2.29
1-2구간	2.74~5.05	4.02	0.66~1.18	0.83
3구간	3.24~4.16	3.70	1.47~1.66	1.57
4구간	2.34~5.10	3.82	0.92~1.79	1.35

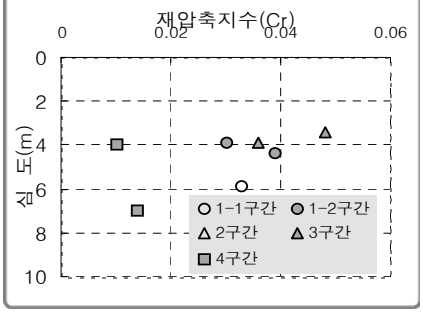
- 상재하중을 고려한 하중단계(P_0+△P/2)의 연직압밀계수(C_v)는 2.34~9.84×10^{-3} cm^2/sec 범위로 나타남
- 상재하중을 고려한 하중단계(P_0+△P/2)의 연직투수계수(K_v)는 0.66~2.29×10^{-7} cm/sec 범위로 나타남

◯ 재압축지수(C_r) 및 2차압축지수(C_α)

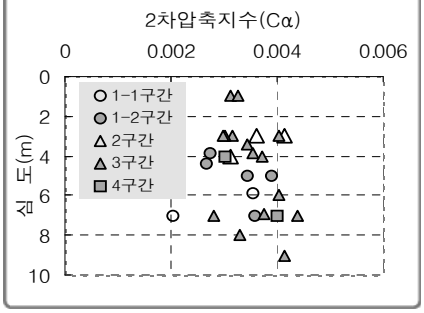
경험식에 의한 재압축지수(C_r)



실내시험에 의한 재압축지수(C_r)



경험식에 의한 2차압축지수(C_α)



구 분	경험식에 의한 재압축지수(C_r)		실내시험에 의한 재압축지수(C_r)		2차압축지수(C_α)	
	범 위	평 균	범 위	평 균	범 위	평 균
1-1구간	0.047~0.055	0.051	0.033	0.033	0.002~0.004	0.003
1-2구간	0.039~0.059	0.052	0.03~0.044	0.038	0.003~0.004	0.003
2구간	0.042~0.055	0.049	–	–	0.003~0.004	0.004
3구간	0.04~0.059	0.047	0.036~0.048	0.042	0.003~0.004	0.003
4구간	0.045~0.055	0.048	0.010~0.014	0.012	0.003~0.004	0.004

◯ 압밀이방성 분석

▮ 문헌자료

구 분	C_h/C_v	구 분	C_h/C_v
Rowe (1959)	1~4	Kobayasi & Mastsmoto (1976)	7~9
Mckinlay (1961)	3.3	Tanenas (1983)	0.91~1.42
Aboshi & Molden (1993)	2.7	Onoue (1988)	2.7~6.3
Kenny&Chan (1973)	2~4	Lee 등	1.87~2.88

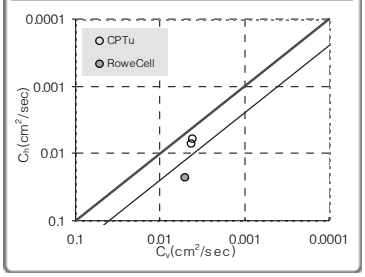
점토의 성질	K_h/K_v
• 거대조직이 없거나, 약간 발달된 퇴적토	1.0~1.5
• 거대조직 잘 발달 (투수성재가 존재하는 점토)	2.0~4.0
• 투수층이 함입 또는 존재하는 호상점토 및 기타 퇴적토	3.0~15.0

▮ 현장(CPT_u) 및 실내시험(RoweCell) 결과

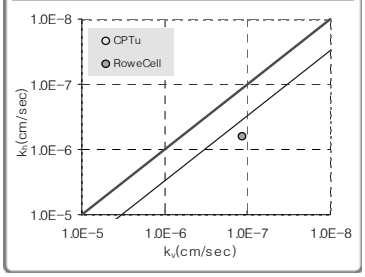
구 분	$C_h(10^{-3}cm^2/sec)$			$K_h(10^{-7}cm/sec)$		
	BH-234	BH-346	BH-346-1	BH-234	BH-346	BH-346-1
CPT_u	6.08	7.19	–	39.8	35.8	–
RoweCell	–	–	22.5	–	–	6.22

▮ 압밀이방성 평가

압 밀 계 수



투 수 계 수



구 분		문헌자료	인근자료	시험결과
C_h/C_v	현장시험	1~9	–	1.46~1.68
	실내시험		–	4.45
K_h/K_v	현장시험	1~15	–	27.0~54.6
	실내시험		–	5.28

제 3 장 설계지반정수 산정

3.1 개요

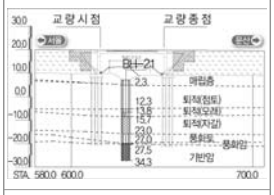
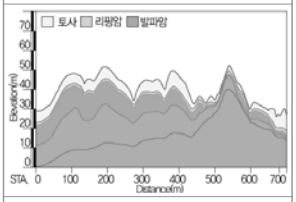
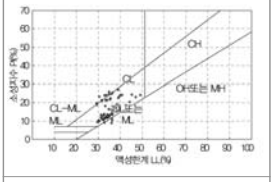
개 요	• 지표지질조사 성과분석에 의한 사업구간내 구조구 특성을 고려한 구간별 설계지반정수 산정 • 문헌자료, 인근지역 분석 자료 및 기존자료(제3자공고안, 보완설계)에 대한 분석을 수행하고, 각종 경험식 및 현장시험 값을 고려한 설계지반정수 유도

3.1.1 기본방향

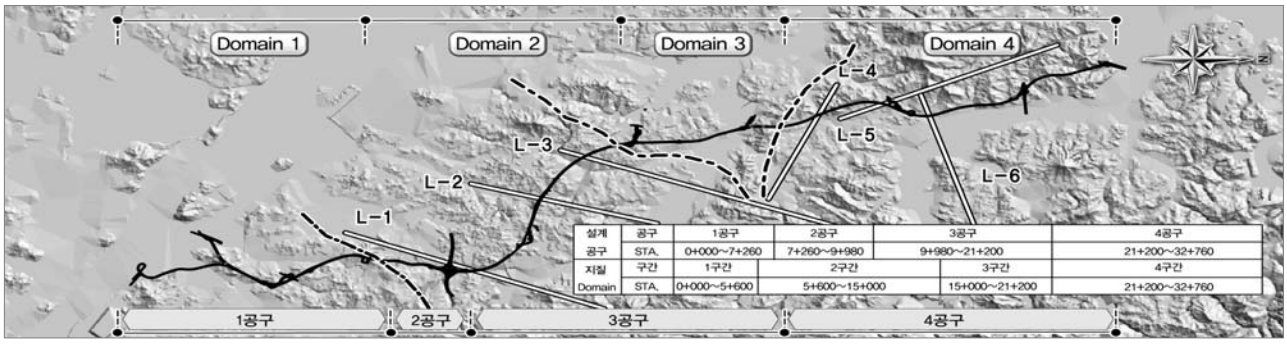
기존자료 및 현장시험에 따른 결과분석에 의한 구조구별 설계지반정수 선정

문헌자료 분석
인근조사자료 분석
기존자료 분석
→ 경험식 적용 설계지반정수 도출
현장시험 결과 적용
→ 지질 구조구별
설계지반정수 산정

구조구별, 구조물별 지반특성에 따른 설계지반정수 선정

교량구간	터널구간	깎기구간	연약지반구간
			
• 토층/풍화대/기반암	• Ⅰ~Ⅴ등급으로 구분	• 토층 및 암층별 산정	• 점토 및 실트 구분산정

3.1.2 분석구간 설정



구 분	1구간(Domain 1)	2구간(Domain 2)	3구간(Domain 3)	4구간(Domain 4)
STA.(km+m)	사업시점~5+600	5+600~15+500	15+500~21+200	21+200~사업종점
지질분포	• 편마암 분포	• 편마암 분포	• 편마암 분포, 주변 미그마타이트편마암 발달	• 편마암 분포 • 주변 석회규산염암 분포
지층분포 특 성	• 풍화대 깊게 발달 • 창릉천주변 점토/실트 분포	• 부분적 풍화대 발달 • 점토/실트 발달 미약	• 공릉천주변 점토 발달 • 지역적 지층편차 심함	• 부분적 풍화대 발달 • 점토/실트 발달 미약

• 지질 Domain은 지질분포와 선구조 및 지형적 요소를 고려하여 4개 구간으로 구분
• 지역별 지반공학적 특성을 이용하여 설계지반정수 산정을 위한 구역 및 균질절리영역 분석시 광역공간 구분시 활용

3.1.3 설계지반정수 산정방법

토사층 설계지반정수 산정방법

구 분	주 요 정 수	산 정 방 법
기본물성	단위중량(γ_t)	• 문헌 (한국도로공사, 도로설계요령) • 인근지역 조사자료 및 기존자료 비교 · 분석
	포아송비(ν)	• 실내 일축압축강도시험의 결과 값과 기존문헌자료, 토질종류에 따른 일반적인 범위 값 비교 추정(Roy E. Hunt, 1984, Braja M. Das, 1995)
강도특성	점착력(c)	• 공내전단시험 • 기존 자료 및 인근조사자료, 기존자료 비교 분석
	내부마찰각(°)	• 공내전단시험 • 인근조사자료, 기존자료 비교 · 분석 • 문헌식 검토 – 한국도로공사, 도로설계요령
변형특성	변형계수(E)	• 공내재하시험 결과 • 문헌자료(Braja M. Das, Hunt)에 의한 산정
동적특성	전단파속도(V_s) 동적물성값(K_d, E_d, G_d, V_d)	• 하향식탄성파탐사 및 인근지역 조사자료 비교 · 분석에 의한 산정

기반암 설계지반정수 산정방법

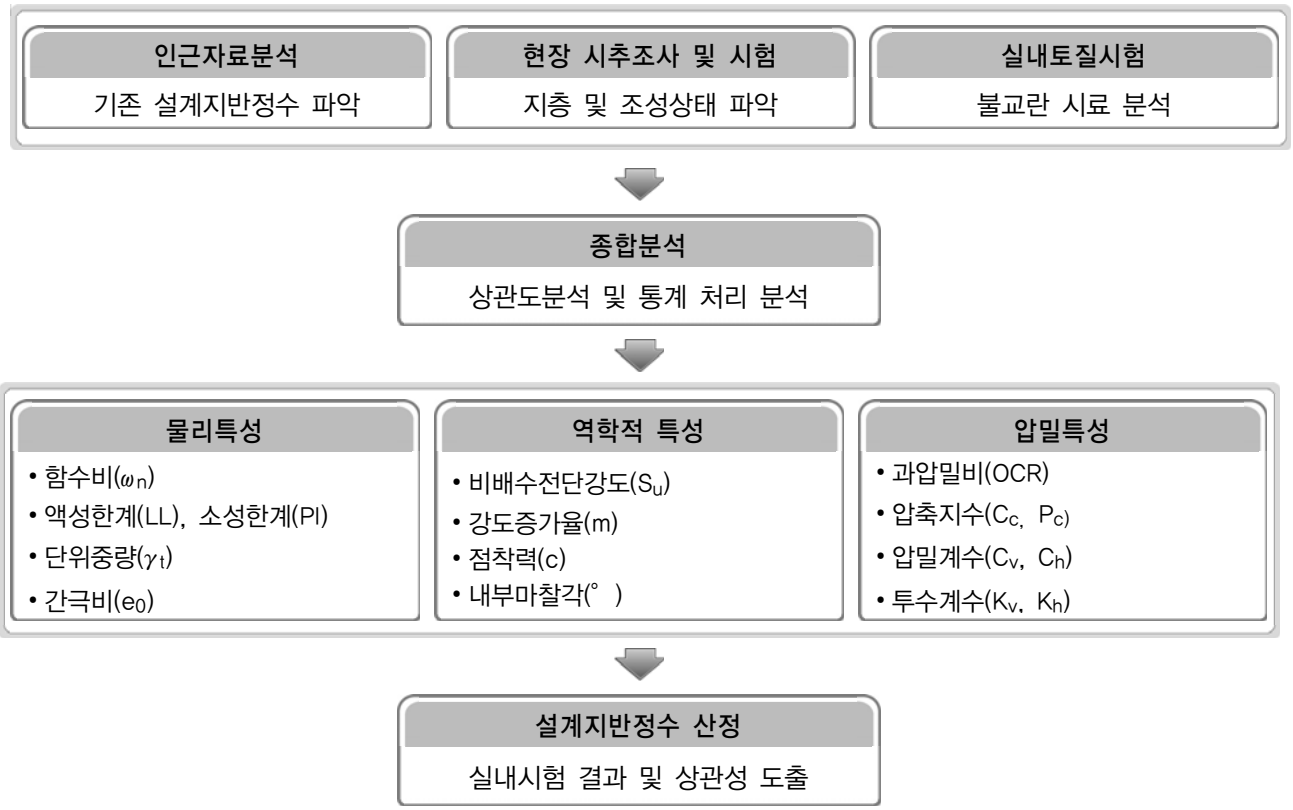
구 분	주 요 정 수	산 정 방 법
기본물성	단위중량(γ_t)	• 실내암석시험결과 및 기존자료 분석
	포아송비(ν)	• 실내암석시험결과 및 기존자료 분석
강도특성	점착력(c)	• 공내전단시험 • 실내암석시험 결과에 의한 산정
	내부마찰각(°)	• 공내전단시험 • 실내암석시험 결과에 의한 산정
변형특성	변형계수(E)	• 공내재하시험 및 기존자료 결과에 의한 산정
동적특성	전단파속도(V_s) 동적물성값(K_d, E_d, G_d, V_d)	• 하향식탄성파탐사 및 인근지역 조사자료 비교

설계지반정수 신뢰성 검토

구 분	산 정 방 법
초기추정값 (Prior) 산정	• 기존 적용사례 및 경험식에 의한 결과를 초기 추정값으로 가정 • 분산 분석에 의해 검증된 자료만 초기값으로 인정
분산분석	• 분산분석은 각 독립변수간의 상호연관성을 정량화하기 위한 것 • 일원분산분석은 j개의 모평균을 μ_1,μ_2, …, μ_j,로 나타내면 다음과 같이 모든 모평균이 같다는 귀무가설을 수립하여, H_0 : μ_1, μ_2, …, μ_j하여 귀무가설 검정
최대우도값 (Likelihood) 산정	• 현장 시험값 및 실내시험을 통한 결과값을 최대우도값으로 가정
Bayesian Approach	• 초기 추정값의 평균(μ'), 표준편차(σ')로부터 최대우도값(Likelihood)의 평균(μ), 표준편차(σ)를 Bayesian 이론에 의해 평균(μ''), 표준편차(σ'')를 구할 수 있음

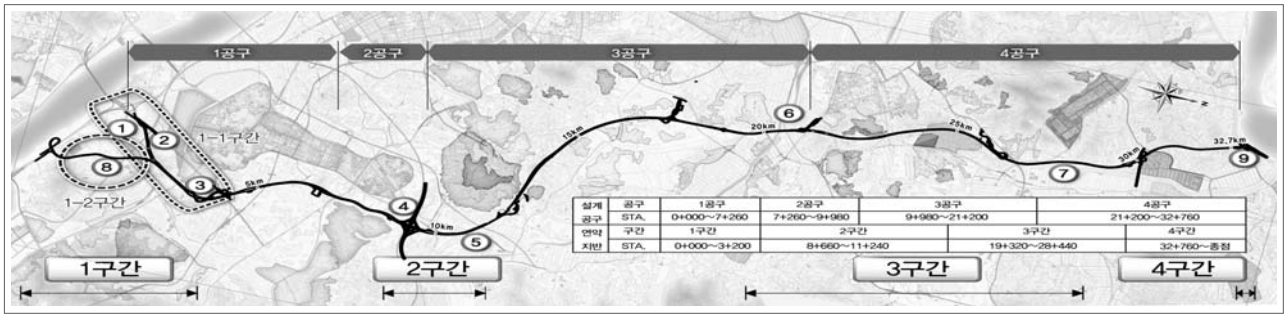
3.2 연약지반 설계지반정수 산정

3.2.1 산정흐름도



구 분	주요 정수	산정을 위한 주요시험 및 적용방법
물 성 값	• 입도분포 • 아터버그 한계(LL, PL, PI)	• 불교란 시료에 대한 실내 시험값 적용
	• 함수비(ω_n) • 단위중량(γ_t) • 간극비(e_0)	• 불교란 시료에 대한 실내시험과 밀도검층 결과 비교 • 교란도 평가에 의한 이상값 제거 • 심도별 분포양상을 고려 적용
강도특성	• 비배수전단강도(S_u) • 강도증가율(m)	• 기존설계자료 및 실내시험 종합 비교 • 인근지역 자료와 비교, 검토 • 실내시험에 의한 분석값 적용
압밀특성	• 압축지수(C_c)	• 압밀시험 결과 비교 • 심도별 분포양상을 고려한 대표값 적용
	• 연직압밀계수(C_v)	• 압밀시험 결과 비교 • 설계하중을 고려하여 대표값 적용
	• 수평압밀계수(C_h)	• 대표값 적용, 연직압밀계수(Cv)와의 상관관계 산정
	• 연직투수계수(K_v)	• 압밀시험 결과 비교 후 적용
	• 수평투수계수(K_h)	• 기존 경험식과 압밀시험 결과 적용 • 연직투수계수(Kv)와의 상관관계 산정
	• 과압밀비(OCR)	• 압밀시험 결과 비교 • 인근지역 조사자료 상호 비교, 검토

3.2.2 연약지반 구역 구분



구 분		지형적 조건	연약지반 분포현황	비 고
1구간	1-1구간 (①~③지역)	• 창릉천 하류 농경지구간 통과	• 출현심도 : 1.8~14.5m • 층후 : 0.9~8.0m(평균 2.4m)	본선0+000~3+200
	1-2구간 (⑧지역)	• 한강 주변 및 창릉천 하류 주변 구릉지성 산지내 농경지 통과	• 출현심도 : 0.8~5.4m • 층후 : 1.0~11.9m(평균 4.4m)	지선 0+000~1+840
2구간 (④~⑤지역)		• 공릉천 지류 주변 구릉지성 산지내 농경지 통과	• 출현심도 : 0.0~4.0m • 층후 : 0.7~2.2m(평균 1.6m)	본선8+660~9+540
3구간 (⑥~⑦지역)		• 공릉천 및 문산천 주변 퇴적지대 발달 및 농경지 통과	• 출현심도 : 0.0~8.0m • 층후 : 1.0~6.4m(평균 3.3m)	본선19+320~28+600
4구간(⑨지역)		• 임진강 주변 퇴적지대 발달 및 농경지 통과	• 출현심도 : 3.0~4.5m • 층후 : 2.0~6.1m(평균 4.0m)	32+760~내포IC Ramp

• 연약지반 1구간(1-1구간, 1-2구간)은 사업 1공구(지선 STA.0+000~2+000, 본선 STA.0+000~7+260)에 해당

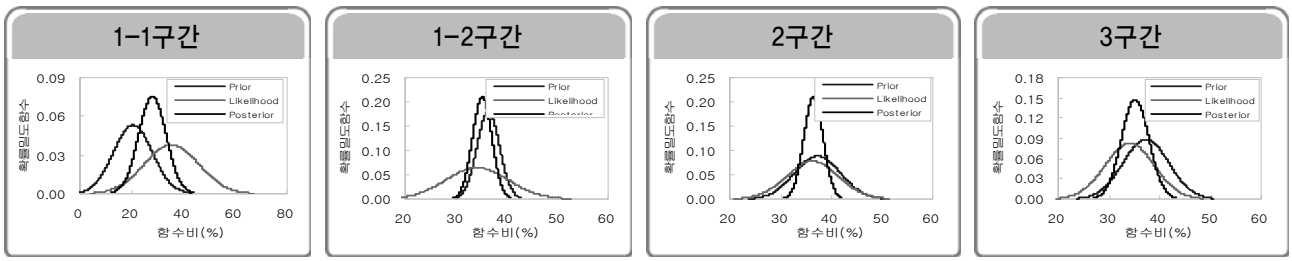
3.2.3 물리적 특성 분석

○ 함수비

▮ 자료 분석

구 분	1-1구간	1-2구간	2구간	3구간	4구간
인근자료	23.7~43.5	29.6~36.2	33.7~37.8	33.7~37.8	33.7~37.8
기본설계	20.5	34.4~38.8 (36.4)	37.5	30.8~40.5 (37.3)	32.6~34.7
실시설계	35.4	26.6~42.0 (32.0)	31.3~41.5 (36.3)	28.1~44.0 (34.1)	31.5~37.8 (35.0)

▮ 베이시안 통계분석



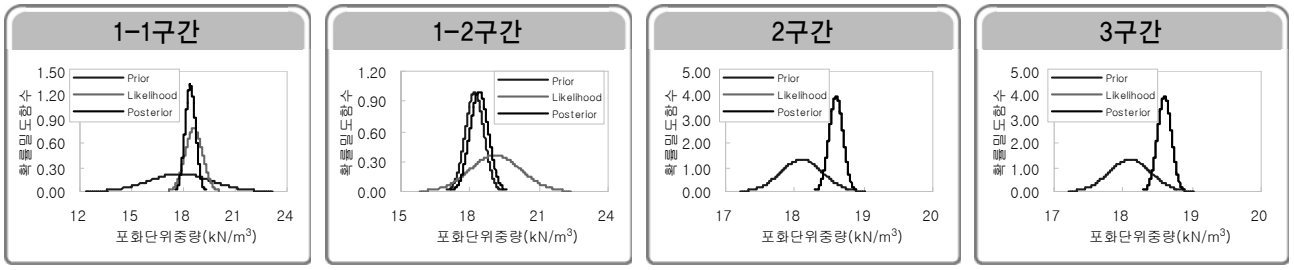
구분(평균/편차)	기본설계	1-1구간	1-2구간	2구간	3구간	4구간
초기추정값	–	20.5/7.5	36.4/2.2	37.3/4.5	37.3/4.5	34.7/2.2
최대우도값	–	35.4/10.5	34.2/6.2	36.3/5.1	34.1/4.8	35.0/2.3
최 후 도 값	–	28.0/5.3	35.2/1.9	36.5/1.9	35.2/2.7	35.0/0.9
적 용	37.5	28.0	35.0	36.0	35.0	35.0

○ 포화단위중량(γ_{sat})

■ 자료 분석

구 분	1-1구간	1-2구간	2구간	3구간	4구간
인근자료	16.5~18.5 (17.8)	18.7~19.7 (18.2)	17.7~19.2 (18.1)	17.7~19.2 (18.1)	17.7~19.2 (18.1)
기본설계	-	-	-	19.7	-
실시설계	18.6 (18.6)	17.9~19.7 (19.1)	-	18.6~18.7 (18.6)	18.4~19.1 (18.7)

■ 베이시안 통계분석



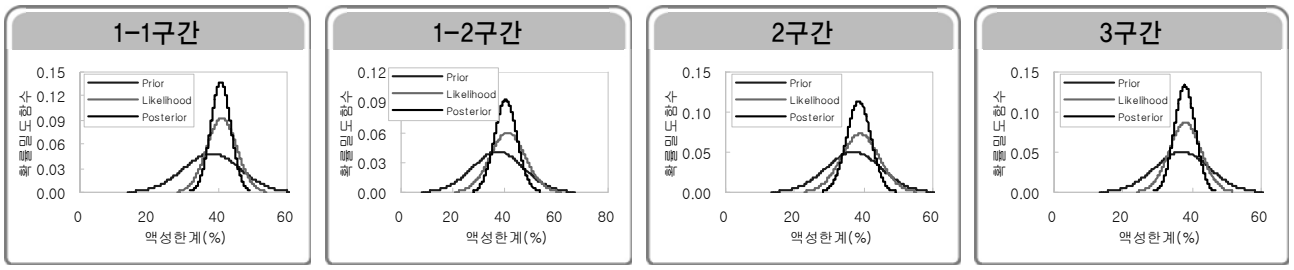
구분(평균/편차)	기본설계	1-1구간	1-2구간	2구간	3구간	4구간
초기추정값	-	17.8/1.8	18.2/0.4	18.1/0.3	18.1/0.3	18.1/0.3
최대우도값	-	18.6/0.5	19.1/1.1	18.6/0.1	18.6/0.1	18.7/0.5
최 후 도 값	-	18.4/0.3	18.4/0.4	18.6/0.1	18.6/0.1	18.4/0.2
적 용	15.056 (γ_d 기준)	18.0	18.0	18.0	18.0	18.0

○ 액성한계 및 소성지수

■ 자료 분석

구 분	액성한계(%)					소성지수(%)				
	1-1구간	1-2구간	2구간	3구간	4구간	1-1구간	1-2구간	2구간	3구간	4구간
인근자료	32.0~43.8	26.7~42.3	25.0~42.5	25.0~42.5	25.0~42.5	3.5~19.7	4.3~17.8	12.1~18	12.1~18	12.1~18
기본설계	38.0	45.5	-	22.0	-	14.8	20.9	-	17.5	-
실시설계	44.1	36.8	39.0	37.5	38.7	20.0	14.5	15.9	14.7	14.5

■ 베이시안 통계분석



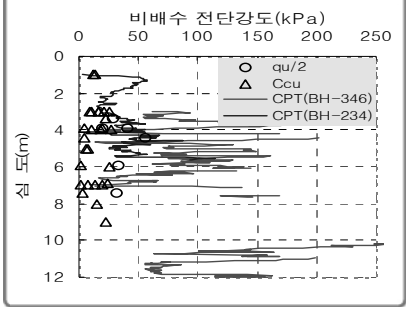
구 분 (평균/표준편차)	액성한계(%)						소성지수(%)					
	기본설계	1-1구간	1-2구간	2구간	3구간	4구간	기본설계	1-1구간	1-2구간	2구간	3구간	4구간
초기추정값	-	38.2/8.2	37.5/9.8	37.1/7.9	37.1/7.9	37.1/7.9	-	14.2/6.5	16.0/9.5	15.5/4.8	15.5/4.8	15.5/4.8
최대우도값	-	41.1/4.3	41.2/6.7	39.0/5.5	38.0/4.6	38.7/3.3	-	17.4/3.7	17.7/5.0	15.9/4.2	16.5/4.7	14.5/5.8
최 후 도 값	-	40.8/2.9	40.5/4.3	38.6/3.5	37.9/3.0	38.6/1.5	-	16.9/2.4	17.5/3.3	15.8/2.5	16.4/2.7	14.7/2.3
적 용	35.2	41.0	41.0	39.0	38.0	39.0	19.8	17.0	17.5	16.0	16.5	15.0

3.2.4 강도 특성 분석

전단강도

자료 분석

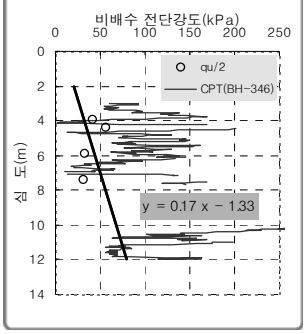
시 험 결 과



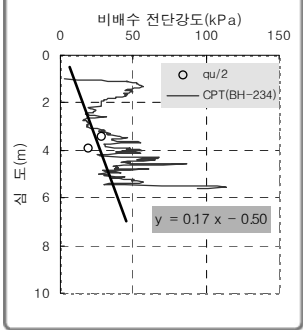
구 분		1-1구간	1-2구간	2구간	3구간	4구간
피에조콘 관입시험	범 위	–	2.1~149.7	–	15.4~94.6	–
	평 균	–	84.6	–	36.7	–
일축압축 ($q_u/2$)	범 위	32.4	30.8~41.3	–	19.3~28.1	31.6~34.3
	평 균	32.4	34.9	–	23.2	32.9
삼축압축 (CU)	범 위	–	21.0~31.3	–	19.6~20.1	29.6~29.8
	평 균	–	26.1	–	19.9	29.7

전단강도 산정

1-1 및 1-2구간



2 및 3, 4구간

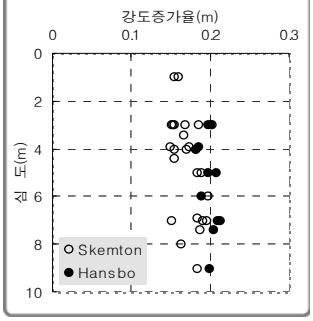


구 분	기본설계	1-1구간	1-2구간	2구간	3구간	4구간
평균 S_u (kPa)	20.7	32.0	28.0	22.0	22.0	30.0
상관식	S_u = 0.19D-0.58	S_u = 5.8D + 7.8 (평균 28.0)		S_u = 5.8D + 3.0 (평균 22.0)		
검 토 결 과	• 기본설계에서 추정한 평균 S_u는 20.7 kPa이며, 심도에 따른 상관식은 S_u=0.19D-0.58 kPa임 • 평균 S_u는 1구간은 32.0~34.0kPa이나 평균심도 3.5m를 적용하여 28.0kPa, 3, 4구간은 시험의 평균값을 적용하고, 2구간은 3구간 결과 이용					

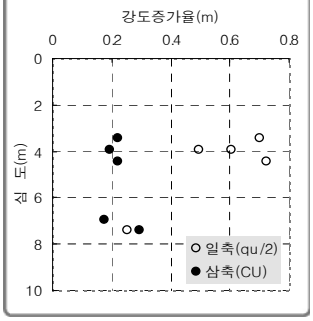
강도증가율(m)

시험결과 분석

경 험 식



실 내 시 험



구 분		1-1구간	1-2구간	2구간	3구간	4구간
경험식	범 위	0.16~0.2	0.15~0.21	0.15~0.2	0.15~0.21	0.14~0.2
	평 균	0.18	0.19	0.18	0.18	0.17
실 내 시 험	범 위	0.60	0.22~0.72	–	0.17~0.7	–
	평 균	0.60	0.42	–	0.35	–
현 장 시 험	범 위	–	1.32	–	1.13	–
	평 균	–	1.32	–	1.13	–

강도증가율 산정

구 분	기본설계	1-1구간	1-2구간	2구간	3구간	4구간
기본설계	–	0.18~0.20 (0.19)	0.18~0.21 (0.20)	–	0.17~0.20 (0.19)	–
실시설계	–	0.16~0.60 (0.38)	0.15~0.72 (0.31)	0.15~0.20 (0.18)	0.15~0.70 (0.22)	0.14~0.20 (0.17)
적 용	0.183	0.25	0.25	0.20	0.20	0.20

3.2.5 압밀 특성 분석

과압밀비(OCR)

구 분	기본설계	1-1구간	1-2구간	2구간	3구간	4구간
인근자료	–	–	–	–	–	–
기본설계	–	–	–	–	0.5	–
실시설계	–	4.0	0.9~3.4 (2.2)	–	3.3	0.9~1.7 (1.3)
적 용	0.37(정규압밀)	과압밀(OC)	과압밀(OC)	과압밀(OC)	과압밀(OC)	정규압밀

초기 간극비(e_o) 및 압축지수(C_c)

구 분	초기간극비(e_o)						압축지수(C_c)					
	기본설계	1-1구간	1-2구간	2구간	3구간	4구간	기본설계	1-1구간	1-2구간	2구간	3구간	4구간
인근자료	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
기본설계	–	–	0.962	–	0.720	–	–	–	0.194	–	0.209	–
실시설계	–	0.963	0.876	–	0.962	0.94	–	0.253	0.243	–	0.281	0.239
적 용	0.699	0.96	0.88	0.88	0.88	0.94	0.155	0.25	0.24	0.26	0.26	0.24

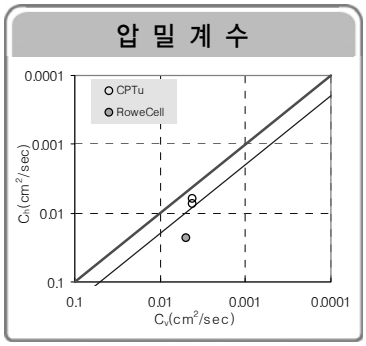
연직압밀계수 및 투수계수

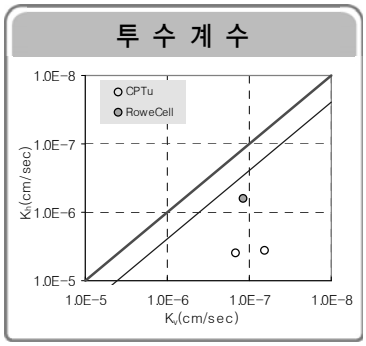
구 분	연직압밀계수($10^{-3}cm^2/sec$)						투수계수($10^{-7}cm/sec$)					
	기본설계	1-1구간	1-2구간	2구간	3구간	4구간	기본설계	1-1구간	1-2구간	2구간	3구간	4구간
인근자료	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
기본설계	–	–	4.28	–	2.07	–	–	–	0.66	–	6.28	–
실시설계	–	9.84	4.02	–	3.70	3.82	–	2.29	0.83	–	1.57	1.35
적 용	3.452	9.80	4.00	2.50	3.20	3.80	2.561	2.30	0.80	3.10	3.10	1.30

재압축지수(C_r) 및 2차 압축지수(C_α)

구 분	재압축지수(C_r)						2차 압축지수(C_α)					
	기본설계	1-1구간	1-2구간	2구간	3구간	4구간	기본설계	1-1구간	1-2구간	2구간	3구간	4구간
인근자료	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
기본설계	–	–	–	–	–		–	0.0021	0.0036	–	0.0037	–
실시설계	–	0.033	0.038	–	0.042	0.034	–	0.0035	0.0032	0.0036	0.0034	0.0035
적 용	–	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.0037	0.0028	0.0034	0.0036	0.0035	0.0035

압밀이방성 분석





구 분		C_h/C_v	K_h/K_v
문헌자료		1~9	1~15
인근자료		–	–
기본설계 적용		2.0	1.5
시험 결과	현장시험	1.46~1.68	5.3~54.6
	실내시험	4.45	5.28
적 용		2.0	2.5

3.3 토사층의 설계지반정수 산정

기본방향	• 토사와 풍화암층에 대한 설계지반정수는 실내시험 및 경험적 추정방법을 통하여 1차적으로 설계지반정수를 산정하고 기존 문헌자료에 의한 일반적인 범위 값과 비교 · 검토를 통하여 최종적인 설계지반 정수를 확정

3.3.1 문헌자료 검토

○ 도로설계요령

종 류	재료의 상태	γ_t (kN/m^3)	c (MPa)	ϕ(°)	통일 분류
자 갈	밀실한 것, 입도가 좋은 것	20.0	0	40	GW GP
	밀실치 않은 것, 입도가 나쁜 것	18.0	0	35	
자갈섞인 모래	밀실한 것	21.0	0	40	
	밀실치 않은 것	19.0	0	35	
모 래	밀실한 것, 입도가 좋은 것	20.0	0	35	SW SP
	밀실치 않은 것, 입도가 나쁜 것	18.0	0	30	
사질토	밀실한 것	19.0	0.03	30	SM SC
	밀실치 않은 것	17.0	0	25	
점성토	굳은 것	18.0	0.05	25	ML CL
	무른 것	17.0	0.015	20	
점토 및 실트	굳은 것	17.0	0.05	20	CH MH ML
	무른 것	14.0	0.015	10	

○ Cohesionless soils(Pile Design and Construction Practice(M.J. Tomlinson, 1993))

Soil type, compactness & consistency	γ_t (kN/m^3)	γ_{sub}(kN/m^3)	Φ(°)
Loose gravel with low sand content	16.0 ~ 19.0	9.0	28.0~30.0
Medium dense gravel with low sand content	18.0 ~ 20.0	10.0	30.0~36.0
Dense to very dense gravel with low sand content	19.0 ~ 21.0	11.0	36.0~46.0
Loose well-graded sandy gravel	20.0 ~ 20.0	10.0	28.0~30.0
Medium-dense well-graded sandy gravel	19.0 ~ 21.0	11.0	30.0~36.0
Dense well graded sandy gravel	20.0 ~ 22.0	12.0	36.0~45.0
Loose clayey sandy gravel	18.0 ~ 20.0	10.0	28.0~30.0
Medium-dense clayey sandy gravel	19.0 ~ 21.0	11.0	30.0~35.0
Dense to very dense clayey sandy gravel	21.0 ~ 22.0	12.0	35.0~40.0
Loose coarse to fine sand	17.0 ~ 20.0	10.0	28.0~30.0
Medium-dense coarse to fine sand	20.0 ~ 21.0	11.0	30.0~35.0
Dense to very dense coarse to fine sand	21.0 ~ 22.0	12.0	35.0~40.0
Loose fine and silgy sand	15.0 ~ 17.0	7.0	28.0~30.0
Medium-dense fine and silty sand	17.0 ~ 19.0	9.0	30.0~35.0
Dense to very dense fine and silty sand	19.0 ~ 21.0	11.0	35.0~40.0

지반조사편람 (서울특별시)

지 반 명	γ (kN/m^3)	c(kN/m^2)	Φ(°)	변형계수(MPa)	포아송비
풍 화 토	17.0 ~ 20.0	0.00 ~ 100.0	25 ~ 30	20.0 ~ 40.0	0.5
풍 화 암	20 .0~ 22.0	100.0 ~ 300.0	30 ~ 35	100.0 ~ 200.0	0.3 ~ 0.4

N값 적용 내부마찰각, 점착력 및 변형계수산정 경험식

내부마찰각

- Dunham $\phi = \sqrt{12N} + 20$
- Ohsaki $\phi = \sqrt{20N} + 15$
- Meyerhof $\phi = 0.25N + 32.5$
- 도로교시방서 $\phi = \sqrt{15N} + 15$
- Peck $\phi = 0.3N + 27$

점착력(점성토)

- Dunham $q_u(kPa) = \frac{N}{0.77} \times 100$
- Terzaghi-Peck $q_u(kPa) = \frac{N}{0.82} \times 100$
- Ohsaki $q_u(kPa) = 4 + \frac{N}{2} \times 100$

여기서, $\phi = 0$으로서, $C = \frac{q_u}{2}$

변형계수(E_m)

- Schmertmann $E(MPa) = \alpha\ N/10$
  여기서, α : 4 (모래질 실트),
  12~15(자갈질 모래)
- Hisatake $E(MPa) = 0.5N+7$
- 도로교시방서 $E(MPa) = 2.8N$

제 안 자	경험식 (MPa)	N값의 범위			
		10 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 40	40 ~ 50
Schmertmann	E = α N/10주)	4~ 30	8 ~ 45	12 ~ 60	16 ~ 75
Hisatake	E = 0.5N + 7	12 ~ 17	17 ~ 22	22 ~ 27	27 ~ 32
도로교시방서	E = 2.8N	28 ~ 56	56 ~ 84	84 ~ 112	112 ~ 140

주) α : 4(모래질 실트), 12~15(자갈질 모래)

Braja, M. Das & Joseph E. Bowels(1996)

구 분	Braja, M. Das		Joseph E. Bowels(1996)	
	변형계수(MPa)	포아송비(ν)	변형계수(MPa)	포아송비(ν)
느슨한 모래	10 ~ 24	0.20~0.40	10 ~ 25	0.20~0.35
보통굳기모래	17 ~ 28	0.25~0.40		
조밀한 모래	35 ~ 55	0.30~0.45	50 ~ 81	0.30~0.40
실트질 모래	10 ~ 17	0.20~0.40	5 ~ 20	
연약한 점토	2 ~ 5	0.15~0.35	2 ~ 25	0.4~0.5
중 간 점토	5 ~ 10		15 ~ 50	
견고한 점토	10 ~ 24		50 ~ 100	
느슨한 모래섞인 자갈	69 ~ 172	0.20~0.50	50 ~ 150	0.3~0.4
조밀한 모래섞인 자갈			100 ~ 200	

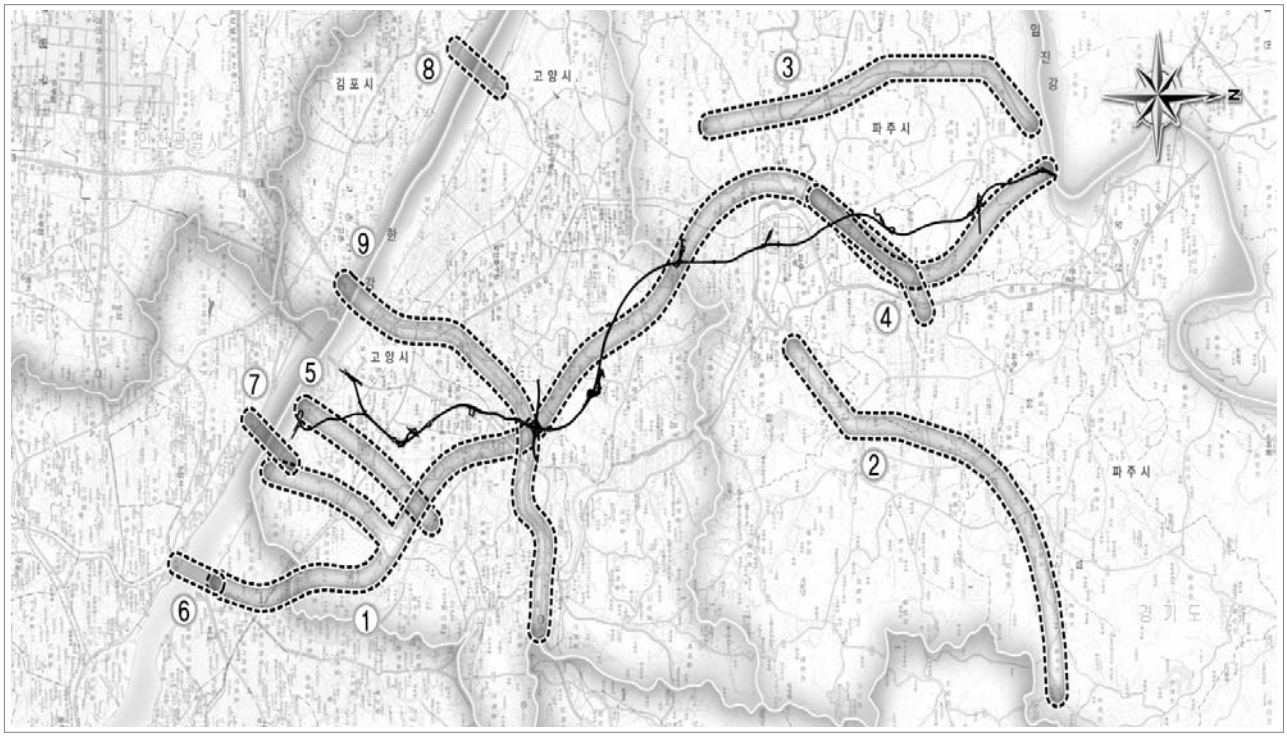
토 층 상 태		변형계수(MPa)	포아송비(ν)
모래	느 슨	10 ~ 30	0.2~0.35
	중간조밀	30 ~ 50	
	조 밀	50 ~ 80	
자갈	느 슨	30 ~ 80	0.3~0.4
	중간조밀	80 ~ 100	
	조 밀	100 ~ 120	

3.3.2 인근지역 적용사례 분석

기존자료 현황

구분	사 업 명	사업년도
①	서울~문산 고속도로 민간투자 시설사업(보완분)	2005.01
②	조리~법원 도로개설공사	2005.12
③	문발~낙하간 도로 확·포장공사	2004.09
④	금촌~월릉간 도로 확·포장공사	2004.02
⑤	강매~원흥간 도로개설공사	1999.05

구분	사업명	사업년도
⑥	월드컵대교 건설공사	2006.10
⑦	인천국제공항 철도 2단계	2002.10
⑧	일산대교 건설 민간투자사업	1999.12
⑨	서울외곽순환도로 건설공사(1,2공구) 토질조사보고서	1997.12



기존자료 분석결과

지 층	토 질 구 성	단위중량 (kN/m^3)	점착력 (kPa)	내부마찰각 (°)	변형계수 (MPa)	포아송비 (ν)
매립층	사질토	18~20	0~5	28~33	10~80	0.33~0.35
	자갈층	19~20	0~17	25~39	15~35	0.3
붕적층	사질토	17~19	0~30	25~32	10~32	0.35
	점성토	18	0~20	–	–	–
	자갈층	20	0~50	39	35	0.30
충적층	사질토	17~20	0~10	25~33	15~80	0.35
	점성토	17~18	10~30	–	5~10	0.50
	자갈층	18~20	0~20	35~39	35	0.30
풍화토		18~19	15~200	25~30	35~50	0.30~0.33

3.3.3 지층별 대표 N값 산정

기본방향

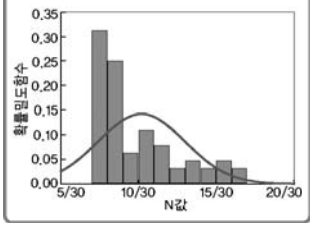
- 사업구간내 토사층이 광역적으로 분포함에 따라 지형적 · 지질적 요인에 따른 토질 특성을 고려
- 선행된 지표지질조사 결과에 의한 지질 구조구 및 구조물 특성, 토질입자의 특성 등을 고려하여 분류
- 각종 물성값의 기초 자료가 되는 구간별, 구조물별, 지층별, 토성별 N값을 선정

구간별	구조물별	지층별	토성별
• 제1구간, 제2구간, 제3구간, 제4구간으로 구분	• 구조물의 특성에 따라 교량구간, 터널구간, 깎기구간으로 구분	• 분포하는 지층에 따라 매립층, 붕적층, 퇴적층, 풍화토층 등으로 분류	• 사업구간내 분포하는 토성에 따라 점토, 실트, 모래, 자갈 등으로 분류

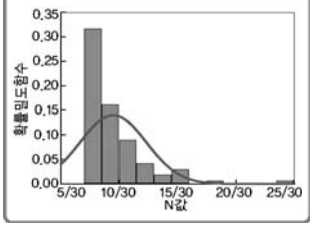
1구간

구 분	지 층	토질분류	범 위	평 균
교량구간	매립층	모래	1/30~50/1	10/30
		점토	10/30~11/30	11/30
	붕적층	모래	4/30~18/30	9/30
	퇴적층	점토(N>6)	7/30~17/30	11/30
		실트	7/30~25/30	8/30
		모래(N≤10)	2/30~10/30	7/30
		모래(N>10)	11/30~50/12	22/30
		자갈	5/30~50/3	47/30
	풍화토	실트질 모래	7/30~50/11	41/30
깎기구간	붕적층	모래	27/30	27/30
	풍화토	실트질 모래	9/30~50/11	38/30
터널구간	붕적층	모래	28/30	28/30
	풍화토	실트질 모래	9/30~50/11	43/30

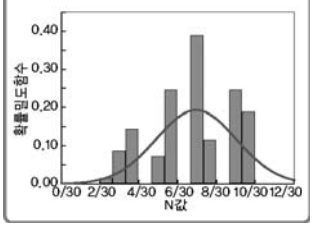
퇴적 점토(N>6)



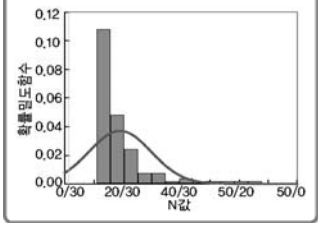
퇴적 실트



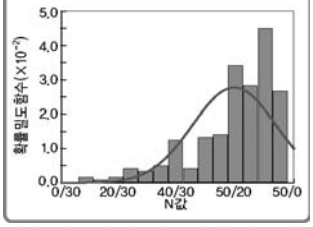
퇴적 모래(N≤10)



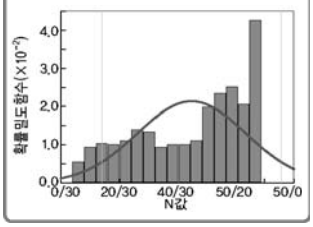
퇴적 모래(N>10)



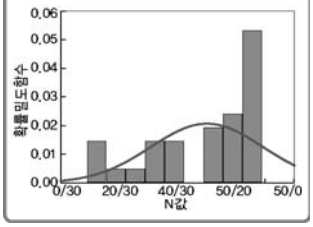
퇴적 자갈



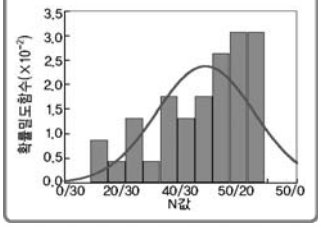
풍화토(교량)



풍화토(깎기)

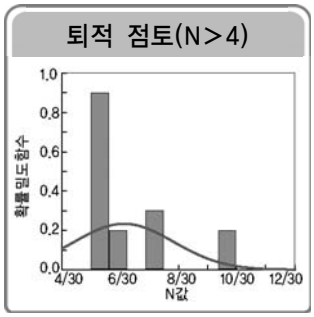


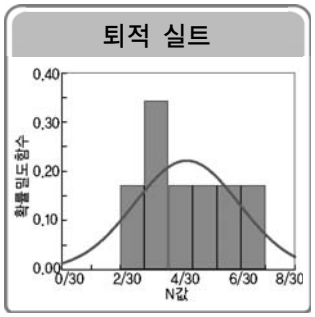
풍화토(터널)

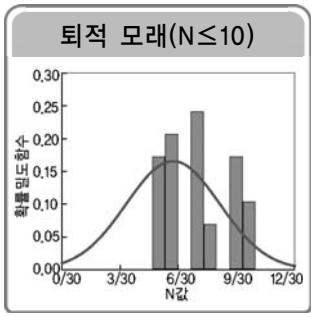


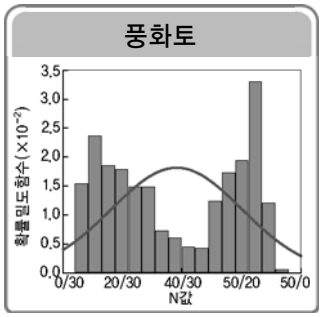
2구간

구 분	지 층	토질분류	범 위	평 균
교량구간	매립층	모래	2/30~50/25	8/30
		점토	2/30~13/30	6/30
	붕적층	모래	1/30~15/30	6/30
	퇴적층	점토(N>4)	5/30~10/30	6/30
		실트	2/30~7/30	4/30
		모래(N≤10)	2/30~10/30	6/30
		모래(N>10)	11/30~50/20	19/30
		자갈	11/30~50/14	24/30
	풍화토	실트질 모래	4/30~50/11	29/30
깎기구간	붕적층	모래	2/30~9/30	5/30
	풍화토	실트질 모래	5/30~50/11	34/30
터널구간	붕적층	모래	28/30	28/30
	풍화토	실트질 모래	10/30~50/12	39/30





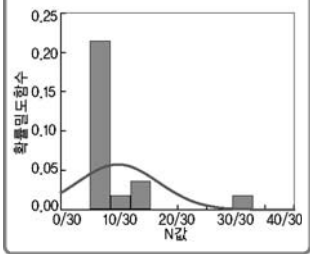




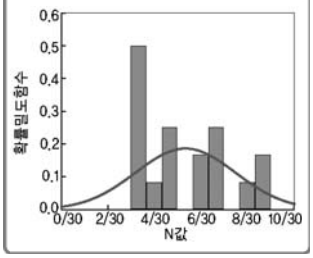
3구간

구 분	지 층	토질분류	범 위	평 균
교량구간	매립층	모래	2/30~50/2	9/30
		점토	1/30~12/30	6/30
	붕적층	모래	5/30~23/30	11/30
	퇴적층	점토(N>4)	5/30~33/30	10/30
		모래(N≤10)	3/30~9/30	5/30
		모래(N>10)	13/30~50/21	25/30
		자갈	8/30~39/30	22/30
	풍화토	실트질 모래	3/30~50/11	39/30
깎기구간	붕적층	모래	27/30	27/30
	풍화토	실트질 모래	6/30~50/11	31/30

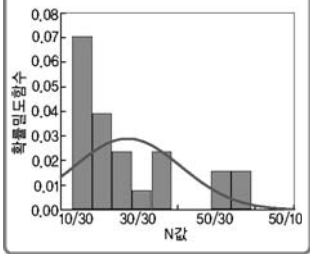
퇴적 점토(N>4)



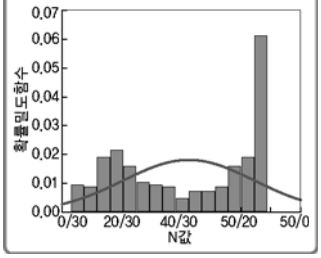
퇴적 모래(N≤10)



퇴적 모래(N>10)



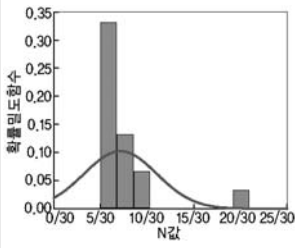
풍화토



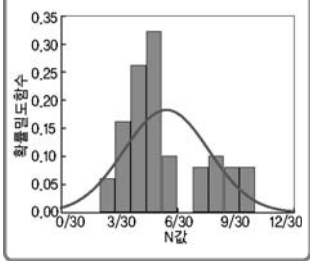
4구간

구 분	지 층	토질분류	범 위	평 균
교량구간	매립층	모래	5/30~31/30	12/30
		점토	8/30~10/30	9/30
	붕적층	모래	3/30~50/23	19/30
	퇴적층	점토(N>4)	5/30~21/30	7/30
		모래(N≤10)	2/30~10/30	6/30
		모래(N>10)	11/30~50/16	20/30
		자갈	32/30~50/7	44/30
	풍화토	실트질 모래	3/30~50/11	28/30
깎기구간	붕적층	모래	6/30	6/30
	풍화토	실트질 모래	6/30~50/11	33/30
터널구간	붕적층	모래	4/30~8/30	6/30
	풍화토	실트질 모래	13/30~50/20	31/30

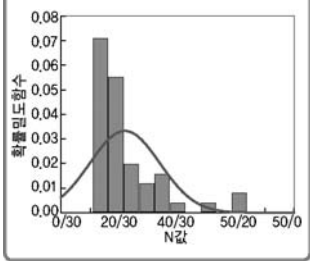
퇴적 점토(N>4)



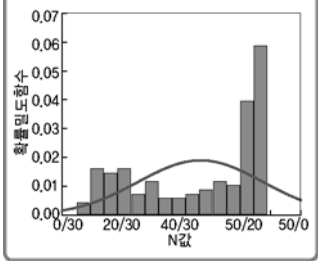
퇴적 모래(N≤10)



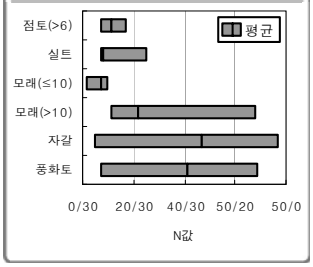
퇴적 모래(N>10)



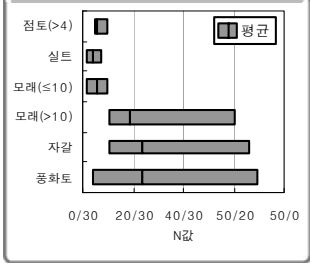
풍화토



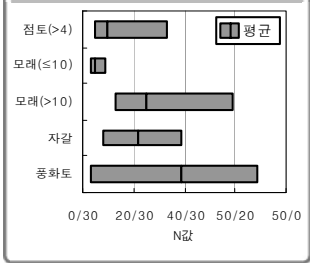
지층별 N_{60} 범위 (1구간)



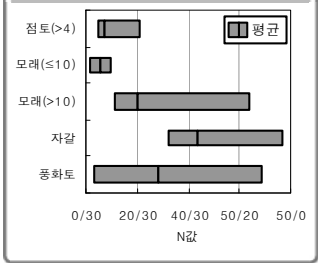
지층별 N_{60} 범위 (2구간)



지층별 N_{60} 범위 (3구간)



지층별 N_{60} 범위 (4구간)



분석결과

- 대표 N값 산정시 퇴적층(모래 및 자갈층) 및 풍화토의 경우 N값 50/30이상은 50/30으로 적용
- 퇴적층(모래)은 느슨한 모래층을 따로 구별하여 N값 10/30을 기준으로 대표 N값을 산정

3.3.4 경험식 분석

기본방향

- 구간별 지층 및 토질 특성에 따라 지층별 대표 N값을 활용하여 범위 추출
- 강도 및 변형계수 산정을 위한 다양한 경험식을 적용하여 합리적 설계지반정수 산정

1구간

구 분	지 층	토질분류	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)
교량구간	매립층	모래	–	27~35	7~28
		점토	4~7	–	4~31
	붕적층	모래	–	27~35	6~25
	퇴적층	점토(N>6)	4~7	–	4~31
		실트	3~5	–	3~22
		모래(N≤10)	–	25~34	5~20
		모래(N>10)	–	33~38	15~62
		자갈	–	41~46	31~130
	풍화토	실트질 모래	–	39~44	28~115
깎기구간	붕적층	모래	–	35~39	19~76
	풍화토	실트질 모래	–	38~43	26~106
터널구간	붕적층	모래	–	35~40	20~78
	풍화토	실트질 모래	–	40~44	29~120

2구간

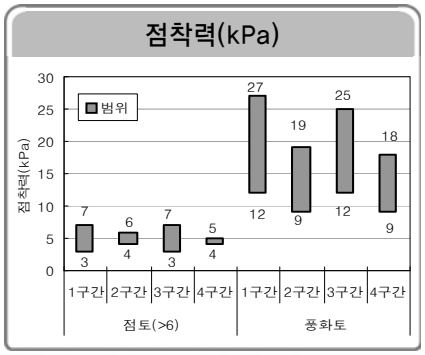
구 분	지 층	토질분류	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)
교량구간	매립층	모래	–	26~35	6~22
		점토	2~4	–	2~17
	붕적층	모래	–	25~34	4~17
	퇴적층	점토(N>4)	2~4	–	2~17
		실트	1~3	–	2~11
		모래(N≤10)	–	25~34	4~17
		모래(N>10)	–	32~37	13~53
		자갈	–	34~39	19~67
	풍화토	실트질 모래	–	36~40	20~81
깎기구간	붕적층	모래	–	24~33	4~14
	풍화토	실트질 모래	–	37~41	24~95
터널구간	붕적층	모래	–	35~40	20~78
	풍화토	실트질 모래	–	39~43	27~109

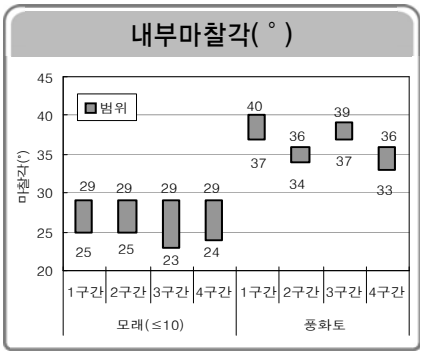
3구간

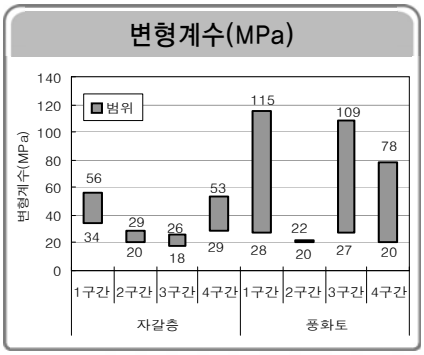
구 분	지 층	토질분류	점착력 (kPa)	내부마찰각 (°)	변형계수 (MPa)
교량구간	매립층	모래	–	27~35	6~25
		점토	2~4	–	2~17
	붕적층	모래	–	28~35	8~31
	퇴적층	점토(N>4)	4~7	–	4~28
		모래(N≤10)	–	24~34	4~14
		모래(N>10)	–	34~39	18~70
		자갈	–	33~38	18~62
	풍화토	실트질 모래	–	39~43	27~109
깎기구간	붕적층	모래	–	35~39	19~76
	풍화토	실트질 모래	–	36~40	22~87

4구간

구 분	지 층	토질분류	점착력 (kPa)	내부마찰각 (°)	변형계수 (MPa)
교량구간	매립층	모래	–	28~36	8~34
		점토	3~6	–	4~25
	붕적층	모래	–	32~37	13~53
	퇴적층	점토(N>4)	3~5	–	3~20
		모래(N≤10)	–	25~34	4~17
		모래(N>10)	–	32~38	14~56
		자갈	–	40~45	29~123
	풍화토	실트질 모래	–	36~40	20~78
깎기구간	붕적층	모래	–	25~34	4~17
	풍화토	실트질 모래	–	37~41	24~92
터널구간	붕적층	모래	–	25~34	4~17
	풍화토	실트질 모래	–	36~40	22~87







3.3.5 현장 및 실내시험 결과 분석

기본방향	• 현장 및 실내시험결과를 이용하여 각 지층에 해당하는 물성값의 범위 선정 • 풍화토는 불교란 시료 채취가 불가하여 공내에서 강도 및 변형특성을 파악할 수 있는 공내전단시험 및 공내재하시험을 실시하고 그 결과를 문헌 자료와 비교 · 분석하여 산정

○ 1구간

구 분	지 층	토질분류	단위중량 (kN/m^3)	점착력 (kPa)	내부마찰각 (°)	변형계수 (MPa)
교량구간	매립층	모래	16.8~19.3	–	–	–
		점토	–	–	–	–
	붕적층	모래	18.0	–	–	–
	퇴적층	점토(N>6)	15.2~18.7	–	–	–
		실트	14.6~20.1	–	–	–
		모래(N≤10)	14.1~22.1	–	–	–
		모래(N>10)	16.8~20.4	–	–	–
		자갈	–	–	–	–
	풍화토	실트질 모래	16.8~21.5	18.2~19.4	28.9~29.3	–
깎기구간	붕적층	모래	–	–	–	–
	풍화토	실트질 모래	–	19.0	28.0	–
터널구간	붕적층	모래	–	–	–	–
	풍화토	실트질 모래	17.1~21.8	17.4	28.0	–

○ 2구간

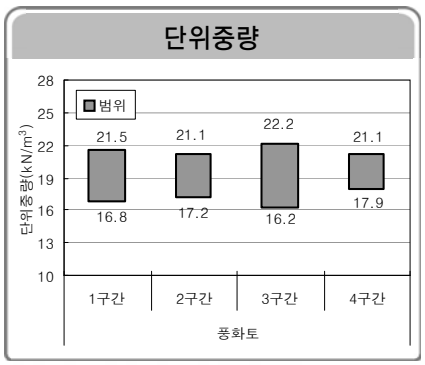
구 분	지 층	토질분류	단위중량 (kN/m^3)	점착력 (kPa)	내부마찰각 (°)	변형계수 (MPa)
교량구간	매립층	모래	–	–	–	–
		점토	–	–	–	–
	붕적층	모래	–	–	–	–
	퇴적층	점토(N>4)	–	–	–	–
		실트	–	–	–	–
		모래(N≤10)	–	–	–	–
		모래(N>10)	14.9~19.6	–	–	–
		자갈	–	–	–	–
	풍화토	실트질 모래	17.0~20.6	–	–	–
깎기구간	붕적층	모래	–	–	–	–
	풍화토	실트질 모래	–	–	–	–
터널구간	붕적층	모래	–	–	–	–
	풍화토	실트질 모래	17.2~21.1	19.0	29.0	–

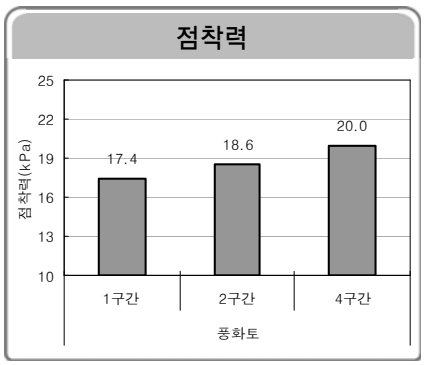
3구간

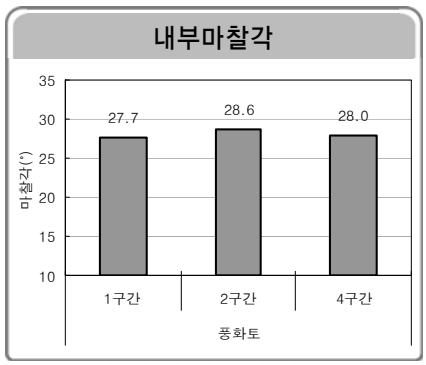
구 분	지 층	토질분류	단위중량 (kN/m³)	점착력 (kPa)	내부마찰각 (°)	변형계수 (MPa)
교량구간	매립층	모래	–	–	–	–
		점토	–	–	–	–
	붕적층	모래	–	–	–	–
	퇴적층	점토(N>4)	13.3~18.1	–	–	–
		모래(N≤10)	15.9~19.5	–	–	–
		모래(N>10)	15.8~20.2	–	–	–
		자갈	–	–	–	–
	풍화토	실트질 모래	16.2~22.2	–	–	–
깎기구간	붕적층	모래	–	–	–	–
	풍화토	실트질 모래	–	18.4	29.0	–

4구간

구 분	지 층	토질분류	단위중량 (kN/m³)	점착력 (kPa)	내부마찰각 (°)	변형계수 (MPa)
교량구간	매립층	모래	15.4~20.2	–	–	–
		점토	–	–	–	–
	붕적층	모래	–	–	–	–
	퇴적층	점토(N>4)	14.1~18.3	–	–	–
		모래(N≤10)	15.2~20.7	–	–	–
		모래(N>10)	–	–	–	–
		자갈	–.	–	–	–
	풍화토	실트질 모래	17.9~21.1	–	–	–
깎기구간	붕적층	모래	–	–	–	–
	풍화토	실트질 모래	–	15.0~19.0	25.0~28.0	62.0
터널구간	붕적층	모래	16.1~21.2	–	–	–
	풍화토	실트질 모래	19.0	19.0	27.9~28.0	–







3.3.6 토사층 설계지반정수 산정

기본방향

- 기존 설계 자료와 경험식에 의한 결과를 평균 적용하고, 현장시험결과를 우선적으로 선정하여 물성값을 산정

○ 단위중량(kN/m³)

■ 1구간

구 분	지 층	토질분류	문헌자료	적용사례	시험결과	적 용
교량구간	매립층	모래	15~21	18~20	16.8~19.3	19.0
		점토	17~18	–	–	17.0
	붕적층	모래	15~21	17~19	18.0	18.0
	퇴적층	점토(N>6)	17~18	17~18	15.2~18.7	18.0
		실트	14~18	17~18	14.6~20.1	18.0
		모래(N≤10)	15~20	17~20	14.1~22.1	18.0
		모래(N>10)	17~21	17~20	16.8~20.4	18.0
		자갈	18~22	18~20	–	20.0
	풍화토	실트질 모래	17~20	18~19	16.8~21.5	19.0
깎기구간	붕적층	모래	15~21	17~19	–	19.0
	풍화토	실트질 모래	17~20	18~19	–	19.0
터널구간	붕적층	모래	15~21	17~19	–	18.0
	풍화토	실트질 모래	17~20	18~19	17.1~21.8	19.0

■ 2구간

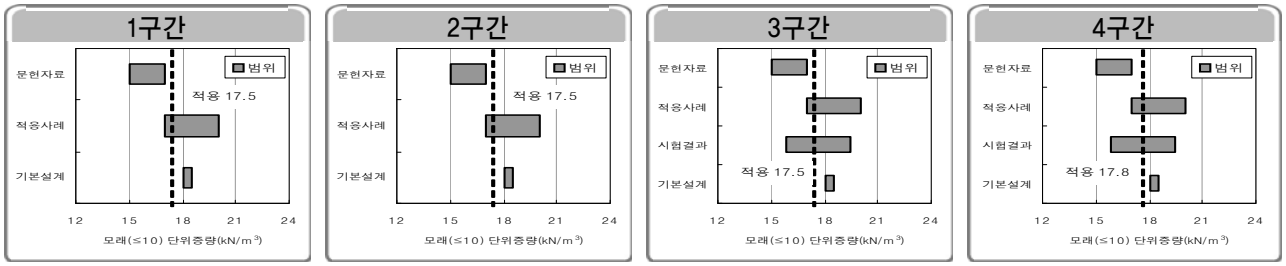
구 분	지층	토질분류	문헌자료	적용사례	시험결과	적 용
교량구간	매립층	모래	15~21	18~20	–	19.0
		점토	17~18	–	–	17.0
	붕적층	모래	15~21	17~19	–	18.0
	퇴적층	점토(N>4)	17~18	17~18	–	18.0
		실트	14~18	17~18	–	18.0
		모래(N≤10)	15~20	17~20	–	18.0
		모래(N>10)	17~21	17~20	14.9~19.6	18.0
		자갈	18~22	18~20	–	20.0
	풍화토	실트질 모래	17~20	18~19	17.0~20.6	19.0
깎기구간	붕적층	모래	15~21	17~19	–	18.0
	풍화토	실트질 모래	17~20	18~19	–	19.0
터널구간	붕적층	모래	15~21	17~19	–	18.0
	풍화토	실트질 모래	17~20	18~19	17.2~21.1	19.0

■ 3구간

구 분	지층	토질분류	문헌자료	적용사례	시험결과	적 용
교량구간	매립층	모래	15~21	18~20	–	19.0
		점토	17~18	–	–	17.0
	붕적층	모래	15~21	17~19	–	18.0
	퇴적층	점토(N>4)	17~18	17~18	13.3~18.1	18.0
		모래(N≤10)	14~18	17~18	15.9~19.5	18.0
		모래(N>10)	15~20	17~20	15.8~20.2	18.0
		자갈	17~21	17~20	–	20.0
	풍화토	실트질 모래	18~22	18~20	16.2~22.2	19.0
깎기구간	붕적층	모래	17~20	18~19	–	18.0
	풍화토	실트질 모래	15~21	17~19	–	19.0

■ 4구간

구 분	지층	토질분류	문헌자료	적용사례	시험결과	적 용
교량구간	매립층	모래	15~21	18~20	15.4~20.2	19.0
		점토	17~18	–	–	17.0
	붕적층	모래	15~21	17~19	–	18.0
	퇴적층	점토(N>4)	17~18	17~18	14.1~18.3	18.0
		모래(N≤10)	14~18	17~18	15.2~20.7	18.0
		모래(N>10)	15~20	17~20	–	18.0
		자갈	17~21	17~20	–.	20.0
	풍화토	실트질 모래	18~22	18~20	17.9~21.1	19.0
깎기구간	붕적층	모래	17~20	18~19	–	18.0
	풍화토	실트질 모래	15~21	17~19	–	19.0
터널구간	붕적층	모래	17~20	18~19	16.1~21.2	18.0
	풍화토	실트질 모래	15~21	17~19	19.0	19.0



• 풍화토는 기존적용사례의 상한값을 적용하였으며 다른 지층은 설계사례의 및 현장시험 결과값의 평균값을 적용

점착력(kPa)

1구간

구 분	지 층	토질분류	문헌자료	적용사례	경험식	시험결과	적 용
교량구간	매립층	모래	0~30	0~5	–	–	3
		점토	15~50	–	4~7	–	5
	붕적층	모래	0~30	0~30	–	–	5
	퇴적층	점토(N>6)	15~50	10~30	4~7	–	30
		실트	15~50	10~30	3~5	–	30
	풍화토	실트질 모래	0~100	15~200	–	18.2~19.4	17
깎기구간	붕적층	모래	0~30	0~30	–	–	5
	풍화토	실트질 모래	0~100	15~200	–	19.0	19
터널구간	붕적층	모래	0~30	0~30	–	–	5
	풍화토	실트질 모래	0~100	15~200	–	–	19

2구간

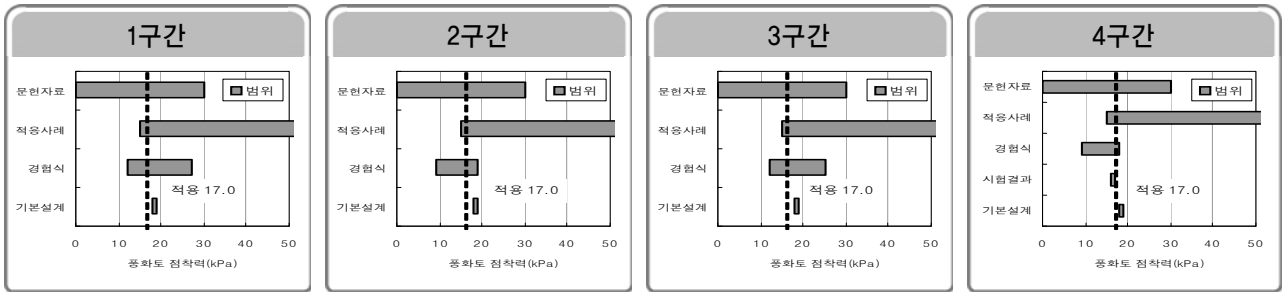
구 분	지 층	토질분류	문헌자료	적용사례	경험식	시험결과	적 용
교량구간	매립층	모래	0~30	0~5	–	–	3
		점토	15~50	–	2~4	–	5
	붕적층	모래	0~30	0~30	–	–	5
	퇴적층	점토(N>4)	15~50	10~30	2~4	–	25
		실트	15~50	10~30	1~3	–	20
	풍화토	실트질 모래	0~100	15~200	–	–	17
깎기구간	붕적층	모래	0~30	0~30	–	–	5
	풍화토	실트질 모래	0~100	15~200	–	–	19
터널구간	붕적층	모래	0~30	0~30	–	–	5
	풍화토	실트질 모래	0~100	15~200	–	19	19

■ 3구간

구 분	지 층	토질분류	문헌자료	적용사례	경험식	시험결과	적 용
교량구간	매립층	모래	0~30	0~5	–	–	3
		점토	15~50	–	2~4	–	5
	붕적층	모래	0~30	0~30	–	–	5
	퇴적층	점토(N>4)	15~50	10~30	4~7	–	25
	풍화토	실트질 모래	0~100	15~200	–	–	17
깎기구간	붕적층	모래	0~30	0~30	–	–	5
	풍화토	실트질 모래	0~100	15~200	–	18.4	19

■ 4구간

구 분	지 층	토질분류	문헌자료	적용사례	경험식	시험결과	적 용
교량구간	매립층	모래	0~30	0~5	–	–	3
		점토	15~50	–	3~6	–	5
	붕적층	모래	0~30	0~30	–	–	5
	퇴적층	점토(N>4)	15~50	10~30	3~5	–	35
	풍화토	실트질 모래	0~100	15~200	–	–	17
깎기구간	붕적층	모래	0~30	0~30	–	–	5
	풍화토	실트질 모래	0~100	15~200	–	15~19	18
터널구간	붕적층	모래	0~30	0~30	–	–	5
	풍화토	실트질 모래	0~100	15~200	–	19	18



• 풍화토는 문헌자료의 중간값을 적용하였으며 다른 지층은 적용사례 및 경험식의 중간값을 적용

○ 내부마찰각(°)

■ 1구간

구 분	지 층	토질분류	문헌자료	적용사례	경험식	시험결과	적 용
교량구간	매립층	모래	25~40	28~33	27~35	–	28
		점토	–	–	–	–	–
	붕적층	모래	25~40	25~32	27~35	–	28
	퇴적층	점토(N>6)	–	–	–	–	–
		실트	–	–	–	–	–
		모래(N≤10)	25~30	25~33	25~34	–	27
		모래(N>10)	25~40	25~33	33~38	–	30
		자갈	28~45	35~39	41~46	–	32
	풍화토	실트질 모래	25~30	25~31	39~44	28.9~29.3	29
깎기구간	붕적층	모래	25~40	25~32	35~39	–	28
	풍화토	실트질 모래	25~30	25~30	38~43	28.0	29
터널구간	붕적층	모래	25~40	25~32	35~40	–	29
	풍화토	실트질 모래	25~30	25~30	40~44	28.0	29

■ 2구간

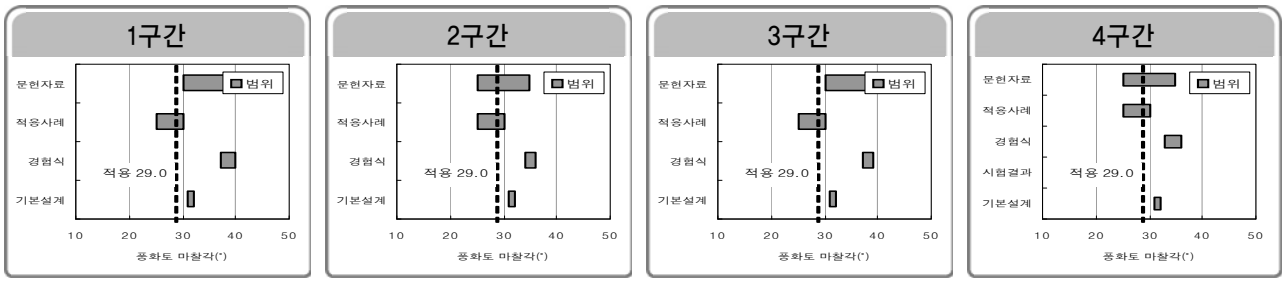
구 분	지 층	토질분류	문헌자료	적용사례	경험식	시험결과	적 용
교량구간	매립층	모래	25~40	28~33	26~35	–	28
		점토	–	–	–	–	–
	붕적층	모래	25~40	25~32	25~34	–	28
	퇴적층	점토(N>4)	–	–	–	–	–
		실트	–	–	–	–	–
		모래(N≤10)	25~30	25~33	25~34	–	27
		모래(N>10)	25~40	25~33	32~37	–	29
		자갈	28~45	35~39	34~39	–	32
	풍화토	실트질 모래	25~30	25~31	36~40	–	29
깎기구간	붕적층	모래	25~40	25~32	24~33	–	28
	풍화토	실트질 모래	25~30	25~30	37~41	–	29
터널구간	붕적층	모래	25~40	25~32	35~40	–	28
	풍화토	실트질 모래	25~30	25~30	39~43	29.0	29

■ 3구간

구 분	지 층	토질분류	문헌자료	적용사례	경험식	시험결과	적 용
교량구간	매립층	모래	25~40	28~33	27~35	–	28
		점토	–	–	–	–	–
	붕적층	모래	25~40	25~32	28~35	–	28
	퇴적층	점토(N>4)	–	–	–	–	–
		모래(N≤10)	25~30	25~33	24~34	–	26
		모래(N>10)	25~40	25~33	34~39	–	28
		자갈	28~45	35~39	33~38	–	31
	풍화토	실트질 모래	25~30	25~31	39~43	–	29
깎기구간	붕적층	모래	25~40	25~32	35~39	–	28
	풍화토	실트질 모래	25~30	25~30	36~40	29.0	29

■ 4구간

구 분	지 층	토질분류	문헌자료	적용사례	경험식	시험결과	적 용
교량구간	매립층	모래	25~40	28~33	28~36	–	28
		점토	–	–	–	–	–
	붕적층	모래	25~40	25~32	32~37	–	28
	퇴적층	점토(N>4)	–	–	–	–	–
		모래(N≤10)	25~30	25~30	25~34	–	26
		모래(N>10)	25~40	25~33	32~38	–	28
		자갈	28~45	35~39	40~45	–	32
	풍화토	실트질 모래	25~30	25~31	36~40	–	29
깎기구간	붕적층	모래	25~40	25~32	25~34	–	28
	풍화토	실트질 모래	25~30	25~30	37~41	25.0~28.0	29
터널구간	붕적층	모래	25~40	25~32	25~34	–	28
	풍화토	실트질 모래	25~30	25~30	36~40	27.9~28.0	29



• 풍화토는 적용사례의 중간값을 적용하였으며 다른 지층은 경험식 및 문헌자료의 중간값을 적용

변형계수(MPa)

1구간

구 분	지 층	토질분류	문헌자료	적용사례	경험식	시험결과	적 용
교량구간	매립층	모래	5~80	10~80	7~28	–	15
		점토	2~100	–	4~31	–	5
	붕적층	모래	5~80	10~32	6~25	–	10
	퇴적층	점토(N>6)	5~50	5~10	4~31	–	5
		실트	2~50		3~22	–	5
		모래(N≤10)	5~30	15~80	5~20	–	10
		모래(N>10)	5~80		15~62	–	18
		자갈	30~200	30~35	31~130	–	50
	풍화토	실트질 모래	20~100	35~70	28~115	–	50
깎기구간	붕적층	모래	5~80	10~32	19~76	–	20
	풍화토	실트질 모래	20~100	35~70	26~106	–	60
터널구간	붕적층	모래	5~80	10~32	20~78	–	20
	풍화토	실트질 모래	20~100	35~70	29~120	–	60

2구간

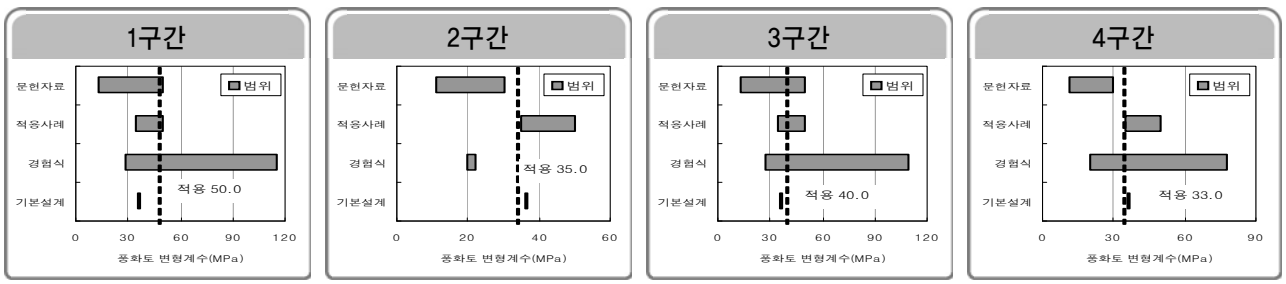
구 분	지 층	토질분류	문헌자료	적용사례	경험식	시험결과	적 용
교량구간	매립층	모래	5~80	10~80	6~22	–	12
		점토	2~100	–	2~17	–	4
	붕적층	모래	5~80	10~32	4~17	–	6
	퇴적층	점토(N>4)	5~50	5~10	2~17	–	5
		실트	2~50		2~11	–	3
		모래(N≤10)	5~30	15~80	4~17	–	10
		모래(N>10)	5~80		13~53	–	17
		자갈	30~200	30~35	19~67	–	28
	풍화토	실트질 모래	20~100	35~70	20~81	–	35
깎기구간	붕적층	모래	5~80	10~32	4~14	–	6
	풍화토	실트질 모래	20~100	35~70	24~95	–	60
터널구간	붕적층	모래	5~80	10~32	20~78	–	20
	풍화토	실트질 모래	20~100	35~70	27~109	–	60

■ 3구간

구 분	지 층	토질분류	문헌자료	적용사례	경험식	시험결과	적 용
교량구간	매립층	모래	5~80	10~80	6~25	–	12
		점토	2~100	–	2~17	–	4
	붕적층	모래	5~80	10~32	8~31	–	8
	퇴적층	점토(N>4)	2~50	5~10	4~28	–	5
		모래(N≤10)	5~30	15~80	4~14	–	9
		모래(N>10)	5~80		18~70	–	20
		자갈	30~200	30~35	18~62	–	25
	풍화토	실트질 모래	20~100	35~70	27~109	–	40
깎기구간	붕적층	모래	5~80	10~32	19~76	–	20
	풍화토	실트질 모래	20~100	35~70	22~87	–	60

■ 4구간

구 분	지 층	토질분류	문헌자료	적용사례	경험식	시험결과	적 용
교량구간	매립층	모래	5~80	10~80	8~34	–	15
		점토	2~100	–	4~25	–	5
	붕적층	모래	5~80	10~32	13~53	–	7
	퇴적층	점토(N>4)	5~50	5~10	3~20	–	7
		모래(N≤10)	5~30	15~80	4~17	–	10
		모래(N>10)	5~80		14~56	–	17
		자갈	30~200	30~35	29~123	–	32
	풍화토	실트질 모래	20~100	35~70	20~78	–	33
깎기구간	붕적층	모래	5~80	10~32	4~17	–	6
	풍화토	실트질 모래	20~100	35~70	24~92	62	60
터널구간	붕적층	모래	5~80	10~32	4~17	–	6
	풍화토	실트질 모래	20~100	35~70	22~87	–	60



• 풍화토는 경험식의 중간값을 적용하였으며 다른 지층은 경험식 및 문헌자료의 중간값을 적용

○ 포아송비(ν)

■ 1구간

구 분	지 층	토질분류	문헌자료	적용사례	적 용
교량구간	매립층	모래	0.20~0.40	0.33~0.35	0.35
		점토	0.15~0.50	–	0.40
	붕적층	모래	0.20~0.40	0.35	0.35
	퇴적층	점토(N>6)	0.15~0.50	0.35~0.5	0.40
		실트	0.15~0.50		0.38
		모래(N≤10)	0.20~0.40	0.35	0.35
		모래(N>10)	0.20~0.40	0.35	0.35
		자갈	0.20~0.50	0.30	0.32
	풍화토	실트질 모래	0.50	0.30~0.35	0.33
깎기구간	붕적층	모래	0.20~0.40	0.32~0.35	0.35
	풍화토	실트질 모래	0.50	0.30~0.35	0.33
터널구간	붕적층	모래	0.20~0.40	0.32~0.35	0.35
	풍화토	실트질 모래	0.50	0.30~0.35	0.33

■ 2구간

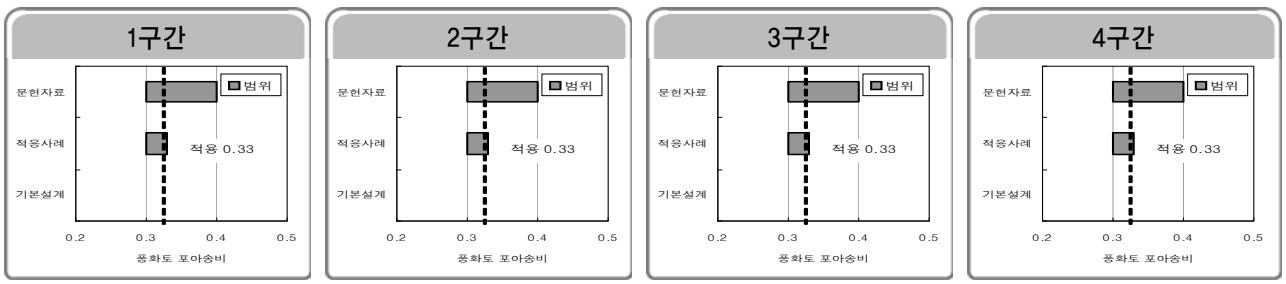
구 분	지 층	토질분류	문헌자료	적용사례	적 용
교량구간	매립층	모래	0.20~0.40	0.33~0.35	0.35
		점토	0.15~0.50	–	0.40
	붕적층	모래	0.20~0.40	0.35	0.35
	퇴적층	점토(N>4)	0.15~0.50	0.35~0.5	0.40
		실트	0.15~0.50	0.50~0.50	0.38
		모래(N≤10)	0.20~0.40	0.35	0.35
		모래(N>10)	0.20~0.40	0.35	0.35
		자갈	0.20~0.50	0.30	0.32
	풍화토	실트질 모래	0.50	0.30~0.35	0.33
깎기구간	붕적층	모래	0.20~0.40	0.32~0.35	0.35
	풍화토	실트질 모래	0.50	0.30~0.35	0.33
터널구간	붕적층	모래	0.20~0.40	0.32~0.35	0.35
	풍화토	실트질 모래	0.50	0.30~0.35	0.33

■ 3구간

구 분	지 층	토질분류	문헌자료	적용사례	적 용
교량구간	매립층	모래	0.20~0.40	0.33~0.35	0.35
		점토	0.15~0.50	–	0.40
	붕적층	모래	0.20~0.40	0.35	0.35
	퇴적층	점토(N>4)	0.15~0.50	0.35~0.5	0.40
		모래(N≤10)	0.20~0.40	0.35	0.35
		모래(N>10)	0.20~0.40	0.35	0.35
		자갈	0.20~0.50	0.30	0.32
	풍화토	실트질 모래	0.50	0.30~0.35	0.33
깎기구간	붕적층	모래	0.20~0.40	0.32~0.35	0.35
	풍화토	실트질 모래	0.50	0.30~0.35	0.33

■ 4구간

구 분	지 층	토질분류	문헌자료	적용사례	적 용
교량구간	매립층	모래	0.20~0.40	0.33~0.35	0.35
		점토	0.15~0.50	–	0.40
	붕적층	모래	0.20~0.40	0.35	0.35
	퇴적층	점토(N>4)	0.15~0.50	0.35~0.5	0.40
		모래(N≤10)	0.20~0.40	0.35	0.35
		모래(N>10)	0.20~0.40	0.35	0.35
		자갈	0.20~0.50	0.30	0.32
	풍화토	실트질 모래	0.50	0.30~0.35	0.33
깎기구간	붕적층	모래	0.20~0.40	0.32~0.35	0.35
	풍화토	실트질 모래	0.50	0.30~0.35	0.33
터널구간	붕적층	모래	0.20~0.40	0.32~0.35	0.35
	풍화토	실트질 모래	0.50	0.30~0.35	0.33



• 풍화토는 적용사례의 중간값을 적용하였으며 다른 지층은 문헌자료의 중간값을 적용

3.3.7 쌓기재 설계지반정수 산정

기본방향

- 쌓기재는 터널갱구 및 깎기구간에서 발생하는 토사 등을 사용
- 설계지반정수 산정의 신뢰성 향상을 위해 실내시험 분석 결과 및 문헌 자료등을 비교 · 검토

문헌자료

쌓기재 강도정수기준(도로설계요령, 2001)

흙의 종류 (통일분류법)	재료의 상태	단위중량 (kN/m^3)	점착력 (kPa)	내부 마찰각 (°)
GW, GP	다진것	20	0.0	40
SW, SP	입도가 좋은 것	20	0.0	35
	입도가 나쁜 것	19	0.0	30
SM, SC	다진것	19	30 이하	25
ML, MH, CL, CH	다진것	18	50 이하	15

다짐토의 특성 NAVFAC(DM 7.2~3.9)

구 분	최대건조 단위중량 (kN/m^3)	최적 함수비 (%)	점착력(kPa) 다짐 상태	점착력(kPa) 포화 상태	내부 마찰각 (°)	CBR
GM	19~22	8~12	–	–	〉34	20~60
GC	18~21	9~14	–	–	〉31	20~40
SM	18~20	11~16	51	21	34	10~40
SM-SC	18~21	11~15	51	15	33	–
SC	17~20	11~19	76	11	31	5~20
ML	15~19	12~24	68	09	32	〈15
ML-CL	16~19	12~22	66	22	32	–

다짐토사의 평균 전단강도 Huang(1983)

구 분	최대건조 단위중량 (kN/m^3)	최적 함수비 (%)	점착력(kPa) 다짐 상태	점착력(kPa) 포화 상태	내부 마찰각 (°)
GW	〉19.1	〈 13.3	–	–	〉38
GP	〉17.6	〈 12.4	–	–	〉37
GM	〉18.3	〈 14.5	–	–	〉34
GC	〉18.4	〈 14.7	–	–	〉31
SW	19.1±00.8	13.3±2.5	44±4	–	38±1
SP	17.6±00.3	12.4±1.0	26±6	–	37±1
SM	18.3±00.2	14.5±0.4	57±6	23±8	34±1
SM-SC	19.1±00.2	12.8±0.5	23±8	16±6	33±3

구 분	최대건조 단위중량 (kN/m^3)	최적 함수비 (%)	점착력(kPa) 다짐 상태	점착력(kPa) 포화 상태	내부 마찰각 (°)
SC	18.4±0.2	14.7±0.4	84±17	13±6	31±3
ML	16.5±0.2	19.2±0.7	75±11	10±	32±2
ML-CL	17.5±0.3	16.8±0.7	71±19	25±	32±2
CL	17.3±0.2	17.3±3.0	98±12	15±2	28±2
OL	–	–	–	–	–
MH	13.1±6	36.3±3.2	82±33	23±10	25±3
CH	15.1±3	25.2±1.2	115±38	13±06	19±5
OH	–	–	–	–	–

쌓기재 설계지반정수 산정결과

구 분		단위중량(kN/m^3)	점착력(kPa)	내부마찰각 (°)	비 고
관련 문헌	도로설계기준	19~20	0.0~30.0	30~40	SM~GP
	NAVFAC DM72	18~22	0.0~21.0	33 이상	SM~GM
	Huang	18 이상	19.0~31.0	33 이상	SM~GP
적용사례		18~20	0.0~20.0	28~40	SM~GP
설계 적용(토사)		18.0	15.0	28.0	–

구 분	γ_t (kN/m^3)	c (kPa)	ϕ (°)	CBR(%) 1구간	2구간	3구간	4구간
쌓기재(토사)	18.0	15.0	28.0	12.6	12.4	11.6	11.3

- 단위중량은 적용사례의 하한값, 점착력 및 내부마찰각은 적용사례의 평균값을 적용

3.4 풍화암 설계지반정수 산정

기본방향	• 사업구간내 풍화암은 기반암의 풍화가 진행되는 상태로 표준관입시험 또는 광역적 지질에 대해 특이한 차이가 없음에 따라 공통적으로 적용하여 산정

3.4.1 문헌 및 기존 설계자료

○ 서울시 지반분류(1996)

지 층	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)	단위중량(kN/m^3)	포아송비
풍화암	10~30	30~35	100~200	20.0~22.0	0.30~0.35

○ 도로설계실무편람(한국도로공사, 1996)

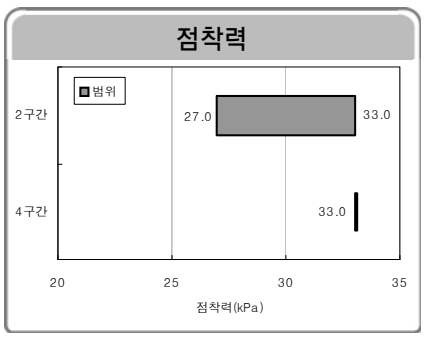
구 분	암반파쇄상태		전단강도		비 고
	TCR(%)	RQD(%)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	
풍화암 또는 연·경암으로 파쇄가 극심한 기반암 경우	20% 이하	10% 이하	100	30	암반의 파쇄상태에 따른 전단강도 제안

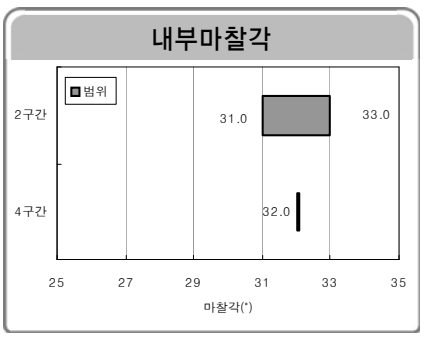
○ 기존 설계자료 분석결과

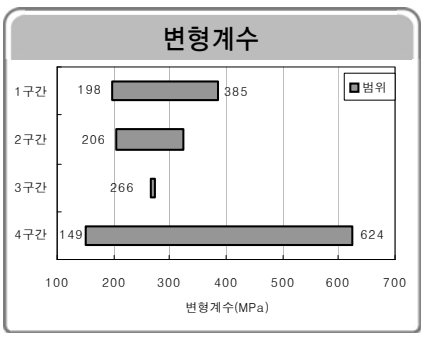
구 분	단위중량(kN/m^3)	점 착 력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)	포아송비
풍화암	20~22	28~50	30~33	50~350	0.3~0.33

○ 현장시험결과

구 분	점 착 력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)
1구간	32.9	28.5	198~385
2구간	32.9	30.7	206~302
3구간	–	–	266
4구간	29.7~32.5	28.3~31.5	149~306







분석결과	• 점착력은 구간별로 다소 차이를 보이나 마찰각은 구간별 유사한 범위를 보임 • 변형계수는 구간별 유사하나, 4구간은 149~306MPa의 범위로 다소 큰 차이를 보임

3.4.2 풍화암 설계지반정수 산정

○ 단위중량 및 포아송비

구 간	단위중량(kN/m³)				포아송비(ν)			
	문헌자료	적용사례	시험결과	적 용	문헌자료	적용사례	시험결과	적 용
교량 구간	20~22	20~22	19~24	21	0.30~0.40	0.30~0.33	–	0.30
깎기 구간	20~22	20~22	–	21	0.30~0.40	0.30~0.33	–	0.30
터널 구간	20~22	20~22	20~22	21	0.30~0.40	0.30~0.33	–	0.30

○ 전단강도 및 변형계수

■ 1구간

구 간	점착력(kPa)				내부마찰각 (°)				변형계수(MPa)			
	문헌자료	기존자료	시험결과	적 용	문헌자료	기존자료	시험결과	적 용	문헌자료	기존자료	시험결과	적 용
교량 구간	10~30	20~50	–	28	30~35	30~33	–	31	100~200	50~350	198~385	280
깎기 구간	10~30	20~50	–	29	30~35	30~33	–	31	100~200	50~350	–	280
터널 구간	10~30	20~50	–	29	30~35	30~33	–	31	100~200	50~350	–	280

■ 2구간

구 간	점착력(kPa)				내부마찰각 (°)				변형계수(MPa)			
	문헌자료	기존자료	시험결과	적 용	문헌자료	기존자료	시험결과	적 용	문헌자료	기존자료	시험결과	적 용
교량 구간	10~30	20~50	–	28	30~35	30~33	–	31	100~200	50~350	206~290	260
깎기 구간	10~30	20~50	–	31	30~35	30~33	–	31	100~200	50~350	272~302	280
터널 구간	10~30	20~50	–	31	30~35	30~33	–	31	100~200	50~350	–	280

■ 3구간

구 간	점착력(kPa)				내부마찰각 (°)				변형계수(MPa)			
	문헌자료	기존자료	시험결과	적 용	문헌자료	기존자료	시험결과	적 용	문헌자료	기존자료	시험결과	적 용
교량 구간	10~30	20~50	–	28	30~35	30~33	–	31	100~200	50~350	266	260
깎기 구간	10~30	20~50	32.9	30	30~35	30~33	31.7	32	100~200	50~350	–	270

■ 4구간

구 간	점착력(kPa)				내부마찰각 (°)				변형계수(MPa)			
	문헌자료	기존자료	시험결과	적 용	문헌자료	기존자료	시험결과	적 용	문헌자료	기존자료	시험결과	적 용
교량 구간	10~30	20~50	–	28	30~35	30~33	–	31	100~200	50~350	149~265	250
깎기 구간	10~30	20~50	29.7~32.5	30	30~35	30~33	28.3~32.5	32	100~200	50~350	173~306	260
터널 구간	10~30	20~50	–	30	30~35	30~33	–	32	100~200	50~350	286	280

분석결과

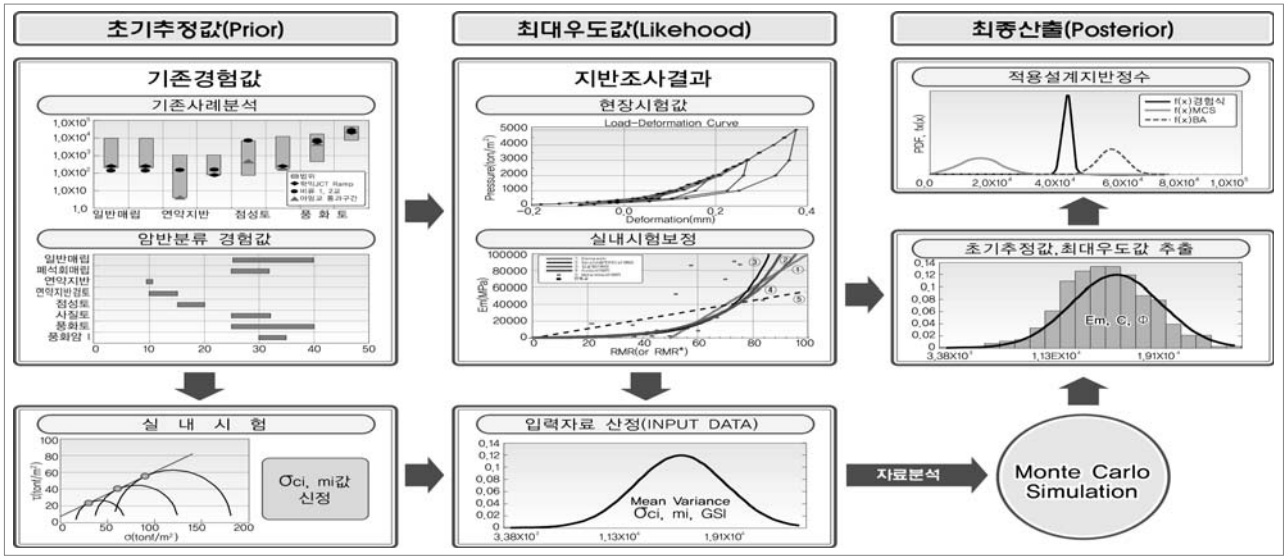
- 단위중량은 문헌자료 및 시험결과의 중간값, 포아송비는 기존적용사례 적용
- 점착력은 기존자료의 하한값, 내부마찰각은 현장시험 결과의 하한값, 변형계수는 기존자료의 중간값을 적용

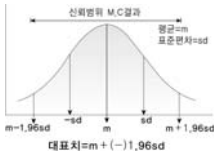
3.5 기반암 설계지반정수 산정

3.5.1 통계분석을 통한 신뢰성 확보

기본방향	• 기반암의 설계지반정수는 지표지질조사시 선정된 구조구 및 구조물 위치에 대한 특성을 고려하여 산정 • 전 구간에 분포하는 암종이 편마암류로 분류되어 지반특성에 따른 구조물별로 선정

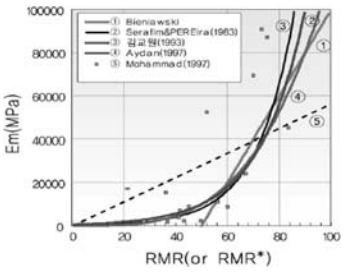
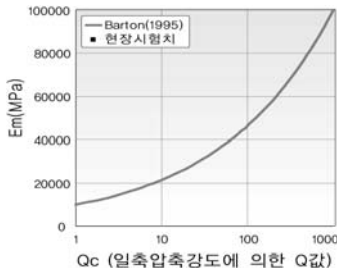
○ 설계지반정수 산정 개요



산 정 순 서	산 정 내 용
① 초기 추정치 산정 (Prior)	• 기존 경험치 ➡ 사업 지역에 관련된 기존설계자료 분석 기반암에 대한 물성추정치 분석
② 최대우도값산정 (Likelihood)	• 사업구간 실지반 조사치 ➡ 현장시험, 일축압축시험, 삼축압축시험 등
③ MCS 분석을 활용 신뢰도 범위내 초기추정치, 최대우도값 추출 	• 설계지반정수 선정시 객관적 기준과 신뢰도 향상을 위해 Monte Carlo Simulation의 95% 신뢰구간 적용 • Monte Carlo Simulation (MCS) Hoek-Brown파괴기준 Input(GSI, m_i, σ_{ci})자료 분석 – 자료 통계(평균, 표준편차) 표준편차 범주내 1,000~2,000개의 난수(Random Number) 발생 Hoek-Brown 기준에 따른 Input 자료조합 계산 Output(σ cm, ∅, c, Em)의 분포특성(평균 ± 표준편차) 산출
④ Bayesian Approach를 통한 연속체설계정수 산정	• 최종적으로 갱신(Updating)될 물성치를 Gausian분포로 가정 • 평균(μ)과 표준편차(σ)의 최대우도(Maximum Likelihood)함수 $L(\mu)=\prod_{i=0}^{n}\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma}\exp[-\frac{1}{2}(\frac{x_i-u}{\sigma})^2]=\prod_{i=0}^{n}N_{\mu}(x_i,\sigma)=N_{\mu}(\bar{x},\frac{\sigma}{\sqrt{n}})$
⑤ 단위중량 및 포아송비 산정 Tsuchiya(1984), 김교원(1993) 경험식 이용	• 초기추정치(Prior, 기존설계자료 등)의 평균(μ′), 표준편차(σ′)로부터 최대우도치(Likelihood, 조사된 실지반치)의 평균(μ), 표준편차(σ)를 Bayesian 이론에 의해 Updating한 평균(μ′′), 표준편차(σ′′)는 다음과 같음 $\mu''=\frac{\mu*(\sigma')^2+\mu'*(\sigma)^2/n}{(\sigma')^2+(\sigma)^2/n}$, $\sigma''=\sqrt{\frac{(\sigma')^2\times\sigma^2/n}{(\sigma')^2+(\sigma)^2/n}}$

초기추정치(Prior) 산정방법

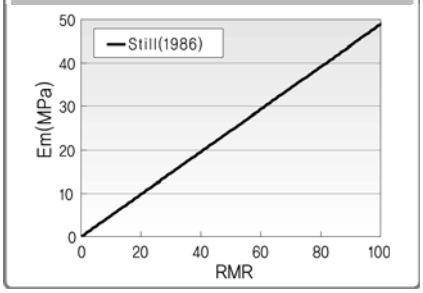
변형계수

변형계수 경험식	관 계 경 험 식	적 용 내 용
• Bieniawski (1978)	$E_m = 2RMR-100$(GPa) ; RMR > 57	• 경계 RMR=57에 대하여 Bieniawski과 Serafim & Pereira 경험식의 교점을 기준으로 적 용
• Serafim & Pereira (1983)	$E_m = 10^{(RMR-10)/40}$(GPa) ; RMR ≤ 57	
• 김교원 (1993)	$E_m = 3\ e^{0.07RMR^*}$(GPa)	• RMR* : 총RMR에서 지하수 상태 및 절리방향 보정을 제외
• Aydan (1997)	$E_m = 0.0097\ RMR^{3.54}$ (MPa)	
• Mohammad (1997)	$E_m = 0.562\ RMR + 0.183$ (GPa)	
• Barton (1995) Q값과 일축압축강도에 의한 변형계수 추정	$E_m = 10 \times Q_c^{1/3}$ (GPa) $Q_c = \left(\frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}\right) \times \frac{\sigma_c}{100}$	
• GSI 및 일축압축강도 (Geological Strength Index, 1997)에 의한 추정	$E_m = 10^{\frac{(GSI-10)}{40}} \times \sqrt{\frac{\sigma_c(MPa)}{100}}$ (GPa) σ c : 무결암의 일축압축강도	

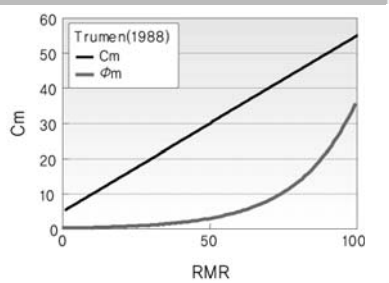
점착력 및 내부마찰각

점착력 경험식	관 계 경 험 식
• Bieniawski (1989)	• $C_m = -0.051 + 0.008R - 3.346 \times 10^{-5} RMR^2$ • $\phi_m = -0.086 + 0.7891RMR - 0.0031\ RMR^2$
• Still (1986)	• $C_m = (2.2 \times RMR/4.5)$ (MPa)
• Trueman (1988)	• $C_m = 0.25\ e^{0.05\ RMR}$ (Mpa) • $\phi_m = 0.5RMR + 5$
• 김교원 (1993)	• $C_m = 2\ e^{0.08\ RMR^*}$ (MPa) • $\phi_m = 0.25(RMR^*) + 27.5$

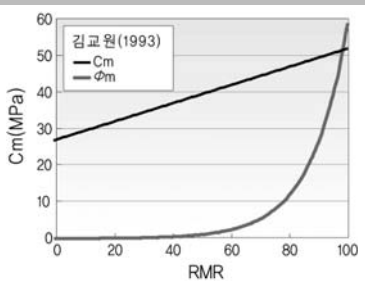
Still (1986)



Trueman (1988)



김교원(1993)



최대우도치 산정방법

점착력 및 내부마찰각 경험식	관 계 경 험 식
• 변형계수-실내암석시험(E_{int})의 암반변형(E_m)으로의 보정과 공내재하시험 결과	$E_m = RF \times E_{int}$ • E_m : 변형계수 보정치 • RF : 감쇠계수(Reduction Factor) • E_{int} : 실내시험에 의한 무결암 탄성계수
• RMR에 의한 무결암 탄성계수 보정 – Nicholson & Bieniawski (1990) – Mitri et al. (1994)	$\frac{E_m}{E_{int}} = RF = 0.0028\ RMR^2 + 0.9\exp\left(\frac{RMR}{22.82}\right)(\%)$ $\frac{E_m}{E_{int}} = RF = 0.5 \times \left[1 - \left\{\cos\left(\pi \times \frac{RMR}{100}\right)\right\}\right]$
• RQD에 의한 무결암 탄성계수 보정 – 도표 이용(Cording etc, 1972) – Honish et al. (1994)	$E_m = f \times E_{int}$ $\frac{E_m}{E_{int}} = RF = 0.5 \times \left(\frac{RQD}{100}\right)^2$
• 실내탄성계수에 의한 강도정수 환산 – Tsuchiya (1984)	$C_m = -1.93Y + 2.07Y^2 + 0.035Y^3$ $\phi_m = 23.6 + 2.347Y$ 여기서, Y=[logE(kgf/cm^2)–2.25]/0.35

Hoek-Brown 방법에 의한 c, ϕ 산정

무결암 상태의 Hoek-Brown 파괴기준

$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci}(m_i \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + 1)^{0.5}$

$y = m_i \sigma_{ci} x + s\ \sigma_{ci}^2$

단, σ_3 의범위 : $0 < \sigma_3 < 0.25\sigma_{ci}$

여기서, $x = \sigma_3$, $y = (\sigma_1 - \sigma_3)^2$

m_i : 무결암의 Hoek-Brown 암반계수

• 삼축시험으로부터의 일축압축강도 σ_{ci}

$\sigma_{ci} = \sqrt{\frac{\Sigma y}{n} - \left[\frac{\Sigma x y - (\Sigma x \Sigma y/n)}{\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2/n}\right]\frac{\Sigma x}{n}}$

여기서, n = 봉압을 달리한 실험횟수

• mi (Hoek-Brown 상수), γ^2 (상관계수)

$m_i = \frac{1}{\sigma_{ci}}\left[\frac{\Sigma x y - (\Sigma x \Sigma y/n)}{\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2/n}\right]$

$\gamma^2 = \frac{[\Sigma x y - \Sigma x \Sigma y/n)]^2}{[\Sigma x^2 - (\Sigma x)^2/nRIGHT][\Sigma y^2 - (\Sigma y)^2/n]}$

일반 암반의 Hoek-Brown 파괴기준

$\sigma'_1 = \sigma'_3 + \sigma_{ci}(m_b \frac{\sigma'_3}{\sigma_{ci}} + 1)^a$

σ_{ci} : 무결암의 일축압축강도

m_b : Hoek-Brown 암반계수

s, a : 암반특성과 관련된 계수

• GSI : 도표를 이용하거나 암반분류를 활용

GSI = RMR89 – 5 : RMR > 23

GSI = 9 ln(Qc) + 44 : RMR ≤ 23

여기서, RMR89 : 1989년 RMR Version을 사용

$Q_c = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a}$

• m_b : GSI와 무결암계수 mi로 암반계수 계산

$m_b = m_i EXP(\frac{GSI - 100}{28})$

• s, a : GSI로부터 암반특성 계수 계산

– GSI > 25일 때

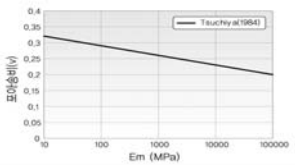
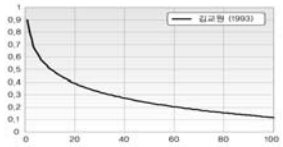
$s = EXP(\frac{GSI - 100}{9})$, a=0.5

– GSI ≤ 25일 때 s=0,

$a = 0.65 - \frac{GSI}{200}$

3.5.2 단위중량 및 포아송비

경험식 산정방법

구 분	Tsuchiya (1984)	김교원 (1993)
산정방법	• 추정식, 기존사례 등을 이용하여 단위중량과 포아송비를 산정	
산 정 식	γ_t (kN/m^3) = [2.0+(Y−1.28)/14.3] × 10 υ = 0.3 − (Y−1.28)/95 여기서, Y = (log E(kgf/cm^2) − 2.25)/0.35 	υ = −0.17 Ln(RMR')+0.9 

1구간

구 분	지 층	단위중량(kN/m^3)				포아송비(ν)			
		적용사례	경험식	시험결과	적 용	적용사례	경험식	시험결과	적 용
교량구간	연암	23~26	22~23	26~27	23	0.24~0.30	0.26~0.27	0.2~0.32	0.26
	보통암	25~27	22~24	22~28	25	0.23	0.24~0.27	–	0.24
	경암	26~27	25	–	26	0.32	0.22	–	0.22
깎기구간	연암	23~26	22~23	27	24	0.24~0.30	0.26~0.27	–	0.26
	보통암	25~27	22~24	–	25	0.23	0.24~0.27	–	0.24
	경암	26~27	25	–	26	0.21	0.22	–	0.22
터널구간	Ⅰ등급	26~27	25	22~27	27	0.17~0.20	0.22	0.21~0.32	0.21
	Ⅱ등급	24~26	25	22~28	26	0.19~0.22	0.22	0.16~0.28	0.22
	Ⅲ등급	23~25	22~24	24~27	25	0.23~0.28	0.24~0.27	0.18~0.33	0.24
	Ⅳ등급	21~24	22~23	20~25	24	0.28~0.33	0.26~0.27	0.25~0.30	0.25
	Ⅴ등급	19~22	22~23	–	23	0.29~0.35	0.26~0.27	–	0.26

2구간

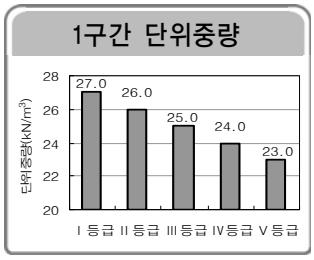
구 분	지 층	단위중량(kN/m^3)				포아송비(ν)			
		적용사례	경험식	시험결과	적 용	적용사례	경험식	시험결과	적 용
교량구간	연 암	23~26	22~23	26~28	24	0.24~0.30	0.26~0.27	0.22~0.33	0.26
	보통암	25~27	23~25	26~27	25	0.23	0.23~0.26	0.20~0.28	0.24
	경 암	26~27	25	26~27	26	0.21	0.22~0.23	0.24~0.32	0.22
깎기구간	연 암	23~26	22~23	26~27	24	0.24~0.30	0.26~0.27	0.15~0.26	0.26
	보통암	25~27	23~25	26~27	26	0.23	0.23~0.26	0.22~0.29	0.24
	경 암	26~27	24~25	27	27	0.21	0.22~0.23	0.13~0.21	0.22
터널구간	Ⅰ등급	26~27	25	24~28	27	0.17~0.20	0.22~0.23	0.30	0.21
	Ⅱ등급	24~26	25	23~28	26	0.19~0.22	0.22~0.23	0.21~0.29	0.22
	Ⅲ등급	23~25	23~25	21~27	25	0.23~0.28	0.23~0.26	0.22	0.24
	Ⅳ등급	21~24	22~24	–	24	0.28~0.33	0.26~0.27	–	0.25
	Ⅴ등급	19~22	22~23	–	23	0.29~0.35	0.26~0.27	–	0.26

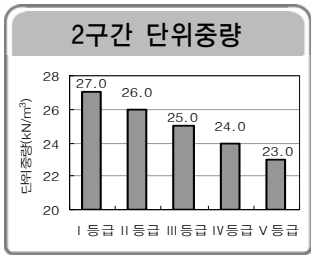
3구간

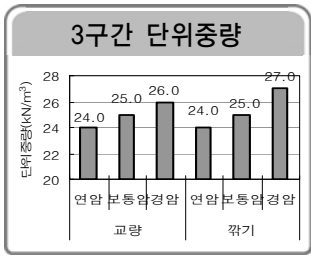
구 분	지 층	단위중량(kN/m³)				포아송비(ν)			
		적용사례	경험식	시험결과	적 용	적용사례	경험식	시험결과	적 용
교량구간	연 암	23~26	22~23	21~27	24	0.24~0.30	0.25~0.27	0.19~0.41	0.26
	보통암	25~27	23~25	22~28	25	0.23	0.23~0.26	0.16~0.33	0.24
	경 암	26~27	25	23~28	26	0.21	0.22~0.23	0.11	0.22
깎기구간	연 암	23~26	22~24	–	24	0.24~0.30	0.25~0.27	–	0.26
	보통암	25~27	23~25	27	25	0.23	0.23~0.26	0.32	0.24
	경 암	26~27	25	–	27	0.21	0.22~0.23	–	0.22

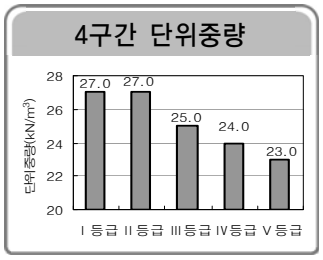
4구간

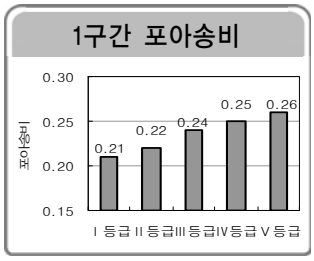
구 분	지 층	단위중량(kN/m³)				포아송비(ν)			
		적용사례	경험식	시험결과	적 용	적용사례	경험식	시험결과	적 용
교량구간	연 암	23~26	22~23	21~26	23	0.24~0.30	0.26~0.27	0.26	0.26
	보통암	25~27	23~25	25	25	0.23	0.23~0.26	0.28~0.32	0.24
	경 암	26~27	25~26	–	26	0.21	0.22~0.23	–	0.22
깎기구간	연 암	23~26	22~23	26~29	25	0.24~0.30	0.26~0.27	0.21~0.28	0.26
	보통암	25~27	23~25	26~27	26	0.23	0.23~0.26	0.17~0.30	0.24
	경 암	26~27	25~26	28	28	0.21	0.22~0.23	0.16~0.24	0.22
터널구간	Ⅰ등급	26~27	26	23~29	27	0.17~0.20	0.22	0.18~0.23	0.21
	Ⅱ등급	24~26	25	20~29	27	0.19~0.22	0.23	0.13~0.38	0.22
	Ⅲ등급	23~25	23~25	21~27	25	0.23~0.28	0.23~0.26	0.25~0.30	0.24
	Ⅳ등급	21~24	22~24	–	24	0.28~0.33	0.26~0.27	0.21	0.25
	Ⅴ등급	19~22	22~23	–	23	0.29~0.35	0.26~0.27	–	0.26

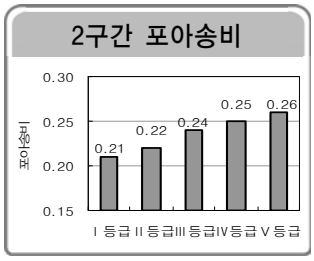


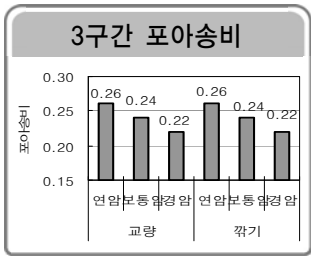


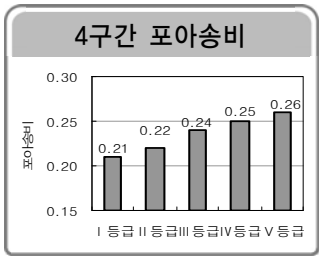












분석결과

- 단위중량은 교량 및 깎기구간(적용사례 하한값, 현장시험결과 상한값), 터널구간(시험결과 중간값,경험식 상한값)적용
- 포아송비는 경험식 및 현장시험 결과의 중간값을 적용

3.5.3 전단강도 및 변형계수

기본방향	• 암반분류 결과를 활용하여 각 지층 및 등급별 시험결과의 통계분석을 통해 합리적인 설계지반정수 도출 • 인근지역 적용사례, 문헌자료 및 경험식분석을 통한 초기추정치 산정 • 현장시험 및 Hoek-Brown 파괴기준에 의한 MCS 분석을 통해 최대 우도값 산정 • 선정된 초기 추정값과 최대 우도값을 근거로 Baysian Approach 통계분석을 통해 설계지반정수 선정

1구간

초기추정치(Prior) 산정

구 분	지층	점착력(kPa)		내부마찰각(°)		변형계수(MPa)	
		범위	평균/표준편차	범위	평균/표준편차	범위	평균/표준편차
교량구간	연 암	177~1,300	621/347	20~34	29/6	630~1,130	840/291
	보통암	1,00~2,980	2,243/1,045	31~41	35/4	2,720~6,050	3,520/2,133
	경 암	3,020~3,630	3,273/375	36~44	40/4	8,890~17,390	13,140/3,671
깎기구간	연 암	200~1,860	781/933	20~36	27/8	440~1,850	770/389
	보통암	2,630~3,230	2,930/420	31~43	38/5	4,060~10,380	5,735/2,138
	경 암	3,670~6,880	4,271/2,269	35~46	41/4	14,090~30,090	18,386/5,129
터널구간	Ⅰ등급	4,200~16,580	10,390/7,732	41~49	43/4	16,540~47,390	19,670/6,134
	Ⅱ등급	3,670~6,880	5,271/2,269	35~46	41/4	14,090~30,090	16,597/3,518
	Ⅲ등급	1,010~3,200	2,234/501	26~40	32/6	2,600~5,680	4,490/1,857
	Ⅳ등급	260~1,370	814/740	20~36	27/9	980~1,730	1,350/428
	Ⅴ등급	80~980	459/455	14~32	25/9	440~650	540/279

MCS 및 최대 우도값(Likelihood) 산정

• 점착력 및 마찰각

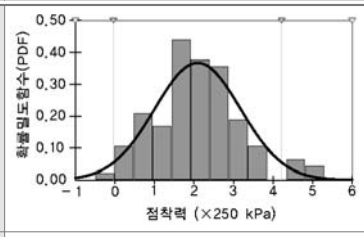
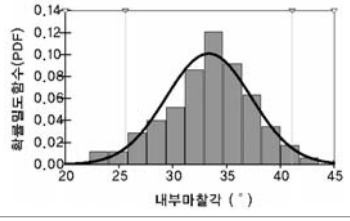
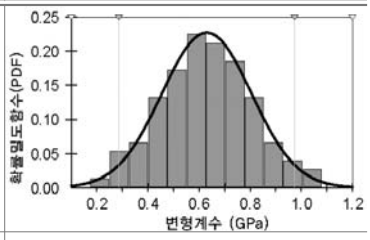
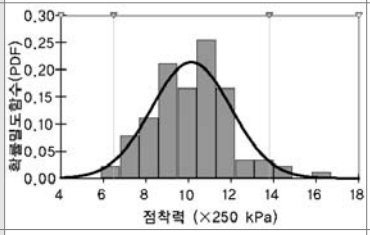
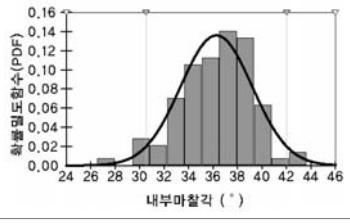
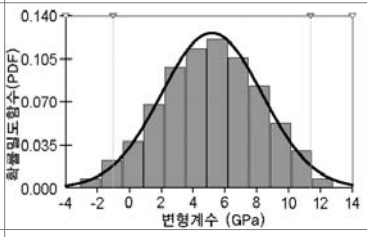
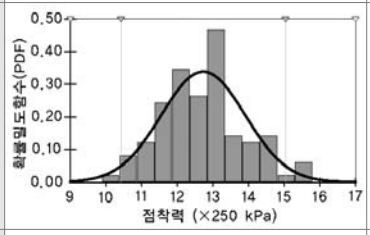
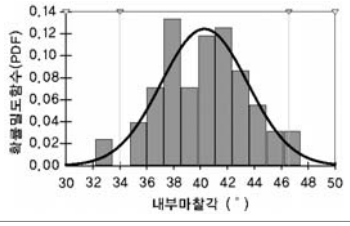
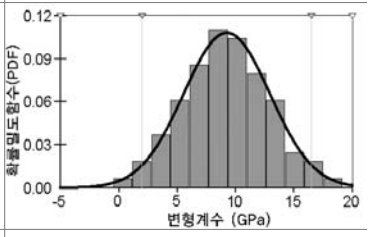
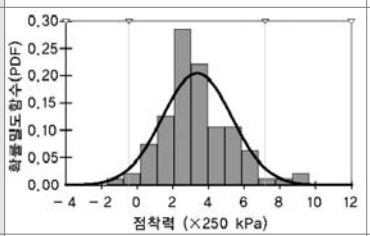
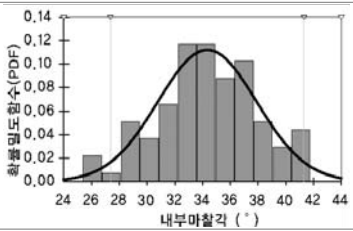
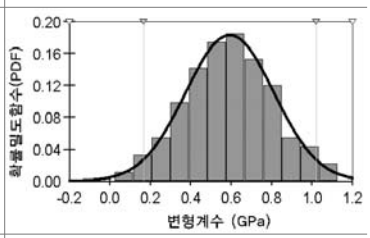
• 설계구간 기반암의 MCS를 분석한 결과 정규분포 형태로 95%의 신뢰도인 정규분포 가설을 채택할 수 있음 (다만, 도수분포상 평균과 편차를 정규분포 빈도로 가정하여 산정)
『상하한치 : (평균±표준편차×α), α : 설계자의 판단에 따른 신뢰도 상수(95% 신뢰도)
• MCS결과 기준 내에 있는 각 초기추정값(Prior)들과 최대우도값(Likelihood)을 평균과 표준편차 대표치로 선정하여 Bayesian 이론에 적용

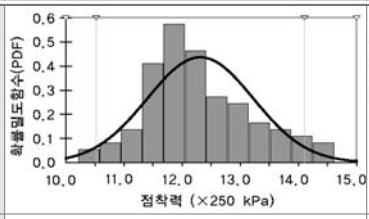
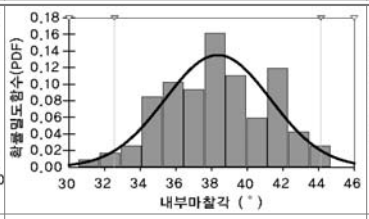
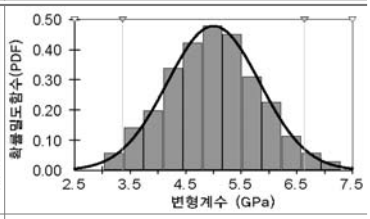
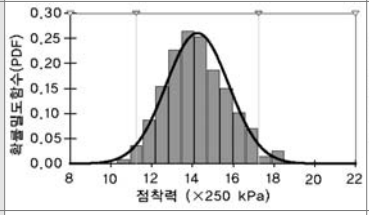
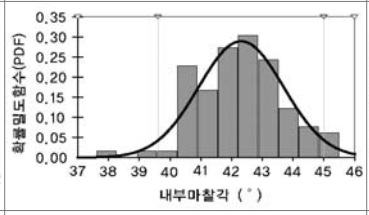
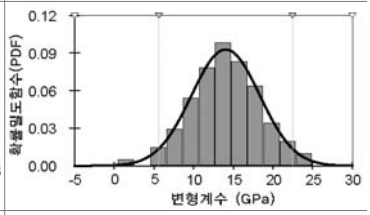
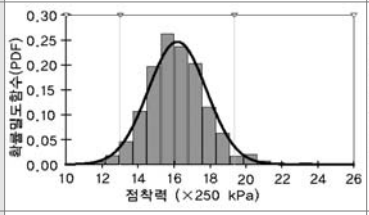
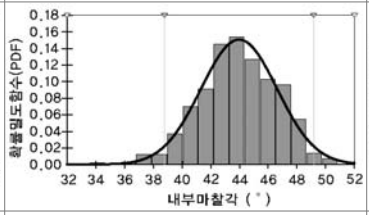
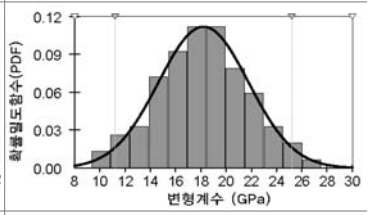
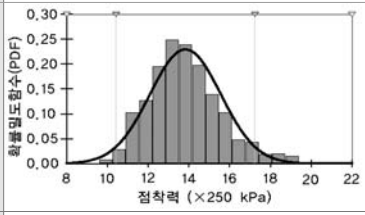
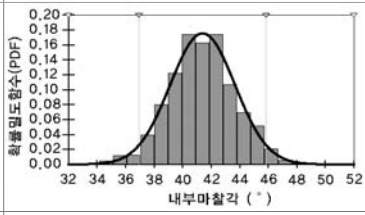
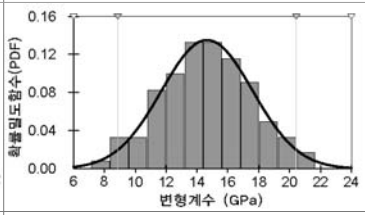
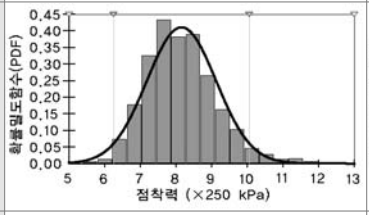
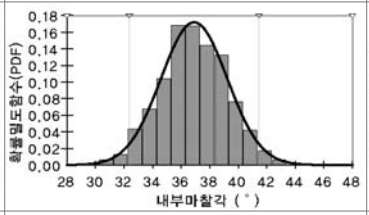
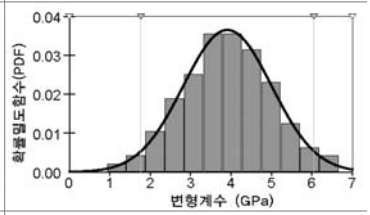
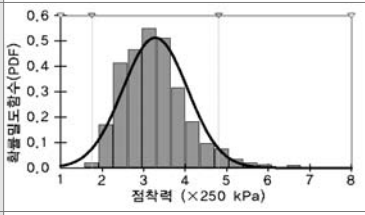
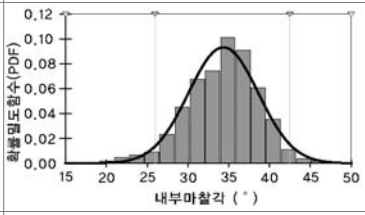
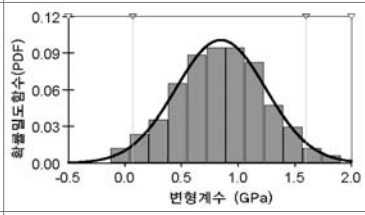
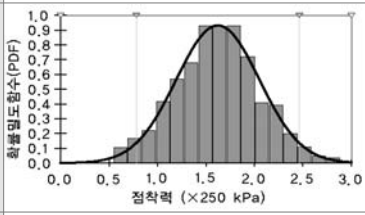
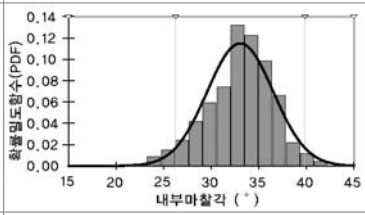
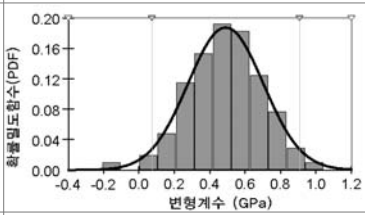
구 분	지층	σ_{ci}(MPa)		GSI		mi		MCS 결과 (평균/표준편차)	
		평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차	점착력(kPa)	마찰각(°)
교량구간	연 암	52	21	28	9	29	4	523 / 270	33.4 / 4.0
	보통암	68	29	61	3	28	4	2,533 / 468	36.3 / 2.9
	경 암	89	22	72	3	28	4	3,182 / 295	40.3 / 3.2
깎기구간	연 암	58	24	38	11	28	4	839 / 488	34.3 / 3.6
	보통암	72	10	66	7	28	4	3,078 / 288	38.4 / 3.0
	경 암	93	27	72	7	28	4	3,561 / 383	42.3 / 1.4

구 분	지층	σ ci(MPa)		GSI		mi		MCS 결과 (평균/표준편차)	
		평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차	점착력(kPa)	마찰각(°)
터널구간	Ⅰ등급	106	15	86	1	28	4	4,046 / 405	44.0 / 2.7
	Ⅱ등급	93	27	75	7	28	4	3,457 / 435	41.4 / 2.3
	Ⅲ등급	72	13	61	5	28	4	2,039 / 243	36.9 / 2.3
	Ⅳ등급	49	10	34	6	28	4	820 / 195	34.4 / 4.3
	Ⅴ등급	28	4	20	2	28	4	406 / 108	33.1 / 3.5

• 변형계수

구 분	지층	변형계수 (MPa)			
		최 소	최 대	평 균	표준편차
1구간	연암	478	870	645	121
	보통암	5,193	15,757	10,475	7,470
	경암	18,850	20,353	19,601	1,062

구 분		점착력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)
교량 구간	연암			
	평균/편차	523 / 270	33.4 / 4.0	630 / 175
	보통암			
	평균/편차	2,533 / 468	36.3 / 2.9	5,193 / 3,200
	경암			
	평균/편차	3,182 / 295	40.3 / 3.2	9,246 / 3,684
깎기 구간	연암			
	평균/편차	839 / 488	34.3 / 3.6	594 / 219

구 분		점착력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)
깎기 구간	보통암			
	평균/편차	3078 / 228	38.4 / 3.0	4,998 / 831
	경 암			
	평균/편차	3561 / 383	42.3 / 1.4	14,072 / 4,231
터널 구간	1등급			
	평균/편차	4046 / 405	44.0 / 2.7	18,200 / 3,571
	2등급			
	평균/편차	3457 / 435	41.4 / 2.3	14,649 / 2,975
	3등급			
	평균/편차	2039 / 243	36.9 / 2.3	3,916 / 1,094
	4등급			
	평균/편차	820 / 195	34.4 / 4.3	846 / 397
	5등급			
	평균/편차	406 / 108	33.1 / 3.5	491 / 207

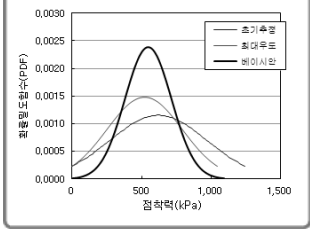
Bayesian Approach에 의한 설계지반정수 산정

• 각종 경험식으로부터 추출된 적정한 범위의 초기추정치(Prior, 기설계자료 등)의 평균(μ'), 표준편차(σ')로부터 현장시험 및 실내시험에 의하여 산출된 Gaussian분포인 MCS결과의 평균(μ), 표준편차(σ)를 Bayesian 이론에 의해 Updating한 평균(μ''), 표준편차(σ'')는 다음과 같음

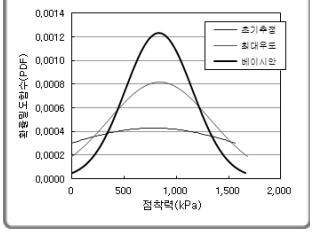
$$\mu'' = \frac{\mu*(\sigma')^2+\mu'*(\sigma)^2/n}{(\sigma')^2+(\sigma)^2/n}, \qquad \sigma'' = \sqrt{\frac{(\sigma')^2\times\sigma^2/n}{(\sigma')^2+(\sigma)^2/n}}$$

구 분	지층	점착력(kPa)			내부마찰각(°)			변형계수(MPa)		
		평균	표준편차	적 용	평균	표준편차	적 용	평균	표준편차	적 용
교량구간	연 암	546	167	500	33	2.6	33	664	65	660
	보통암	2,507	315	2,500	36	1.8	36	4,307	1,552	4,000
	경 암	3,204	182	3,200	40	2.0	40	10,550	2,124	10,000
깎기구간	연 암	832	324	800	34	2.4	34	618	144	620
	보통암	3,059	151	3,000	38	2.0	38	4,998	831	5,000
	경 암	3,571	269	3,500	42	1.0	42	15,167	2,584	15,000
터널구간	Ⅰ등급	4,055	286	4,200	44	1.7	44	18,413	2,335	18,000
	Ⅱ등급	3,490	305	3,500	41	1.5	41	15,162	1,805	15,000
	Ⅲ등급	2,060	163	2,200	37	2.3	37	4,001	714	4,000
	Ⅳ등급	820	136	900	34	2.9	34	998	235	1,000
	Ⅴ등급	407	75	400	33	2.4	33	502	130	500

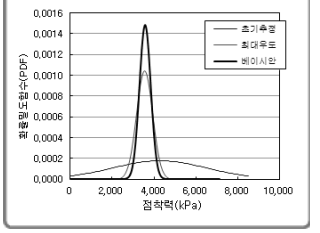
점착력(교량,연암)



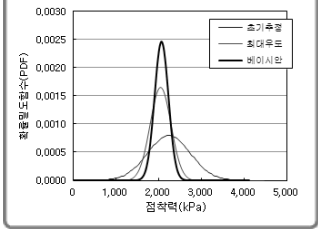
점착력(깎기,연암)



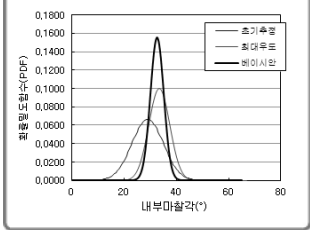
점착력(깎기,경암)



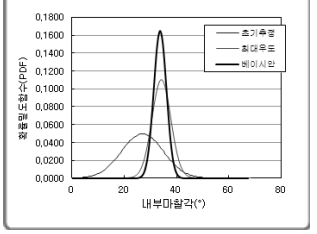
점착력(터널,Ⅲ등급)



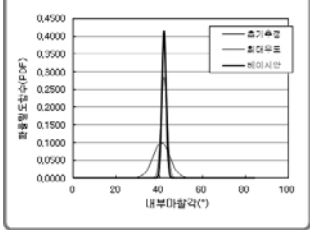
내부마찰각(교량,연암)



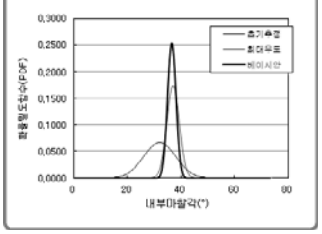
내부마찰각(깎기,연암)



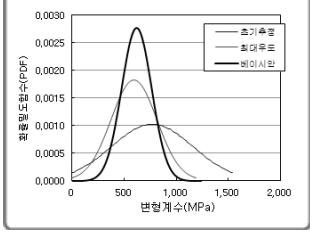
내부마찰각(깎기,경암)



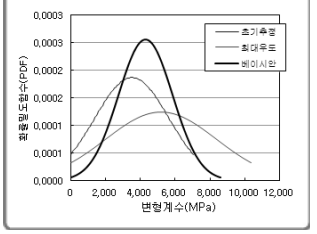
내부마찰각(터널,Ⅲ등급)



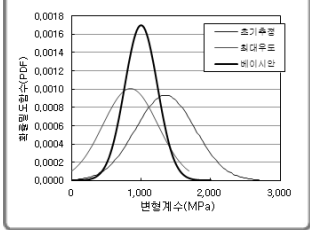
변형계수(교량,연암)



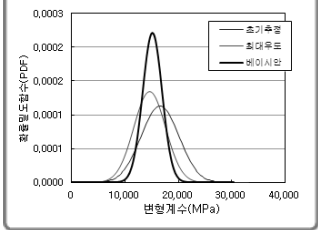
변형계수(교량,보통암)



변형계수(터널,Ⅳ등급)



변형계수(터널,Ⅱ등급)



○ 2구간

■ 초기추정치(Prior) 산정

구 분	지층	점착력(kPa)		내부마찰각(°)		변형계수(MPa)	
		범위	평균/표준편차	범위	평균/표준편차	범위	평균/표준편차
교량구간	연 암	200~1,590	670/421	22~35	27/6	870~1,500	1,190/497
	보통암	300~4,320	2,120/1,437	31~40	35/4	2,760~6,090	4,780/2,618
	경 암	1,456~4,990	3,020/2,391	38~45	41/4	8,230~16,450	12,340/4,067
깎기구간	연 암	190~1,760	730/492	23~35	26/6	920~1,610	1,270/394
	보통암	270~3,370	1,975/914	30~39	33/4	2,320~4,930	3,960/1,642
	경 암	2,567~6,880	3,127/1,627	39~46	43/3	14,090~30,090	22,090/5,297
터널구간	Ⅰ등급	4,020~12,440	5,570/4,118	41~51	47/5	27,550~56,810	48,590/7,283
	Ⅱ등급	3,810~8,740	6,280/3,207	38~47	43/4	12,310~44,140	29,660/9,174
	Ⅲ등급	1,090~3,370	2,330/1,194	30~40	33/5	2,760~6,090	6,100/3,086
	Ⅳ등급	190~1,760	930/426	23~35	26/6	920~1,850	1,560/587
	Ⅴ등급	80~980	460/244	14~32	20/8	440~650	540/284

■ MCS 및 최대 우도값(Likelihood) 산정

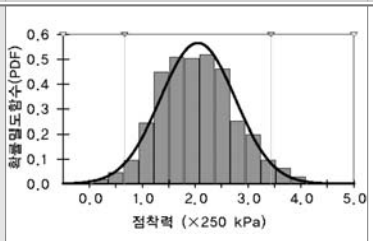
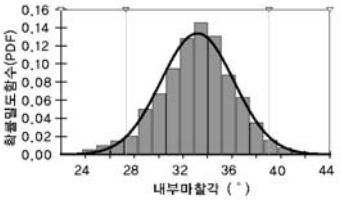
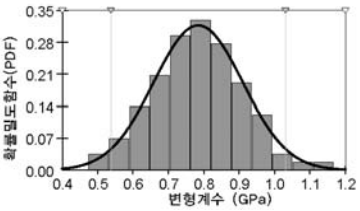
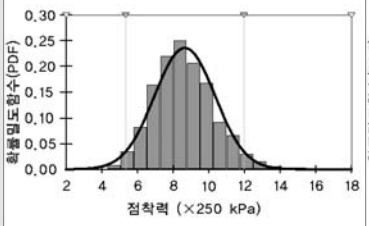
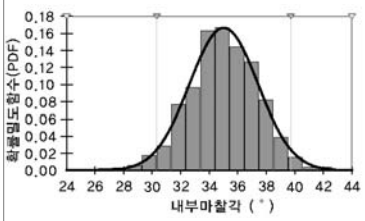
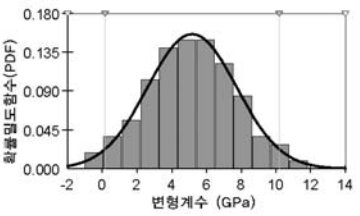
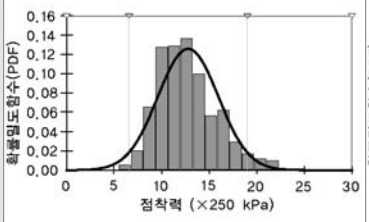
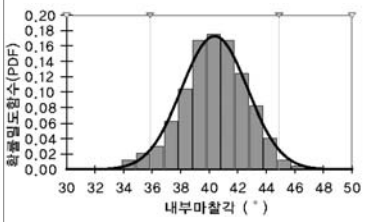
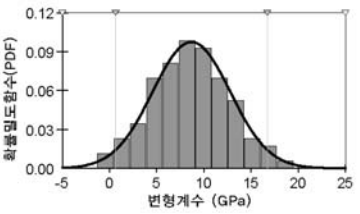
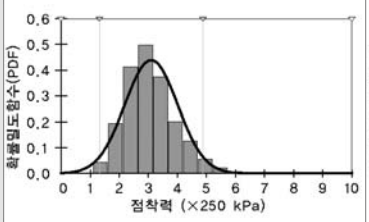
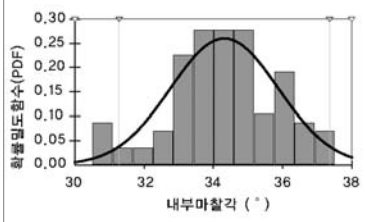
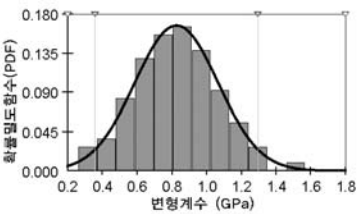
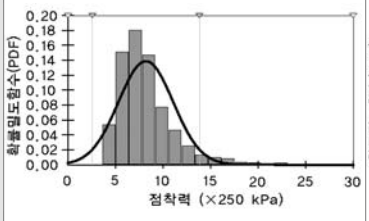
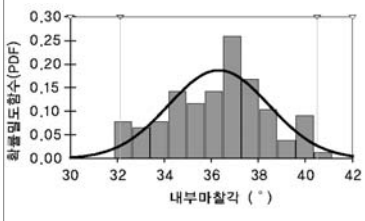
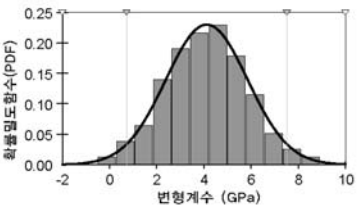
• 점착력 및 마찰각

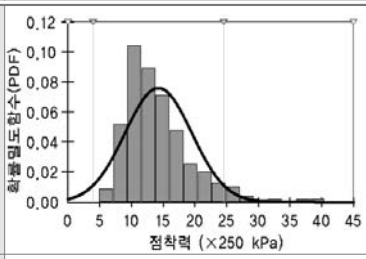
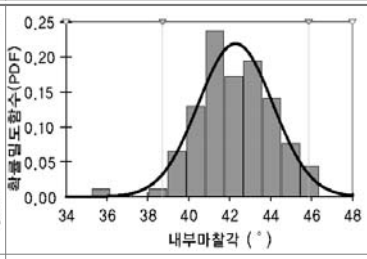
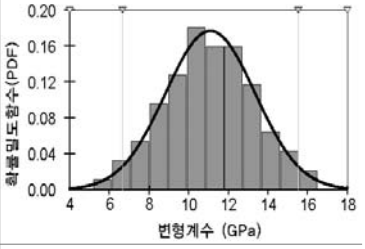
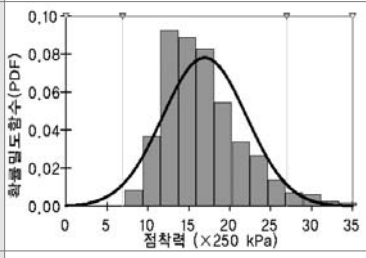
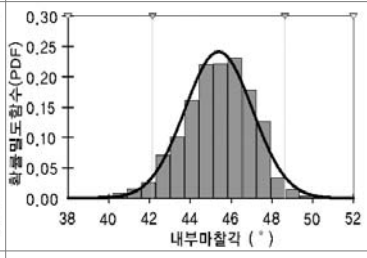
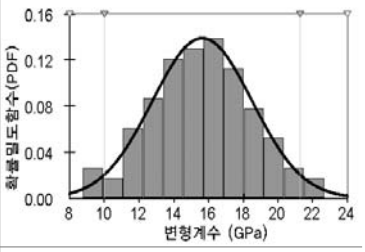
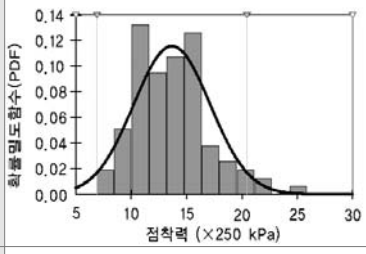
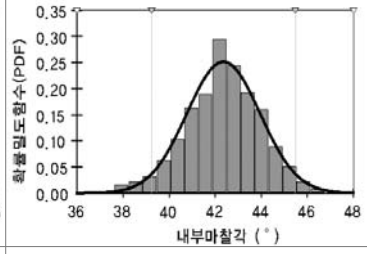
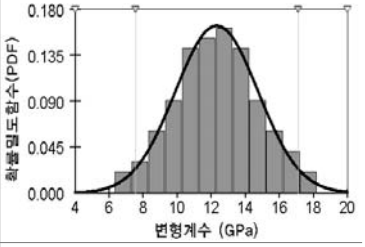
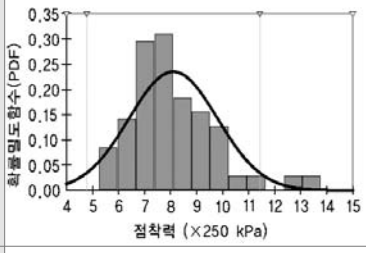
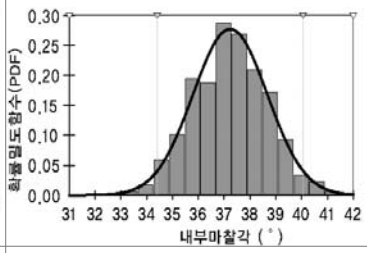
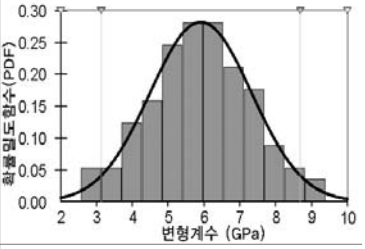
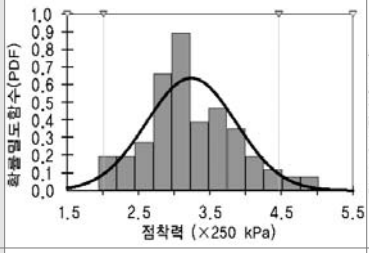
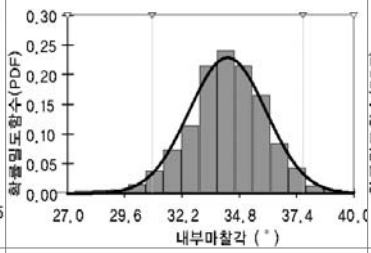
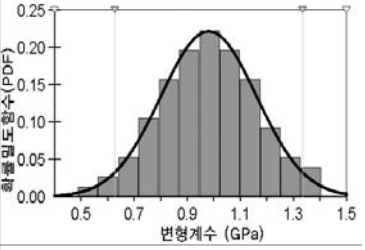
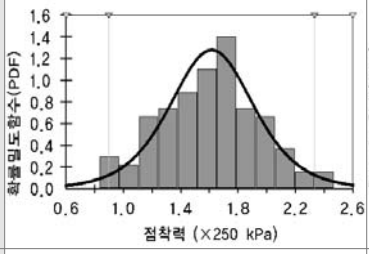
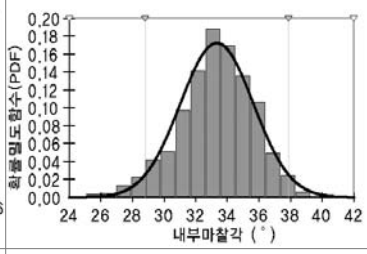
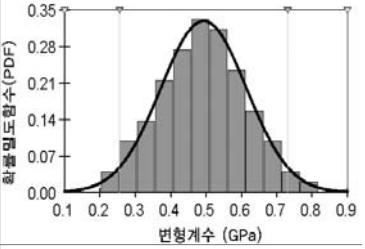
• 본 설계구간 기반암의 MCS를 분석한 결과 정규분포 형태로 95%의 신뢰도인 정규분포 가설을 채택할 수 있음 (다만, 도수분포상 평균과 편차를 정규분포 빈도로 가정하여 산정)
『상하한치 : (평균±표준편차×α), α : 설계자의 판단에 따른 신뢰도 상수(95% 신뢰도)
• MCS결과 기준 내에 있는 각 초기추정값(Prior)들과 최대우도값(Likelihood)을 평균과 표준편차를 대표치로 선정하여 Bayesian 이론에 적용

구 분	지층	σ_{ci}(MPa)		GSI		mi		MCS 결과 (평균/표준편차)	
		평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차	점착력(kPa)	마찰각(°)
교량구간	연 암	43.7	16.7	36.4	7.1	29.1	3.9	512 / 178	33.2 / 3.0
	보통암	60.0	24.9	57.0	5.5	29.1	3.9	2,163 / 423	35.0 / 2.4
	경 암	85.2	14.9	64.0	15.6	29.1	3.9	3,197 / 793	40.4 / 2.3
깎기구간	연 암	58.0	32.7	37.6	13.4	29.1	3.9	775 / 228	34.3 / 1.5
	보통암	78.4	31.9	54.0	12.4	29.1	3.9	2,051 / 720	36.3 / 2.1
	경 암	102.7	25.0	77.3	6.8	29.1	3.9	3,656 / 1,315	42.3 / 1.8
터널구간	Ⅰ등급	119.7	30.5	85.8	5.2	29.1	3.9	4,153 / 1,278	45.4 / 1.7
	Ⅱ등급	93.7	16.8	68.1	5.6	29.1	3.9	3,420 / 863	42.4 / 1.6
	Ⅲ등급	64.6	20.3	48.4	4.2	29.1	3.9	2,026 / 425	37.2 / 1.4
	Ⅳ등급	48.5	32.7	37.6	13.4	29.1	3.9	809 / 158	34.3 / 1.8
	Ⅴ등급	28.0	3.4	20.0	1.2	29.1	3.9	403 / 85	33.3 / 2.3

• 변형계수

구 분	지층	변형계수 (MPa)			
		최 소	최 대	평 균	표준편차
2구간	연암	581	1266	852	240
	보통암	903	10,279	7,033	5,312
	경암	8,120	18,336	14,392	5,092

구 분		점착력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)
교량 구간	연암			
	평균/편차	512 / 178	33.2 / 3.0	783 / 124
	보통암			
	평균/편차	2,163 / 423	35.0 / 2.4	5,179 / 2,571
	경암			
	평균/편차	3,197 / 793	40.4 / 2.3	8,672 / 4,124
깎기 구간	연암			
	평균/편차	775 / 228	34.3 / 1.5	826 / 237
	보통암			
	평균/편차	2,051 / 720	36.3 / 2.1	4,118 / 1,721

구 분		점착력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)
깎기 구간	경 암			
	평균/편차	3,656 / 1,315	42.3 / 1.8	11,093 / 2,275
터널 구간	1등급			
	평균/편차	4,153 / 1,278	45.4 / 1.7	15,642 / 2,894
	2등급			
	평균/편차	3,420 / 863	42.4 / 1.6	12,318 / 2,461
	3등급			
	평균/편차	2,026 / 425	37.2 / 1.4	5,912 / 1,426
	4등급			
	평균/편차	809 / 158	34.3 / 1.8	982 / 181
	5등급			
	평균/편차	403 / 85	33.3 / 2.3	493 / 122

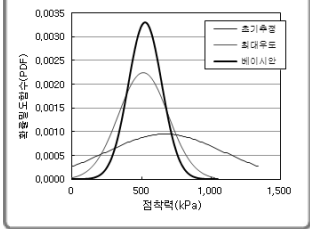
Bayesian Approach에 의한 설계지반정수 산정

• 각종 경험식으로부터 추출된 적정한 범위의 초기추정치(Prior, 기설계자료 등)의 평균(μ'), 표준편차(σ')로부터 현장시험 및 실내시험에 의하여 산출된 Gaussian분포인 MCS결과의 평균(μ), 표준편차(σ)를 Bayesian 이론에 의해 Updating한 평균(μ''), 표준편차(σ'')는 다음과 같음

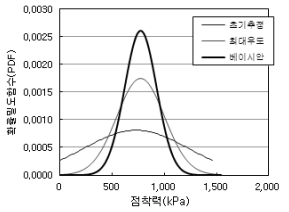
$$\mu'' = \frac{\mu*(\sigma')^2+\mu'*(\sigma)^2/n}{(\sigma')^2+(\sigma)^2/n}, \qquad \sigma'' = \sqrt{\frac{(\sigma')^2\times\sigma^2/n}{(\sigma')^2+(\sigma)^2/n}}$$

구 분	지층	점착력(kPa)			내부마찰각(°)			변형계수(MPa)		
		평균	표준편차	적 용	평균	표준편차	적 용	평균	표준편차	적 용
교량구간	연 암	525	121	500	33	3.0	33	795	86	800
	보통암	2,157	293	2,200	35	1.6	35	5,049	1,493	5,000
	경 암	3,188	546	3,200	40	1.5	40	9,917	2,370	10,000
깎기구간	연 암	771	153	800	34	1.0	34	894	154	900
	보통암	2,033	445	2,000	36	1.4	36	4,062	978	4,000
	경 암	3,526	807	3,500	42	1.2	42	12,022	1,539	12,000
터널구간	Ⅰ등급	4,218	883	4,200	45	1.7	45	18,053	1,970	18,000
	Ⅱ등급	3,520	599	3,500	42	1.1	42	12,920	1,710	13,000
	Ⅲ등급	2,044	291	2,000	37	1.0	37	5,930	958	6,000
	Ⅳ등급	817	108	800	34	1.2	34	982	181	1,000
	Ⅴ등급	406	58	400	33	1.6	33	497	83	500

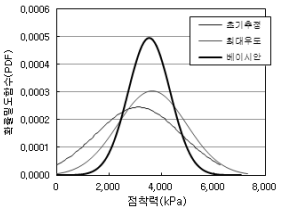
점착력(교량,연암)



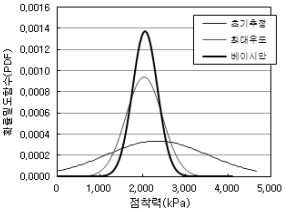
점착력(깎기,연암)



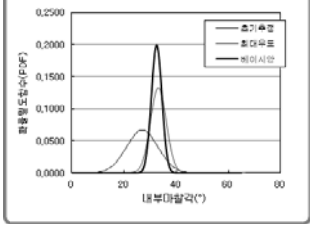
점착력(깎기,경암)



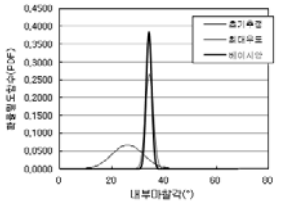
점착력(터널,Ⅲ등급)



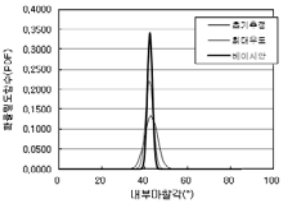
내부마찰각(교량,연암)



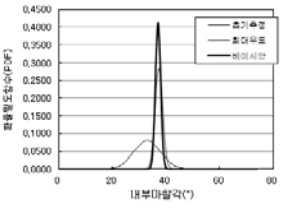
내부마찰각(깎기,연암)



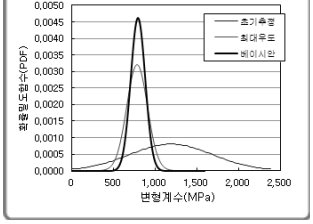
내부마찰각(깎기,경암)



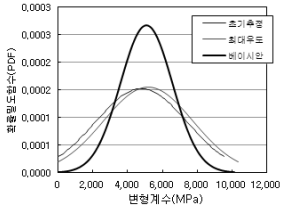
내부마찰각(터널,Ⅲ등급)



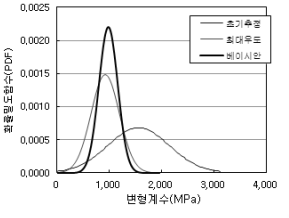
변형계수(교량,연암)



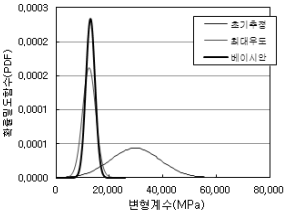
변형계수(교량,보통암)



변형계수(터널,Ⅳ등급)



변형계수(터널,Ⅱ등급)



3구간

초기추정치(Prior) 산정

구 분	지층	점착력(kPa)		내부마찰각(°)		변형계수(MPa)	
		범위	평균/표준편차	범위	평균/표준편차	범위	평균/표준편차
교량구간	연 암	210~1,760	740/343	24~36	27/6	980~1,730	1,350/429
	보통암	860~3,720	1,910/987	29~39	33/4	2,320~4,930	3,960/1,728
	경 암	3,810~5,860	4,210/2,589	38~45	41/4	12,560~26,470	19,510/4,827
깎기구간	연 암	180~1,660	850/417	21~35	25/6	820~1,400	1,110/391
	보통암	1,280~4,320	1,880/976	32~41	35/4	3,090~7,000	6,950/2,724
	경 암	3,810~6,880	4,940/2,941	37~46	42/4	14,090~30,090	19,090/7,461

MCS 및 최대 우도값(Likelihood) 산정

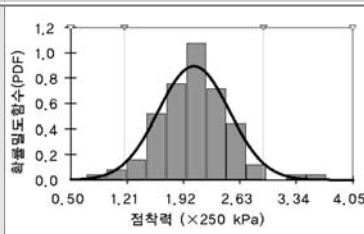
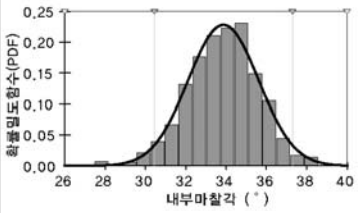
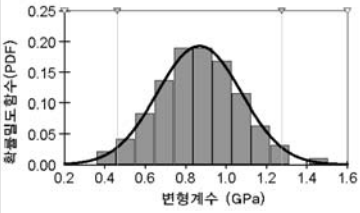
- 점착력 및 마찰각

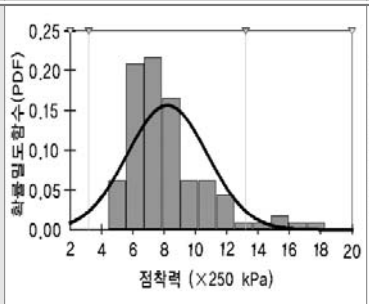
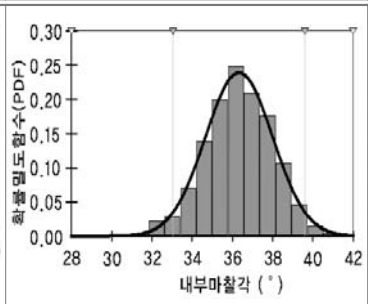
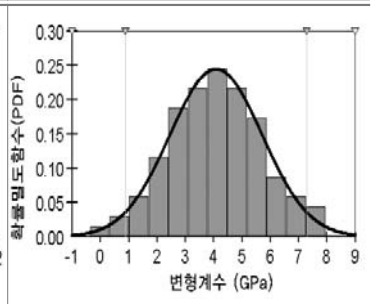
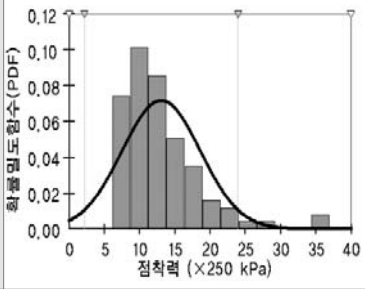
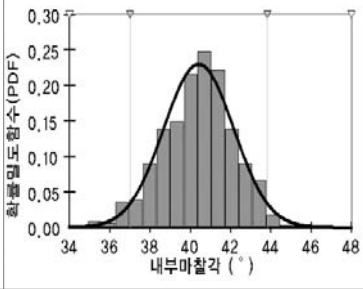
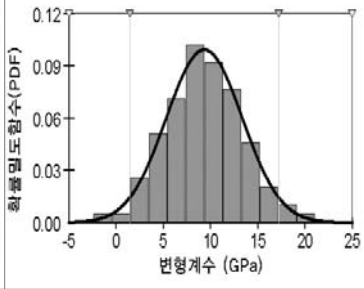
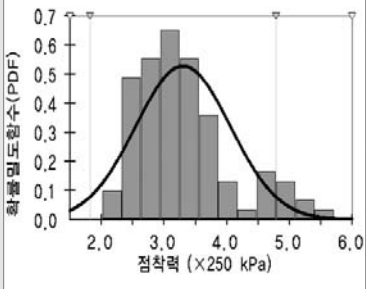
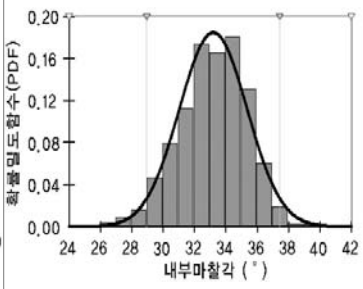
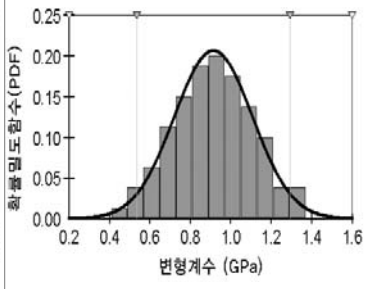
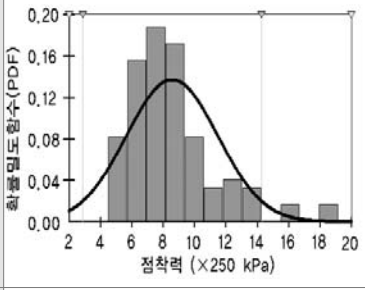
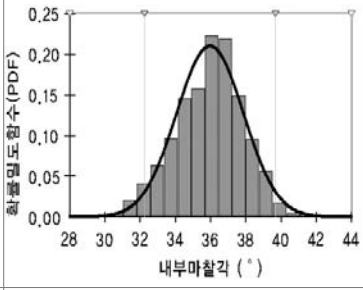
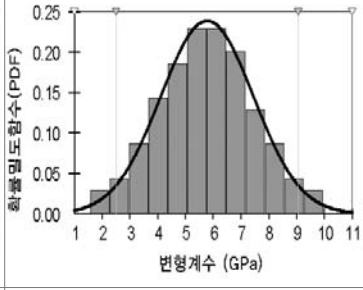
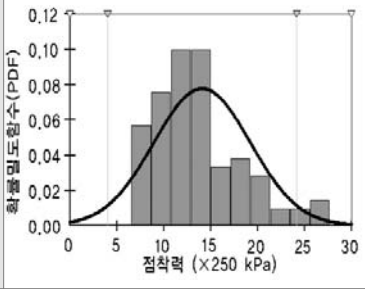
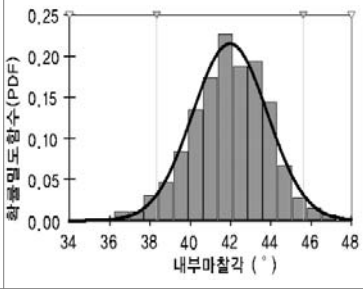
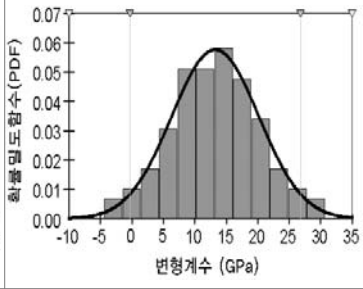
- 설계구간 기반암의 MCS를 분석한 결과 정규분포 형태로 95%의 신뢰도인 정규분포 가설을 채택할 수 있음 (다만, 도수분포상 평균과 편차를 정규분포 빈도로 가정하여 산정)
  『상하한치 : (평균±표준편차×α), α : 설계자의 판단에 따른 신뢰도 상수(95% 신뢰도)
- MCS결과 기준 내에 있는 각 초기추정값(Prior)들과 최대우도값(Likelihood)을 평균과 표준편차 대표치로 선정하여 Bayesian 이론에 적용

구 분	지층	σ_{ci}(MPa)		GSI		mi		MCS 결과 (평균/표준편차)	
		평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차	점착력(kPa)	마찰각(°)
교량구간	연 암	44.6	21.3	43.2	7.5	29.1	3.9	513 / 113	33.9 / 1.8
	보통암	67.3	31.6	54.4	2.4	29.1	3.9	2,052 / 638	36.3 / 1.7
	경 암	98.6	8.7	34.0	4.8	29.1	3.9	3,107 / 1,390	40.4 / 1.7
깎기구간	연 암	45.4	21.1	36.5	12.5	29.1	3.9	826 / 190	33.2 / 2.2
	보통암	89.2	17.8	56.0	1.4	29.1	3.9	2,143 / 728	36.0 / 1.9
	경 암	102.7	25.0	77.3	6.8	29.1	3.9	3,523 / 1,285	42.0 / 1.9

- 변형계수

구 분	지층	변형계수 (MPa)			
		최 소	최 대	평 균	표준편차
3구간	연암	649	1,870	1,191	507
	보통암	903	10,279	7,033	5,312
	경암	8,120	18,336	14,392	5,092

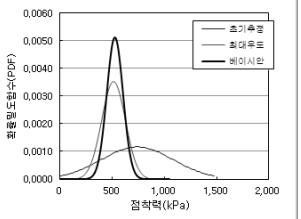
구분		점착력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)
교량구간	연 암			
	평균/편차	513 / 113	33.9 / 1.8	867 / 205

구분		점착력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)
교량 구간	보통암			
	평균/편차	2,052 / 638	36.3 / 1.7	4,090 / 1,647
	경 암			
	평균/편차	3,107 / 1,390	40.4 / 1.7	9,317 / 3,945
깎기 구간	연 암			
	평균/편차	826 / 190	33.2 / 2.2	914 / 196
	보통암			
	평균/편차	2,143 / 728	36.0 / 1.9	5,782 / 1,674
	경 암			
	평균/편차	3,523 / 1,285	42.0 / 1.9	13,264 / 6,910

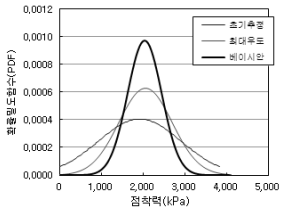
Bayesian Approach에 의한 설계지반정수 산정

구 분	지층	점착력(kPa)			내부마찰각(°)			변형계수(MPa)		
		평균	표준편차	적 용	평균	표준편차	적 용	평균	표준편차	적 용
교량구간	연 암	525	78	500	34	1.2	34	916	137	900
	보통암	2,027	410	2,000	36	2	36	4,049	1,647	4,000
	경 암	3,246	919	3,200	40	1.2	40	11,869	2,415	12,000
깎기구간	연 암	828	128	800	33	1.5	33	936	131	900
	보통암	2,008	455	2,000	36	1.3	36	5,968	1,086	6,000
	경 암	3,537	868	3,500	42	1.3	42	15,013	6,910	15,000

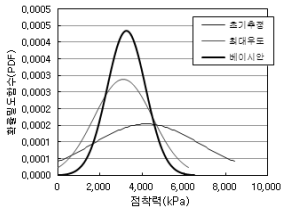
점착력(교량,연암)



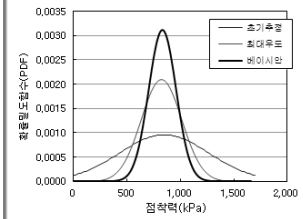
점착력(교량,보통암)



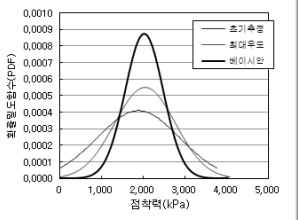
점착력(교량,경암)



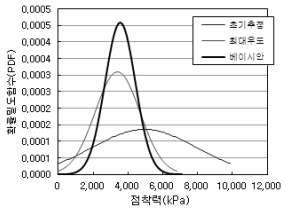
점착력(깎기,연암)



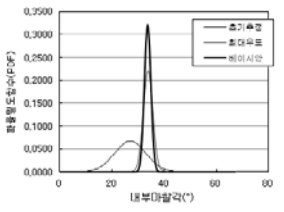
점착력(깎기,보통암)



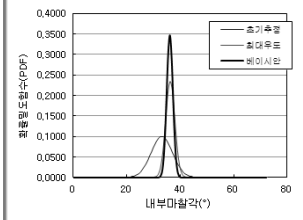
점착력(깎기,경암)



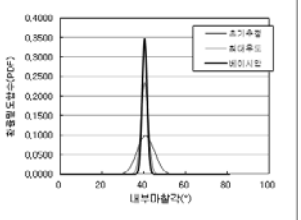
내부마찰각(교량,연암)



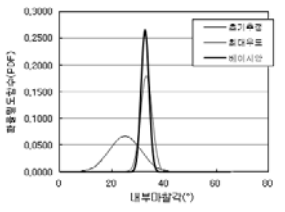
내부마찰각(교량,보통암)



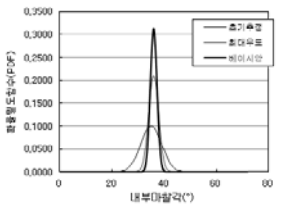
내부마찰각(교량,경암)



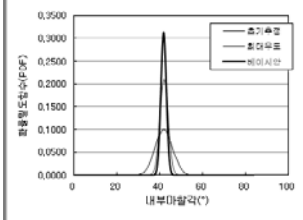
내부마찰각(깎기,연암)



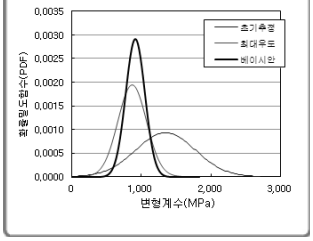
내부마찰각(깎기,보통암)



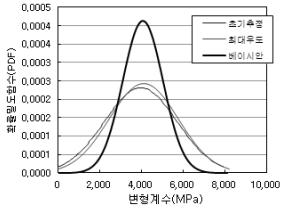
내부마찰각(깎기,경암)



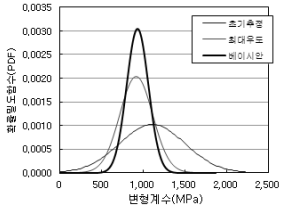
변형계수(교량,연암)



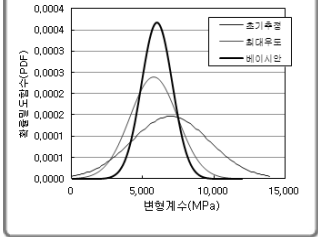
변형계수(교량,보통암)



변형계수(깎기,연암)



변형계수(깎기,보통암)



4구간

초기추정치(Prior) 산정

구 분	지층	점착력(kPa)		내부마찰각(°)		변형계수(MPa)	
		범위	평균/표준편차	범위	평균/표준편차	범위	평균/표준편차
교량구간	연 암	130~1,470	720/340	20~33	24/6	580~1,170	830/275
	보통암	860~3,720	2,310/1,587	29~39	33/4	2,320~4,930	3,960/1,114
	경 암	3,810~5,860	4,540/1,586	38~45	43/3	12,560~26,470	19,510/5,493
깎기구간	연 암	180~1,660	850/410	21~35	25/6	820~1,400	1,110/471
	보통암	2,240~6,130	3,840/1,694	31~42	37/5	4,630~9,250	6,940/2,315
	경 암	2,610~6,880	3,140/1,007	37~46	42/4	14,090~30,090	22,090/5,192
터널구간	Ⅰ등급	3,950~7,650	4,760/2,548	41~49	44/4	20,660~65,600	33,130/14,896
	Ⅱ등급	3,570~5,860	3,919/1,938	38~45	41/3	12,560~26,470	18,530/5,561
	Ⅲ등급	1,630~4,320	2,910/1,109	34~41	36/4	3,670~8,640	6,550/2,186
	Ⅳ등급	220~2,000	1,160/714	26~37	31/5	1,460~2,930	2,400/1,394
	Ⅴ등급	80~980	460/348	14~32	20/8	440~650	540/192

MCS 및 최대 우도값(Likelihood) 산정

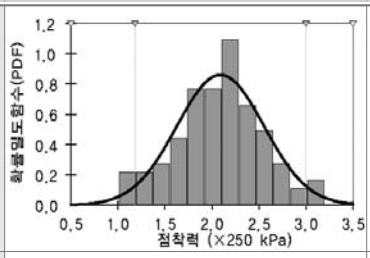
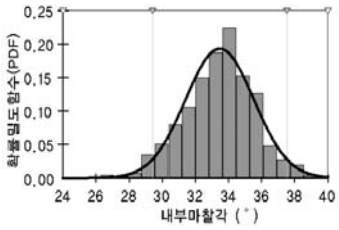
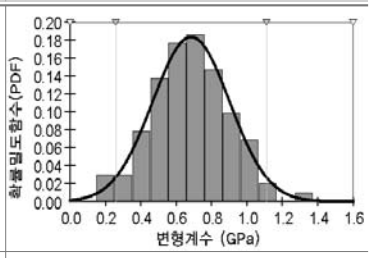
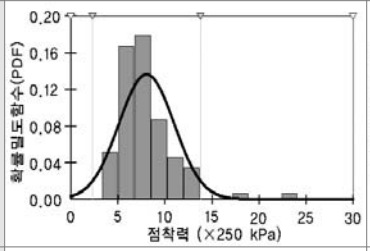
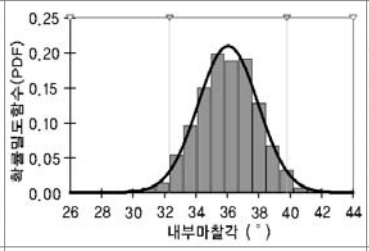
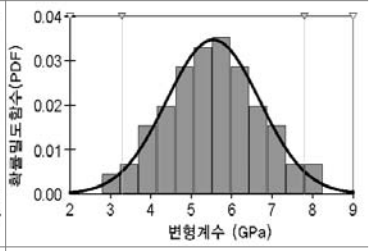
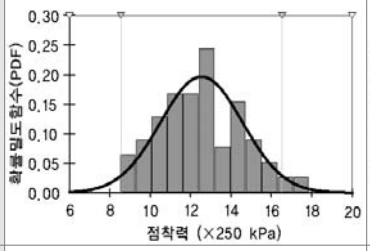
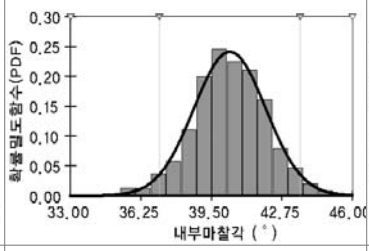
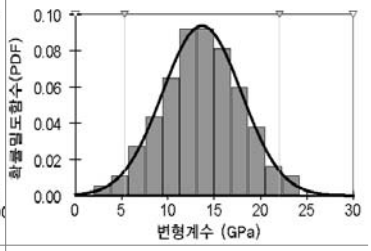
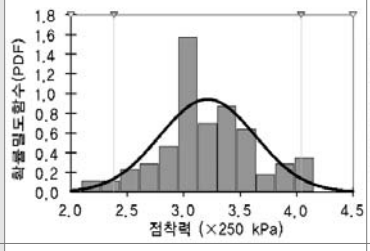
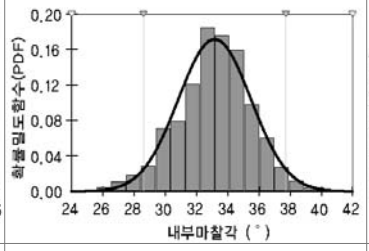
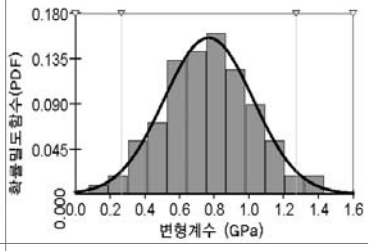
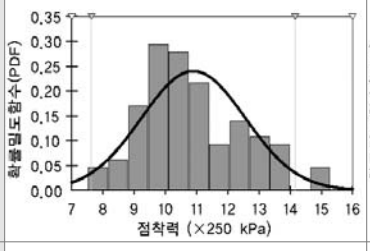
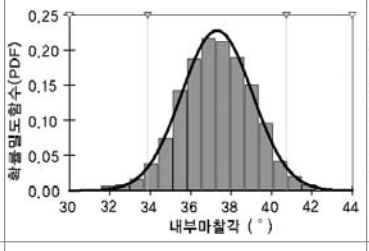
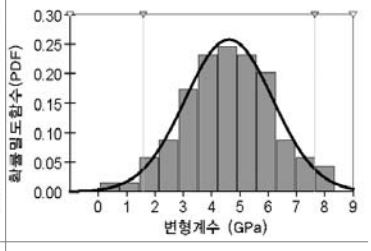
- 점착력 및 마찰각

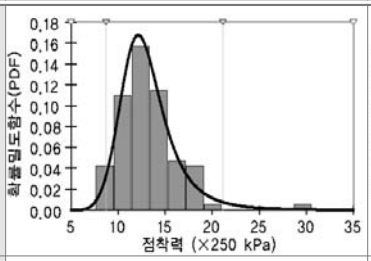
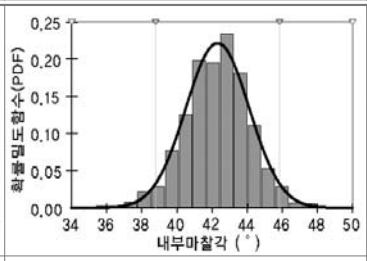
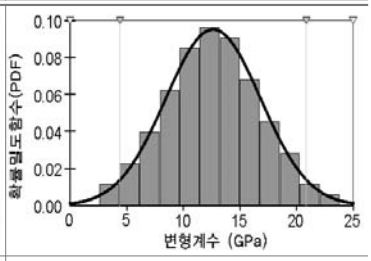
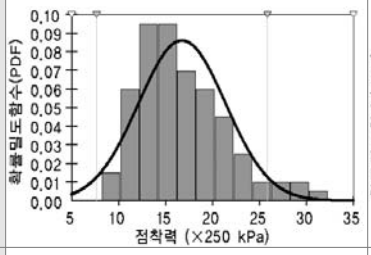
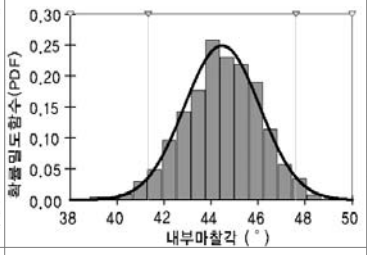
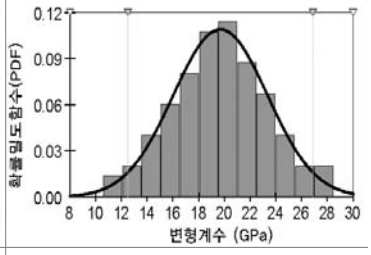
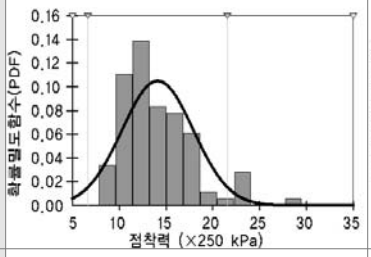
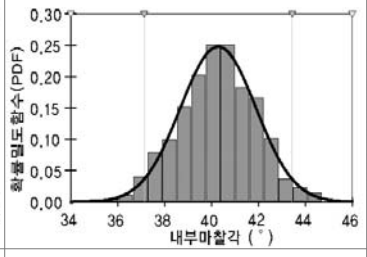
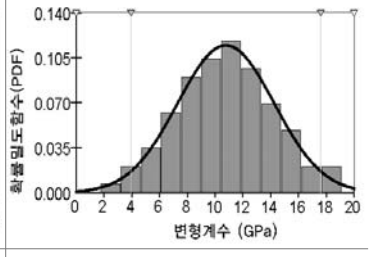
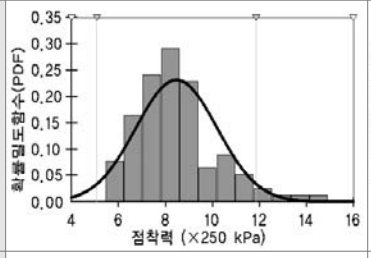
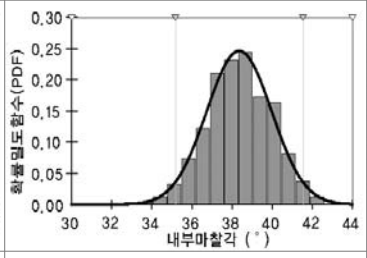
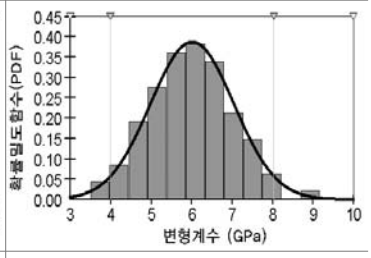
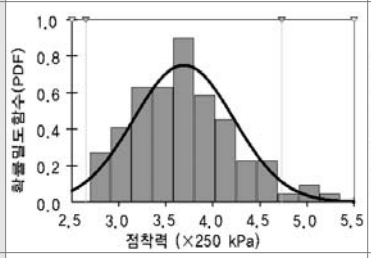
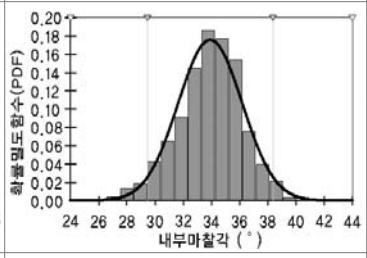
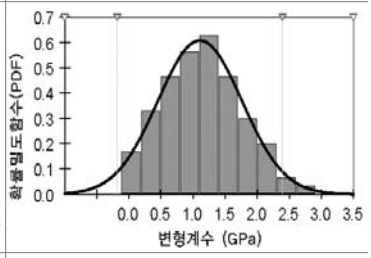
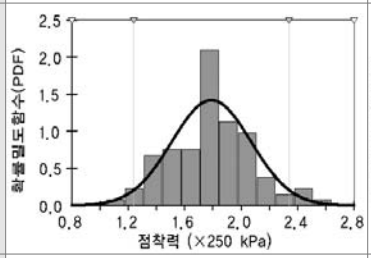
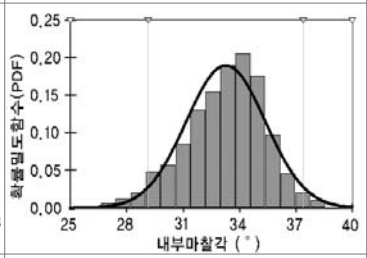
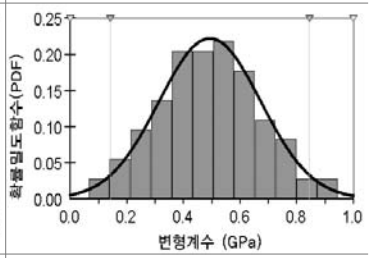
- 설계구간 기반암의 MCS를 분석한 결과 정규분포 형태로 95%의 신뢰도인 정규분포 가설을 채택할 수 있음 (다만, 도수분포상 평균과 편차를 정규분포 빈도로 가정하여 산정)
  『상하한치 : (평균±표준편차×α), α : 설계자의 판단에 따른 신뢰도 상수(95% 신뢰도)
- MCS결과 기준 내에 있는 각 초기추정값(Prior)들과 최대우도값(Likelihood)을 평균과 표준편차 대표치로 선정하여 Bayesian 이론에 적용

구 분	지층	σ_{ci}(MPa)		GSI		mi		MCS 결과 (평균/표준편차)	
		평균	표준편차	평균	표준편차	평균	표준편차	점착력(kPa)	마찰각(°)
교량구간	연 암	58.9	26.6	38.4	7.9	29.1	3.9	522 / 115	33.5 / 2.1
	보통암	76.6	13.4	53.7	8.0	29.1	3.9	2,014 / 733	36.1 / 1.9
	경 암	98.2	12.5	80.0	8.2	29.1	3.9	3,136 / 508	40.3 / 1.7
깎기구간	연 암	45.4	21.1	36.5	12.5	29.1	3.9	803 / 105	33.2 / 2.3
	보통암	81.1	14.2	64.6	9.3	29.1	3.9	2,725 / 415	37.3 / 1.8
	경 암	99.7	16.5	75.8	8.6	29.1	3.9	3,213 / 798	42.3 / 1.8
터널구간	Ⅰ등급	102.5	24.0	86.2	3.9	29.1	3.9	4,190 / 1,160	44.5 / 1.6
	Ⅱ등급	92.0	17.9	71.3	5.4	29.1	3.9	3,428 / 950	40.3 / 1.6
	Ⅲ등급	66.3	25.1	54.4	7.0	29.1	3.9	2,117 / 443	38.4 / 1.6
	Ⅳ등급	55.8	16.2	39.0	8.1	29.1	3.9	922 / 133	33.9 / 2.3
	Ⅴ등급	36.7	14.9	24.6	7.4	29.1	3.9	447 / 70	33.3 / 2.1

• 변형계수

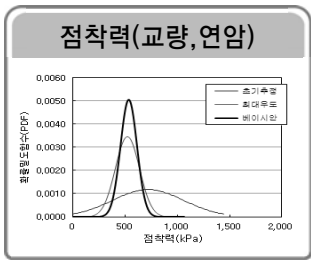
구 분	지층	변형계수 (MPa)			
		최 소	최 대	평 균	표준편차
4구간	연암	480	1,192	724	254
	보통암	903	10,279	7,033	5,312
	경암	8,470	23,862	11,377	4,877

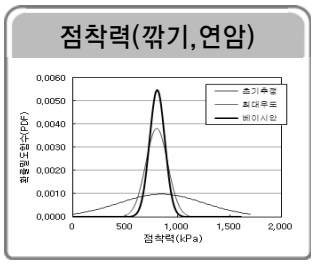
구분		점착력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)
교량 구간	연암			
	평균/편차	522 / 115	33.5 / 2.1	683 / 215
	보통암			
	평균/편차	2,014 / 733	36.1 / 1.9	5,537 / 1,167
	경암			
	평균/편차	3,136 / 508	40.3 / 1.7	13,692 / 4,250
깎기 구간	연암			
	평균/편차	803 / 105	33.2 / 2.3	768 / 256
	보통암			
	평균/편차	2,725 / 415	37.3 / 1.8	4,628 / 1,534

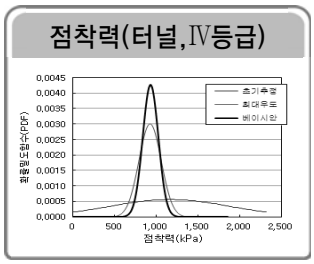
구분		점착력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)
깎기 구간	경 암			
	평균/편차	3,213 / 798	42.3 / 1.8	12,643 / 4,198
터널 구간	1등급			
	평균/편차	4,190 / 1,160	44.5 / 1.6	19,686 / 3,681
	2등급			
	평균/편차	3,428 / 950	40.3 / 1.6	10,775 / 3,524
	3등급			
	평균/편차	2,117 / 443	38.4 / 1.6	6,008 / 1,017
	4등급			
	평균/편차	922 / 133	33.9 / 2.3	1,107 / 648
	5등급			
	평균/편차	447 / 70	33.3 / 2.1	493 / 182

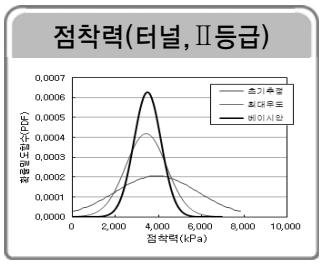
Bayesian Approach에 의한 설계지반정수 산정

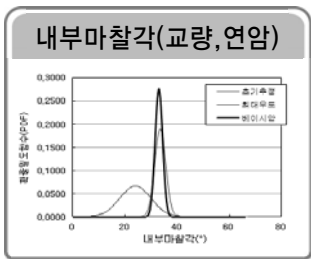
구 분	지층	점착력(kPa)			내부마찰각(°)			변형계수(MPa)		
		평균	표준편차	적 용	평균	표준편차	적 용	평균	표준편차	적 용
교량구간	연 암	533	79	500	33	1.4	33	717	133	700
	보통암	2,043	493	2,000	36	1.3	36	4,978	663	5,000
	경 암	3,205	350	3,200	40	1.7	40	15,032	2,636	15,000
깎기구간	연 암	804	73	800	33	1.6	33	812	169	800
	보통암	2,757	289	2,800	37	1.2	37	5,044	982	5,000
	경 암	3,196	492	3,200	42	1.2	42	14,970	2,577	15,000
터널구간	Ⅰ등급	4,244	781	4,200	44	1.1	44	20,084	2,564	20,000
	Ⅱ등급	3,481	635	3,500	40	1.1	40	12,072	2,274	12,000
	Ⅲ등급	2,176	301	2,200	38	1.1	38	6,008	1,017	6,000
	Ⅳ등급	926	93	900	34	1.5	34	1,233	435	1,200
	Ⅴ등급	447	49	400	33	1.5	33	508	107	500

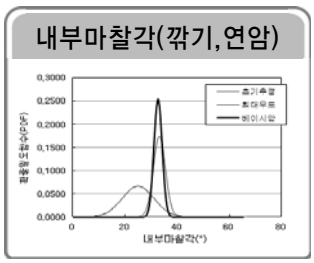


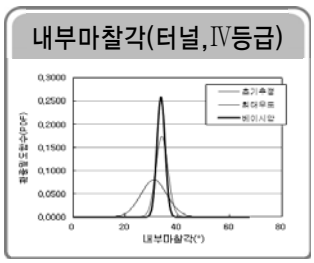


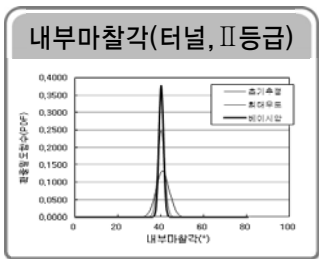


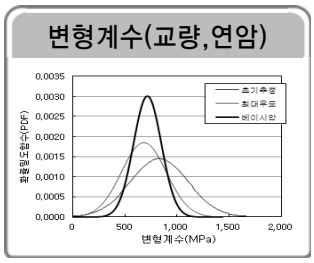


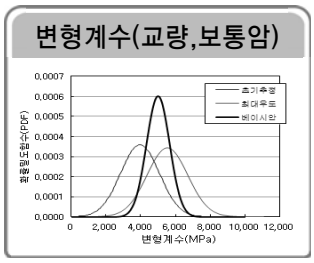


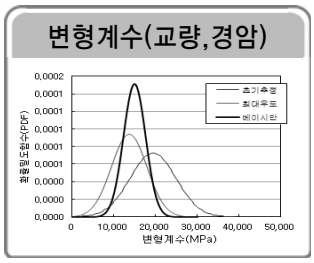


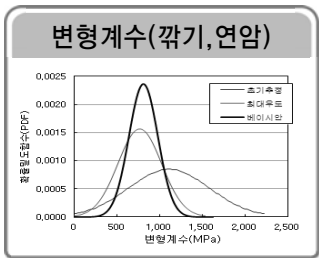


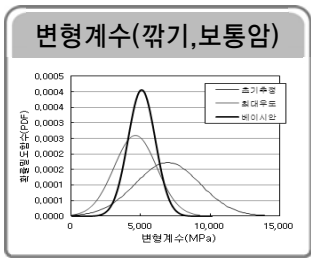


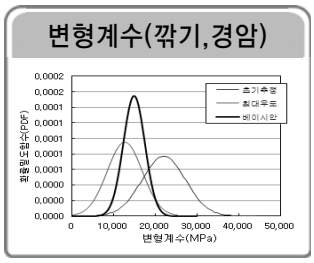


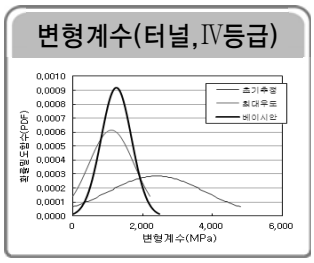


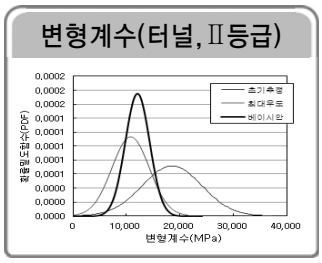












• 변형계수와 강도정수는 Bayesian Approach결과의 95% 신뢰구간 평균값 적용

3.6 불연속체 설계지반정수 산정

3.6.1 개요

○ 착안사항 및 산정과정

- 절리의 거동은 변형과 강도에 대한 절리면 거칠기(JRC)로 인해 암반의 부피변화가 발생하는 비선형거동을 보임
  ➡ 일반 Mohr-Coulomb탄소성 모델로는 실제 절리거동을 모사하는데 한계가 있음
  ➡ 절리의 비선형거동을 고려할 수 있는 UDEC Barton-Bandis 모델을 적용
- 불연속면 조사 결과를 토대로 구조구를 구분 ➡ 불연속면 특성치 파악
- 불연속면 분포특성(방향, 간격), BIPS 절리강성 분포 결과, 절리면 전단시험 및 경험식을 활용하여 UDEC의 Barton-Bandis 모델이 적합한 불연속면 설계지반정수를 도출

○ Barton-Bandis 절리 모델(Barton & Bandis, 1990) 설계정수 산정 흐름도

노두조사 및 공내영상촬영 자료 분석

대표절리군 Core Sampling

일축압축시험 및 절리면 전단 시험

σ_c, JRC, JCS

초기절리간극

$$\alpha_j = \frac{JRC}{5}\left(0.2 \times \frac{\sigma_c}{JCS}\right) - 0.1$$

절리 초기 수직강성

$$K_{ni} = -7.15 + 1.75JRC + 0.02\left(\frac{JCS}{\alpha_j}\right)$$

절리 최대 닫힘 변위 계산

$$\Delta v_{max} \approx A + B(JRC) + C\left(\frac{\sigma_d}{e_i}\right)^D,$$

$$\upsilon_m = -0.296 - 0.0056(JRC) + 2.241\left(\frac{JCS}{\alpha_j}\right)^{-0.245}$$

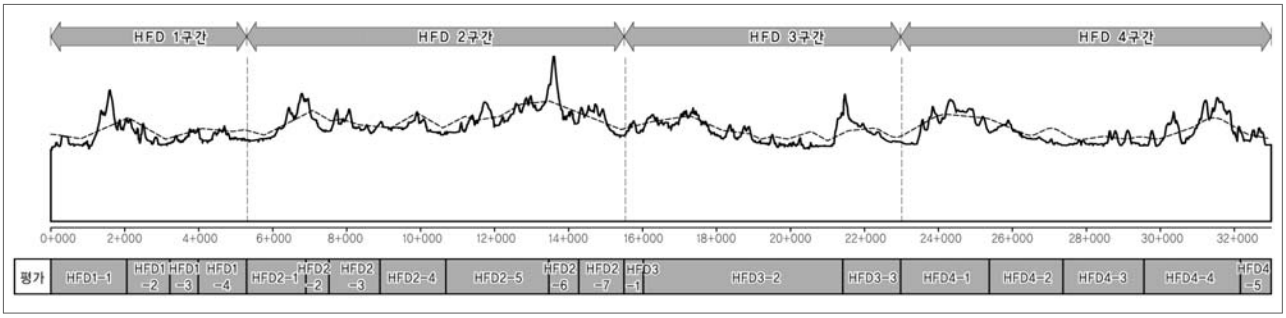
절리 수직강성, 전단강성 계산

$$K_n = K_{ni}\left[1 - \frac{\sigma_n}{\upsilon_m K_{ni} + \sigma_n}\right]^{-2},$$

$$K_s = \sigma_n \tan\left(\left[JRC\log_{10}\left(\frac{JCS}{\sigma_n}\right) + \phi_b\right]\right)/\frac{L}{100}$$

개별 요소법(UDEC)의 Barton-Bandis 모델 설계정수 (JRC, JCS, K_n, K_s) 선정

○ 균질절리영역(HFD) 분석 결과



구 분	HFD 1구간	HFD 2구간	HFD 3구간	HFD 4구간
STA.(km+m)	사업시점~5+600	5+600~15+500	15+500~23+000	23+000~사업종점
사업공구	1공구	2공구	3공구	4공구

3.6.2 시험결과 분석

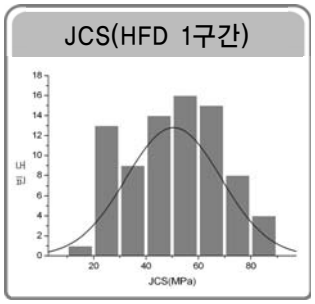
○ 절리면 전단 시험

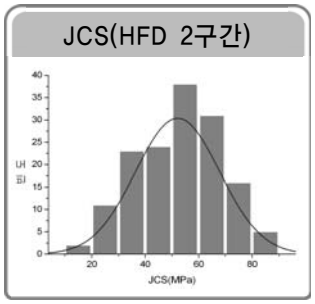
구 분	공 번	심 도 (m)	점착력 (kPa)	마찰각(°)		JRC	JCS (MPa)	비 고
				최 대	잔 류			
기존 조사	TTB-1	19.3~19.4	100.0	43.2	32.0	12~14	83.0	HFD2-6
	TTB-4	22.5~22.6	60.0	32.1	21.1	4~6	87.0	HFD3-2
	TTB-12	54.2~54.3	30.0	36.8	28.7	0~2	110.0	HFD4-1
	CCB-2	25.4~25.6	50.0	30.9	24.8	2~4	70.0	HFD2-7
	CCB-5	37.2~37.3	100.0	26.1	22.8	0~2	84.0	HFD4-4
실시 설계	BH-29	21.4~21.7	116.4	37.4	32.8	8~10	91.0	HFD1-1
	BH-99	16.3-16.8	60	32	28.2	4-6	24.15	HFD2-1
	BH-159	26.0~26.4	50.1	35.4	31.8	4~6	31.2	HFD2-5
	BH-180	10.1~10.6	80.6	32.6	29.2	2~4	69.1	HFD2-6
	BH-202	27.9-28.2	90	40.1	35.1	12-14	39.84	HFD3-2
	BH-241	8.5~8.8	63.4	32.8	29.0	0~2	40.2	HFD3-3
	BH-252-1	31.4-32.0	70	30.8	27.4	2-4	43.07	HFD4-1
	BH-284	25.7~25.9	90.9	35.5	31.6	4~6	81.2	HFD4-3
	BH-287	24.9-25.2	80	36.9	32.6	8-10	37.27	HFD4-3
	BH-293	29.0-29.5	70	32.8	28.5	6-8	46.77	HFD4-4
	BH-298-1	24.8-25.5	80	33.7	29.3	4-6	52.16	HFD4-4
	BH-302	34.0~34.3	77.8	38.1	33.3	2~4	74.9	HFD4-4

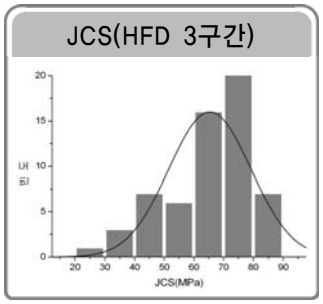
○ 지표지질조사(JCS 및 JRC)

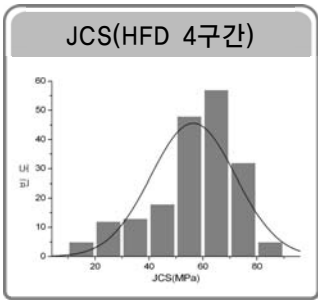
구 분		HFD 1구간				HFD 2구간						
		HFD1-1	HFD1-2	HFD1-3	HFD1-4	HFD2-1	HFD2-2	HFD2-3	HFD2-4	HFD2-5	HFD2-6	HFD2-7
JCS (MPa)	범 위	21~83	42~60	15~32	20~33	45~60	64~84	22~64	62~80	16~65	26~72	35~68
	평 균	59.9	52.0	25.4	27.6	51.5	73.3	38.2	71.7	48.5	46.2	55.6
JRC	범 위	5~13	6~9	6~11	11~15	9~13	6~11	7~15	9~11	2~14	5~9	7~13
	평 균	8.6	7.1	8.4	12.8	11.6	9.4	12.3	10.1	9.7	7.5	9.6

구 분		HFD 3구간			HFD 4구간				
		HFD3-1	HFD3-2	HFD3-3	HFD4-1	HFD4-2	HFD4-3	HFD4-4	HFD4-5
JCS (MPa)	범 위	62~80	42~80	28~86	15~74	18~72	23~75	29~88	45~82
	평 균	71.6	66.2	61.1	57.4	42.4	53.6	58.2	63.4
JRC	범 위	10~12	8~13	6~14	4~12	11~15	3~13	5~13	6~14
	평 균	11.3	9.9	9.2	7.9	13.7	8.0	8.8	10.0









3.6.3 불연속체 설계지반정수 산정

HFD 1구간

구 분	절리군	절리방향 (Dip/Dir.)	점착력(kPa)		마찰각(°)		JCS (MPa)	JRC	불연속면 강성(MPa/mm)		
			실내시험	적 용	실내시험	적 용			K_{ni}	K_n	K_s
HFD 1-1	Set 1	42/111	116.4	48.0	32.8	30.9	59.9	8.6	6.18	16.93	1.63
	Set 2	49/307		43.0		31.1			6.18	15.39	1.45
	Set 3	62/066		31.0		31.7			6.18	12.35	1.06
HFD 1-2	Set 1	49/252	–	34.0	–	30.1	52.0	7.1	4.02	13.04	1.37
	Set 2	41/112		39.0		29.9			4.02	14.85	1.57
	Set 3	75/352		27.0		29.4			0.03	46.14	1.05
HFD 1-3	Set 1	82/186	–	34.0	–	29.9	25.4	8.4	1.02	5.02	1.17
	Set 2	67/130		25.0		30.5			1.02	3.51	0.84
	Set 3	56/320		35.0		29.9			1.02	5.04	1.17
HFD1-4	Set 1	64/188	–	46.0	–	32.6	27.6	13.0	4.70	6.70	1.06

HFD 2구간

구 분	절리군	절리방향 (Dip/Dir.)	점착력(kPa)		마찰각(°)		JCS (MPa)	JRC	불연속면 강성(MPa/mm)		
			실내시험	적 용	실내시험	적 용			K_{ni}	K_n	K_s
HFD 2-1	Set 1	55/319	–	54.0	–	32.9	51.6	12.0	5.98	11.36	1.25
	Set 2	80/025		34.0		34.0			5.98	9.03	0.79
	Set 3	31/160		79.0		31.9			5.98	14.66	1.80
HFD 2-2	Set 1	83/154	–	37.0	–	32.5	73.3	9.4	10.07	18.37	1.03
	Set 2	57/236		41.0		32.3			10.07	19.51	1.14
	Set 3	04/084		72.0		31.2			10.07	29.71	2.00
HFD 2-3	Set 1	50/106	–	64.0	–	32.3	38.2	12.0	5.00	9.26	1.37
	Set 2	42/005		73.0		31.9			5.00	10.05	1.57
	Set 3	05/024		96.0		31.2			5.00	12.16	2.04
HFD 2-4	Set 1	21/344	–	74.0	–	31.7	71.7	10.0	9.57	26.18	1.91
	Set 2	88/132		56.0		32.3			9.57	21.22	1.46
	Set 3	68/027		49.0		32.6			9.57	19.29	1.27
HFD 2-5	Set 1	21/333	50.1	69.0	31.8	30.7	48.5	9.7	4.41	14.84	1.84
	Set 2	16/135		71.0		30.7			4.41	15.24	1.89
	Set 3	72/213		47.0		31.5			4.41	10.62	1.25
HFD 2-6	Set 1	68/345	80.6~ 100.0	33.0	29.2~ 32.0	30.3	46.2	7.5	2.95	10.01	1.14
	Set 2	46/090		38.0		30.0			2.95	11.52	1.31
	Set 3	51/263		35.0		30.2			2.95	10.47	1.19
HFD 2-7	Set 1	45/178	50.0	53.0	24.8	31.4	55.6	9.6	5.57	14.15	1.43
	Set 2	55/110		43.0		31.8			5.57	12.23	1.18
	Set 3	45/334		53.0		31.4			5.57	14.15	1.43

HFD 3구간

구 분	절리군	절리방향 (Dip/Dir.)	점착력(kPa)		마찰각(°)		JCS (MPa)	JRC	불연속면 강성(MPa/mm)		
			실내시험	적 용	실내시험	적 용			K_{ni}	K_n	K_s
HFD 3-1	Set 1	60/034	–	47.0	–	33.7	71.6	11.0	9.76	17.11	1.03
	Set 2	74/189		42.0		34.0			9.76	16.14	0.92
HFD 3-2	Set 1	56/187	60.0	44.0	21.1	32.4	66.2	9.9	8.02	16.02	1.08
	Set 2	46/039		54.0		32.0			8.02	18.37	1.32
	Set 3	56/259		44.0		32.4			8.02	16.02	1.08
HFD 3-3	Set 1	38/039	63.4	55.0	29.0	31.1	61.1	9.1	6.58	18.00	1.43
	Set 2	83/189		35.0		32.0			6.58	12.98	0.92
	Set 3	60/276		36.0		32.0			6.58	13.17	0.94

HFD 4구간

구 분	절리군	절리방향 (Dip/Dir.)	점착력(kPa)		마찰각(°)		JCS (MPa)	JRC	불연속면 강성(MPa/mm)		
			실내시험	적 용	실내시험	적 용			K_{ni}	K_n	K_s
HFD 4-1	Set 1	32/070	30.0	50.0	28.7	30.3	57.4	7.9	5.44	18.26	1.47
	Set 2	87/345		37.0		30.7			5.44	14.21	1.11
	Set 3	55/270		34.0		30.9			5.44	13.28	1.02
HFD 4-2	Set 1	48/089	–	48.0	–	34.5	42.4	14.0	6.42	9.05	0.87
	Set 2	89/121		42.0		34.8			6.42	8.69	0.77
	Set 3	74/229		34.0		35.5			6.42	8.18	0.62
HFD 4-3	Set 1	13/086	90.9	57.0	31.6	30.0	53.6	8.0	4.58	18.85	1.67
	Set 2	63/319		43.0		30.5			4.58	14.30	1.27
	Set 3	70/004		33.0		30.9			4.58	11.40	0.98
HFD 4-4	Set 1	13/165	77.8~ 100.0	40.0	22.8~ 33.3	31.4	58.2	8.8	5.82	13.44	1.07
	Set 2	69/287		39.0		31.4			5.82	13.27	1.05
	Set 3	69/334		39.0		31.4			5.82	13.27	1.05
HFD 4-5	Set 1	26/130	–	43.0	–	32.5	63.4	10.0	7.36	14.52	1.04
	Set 2	63/343		37.0		32.8			7.36	13.23	0.89
	Set 3	66/041		33.0		33.0			7.36	12.54	0.80

분석결과

- 문헌자료에선 산정된 값과 불연속면을 대상으로 실시한 실내시험 값, Barton의 제안식에서 산정된 값을 종합

3.7 기타 설계지반정수 산정

3.7.1 동적 지반특성 분석

개 요

- S-PS검층, 하향식탄성파탐사 등 현장시험을 통한 지층별 탄성파속도를 분석
- 시험결과로 계산된 동적물성치를 상관분석 및 경험식과 비교·분석하여 적용값 산정

○ 전단파 속도(V_s) 경험적 산정방법

N값에 의한 전단파속도 경험 추정식

표준관입시험치(N)와의 관계로 제안된 대표적 전단파속도(V_s) 경험적 추정식은 다음과 같음

- Imai, Yoshimura(1970) $V_s = 76 \times N^{0.33}$
- Imai(1982) $V_s = 97.0 \times N^{0.314}$
- Okamoto(1989) $V_s = 125 \times N^{0.3}$
- Oba, Toriumi(1990) $V_s = 84 \times N^{0.31}$

- 동전단계수 : $G_d = \rho \cdot V_s^2$
- 동탄성계수 : $E_d = 2G_d \cdot (1 + \nu_d)$
- 동체적계수 : $K_d = E_d / 3(1 - 2\nu_d)$

여기서, $\rho = \gamma/g$, γ=단위중량, g=9.81 m/sec

○ 시험결과 및 상관분석

■ 1구간

구 분		하향식탄성파		S-PS검층		경험식	상관분석	
		V_p(m/s)	V_s(m/s)	V_p(m/s)	V_s(m/s)	V_s(m/s)	V_p(m/s)	V_s(m/s)
매립층	점토	-	-	-	-	173~249	510	207
	모래	458	193	-	-	179~257	519	212
붕적층		-	-	-	-	146~214	459	178
퇴적층	점토	455	180	-	-	161~233	488	194
	실트	534	215	-	-	161~233	488	194
	모래(≤10)	484	236	-	-	154~224	474	187
	모래(>10)	642	306	-	-	225~316	588	250
	자갈	-	-	-	-	289~397	663	293
풍화토		695	314	2,018	370	276~381	650	285
풍화암		964	448	2,757	1,263	-	670	296
연 암		1,388	765	3,030	1,411	-	3,182	1,490
보통암		1,646	850	41,96	2,055	-	3,958	1,924
경 암		-	-	-	-	-	4,155	2,034
Ⅴ등급		-	-	2,828	1,302	-	2,792	1,272
Ⅳ등급		1,388	765	3,333	1,575	-	3,402	1,614
Ⅲ등급		1,646	850	4,134	2,005	-	3,855	1,867
Ⅱ등급		-	-	4,209	2,065	-	4,278	2,103
Ⅰ등급		-	-	-	-	-	4,427	2,187

■ 2구간

구 분		하향식탄성파		S-PS검층		경험식	상관분석	
		V_p(m/s)	V_s(m/s)	V_p(m/s)	V_s(m/s)	V_s(m/s)	V_p(m/s)	V_s(m/s)
매립층	점토	–	–	–	–	146~214	459	178
	모래	–	–	–	–	161~233	488	194
붕적층		–	–	–	–	146~214	459	178
퇴적층	점토	–	–	–	–	146~214	459	178
	실트	–	–	–	–	128~189	419	156
	모래(≤10)	–	–	–	–	146~214	459	178
	모래(>10)	–	–	–	–	214~302	573	242
	자갈	–	–	–	–	231~324	597	255
풍화토		–	–	–	–	246~343	615	266
풍화암		975	504	–	–	–	670	296
연 암		1,495	842	3,484	1,653	–	3,188	1,460
보통암		1,712	971	3,852	1,849	–	3,895	1,873
경 암		2,316	1,358	4,498	2,224	–	4,341	2,134
Ⅴ등급		–	–	–	–	–	2,480	1,046
Ⅳ등급		1,495	842	–	–	–	3,233	1,486
Ⅲ등급		2,054	1,189	3,815	1,829	–	3,895	1,873
Ⅱ등급		2,562	1,518	4,410	2,161	–	4,475	2,212
Ⅰ등급		–	–	4,605	2,299	–	4,709	2,349

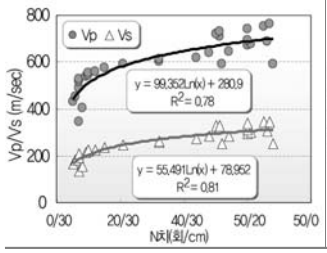
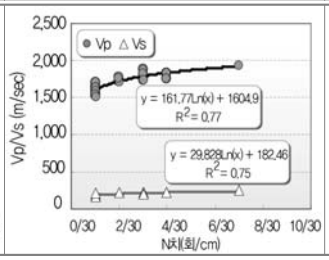
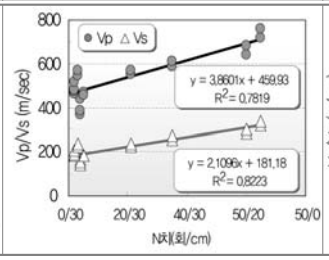
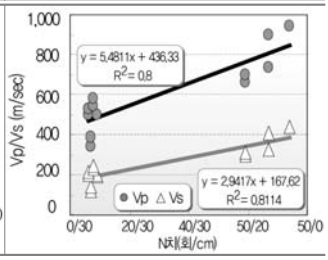
■ 3구간

구 분		하향식탄성파		S-PS검층		경험식	상관분석	
		V_p(m/s)	V_s(m/s)	V_p(m/s)	V_s(m/s)	V_s(m/s)	V_p(m/s)	V_s(m/s)
매립층	점토	–	–	–	–	146~214	483	194
	모래	399	153	–	–	167~242	495	200
붕적층		–	–	2372	814	240~336	564	238
퇴적층	점토	479	189	–	–	128~189	475	190
	모래(≤10)	557	231	–	–	138~203	479	192
	모래(>10)	561	232	–	–	234~328	556	234
	자갈	–	–	–	–	225~316	545	228
풍화토		665	294	–	–	271~375	610	263
풍화암		908	426	–	–	–	653	287
연 암		1,181	602	3,479	1,647	–	1,232	625
보통암		1,644	848	–	–	–	1,587	826
경 암		2,128	1,136	4,918	2,513	–	2,155	1,148

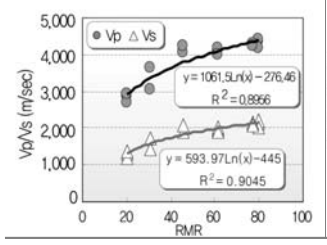
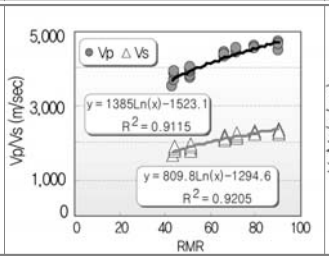
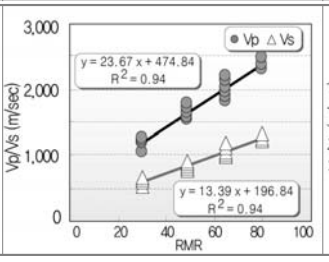
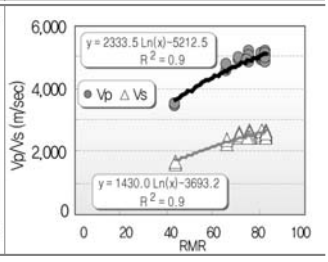
4구간

구 분		하향식탄성파		S-PS검층		경험식	상관분석	
		V_p(m/s)	V_s(m/s)	V_p(m/s)	V_s(m/s)	V_s(m/s)	V_p(m/s)	V_s(m/s)
매립층	점토	–	–	–	–	167~242	486	194
	모래	364	130	–	–	184~263	502	203
붕적층		362	182	2,372	814	146~214	469	185
퇴적층	점토	–	–	–	–	146~214	469	185
	모래(≤10)	521	212	–	–	146~214	469	185
	모래(>10)	–	–	–	–	218~307	546	226
	자갈	–	–	–	–	282~389	677	297
풍화토		577	279	–	–	243~340	590	250
풍화암		971	481	–	–	–	710	315
연 암		1,474	765	3,479	1,647	–	2,104	791
보통암		2,612	1,536	–	–	–	4,303	2,138
경 암		2,673	1,600	4,918	2,513	–	4,799	2,442
Ⅴ등급		–	–	–	–	–	1,532	440
Ⅳ등급		1,323	676	–	–	–	3,337	1,546
Ⅲ등급		2,203	1,253	3,479	1,647	–	4,139	2,037
Ⅱ등급		2,714	1,626	4,860	2,471	–	4,735	2,403
Ⅰ등급		–	–	4,982	2,560	–	5,155	2,660

N값과 탄성파속도 상관성 분석

1구간	2구간	3구간	4구간
			

RMR과 탄성파속도 상관성 분석

1구간	2구간	3구간	4구간
			

설계지반정수 산정

1구간 및 2구간

구 분		1구간						2구간					
		V_p (m/s)	V_s (m/s)	G_d (MPa)	E_d (MPa)	K_d (MPa)	υ_d	V_p (m/s)	V_s (m/s)	G_d (MPa)	E_d (MPa)	K_d (MPa)	υ_d
매립층	점토	440	170	40	130	260	0.41	400	150	30	100	220	0.42
	모래	460	180	50	160	300	0.41	420	160	40	130	250	0.42
붕적층		480	190	60	180	320	0.41	440	170	50	140	270	0.41
퇴적층	점토	490	200	60	190	320	0.40	460	180	50	150	280	0.41
	실트	530	220	80	230	370	0.40	480	190	60	170	310	0.41
	모래(≤10)	550	240	100	290	410	0.38	500	210	80	220	350	0.39
	모래(>10)	600	260	120	340	490	0.38	570	240	100	290	450	0.39
	자갈	660	290	150	440	610	0.38	600	260	120	350	510	0.38
풍화토		690	310	180	500	660	0.37	620	270	130	380	540	0.38
풍화암		960	450	420	1,150	1,360	0.36	1,150	550	630	1,710	1,930	0.35
연 암		1,430	700	1,120	3,020	3,200	0.34	1,550	780	1,390	3,720	3,650	0.33
보통암		1,650	850	1,730	4,570	4,220	0.32	1,700	900	1,940	5,070	4,340	0.31
경 암		2,300	1,350	4,730	11,720	7,430	0.24	2,300	1,350	4,730	11,720	7,430	0.24
Ⅴ등급		2,830	1,300	3,880	10,620	13,230	0.37	2,380	1,100	2,780	7,590	9,310	0.36
Ⅳ등급		3,100	1,550	5,760	15,370	15,370	0.33	3,000	1,490	5,320	14,230	14,490	0.34
Ⅲ등급		3,550	1,900	9,020	23,450	19,470	0.30	3,600	1,900	9,020	23,590	20,360	0.31
Ⅱ등급		3,750	2,100	11,460	29,150	21,270	0.27	3,750	2,100	11,460	29,150	21,270	0.27
Ⅰ등급		4,000	2,350	14,910	36,870	23,310	0.24	4,150	2,400	15,550	38,840	25,760	0.25

3구간 및 4구간

구 분		3구간						4구간					
		V_p (m/s)	V_s (m/s)	G_d (MPa)	E_d (MPa)	K_d (MPa)	υ_d	V_p (m/s)	V_s (m/s)	G_d (MPa)	E_d (MPa)	K_d (MPa)	υ_d
매립층	점토	380	140	30	90	200	0.42	430	160	40	120	250	0.42
	모래	400	150	40	110	230	0.42	440	180	50	160	270	0.40
붕적층		450	170	50	140	290	0.42	450	180	50	160	280	0.40
퇴적층	점토	470	180	50	150	300	0.41	460	190	60	170	280	0.40
	모래(≤10)	555	230	90	270	430	0.40	500	210	80	220	350	0.39
	모래(>10)	560	230	90	270	440	0.40	550	230	90	270	420	0.39
	자갈	580	250	110	320	480	0.39	580	280	140	400	440	0.35
풍화토		700	310	180	500	680	0.38	680	330	200	550	600	0.35
풍화암		900	430	380	1,050	1,180	0.35	970	480	480	1,290	1,330	0.34
연 암		1,230	630	910	2,410	2,260	0.32	1,500	770	1,360	3,600	3,350	0.32
보통암		1,700	890	1,900	4,980	4,400	0.31	2,500	1,300	4,050	10,660	9,590	0.31
경 암		2,100	1,180	3,620	9,190	6,630	0.27	2,620	1,500	5,850	14,690	10,040	0.26
Ⅴ등급		–	–	–	–	–	–	2,800	1,300	3,880	10,590	12,840	0.36
Ⅳ등급		–	–	–	–	–	–	3,000	1,550	5,760	15,190	13,910	0.32
Ⅲ등급		–	–	–	–	–	–	3,150	1,700	7,220	18,700	15,170	0.29
Ⅱ등급		–	–	–	–	–	–	4,250	2,400	14,970	37,910	26,990	0.27
Ⅰ등급		–	–	–	–	–	–	4,350	2,550	17,550	43,470	27,680	0.24

분석결과 • 내진해석 설계지반정수는 대표 시추공에서 수행한 공내검층 결과의 평균값을 준용하여 적용

3.7.2 수리 지반특성 분석

개 요 • 문헌 및 기존사례에 의한 투수계수의 범위를 분석하고, 현장 및 실내시험을 통한 투수계수 산정

문헌자료

토 질	투수계수(cm/s)
GW	1.0×10^{-2} 이하
GP	1.0×10^{-2} 이하
GM	1.0×10^{-6}~1.0×10^{-3}
GC	1.0×10^{-8}~1.0×10^{-6}
SW	1.0×10^{-3} 이하
SP	1.0×10^{-3} 이하
SM	1.0×10^{-5}~1.0×10^{-2}

토 질	투수계수(cm/s)
SC	1.0×10^{-8} ~1.0×10^{-6}
ML	1.0×10^{-6}~1.0×10^{-3}
CL	1.0×10^{-8}~1.0×10^{-6}
OL	1.0×10^{-8}~1.0×10^{-4}
MH	1.0×10^{-8}~1.0×10^{-4}
CH	1.0×10^{-8}~1.0×10^{-6}
OH	1.0×10^{-6}~1.0×10^{-6}

암반의 상태	특 징	투수계수(cm/s)
균열 간격이 매우 좁은 상태	높은 투수성 암반	1.0×10^{-2}~1.0×10^{2}
균열 간격이 보통인 상태	보통 투수성 암반	1.0×10^{-5}~1.0×10^{-2}
균열 간격이 매우 넓은 상태	약간 투수성 암반	1.0×10^{-9}~1.0×10^{-5}
균열 간격이 없을때	불투수성 암반	1.0×10^{-9} 이상

현장시험에 의한 투수계수(cm/s) 산정 결과

1구간 및 2구간

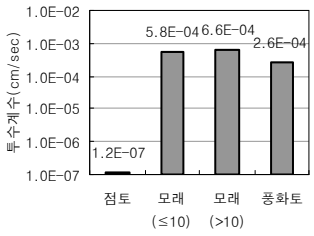
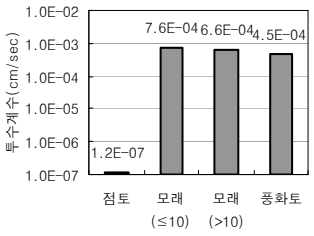
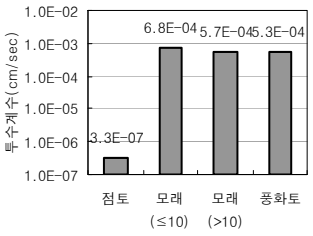
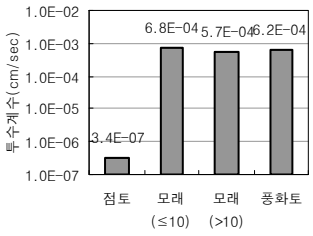
구 분		문헌자료	1구간		2구간	
			시험결과	적용	시험결과	적용
붕적층		1.0×10^{-5} ~1.0×10^{-2}	–	5.4×10^{-4}	8.79×10^{-5}~1.78×10^{-3}	5.4×10^{-4}
매립층	점토	1.0×10^{-8}~1.0×10^{-6}	–	1.2×10^{-7}	–	1.2×10^{-7}
	모래	1.0×10^{-5} ~1.0×10^{-2}	–	7.0×10^{-4}	6.98×10^{-4}	7.0×10^{-4}
퇴적층	점토	1.0×10^{-8}~1.0×10^{-6}	6.55×10^{-8}~9.44×10^{-5}	1.2×10^{-7}	8.29×10^{-5}	1.2×10^{-7}
	실트	1.0×10^{-6}~1.0×10^{-3}	5.83×10^{-8}~9.26×10^{-5}	1.3×10^{-7}	–	1.3×10^{-7}
	모래(≤10)	1.0×10^{-5}~1.0×10^{-2}	9.35×10^{-5}~1.45×10^{-3}	5.8×10^{-4}	7.61×10^{-4}~1.69×10^{-3}	7.6×10^{-4}
	모래(>10)	1.0×10^{-5}~1.0×10^{-2}	5.34~7.66×10^{-4}	6.6×10^{-4}	–	6.6×10^{-4}
	자갈	1.0×10^{-2} 이하	5.87×10^{-3}	5.9×10^{-3}	–	5.9×10^{-3}
풍화토		1.0×10^{-5}~1.0×10^{-2}	1.07~5.20×10^{-4}	2.6×10^{-4}	8.72×10^{-5}~8.36×10^{-4}	4.5×10^{-4}
풍화암		1.0×10^{-5}~1.0×10^{-2}	–	5.8×10^{-5}	4.68×10^{-5}~5.75×10^{-5}	5.8×10^{-5}
연 암		1.0×10^{-5}~1.0×10^{-2}	1.50~6.82×10^{-5}	3.3×10^{-5}	9.95×10^{-5}~2.19×10^{-4}	3.3×10^{-5}
보통암		1.0×10^{-9}~1.0×10^{-5}	5.77×10^{-6}~2.60×10^{-5}	1.6×10^{-5}	3.24×10^{-6}~4.87×10^{-5}	1.6×10^{-5}
경 암		1.0×10^{-9}~1.0×10^{-5}	4.11~4.64×10^{-6}	4.9×10^{-6}	3.54×10^{-7}~4.58×10^{-5}	8.0×10^{-6}
V등급		1.0×10^{-5}~1.0×10^{-2}	–	6.4×10^{-5}	–	6.4×10^{-5}
Ⅳ등급		1.0×10^{-5}~1.0×10^{-2}	4.88×10^{-5}	4.9×10^{-5}	–	4.9×10^{-5}
Ⅲ등급		1.0×10^{-9}~1.0×10^{-5}	5.75×10^{-6}~4.03×10^{-5}	9.0×10^{-6}	4.13×10^{-6}~4.87×10^{-5}	9.0×10^{-6}
Ⅱ등급		1.0×10^{-9}~1.0×10^{-5}	5.41×10^{-6}~2.60×10^{-5}	5.4×10^{-6}	4.15×10^{-7}~6.14×10^{-6}	2.3×10^{-6}
Ⅰ등급		1.0×10^{-9}~1.0×10^{-5}	4.11~4.64×10^{-6}	5.0×10^{-7}	4.95×10^{-7}	5.0×10^{-7}

3구간 및 4구간

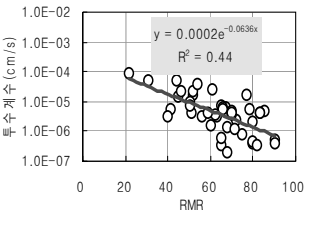
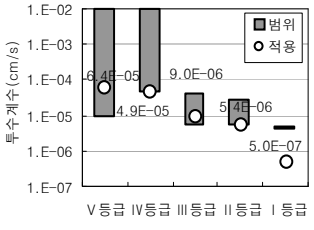
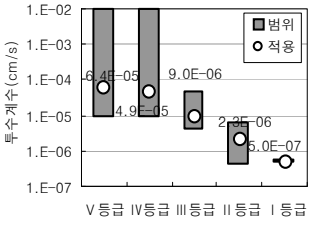
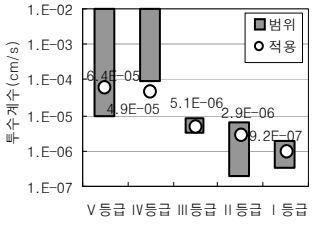
구 분		문헌자료	3구간		4구간	
			시험결과	적용	시험결과	적용
붕적층		1.0×10^{-5} ~1.0×10^{-2}	6.91×10^{-6}~2.19×10^{-3}	6.9×10^{-4}	1.93×10^{-4}~1.18×10^{-3}	6.9×10^{-4}
매립층	점토	1.0×10^{-8}~1.0×10^{-6}	–	3.3×10^{-7}	–	3.4×10^{-7}
	모래	1.0×10^{-5} ~1.0×10^{-2}	–	7.0×10^{-4}	–	7.0×10^{-4}
퇴적층	점토	1.0×10^{-8}~1.0×10^{-6}	1.47×10^{-7}~2.92×10^{-5}	3.3×10^{-7}	1.66×10^{-7}~6.32×10^{-5}	3.4×10^{-7}
	모래(≤10)	1.0×10^{-5}~1.0×10^{-2}	6.82×10^{-4}~4.86×10^{-3}	6.8×10^{-4}	5.98×10^{-3}	6.8×10^{-4}
	모래(>10)	1.0×10^{-5}~1.0×10^{-2}	2.84×10^{-3}	5.7×10^{-4}	5.65×10^{-4}~1.48×10^{-2}	5.7×10^{-4}
	자갈	1.0×10^{-2} 이하	2.57~3.54×10^{-3}	3.1×10^{-3}	–	3.1×10^{-3}
풍화토		1.0×10^{-5}~1.0×10^{-2}	3.13~6.82×10^{-4}	5.3×10^{-4}	9.30×10^{-5}~1.72×10^{-3}	6.2×10^{-4}
풍화암		1.0×10^{-5}~1.0×10^{-2}	4.77~9.77×10^{-5}	6.8×10^{-5}	7.41×10^{-5}	7.4×10^{-5}
연 암		1.0×10^{-5}~1.0×10^{-2}	–	5.5×10^{-5}	2.71~9.28×10^{-5}	5.5×10^{-5}
보통암		1.0×10^{-9}~1.0×10^{-5}	–	1.7×10^{-5}	2.58×10^{-6}~1.73×10^{-5}	1.7×10^{-5}
경 암		1.0×10^{-9}~1.0×10^{-5}	3.63×10^{-7}	2.6×10^{-6}	2.00×10^{-7}~6.40×10^{-6}	2.6×10^{-6}
Ⅴ등급		1.0×10^{-5}~1.0×10^{-2}	–	–	–	6.4×10^{-5}
Ⅳ등급		1.0×10^{-5}~1.0×10^{-2}	–	–	9.28×10^{-5}	4.9×10^{-5}
Ⅲ등급		1.0×10^{-9}~1.0×10^{-5}	–	–	3.16~7.83×10^{-6}	5.1×10^{-6}
Ⅱ등급		1.0×10^{-9}~1.0×10^{-5}	–	–	2.00×10^{-7}~6.40×10^{-6}	2.9×10^{-6}
Ⅰ등급		1.0×10^{-9}~1.0×10^{-5}	–	–	3.44×10^{-7}~2.02×10^{-6}	9.2×10^{-7}

지층별 투수계수 분석

– 토사층

1구간	2구간	3구간	4구간
			

– 기반암

RMR-투수계수 상관분석	1구간	2구간	4구간
			

분석결과

- 현장시험 결과를 토대로 지층 및 등급에 따른 투수계수 적용하였으며, 지층별 미수행 구간은 인근 구간의 시험 결과 적용

3.7.3 지중응력 및 측압계수 산정

· 암반내에 존재하고 있는 초기 응력은 중력에 의해 발생되는 Gravitational Stress, 지각의 활동에 의해 발생되는 Tectonic Stress, 침식후 잔류하는 Residual Stress로 구분
· 설계구간 중 터널의 최적단면/지보재 설계 및 주변 암반의 역학적 거동을 포함한 터널 구조물의 안정성 해석에 필수적인 초기응력장 상태에 대한 제반 정보를 파악

기존 문헌 및 설계자료 조사

제안자	경 험 식	비 고
최성웅 (1997)	K=6/z+0.5 K=240/z+0.1	국내 암반의 측압계수 분포 범위에 잘 부합
이정인 등 (1995)	σ_V=0.233+0.024z σ_H=2.657+0.032z	심도에 따른 연직, 수평응력으로부터 측압계수 계산
Sheorey (1994)	K=0.25+7E_h(0.001+1/z) (E_h:횡방향변형계수, GPa)	범지구적인 지각의 거동을 통한 측압계수 산정. 광범위한 지역에 대한 분석으로 측압계수의 분포범위가 넓음

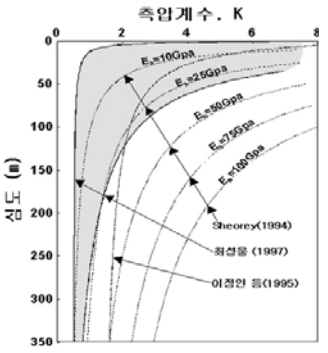
국내의 측압계수 분포 양상

국내의 측압계수 분포 양상

· 50~100m 심도 범위에서 평균 측압계수는 0.5~3.0, 100m 하부로 내려갈수록 측압계수는 2.0 이하로 작아지고 지하심부에서는 1.0에 수렴해가는 경향을 보임

· 심도에 따른 측압계수의 상한값과 하한값에 대한 경험식은 다음과 같음(한국자원연구소)
  – 범위 : 6/z + 0.5 〈 K 〈 240/z + 0.1
  – 평균 : K = 0.889 + 48.04/z

국내 심도별 측압계수 분포 양상



시험결과

구 분	강매터널			문봉터널			금촌터널		
	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균
수압파쇄	2.04	2.78	2.07	2.72	3.67	3.13	1.83	2.48	2.21
AE/DRA	2.20	2.24	2.22	3.04	3.05	3.05	1.79	1.79	1.79

측압계수 적용

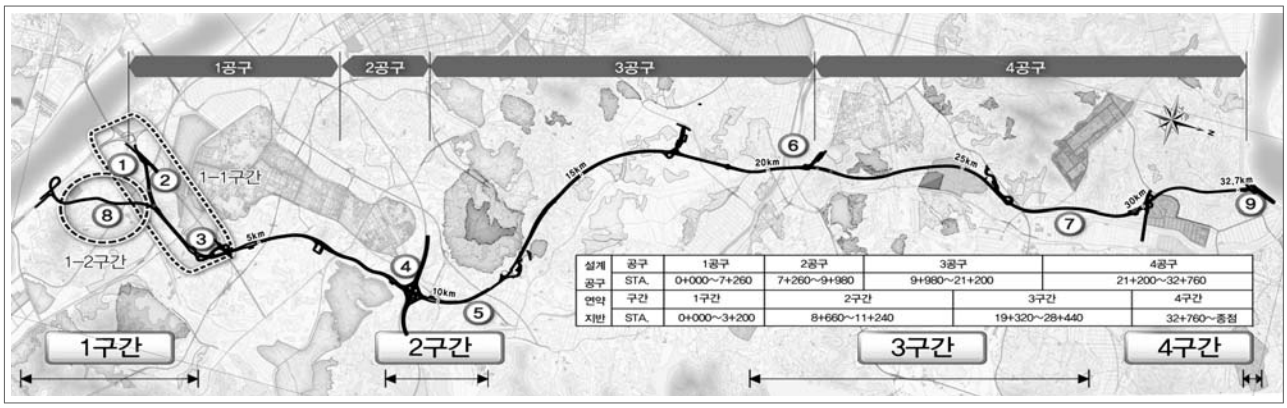
구 분	강매터널		문봉터널		금촌터널	
	문헌자료	시험결과	문헌자료	시험결과	문헌자료	시험결과
문헌 및 시험결과	0.5~3.0	2.04~2.78	0.5~3.0	2.72~3.67	0.5~3.0	1.79~2.48

분석결과 • 터널구간별 문헌자료 및 시험결과를 비교 · 분석하여 현장시험 결과를 토대로 적용

3.8 설계지반정수 요약

3.8.1 연약지반 설계지반정수

○ 연약지반 구역 구분



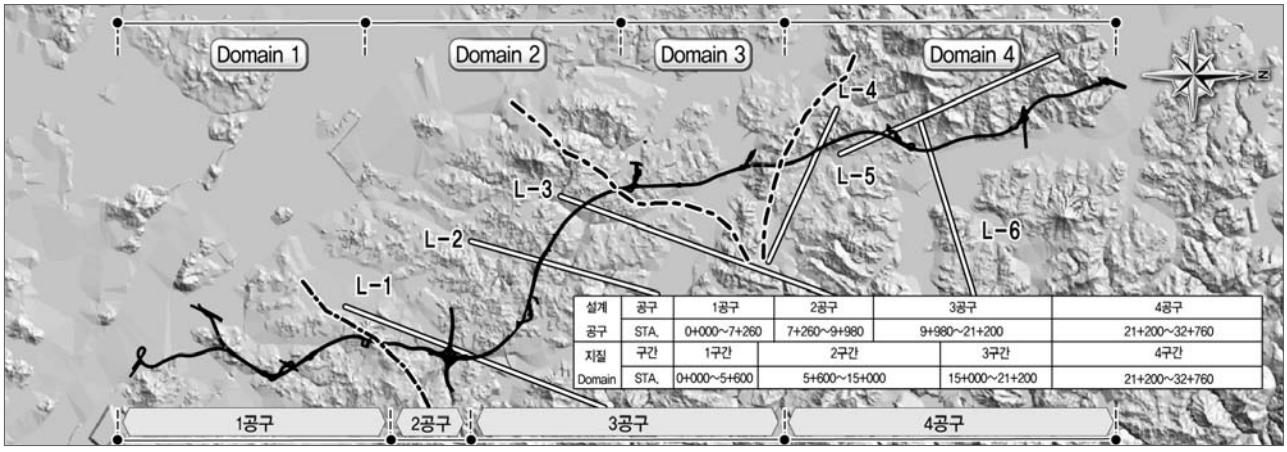
○ 연약지반 설계지반정수

구 분	함수비(%)	단위중량 (kN/m^3)	S_u(kPa)	강도증가율	초기간극비	압축지수	C_v ($10^{-3}cm^2/s$)	k_v ($10^{-7}cm/s$)
1-1구간	28.0	18.0	5.8D + 7.8 (평균 28.0)	0.25	0.96	0.25	9.80	2.30
1-2구간	35.0	18.0		0.25	0.88	0.24	4.00	0.80
2구간	36.0	18.0	5.8D + 3.0 (평균 22.0)	0.20	0.88	0.26	2.50	3.10
3구간	35.0	18.0		0.20	0.88	0.26	3.20	3.10
4구간	35.0	18.0		0.20	0.94	0.24	3.80	1.30

• 연약지반 1구간(1-1구간, 1-2구간)은 사업 1공구(지선 STA.0+000~2+000, 본선 STA.0+000~7+260)에 해당

3.8.2 연속체 설계지반정수

○ 설계지반정수 구역 구분



• 사업 1공구(STA. 0+000~7+260)은 분석 1~2구간(Domain 1~2)에 해당

○ 1구간 (STA.사업시점~5+600)

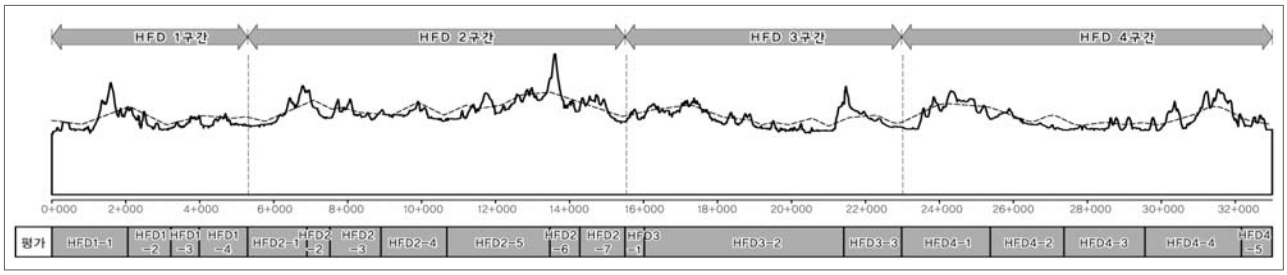
구 분	지층	토성별	r_t(kN/m^3)	c(kPa)	ϕ(°)	E(MPa)	ν	V_s(m/s)	G_d(MPa)	K(cm/s)
교 량 구 간	매립층	모래	19	3	28	15	0.35	180	50	7.0×10^{-4}
		점토	17	5	–	5	0.40	170	40	1.2×10^{-7}
	붕적층	모래	18	5	28	10	0.35	190	60	5.4×10^{-4}
	퇴적층	점토(N>6)	18	30	–	5	0.40	200	60	1.2×10^{-7}
		실트	18	30	–	5	0.38	220	80	1.3×10^{-7}
		모래(N≤10)	18	–	27	10	0.35	240	100	5.8×10^{-4}
		모래(N>10)	18	–	30	18	0.35	260	120	6.6×10^{-4}
		자갈	20	–	32	50	0.32	290	150	5.9×10^{-3}
	풍화토		19	17	29	50	0.33	310	180	2.6×10^{-4}
	풍화암		21	28	31	280	0.30	450	420	5.8×10^{-5}
	연 암		23	500	33	660	0.26	700	1,120	3.3×10^{-5}
	보통암		25	2,500	36	4,000	0.24	850	1,730	1.6×10^{-5}
	경 암		26	3,200	40	10,000	0.22	1,350	4,730	4.9×10^{-6}
깎 기 구 간	붕적층	모래	19	5	28	20	0.35	190	60	5.4×10^{-4}
	풍화토		19	19	29	60	0.33	310	180	2.6×10^{-4}
	풍화암		21	29	31	280	0.30	450	420	5.8×10^{-5}
	연 암		24	800	34	620	0.26	700	1,120	3.3×10^{-5}
	보통암		25	3,000	38	5,000	0.24	850	1,730	1.6×10^{-5}
	경 암		26	3,500	42	15,000	0.22	1,350	4,730	4.9×10^{-6}
터 널 구 간	붕적층	모래	18	5	29	20	0.35	190	60	5.4×10^{-4}
	풍화토		19	19	29	60	0.33	310	180	2.6×10^{-4}
	풍화암		21	29	31	280	0.30	450	420	5.8×10^{-5}
	Ⅴ등급		23	400	33	500	0.26	1,300	3,880	6.4×10^{-5}
	Ⅳ등급		24	900	34	1,000	0.25	1,550	5,760	4.9×10^{-5}
	Ⅲ등급		25	2,200	37	4,000	0.24	1,900	9,020	9.0×10^{-6}
	Ⅱ등급		26	3,500	41	15,000	0.22	2,100	11,460	5.4×10^{-6}
	Ⅰ등급		27	4,200	44	18,000	0.21	2,350	14,910	5.0×10^{-7}

○ 2구간 (STA.5+600~15+500)

구 분	지층	토성별	r_t(kN/m^3)	c(kPa)	ϕ(°)	E(MPa)	ν	Vs(m/s)	Gd(MPa)	K(cm/s)
교량구간	매립층	모래	19	3	28	12	0.35	160	40	7.0×10^{-4}
		점토	17	5	–	4	0.40	150	30	1.2×10^{-7}
	붕적층	모래	18	5	28	6	0.35	170	50	5.4×10^{-4}
	퇴적층	점토(N>4)	18	25	–	5	0.40	180	50	1.2×10^{-7}
		실트	18	30	–	3	0.38	190	60	1.3×10^{-7}
		모래(N≤10)	18	–	27	10	0.35	210	80	7.6×10^{-4}
		모래(N>10)	18	–	29	17	0.35	240	100	6.6×10^{-4}
		자갈	20	–	32	28	0.32	260	120	5.9×10^{-3}
	풍화토		19	17	29	35	0.33	270	130	4.5×10^{-4}
	풍화암		21	28	31	260	0.30	550	630	5.8×10^{-5}
	연 암		24	500	33	800	0.26	780	1,390	3.3×10^{-5}
	보통암		25	2,200	35	5,000	0.24	900	1,940	1.6×10^{-5}
	경 암		26	3,200	40	10,000	0.22	1,350	4,730	8.0×10^{-6}
깎기구간	붕적층	모래	18	5	28	6	0.35	170	50	5.4×10^{-4}
	풍화토		19	19	29	60	0.33	270	130	4.5×10^{-4}
	풍화암		21	31	31	280	0.30	550	630	5.8×10^{-5}
	연 암		24	800	34	900	0.26	780	1,390	3.3×10^{-5}
	보통암		26	2,000	36	4,000	0.24	900	1,940	1.6×10^{-5}
	경 암		27	3,500	42	12,000	0.22	1,350	4,730	8.0×10^{-6}
터널구간	붕적층	모래	18	5	28	20	0.35	170	50	5.4×10^{-4}
	풍화토		19	19	29	60	0.33	270	130	4.5×10^{-4}
	풍화암		21	31	31	280	0.30	550	630	5.8×10^{-5}
	Ⅴ등급		23	400	33	500	0.26	1,100	2,780	6.4×10^{-5}
	Ⅳ등급		24	800	34	1,000	0.25	1,490	5,320	4.9×10^{-5}
	Ⅲ등급		25	2,000	37	6,000	0.24	1,900	9,020	9.0×10^{-6}
	Ⅱ등급		26	3,500	42	13,000	0.22	2,100	11,460	2.3×10^{-6}
	Ⅰ등급		27	4,200	45	18,000	0.21	2,400	15,550	5.0×10^{-7}

3.8.3 불연속체 설계지반정수

HFD 구간



구 분	HFD 1구간	HFD 2구간	HFD 3구간	HFD 4구간
STA.(km+m)	사업시점~5+600	5+600~15+500	15+500~23+000	23+000~사업종점
사업공구	1공구	2공구	3공구	4공구

HFD 구간별 불연속체 설계지반정수

구 분		절 리 군			점착력(kPa)			마찰각(°)			JCS (MPa)	JRC
		Set 1	Set 2	Set 3	Set 1	Set 2	Set 3	Set 1	Set 2	Set 3		
HFD 1구간	HFD1-1	42/111	49/307	62/066	48.0	43.0	31.0	30.9	31.1	31.7	59.9	8.6
	HFD1-2	49/252	41/112	75/352	34.0	39.0	27.0	30.1	29.9	29.4	52.0	7.1
	HFD1-3	82/186	67/130	56/320	34.0	25.0	35.0	29.9	30.5	29.9	25.4	8.4
	HFD1-4	64/188	–	–	46.0	–	–	32.6	–	–	27.6	13.0
HFD 2구간	HFD2-1	55/319	80/025	31/160	54.0	34.0	79.0	32.9	34.0	31.9	51.6	12.0
	HFD2-2	83/154	57/236	04/084	37.0	41.0	72.0	32.5	32.3	31.2	73.3	9.4
	HFD2-3	50/106	42/005	05/024	64.0	73.0	96.0	32.3	31.9	31.2	38.2	12.0
	HFD2-4	21/344	88/132	68/027	74.0	56.0	49.0	31.7	32.3	32.6	71.7	10.0
	HFD2-5	21/333	16/135	72/213	69.0	71.0	47.0	30.7	30.7	31.5	48.5	9.7
	HFD2-6	68/345	46/090	51/263	33.0	38.0	35.0	30.3	30.0	30.2	46.2	7.5
	HFD2-7	45/178	55/110	45/334	53.0	43.0	53.0	31.4	31.8	31.4	55.6	9.6
HFD 3구간	HFD3-1	60/034	74/189	–	47.0	42.0	–	33.7	34.0	–	71.6	11.0
	HFD3-2	56/187	46/039	56/259	44.0	54.0	44.0	32.4	32.0	32.4	66.2	9.9
	HFD3-3	38/039	83/189	60/276	55.0	35.0	36.0	31.1	32.0	32.0	61.1	9.1
HFD 4구간	HFD4-1	32/070	87/345	55/270	50.0	37.0	34.0	30.3	30.7	30.9	57.4	7.9
	HFD4-2	48/089	89/121	74/229	48.0	42.0	34.0	34.5	34.8	35.5	42.4	14.0
	HFD4-3	13/086	63/319	70/004	57.0	43.0	33.0	30.0	30.5	30.9	53.6	8.0
	HFD4-4	13/165	69/287	69/334	40.0	39.0	39.0	31.4	31.4	31.4	58.2	8.8
	HFD4-5	26/130	63/343	66/041	43.0	37.0	33.0	32.5	32.8	33.0	63.4	10.0

3.8.4 기타 설계지반정수

쌓기재 설계지반정수

구 분	단위중량(kN/m^3)	점착력(kPa)	내부마찰각 (°)
쌓기재(토사)	18.0	15.0	28.0

지중응력 측압계수

구 분	강매터널	문봉터널	금촌터널
시험결과	2.04~2.78	2.72~3.67	1.79~2.48

제6편 교량기초 설계

제1장 교량기초 설계개요

제2장 기초형식 선정

제3장 교량기초 설계정수

제4장 교량기초 안정성 검토

제5장 교량기초 시공방안 검토

제6장 기초의 품질 및 유지관리 계획

제 1 장 교량기초 설계개요

1.1 설계개요

기본방향	•지층분포, 시공조건, 교량 상부구조 형식 및 환경성을 고려한 최적의 기초형식 선정 •구조물인접 시공구간, 고성토부 교대 등 주요 구간의 기초안정성 검토 •선정된 기초형식의 안정성 확보를 위한 재하시험 및 시공 중 품질관리 계획 수립

1.1.1 기본방향

지반조사 및 분석
- 교량구간의 시추 및 현장시험 수행
- 물리탐사를 통한 지질이상대 확인
- 교량 및 토공구간 실시설계기준에 준한 시추조사 및 실내시험 수행

기초형식 선정
- 교량부 상부하중조건 및 지지층 심도를 고려한 직접/말뚝기초 선정
- 현장조건에 따른 시공성 확보 기초형식선정
- 장래 개발 계획을 고려한 기초형식

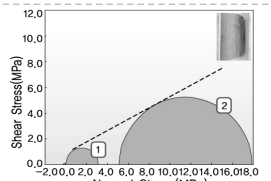
시공성 및 안정성을 고려한 기초설계

기초 안정성 검토
- 하중, 지층 고려한 안정성 검토 및 근접시공에 따른 안정성 확보
- 공구별 주요 위험구간을 고려한 상세 기초 안정성 평가 수행

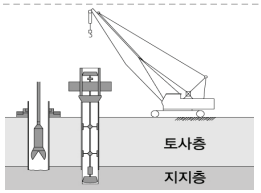
시공방안 및 품질관리
- 근접시공에 따른 안정성 확보
- 지반특성 및 환경성 영향 최소화를 고려한 기초형식별 시공방안 수립
- 기초 재하시험 및 위험구간 계측 계획수립

◎ 교량기초 설계흐름

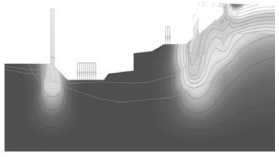
지반조사, 현장여건 분석
- 주변환경 및 지형특성 분석
- 지반조사 결과를 통한 공학적 특성 분석



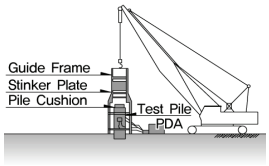
기초형식 및 공법 선정
- 지지층심도 및 하중고려
- 기초시공법별 시공성, 경제성 및 소음·진동 영향 상세분석



기초 안정성 검토
- 기초 지지력, 변위 및 부등침하 검토
- 특수조건을 고려한 기초 안정성 검토



품질관리 계획
- 기초내구성 향상 대책
- 안정성 검증을 위한 재하시험 계획으로 지지력 검증



◎ 지반조사 설계활용

조사항목		조 사 내 용	설 계 활 용
지표지질조사		•교량구간의 지형 및 지질특성 파악 •사업구간의 노두조사로 암종분포 특성 파악	•교량위치 선정 및 지층특성 파악 •암반 절리파악에 의한 기초 안정성 검토
시 추 조 사		•교량구간의 지층분포 및 기반암 심도 확인 •기반암 상태조사 및 연경도 파악(SPT 수행)	•지지층확인을 통한 기초형식 선정에 활용 •설계 지지력 검토 시 문헌치 판단에 활용
공내재하시험		•기반암의 하중에 대한 변형특성 파악	•변형계수(E_d) 및 탄성계수(E_s)
DHT 시험		•구조물 내진해석을 위한 동적지반정수 산정	•인공지진파 산정 후 구조물 내진해석 수행
실내 시험	토질	•비중, 함수비, 액·소성한계 등	•흙의 분류 및 지반특성 파악
	암석	•일축압축강도, 점하중강도 등	•암반 지지기초의 안정성 검토

1.1.2 교량현황

1공구 교량 현황 (본선 STA. 0+000.0 ~ 7+260.0 지선 STA. 0+000.0 ~ 2+760.0)

교 량 명		위치(STA.)	교량형식	경간/연장	지 지 층	기초형식
현천교		0-072.003~0+317.997	Steel Box교	7경간 / 390.0m	풍화암/연암	현장타설 말뚝기초 강관말뚝기초
현천 IC Ramp-A		0+491.213~0+611.213	Steel Box교	2경간 / 120.0m	연 암	현장타설 말뚝기초 강관말뚝기초
현천 IC Ramp-B		0+095.00~0+870.90	Steel Box교+ 합성형라멘교	15경간 / 775.9m	풍화암/연암	현장타설 말뚝기초 복합/강관말뚝기초
창릉천교		1+381.20~2+257.20	BiCon Girder교+ Steel Box교	17경간 / 876.0m	풍화암/연암	복합/강관말뚝기초
난점천 1교		0+037.00~0+047.00	RC 라멘교	단경간 / 10.0m	풍화암	강관말뚝기초
난점천 2교		0+003.80~0+018.30	RC 라멘교	단경간 / 14.5m	풍화암	강관말뚝기초
강매교 (확장교량)		0+000.00~0+290.00	Steel Box교	6경간 / 290.0m	풍화암/연암	복합/강관말뚝기초
북로 IC R-B교 (확장교량)		0+233.424~0+343.424	Steel Box교	3경간 / 110.0m	풍화암	복합/강관말뚝기초
북로IC R-A1교		0+509.40~0+599.40	합성형 라멘교	3경간 / 90.0m	풍화암	복합/강관말뚝기초
북로 IC R-D교		0+322.87~0+412.87	합성형 라멘교	3경간 / 90.0m	풍화암	복합/강관말뚝기초
강매 1교		0+475.168~0+565.541	PSC Beam교	3경간 / 90.4m	풍화암	복합/강관말뚝기초
강매 IC 1교 (확장교량)		0+817.500~0+872.634	SCP합성거더교	단경간 / 55.1m	풍화암	강관말뚝기초
강매 2교		0+615.95~0+650.95	합성형 라멘교	단경간 / 35.0m	연 암	강관말뚝 기초
강매 3교	서울	0+870.00~1+120.00	Steel Box교	4경간 / 250.0m	풍화암/연암	복합/강관말뚝기초
	문산	0+877.00~1+127.00				
도내 지하차도		0+410.00~0+530.00	RC 박스교	120.0m	풍화암/연암	직접 기초
행신 1교		2+333.50~2+461.50	Steel Box교	2경간 / 128.0m	풍화암/연암	직접/강관말뚝기초
행신 2교		2+620.400~2+755.778	BiCon Girder교	3경간 / 135.4m	풍화암/연암	복합/강관말뚝기초
행신 3교		2+948.50~2+964.50	RC 라멘교	단경간 / 16.0m	풍화암	강관말뚝 기초
도내교		3+448.00~3+463.00	RC 라멘교	단경간 / 15.0m	풍화암	강관말뚝 기초
행신 IC R-G교		0+758.00~0+778.00	합성형 라멘교	단경간 / 20.0m	풍화암	강관말뚝 기초
행신 IC교		3+604.00~3+634.00	합성형 라멘교	단경간 / 30.0m	풍화암	강관말뚝 기초
미병교 (확장교량)		3+298.303~3+310.368	RC 박스교	단경간 / 12.1m	풍화토	직접 기초
미병육교		3+419.530~3+437.475	RC 라멘교	단경간 / 17.9m	풍화암	강관말뚝 기초
행신 IC R-A1교		0-007.50~0+008.915	RC 라멘교	단경간 / 17.0m	풍화암	강관말뚝 기초
행신 IC R-A2교		0+054.00~0+076.091	합성형 라멘교	단경간 / 22.0m	풍화암	강관말뚝 기초
행신 IC R-B교		0+063.00~0+105.00	Steel Box교	단경간 / 42.0m	풍화암	강관말뚝 기초
원흥 1교	서울	4+003.00~4+348.17	Steel Box교+	7경간 / 345.2m	풍화암	복합/강관말뚝기초
	문산	4+018.00~4+348.17	IPC Girder교	7경간 / 330.2m		
원흥 2교	서울	5+211.50~5+276.50	Steel Box교	단경간 / 65.0m	풍화암	강관말뚝 기초
	문산	5+203.50~5+268.50				
성사 3교	서울	5+593.00~5+648.00	Steel Box교	단경간 / 55.0m	풍화암/연암	강관말뚝 기초
	문산	5+602.00~5+672.00		단경간 / 70.0m		
성사 4교		5+823.600~5+854.153	PSC Beam교	단경간 / 30.6m	연 암	강관말뚝 기초
성사 5교		6+025.600~6+066.289	BiCon Girder교	단경간 / 40.7m	풍화암	강관말뚝 기초
흥도육교		0+036.00~0+086.06	BiCon Girder교	단경간 / 50.1m	연 암	직접 기초
성라교		6+578.00~6+623.05	IPC Girder교	단경간 / 45.0m	연 암	직접 기초
성라육교		0+038.00~0+088.06	BiCon Girder교	단경간 / 50.1m	연 암	직접 기초
성사 6교		7+089.48~7+159.48	Steel Box교	단경간 / 70.0m	풍화암	직접/강관말뚝기초

1.2 교량기초 주요검토사항

기본방향	•교량기초 설계에 있어 시추조사와 현장 및 실내시험 결과를 종합적으로 분석 •교량기초 설계 시 상부구조물, 하중조건, 지반특성 및 현장여건을 고려한 주요 검토사항을 분석하여 최적의 설계수행

1.2.1 주요 설계 검토사항

검 토 사 항		검 토 내 용
기초형식 적정성		•기초형식검토 : 지형 및 지질, 구조물의 특성 및 기타 시공조건 등을 고려 •기초형식선정 : 경제성, 시공성 및 환경영향을 고려한 최적의 기초형식 선정
설 계 안정성	지지력 및 변위	•얕은 기초의 안정성 : 연직지지력, 변위 •깊은 기초의 안정성 : 연직 및 수평지지력, 변위, 군말뚝효과를 고려한 말뚝해석 •부등침하에 대한 안정성 검토
	현장여건을 고려한 안정검토	•쌓기 교대부 안정성 검토 및 고성토 구간 측방유동 검토 •지선부 현장타설말뚝 안정해석 검토 •지지층 및 기초형식 상이구간 기초의 안정성 검토 •근접시공에 따른 인접구조물의 안정성 검토
기초 시공방안		•얕은 기초의 시공성 검토 •가시설 공법 안정성 검토 •환경성 평가를 통한(소음·진동) 기초시공법 선정(매입말뚝선정)
유지관리 및 품질관리계획		•깊은 기초의 재하시험 계획 및 얕은 기초의 평판재하시험 계획 •강관/현장타설 말뚝기초 품질관리 및 계측계획 수립

1.2.2 적용 프로그램

분 야	프로그램명	내 용	설 계 적 용
수치해석	Midas GTS	연속체 해석을 통한 지반거동분석	•상이 기초형식 및 지층변화구간의 부등침하 검토 •시공단계를 고려한 고성토 교대부 안정성 검토 •현장타설 말뚝기초 안정성 검증 •근접시공에 따른 안정성 검토
	SLOPILE	2차원적 거동분석	•교대부 고성토구간 측방유동 안정성 검토
말뚝검토	GROUP 6.0	군말뚝의 수평력 해석	• p-y곡선을 이용한 군말뚝의 수평 거동 검토
기타검토	Tarlen97, SLOPE/W	임시 비탈면 안정검토	•얕은 기초 터파기시 임시 비탈면에 대한 검토
	SEEP/W	침투류 해석	•기초 터파기 지하수 유입량 검토
	Midas GEOX	가시설 해석	•가시설의 안정성 해석

제 2 장 기초형식 선정

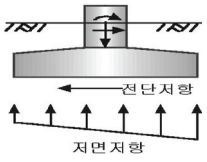
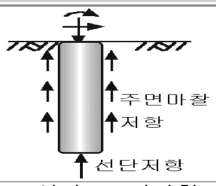
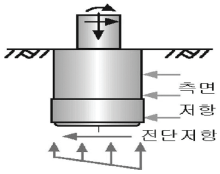
2.1 기초형식 검토

기본방향	•지층구성 및 특성파악으로 지지층심도와 주변 환경영향을 고려한 합리적인 기초형식 도출 •직접기초 적용 가능성을 우선 검토한 후 안정성, 시공성 및 경제성에 따라 깊은기초 적용 •기초형식은 내적(구조물 특성, 지반조건) 및 외적(현장조건, 시공성)요인에 의해 선정

2.1.1 기초형식 선정 시 고려사항

환경 영향	•시공중 환경오염 및 소음 · 진동에 의한 주민 생활 불편을 최소화 할 수 있는 기초형식 선정
지반 조건	•지층 분포현황 및 지반의 공학적 특성을 고려한 기초형식 선정
안 정 성	•상부 구조형식에 의한 작용하중을 원활히 지지하여 구조물 기능을 유지할 수 있는 기초형식 선정
경 제 성	•지반상태 변화에 대한 능동적 대처 및 장비 접근성 등이 고려된 경제적인 기초형식 선정

2.1.2 기초형식 선정기준

기 초 형 식	직 접 기 초	깊 은 기 초	
		말 뚝 기 초	우 물 통 기 초
개요도			
	•연직력 : 저면반력 •수평력 : 기초저면의 전단저항 (마찰저항)	•연직력 : 선단, 주면마찰저항 •수평력 : 말뚝 휨강성, 주변지반 수동저항	•연직력 : 저면반력 •수평력 : 측면반력 및 전단저항 (마찰저항)
적 용 기 준	•기초심도 : 5.0~8.0m 내외 •시공성, 경제성을 고려하여 선정 •터파기내 장애물이 없고 시공중 배수처리가 곤란하지 않을 것	•기초심도 : 5.0~60.0m •현장조건 및 하중조건에 따라 기성말뚝과 현장타설 말뚝으로 나누어 적용	•기초심도 : 5.0~30.0m •연직하중이 큰 구조물 •하상, 수상 등 말뚝기초형식 적용이 곤란한 지역

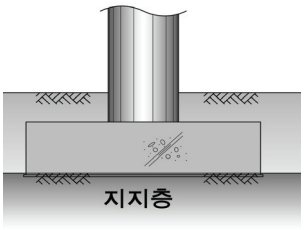
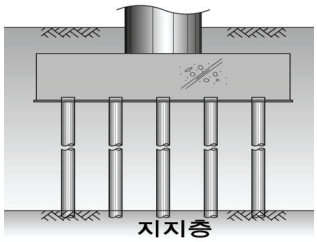
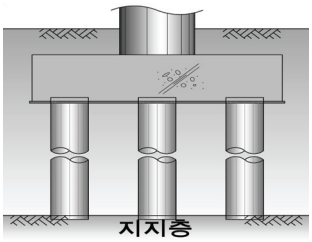
○ 기초형식 설계기준

구 분	선 정 기 준 (D_f : 근입깊이, B : 기초 최소폭)
도로설계요령(2009)	•지지층 : 사질토 N>30, 점성토 N>20 •직접기초 : 지지층 5~10m 이내, 말뚝기초 : 지지층 5~10m 이상
구조물기초 설계기준(2008)	•직접기초 : $D_f/B = 1.0$ 이하, 말뚝기초 : $D_f/B = 1.0$ 이상
도로교 설계기준 해설(2008)	•직접기초 : $D_f/B = 1/2$ 이하
깊은기초(지반공학시리즈)	•직접기초 : $D_f/B = 1.0$ 이하, 말뚝기초 : $D_f/B = 1.0$ 이상

○ 기초형식 선정기준

기초 형식	지지층 (풍화암 이상) 심도
직접 기초	•심도 5.0m~8.0m 이내 (Mass Con'c 3m 이하 타설), 기초저판은 동결심도 이상 근입
말뚝 기초	•심도 8.0m이상 지지층의 확실한 근입을 위해 풍화암층은 2.0D이상 및 연·경암은 1.0D이상 근입
현장타설말뚝기초	•한강 제내지 및 유심부 구간은 지반 및 시공조건을 종합적 분석한 후 선정

2.1.3 기초형식 검토

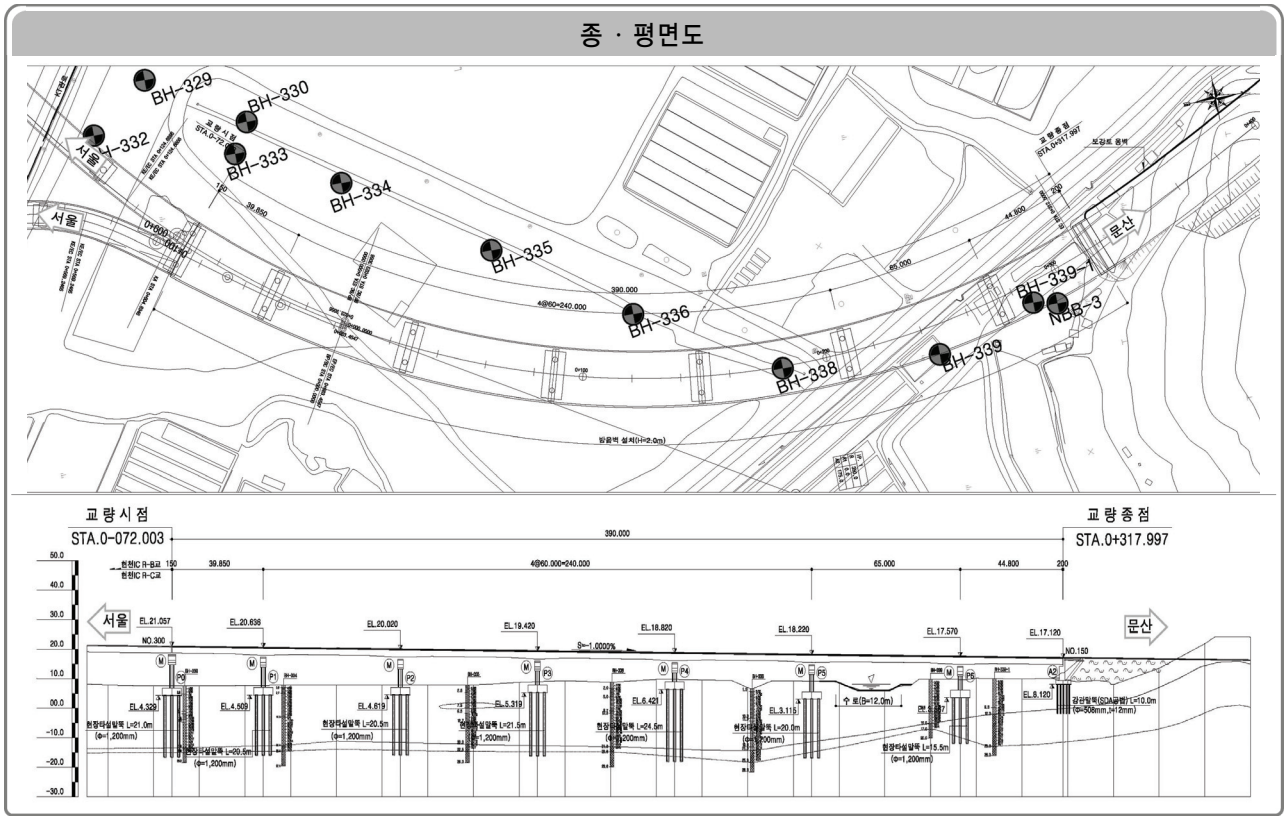
기초형식	얕은기초	깊은기초	
	직접기초	강관말뚝기초	현장타설말뚝기초
개요도			
공법개요	•소요 지지력을 갖는 지반까지 굴착하여 기초를 직접 설치	•항타기를 이용 직접 항타, 천공 후 항타 적용 •중굴말뚝 시공 시 시멘트풀 주입 불필요 •매입말뚝적용 시 시멘트풀 주입	•정수압에 의하여 공벽을 안정 •특수 비트에 의해 굴착 •공내수는 침전지와 순환 재활용 •철근망 근입 및 콘크리트 타설
공법구별	•독립기초 •줄기초 •복합기초 •전면(Mat)기초	•강관 및 기성(PHC) 항타 말뚝 •매입 말뚝	•단일 현장타설 말뚝 •대구경 현장타설 말뚝
특징	•지지층 확인 가능 •양호한 품질유지, 공사비 저렴 •굴착심도가 깊은 경우 별도의 가설공사 필요	•깊은 굴착이 가능 •수직도 유지 용이 •자갈, 전석층인 경우 항타 시공 곤란	•깊은 굴착이 가능 •지지층에 관계없이 시공 •양호한 품질관리 곤란
적용기준	•기초심도 5.0~8.0m 이내 •시공성, 경제성 고려 •연직하중은 침하영향내로 검토 •터파기 영향권 내 장애물이 없고 배수처리가 양호한 지역	•관입성 및 시공성 검토 •연직하중 100~200ton •상부에 비교적 연약 토사층 및 퇴적층 등이 분포하는 지역	•지지층 10m 이상 •호박돌, 전석에 유리 •연직하중 100~200ton •지지층이 상당히 깊고 기초에 대규모 하중 작용 시
적용구간	기초심도 5.0~8.0m 이내 구간	기초심도 5.0~8.0m 이상 구간	현천 IC 구간
검토결과	지반조건	•지층현황 분석시 지지층 심도가 깊어 직접기초 형식 구간이 많지 않은 것으로 분석 •전반적으로 지지층심도가 깊어 연직 및 수평력 확보에 우수한 기초 선정 •지층구성상태, 현장여건 및 상부하중규모에 따라 직접기초 및 깊은기초 (복합/강관말뚝 및 현장타설 말뚝기초 검토)로 선정	
	시공조건	•깊은 기초 시공법 비교 검토에 의한 강관말뚝 및 현장타설 말뚝공법 시공법 선정 •시공 시 소음에 의한 민원예상구간 및 항타 시공이 어려운 자갈, 전석층에 매입말뚝 선정	

2.1.4 기초형식 선정

1 공구 지선부 기초형식 선정

현천교 (STA. 0-072.003 ~ 0+317.997)

종 · 평면도



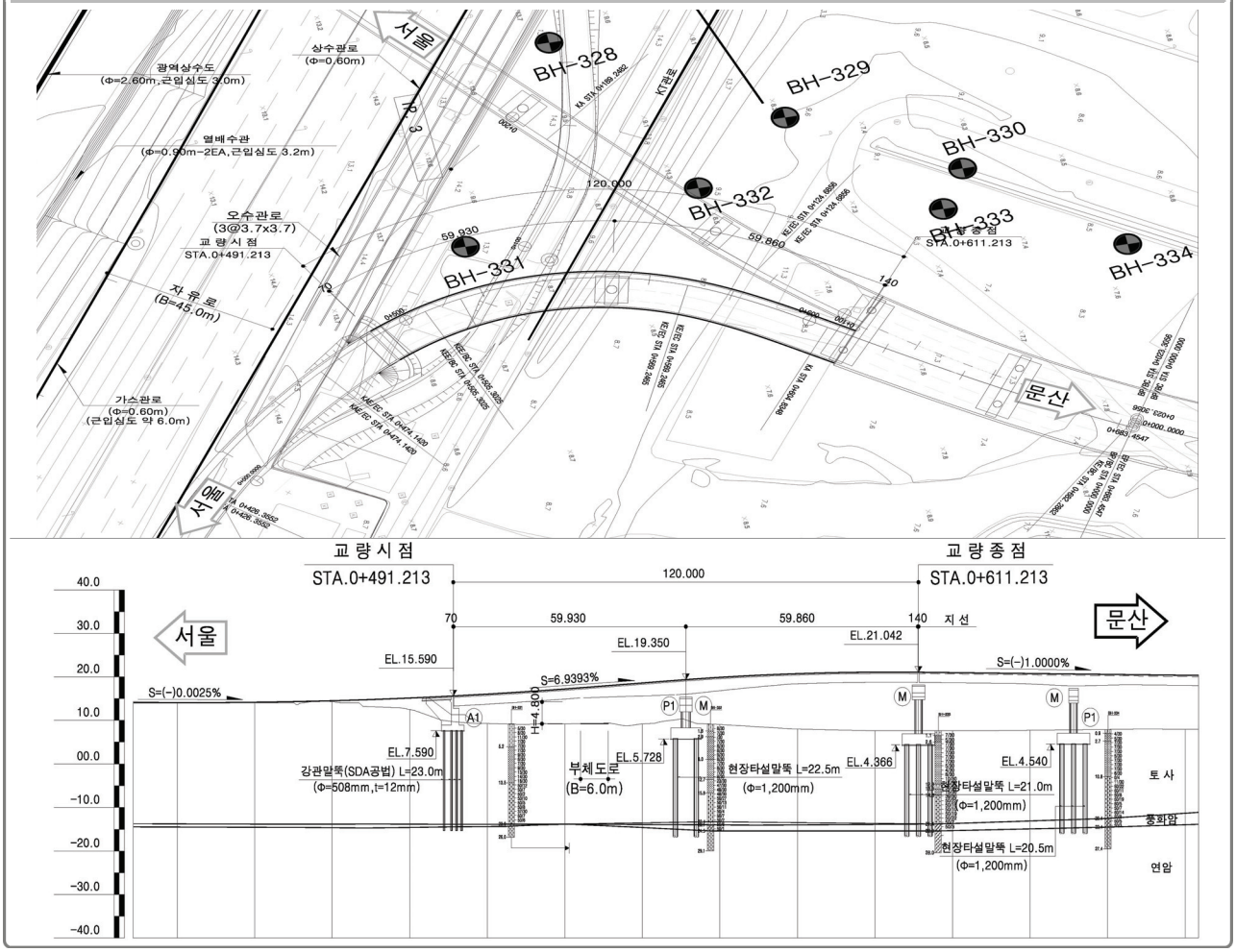
교 량 형 식	•상부구조 형식 : Steel Box교 •7경간 : L = 390.0m
지 층 분 석	•상부 매립층 및 퇴적층이 12.5~19.8m 층후로 분포하며 풍화토 및 풍화암층이 0.0~9.5m 층후로 분포 •지지층인 풍화암층이 G.L(-)9.5m, 연암층이 G.L(-)19.6~26.1m에서 출현

기초 형식 선정

위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
P0(서울-문산)	BH-333	G.L-22.6m	연 암	현장타설말뚝기초	Φ 1,200
P1~2(서울-문산)	BH-334, BH-335	G.L-22.1~22.4m	연 암	현장타설말뚝기초	Φ 1,200
P3~4(서울-문산)	BH-336	G.L-23.7~26.1m	연 암	현장타설말뚝기초	Φ 1,200
P5~6(서울-문산)	BH-338, BH-339	G.L-19.6~24.0m	연 암	현장타설말뚝기초	Φ 1,200
A2(서울-문산)	BH-339-1	G.L-9.5m	풍화암	강관말뚝기초	Φ 508
선 정 사 유	•현천교 구간은 지지층인 연암 심도가 GL(-)19.6~26.1m로, 주면마찰력과 선단지지력을 확보할 수 있는 현장타설 말뚝기초로 선정 •A2은 지지층인 풍화암 심도가 GL(-)9.5m로 강관말뚝기초 선정				

■ 현천 IC Ramp-A (STA. 0+491.213 ~ 0+611.213)

종 · 평면도



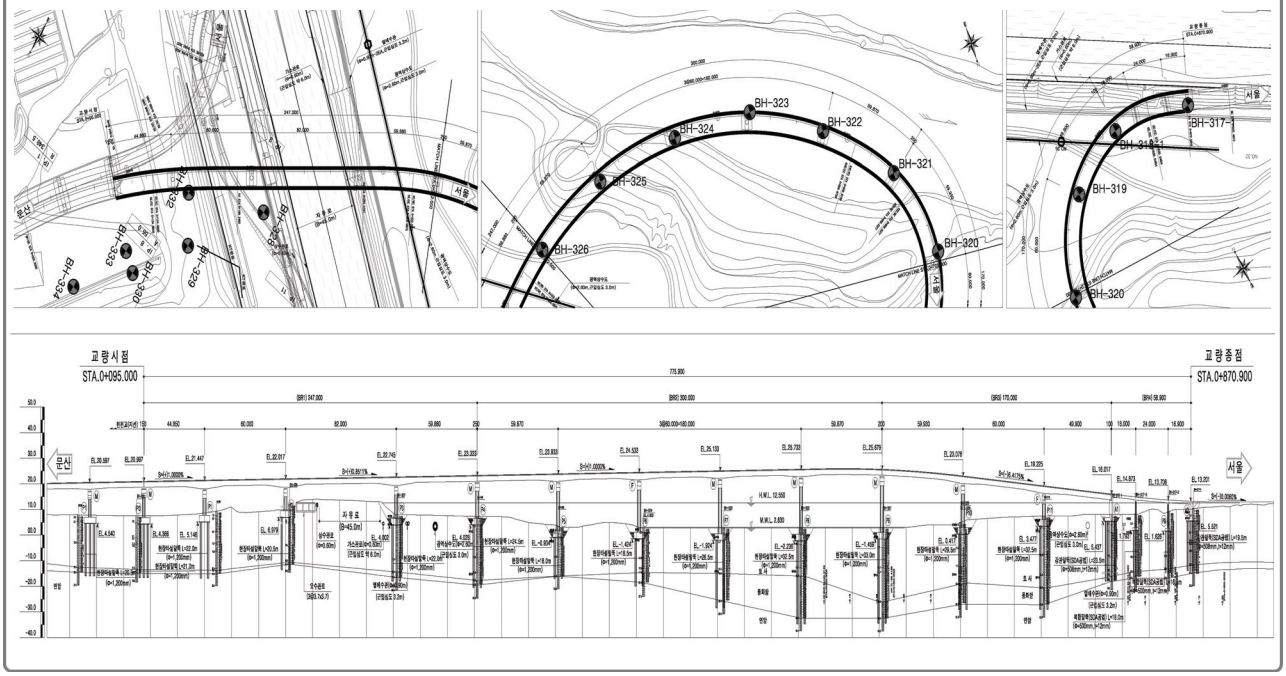
교 량 형 식	•상부구조 형식 : Steel Box교 •2경간 : L = 120.0m
지 층 분 석	•상부 매립층 및 퇴적층이 11.5m 층후로 분포하며 풍화토 및 풍화암층이 11.05m 층후로 분포 •지지층인 풍화암층이 G.L(-)24.0m, 연암층이 G.L(-)24.5m에서 출현

기초 형식 선정

위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
A1(서울-문산)	BH-331	G.L-24.0m	연 암	강관말뚝기초	Φ 508
P1(서울-문산)	BH-331	G.L-24.5m	연 암	현장타설말뚝기초	Φ 1,200
P2(서울-문산) (현천교)	BH-333	G.L-22.6m	연 암	현장타설말뚝기초	Φ 1,200
선 정 사 유	•현천 IC Ramp-A 구간은 지지층인 연암층 심도가 GL(-)24.5m로 주면마찰력과 선단지지력을 확보할 수 있는 현장타설 말뚝기초로 선정 •A1은 지지층인 풍화암 심도가 GL(-)24.0m로 강관말뚝기초 선정				

▌현천 IC Ramp-B (STA. 0+095.000 ~ 0+870.900)

종 · 평면도



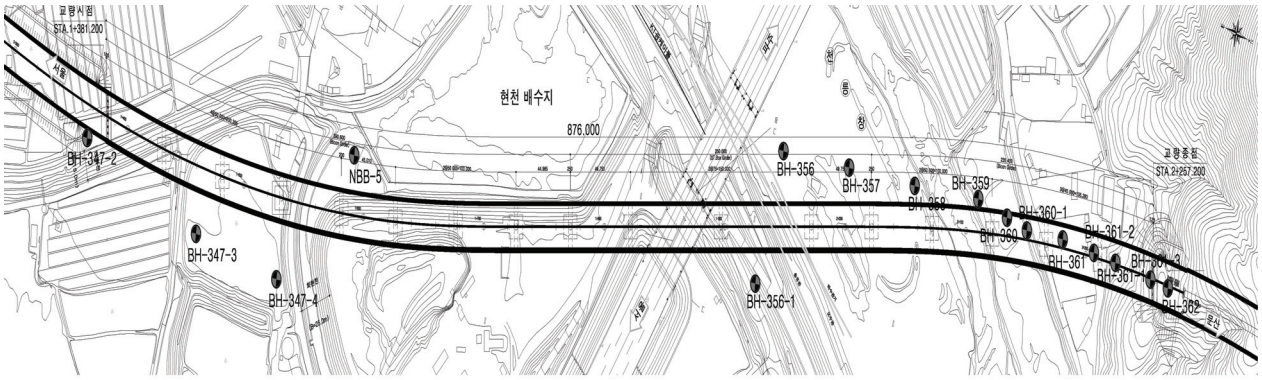
교 량 형 식	•상부구조 형식 : Steel Box교+합성형라멘교 •15경간 : L = 775.90m
지 층 분 석	•상부 매립층 및 퇴적층이 12.3~16.7m 층후로 분포하며 풍화토 및 풍화암층이 5.6~11.0m 층후로 분포 •지지층인 풍화암이 G.L(-)21.8~22.4m, 연암층이 G.L(-)20.0~35.5m에서 출현

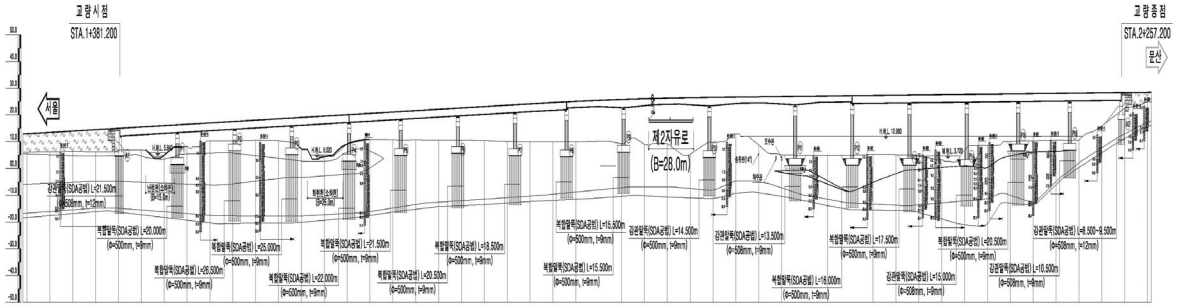
기초 형식 선정

위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
P1~3(서울-문산)	BH-332, BH-328	G.L-23.1~24.5m	연 암	현장타설말뚝기초	Φ 1,200
P4~5(서울-문산)	BH-326, BH-325	G.L-20.0~26.8m	연 암	현장타설말뚝기초	Φ 1,200
P6~8(서울-문산)	BH-322~BH-324	G.L-21.7~35.2m	연 암	현장타설말뚝기초	Φ 1,200
P9~11(서울-문산)	BH-319~BH-321	G.L-32.2~35.5m	연 암	현장타설말뚝기초	Φ 1,200
접속교 A1 (서울-문산)	BH-318-1	G.L-26.0m	연 암	강관말뚝기초	Φ 508
접속교 P1, P2 (서울-문산)	BH-317-2, 317-3	G.L-22.3~22.4m	풍화암	복합말뚝기초	Φ 500
접속교 A2 (서울-문산)	BH-317-1	G.L-21.8m	풍화암	강관말뚝기초	Φ 508
선 정 사 유	•현천 IC Ramp-B 구간은 지지층인 풍화암 및 연암 심도가 GL(-)20.0~35.5m에 출현하여 주면마찰력과 선단지지력을 확보할 수 있는 현장타설 말뚝기초 선정 •접속교 교량의 지지층인 풍화암 및 연암 심도가 GL(-)21.8~26.0m 이상으로 수평력이 적은 장심도 교각부는 복합말뚝기초로 수평력이 크게 작용하는 교대부 및 단심도구간은 강관말뚝기초 선정				

▌창릉천교 (STA. 1+381.200 ~ 2+257.200)

종 · 평면도





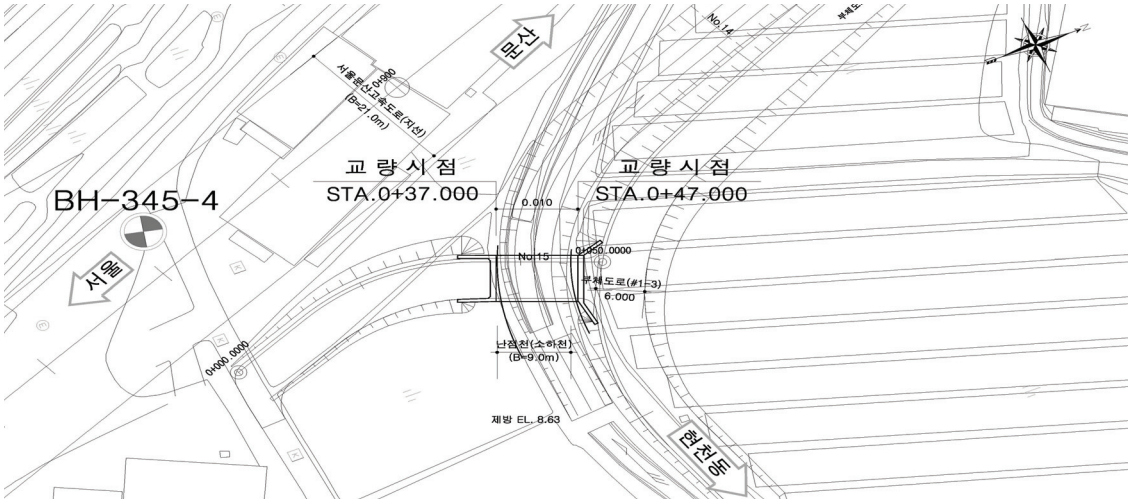
교량형식	•상부구조 형식 : BiCon Girder교+Steel Box교 •17경간 : L = 876.00m
지 층 분 석	•상부 매립층 및 퇴적층이 1.0~7.0m 층후로 분포하며 점토층이 1.0~9.1m, 풍화토층이 3.3~13.4m 층후로 분포 •지지층인 풍화암이 G.L(-)16.7~28.1m, 연암층이 G.L(-)11.4~28.0m에서 출현

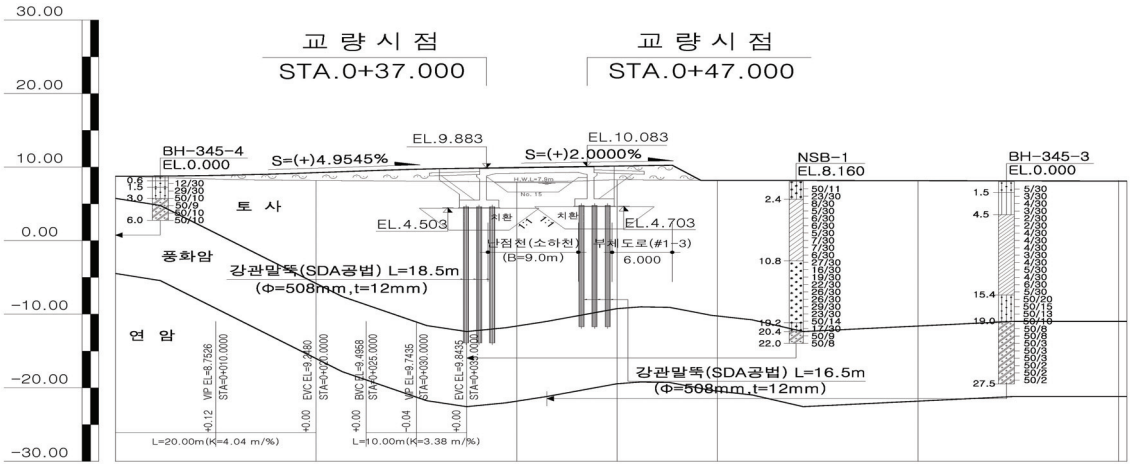
기초 형식 선정

위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
A1(서울-문산)	BH-347-2	G.L-23.2m	연 암	강관말뚝기초	보안물건인접 매입공법
P1~3(서울-문산)	BH-347-3, 347-4	G.L-24.8~28.1m	풍화암	복합말뚝기초	
P4~7(서울-문산)	BH-351, BH-352	G.L-22.7~28.0m	연 암	복합말뚝기초	
P8~10(서울-문산)	NBB-5, BH-356-1	G.L-16.7~19.1m	풍화암	복합말뚝기초	
P11(서울-문산)	BH-356	G.L-14.1m	연 암	강관말뚝기초	
P12(서울-문산)	BH-357	G.L-17.9m	풍화암	복합말뚝기초	
P13(서울-문산)	BH-358	G.L-20.7m	연 암	복합말뚝기초	
P14(서울-문산)	BH-360	G.L-19.6m	풍화암	강관말뚝기초	
P15(서울-문산)	BH-361	G.L-23.6m	연 암	복합말뚝기초	
P16(서울-문산)	BH-361-2	G.L-12.5m	연 암	강관말뚝기초	
A2(서울-문산)	BH-361-3	G.L-11.4m	연 암	강관말뚝기초	
선 정 사 유	•지지층인 풍화암 및 연암 심도가 GL(-)11.4~28.1m 이상으로 수평력이 적은 장심도 교각부는 복합말뚝기초로 수평력이 크게 작용하는 교대부 및 단심도구간은 강관말뚝기초 선정				

■ 난점천 1교 (STA. 0+37.000 ~ 0+47.000)

종 · 평면도





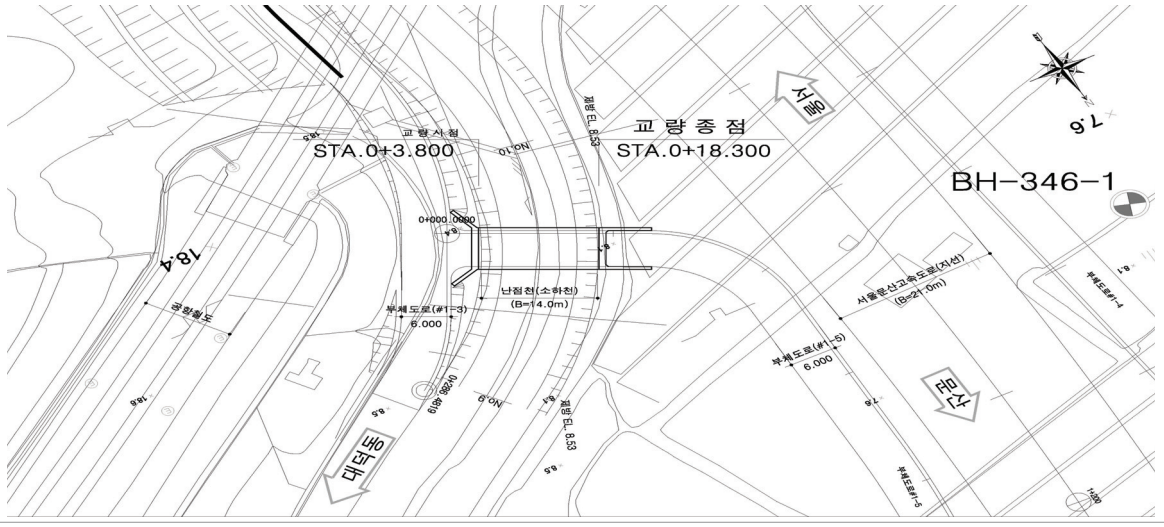
교량형식	•RC 라멘교 : L=10.00m
지 층 분 석	•상부 매립층이 분포하나 기존 수로구간으로 퇴적점토층이 바로 출현 상부 연약점토층이 8.4~11.8m 층후로 분포하며 하부 지지층인 풍화암층이 GL(-) 17.9~20.2m에 출현

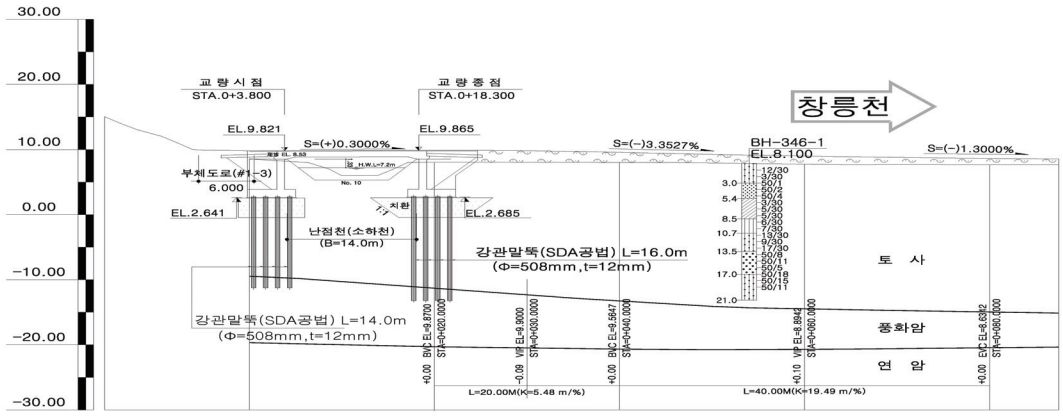
기초 형식 선정

위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
A1	NSB-1	G.L-20.2m	풍화암	강관말뚝기초	보안물건인접 매입공법
A2	NSB-1	G.L-17.9m	풍화암	강관말뚝기초	
선 정 사 유	•A1, A2는 지지층인 풍화암 심도가 GL(-)17.9~20.2m로 강관말뚝기초 선정				

■ 난점천 2교 (STA. 0+3.800 ~ 0+18.300)

종 · 평면도





교량형식	•RC 라멘교 : L=14.50m
지 층 분 석	•상부 매립층이 분포하나 기존 수로구간으로 퇴적점토층이 바로 출현 상부 연약점토층이 3.1m 층후로 분포하며 하부 지지층인 풍화암층이 GL(-) 17.9~19.4m에 출현

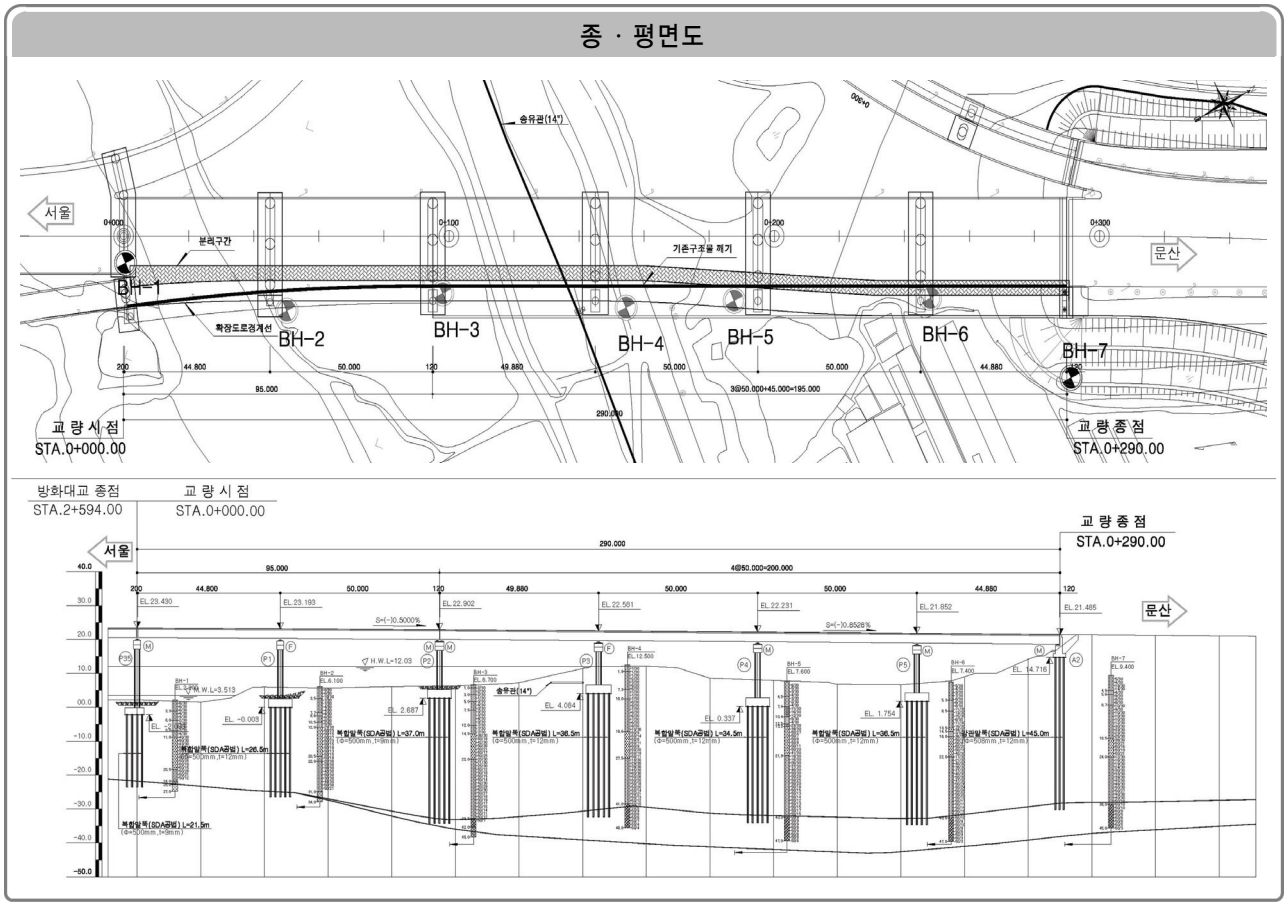
기초 형식 선정

위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
A1	BH-346-1	G.L-17.9m	풍화암	강관말뚝기초	보안물건인접 매입공법
A2	BH-346-1	G.L-19.4m	풍화암	강관말뚝기초	
선 정 사 유	•A1, A2는 지지층인 풍화암 심도가 GL(-)17.9~19.4m로 강관말뚝기초 선정				

1 공구 본선 기초형식 선정

강매교(확장교량) (STA. 0+000.00 ~ 0+290.00)

종 · 평면도



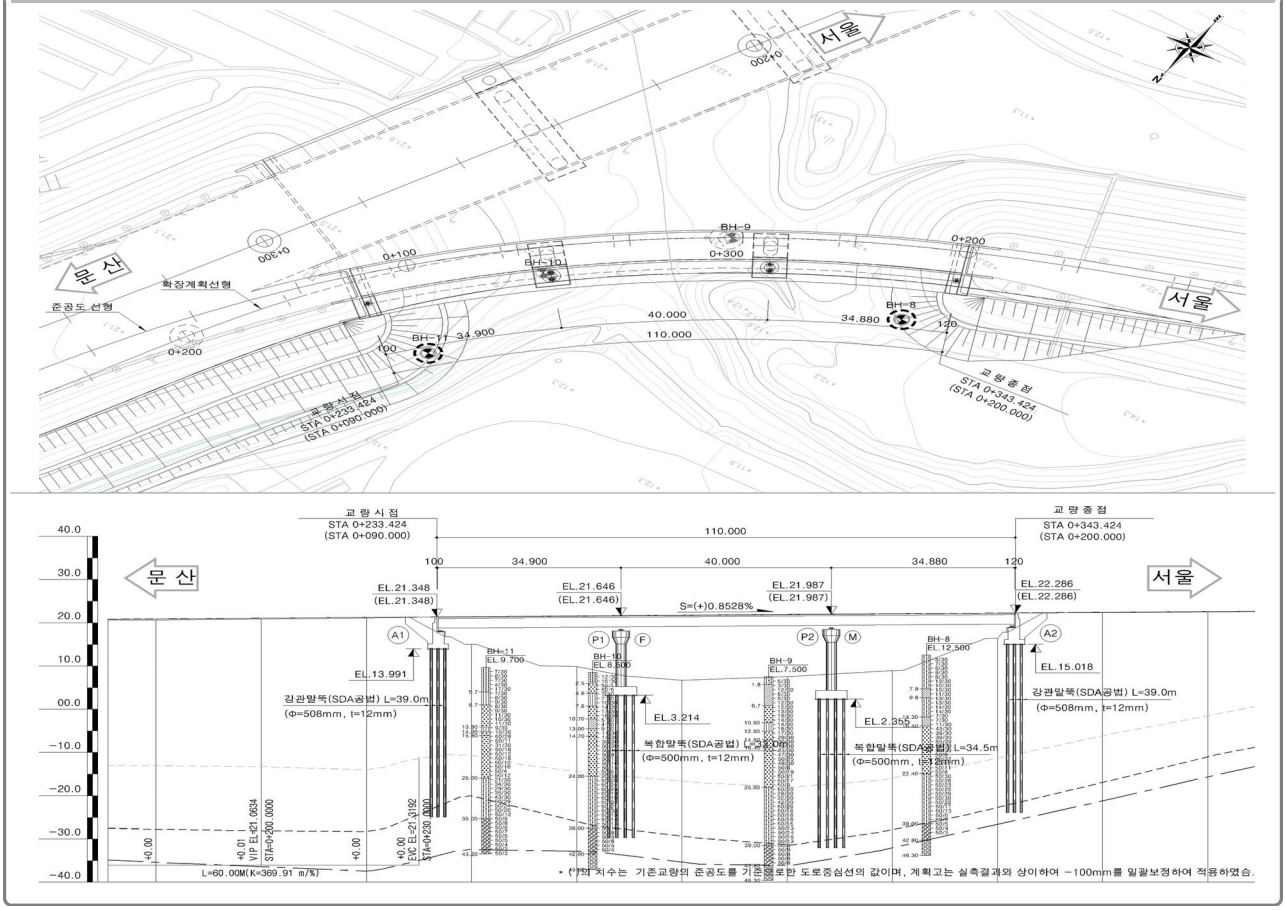
교량형식	•상부구조 형식 : Steel Box교 •6경간 : L = 290.0m
지 층 분 석	•상부 매립층 및 퇴적층이 9.0~12.0m 층후로 분포하며 하부 퇴적모래층 및 풍화토층이 24.0~41.0m에 분포 •지지층인 풍화암 및 연암층이 G.L(-)24.0~45.1m에서 출현

기초 형식 선정

위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
P35(서울-문산)	BH-1	G.L-24.0m	연 암	복합말뚝기초	보안물건인접 매입공법
P1(서울-문산)	BH-2	G.L-31.0m	연 암	복합말뚝기초	
P2(서울-문산)	BH-3	G.L-40.0m	풍화암	복합말뚝기초	
P3(서울-문산)	BH-4	G.L-42.1m	풍화암	복합말뚝기초	
P4(서울-문산)	BH-5	G.L-40.0m	풍화암	복합말뚝기초	
P5(서울-문산)	BH-6	G.L-40.0m	풍화암	복합말뚝기초	
A2(서울-문산)	BH-7	G.L-45.1m	풍화암	강관말뚝기초	
선 정 사 유	•확장교량구간으로 지지층인 풍화암 및 연암 심도가 GL(-)24.0m 이상으로 수평력이 적은 장심도 교각부는 복합말뚝기초로 수평력이 크게 작용하는 교대부는 강관말뚝기초 선정				

북로 IC R-B교(확장교량) (STA. 0+233.424 ~ 0+343.424)

종 · 평면도



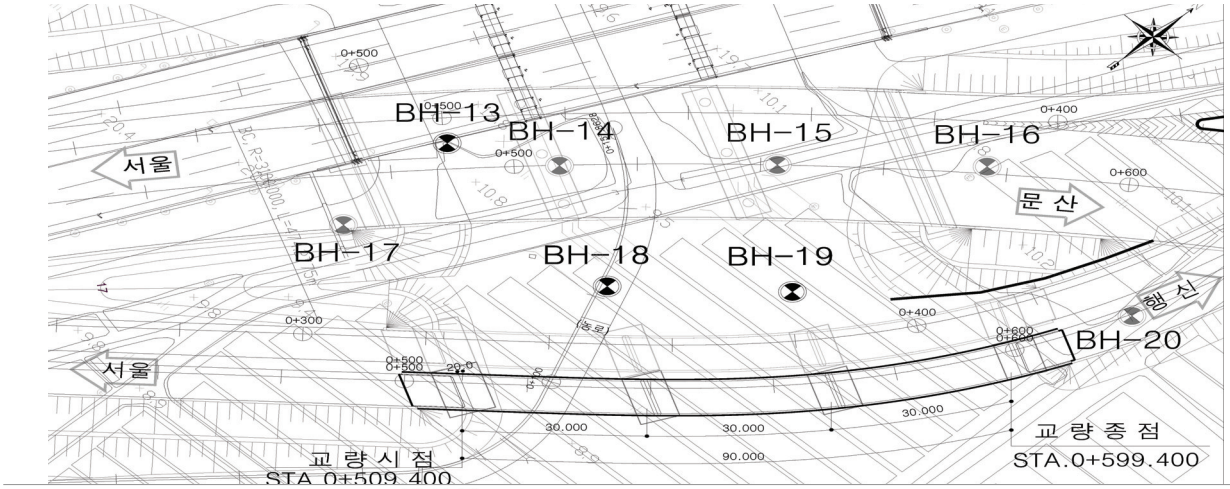
교량형식	•상부구조 형식 : Steel Box교 •3경간 : L = 110.0m
지 층 분 석	•상부 매립층 및 퇴적층이 8.7~16.4m 층후로 분포하며 하부 퇴적모래층 및 풍화토층이 35.0~39.0m까지 분포 •지지층인 풍화암층이 G.L(-)35.0~39.9m에서 출현

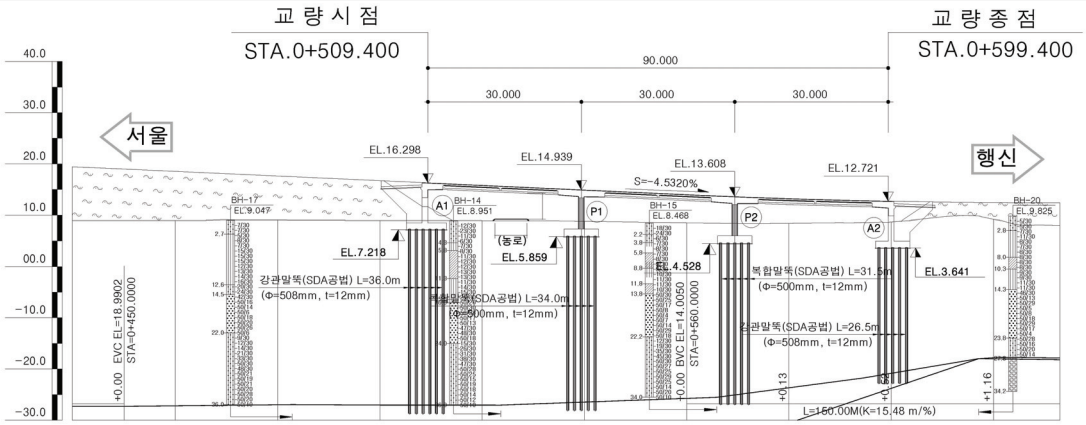
기초 형식 선정

위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
A1(서울-문산)	BH-11	G.L-39.2m	풍화암	강관말뚝기초	보안물건인접 매입공법
P1(서울-문산)	BH-10	G.L-35.6m	풍화암	복합말뚝기초	
P2(서울-문산)	BH-9	G.L-38.1m	풍화암	복합말뚝기초	
A2(서울-문산)	BH-8	G.L-39.9m	풍화암	강관말뚝기초	
선 정 사 유	•확장교량구간으로 지지층인 풍화암층이 GL(-)35.0m 이상으로 수평력이 적은 장심도 교각부는 복합말뚝기초로 수평력이 크게 작용하는 교대부는 강관말뚝기초 선정				

북로IC R-A1교 (STA. 0+509.400 ~ 0+599.400)

종 · 평면도





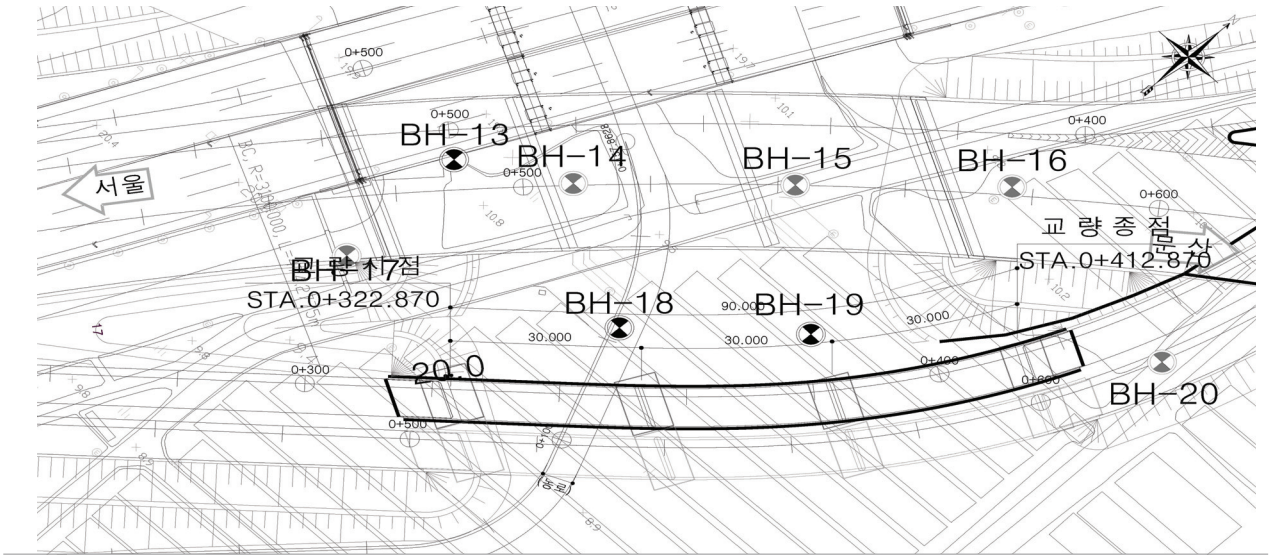
교량형식	•상부구조 형식 : 합성형 라멘교 •3경간 : L = 90.0m
지 층 분 석	•상부 매립층 및 퇴적층이 12.6m 층후로 분포하며, 하부 퇴적모래층 및 풍화토층이 36.0m까지 분포 •지지층인 풍화암층이 G.L(-)29.5~36.0m에서 출현

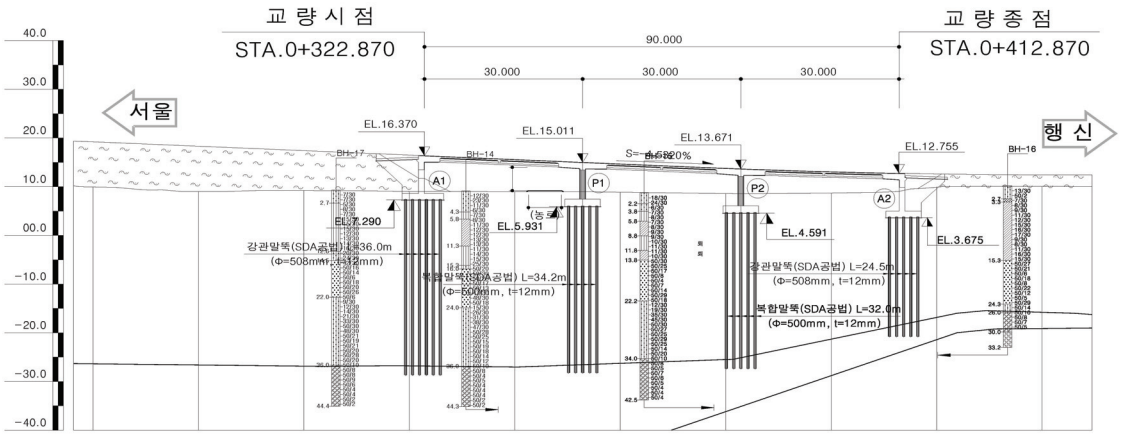
기초 형식 선정

위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
A1(서울-문산)	BH-17	G.L-36.0m	풍화암	강관말뚝기초	보안물건인접 매입공법
P1(서울-문산)	BH-14	G.L-35.3m	풍화암	복합말뚝기초	
P2(서울-문산)	BH-15	G.L-33.8m	풍화암	복합말뚝기초	
A2(서울-문산)	BH-20	G.L-29.5m	풍화암	강관말뚝기초	
선 정 사 유	•지지층인 풍화암층이 GL(-)29.5m 이상 심도에 분포하여 수평력이 적은 장심도 교각부는 복합말뚝기초로 수평력이 크게 작용하는 교대부구간은 강관말뚝기초 선정				

■ 북로IC R-D교 (STA. 0+322.870 ~ 0+412.870)

종 · 평면도





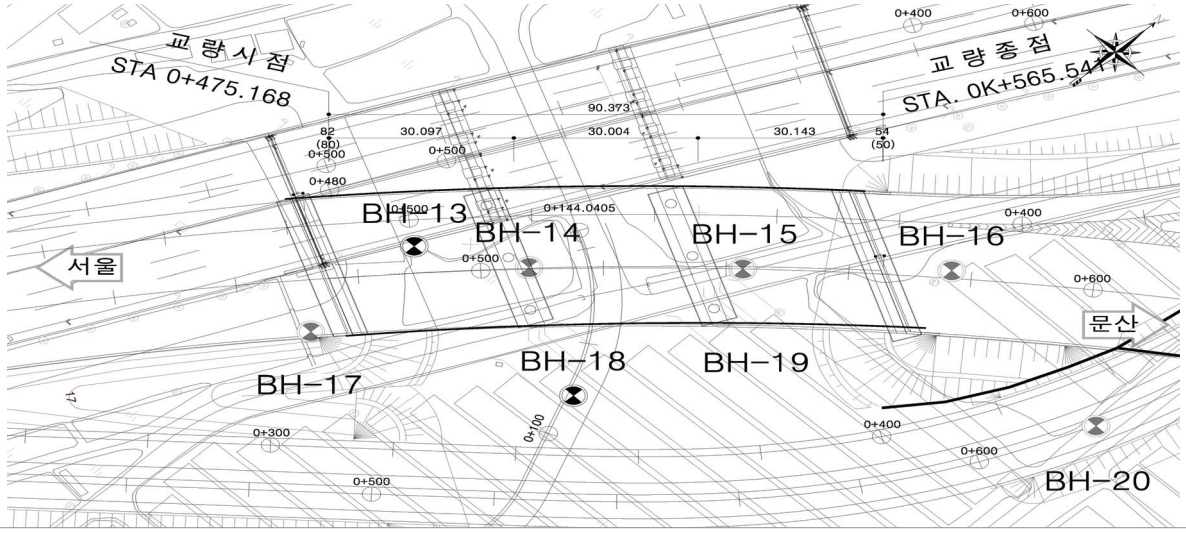
교량형식	•상부구조 형식 : 합성형 라멘교 •3경간 : L = 90.0m
지 층 분 석	•상부 매립층 및 퇴적층이 12.6m 층후로 분포하며, 하부 퇴적모래층 및 풍화토층이 36.0m까지 분포 •지지층인 풍화암층이 G.L(-)27.5~36.0m에서 출현

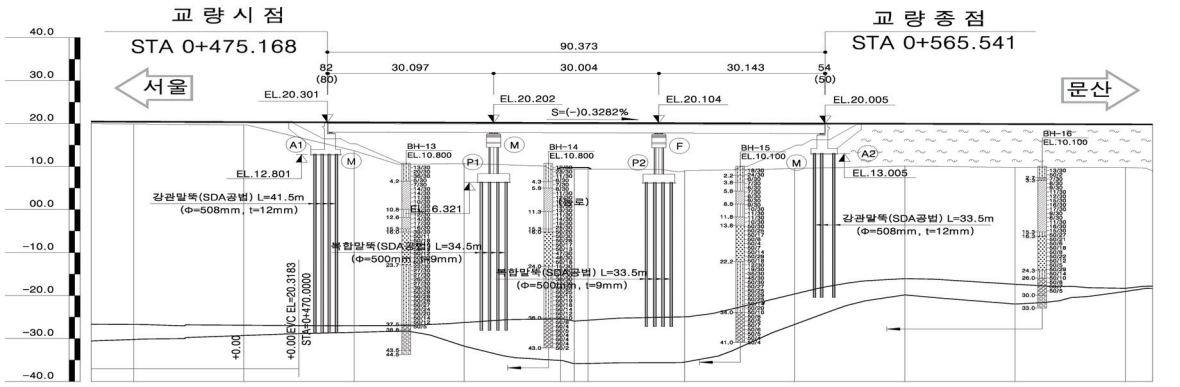
기초 형식 선정

위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
A1(서울-문산)	BH-17	G.L-36.0m	풍화암	강관말뚝기초	보안물건인접 매입공법
P1(서울-문산)	BH-14	G.L-35.3m	풍화암	복합말뚝기초	
P2(서울-문산)	BH-15	G.L-33.8m	풍화암	복합말뚝기초	
A2(서울-문산)	BH-16	G.L-27.5m	풍화암	강관말뚝기초	
선 정 사 유	•지지층인 풍화암층이 GL(-)27.5m 이상 심도에 분포하여 수평력이 적은 장심도 교각부는 복합말뚝기초로 수평력이 크게 작용하는 교대부구간은 강관말뚝기초 선정				

■ 강매 1교 (STA. 0+475.168 ~ 0+565.541)

종 · 평면도





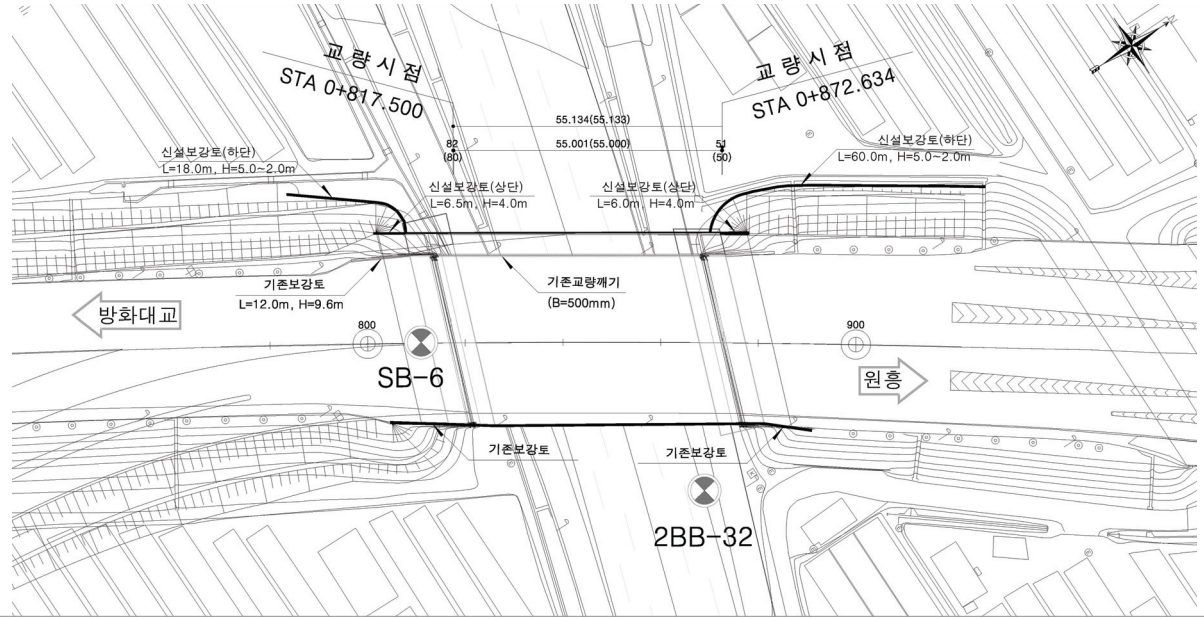
교량형식	•상부구조 형식 : PSC Beam교 •3경간 : L = 90.373m
지 층 분 석	•상부 매립층 및 퇴적층이 12.0~15.3m 층후로 분포하며 하부 퇴적모래층 및 풍화토층이 26.0~37.5m까지 분포 •지지층인 풍화암층이 G.L(-)28.0~41.9m에 출현

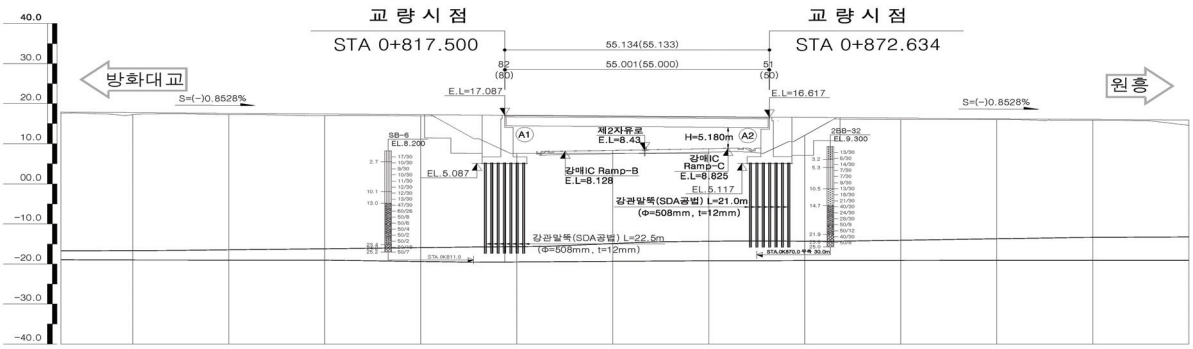
기초 형식 선정

위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
A1(서울-문산)	BH-13	G.L-41.9m	풍화암	강관말뚝기초	보안물건인접 매입공법
P1(서울-문산)	BH-14	G.L-36.3m	풍화암	복합말뚝기초	
P2(서울-문산)	BH-15	G.L-34.4m	풍화암	복합말뚝기초	
A2(서울-문산)	BH-16	G.L-28.0m	풍화암	강관말뚝기초	
선 정 사 유	•지지층인 풍화암층이 GL(-)28.0m 이상 심도에 분포하여 수평력이 적은 장심도 교각부는 복합말뚝기초로 수평력이 크게 작용하는 교대부구간은 강관말뚝기초 선정				

■ 강매IC 1교 (STA. 0+817.500 ~ 0+872.634)

종 · 평면도





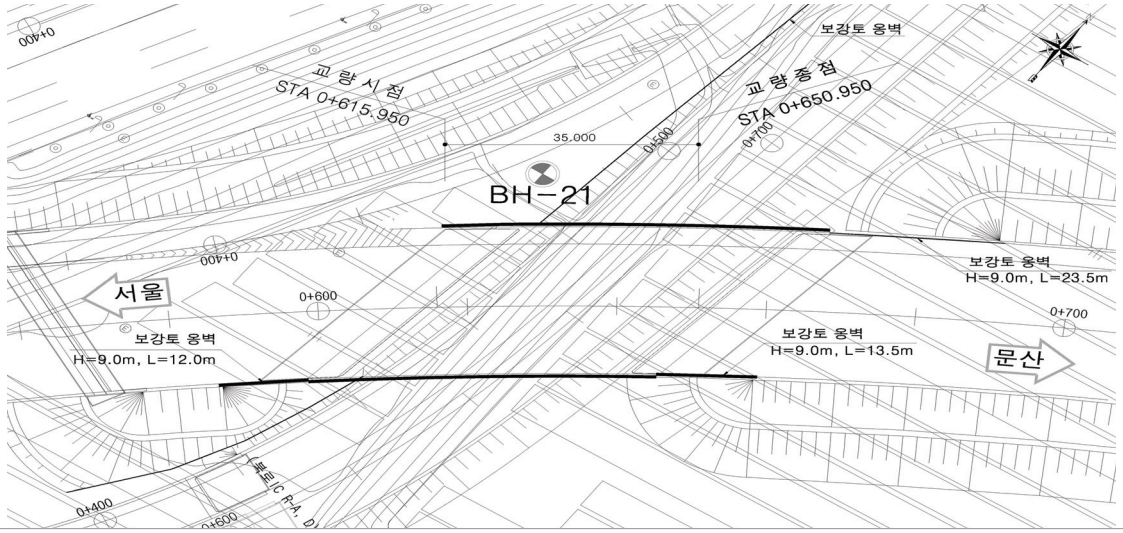
교량형식	•상부구조 형식 : SCP합성거더교 •단경간 : L = 55.134m
지 층 분 석	•상부 매립층 및 퇴적층이 13.0~14.7m 층후로 분포하며 하부 퇴적모래층 및 풍화토층이 21.9~23.4m까지 분포 •지지층인 풍화암층이 G.L(-)23.0~24.3m에 출현

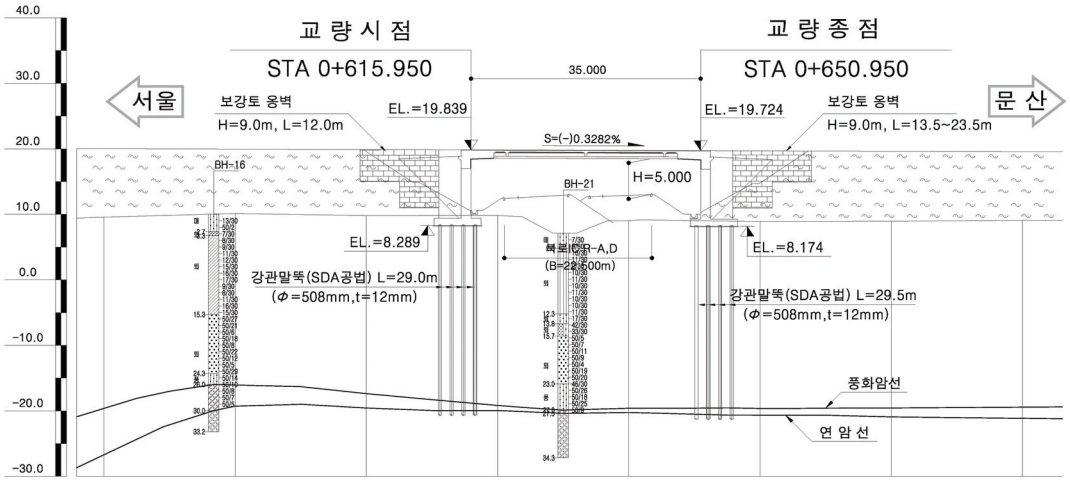
기초 형식 선정

위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
A1(서울-문산)	SB-6	G.L-24.3m	풍화암	강관말뚝기초	보안물건인접 매입공법
A2(서울-문산)	2BB-32	G.L-23.0m	풍화암	강관말뚝기초	
선 정 사 유	•A1, A2는 지지층인 풍화암 심도가 GL(-)23.0~24.3m로 강관말뚝기초 선정				

■ 강매 2교 (STA. 0+615.950 ~ 0+650.950)

종 · 평면도





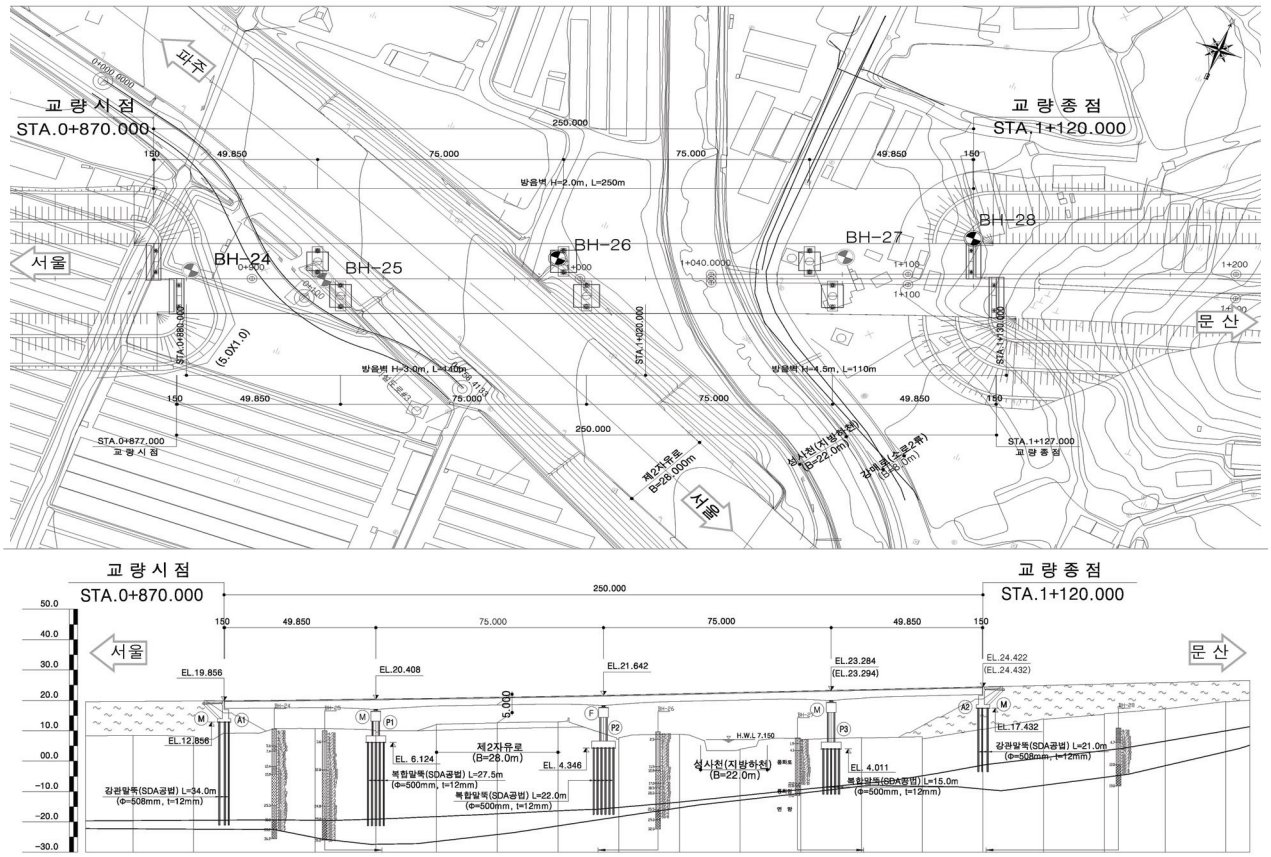
교량형식	•상부구조 형식 : 합성형 라멘교 •단경간 : L = 35.0m
지 층 분 석	•상부 매립층 및 퇴적층이 12.3m 층후로 분포하며 하부 퇴적모래층 및 풍화토층이 27.5m까지 분포 풍화암층의 층후가 0.5m로 깊지 않고 하부 기반암층 출현 •지지층인 연암층이 G.L(-)29.7m에서 출현

기초 형식 선정

위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
A1	BH-21	G.L-29.7m	연 암	강관말뚝기초	보안물건인접 매입공법
A2	BH-21 참조	G.L-29.7m	연 암	강관말뚝기초	
선 정 사 유	•지지층인 연암층이 GL(-)29.7m 이상 심도에 분포하여 수평력이 크게 작용하는 교대부구간은 강관말뚝기초 선정				

■ 강매 3교 (서울 STA. 0+870.00 ~ 1+120.00, 문산 STA. 0+877.00 ~ 1+127.00)

종 · 평면도



교량형식	•상부구조 형식 : Steel Box교 •4경간 : 서울 L = 250.0m, 문산 L = 250.0m
지 층 분 석	•상부 매립층 및 퇴적층이 4.1~12.0m 층후로 분포하며 하부 퇴적모래층 및 풍화토층이 12.0~29.0m까지 분포 •지지층인 풍화암 및 연암층이 G.L(-)12.0~29.0m에서 출현

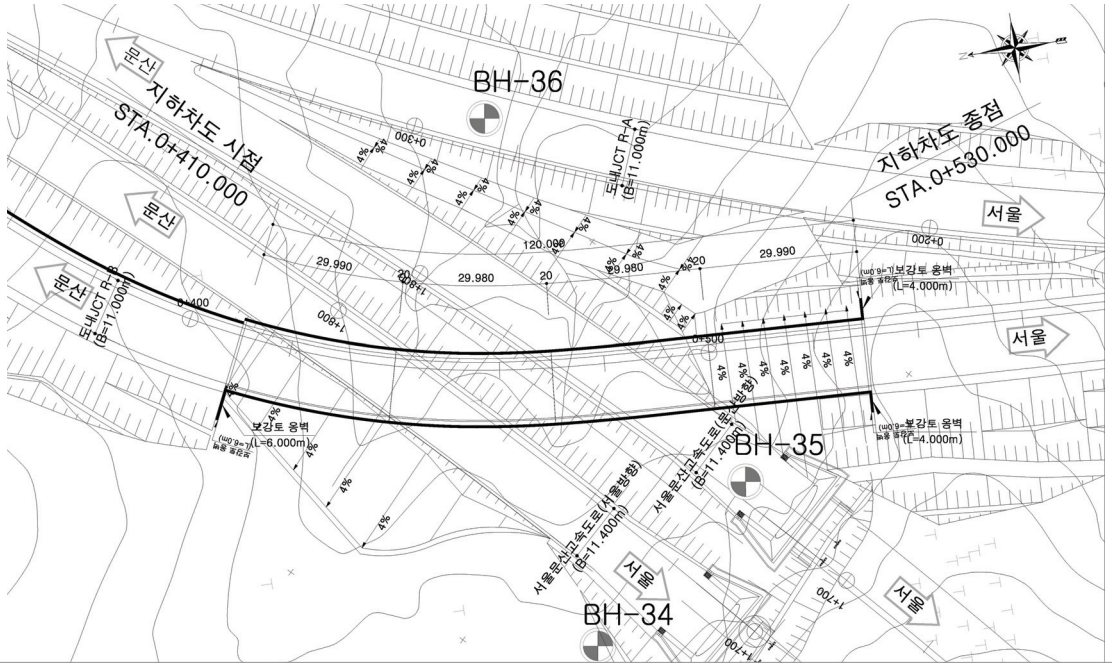
기초 형식 선정

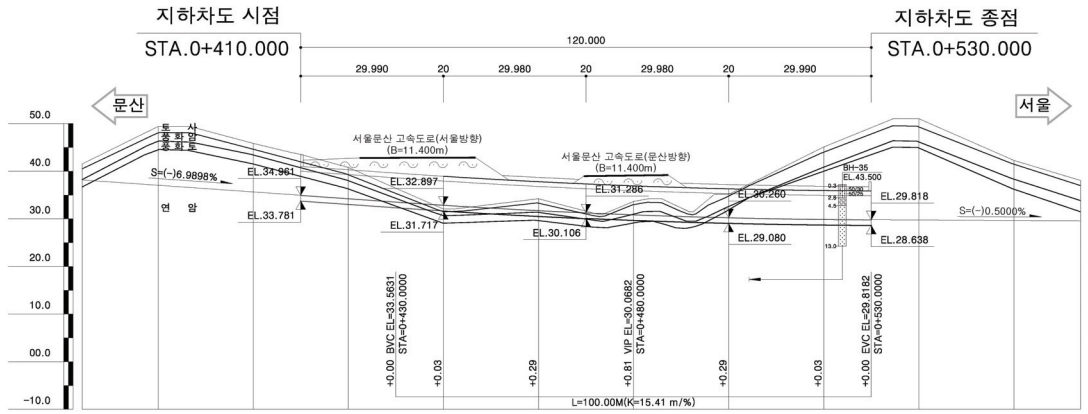
위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
A1(서울-문산)	BH-24	G.L-28.5m	풍화암	강관말뚝기초	보안물건인접 매입공법
P1(서울-문산)	BH-25	G.L-29.0m	풍화암	복합말뚝기초	
P2(서울)	BH-26	G.L-24.8m	풍화암	복합말뚝기초	
P2(문산)	BH-26	G.L-26.0m	연 암	복합말뚝기초	
P3(서울)	BH-27	G.L-16.5m	연 암	복합말뚝기초	
P3(문산)	BH-27	G.L-16.5m	연 암	강관말뚝기초	
A2(서울-문산)	BH-28	G.L-12.0m	풍화암	강관말뚝기초	

선 정 사 유	•지지층인 풍화암 및 연암층이 GL(-)12.0m 이상 심도에 분포하여 수평력이 적은 장심도 교각부는 복합말뚝기초로 수평력이 크게 작용하는 교대부 및 단심도구간은 강관말뚝기초 선정

도내 지하차도 (STA. 0+410.00 ~ 0+530.00)

종 · 평면도





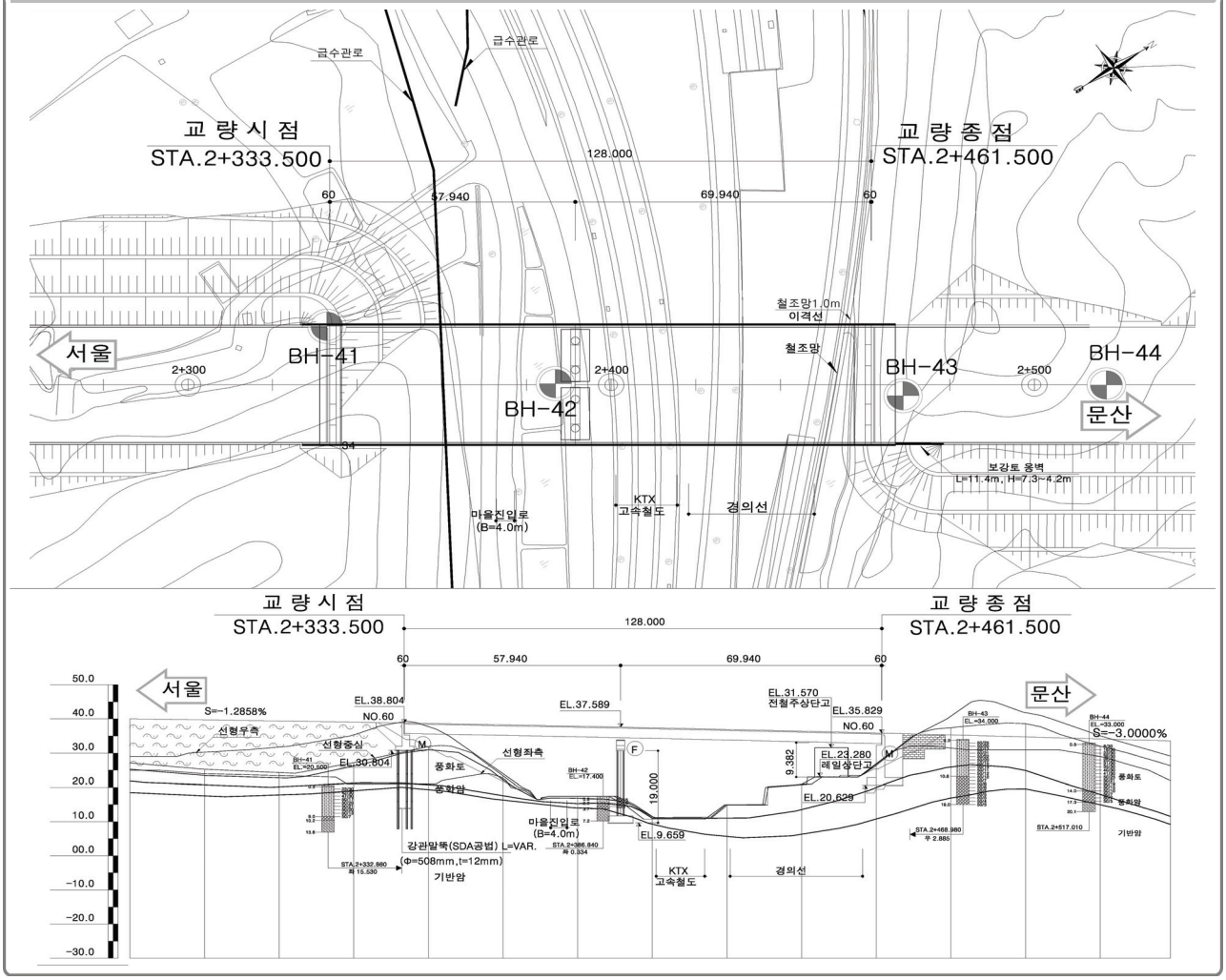
교량형식	•개착박스 RC Box교 L=120.00m
지 층 분 석	•지층구성은 풍화토 / 풍화암/ 연암층 순서로 분포

기초 형식 선정

위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
개착박스	BH-35	G.L-8.4m	풍화암 및 연암	직접기초	Open Cut 공법
선 정 사 유	•개착박스 계획고 하 지지층이 풍화암 및 연암층으로 분포하여 직접기초 선정				

■ 행신 1교 (STA. 2+333.50 ~ 2+461.50)

종 · 평면도



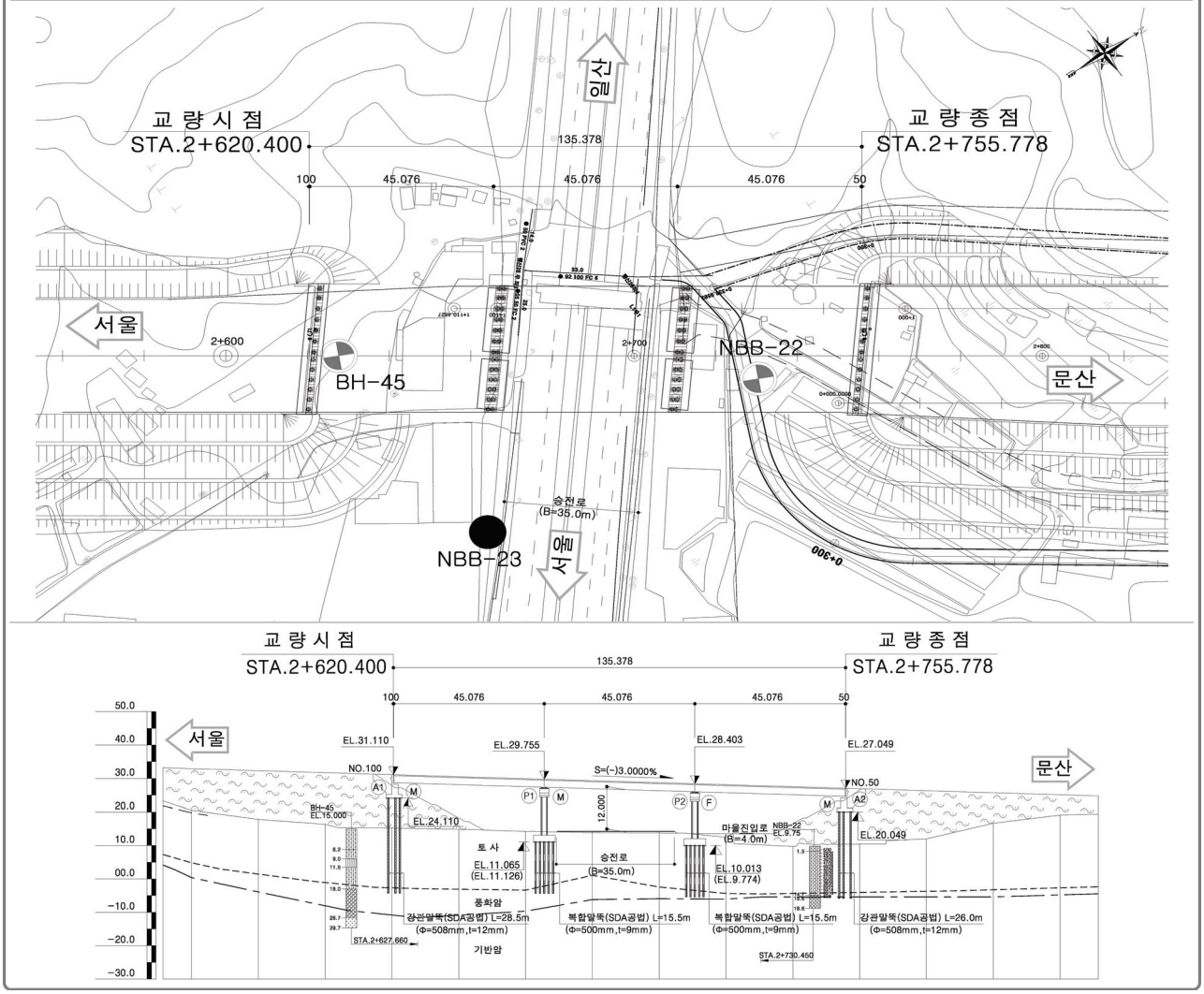
교량형식	•상부구조 형식 : Steel Box교 •2경간 : L = 128.0m
지 층 분 석	•상부 풍화토층으로 3.7~10.8m 층후로 분포하며 하부 지지층인 풍화암 및 연암층이 G.L(-)3.7~10.8m에서 출현

기초 형식 선정

위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
A1(서울-문산)	BH-41	G.L-10.8m	연 암	강관말뚝기초	보안물건인접 매입공법 가시설 공법
P1(서울-문산)	BH-42	G.L-3.7m	연 암	직접기초	
A2(서울-문산)	BH-43	G.L-7.8m	풍화암	직접기초 (Mass Con'c)	
선 정 사 유	•지지층인 풍화암층 및 연암층이 GL(-)3.7~10.8m 이상 심도에 분포하여 지지층이 깊지 않은 P1, A2은 직접기초 A1은 말뚝기초 선정				

행신 2교 (STA. 2+620.400 ~ 2+755.778)

종 · 평면도



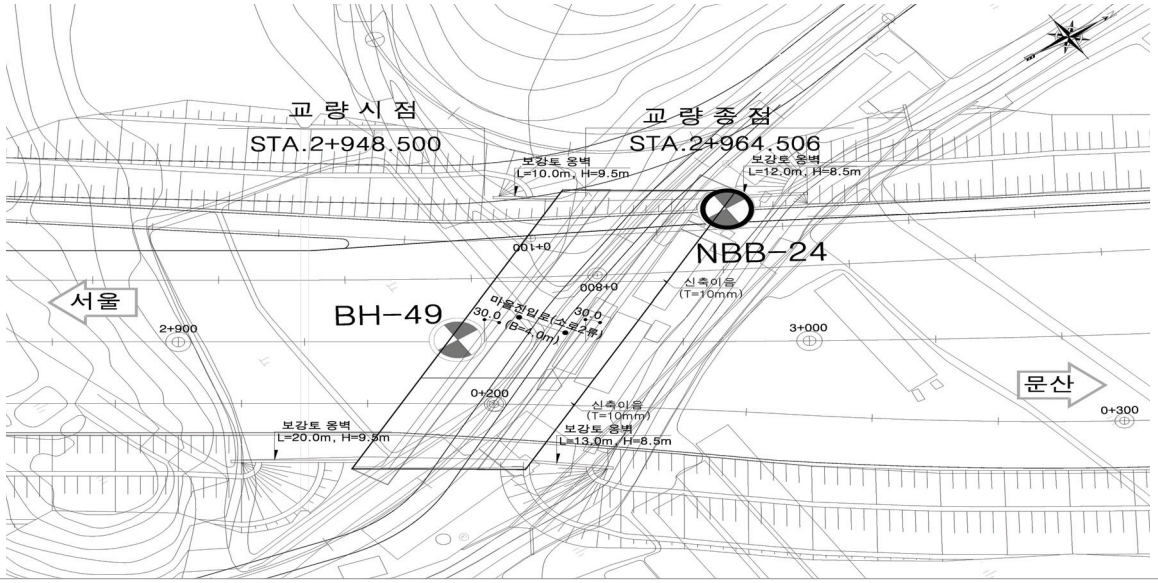
교량형식	•상부구조 형식 : BiCon Girder교 •3경간 : L = 135.378m
지 층 분 석	•상부 매립층 및 퇴적층이 9.0m 층후로 분포하며 하부 풍화토층이 15.6~18.0m까지 분포 •지지층인 풍화암 및 연암층이 G.L(-)15.6~18.0m에서 출현

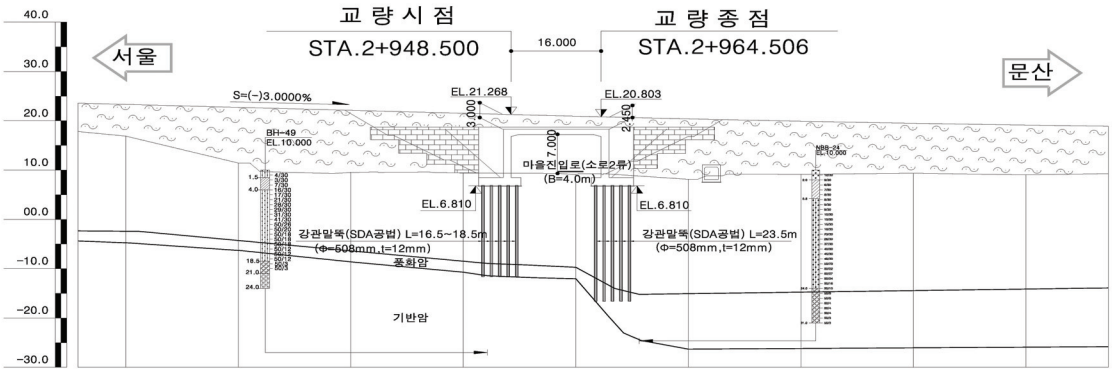
기초 형식 선정

위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
A1(서울-문산)	BH-45	G.L-18.0m	풍화암	강관말뚝기초	보안물건인접 매입공법
P1(서울-문산)	BH-45 참조	G.L-16.3m	풍화암	복합말뚝기초	
P2(서울-문산)	NBB-22 참조	G.L-17.0m	풍화암	복합말뚝기초	
A2(서울-문산)	NBB-22	G.L-15.6m	연 암	강관말뚝기초	
선 정 사 유	•지지층인 풍화암층 및 연암층이 GL(-)15.6m 이상 심도에 분포하여 수평력이 적은 장심도 교각부는 복합말뚝기초로 수평력이 크게 작용하는 교대부구간은 강관말뚝기초 선정				

■ 행신 3교 (STA. 2+948.50 ~ 2+964.50)

종 · 평면도





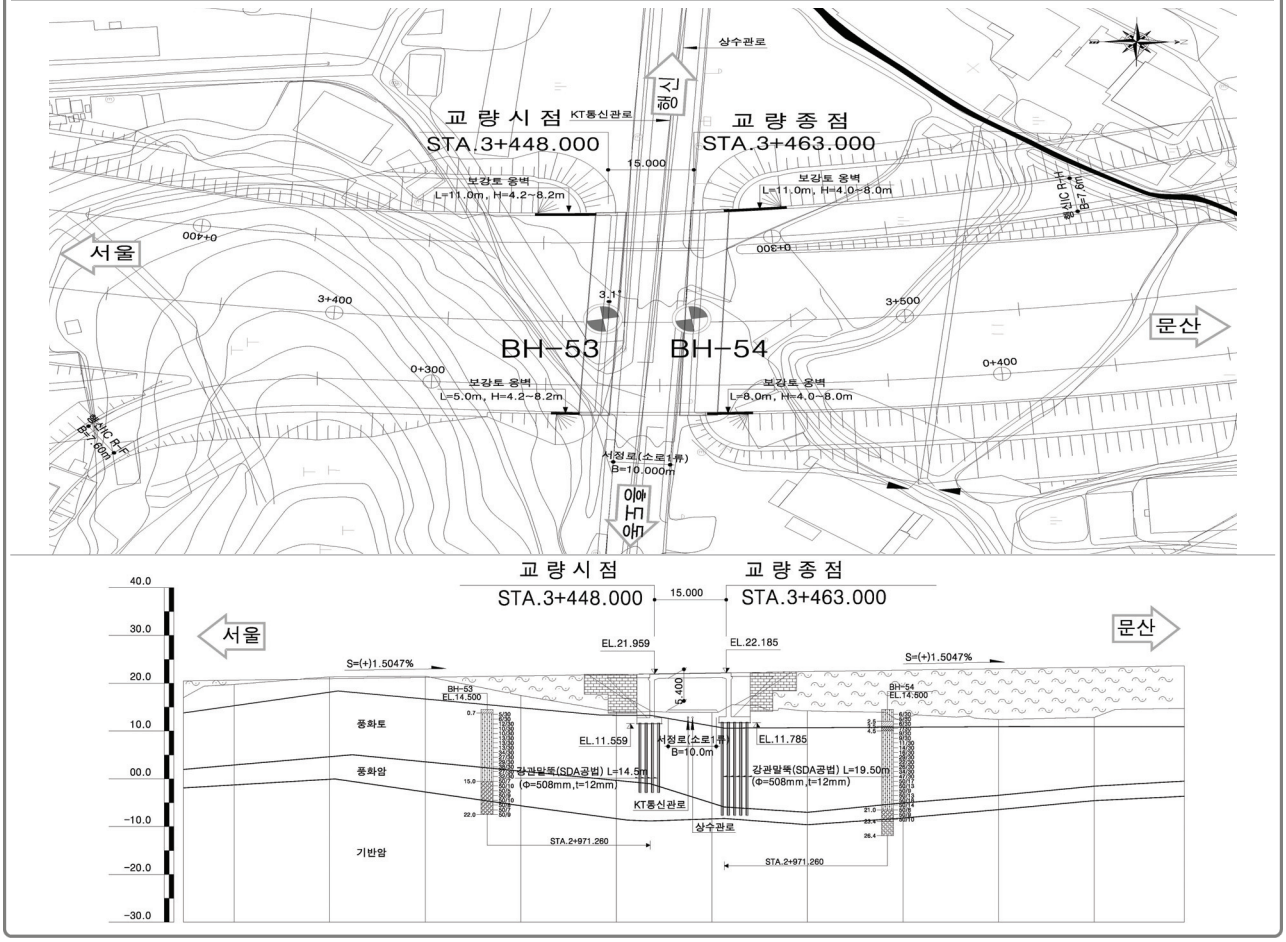
교량형식	•상부구조 형식 : RC 라멘교 •단경간 : L = 16.0m
지 층 분 석	•상부 매립층 및 퇴적층이 5.8m 층후로 분포하며 하부 풍화토층이 18.5~23.0m까지 분포 •지지층인 풍화암층이 G.L(-)18.5~23.0m에서 출현

기초 형식 선정

위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
A1	BH-49	G.L-18.5m	풍화암	강관말뚝기초	보안물건인접 매입공법
A2	NBB-24	G.L-23.0m	풍화암	강관말뚝기초	
선 정 사 유	•지지층인 풍화암층이 GL(-)18.5m 이상 심도에 분포하여 수평력이 크게 작용하는 교대부구간은 강관말뚝기초 선정				

도내교 (STA. 3+448.00 ~ 3+463.00)

종 · 평면도



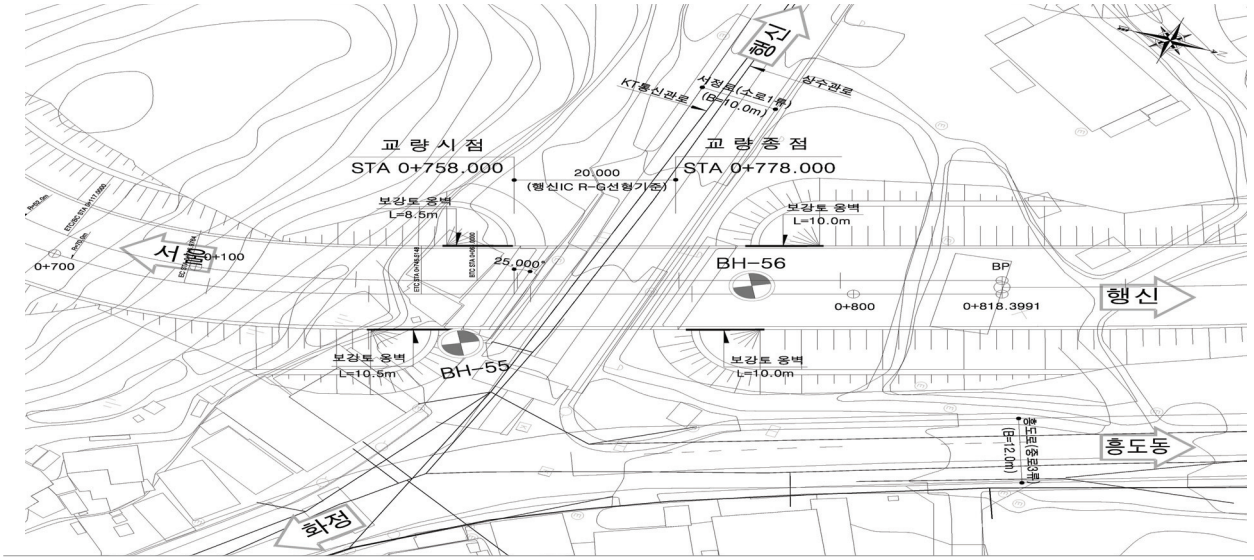
교량형식	•상부구조 형식 : RC 라멘교 •단경간 : L = 15.0m
지 층 분 석	•상부 매립층 및 퇴적층이 0.7~2.5m 층후로 분포하며 하부 풍화토층이 15.0 ~21.0m까지 분포 •지지층인 풍화암층이 G.L(-)15.0~21.0m에서 출현

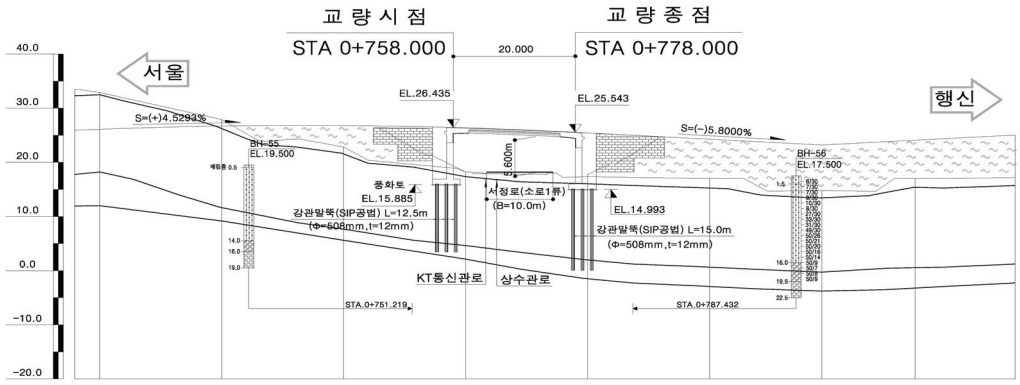
기초 형식 선정

위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
A1	BH-53	G.L-15.0m	풍화암	강관말뚝기초	보안물건인접 매입공법
A2	BH-54	G.L-21.0m	풍화암	강관말뚝기초	
선 정 사 유	•지지층인 풍화암층이 GL(-)15.0m 이상 심도에 분포하여 수평력이 크게 작용하는 교대부구간은 강관말뚝기초 선정				

■ 행신 IC R-G교 (STA. 0+758.00 ~ 0+778.00)

종 · 평면도





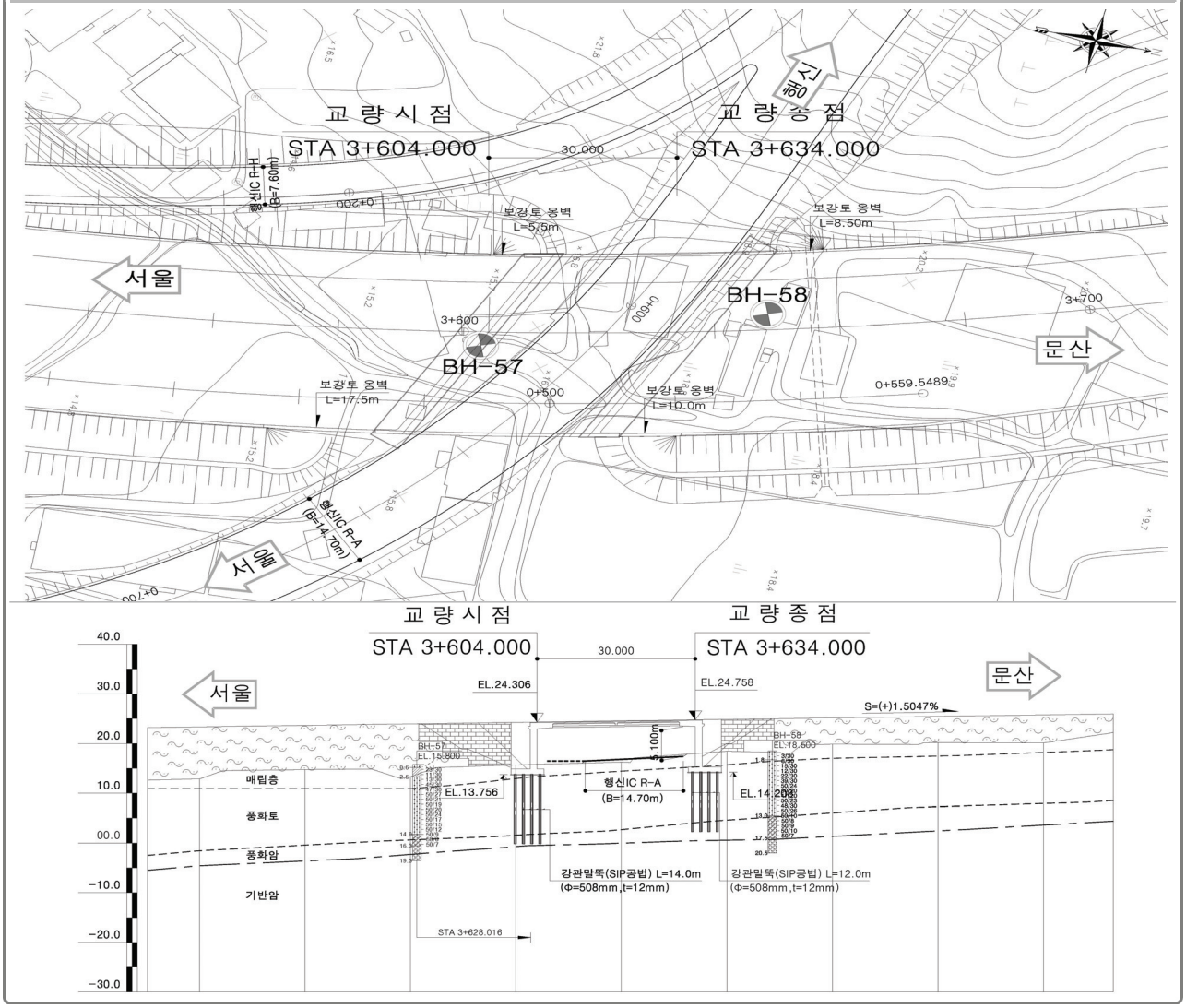
교량형식	•상부구조 형식 : 합성형 라멘교 •단경간 : L = 20.0m
지 층 분 석	•상부 매립층 및 퇴적층이 0.5~1.5m 층후로 분포하며 하부 풍화토층이 14.0 ~16.0m까지 분포 •지지층인 풍화암층이 G.L(-)14~16.0m에서 출현

기초 형식 선정

위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
A1	BH-55	G.L-14.0m	풍화암	강관말뚝기초	보안물건인접 매입공법
A2	BH-56	G.L-16.0m	풍화암	강관말뚝기초	
선 정 사 유	•지지층인 풍화암층이 GL(-)14.0m 이상 심도에 분포하여 수평력이 크게 작용하는 교대부구간은 강관말뚝기초 선정				

■ 행신 IC교 (STA. 3+604.00 ~ 3+634.00)

종 · 평면도



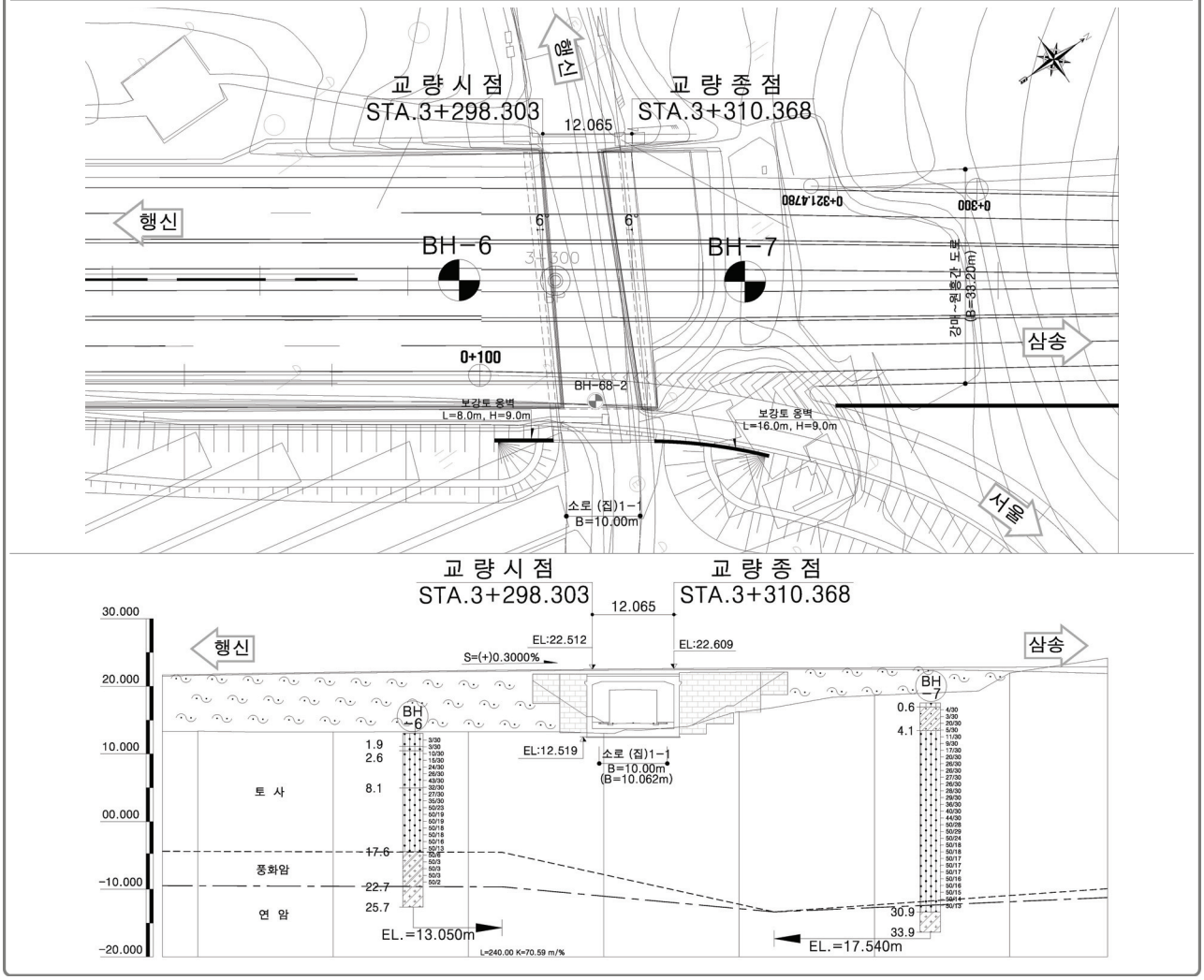
교량형식	•상부구조 형식 : 합성형 라멘교 •단경간 : L = 30.0m
지 층 분 석	•상부 매립층이 2.5m 층후로 분포하며 하부 풍화토층이 13.0~14.0m까지 분포 •지지층인 풍화암층이 G.L(-)13.0m 이상에서 출현

기초 형식 선정

위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
A1	BH-57	G.L-14.0m	풍화암	강관말뚝기초	보안물건인접 매입공법
A2	BH-58	G.L-13.0m	풍화암	강관말뚝기초	
선 정 사 유	•지지층인 풍화암층이 GL(-)13.0m 이상 심도에 분포하여 수평력이 크게 작용하는 교대부구간은 강관말뚝기초 선정				

미병교(기존 박스 확장)(STA. 3+298.303 ~ 3+310.368)

종 · 평면도



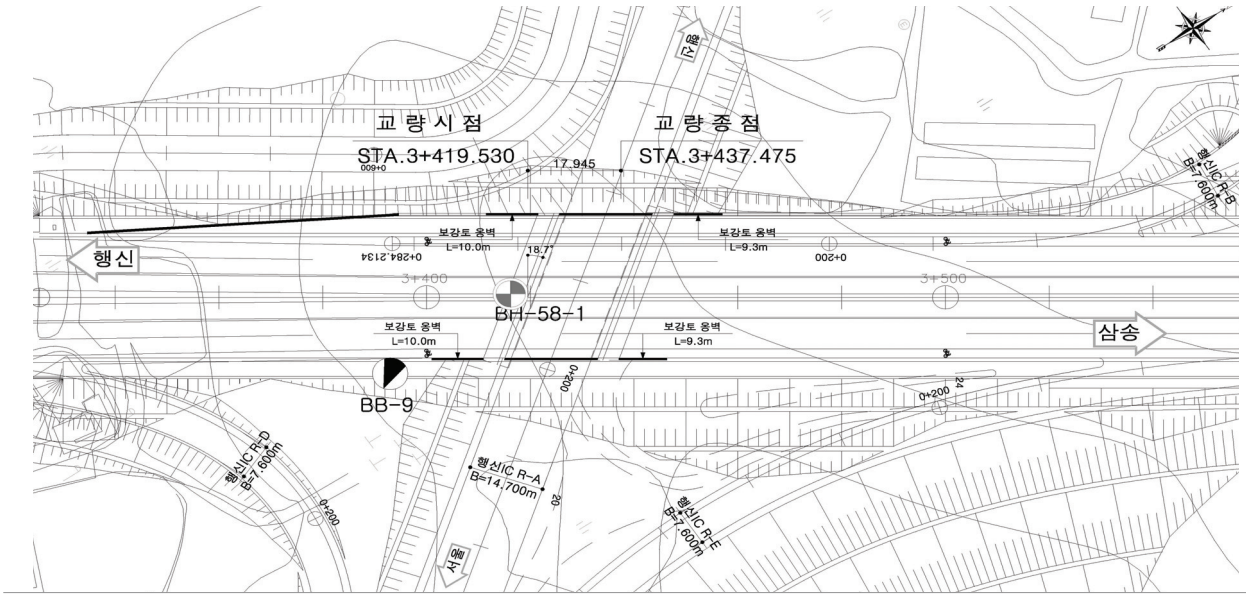
교량형식	•상부구조 형식 : RC 박스교 •L = 12.065m
지 층 분 석	•상부 매립층이 4.1m 층후로 분포하며 하부 지지층인 풍화토층으로 분포

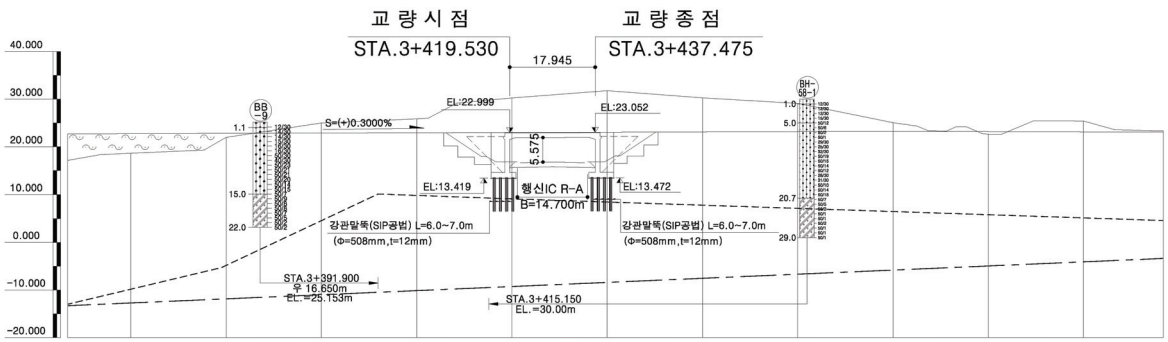
기초 형식 선정

위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
기존박스 확장	BH-6 BH-7	-	풍화토층	직접기초	Open Cut 공법
선 정 사 유	•기존 박스 확장 구간으로 직접기초 선정				

▮ 미병육교 (STA. 3+419.530 ~ 3+437.475)

종 · 평면도





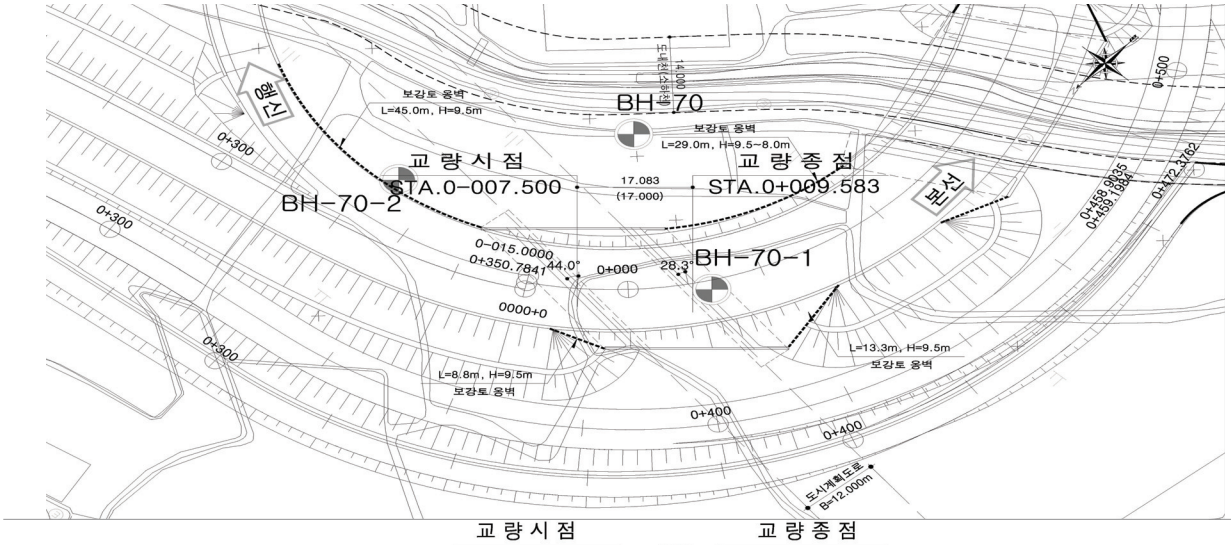
교량형식	•상부구조 형식 : RC 라멘교 •단경간 : L = 17.945m
지 층 분 석	•상부 매립층이 4.1m 층후로 분포하며 하부 풍화토층이 20.7m까지 분포하며, 지지층인 풍화암층이 GL(-)20.7m에 출현

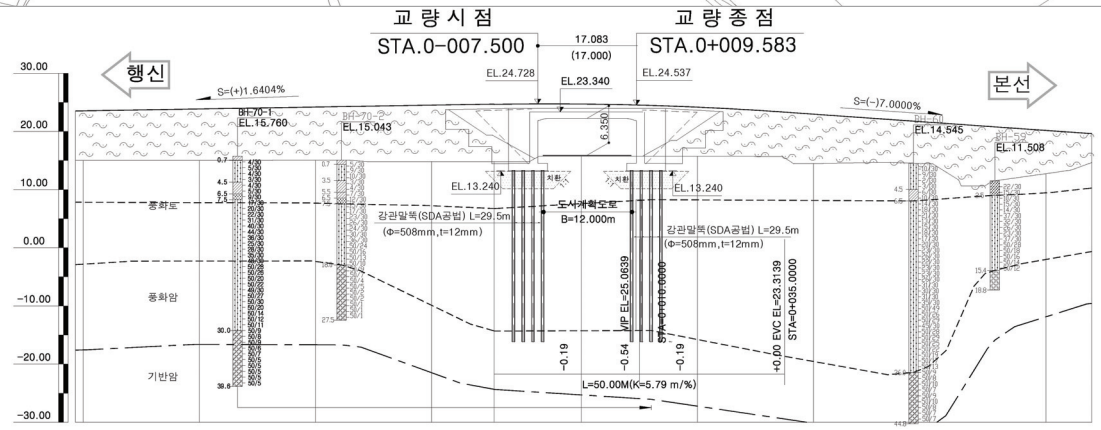
기초 형식 선정

위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
A1	BH-58-1	G.L-20.7m	풍화암	강관말뚝기초	보안물건인접 매입공법
A2	BH-58-1 참조	G.L-20.7m	풍화암	강관말뚝기초	
선 정 사 유	•지지층인 풍화암층이 GL(-)20.7m 이상 심도에 분포하나 종단계획상 상부 깎기 구간에 의한 지지층 심도가 G.L(-)13.8m에 분포하여 강관말뚝기초 선정				

■ 행신 IC R-A1교 (STA. 0-007.5 ~ 0+008.915)

종 · 평면도





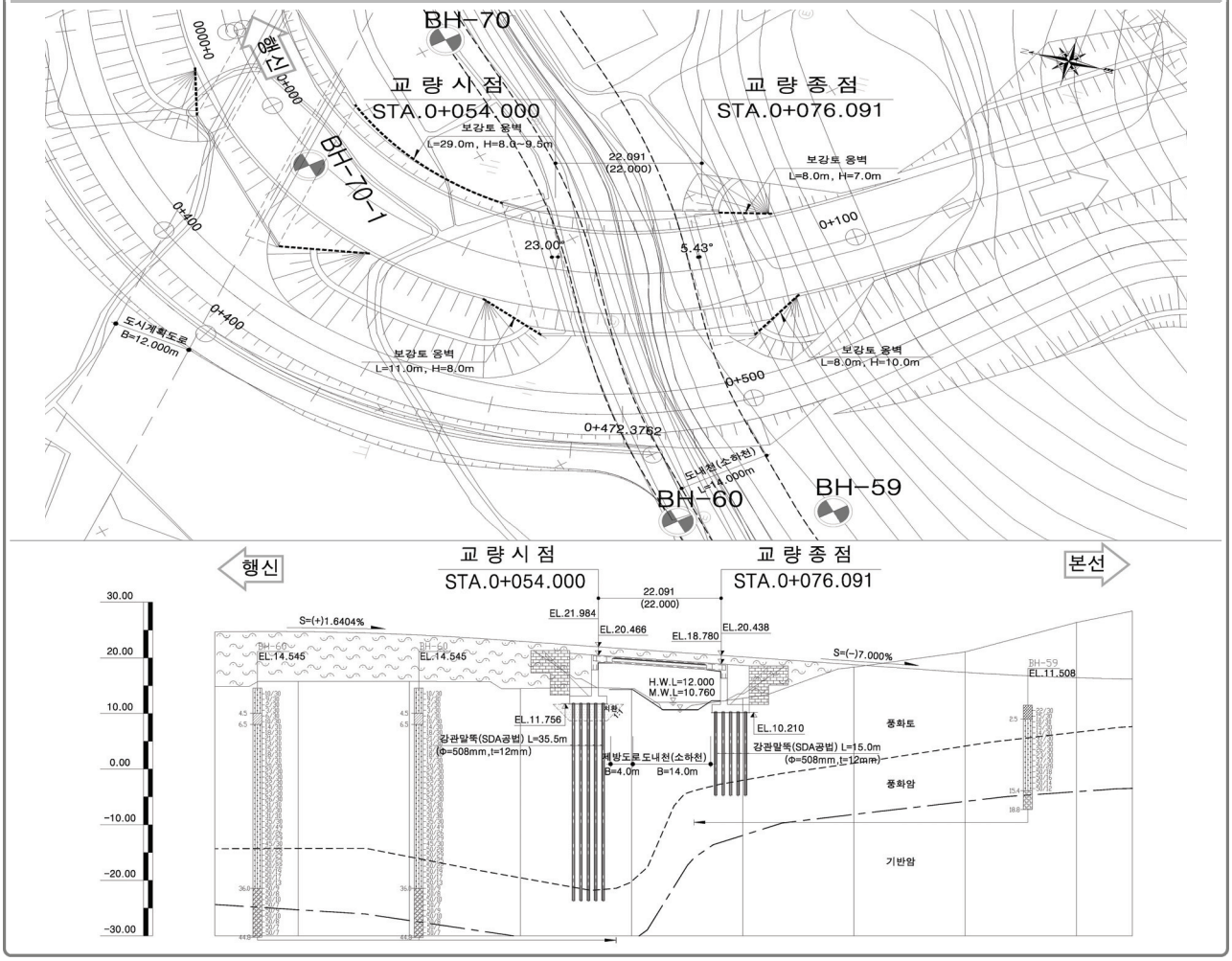
교량형식	•상부구조 형식 : RC 라멘교 •단경간 : L = 17.00m
지 층 분 석	•상부 매립층 및 퇴적층이 2.5~6.5m 층후로 분포하며 하부 풍화토층이 15.4 ~36.0m까지 분포 •지지층인 풍화암 및 연암층이 G.L(-)15.4~36.0m에서 출현

기초 형식 선정

위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
A1	BH-70-1	G.L-30.0m	풍화암	강관말뚝기초	보안물건인접 매입공법
A2	BH-70-1	G.L-30.0m	풍화암	강관말뚝기초	
선 정 사 유	•지지층인 풍화암층이 GL(-)30.0m 심도에 분포하여 수평력이 크게 작용하는 교대부구간은 강관말뚝기초 선정				

■ 행신 IC R-A2교 (STA. 0+054.000 ~ 0+076.091)

종 · 평면도



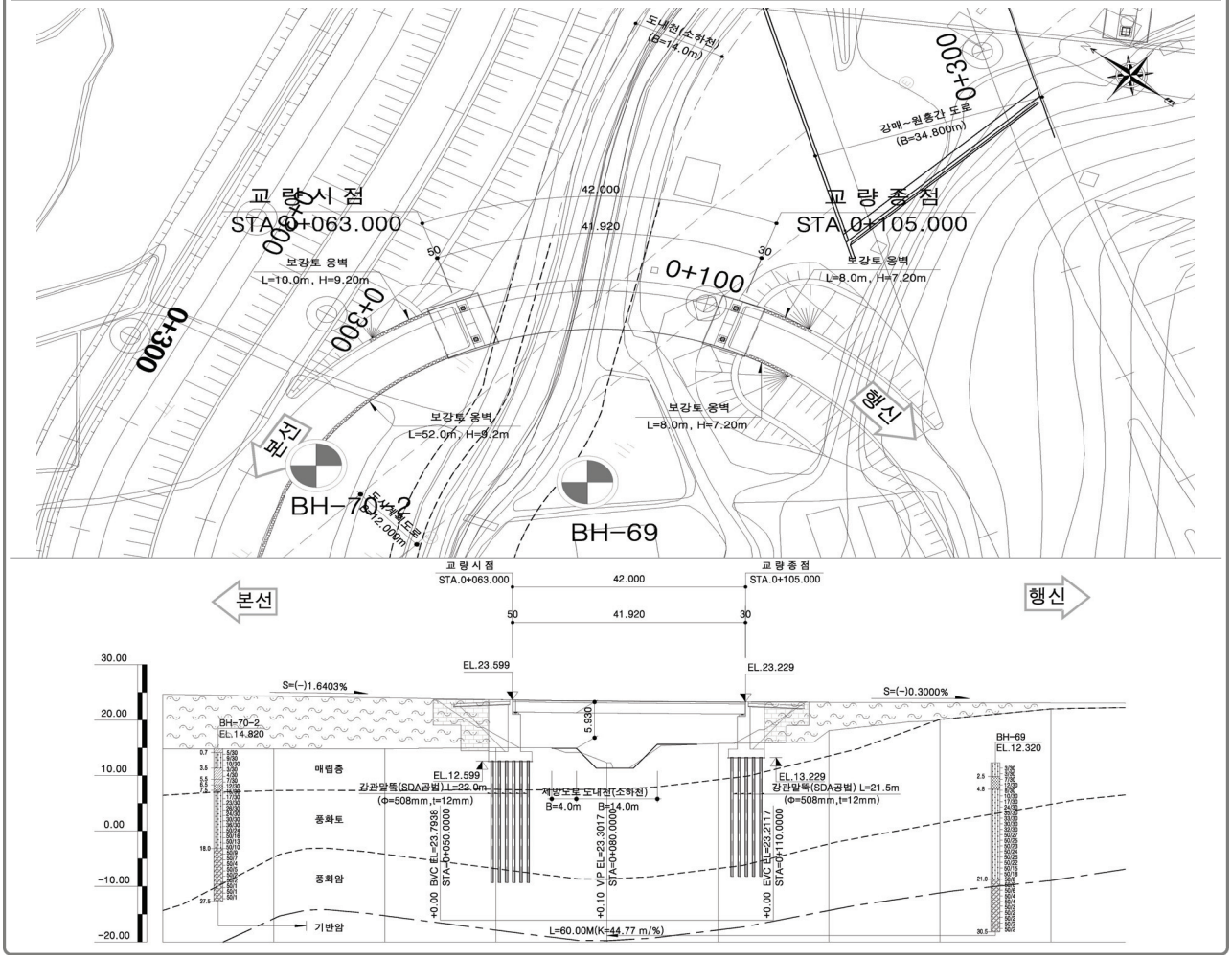
교량형식	•상부구조 형식 : 합성형라멘교 •단경간 : L = 22.00m
지 층 분 석	•상부 매립층 및 퇴적층이 2.5~4.5m 층후로 분포하며 하부 퇴적모래층 및 풍화토층이 14.7~36.2m까지 분포 •지지층인 풍화암층이 G.L(-)14.7~36.2m에서 출현

기초 형식 선정

위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
A1	BH-60	G.L-36.2m	풍화암	강관말뚝기초	보안물건인접 매입공법
A2	BH-59	G.L-14.7m	풍화암	강관말뚝기초	
선 정 사 유	•지지층인 풍화암층이 GL(-)14.7m 이상 심도에 분포하여 수평력이 크게 작용하는 교대부구간은 강관말뚝기초 선정				

■ 행신 IC R-B교 (STA. 0+063.000 ~ 0+105.000)

종 · 평면도



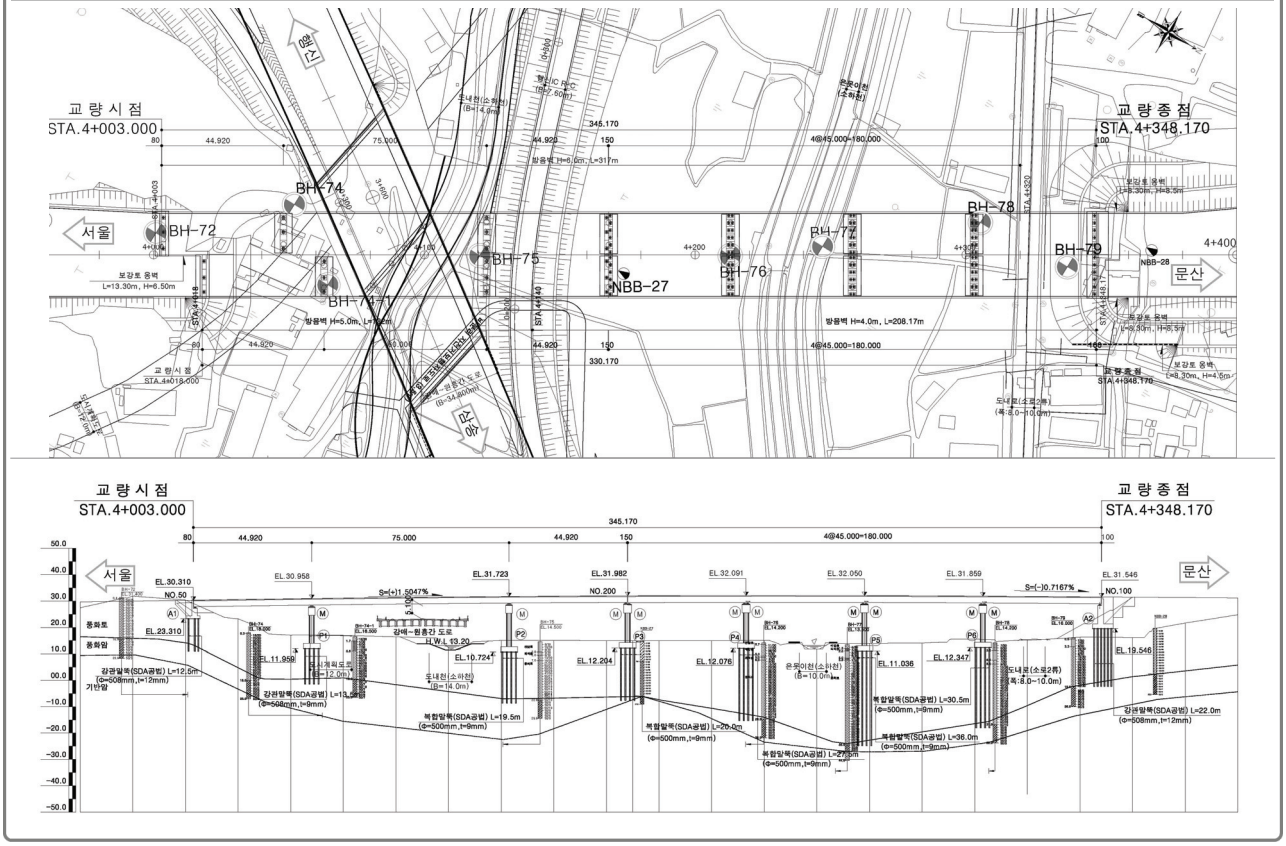
교량형식	•상부구조 형식 : Steel Box교 •단경간 : L = 42.00m
지 층 분 석	•상부 매립층 및 퇴적층이 7.0m 층후로 분포하며 하부 퇴적모래층 및 풍화토층이 18.0 ~21.0m까지 분포 •지지층인 풍화암층이 G.L(-)21.0m에서 출현

기초 형식 선정

위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
A1	BH-69	G.L-21.0m	풍화암	강관말뚝기초	보안물건인접 매입공법
A2	BH-69	G.L-21.0m	풍화암	강관말뚝기초	
선 정 사 유	•지지층인 풍화암층이 GL(-)21.0m 이상 심도에 분포하여 수평력이 크게 작용하는 교대부 구간은 강관말뚝기초 선정				

원흥 1교 (서울 STA. 4+003.00 ~ 4+348.17, 문산 STA. 4+018.00 ~ 4+348.17)

종 · 평면도



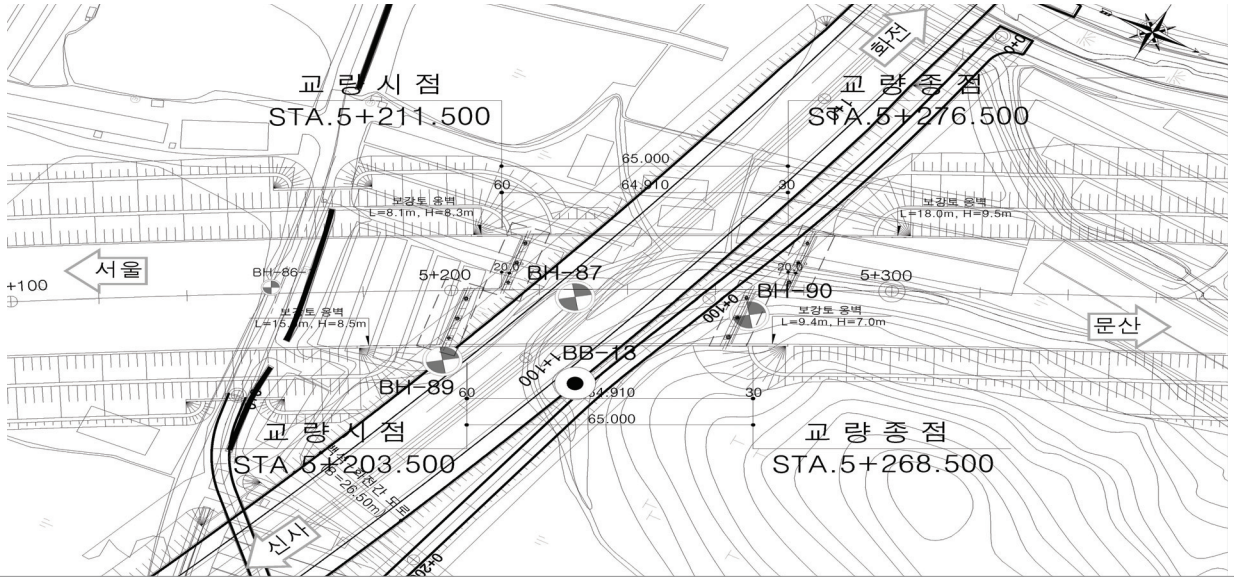
교량형식	•상부구조 형식 : Steel Box교+IPC Girder교 •7경간 : 서울 L = 345.17m, 문산 L = 330.17m
지 층 분 석	•상부 매립층 및 퇴적층이 6.5m 내에서 불규칙하게 분포하며 풍화토층이 15.7 ~36.5m까지 분포 •지지층인 풍화암층이 G.L(-)15.7 ~36.5m에서 출현

기초 형식 선정

위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
A1(서울-문산)	BH-72	G.L-15.7m	풍화암	강관말뚝기초	보안물건인접 매입공법
P1(서울-문산)	BH-74, 74-1 참조	G.L-16.5~22.0m	풍화암	강관말뚝기초	
P2(서울-문산)	BH-75	G.L-22.0m	풍화암	복합말뚝기초	
P3(서울-문산)	NBB-27	G.L-21.5m	풍화암	복합말뚝기초	
P4~5(서울-문산)	BH-76,77	G.L-27.0~36.5m	풍화암	복합말뚝기초	
P6(서울-문산)	BH-78	G.L-31.0m	풍화암	복합말뚝기초	
A2(서울-문산)	BH-79	G.L-16.0m	풍화암	강관말뚝기초	
선 정 사 유	•지지층인 풍화암 및 연암층이 GL(-)15.7m 이상 심도에 분포하여 수평력이 적은 장심도 교각부는 복합말뚝기초로 수평력이 크게 작용하는 교대부 및 단심도구간은 강관말뚝기초 선정				

■ 원흥 2교 (서울 STA. 5+211.50 ~ 5+276.50, 문산 STA. 5+203.50 ~ 5+268.50)

종 · 평면도



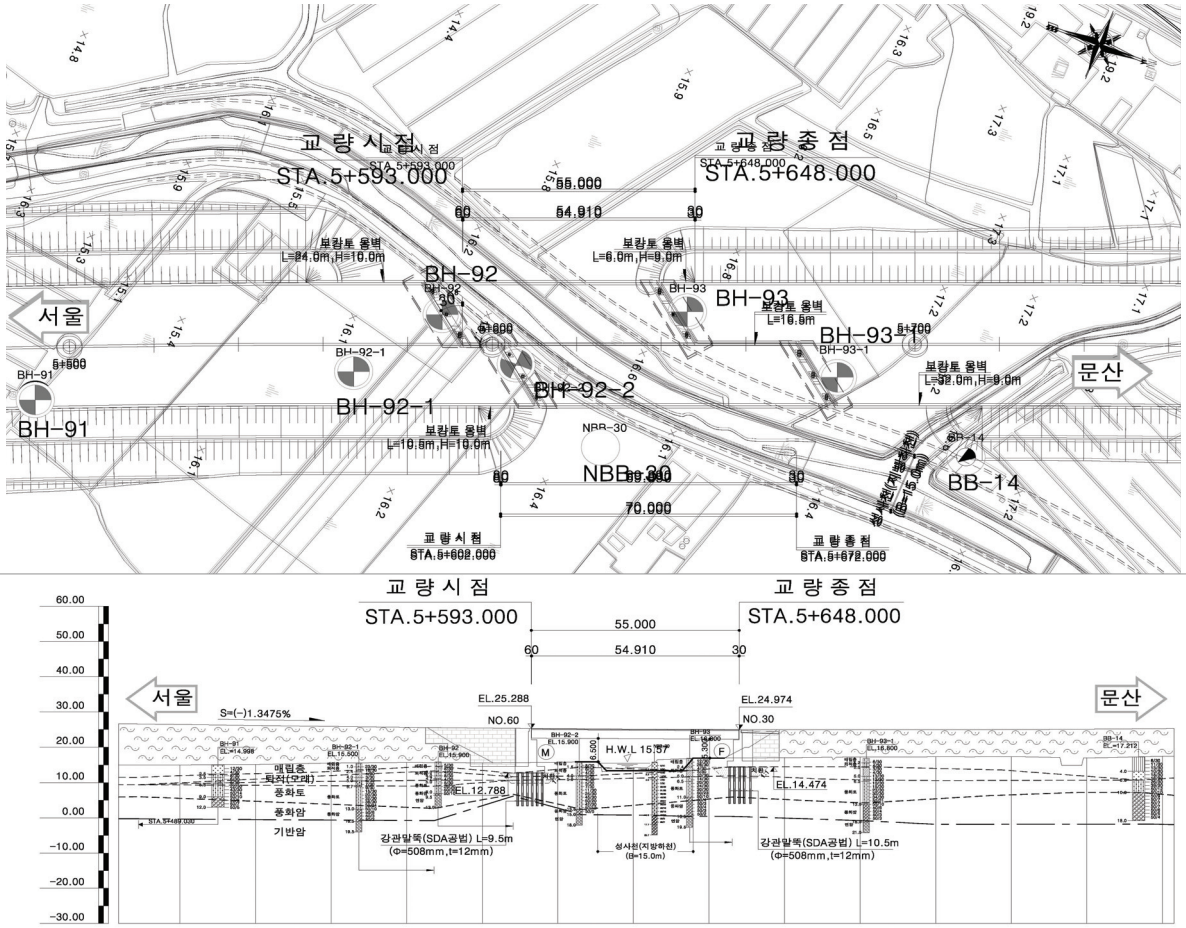
교량형식	•상부구조 형식 : Steel Box교 •단경간 : 서울 L = 65.00m, 문산 L = 65.00m
지 층 분 석	•상부 매립층 및 퇴적층이 5.1~5.7m 층후로 분포하며 하부 풍화토층이 13.3~16.0m까지 분포 •지지층인 풍화암층이 G.L(-)13.3~16.0m에서 출현

기초 형식 선정

위 치		시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
A1	서울	BH-89	G.L-16.0m	풍화암	강관말뚝기초	보안물건인접 매입공법
	문산	BH-89	G.L-16.0m	풍화암	강관말뚝기초	
A2	서울	BH-90	G.L-13.3m	풍화암	강관말뚝기초	
	문산	BH-90	G.L-13.3m	풍화암	강관말뚝기초	
선 정 사 유		•지지층인 풍화암층이 GL(-)13.3m 이상 심도에 분포하여 수평력이 크게 작용하는 교대부구간은 강관말뚝기초 선정				

■ 성사 3교 (서울 STA. 5+593.00 ~ 5+648.00, 문산 STA. 5+602.00 ~ 5+672.00)

종 · 평면도



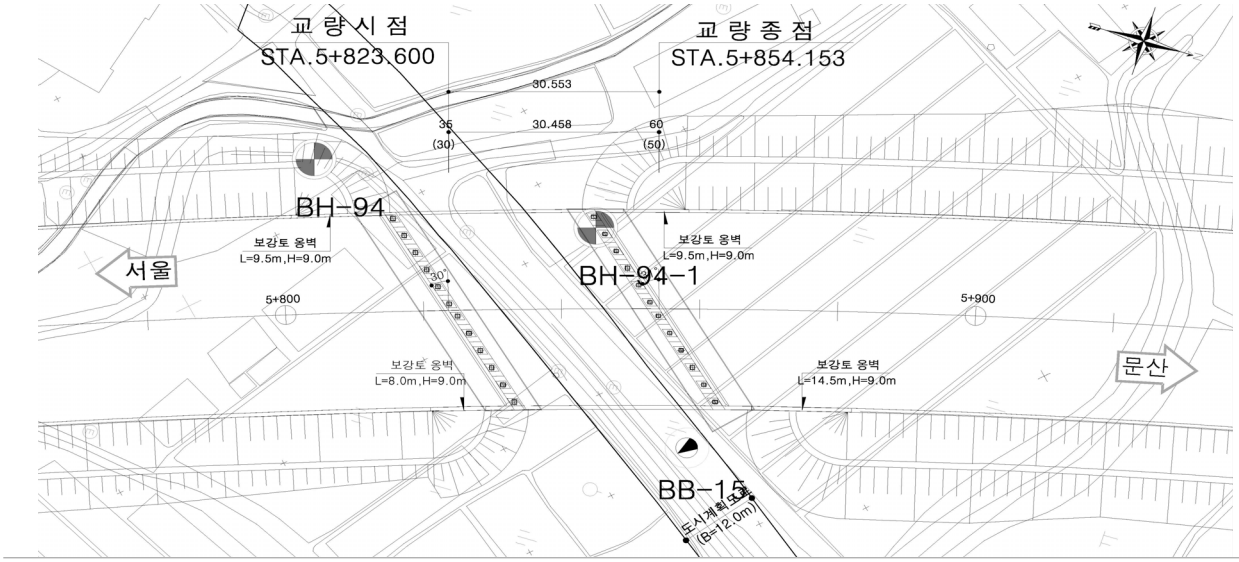
교량형식	•상부구조 형식 : Steel Box교 •단경간 : 서울 L = 55.0m, 문산 L = 70.0m
지 층 분 석	•상부 매립층 및 퇴적층이 5.0~5.6m 층후로 분포하며 하부 풍화토층이 7.6~12.6m까지 분포 •지지층인 풍화암층이 G.L(-)7.6~12.6m에서 출현

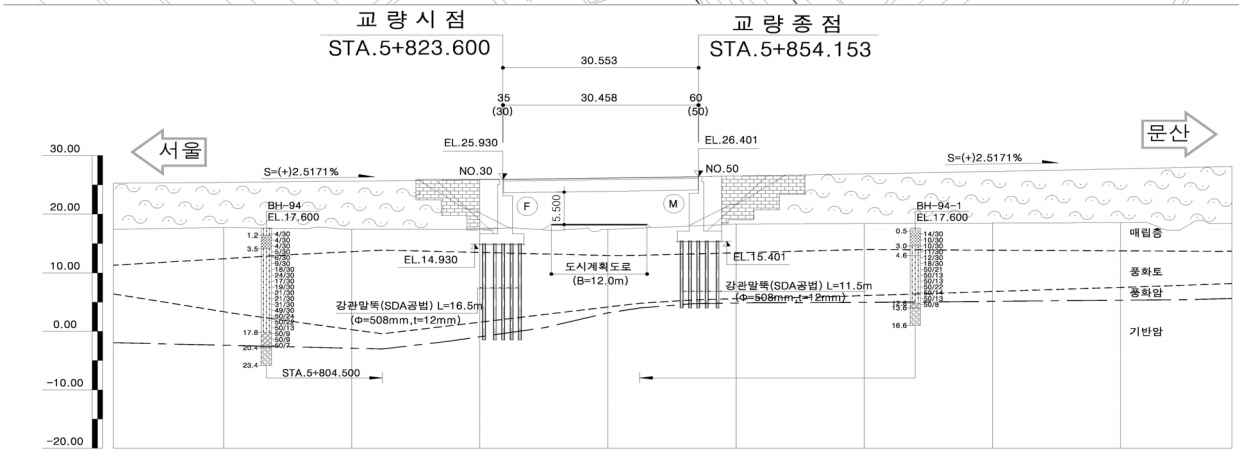
기초 형식 선정

위 치		시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
A1	서울	BH-92	G.L-7.6m	풍화암/연암	강관말뚝기초	보안물건인접 매입공법
	문산	BH-92-2	G.L-12.6m	풍화암/연암	강관말뚝기초	
A2	서울	BH-93	G.L-11.0m	풍화암	강관말뚝기초	
	문산	BH-93-1	G.L-12.4m	풍화암	강관말뚝기초	
선 정 사 유		•지지층인 풍화암 및 연암층이 GL(-)7.6m 이상 심도에 분포하여 강관말뚝기초 선정 •A1 구간은 지층 횡단상 변화구간으로 지지층이 연암에서 풍화암 층후가 깊게 분포				

■ 성사 4교 (STA. 5+823.600 ~ 5+854.153)

종 · 평면도





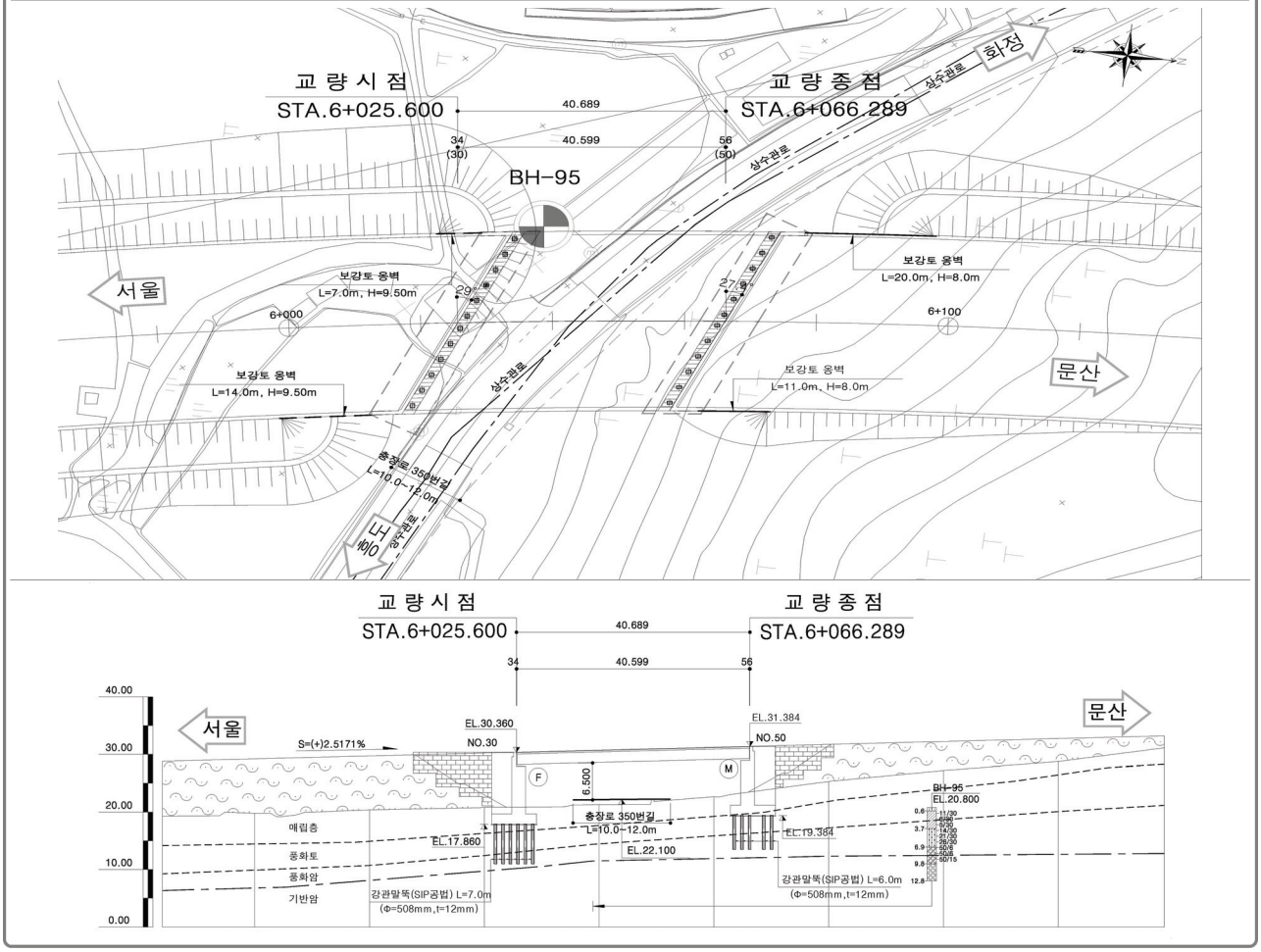
교량형식	•상부구조 형식 : PSC Beam교 •단경간 : L = 30.553m
지 층 분 석	•상부 매립층이 3.0~3.5m 층후로 분포하며 하부 풍화토층이 12.8~17.5m까지 분포 •지지층인 연암층이 G.L(-)13.2 ~17.5m에서 출현

기초 형식 선정

위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
A1	BH-94	G.L-17.5m	연 암	강관말뚝기초	보안물건인접 매입공법
A2	BH-94-1	G.L-13.2m	연 암	강관말뚝기초	
선 정 사 유	•지지층인 연암층이 GL(-)13.2m 이상 심도에 분포하여 수평력이 크게 작용하는 교대부 구간은 강관말뚝기초 선정				

성사 5교 (STA. 6+025.600 ~ 6+066.289)

종 · 평면도



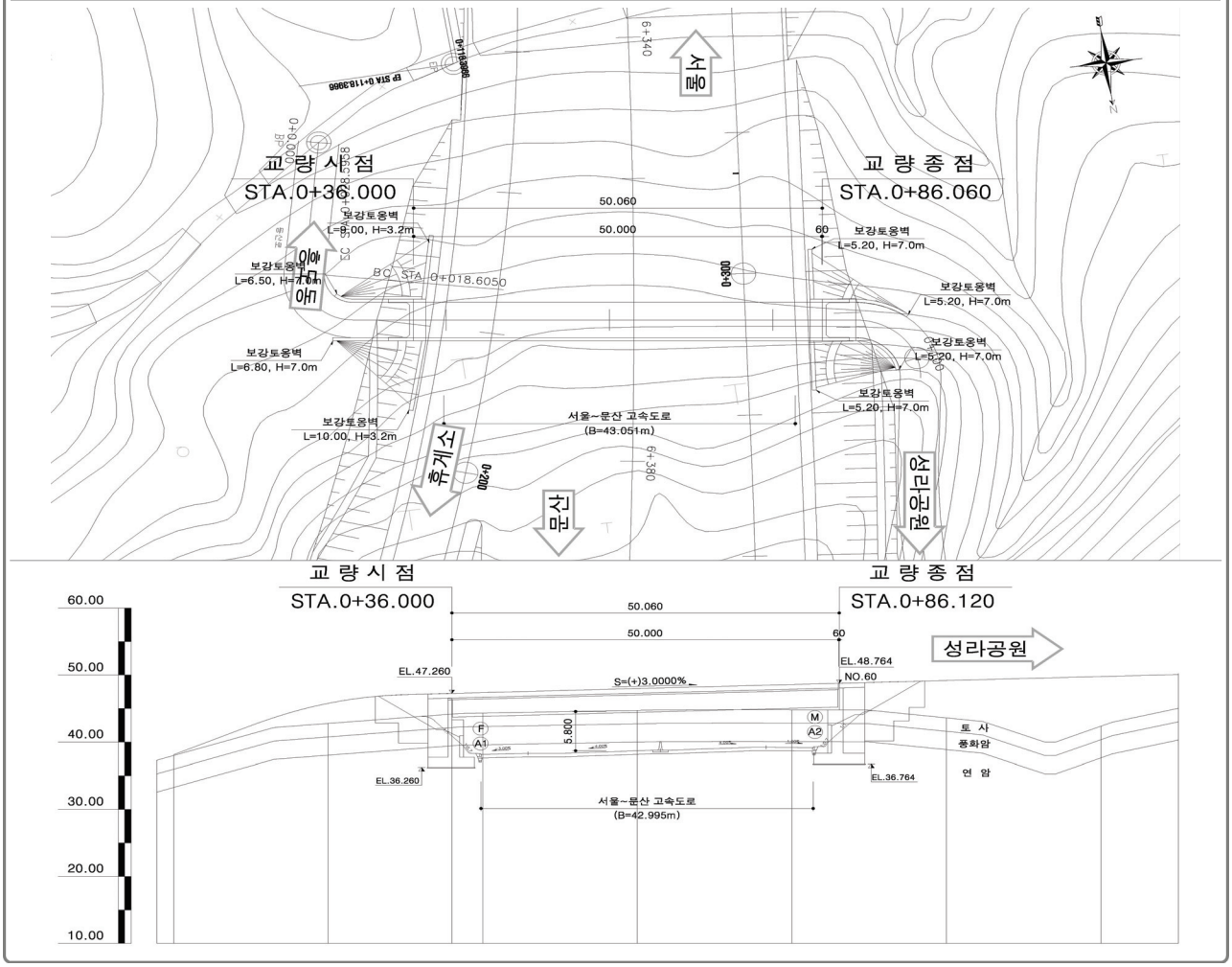
교량형식	•상부구조 형식 : BiCon Girder교 •단경간 : L = 40.689m
지 층 분 석	•상부 매립층이 3.0m 층후로 분포하며 하부 풍화토층이 6.9m까지 분포 •지지층인 풍화암층이 G.L(-)6.9m에서 출현

기초 형식 선정

위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
A1(서울-문산)	BH-95	G.L-6.9m	풍화암	강관말뚝기초	보안물건인접 매입공법
A2(서울-문산)	BH-95 참조	G.L-6.9m	풍화암	강관말뚝기초	
선 정 사 유	•지지층인 풍화암층이 GL(-)6.9m 이상 심도에 분포하여 수평력이 크게 작용하는 교대부구간은 강관말뚝기초 선정				

■ 흥도육교 (STA. 0+036.000 ~ 0+086.060)

종 · 평면도



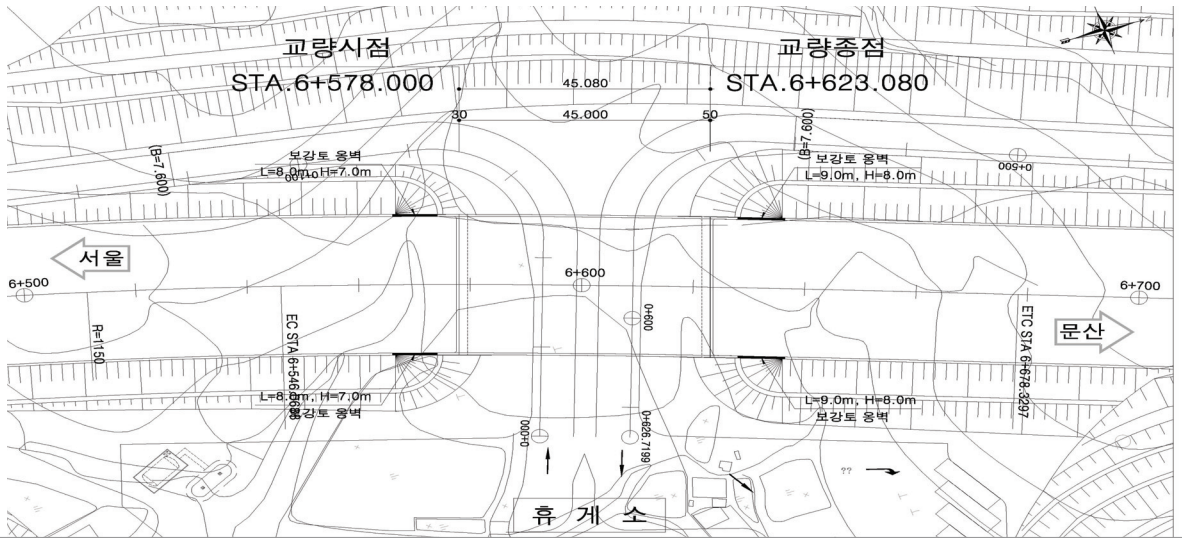
교량형식	•상부구조 형식 : BiCon Girder교 •단경간 : L = 50.060m
지 층 분 석	•상부 토사층이 2.0m, 풍화암 층후가 2.7m 분포 •지지층인 연암층이 G.L(-)4.7m에서 출현

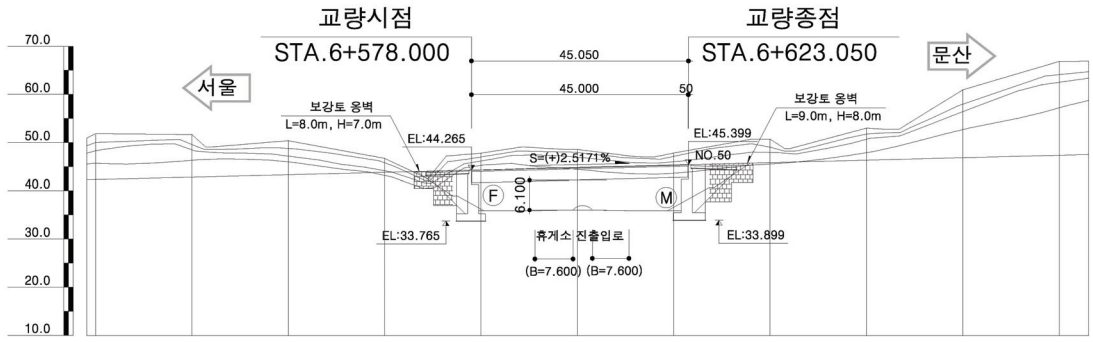
기초 형식 선정

위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
A1	탄성파탐사 결과 적용 (미시추구간)	G.L-4.7m	연 암	직접기초	Open Cut 공법
A2		G.L-4.7m	연 암	직접기초	
선 정 사 유	•지지층인 풍화암층이 GL(-)2.0m 이상 심도에 분포하나, 본선 종단 계획상 깎기부 횡단 육교로 연암지지 직접기초 선정				

성라교 (STA. 6+578.000 ~ 6+623.050)

종 · 평면도





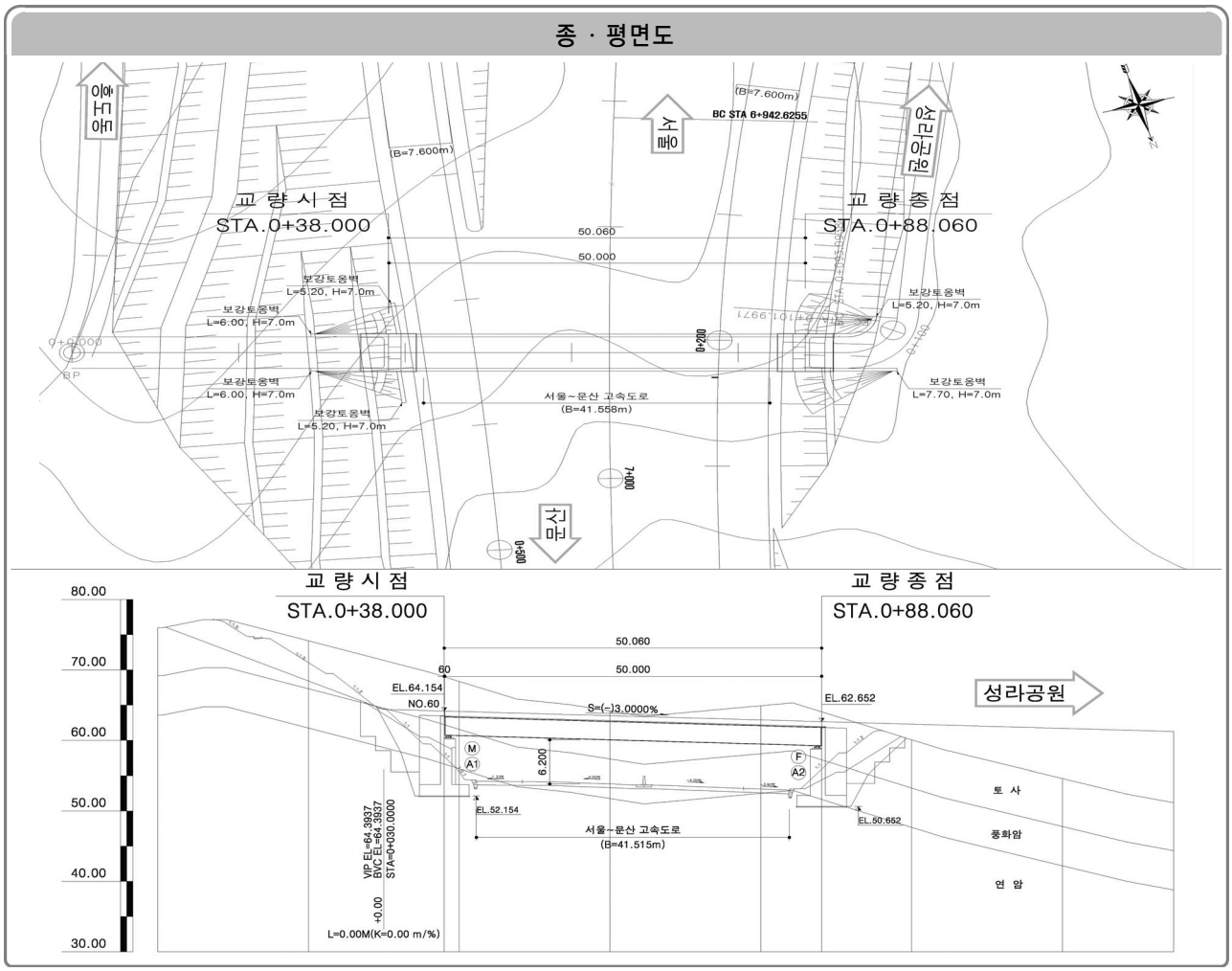
교량형식	•상부구조 형식 : IPC Girder교 •단경간 : L = 45.050m
지 층 분 석	•상부 매립층 및 퇴적층이 1.5m 층후로 분포하며 하부 풍화암층이 1.5~4.4m까지 분포 •지지층인 연암층이 G.L(-)2.7~4.4m에서 출현

기초 형식 선정

위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
A1	지층선 참조	G.L-2.7m	연 암	직접기초	Open Cut 공법
A2	지층선 참조	G.L-4.4m	연 암	직접기초	
선 정 사 유	•지지층인 연암층이 GL(-)2.7m 이상 심도에 분포하나, 휴게소 종단 계획상 깎기부 횡단교로 직접기초 선정				

■ 성라육교 (STA. 0+038.000 ~ 0+088.060)

종 · 평면도



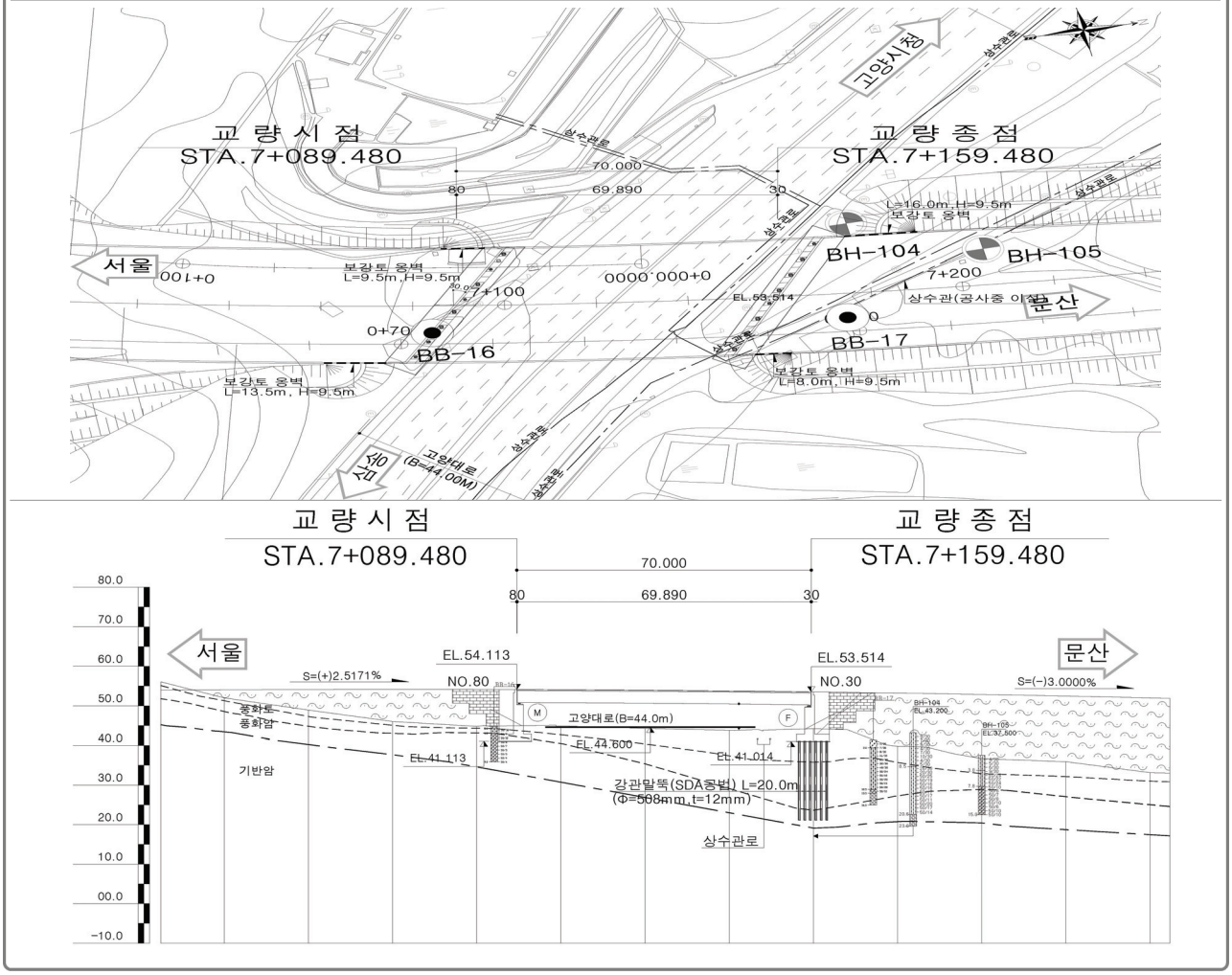
교량형식	•상부구조 형식 : BiCon Girder교 •단경간 : L = 50.060m
지 층 분 석	•상부 매립층 및 퇴적층이 7.0m 층후로 분포하며 하부 풍화암층이 12.4m까지 분포 •지지층인 연암층이 G.L(-)12.4m에서 출현

기초 형식 선정

위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
A1	지층선 참조	G.L-12.4m	연 암	직접기초	Open Cut 공법
A2	지층선 참조	G.L-12.4m	연 암	직접기초	
선 정 사 유	•지지층인 풍화암층이 GL(-)7.0m 이상 심도에 분포하나, 본선 종단 계획상 깎기부 횡단 육교로 연암지지 직접기초 선정				

성사 6교 (STA. 7+089.48 ~ 7+159.48)

종 · 평면도



교량형식	•상부구조 형식 : Steel Box교 •단경간 : L = 70.0m
지 층 분 석	•상부 매립층 및 퇴적층이 1.8~2.0m 층후로 분포하며 하부 풍화토층이 1.8~20.6m까지 분포 •지지층인 풍화암층이 G.L(-)1.8~20.6m에서 출현

기초 형식 선정

위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
A1	BB-16	G.L-1.8m	풍화암	직접기초	보안물건인접 매입공법 Open Cut 공법
A2	BH-104	G.L-20.6m	풍화암	강관말뚝기초	
선 정 사 유	•지지층인 풍화암층이 GL(-)1.8m 분포하는 A1은 직접기초 GL(-)20.6m 이상 심도에 분포하는 A2은 강관말뚝기초로 선정				

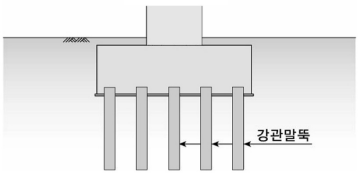
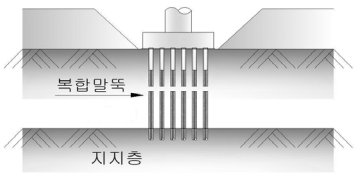
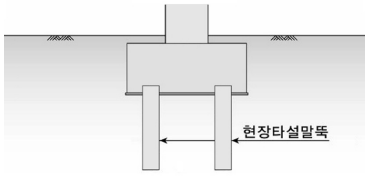
2.2 교량기초 시공법 선정

기본방향	•육상부 깊은기초로 계획된 교대 및 교각에 대하여 적용 가능한 말뚝재료와 시공법을 비교 검토한 후 최적의 재료와 시공법을 선정 •교량기초 형식 중 지반조건상 기초터파기시 영향검토와 굴착시 임시비탈면 등에 대한 안정성 검토를 토대로 시공방법을 결정

2.2.1 말뚝기초 시공성 검토

기준 설정	환경조건 검토	시공법 선정	적용시공법 검토	선정
말뚝재료 선정	소음 · 진동 영향 반경 및 항타분석	타입공법 매입공법	•항타공법 •선굴착공법 •진동압입, 매입공법 •속파기 공법	

○ 말뚝재료 비교 검토

구 분	강 관 말 뚝	복 합 말 뚝	현 장 타 설 말 뚝
개요도			
설 계 시 검토내용	•N값 50까지도 항타가능 하므로 다양한 토질에 가능 •자갈, 전석층의 경우 항타곤란 •허용 휨압축응력이 크고 전단력 및 모멘트에 대한 저항력이 큼	•주면고정을 위한 주면고정액 선별적 필요 •자갈, 전석층은 항타곤란 •허용 휨 압축응력, 모멘트 및 인장력 저항성 깊이 산정	•일반토사 및 자갈전석, 호박돌층에도 적용 가능 •허용 휨 압축응력(9MPa)이 작음 •모멘트에 대한 저항력이 작음
시 공 시 검토내용	•이음, 절단, 운반이 용이하고 말뚝길이에 대한 제한이 없음 •단면적이 작아 타입시 배토량이 적어 타입능률 양호 •용접이음부 연결이 확실하여 본체와 동등한 강도발휘	•상부지반 조건이 말뚝거동에 영향을 크게 주므로 지반조건의 충분한 확인 필요 •15m이상의 지지층에 양호 •연직하중:100tonf/EA 내외	•장비규모가 크고 시공속도 느림 •지층에 상관없이 굴착가능 •수질오염과 콘크리트 품질관리 곤란 •굴착 후 철근망을 삽입, 트레미 파이프를 이용하여 콘크리트타설
재료특성	•부식하기 쉬워 부식방지 대책 수립(설계시 2mm의 부식두께 고려) •중량이 P.H.C의 1/3정도로 운반, 취급이 용이	•항타 에너지가 클 경우 균열발생으로 인한 강도저하 •중량물이므로 운반시 편하중에 의한 파단과 취급주의	•품질관리에 따라서 내구성이 좌우되므로 품질관리를 철저히 하여야 함 •현장타설로 문제점 없음
적 용	교대부 깊은 기초구간 적용	교각부 깊은 기초구간 적용	현천 IC 구간 적용

검토결과	•사업구간은 대부분 단교량으로 상부하중이 크지 않고, 지지층 심도가 깊어 교대부 및 교각부에 수평저항력이 크고 안정성 및 시공성이 우수한 강관말뚝 선정 •말뚝강성이 충분한 재료가 요구되므로 경제성을 고려하여 복합말뚝 및 강관말뚝 적용 •현천 IC구간 하천변 구간의 환경성을 고려하여 현장타설 말뚝기초로 선정

2.2.2 소음·진동 환경 영향원 분석

○ 강관말뚝기초 항타 가능성 검토

- 국내외의 소음·진동 규제기준 상향 조정에 대한 종합적인 검토를 통한 합리적인 적용기준 선정
- 구조물별 말뚝항타시 소음, 진동값을 인근에 있는 정온시설물 등의 이격거리별로 예측하고, 예측된 소음, 진동값이 각종 규제기준값의 허용값 이내에 포함되는지 검토
- 말뚝기초 시공지역에 대한 지층현황 파악 및 항타공법 적용시 항타시공 가능성 판단

기준설정	현장 환경 조건	항타가능성 검토	시공법 선정
•말뚝재료 선정 •지층 및 주변 여건분석 •항타장비 선정	•소음·진동기준 및 영향범위 결정 •항타 공해 검토	•관입지층 평가 •항타관입성 평가 •말뚝허용응력 검토	항타 공법 또는 매입 공법

○ 소음 영향검토 (2010년 7월1일부터 규제강화)

■ 생활소음 규제기준(소음진동규제법 시행규칙 제20조 2 제3항 관련 별표8)(단위 : dB(A))

대 상 지 역	시 간 대 별 대 상 소 음		아침,저녁 (05:00~07:00) (18:00~22:00)	주 간 (07:00~18:00)	야 간 (22:00~05:00)
주거지역, 녹지지역, 준도시지역 중 취락지구 및 운동 휴양지구, 자연환경보전지역, 기타 지역안에 소재한 학교, 병원, 공공도서관 등	확성기	옥외설치	60이하	65이하	60이하
		옥내에서 옥외로 소음이 나오는경우	50이하	55이하	45이하
	공장, 사업장		50이하	55이하	45이하
	공 사 장		60이하	65이하	50이하
기 타 지 역	확성기	옥외설치	65이하	70이하	60이하
		옥내에서 옥외로 소음이 나오는 경우	60이하	65이하	55이하
	공장, ·사업장		60이하	65이하	55이하
	공 사 장		65이하	70이하	50이하

○ 교통 소음의 한도(소음진동규제법 시행규칙 제37조관련 별표10) (단위 : dB(A), dB(V))

대 상 지 역	구 분	한 도	
		주 간 (06:00~22:00)	야 간 (22:00~06:00)
주거지역, 녹지지역, 준도시지역 중 취락지구 및 운동·휴양지구, 자연환경보전지역, 학교, 병원, 공공도서관의 부지경계선으로 부터 50m이내 지역	소 음	68	58
상업지역, 공업지역, 농림지역, 준농림지역 및 준도시지역 중 취락지구 및 운동 · 휴양지구 외의 지역, 미고시 지역	소 음	73	63

○ 강관말뚝 항타시 소음영향 검토 (건설기계 중 고소음 발생장비의 소음도 측정 예 (환경연구원))

공 정	기계명		작동원리	O.A 소음도(dB(A))				측정 대수	비 고
				이격거리 7m		이격거리 15m			
				범위	평균	범위	평균		
기초 공사	항타 기계	항타기	드롭식	93~95	94	88~90	89	4	Con-Pile
		항타기	디젤식	99~110	103	96~101	99	8	Con-Pile
		항타기	디젤식	106~108	107	100~103	102	3	천공후 H-Beam
		항타기	유압식	101~104	103	92~93	93	2	Con-Pile
		항타기	유압식	89~92	91	83~85	84	2	Con-Pile
		항타기	유압식	96~99	97	90~92	91	4	보조강판
		항타항발기	진동식	80~91	85	75~86	80	3	H-Beam 항타
		드릴마스터	공압식	103~107	105	100	100	2	강 관 타 입

•이격거리별 예측 소음 및 진동도 산정 : 음원의 전파(거리감쇠공식)

$SPL_{\gamma} = SPL_0 \ (\ SPL_T) - 20\log(\gamma/\gamma_0)$

여기서, SPL_{γ} : 수음점까지의 거리가 γ 지점에서 개별투입장비의 발생소음도(dB(A)

$SPL_0(SPL_T)$: 소음원으로부터 γ_0지점에서 장비합성소음도 (dB(A))

γ : 소음원으로부터 예측점까지의 거리(m)

γ_0 : 소음원으로부터 기준점까지의 거리 (m, =15m)

■ 항타작업시 이격거리별 예측소음도(점음원 감쇄공식 적용) (단위 : dB(A))

항 목/ 장 비	기준소음도 (15m)	이 격 거 리							
		50m	100m	150m	200m	250m	300m	400m	500m
디젤해머	99	88.5	82.5	79.0	76.5	74.6	73.0	70.5	68.5
유압해머	89.2	78.7	72.7	69.2	66.7	64.8	63.2	60.7	58.7
진동해머	80	69.5	63.5	60.0	57.5	55.6	54.0	51.5	49.5
드롭해머	89	78.5	72.5	69.0	66.5	64.6	63.0	60.5	58.5

■ 항타소음의 전달 및 감쇄특성에 관한 연구결과 (대한건축학회논문집, 1999.12)

•공회전시 발생되는 소음은 항타소음에 비해 거리가 멀어져도 큰 감쇄가 발생되지 않으므로 항타소음과 함께 이에 대한 검토가 필요

•유압식 항타공법 적용 시 발생되는 소음을 항타시와 공회전시로 구분하여 소음레벨의 변화 및 감쇄특성을 파악 (거리에 따른 소음레벨의 예측상관식 제시)

•말뚝항타 시공시 이격거리별 소음정도를 예측한 결과 디젤해머 항타시 400m, 유압해머 항타시 250.0m 이상일 경우 허용소음값 이내인 것으로 판정 (장비의 공회전시 발생되는 소음을 포함한 검토결과)

○ 진동 영향검토

▪ 우리나라의 허용 진동기준

- 국가 또는 지방자치단체에서 설정한 진동허용기준에 대한 구체적인 규제조항 없음
- 외국의 자료를 참고로 하여 서울지하철 2, 3호선 건설당시 설정한 기준과 부산지하철의 기준은 독일의 기준과 동일하게 적용함
- 기타의 경우에는 조건에 따라 미광무국 등의 외국 사례를 근거로 하여 설계 기준을 마련하고 있으며 대체로 안전률을 높여 엄격하게 적용하고 있는 편임

▪ 진동규제기준 허용값 선정

- 시공시 진동의 영향을 받을 수 있는 대상은 주거지이므로 인체에 대한 허용 진동규제기준을 우리나라에서 적용하는 재래주택 최소기준값 0.3Kine이나 "환경영향 평가서를 참조" 하여 시설물(가옥) 및 문화재 진동규제기준 0.2Kine을 기준하여 말뚝 시공시 진동으로 인한 피해를 최소로 적용

▪ 이격거리별 항타진동속도 검토

•Attewell과 Farmer는 많은 현장에서의 실측과 결과값의 회귀분석에 의하여 다음과 같이 말뚝의 항타에 의한 진동속도 추정식을 제안

$$V = 32.36\left(\frac{\sqrt{W}}{R}\right)^{1.61}$$

여기서, V : 최대진동속도(mm/sec) W : 해머에너지 (KN-m) R : 수평거리 (m)

•항타장비 (HH-7,유압해머)

- Ram 중량 : 7ton, 7×9.81 = 68.67KN
- Stoke : 1.2m
- 항타효율 : 0.9
- Energy : 74.16KN·m (= 68.67×1.2×0.9)

▪ 이격 거리별 예측 진동속도(Attewell & Farmer 제안식 적용)

이 격 거 리 (m)	30	50	70	100	120	140
진동 속도 (cm/sec)	0.43	0.19	0.11	0.06	0.05	0.04

▪ 진동에 대한 영향 검토결과

•유압해머로 말뚝항타시 발생되는 진동속도를 Attewell과 Farmer의 제안식에 의해 이격거리별 진동 속도를 산정하여 말뚝 항타시 진동에 관한 영향원 반경을 50m로 결정

○ 항타공법 적용시 소음 및 진동에 관한 규제 기준

▪ 소음 및 진동에 대한 허용기준값

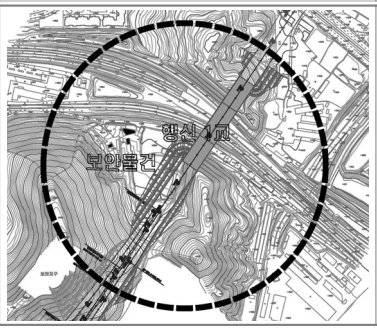
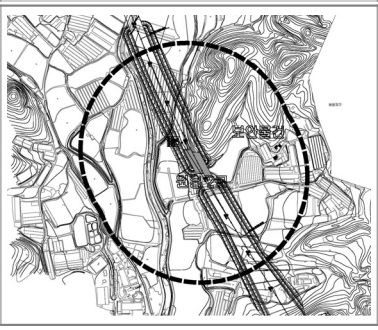
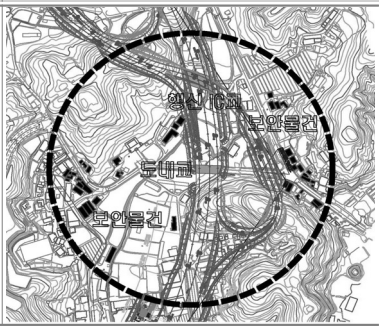
구 분	규 제 기 준	영향원 반경	비 고
소 음	65dB(소음진동규제법)	250m	•점음원 감쇄공식
진 동	0.2㎝/sec(국내외 기준참고)	50m	•Attewell & Farmer 제안식

2.2.3 환경성 평가 분석

1공구 : 환경성 평가에 의한 항타가능성 판정

교량명		환경성평가	항타 판정	교량명		환경성평가	항타 판정
1 공 구 지선	난점천 1교	보안물건 : 민가 40.0m 이격	x	1 공 구 본선	도내교	보안물건 : 민가 109.0m 이격	x
	난점천 2교	보안물건 : 공항철도 30.0m 이격	x		행신 IC R-G교	보안물건 : 민가 40.0m 이격	x
	창릉천교	보안물건 : 현천배수지 200.0m 이격	x		행신 IC교	보안물건 : 민가 100.0m 이격	x
1 공 구 본선	강매교 (확장교량)	기존교량 확장	x		미병교 (확장교량)	기존 통로박스 확장	x
	북로 IC R-B교 (확장교량)	기존교량 확장	x		미병육교	보안물건 : 민가 102.0m 이격	x
	북로 IC R-A1교	보안물건 : 민가 90.0m 이격	x		행신 IC R-A1교	보안물건 : 민가 240.0m 이격	x
	북로 IC R-D교	보안물건 : 민가 101.0m 이격	x		행신 IC R-A2교	보안물건 : 민가 215.0m 이격	x
	강매 1교	보안물건 : 민가 230.0m 이격	x		행신 IC R-B교	보안물건 : 민가 120.0m 이격	x
	강매 2교	보안물건 : 민가 108.0m 이격	x		원흥 1교	보안물건 : 민가 78.0m 이격	x
	강매 3교	보안물건 : 민가 66.0m 이격	x		원흥 2교	보안물건 : 민가 153.0m 이격	x
	도내지하차도	직접기초	x		성사 3교	보안물건 : 민가 92.0m 이격	x
	행신 1교	보안물건 : 민가 106.0m 이격	x		성사 4교	보안물건 : 민가 89.0m 이격	x
	행신 2교	보안물건 : 민가 113.0m 이격	x		성사 5교	보안물건 : 민가 80.0m 이격	x
	행신 3교	보안물건 : 민가 30.0m 이격	x		흥도육교	직접기초	x
					성사 6교	보안물건 : 민가 86.0m 이격	x

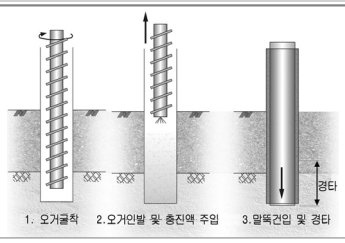
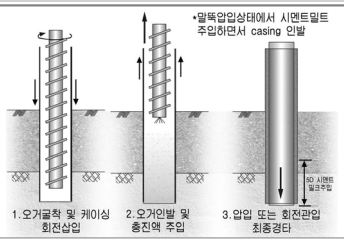
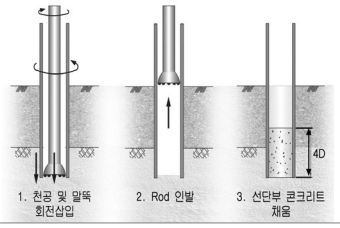
1공구 대표교량 환경영향권 분석

구 분	행신 1교	원흥 2교	도내교
환경성평가			

검토결과	•1공구 환경 영향권 분석 시 소음진동 기준에 의한 인근보안물건 인접으로 교량 기초 시공법 선정 시 매입공법으로 적용

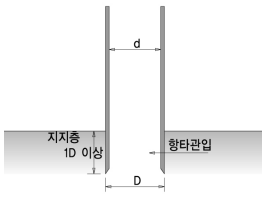
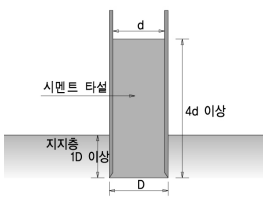
2.2.4 강관말뚝 기초 시공법 검토

•지층조건, 환경영향 및 항타가능성 분석결과를 토대로 최적의 매입말뚝 공법 선정
•매입말뚝공법은 일반적으로 선굴착공법과 매입공법으로 분류할 수 있으며, 현장에 적용 가능한 SIP, SDA, PRD공법에 대하여 검토

구 분	SIP 공법	SDA 공법	PRD 공법
공법 개요도			
계획성	•공벽유지가 가능 지층에 적합 •하상부지 외 지역에 적합	•모든 토층에 적용 가능 •공벽유지가 필요한 지층에 적합	•자갈, 전석층이 두꺼운 경우 적합 •공벽유지가 필요한 지층에 적합
시공성	•굴착배토시 지반응력 이완 •자갈층 분포시 붕괴가능성 높음 •SDA시공 개념과 동일, 공벽유지 가능 구간 케이싱제외	•굴착배토시 지반응력 이완 •올케이싱공법이므로 공벽붕괴 방지 •외측 케이싱과 말뚝 사용	•굴착속도 빠름 •상대적으로 장비설치시간 김
환경성	•저소음·저진동공법 •안정액 미사용으로 환경오염방지	•저소음·저진동공법 •안정액 미사용으로 환경오염방지	•저소음·저진동 공법 •안정액 미사용으로 환경오염방지
선 정	◉	◉	–

선정사유
•지하수위가 낮고 N값이 높아 공벽유지가 가능한 지층은 SDA시공과 동일하나, 공벽유지 케이싱 배제로 경제성이 양호한 SIP공법 선정
•지하수위가 높고 N값이 낮아 공벽유지가 어려운 지층은 케이싱에 의한 공벽유지 및 선단지지력이 우수한 SDA공법 선정

○ 매입말뚝의 선단처리방법 검토(도로교 설계기준, 2001)

구 분	최종타격방식	시멘트밀크 속채움
개 요 도		
선 정	◉	◉

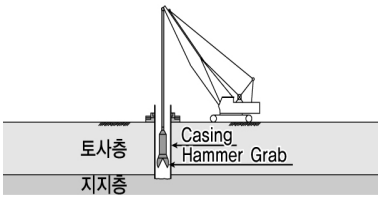
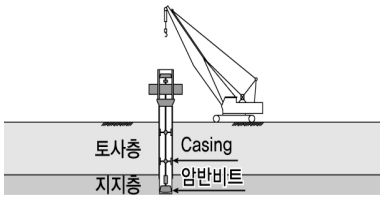
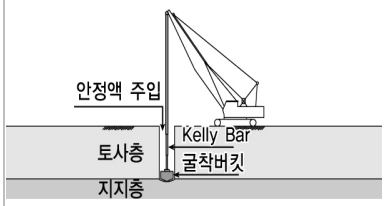
선정사유
•시멘트 밀크를 분사, 선단지반과 흙과 혼합된 흙-시멘트 기초를 형성하는 방법은 사질토 지반에만 적용가능
•강관의 폐합효과로 확실한 선단지지력 확보를 위하여 최종 타격방식과 시멘트 밀크 속채움 방식을 적용 (강관의 폐합효과를 고려하여 4D이상 타설)

1 공구 매입말뚝공법 선정결과

교 량 명	말뚝길이 (m)	말뚝형식	지하수위 GL(-) m	시공법	선정사유 (N값, 지반조건)
난점천 1교	16.5~18.5	강관	4.0	SDA	상부 N값 : 4~5, 하부 자갈 섞인 모래층
난점천 2교	14.0~16.0	강관	6.5	SDA	상부 N값 : 3~4, 하부 자갈 섞인 모래층
창릉천교	8.5~26.5	강관/복합	7.6	SDA	상부 N값 : 5~6, 하부 자갈 섞인 모래층
강매교	21.5~45.0	강관/복합	4.6~5.9	SDA	기존교량 확장
북로 JCT R-B교	33.0~39.0	강관/복합	3.20	SDA	기존교량 확장
북로IC R-A1교	26.5~36.0	강관/복합	7.6	SDA	상부 N값 : 5~7, 하부 자갈 섞인 모래층
북로IC R-D교	24.5~36.0	강관/복합	7.6	SDA	상부 N값 : 5~7, 하부 자갈 섞인 모래층
강매 1교	33.5~41.5	강관/복합	7.0~7.8	SDA	상부 N값 : 5~6, 하부 자갈 섞인 모래층
강매 IC 1교	21.0~22.5	강관	1.0	SDA	상부 N값 : 7~9, 하부 풍화토층으로 분포
강매 2교	29.0~29.5	강관	6.3	SDA	상부 N값 : 9~10, 하부 자갈 섞인 모래층 및 풍화토층으로 분포 말뚝길이 15m 이상
강매 3교	15.0~34.0	강관/복합	4.8~7.6	SDA	상부 N값 : 9~10, 하부 자갈 섞인 모래층으로 분포하며 교각부는 기존 도로인접
행신 1교	7.0~23.0	강관	0.0~4.0	SDA	기존 철도 횡단 구간
행신 2교	15.5~28.5	강관/복합	7.6	SDA	상부 N값 : 9~10, 하부 자갈 섞인 모래층 및 풍화토층으로 분포
행신 3교	16.5~23.5	강관	1.2~3.4	SDA	상부 N값 : 3~4 하부 풍화토층으로 분포
도내교	14.5~19.5	강관	2.0~8.2	SDA	상부 N값 : 5~6 하부 풍화토층으로 분포
행신 IC R-G교	12.5~15.0	강관	4.0~4.2	SIP	상부 N값 : 7~9 하부 풍화토층으로 분포
행신 IC교	12.0~14.0	강관	-	SIP	풍화토층으로 분포
미병육교	6.0~7.0	강관	4.8~7.6	SIP	풍화토층으로 분포
행신 IC R-A1교	29.0~29.5	강관	0.0~4.5	SDA	상부 N값 : 2~3 하부 풍화토층으로 분포
행신 IC R-A2교	12.0~35.5	강관	0.0~1.7	SDA	상부 N값 : 2~3 하부 풍화토층으로 분포
행신 IC R-B교	21.5~22.0	강관	1.7~2.5	SDA	상부 N값 : 3~4 하부 자갈 섞인 모래층 및 풍화토층으로 분포 말뚝길이 15m 이상
원흥 1교	12.5~36.0	강관/복합	7.0	SDA	상부 N값 : 7~9 하부 풍화토층으로 분포
원흥 2교	15.5~17.5	강관	3.9~4.2	SDA	상부 N값 : 7~9 하부 풍화토층으로 분포
성사 3교	9.5~11.5	강관	4.7	SDA	상부 N값 : 4~5 자갈 섞인 모래층과 하부 풍화토층으로 분포
성사 4교	11.5~16.5	강관	1.8	SDA	상부 N값 : 10~11, 하부 자갈 섞인 모래층
성사 5교	6.0~7.0	강관	3.5	SIP	상부 N값 : 5~6, 하부 풍화토층으로 분포
성사 6교	20.0	강관	-	SDA	상부 N값 : 4~7, 하부 풍화토층으로 분포

2.2.5 현장타설 말뚝기초 시공법 검토

◎ 육상부 기초시공법 검토

구 분	전선회식 All Casing 공법	RCD + Casing 공법	Earth Drill 공법
개요도			
공법 개요	•특수 비트가 부착된 케이싱 튜브를 360° 회전시키면서 유압장치로 지반속에 압입시켜 케이싱으로 드릴링하고 해머그래브로 케이싱 내부를 굴착 배토하는 공법	•케이싱을 사용 하여 공벽을 유지하고 토사는 해머그래브, 암반은 RCD 굴착기로 굴착하면서 석션 펌프 등으로 버력 제거하는 공법	•버킷 또는 오거 타입의 어스드릴 굴착기로 굴착하고 슬라임 제거와 응력제 삽입 후 트레미관에 의해 콘크리트 말뚝을 조성하는 공법
적용 범위	•연약지반, 호박돌, 전석지반, 암반등 전지층에 사용 가능 •케이싱 회전에 의한 굴삭과 병행하여 해머그래브로 버력을 배토하므로 시공양호	•대심도 시공이 가능 •지층에 따른 제약은 없으나 피압 수, 복류수가 있는 경우 지반개량 필요 •암반층에서 시공능률 양호	•옥석, 호박돌층 적용 곤란 •비교적 소형의 장비로 도심지 시공에 적합 •토사층에서 공기가 빠르고 경제성이 우수
공법 특징	•올 케이싱으로 공벽 유지가 확실 •단층파쇄대등 불규칙한 지층 굴착에 적합 •장비가 대형이므로 장비 진입로 및 작업장 확보 계획 필요하고 공사비가 고가임 •굴착시 낙하충격으로 선단지반이 약화될 수 있음 •이음 및 절단이 없으므로 연속시공에 유리	•올 케이싱으로 공벽 유지가 확실 •소구경에서 대구경까지 선택의 폭이 넓음 •굴착심도가 깊을수록 타공법과 비교하여 효율 양호 •대구경에서 지지력 큼 •연경암층에서도 저진동·저소음으로 굴착 가능 •장비가 대형이며 시공비가 고가임	•굴착기의 기구가 간단하며 크레인을 사용하지 않고 어스 드릴기 본체만으로 말뚝시공이 가능 •안정액의 관리가 어렵고 공벽 붕괴의 우려 •굴착시 관리가 불충분하면 굴착 공의 연직도를 확보하기 어려움 •견고한 암반굴착 어려움 •직경 12cm의 자갈층에 적용 곤란
굴착 깊이	30 ~ 40m	40 ~ 70m	30 ~ 40m
시공 사례	–	암사대교 주탑부, 신행주대교 접속교, 수상부 접속교 다수	수상부 시공사례 없음
선 정	–	◉	–

검토결과

•어스 드릴공법은 암반층 굴착이 곤란하고 전선회식 올 케이싱공법은 충격낙하 굴착 시 선단지지력 약화 우려

•시공성이 우수하며, 시공 중 소음 · 진동 발생이 가장 적어 환경성 측면에 유리한 RCD + Casing 공법 선정

제 3 장 교량기초 설계정수

3.1 교량구간 설계지반정수 산정

기본방향	•기존 설계정수 산정의 문제점을 분석하고 대표값 산정시 신뢰도 향상을 위해 통계처리기법 (Monte Carlo Simulation, Bayesian Approach)을 적용하여 설계지반정수 산정 •인근 설계자료와 기존문헌자료를 분석하여 통계처리의 초기추정치(Prior)로 적용, 현장조사 및 실내시험 값을 최대우도치(Likelihood)로 선정하여 Bayesian 통계처리를 통한 설계정수 도출

3.1.1 설계지반정수 산정개요

토 사 풍화암	•현장 및 실내시험 결과를 우선적으로 고려, 문헌자료와 경험식을 비교 · 분석하여 산정 •토질분류를 실시하여 경향을 파악하고 토질 특성에 맞는 정수 산정
기반암 (연속체)	•동일지반에서 비탈면과 교량기초의 암반 지반정수는 하중규모, 굴착방법, 응력이완 및 풍화진행에 따라 다르므로, 이러한 조건을 고려하여 강도정수 산정 •암반분류(GSI, RMR) 특성을 감안한 대표성을 가진 지반정수 산정
기반암 (불연속체)	•암반불연속면 특성을 고려한 전단시험 및 Barton & Bandis 경험식을 이용한 강도정수 산정 •지표지질조사 및 암석코아에 대한 (JRC, JCS) 등을 비교 · 분석하여 강도정수 산정

3.1.2 설계지반정수 산정결과

○ 1공구 (STA. 0+000~7+260)

구 분	지층	토성별	γ_t(kN/m^3)	c(kPa)	Φ	E(MPa)	ν	V_s(m/s)	G_d(MPa)	K(cm/s)
교 량 구 간	매립층	모래	19	3	28	15	0.35	180	50	7.0×10^{-4}
		점토	17	5	–	5	0.40	170	40	1.2×10^{-7}
	붕적층	모래	18	5	28	10	0.35	190	60	5.4×10^{-4}
	퇴적층	점토(N>6)	18	30	–	5	0.40	200	60	1.2×10^{-7}
		실트	18	30	–	5	0.38	220	80	1.3×10^{-7}
		모래(N≤10)	18	–	27	10	0.35	240	100	5.8×10^{-4}
		모래(N>10)	18	–	30	18	0.35	260	120	6.6×10^{-4}
		자갈	20	–	32	50	0.32	290	150	5.9×10^{-3}
	풍화토		19	17	29	50	0.33	310	180	2.6×10^{-4}
	풍화암		21	28	31	280	0.30	450	420	5.8×10^{-5}
	연 암		23	500	33	660	0.26	700	1,120	3.3×10^{-5}
	보통암		25	2,500	36	4,000	0.24	850	1,730	1.6×10^{-5}
	경 암		26	3,200	40	10,000	0.22	1,350	4,730	4.9×10^{-6}

검토결과	•사업구간의 연장이 길어 지역적으로 다른 토질구성 상태를 고려한 구간별 산정 •구간별, 지층별 대표 N값 선정하여 적합한 물성값 도출 •사업구간은 동일암종이 광역적인 분포를 나타내며, 한강구간의 기반암 상세 분석

제 4 장 교량기초 안정성 검토

4.1 직접기초의 안정성 검토

기본방향	•기초에 작용하는 지반반력에 대하여 지지층의 허용지지력 평가(안전율 : 상시 3.0, 지진시 2.0) •지지층의 변형특성을 고려한 작용반력에 대한 침하량 산정 (허용침하량 : 25.4mm)

4.1.1 직접기초 현황

교 량 명		위 치	시추공번	지지층심도	지지층	기초제원(B×L)
1공구	도내지하차도	지하차도	BH-35	GL(-) 4.5m	연 암	13.95 × 120.0m
	행신 1교	P1, A2	BH-42, 43	GL(-) 7.8m	풍화암/연암	6.6 × 13.7m
	미병교 (확장교량)	기존박스 확장	BH-6, 7	GL(-) 0.0m	풍화토	13.6 × 4.5m
	흥도육교	A1, A2	BH-99	GL(-) 4.7m	연 암	6.6 × 5.9m
	성라교	A1, A2	BH-99	GL(-) 2.7~4.4m	연 암	6.6 × 15.75m
	성라육교	A1, A2	BB-16	GL(-) 12.4m	연 암	6.6 × 5.9m
	성사 6교	A1	BB-16	GL(-) 1.8m	풍화암	7.7 × 27.0m

4.1.2 연직지지력에 대한 안정성 검토

○ 허용지지력 산정방법(풍화암지지)

구 분		적 용 식	비 고
정역학적 공식	Terzaghi 제안식	$q_a = \frac{1}{F_s}(\alpha \cdot c \cdot N_c + \beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_r + \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q)$ 여기서, N_c, N_r, N_q : Terzaghi의 지지력 계수	•풍화암의 강도정수값에 따른 지지력 영향 큼
	Meyerhof 제안식	$q_{ult} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c + \gamma_1 \cdot B \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_r \cdot s_r \cdot d_r \cdot i_r$ 여기서, N_c, N_q, N_γ : 지지력계수, s_c, s_q, s_γ : 기초의 형상계수, i_c, i_q, i_γ : 하중의 경사계수 d_c, d_q, d_γ : 기초의 근입깊이계수	•풍화암의 강도정수값에 따른 지지력 영향 큼 •Terzaghi 공식에 비해 지지력이 크게 산정됨
	Hasen 제안식	$q_a = \frac{1}{F_s}(c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c + \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_r \cdot s_r \cdot d_r \cdot i_r \cdot g_r \cdot b_r)$ N_c, N_q, N_γ : 지지력계수, s_c, s_q, s_γ : 기초의 형상계수 d_c, d_q, d_γ : 기초 근입깊이계수, i_c, i_q, i_γ : 하중 경사계수 g_c, g_q, g_γ : 지반계수, b_c, b_q, b_γ : 기초저면 경사계수	•풍화암 강도정수값에 따른 지지력 영향 큼
시험값	수정 Meyerhof 제안식	$q_a = \frac{N}{F_1}$ (B≤F_4), $q_a = \frac{N}{F_2}(B+F_3)^2 K_d$ (B > F_4) 여기서, K_d = 1+0.33D_f/B ≤1.33 F_1 = 0.05m, F_2 = 0.08m, F_3 = 0.30m, F_4 = 1.20m	•N값을 이용한 경험식에 의한 방법
관련문헌	도로교 설계기준	•기초폭에 비례하여 증가하는 침하량을 고려 과도한 침하방지 목적의 경험적 상한치 고려	
	구조물기초설계기준	•확대기초의 지지력 경험치 제안 (U.S Dept. of the Navy, 1982)	

◎ 허용지지력 산정방법(연경암지지)

구 분		적 용 식	비 고
정역학적 공식	Bell 제안식	• $q_{ult} = C_{f1} \cdot c \cdot N_c + q \cdot N_q + C_{f2} \cdot 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$	•절리가 발달되고, 절리간격이 좁은 암반에서의 극한지지력 산정
	Hoek & Brown 제안식	• $q_{ult} = C_{f1} \cdot s^{0.5} \cdot \sigma_{u(r)} \cdot [1 + (m \cdot s^{-0.5} + 1)^{0.5}]$	•Hoek & Brown이 제안한 암의 풍화정도에 따른 상수 사용
	구조물기초 설계기준	• $q_a = K_{sp} \cdot q_{u(core)}$	•불연속면 간격이 0.3m 이상이고 틈새가 5mm 이내이며, 기초폭이 0.3m 이상일 때 적용

경험식	경험적 제안값 (RQD)	암 질	매우양호	양 호	보 통	불 량	매우불량
		RQD(%)	90~100	75~90	50~75	25~50	0~25
		허용지지력(MPa)	20~30	12~20	6.5~12	3~6.5	1~3

◎ 풍화암지지 직접기초 허용지지력

교 량 명		기초 위치	지지력 산정식(kPa)				도로교 설계기준 (kPa)	허용지지력 (kPa)	설계반력 (kPa)	판 정
			Terzaghi	Meyerhof	Hansen	수정 Meyerhof				
1공구	도내지하차도	Box	1347.1	1079.5	1225.2	548.5	600.0	548.5	188.1	O.K
	행신 1교	A2	1182.5	932.0	1186.9	580.9	600.0	580.9	491.9	O.K
	미병교	Box	872.8	881.8	772.6	298.7	300.0	298.7	151.2	O.K
	성사 6교	A1	1095.8	867.6	1060.9	606.7	600.0	600.0	548.8	O.K
검토 결과			•허용지지력 산정결과 설계반력은 허용치 이하로 검토되어 안정한 것으로 판정							

◎ 연경암지지 직접기초의 허용지지력

교 량 명		기초 위치	경험적 제안시 (RQD)	지지력 산정식			허용지지력 (kPa)	설계반력 (kPa)	판정
				Bell 제안식	Hoek & Brown식	구조물기초 설계기준			
1공구	도내지하차도	–	2950.0	3537.2	841.0	8830.0	841.0	188.1	O.K
	행신 1교	P1	2950.0	3283.0	857.8	8990.0	857.8	562.5	O.K
	흥도육교	A1	2950.0	3605.8	960.6	8990.0	960.6	538.7	O.K
		A2	2950.0	3659.9	969.8	8990.0	969.8	551.2	O.K
	성라교	A1	2950.0	3225.9	847.8	8990.0	847.8	425.7	O.K
		A2	2950.0	3265.6	852.4	8990.0	852.4	457.1	O.K
	성라육교	A1	2950.0	3659.9	967.8	8990.0	967.8	551.2	O.K
		A2	2950.0	3659.9	967.8	8990.0	967.8	496.3	O.K
검토 결과			•허용지지력 산정결과 설계반력은 허용치 이하로 검토되어 안정한 것으로 판정						

4.1.3 연직변위(침하량)에 대한 안정성 검토

•구조물의 허용침하량은 구조적 안정성과 사용상의 기능유지로부터 결정되는 사항으로 국내 설계기준 에서는 허용침하기준을 명확히 제시하지 않음 ➡ 문헌 및 국내 설계사례를 검토하여 설계기준 결정
•직접기초의 침하량은 기초 설치위치의 지형 및 지반특성을 고려하여 탄성침하에 의한 안정성 검토

○ 허용침하량 설계기준

■ 국도건설공사 설계실무 요령(국토교통부, 2013)

침하형태	지 지 층	최대침하량(mm)	침하형태	구조물의 종류	부등침하량(mm)
균등침하	모래지반	25	부등침하	모래지반	20
	점토지반	50		점토지반	20
	복합지반	30		복합지반	20

■ 설계적용 허용침하량

•허용침하량은 상부구조의 구조형식, 사용재료, 용도, 중요성 및 침하의 성격 등에 의하여 결정되며, 상부구조에서 결정되는 허용침하량 이하여야함
•허용침하량 : 25.4mm 적용

○ 침하량 산정방법

구 분		적 용 식	비 고
이론식	Hooke 제안식	• $S_i = I_s \cdot \frac{1-\upsilon^2}{E_S} \cdot q \cdot B$	•풍화암의 변형계수(E_s)산정 필요
	Harr 제안식	• $S_i = \alpha_r \cdot q \cdot B \cdot \frac{1-\upsilon^2}{E_S}$	•탄성이론식 중 침하량이 가장 크게 산정
	Vesic 제안식	• $S_i = \frac{1}{Ks} \cdot q, \quad Ks = \frac{E_S}{B(1-\upsilon^2)}$	•지반변형계수(E_s)를 이용하여 침하량 산정
경험식	Meyerhof 제안식	• $S_i = \frac{1}{192 \cdot N} \times \left(\frac{2B}{B+0.3}\right)^2 \times q$	•표준관입시험 N값를 이용한 경험식에 의한 산정
	Kulhawy	• $S = \frac{0.9P}{Es \cdot A^{0.5}}$ • $S = \frac{0.7P}{Es \cdot A^{0.5}}$	•지반변형계수(E_s)를 이용하여 침하량 산정

○ 풍화암 지지 침하량 검토 결과

교 량 명		침하량 산정식 (mm)			발생침하량 (mm)	허용침하량 (mm)	판 정
		Hooke	Harr	Meyerhof			
1 공구	행신 1교	11.7	18.4	17.1	18.4	25.4	O.K
	미병교	14.6	18.2	11.8	18.2	25.4	O.K
	성사 6교	13.8	22.2	16.6	22.2	25.4	O.K

○ 연경암 지지 침하량 검토 결과

교 량 명		침하량 산정식 (mm)				발생침하량 (mm)	허용침하량 (mm)	판 정
		Hooke	Vesic	Harr	Kulhawy			
1 공구	도내지하차도	2.9	4.6	3.7	5.2	5.2	25.4	O.K
	행신 1교	4.1	6.4	5.2	7.3	7.3	25.4	O.K
	흥도육교	2.3	3.5	4.2	3.9	4.2	25.4	O.K
	성라교	2.9	4.6	3.5	5.2	5.2	25.4	O.K
	성라육교	2.3	3.5	4.2	3.9	4.2	25.4	O.K

검토결과 •침하량 검토 결과 최대 발생침하량은 허용침하량 이내로 연직침하에 대해서 안정한 것으로 판정

4.2 말뚝기초의 안정성 검토

기본방향	•말뚝기초의 연직 및 수평방향 허용지지력, 침하량, 수평변위량 등에 대한 검토를 수행 •지층특성과 상부구조물의 하중조건 및 주변환경 등을 고려한 기초안정성 검토 •다양한 산정공식 및 해석기법의 결과를 수치해석과 비교, 분석하여 안정성의 신뢰성 검증

4.2.1 말뚝기초 현황

교 량 명		위 치	지지층	말뚝재료	말뚝제원	말뚝길이(m)
1공구 지선	현천교	P0~P6	연 암	현장타설	Φ1,2m	16.5~24.0
		A2	풍화암	강관	Φ508mm×t12mm	10.0
	현천 IC Ramp-A	A1	연 암	강관	Φ508mm×t12mm	23.0
		P1	연 암	현장타설	Φ1,2m	22.5
	현천 IC Ramp-B	P1~P11	연 암	현장타설	Φ1,2m	16.5~32.5
	현천 IC Ramp-B 접속교	A1, A2	풍화암/연암	강관	Φ508mm×t12mm	19.0~25.0
		P1~P2	풍화암	복합	Φ508mm×t12mm	16.5~18.0
	창릉천교	A1, A2	연 암	강관	Φ508mm×t12mm	8.5~21.5
		P11,P14,P16	풍화암/연암	강관	Φ508mm×t9mm	10.5~26.5
		P1~P15	풍화암/연암	복합	Φ500mm×t9mm(강관) Φ500mm×t80mm(PHC)	
	난점천 1교	A1, A2	풍화암	강관	Φ508mm×t12mm	16.5~18.5
	난점천 2교	A1, A2	풍화암	강관	Φ508mm×t12mm	14.0~16.0
1공구 본선	강매교 (확장교량)	P1, P3~P5	풍화암/연암	강관	Φ508mm×t12m	26.5
		P35, P2	풍화암/연암	강관	Φ508mm×t9m	21.5~37.0
		A2	풍화암	강관	Φ508mm×t12mm	45.0
	북로 JCT R-B교 (확장교량)	A1, A2	풍화암	강관	Φ508mm×t12mm	39.0
		P1~P2	풍화암	복합	Φ500mm×t12mm(강관) Φ500mm×t80mm(PHC)	33.0~34.5
	북로 JCT R-A1교	A1, A2	풍화암	강관	Φ508mm×t12mm	26.5~36.0
		P1~P2	풍화암	복합	Φ500mm×t12mm(강관) Φ500mm×t80mm(PHC)	31.5~34.0
	북로 JCT R-D교	A1, A2	풍화암	강관	Φ508mm×t12mm	24.5~36.0
		P1~P2	풍화암	복합	Φ500mm×t12mm(강관) Φ500mm×t80mm(PHC)	32.0~34.2
	강매 1교	A1, A2	풍화암	강관	Φ508mm×t12mm	33.5~41.5
		P1~P2	풍화암	복합	Φ500mm×t9mm(강관) Φ500mm×t80mm(PHC)	
	강매IC 1교	A1, A2	풍화암	강관	Φ508mm×t12mm	21.0~22.5
	강매 2교	A1, A2	연 암	강관	Φ508mm×t12mm	29.0~29.5
	강매 3교	A1, A2	풍화암	강관	Φ508mm×t12mm	20.0~34.0
		P1~P3	풍화암/연암	복합	Φ500mm×t12mm(강관) Φ500mm×t80mm(PHC)	15.0~27.5
		P3(문산)	연 암	강관	Φ508mm×t12mm	15.0

○ 말뚝기초 현황

교 량 명		위 치	지지층	말뚝재료	말뚝제원	말뚝길이(m)
1공구 본선	행신 1교	A1	연 암	강관	Φ508mm×t12mm	7.0~23.0
	행신 2교	A1, A2	풍화암/연암	강관	Φ508mm×t12mm	26.0~28.5
		P1~P2	풍화암	복합	Φ500mm×t9mm(강관) Φ500mm×t80mm(PHC)	15.5
	행신 3교	A1, A2	풍화암	강관	Φ508mm×t12mm	16.5~23.5
	도내교	A1, A2	풍화암	강관	Φ508mm×t12mm	14.5~19.5
	행신 IC R-G교	A1, A2	풍화암	강관	Φ508mm×t12mm	12.5~15.0
	행신 IC교	A1, A2	풍화암	강관	Φ508mm×t12mm	12.0~14.0
	미병육교	A1, A2	풍화암	강관	Φ508mm×t12mm	6.0~7.0
	행신 IC R-A1교	A1, A2	풍화암	강관	Φ508mm×t12mm	29.0~29.5
	행신 IC R-A2교	A1, A2	풍화암	강관	Φ508mm×t12mm	12.0~35.5
	행신 IC R-B교	A1, A2	풍화암	강관	Φ508mm×t12mm	21.5~22.0
	원흥 1교	A1, A2	풍화암	강관	Φ508mm×t12mm	12.5~22.0
		P1	풍화암	강관	Φ508mm×t9mm	13.0~36.0
		P2~P6	풍화암	복합	Φ500mm×t9mm(강관) Φ500mm×t80mm(PHC)	
	원흥 2교	A1, A2	풍화암	강관	Φ508mm×t12mm	15.5~17.5
	성사 3교	A1, A2	풍화암/연암	강관	Φ508mm×t12mm	9.5~11.5
	성사 4교	A1, A2	연 암	강관	Φ508mm×t12mm	11.5~16.5
	성사 5교	A1, A2	풍화암	강관	Φ508mm×t12mm	6.0~7.0
	성사 6교	A2	풍화암	강관	Φ508mm×t12mm	20.0

말뚝기초 설계기준

구 분	도로교설계기준	도로설계요령	한국도로공사	설 계 적 용
말뚝최소 중심간격	•2.5D~3.0D	•2.5D이상	–	•강관/복합말뚝 : 2.5D •현장타설말뚝 : 2.5D
연 직 침 하 량	•25.0mm	•25.0~50.0mm	–	•25mm
수 평 변 위	•Φ1,500mm 이하 15.0mm	•말뚝직경 1%	–	•강관말뚝 : 15mm (φ508) •현장타설말뚝 – 15mm – 말뚝직경 1% 적용
부 등 침 하 량	–	–	•다경간 0.004 rad, •단경간 0.005 rad	•0.004 rad

구 분		콘크리트 설계기준	구조물기초설계기준	설 계 적 용
염 해 방 지 내구성 기 준	콘크리트	•25MPa 이상	–	•설계강도 : 27MPa •호칭강도 : 35MPa
	강관	–	•부식두께 2.0~3.0mm	•부식두께 : 2.0mm

검토방법

구 분		단 말 뚝	군 말 뚝
연 직 방 향	지지력	•매입말뚝 및 현장타설말뚝 고려 •말뚝재료의 허용압축응력 검토 •설계하중 < 허용지지력	•말뚝간격에 따른 군말뚝 효과 적용 •총 설계하중 < 군말뚝지지력 •군말뚝 침하량 < 허용침하량
	변 위	•기초침하량 < 허용침하량 •부등침하량 < 허용부등침하량	

구 분		단 말 뚝	군 말 뚝
수 평 방 향	지지력	•지반반력계수 결정 •극한지반반력법, 탄성지반반력법	•말뚝간격에 따른 군말뚝 효과 적용 •총 설계하중 < 군말뚝지지력 •군말뚝 침하량 < 허용침하량
	변 위	•수평변위 < 허용수평변위 •p-y 곡선 비선형 해석방법	

4.2.2 강관말뚝기초 연직 지지력에 대한 안정성 검토

○ 강관말뚝의 연직지지력 검토 방법

•강관말뚝기초는 풍화암층 이상 지지층으로 계획하며, 암반층에 설치된 말뚝기초에 대해서 경험식과 일축압축강도, 점하중강도, 절리상태에 따른 시험 결과치 및 관련시방기준을 근거하여 허용지지력을 산정

■ 말뚝재료의 허용지지력(도로교 설계기준, 2009)

$$Q_{as} = \left(1 - \frac{\mu_1 + \mu_2}{100}\right) f_{sa} \cdot A$$

여기서, Q_{as} : 말뚝본체의 허용지지력(kN/ea),
μ_1 : 세장비에 의한 저감율, μ_2 : 이음에 대한 저감율,
f_{sa} : 재료의 장기허용압축응력(kPa), A : 말뚝의 단면적 (m^2)

■ 풍화암지지 허용지지력 산정식

$Q_a = (q_p \cdot A_p + U \cdot \sum \ell \cdot f_i)/Fs$

q_p : 단위면적당 선단지지력(KPa) A_p : 말뚝 선단면적(m^2) U : 말뚝의 둘레길이 (m)
ℓ : 주면마찰력을 고려하는 층두께(m), fi : 최대주면마찰력(KPa) – 아래표 참조
N : 말뚝선단에서 위로 1D, 아래로 4D 평균값, Fs : 안전율 (상시 = 3.0, 지진시 = 2.0)

■ 주면마찰력 산정식(구조물기초 설계기준 해설, 2009)

구 분	타 입 공 법	현장타설말뚝공법	매 입 말 뚝	단 위
사 질 토	0.2N(≤10)	0.5N(≤20)	0.2N(≤50)	kN
점 성 토	c* 또는 N(≤15)	c* 또는 N(≤15)	0.8c* 또는 0.8N(≤10)	

■ 연암지지 허용지지력 산정식

기반암(연 · 경암)층에 지지된 말뚝기초	•말뚝재료에 의한 허용지지력	•구조물기초 설계기준 해설
	•Canadian Foundation Engineering Manual	•Goodman 제안식

구 분	적 용 식	비 고
구조물기초 설계기준해설 (2009)	$Q_a = \frac{1}{F_S} \cdot 443 \cdot q_u^{0.5} \cdot A_t^{2/5} \cdot A_i^{1/3}$ 여기서, q_u : 암반의 일축압축 강도(kPa) A_t : 강관말뚝의 선단 순단면적(㎡), A_i : 강관말뚝의 선단 심부면적(㎡)	•강관말뚝이 암반에 말뚝직경 정도 근입되는 경우에 적용 가능 •암반 근입부의 주면마찰력 까지 포함 한 값
Canadian Foundation Engineering	$Q_a = \frac{1}{F_s}(3 \cdot q_u \cdot K_{sp} \cdot d) \cdot A_p,\ d = 1 + 0.4\frac{H_s}{D_s} \cdot 3.4$ 여기서, q_u : 암석시편의 평균 일축압축 강도(kPa) K_{sp} : 불연속면 간격에 따른 계수	•말뚝의 근입깊이와 암반절리간격을 고려
Goodman 제안식	$Q_a = \frac{1}{F_S}[q_u \cdot (N_\phi + 1)]A_p$ 여기서, q_u : 암반의 일축압축 강도(kPa) A_p: 말뚝의 단면적 , N_ϕ : ($=\tan^2(45 + \phi/2)$)	•암반을 대표하는 일축압축 강도와 지반정수 산정 필요

■ 풍화암지지 말뚝기초의 허용지지력 검토결과

교 량 명				지지력 산정식(kN/EA)		허용지지력(kN/EA)		설계반력(kN/EA)		판 정
				재료의 허용응력	도로교 표준시방서	상시	지진시	상시	지진시	
1공구 지선	현천교	강관	A2	2172.7	938.4	938.4	1407.7	563.4	702.7	O.K
	현천 IC R-B 접속교	복합	P1	1643.5	1100.6	1100.6	1650.9	854.4	580.2	O.K
			P2	1643.5	1104.8	1104.8	1657.2	1005.4	454.8	O.K
		강관	A2	2064.1	1154.4	1154.4	1731.6	461.9	328.3	O.K
	창릉천교	복합	P1	1557.0	1034.8	1034.8	1552.3	925.8	1030.6	O.K
			P2	1557.0	1050.1	1050.1	1575.2	926.1	917.2	O.K
			P3	1557.0	1103.8	1103.8	1655.8	937.2	1006.2	O.K
			P8	1643.5	1068.1	1068.1	1602.2	885.2	1168.1	O.K
			P9	1643.5	1042.0	1042.0	1562.9	932.2	1240.1	O.K
			P10	1643.5	1068.1	1068.1	1602.2	1024.3	1329.1	O.K
			P12	1643.5	1062.9	1062.9	1594.4	986.7	1324.6	O.K
		강관	P14	1453.6	1018.2	1018.2	1527.4	936.4	1299.0	O.K
	난점천1교	강관	A1	2064.1	1003.6	1003.6	1505.3	648.0	314.7	O.K
			A2	2064.1	961.0	961.0	1441.5	652.7	318.0	O.K
	난점천2교	강관	A1	2172.7	1028.5	1028.5	1542.7	711.7	609.8	O.K
			A2	2064.1	1092.3	1092.3	1638.4	709.6	605.4	O.K
1공구 본선	강매교 (확장교량)	복합	P2	1470.5	1974.5	1470.5	2205.8	1013.9	990.7	O.K
			P3	1470.5	2019.2	1470.5	2205.8	1306.8	1677.2	O.K
			P4	1557.0	1988.0	1557.0	2335.5	1395.4	1618.9	O.K
			P5	1470.5	1601.5	1470.5	2205.8	1017.8	1275.8	O.K
		강관	A2	1955.5	2247.0	1955.5	2933.2	822.6	807.8	O.K
	북로 IC R-B교 (확장교량)	강관	A1	1955.5	1859.2	1859.2	2788.7	687.1	704.7	O.K
		복합	P1	1557.0	1686.9	1557.0	2335.5	1209.2	1533.1	O.K
			P2	1557.0	1783.2	1557.0	2335.5	1240.3	1127.2	O.K
		강관	A2	1955.5	1826.1	1826.1	2739.1	690.3	706.6	O.K
	북로 IC R-A1교	강관	A1	1955.5	1602.1	1602.1	2403.2	531.2	318.5	O.K
		복합	P1	1557.0	1761.4	1557.0	2335.5	662.8	273.2	O.K
			P2	1557.0	1581.9	1557.0	2335.5	772.4	332.7	O.K
		강관	A2	2064.1	1256.4	1256.4	1884.5	814.0	540.9	O.K
	북로 IC R-D교	강관	A1	1955.5	1602.1	1602.1	2403.2	531.2	318.5	O.K
		복합	P1	1557.0	1773.1	1557.0	2335.5	663.6	273.9	O.K
			P2	1557.0	1609.5	1557.0	2335.5	773.7	334.2	O.K
		강관	A2	2064.1	1167.6	1167.6	1751.4	518.3	541.6	O.K
	강매 1교	강관	A1	1955.5	1814.9	1814.9	2722.4	815.5	1003.2	O.K
		복합	P1	1557.0	1607.0	1557.0	2335.5	803.7	1110.0	O.K
			P2	1557.0	1605.8	1557.0	2335.5	664.0	1049.4	O.K
		강관	A2	1955.5	1463.1	1463.1	2194.6	568.2	743.3	O.K
	강매 IC 1교	강관	A1	2064.1	1205.5	1205.5	1808.3	462.4	645.9	O.K
			A2	2064.1	1187.3	1187.3	1781.0	521.0	774.7	O.K

■ 풍화암지지 말뚝기초의 허용지지력 검토결과

교 량 명				지지력 산정식(kN/EA)		허용지지력(kN/EA)		설계반력(kN/EA)		판 정
				재료의 허용응력	도로교 표준시방서	상시	지진시	상시	지진시	
1공구 본선	강매 3교	강관	A1	1995.5	1632.7	1632.7	2449.0	774.9	791.1	O.K
		복합 서울	P1	1557.0	1286.7	1286.7	1930.0	1201.3	1427.4	O.K
			P2	1557.0	1186.1	1186.1	1779.1	973.9	1098.6	O.K
		강관	A2	2064.1	1203.3	1203.3	1804.9	825.4	856.9	O.K
	행신 2교	강관	A1	2064.1	1106.4	1106.4	1659.6	1077.5	1033.3	O.K
		복합	P1	1643.5	1124.6	1124.6	1686.9	876.1	1401.7	O.K
			P2	1643.5	1243.9	1243.9	1865.8	803.1	1531.5	O.K
	행신 3교	강관	A1	2064.1	1170.3	1170.3	1755.4	1075.6	1095.6	O.K
			A2	2064.1	1231.9	1231.9	1847.8	1073.6	988.7	O.K
	도내교	강관	A1	2172.7	1019.3	1019.3	1529.0	927.6	752.3	O.K
			A2	2064.1	1191.7	1191.7	1787.5	809.6	711.1	O.K
	행신 IC R-G교	강관	A1	2172.7	1080.0	1080.0	1619.9	870.7	444.2	O.K
			A2	2064.1	1231.6	1231.6	1847.4	692.4	433.4	O.K
	행신 IC교	강관	A1	2172.7	1260.8	1260.8	1891.2	1183.8	833.8	O.K
			A2	2172.7	1175.7	1175.7	1763.6	1077.3	768.2	O.K
	미병육교	강관	A1	2172.7	962.9	962.9	1444.4	845.6	855.0	O.K
			A2	2172.7	962.9	962.9	1444.4	831.0	901.9	O.K
	행신 IC R-A1교	강관	A1	2064.1	1405.5	1405.5	2108.3	953.3	1191.9	O.K
			A2	2064.1	1392.8	1392.8	2089.1	953.3	1144.5	O.K
	행신 IC R-A2교	강관	A1	1955.5	1766.2	1766.2	2649.3	550.9	660.3	O.K
			A2	2064.1	1198.1	1198.1	1797.1	653.9	1023.6	O.K
	행신 IC R-B교	강관	A1	2064.1	1342.8	1342.8	2014.1	550.9	660.3	O.K
			A2	2064.1	1379.5	1379.5	2069.2	653.9	1023.6	O.K
	원흥 1교	강관	A1	2172.7	1197.0	1197.0	1795.5	693.8	740.7	O.K
			P1	1530.1	1239.5	1239.5	1859.3	1002.1	1422.8	O.K
		복합	P2	1557.0	1030.6	1030.6	1546.0	989.6	1208.3	O.K
			P3	1557.0	1056.5	1056.5	1584.8	832.9	1141.1	O.K
			P4	1557.0	1467.8	1467.8	2201.6	956.0	1142.2	O.K
			P5	1470.5	1728.9	1470.5	2205.8	919.8	1213.9	O.K
			P6	1557.0	1513.2	1513.2	2269.8	966.3	1164.6	O.K
		강관	A2	2064.1	1054.4	1054.4	1581.6	865.6	1034.7	O.K
	원흥 2교	강관	A1	2064.1	1232.7	1232.7	1849.1	578.6	651.7	O.K
			A2	2064.1	1324.7	1324.7	1987.0	696.0	1089.9	O.K
	성사 3교	강관	A2	2172.7	915.0	915.0	1372.6	630.9	965.8	O.K
	성사 5교	강관	A1	2172.7	842.0	842.0	1263.0	803.6	1161.3	O.K
			A2	2172.7	845.9	845.9	1268.8	754.2	995.5	O.K
	성사 6교	강관	A2	2064.1	1235.3	1235.3	1852.9	783.5	1209.6	O.K

■ 연암지지 말뚝기초의 허용지지력 검토결과

교 량 명				지지력 산정식(kN/EA)			재료의 허용응력 (kN/EA)	허용지지력 (kN/EA)		설계반력 (kN/EA)		판 정
				구조물기초 설계기준	CFEM	Goodman 제안식		상시	지진시	상시	지진시	
1 공구 지선	현천 IC R-A교	강관	A1	1586.0	2038.9	4553.6	2064.1	1586.0	2379.0	576.7	668.1	O.K
	현천 IC R-B 접속교	강관	A1	1586.0	3117.1	6961.4	2064.1	1586.0	2379.0	794.5	256.9	O.K
	창릉천교	강관	A1	1586.0	1541.8	3443.3	2064.1	1541.8	2312.6	700.1	897.8	O.K
		복합	P4	2700.3	2721.4	6077.8	1557.0	1557.0	2335.5	1066.2	1317.0	O.K
			P5	2700.3	2721.4	6077.8	1557.0	1557.0	2335.5	1053.9	1299.5	O.K
			P6	2700.3	2721.4	6077.8	1557.0	1557.0	2335.5	1053.6	1287.2	O.K
			P7	2700.3	2721.4	6077.8	1643.5	1643.5	2465.3	1033.8	1378.8	O.K
			P13	2700.3	2721.4	6077.8	1643.5	1643.5	2465.3	963.8	1399.0	O.K
			P15	2700.3	2721.4	6077.8	1557.0	1557.0	2335.5	1006.8	1309.7	O.K
		강관	P11	1390.8	2270.7	5071.3	1530.1	1390.8	2086.2	1111.9	1503.6	O.K
			P16	1390.8	916.1	2046.0	1530.1	916.1	1374.2	888.8	1157.7	O.K
			A2	1586.0	916.1	2046.0	2172.7	916.1	1374.2	792.4	1022.7	O.K
1 공구 본선	강매교	복합	P35	2700.3	2721.4	6077.8	1557.0	1557.0	2335.5	1004.4	1246.8	O.K
			P1	2700.3	2721.4	6077.8	1557.0	1557.0	2335.5	1444.0	1124.4	O.K
	강매 2교	강관	A1	1586.0	2988.6	6674.5	2064.1	1586.0	2379.0	1205.9	673.1	O.K
			A2	1586.0	2988.6	6674.5	2064.1	1586.0	2379.0	1205.4	819.8	O.K
	강매 3교	복합 문산	P2	2700.3	1902.2	4248.3	1557.0	1557.0	2335.5	1229.9	1169.6	O.K
		복합 서울	P3	2700.3	1902.2	4248.3	1643.5	1643.5	2465.3	1322.3	1468.6	O.K
		강관 문산	P3	1586.0	1932.8	4316.6	2064.1	1586.0	2379.0	1320.6	1214.5	O.K
	행신 1교	강관	A1	1586.0	1879.7	4198.1	2064.1	1586.0	2379.0	728.8	798.2	O.K
	행신 2교	강관	A2	1586.0	1396.5	3118.9	2064.1	1396.5	2094.8	852.0	1066.1	O.K
	성사 3교	강관	A1	1586.0	4385.1	9793.4	2172.7	1586.0	2379.0	649.2	805.2	O.K
	성사 4교	강관	A1	1586.0	1357.4	3031.6	2064.1	1357.4	2036.1	692.1	998.0	O.K
			A2	1586.0	1357.4	3031.6	2172.7	1357.4	2036.1	667.2	939.4	O.K

검토결과

- 지지력 공식에 의한 허용지지력과 말뚝 본체의 허용압축하중을 비교하여 허용지지력을 산정하여 안정 판정
- 복합 및 강관말뚝기초의 허용지지력 산정결과 설계반력은 허용지지력 이하로 검토되어, 안정한 것으로 판정

4.2.3 현장타설 말뚝기초 연직 지지력에 대한 안정성 검토

•현장타설 말뚝기초는 연 · 경암층 이상의 지지층으로 계획
•안정성 검토시 지지층에 대한 현장 및 실내시험 결과 분석 자료를 토대로 본지역에 적용 가능한 지지력 공식을 이용 합리적인 기초지지력 평가 수행

현장타설 말뚝기초	•말뚝재료에 의한 허용지지력 •구조물기초 설계기준 해설 •Goodman 제안식

○ 말뚝본체의 허용지지력(구조물설계기준, 2003)

•현장타설말뚝의 장경비(L/D)에 대한 저감을 고려하여 말뚝본체 허용지지력 산정
•현장타설말뚝 본체의 허용압축하중은 콘크리트와 보강철근의 허용압축하중을 각각 산정하여 더함
•콘크리트 장기 허용압축응력 산정시 고려사항
- 지하수가 없는 건조한 경우 : 0.25 f_{ck} ≤ 60MPa, - 지하수가 있는 경우 : 0.20 f_{ck} ≤ 5.0MPa

$$Q_{as} = (1 - \frac{\mu_1}{100}) \cdot f_{sa} \cdot A$$

여기서, Q_{as} : 말뚝본체 허용지지력(kN) μ_1 : 장경비에 의한 저감율
f_{sa} : 재료의 장기허용압축응력(kN/m^2) A : 말뚝 순단면적 •장기 허용압축응력은 항복강도의 40%

○ 연암지지 허용 지지력 산정식

▪ 주면마찰력 산정식(구조물기초 설계기준 해설, 2009)

$Q_a = A_0 \cdot q_s / F_s$ 여기서, Q_a : 허용 주면 마찰력(kN), q_s : 암반근입부 극한 주면마찰응력(MPa)

•암석코아의 일축압축강도 ≤ 콘크리트의 일축압축강도	•암석코아의 일축압축강도 > 콘크리트의 일축압축강도
$q_s = 0.63 p_a (q_u/p_a)^{0.5}$ 여기서, q_s : 극한 주면 마찰응력(MPa), p_a : 대기압(MPa) q_u : 암석코아의 일축압축강도(MPa)	$q_s = 0.05\sigma c$ 여기서, q_s : 극한 주면 마찰력(MPa) σ_c : 콘크리트의 일축압축강도(MPa)

※ q_s 산정 : 암반 근입깊이가 3D 이상인 경우 국부적인 취약부위 존재 및 점진적인 파괴(progressive failure) 등을 고려하여 주면마찰력의 약 1/3을 감소시켜 지지력을 산정

▪ 선단지지력 산정식

구 분	적 용 식	비 고
구조물기초 설계기준해설 (2009)	$Q_a = (\frac{1}{5} \sim \frac{1}{8}) \cdot q_u \cdot A_p$ 여기서, q_u : 암석코아의 일축압축 강도(kPa) A_p : 말뚝의 선단 순단면적(㎡)	
Goodman 제안식	$Q_a = \frac{1}{F_S}\left[\frac{q_{uc}}{5} \cdot (N_\phi + 1) \cdot A_p\right]$ 여기서, q_{uc} : 암석코아의 일축압축 강도(kPa) A_p: 말뚝의 선단 순단면적(㎡), N_ϕ : 지지력계수($=\tan^2(45 + \phi/2)$)	

○ 현장타설 말뚝기초의 연직지지력 검토결과

교 량 명			지지력 산정식(kN/EA)		재료의 허용응력 (kN/EA)	허용지지력(kN/EA)		설계반력(kN/EA)		판 정
			구조물기초 설계기준	Goodman 제안식		상시	지진시	상시	지진시	
1 공구 지선	현천교	P0	15128.2	22799.1	7034.9	7034.9	10552.3	2266.6	2990.6	O.K
		P1	13544.9	20323.8	7034.9	7034.9	10552.3	2571.7	3224.9	O.K
		P2	13544.9	20323.8	7034.9	7034.9	10552.3	2704.3	3398.1	O.K
		P3	13703.2	20571.3	7034.9	7034.9	10552.3	3277.4	4141.8	O.K
		P4	13703.2	20571.3	7034.9	7034.9	10552.3	2958.6	3617.8	O.K
		P5	13861.6	20818.8	7034.9	7034.9	10552.3	3626.8	4364.3	O.K
		P6	20941.4	31887.1	7034.9	7034.9	10552.3	3640.6	4395.9	O.K
	현천 IC R-A교	P1	17367.6	26299.9	7034.9	7034.9	10552.3	6035.1	5749.0	O.K
	현천 IC R-B교	P1	16711.6	25274.4	7034.9	7034.9	10552.3	4048.0	4143.8	O.K
		P2	27342.8	41894.5	7034.9	7034.9	10552.3	4999.9	4916.8	O.K
		P3	17752.1	26901.1	7034.9	7034.9	10552.3	5308.6	5999.1	O.K
		P4	17752.1	26901.1	7034.9	7034.9	10552.3	3777.5	3862.8	O.K
		P5	17752.1	26901.1	7034.9	7034.9	10552.3	5396.0	5546.5	O.K
		P6	17752.1	26901.1	7034.9	7034.9	10552.3	5119.4	5262.5	O.K
		P7	17752.1	26901.1	7034.9	7034.9	10552.3	5195.3	4679.7	O.K
		P8	17752.1	26901.1	7034.9	7034.9	10552.3	5598.9	5888.6	O.K
		P9	17752.1	26901.1	7034.9	7034.9	10552.3	4691.5	4911.4	O.K
		P10	17752.1	26901.1	7034.9	7034.9	10552.3	5330.4	6394.6	O.K
		P11	17752.1	26901.1	7034.9	7034.9	10552.3	4215.4	4696.9	O.K

검토결과

- 지지력 공식에 의한 허용지지력과 말뚝 본체의 허용압축하중을 비교하여 허용지지력을 산정
- 현장타설 말뚝기초의 허용지지력은 설계반력을 상회하므로 안정

4.2.4 연직변위(침하량)에 대한 안정성 검토

○ 침하량 산정방법

■ 도로교 설계기준(2009)

구 분	침하량 산정식	비 고
도 로 교 설계기준	$S_t = Q[(\frac{I_{ps}}{D_r E_m}) + (\frac{L_r}{AE_c})]$	•Q : 말뚝머리 축방향 압축하중(kN) •I_{ps} : 암반소켓부 변위 영향계수 •D_r, L_r : 암반 및 흙지반 관입 길이(m) •E_m, E_c : 암반 및 콘크리트 탄성계수(kPa)

■ 구조물기초 설계기준(2009)

침하량 산정식	S_s	S_p	S_{ps}
$S_t = S_s + S_p + S_{ps}$	$S_s = (Q_{pa} + \alpha_s \times Q_{fa}) \times \frac{L}{A \times E_p}$	$S_p = \frac{C_p \times Q_{pa}}{B \times q_b}$	$S_{ps} = \frac{C_s \times Q_{fa}}{L_b \times q_p}$
•S_s: 말뚝자체의 길이방향 변형 •S_p: 말뚝선단부에 가해지는 하중으로 인한 침하량 •S_{ps}: 주면마찰력에 의해 지반에 전달된 하중에 의한 침하량	여기서, Q_{pa} : 말뚝선단부 전달하중 Q_{fa} : 말뚝주면부 전달하중 L : 말뚝길이, A : 말뚝 단면적 E_p : 말뚝의 탄성계수 α_s : 주면마찰력 분포 계수	여기서, B : 말뚝직경 q_b : 단위면적당 극한 선단 지지력 C_p : 흙의 종류와 말뚝시공	여기서, L_b : 땅속에 묻힌 말뚝길이 C_s : $(0.93 + 0.16\sqrt{\frac{L_b}{B}} \times C_p)$

■ 말뚝기초의 연직침하량 검토결과

교 량 명		위 치	지 지 층	발생침하량(㎜)	허용침하량(㎜)	판 정
1공구 지선	현천교	P0~P6	연 암	3.22	25.40	O.K
		A2	풍화암	8.93	25.40	O.K
	현천 IC R-A교	A1	연 암	9.27	25.40	O.K
		P1	연 암	5.58	25.40	O.K
	현천 IC R-B교	P1~P11	연 암	6.96	25.40	O.K
	현천 IC R-B교 접속교	A1	연 암	9.27	25.40	O.K
		P1~P2	풍화암	14.85	25.40	O.K
		A2	풍화암	7.85	25.40	O.K
	창릉천교	A1	연 암	10.11	25.40	O.K
		P1~3,8~10,12,14	풍화암	16.76	25.40	O.K
		P4~7,11,13,15~16	연 암	16.15	25.40	O.K
		A2	연 암	12.57	25.40	O.K
	난점천 1교	A1~A2	풍화암	11.27	25.40	O.K
	난점천 2교	A1~A2	풍화암	11.22	25.40	O.K

■ 말뚝기초의 연직침하량 검토결과

교 량 명		위 치	지 지 층	발생침하량(㎜)	허용침하량(㎜)	판 정
1공구 본선	강매교	P35~P1	연 암	15.80	25.40	O.K
		P2~P5	풍화암	17.99	25.40	O.K
		A2	풍화암	16.77	25.40	O.K
	북로 JCT R-B교	A1~A2	풍화암	13.58	25.40	O.K
		P1~P2	풍화암	16.92	25.40	O.K
	북로 IC R-A1교	A1~A2	풍화암	13.66	25.40	O.K
		P1~P2	풍화암	11.01	25.40	O.K
	북로 IC R-D교	A1~A2	풍화암	11.12	25.40	O.K
		P1~P2	풍화암	11.10	25.40	O.K
	강매 1교	A1~A2	풍화암	15.77	25.40	O.K
		P1~P2	풍화암	12.10	25.40	O.K
	강매 IC 1교	A1~A2	풍화암	8.54	25.40	O.K
	강매 2교	A1~A2	연 암	20.19	25.40	O.K
	강매 3교	A1~A2	풍화암	13.40	25.40	O.K
		P1~P2	풍화암	18.34	25.40	O.K
		P3	연 암	16.07	25.40	O.K
	행신 1교	A1	연 암	10.71	25.40	O.K
	행신 2교	A1	풍화암	13.48	25.40	O.K
		P1~P2	풍화암	12.85	25.40	O.K
		A2	연 암	14.19	25.40	O.K
	행신 3교	A1	풍화암	16.79	25.40	O.K
		A2	풍화암	17.40	25.40	O.K
	도내교	A1	풍화암	14.84	25.40	O.K
		A2	풍화암	12.58	25.40	O.K
	행신 IC R-G교	A1	풍화암	12.93	25.40	O.K
		A2	풍화암	9.75	25.40	O.K
	행신 IC교	A1	풍화암	16.12	25.40	O.K
		A2	풍화암	14.70	25.40	O.K

■ 말뚝기초의 연직침하량 검토결과

교 량 명		위 치	지 지 층	발생침하량(㎜)	허용침하량(㎜)	판 정
1공구 본선	미병육교	A1	풍화암	12.55	25.40	O.K
		A2	풍화암	12.33	25.40	O.K
	행신 IC R-A1교	A1	풍화암	15.65	25.40	O.K
		A2	풍화암	15.62	25.40	O.K
	행신 IC R-A2교	A1	풍화암	11.26	25.40	O.K
		A2	풍화암	9.38	25.40	O.K
	행신 IC R-B교	A1	풍화암	8.91	25.40	O.K
		A2	풍화암	9.55	25.40	O.K
	원흥 1교	A1	풍화암	10.63	25.40	O.K
		P1~P6	풍화암	16.41	25.40	O.K
		A2	풍화암	15.22	25.40	O.K
	원흥 2교	A1	풍화암	8.50	25.40	O.K
		A2	풍화암	9.40	25.40	O.K
	성사 3교	A1	연 암	7.44	25.40	O.K
		A2	풍화암	10.43	25.40	O.K
	성사 4교	A1	연 암	9.61	25.40	O.K
		A2	연 암	8.21	25.40	O.K
	성사 5교	A1	풍화암	13.24	25.40	O.K
		A2	풍화암	12.18	25.40	O.K
	성사 6교	A2	풍화암	11.97	25.40	O.K

검토결과

•말뚝기초에 대한 풍화암 및 연암지지 침하량 검토결과 발생침하량이 허용침하량 25.40mm 이내로 안정한 것으로 판정

4.2.5 수평변위에 대한 안정성 검토

•말뚝에 수평하중 작용시 발생하는 말뚝머리부 수평반력은 말뚝의 허용수평지지력을 초과해서는 안되며, 수평변위량은 허용수평변위를 초과하지 않도록 설계
•최대수평하중 < 수평허용지지력, 말뚝머리 수평변위 < 허용수평변위
•말뚝의 수평허용변위 : B < 1,500mm 이면 1.5cm(상시), 2.25cm(지진시)
B > 1,500mm 이면, 기초폭의 1% (단, < 5cm)

○ 검토방법

검 토 방 법			검 토 내 용
해석적 방 법	지지력	극한평형법 (Broms법)	•말뚝에 작용하는 본당 최대 수평반력에 대한 지반의 반력 특성 및 말뚝의 강성에 의한 지지력 산정
		탄성지반반력법 (Chang법)	•탄성지반위의 보이론을 적용 •허용수평변위량을 적용하여 말뚝두부의 수평방향지지력 산정
	변 위	탄성지반반력법 (Chang법)	•기초저면으로부터 1/β 심도까지의 평균 수평지반반력계수를 적용하여 말뚝두부에 작용하는 하중에 의한 탄성변위 산정
		비선형해석 (GROUP)	•다층지반에 대하여 각층의 응력-변형특성을 고려한 p-y곡선을 적용하여 말뚝머리에 작용하는 하중에 의한 탄소성변위 산정

○ 수평지반반력계수(k_h) 산정

▌수평지반반력계수(k_h) 산정 방법

•말뚝의 지지력 및 변위량 산정시 주요변수가 되는 지반반력계수에 대한 산정방법별 결과를 비교하고, 지층 및 말뚝특성별로 가장 적합한 지반반력계수 산정을 위해 검토를 수행

▌도로교 설계기준(2009)

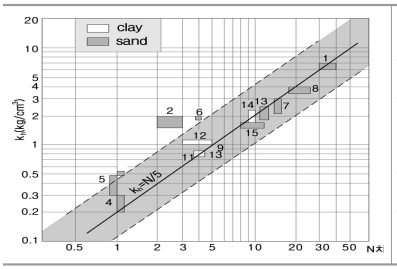
•$k_h = k_{ho}\left(\frac{B_H}{30}\right)^{-\frac{3}{4}}$, $k_{ho} = \frac{1}{30}\alpha E_o$ ➡ $k_h = 0.34\,(\alpha E_o)^{1.1} d^{-0.31} (EI)^{-0.1}$

여기서, k_h : 30cm의 강체원판에 의한 평판재하시험 결과에 상당하는 수평방향 지반반력 계수(kN/m^3)
B_H : 하중작용방향에 직교하는 기초의 환산재하폭(cm) $=(D/\beta)^{1/2}$
α, E_o : 지반반력계계수 추정에 쓰이는 계수 및 지반변형계수(kN/m^2)

▌Hukuoka 공식

•$k_h = 0.691 \times 10^4 \times N^{0.406}$(kN/m^3) 여기서, N : 표준관입 시험값

▌한국지반공학회 "깊은기초" k_h-N관계 분석

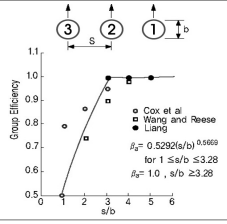
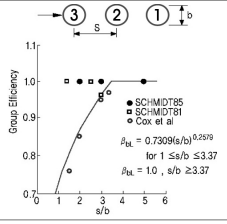
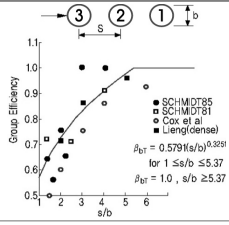


•수평지반반력계수 k_h는 말뚝 수평거동의 지배구간인 1/β 심도 이내에서 산정
•수평재하시험에 의한 k_h-N 과의 관계 도표 '지반공학회, 깊은기초'와 도로교 설계기준 추천방법 E_o-N과의 관계식 및 Hukuoka 제안식을 비교·분석하여 결정
•일반 토사 구간에 적용 가능한 E_o-N 관계 도출
•사질토 구간 적용 범위 중 E_o=1.0N(MPa) 적용

○ 군말뚝 감소계수 산정

•말뚝기초에서 말뚝간의 간격이 충분히 이격되어 있지 않으면 하중재하시 간섭효과가 발생하여 단말뚝의 경우보다 지지력이 저하되는데 이것을 군말뚝효과라 함
•본 설계에서는 말뚝의 수평 안정성에 대한 군말뚝효과를 고려하기 위하여 기존방법을 비교·검토하고 실험을 통하여 검증된 최신의 군말뚝효과에 대한 연구 성과를 설계에 반영

▌군말뚝 고려방법에 대한 검토

<table>
<tr><th>구 분</th><th>군말뚝효과 고려 방법</th></tr>
<tr><td>도 로 교
설계기준해설(2001)</td><td>•말뚝 중심 간격이 2.5D 이상이라면 단말뚝의 수평방향 지반반력계수 사용
•말뚝 중심 간격이 2.5D 이하인 경우 수평방향 지반반력계수에 다음의 감소계수를 적용
•μ = 1-0.2(2.5-L/D), (L<2.5D) 여기서, L : 말뚝 중심간격(m), D : 말뚝지름(m)</td></tr>
<tr><td>구조물기초
설 계 기 준
(2003)</td><td>•하중작용 직각방향에 대해서는 말뚝간격이 2.5D이상이면 군말뚝에 대한 효과를 고려하지 않음
•하중이 작용하는 방향의 말뚝중심간의 거리가 말뚝직경의 8배 이하일 경우 수평방향 지반반력계수 감소계수를 적용하는 방법으로 군말뚝 영향 고려
<table>
<tr><th>말뚝간격</th><th>8D</th><th>6D</th><th>4D</th><th>3D</th></tr>
<tr><td>감소계수</td><td>1.00</td><td>0.70</td><td>0.40</td><td>0.25</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>FHWA
Federal Highway
Administraion</td><td>•미연방도로국(FHWA) 설계지침서에서는 Brown(1988)과 McVay(1995)에 의하여 시행된 현장시험과 원심모형시험 시험결과로부터 분석한 군말뚝효과를 다음과 같이 제시
<table>
<tr><th rowspan="2">지반종류</th><th rowspan="2">시행시험</th><th rowspan="2">말 뚝
중심간격</th><th colspan="3">말뚝열에 따른 감소계수(Pm)</th><th rowspan="2">전 체
감소계수</th></tr>
<tr><th>1열</th><th>2열</th><th>3열이후</th></tr>
<tr><td>매우조밀한 모래</td><td>현장시험</td><td>3D</td><td>0.8</td><td>0.4</td><td>0.3</td><td>75%</td></tr>
<tr><td rowspan="2">보통조밀한 모래</td><td rowspan="2">원심모형실험</td><td>3D</td><td>0.8</td><td>0.4</td><td>0.3</td><td>74%</td></tr>
<tr><td>5D</td><td>1.0</td><td>0.85</td><td>0.7</td><td>95%</td></tr>
<tr><td rowspan="2">느슨한 모래</td><td rowspan="2">원심모형실험</td><td>3D</td><td>0.65</td><td>0.45</td><td>0.35</td><td>73%</td></tr>
<tr><td>5D</td><td>1.0</td><td>0.85</td><td>0.7</td><td>92%</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>Lymon C. Reese
(1996)</td><td>•하중작용방향과 하중직각방향 말뚝간격과 군말뚝효과의 관계를 시험결과로부터 그래프와 관계식으로 제시하였으며, 군말뚝효과는 고려하지 않아도 되는 말뚝간격은 다음과 같음
<table>
<tr><th>하중직각방향
말뚝간격의 영향</th><th colspan="2">하중작용방향 말뚝간격의 영향</th></tr>
<tr><th></th><th>첫번째열</th><th>뒷 열</th></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>3.1 D</td><td>3.37 D</td><td>5.37 D</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

검토결과

•내부마찰각이 40° 미만인 사질토지반에서는 단말뚝 지지력의 합보다 군말뚝 지지력이 크게 발휘됨
•말뚝의 중심간격이 말뚝지름의 2.5배 이상인 경우, 군말뚝의 영향은 무시하는 것이 타당함
•본 사업의 경우 풍화암지지 말뚝기초의 중심간격은 말뚝지름의 2.5배 이상으로, 연직방향 하중에 대한 군말뚝 효과는 고려하지 않음(구조물기초 설계기준, 2009)

▌군말뚝 감소계수 적용

말뚝종류	교량명	말뚝 간격	군말뚝 효율	비 고
현장타설말뚝(Φ1,200)	1공구 지선	2.5D 이상	1.0	교대 / 교각
강관말뚝 (Φ508, 9t, 12t)	1~4 공구	2.5D 이상	1.0	교대 / 교각
복합말뚝 (Φ500, 80t)	1~4 공구	2.5D 이상	1.0	교각

1 공구 수평지반반력계수(k_h) 산정 결과

구 분			위치	평균 N 값	E_0/N	지층	수평지반반력계수(kg/cm^3)		말뚝 간격	적 용
							도로교설계기준	후쿠오카공식		
1 공구 지선	현천교	현타	P0	7	7	모래층	0.320	1.523	2.5D 이상	0.320
			P1	7	7	모래층	0.320	1.523	2.5D 이상	0.320
			P2	7	7	모래층	0.320	1.523	2.5D 이상	0.320
			P3	9	7	모래층	0.422	1.686	2.5D 이상	0.422
			P4	8	7	모래층	0.371	1.607	2.5D 이상	0.371
			P5	9	7	모래층	0.422	1.686	2.5D 이상	0.422
			P6	9	7	모래층	0.422	1.686	2.5D 이상	0.422
		강관	A2	8	7	모래층	0.670	1.607	2.5D 이상	0.670
	현천 IC R-A교	강관	A1	8	7	모래층	0.670	1.607	2.5D 이상	0.670
		현타	P1	7	7	모래층	0.320	1.523	2.5D 이상	0.320
	현천 IC R-B교	현타	P1	6	7	모래층	0.270	1.430	2.5D 이상	0.270
			P2	8	7	모래층	0.371	1.607	2.5D 이상	0.371
			P3	16	7	모래층	0.795	2.130	2.5D 이상	0.795
			P4	7	7	모래층	0.320	1.523	2.5D 이상	0.320
			P5	8	7	모래층	0.371	1.607	2.5D 이상	0.371
			P6	9	7	모래층	0.422	1.686	2.5D 이상	0.422
			P7	20	7	모래층	1.017	2.332	2.5D 이상	1.017
			P8	20	7	모래층	1.017	2.332	2.5D 이상	1.017
			P9	20	7	모래층	1.017	2.332	2.5D 이상	1.017
			P10	13	7	모래층	0.633	1.958	2.5D 이상	0.633
			P11	16	7	모래층	0.795	2.130	2.5D 이상	0.795
	현천 IC R-B교 접속교		A1	7	7	모래층	0.578	1.523	2.5D 이상	0.578
			P1	11	7	모래층	0.960	1.829	2.5D 이상	0.960
			P2	16	7	모래층	1.450	2.130	2.5D 이상	1.450
			A2	11	7	모래층	0.951	1.829	2.5D 이상	0.951
	창릉천교		A1	10	7	모래층	0.856	1.760	2.5D 이상	0.856
			P1	15	7	모래층	1.397	2.075	2.5D 이상	1.397
			P2	8	4	점토층	0.378	1.607	2.5D 이상	0.378
			P3	9	4	점토층	0.430	1.686	2.5D 이상	0.430
			P4	15	7	모래층	1.397	2.075	2.5D 이상	1.397
			P5	8	7	모래층	0.700	1.607	2.5D 이상	0.700
			P6	8	7	모래층	0.700	1.607	2.5D 이상	0.700
			P7	8	7	모래층	0.700	1.607	2.5D 이상	0.700
			P8	8	7	모래층	0.700	1.607	2.5D 이상	0.700
			P9	8	7	모래층	0.700	1.607	2.5D 이상	0.700
			P10	8	7	모래층	0.700	1.607	2.5D 이상	0.700
			P11	15	7	모래층	1.383	2.075	2.5D 이상	1.383
			P12	10	7	모래층	0.894	1.760	2.5D 이상	0.894
			P13	9	4	점토층	0.430	1.686	2.5D 이상	0.430
			P14	10	4	점토층	0.478	1.760	2.5D 이상	0.478
			P15	15	7	모래층	1.397	2.075	2.5D 이상	1.397
			P16	19	4	점토층	0.969	2.284	2.5D 이상	0.969
			A2	30	7	모래층	2.866	2.749	2.5D 이상	2.749
	난점천1교		A1	15	7	모래층	1.337	2.075	2.5D 이상	1.337
			A2	15	7	모래층	1.337	2.075	2.5D 이상	1.337
	난점천2교		A1	15	7	모래층	1.337	2.075	2.5D 이상	1.337
			A2	15	7	모래층	1.337	2.075	2.5D 이상	1.337

1 공구 수평지반반력계수(k_h) 산정 결과

구 분		위치	평균 N 값	E_0/N	지층	수평지반반력계수(kg/cm^3)		말뚝 간격	적 용
						도로교설계기준	후쿠오카공식		
1 공구 본선	강매교	P35	5	4	점토층	0.225	1.328	2.5D 이상	0.225
		P1	4	7	모래층	0.316	1.213	2.5D 이상	0.316
		P2	4	4	점토층	0.176	1.213	2.5D 이상	0.176
		P3	8	7	모래층	0.676	1.607	2.5D 이상	0.676
		P4	13	7	모래층	1.154	1.958	2.5D 이상	1.154
		P5	9	7	모래층	0.770	1.686	2.5D 이상	0.770
		A2	15	7	모래층	1.337	2.075	2.5D 이상	1.337
	북로 IC R-B교	A1	8	7	모래층	0.670	1.607	2.5D 이상	0.670
		P1	9	4	점토층	0.416	1.686	2.5D 이상	0.416
		P2	9	4	점토층	0.416	1.686	2.5D 이상	0.416
		A2	8	7	모래층	0.670	1.607	2.5D 이상	0.670
	북로 IC R-A1교	A1	7	7	모래층	0.578	1.523	2.5D 이상	0.578
		P1	8	7	모래층	0.676	1.607	2.5D 이상	0.676
		P2	10	7	모래층	0.865	1.760	2.5D 이상	0.865
		A2	14	7	모래층	1.239	2.017	2.5D 이상	1.239
	북로 IC R-D교	A1	7	7	모래층	0.578	1.523	2.5D 이상	0.578
		P1	8	7	모래층	0.676	1.607	2.5D 이상	0.676
		P2	10	7	모래층	0.865	1.760	2.5D 이상	0.865
		A2	14	7	모래층	1.239	2.017	2.5D 이상	1.239
	강매 1교	A1	15	7	모래층	1.337	2.075	2.5D 이상	1.337
		P1	9	7	모래층	0.796	1.686	2.5D 이상	0.796
		P2	9	7	모래층	0.796	1.686	2.5D 이상	0.796
		A2	14	7	모래층	1.239	2.017	2.5D 이상	1.239
	강매 IC 1교	A1	11	4	점토층	0.514	1.829	2.5D 이상	0.514
		A2	11	4	점토층	0.514	1.829	2.5D 이상	0.514
	강매 2교	A1	10	7	모래층	0.856	1.760	2.5D 이상	0.856
		A2	10	7	모래층	0.856	1.760	2.5D 이상	0.856
	강매 3교 서울	A1	15	7	모래층	1.337	2.075	2.5D 이상	1.337
		P1	8	4	점토층	0.365	1.607	2.5D 이상	0.365
		P2	8	4	점토층	0.365	1.607	2.5D 이상	0.365
		P3	8	7	모래층	0.676	1.607	2.5D 이상	0.676
		A2	15	7	모래층	1.337	2.075	2.5D 이상	1.337
	강매 3교 문산	A1	15	7	모래층	1.337	2.075	2.5D 이상	1.337
		P1	8	4	점토층	0.365	1.607	2.5D 이상	0.365
		P2	8	4	점토층	0.365	1.607	2.5D 이상	0.365
		P3	8	7	모래층	0.670	1.607	2.5D 이상	0.670
		A2	15	7	모래층	1.337	2.075	2.5D 이상	1.337
	행신 1교	A1	30	10	모래층	4.244	2.749	2.5D 이상	2.749
	행신 2교 서울	A1	15	7	모래층	1.337	2.075	2.5D 이상	1.337
		P1	15	10	모래층	2.068	2.075	2.5D 이상	2.068
		P2	25	10	모래층	3.627	2.553	2.5D 이상	2.553
		A2	15	7	모래층	1.337	2.075	2.5D 이상	1.337
	행신 2교 문산	A1	15	7	모래층	1.337	2.075	2.5D 이상	1.337
		P1	15	10	모래층	2.068	2.075	2.5D 이상	2.068
		P2	25	10	모래층	3.627	2.553	2.5D 이상	2.553
		A2	15	7	모래층	1.337	2.075	2.5D 이상	1.337
	행신 3교	A1	15	7	모래층	1.337	2.075	2.5D 이상	1.337
		A2	8	7	점토층	0.670	1.607	2.5D 이상	0.670
	도내교	A1	11	7	모래층	0.951	1.829	2.5D 이상	0.951
		A2	8	7	모래층	0.670	1.607	2.5D 이상	0.670
	행신 IC R-G교	A1	25	7	모래층	2.346	2.553	2.5D 이상	2.346
		A2	9	7	모래층	0.762	1.686	2.5D 이상	0.762

1 공구 수평지반반력계수(k_h) 산정 결과

구 분			위치	평균 N 값	E_0/N	지층	수평지반반력계수(kg/cm^3)		말뚝 간격	적 용
							도로교설계기준	후쿠오카공식		
1공구본선	행신 IC교	서울	A1	20	7	모래층	1.835	2.332	2.5D 이상	1.835
			A2	16	7	모래층	1.436	2.130	2.5D 이상	1.436
		문산	A1	20	7	모래층	1.835	2.332	2.5D 이상	1.835
			A2	16	7	모래층	1.436	2.130	2.5D 이상	1.436
	미병육교		A1	30	7	모래층	2.866	2.749	2.5D 이상	2.749
			A2	30	7	모래층	2.866	2.749	2.5D 이상	2.749
	행신 IC R-A1교		A1	15	7	모래층	1.337	2.075	2.5D 이상	1.337
			A2	15	7	모래층	1.337	2.075	2.5D 이상	1.337
	행신 IC R-A2교		A1	15	7	모래층	1.337	2.075	2.5D 이상	1.337
			A2	14	7	모래층	1.239	2.017	2.5D 이상	1.239
	행신 IC R-B교		A1	9	7	모래층	0.762	1.686	2.5D 이상	0.762
			A2	9	7	모래층	0.762	1.686	2.5D 이상	0.762
	원흥 1교	서울	A1	30	7	모래층	2.866	2.749	2.5D 이상	2.749
			P1	30	7	모래층	2.965	2.749	2.5D 이상	2.749
			P2	7	7	모래층	0.604	1.523	2.5D 이상	0.604
			P3	9	7	모래층	0.796	1.686	2.5D 이상	0.796
			P4	18	7	모래층	1.707	2.234	2.5D 이상	1.707
			P5	7	7	모래층	0.604	1.523	2.5D 이상	0.604
			P6	7	7	모래층	0.604	1.523	2.5D 이상	0.604
			A2	15	7	모래층	1.337	2.075	2.5D 이상	1.337
		문산	A1	30	7	모래층	2.866	2.749	2.5D 이상	2.749
			P1	20	7	모래층	1.898	2.332	2.5D 이상	1.898
			P2	7	7	모래층	0.604	1.523	2.5D 이상	0.604
			P3	9	7	모래층	0.796	1.686	2.5D 이상	0.796
			P4	18	7	모래층	1.707	2.234	2.5D 이상	1.707
			P5	7	7	모래층	0.604	1.523	2.5D 이상	0.604
			P6	7	7	모래층	0.604	1.523	2.5D 이상	0.604
			A2	15	7	모래층	1.337	2.075	2.5D 이상	1.337
	원흥 2교	서울	A1	8	7	모래층	0.670	1.607	2.5D 이상	0.670
			A2	27	7	모래층	2.553	2.634	2.5D 이상	2.553
		문산	A1	8	7	모래층	0.670	1.607	2.5D 이상	0.670
			A2	27	7	모래층	2.553	2.634	2.5D 이상	2.553
	성사 3교	서울	A1	10	7	모래층	0.856	1.760	2.5D 이상	0.856
			A2	10	7	모래층	0.856	1.760	2.5D 이상	0.856
		문산	A1	10	7	모래층	0.856	1.760	2.5D 이상	0.856
			A2	10	7	모래층	0.856	1.760	2.5D 이상	0.856
	성사 4교	서울	A1	12	7	모래층	1.046	1.895	2.5D 이상	1.046
			A2	12	7	모래층	1.046	1.895	2.5D 이상	1.046
		문산	A1	12	7	모래층	1.046	1.895	2.5D 이상	1.046
			A2	12	7	모래층	1.046	1.895	2.5D 이상	1.046
	성사 5교	서울	A1	13	7	모래층	1.142	1.958	2.5D 이상	1.142
			A2	15	7	모래층	1.337	2.075	2.5D 이상	1.337
		문산	A1	13	7	모래층	1.142	1.958	2.5D 이상	1.142
			A2	15	7	모래층	1.337	2.075	2.5D 이상	1.337
	성사 6교	서울	A2	10	7	모래층	0.856	1.760	2.5D 이상	0.856
		문산	A2	10	7	모래층	0.856	1.760	2.5D 이상	0.856

○ 수평방향 허용지지력 산정 방법

▮ 극한평형법(Broms의 해석법)

•Broms는 수평력을 받고 있는 말뚝과 지반의 파괴형태를 고찰한 결과 말뚝의 휨강성과 묻힘깊이 및 지반강성에 의해 말뚝을 분류하고 점성토와 사질토에서의 말뚝의 수평지지력을 구하는 방법을 제안

•사질토 지반의 극한 수평지지력(Broms 방법, 두부고정)

짧은 말뚝($\eta L < 2$)	중간 말뚝($2 \le \eta L < 4$)	긴 말뚝($\eta L > 4$)
$Q_u = 1.5L^2\gamma' d K_p$	$\left(\frac{Q_u}{K_p d^3 \gamma'}\right)\cdot\left(\frac{L}{d}\right) - \frac{1}{2}\left(\frac{L}{d}\right)^3 = \frac{M_y}{K_p d^4 \gamma'}$	$\frac{Q_u}{K_p d^3 \gamma} = 2.38\left(\frac{M_y}{K_p d^3 \gamma}\right)^{2/3}$

•점성토 지반의 극한 수평지지력(Broms 방법, 두부고정)

짧은 말뚝 ($\beta L < 2.25$)	중간 말뚝	긴 말뚝 ($\beta L > 2.25$)
$Q_u = 9c_u d^2\left(\frac{L}{d} - 1.5\right)$	$\left(\frac{Q_u}{c_u d^2}\right)^2 + \left(27 + 18\frac{L}{d}\right)\left(\frac{Q_u}{c_u d^2}\right) - 81\left(\frac{L}{d} - 1.5\right)^2 = 36\left(\frac{M_y}{c_u d^3}\right)$	$\left(\frac{Q_u}{c_u d^2}\right)^2 + 27\left(\frac{Q_u}{c_u d^2}\right) = 36\left(\frac{M_y}{c_u d^3}\right)$

■ 탄성지반반력법(Chang, 1985)

$$H_a = k_h \cdot \frac{D}{\beta} \cdot y$$

여기서, H_a : 허용수평지지력(kgf)　k_h : 수평지반반력계수(kN/cm^3)
D : 말뚝 직경(cm)　y : 기준변위량(상시 1.5cm, 지진시 2.25cm)
β : $(\frac{k_h D}{4EI})^{1/4}$(cm^{-1})

▮ 말뚝기초의 수평방향 허용지지력 검토결과

구 분			위치	지지력 산정식(kN/EA)				수평방향 허용지지력(kN/EA)		수평방향 설계반력 (kN/EA)		판 정
				상 시		지진시						
				Broms법	Chang법	Broms법	Chang법	상 시	지진시	상 시	지진시	
1공구 지선	현천교	현타	P0	973.0	413.2	1459.5	1099.5	413.2	1099.5	51.2	302.2	O.K
			P1	966.0	413.2	1449.0	1099.5	413.2	1099.5	61.0	314.9	O.K
			P2	962.9	413.2	1444.4	1099.5	413.2	1099.5	61.3	343.0	O.K
			P3	949.7	508.8	1424.5	1352.0	508.8	1352.0	72.0	398.8	O.K
			P4	957.1	461.8	1435.6	1226.8	461.8	1226.8	70.6	387.6	O.K
			P5	941.5	508.8	1412.3	1352.0	508.8	1352.0	77.4	407.0	O.K
			P6	941.2	508.8	1411.8	1352.0	508.8	1352.0	75.5	393.4	O.K
		강관	A2	128.1	166.6	192.2	443.4	128.1	192.2	75.6	104.9	O.K
	현천 IC R-A교	강관	A1	127.7	166.6	191.6	443.4	127.7	191.6	76.1	108.6	O.K
		현타	P1	884.5	413.2	1326.7	1099.5	413.2	1099.5	175.8	360.4	O.K
	현천 IC R-B교	현타	P1	931.7	363.8	1397.5	968.4	363.8	968.4	151.0	272.4	O.K
			P2	909.2	461.8	1363.8	1226.8	461.8	1226.8	200.3	351.0	O.K
			P3	901.9	817.7	1352.8	2174.1	817.7	1352.8	202.6	329.3	O.K
			P4	938.0	413.2	1407.0	1099.5	413.2	1099.5	174.9	248.4	O.K
			P5	899.8	461.8	1349.7	1226.8	461.8	1226.8	177.1	233.5	O.K
			P6	906.4	508.8	1359.6	1352.0	508.8	1352.0	177.8	221.3	O.K
			P7	904.6	983.7	1356.9	2613.3	904.6	1356.9	178.4	180.4	O.K
			P8	895.0	983.7	1342.4	2613.3	895.0	1342.4	179.0	250.3	O.K
			P9	916.5	983.7	1374.8	2613.3	916.5	1374.8	97.0	282.7	O.K
			P10	901.4	689.3	1352.0	1832.0	689.3	1352.0	175.7	350.2	O.K
			P11	927.8	817.7	1391.6	2174.1	817.7	1391.6	157.9	261.8	O.K

■ 말뚝기초의 수평방향 허용지지력 검토결과(계속)

구 분		위치	지지력 산정식(kN/EA)				수평방향 허용지지력(kN/EA)		수평방향 설계반력 (kN/EA)		판 정
			상 시		지진시						
			Broms법	Chang법	Broms법	Chang법	상 시	지진시	상 시	지진시	
1공구 지선	현천 IC R-C교 접속교	A1	121.8	149.1	182.7	396.9	121.8	182.7	92.0	28.2	O.K
		P1	116.8	212.9	175.2	566.9	116.8	175.2	34.9	22.2	O.K
		P2	112.8	290.1	169.3	772.3	112.8	169.3	65.0	25.5	O.K
		A2	130.8	216.6	196.2	576.5	130.8	196.2	98.4	8.4	O.K
	창릉천교	A1	100.8	71.2	151.2	189.7	71.2	151.2	94.1	136.1	N.G
		P1	66.1	76.6	99.1	204.3	66.1	99.1	69.4	82.8	N.G
		P2	69.5	97.2	104.3	258.8	69.5	104.3	23.3	73.7	O.K
		P3	69.3	107.1	103.9	285.2	69.3	103.9	23.7	58.7	O.K
		P4	65.8	43.4	98.8	115.1	43.4	98.8	47.7	70.6	N.G
		P5	78.2	154.4	117.3	410.9	78.2	117.3	26.5	74.4	O.K
		P6	78.2	154.4	117.3	410.9	78.2	117.3	27.4	88.2	O.K
		P7	78.9	154.4	118.3	410.9	78.9	118.3	26.4	80.3	O.K
		P8	83.9	154.4	125.8	410.9	83.9	125.8	14.9	66.9	O.K
		P9	82.3	154.4	123.5	410.9	82.3	123.5	22.1	78.2	O.K
		P10	79.2	154.4	118.8	410.9	79.2	118.8	24.4	70.2	O.K
		P11	64.6	65.9	96.8	175.6	64.6	96.8	69.8	77.0	N.G
		P12	80.5	185.4	120.7	493.9	80.5	120.7	18.9	63.1	O.K
		P13	68.6	107.1	102.8	285.2	68.6	102.8	15.9	68.1	O.K
		P14	69.3	116.9	103.9	311.3	69.3	103.9	15.0	69.3	O.K
		P15	67.5	87.0	101.2	232.0	67.5	101.2	74.2	76.6	N.G
		P16	72.5	201.8	108.7	537.5	72.5	108.7	22.4	67.4	O.K
		A2	121.8	480.2	182.8	1319.1	121.8	182.8	120.8	169.1	O.K
	난점천 1교	A1	101.8	82.8	152.7	220.3	82.8	152.7	85.3	41.6	N.G
		A2	101.7	82.8	152.6	220.3	82.8	152.6	89.4	42.0	N.G
	난점천 2교	A1	100.6	59.3	150.8	157.7	59.3	150.8	69.5	77.1	N.G
		A2	100.6	59.3	150.9	157.7	59.3	150.9	69.5	76.6	N.G
1공구 본선	강매교	P35	51.3	65.9	77.0	175.6	51.3	77.0	5.3	45.9	O.K
		P1	99.6	92.5	149.4	246.0	92.5	149.4	3.2	44.2	O.K
		P2	51.1	54.8	76.7	146.1	51.1	76.7	23.5	43.8	O.K
		P3	103.6	163.7	155.4	435.9	103.6	155.4	20.3	74.5	O.K
		P4	101.0	244.4	151.5	650.6	101.0	151.5	23.6	52.5	O.K
		P5	111.9	180.4	167.9	480.3	111.9	167.9	20.9	54.4	O.K
		A2	121.0	279.6	181.5	744.5	121.0	181.5	89.9	110.7	O.K
	북로 IC R-B교	A1	124.7	166.6	187.1	443.4	124.7	187.1	69.9	97.0	O.K
		P1	65.9	113.7	104.0	302.8	65.9	104.0	25.3	83.6	O.K
		P2	65.4	113.7	103.4	302.8	65.4	103.4	25.4	65.9	O.K
		A2	124.7	166.6	187.0	443.4	124.7	187.0	69.8	97.1	O.K
	북로 IC R-A1교	A1	129.0	149.1	193.5	396.9	129.0	193.5	68.3	13.8	O.K
		P1	121.7	163.7	182.6	435.9	121.7	182.6	78.1	28.5	O.K
		P2	118.8	196.9	178.1	524.0	118.8	178.1	89.3	34.3	O.K
		A2	121.2	264.1	181.9	703.4	121.2	181.9	109.3	139.8	O.K
	북로 IC R-D교	A1	129.0	149.1	193.5	396.9	129.0	193.5	68.3	13.8	O.K
		P1	121.7	163.7	182.6	435.9	121.7	182.6	78.1	28.5	O.K
		P2	118.7	196.9	178.1	524.0	118.7	178.1	89.3	34.3	O.K
		A2	129.3	264.1	194.0	703.4	129.3	194.0	109.3	139.8	O.K

■ 말뚝기초의 수평방향 허용지지력 검토결과(계속)

구 분		위치	지지력 산정식(kN/EA)				수평방향 허용지지력(kN/EA)		수평방향 설계반력 (kN/EA)		판 정
			상 시		지진시						
			Broms법	Chang법	Broms법	Chang법	상 시	지진시	상 시	지진시	
1공구 본선	강매 1교	A1	121.2	279.6	181.8	744.5	121.2	181.8	100.8	147.0	O.K
		P1	86.5	170.0	129.8	452.7	86.5	129.8	19.9	96.7	O.K
		P2	91.0	170.0	136.5	452.7	91.0	136.5	4.8	94.1	O.K
		A2	128.0	264.1	192.0	703.4	128.0	192.0	89.8	139.0	O.K
	강매 2교	A1	108.1	200.2	162.2	532.9	108.1	162.2	80.8	34.4	O.K
		A2	108.1	200.2	162.2	532.9	108.1	162.2	80.8	46.4	O.K
	강매 IC 1교	A1	78.5	136.5	117.8	363.3	78.5	117.8	58.8	96.0	O.K
		A2	77.7	136.5	116.6	363.3	77.7	116.6	60.7	113.9	O.K
	강매 3교 서울	A1	122.3	279.6	183.5	744.5	122.3	183.5	98.6	123.8	O.K
		P1	88.0	103.1	132.0	274.6	88.0	132.0	41.0	70.8	O.K
		P2	92.8	103.1	139.2	274.6	92.8	139.2	34.1	58.9	O.K
		P3	103.2	163.7	154.8	435.9	103.2	154.8	41.8	65.8	O.K
		A2	122.6	279.6	183.9	744.5	122.6	183.9	95.2	119.5	O.K
	강매 3교 문산	A1	123.3	279.6	184.9	744.5	123.3	184.9	94.6	119.0	O.K
		P1	88.8	103.1	133.3	274.6	88.8	133.3	44.3	56.3	O.K
		P2	87.4	103.1	131.1	274.6	87.4	131.1	44.4	57.4	O.K
		P3	106.7	166.6	160.1	443.4	106.7	160.1	44.8	50.0	O.K
		A2	120.9	279.6	181.4	744.5	120.9	181.4	103.7	130.4	O.K
	행신 1교	A1	123.6	480.2	185.4	1770.4	123.6	185.4	122.5	153.0	O.K
	행신 2교 서울	A1	121.9	279.6	182.8	744.5	121.9	182.8	97.7	161.1	O.K
		P1	85.2	347.8	127.7	926.1	85.2	127.7	21.7	114.7	O.K
		P2	86.5	407.3	129.8	1411.5	86.5	129.8	11.9	128.5	O.K
		A2	120.3	279.6	180.4	744.5	120.3	180.4	98.3	175.8	O.K
	행신 2교 문산	A1	122.3	279.6	183.4	744.5	122.3	183.4	95.5	155.8	O.K
		P1	84.2	347.8	126.2	926.1	84.2	126.2	22.1	114.9	O.K
		P2	87.4	407.3	131.1	1411.5	87.4	131.1	8.2	115.5	O.K
		A2	120.2	279.6	180.3	744.5	120.2	180.3	98.8	174.8	O.K
	행신 3교	A1	113.8	279.6	170.7	419.4	113.8	170.7	76.3	114.6	O.K
		A2	94.3	166.6	141.4	249.8	94.3	141.4	71.6	107.0	O.K
	도내교	A1	118.1	216.6	177.1	324.8	118.1	177.1	93.6	129.9	O.K
		A2	121.4	166.6	182.0	249.8	121.4	182.0	76.7	113.9	O.K
	행신 IC R-G교	A1	119.7	426.3	179.5	1134.9	119.7	179.5	113.2	58.5	O.K
		A2	124.6	183.4	186.9	488.5	124.6	186.9	84.9	16.5	O.K
	행신 IC교 서울	A1	110.7	354.6	166.1	944.0	110.7	166.1	82.6	48.3	O.K
		A2	114.2	295.0	171.3	785.3	114.2	171.3	73.4	42.9	O.K
	행신 IC교 문산	A1	111.3	354.6	166.9	944.0	111.3	166.9	84.8	48.2	O.K
		A2	113.8	295.0	170.7	785.3	113.8	170.7	77.4	44.0	O.K
	미병육교	A1	120.4	480.2	180.5	720.3	120.4	180.5	65.8	90.7	O.K
		A2	120.8	480.2	181.1	720.3	120.8	181.1	65.8	96.2	O.K
	행신 IC R-A1교	A1	71.6	59.3	107.4	88.9	59.3	88.9	66.8	138.1	N.G
		A2	71.6	59.3	107.4	88.9	59.3	88.9	66.8	131.9	N.G
	행신 IC R-A2교	A1	128.4	112.9	192.7	169.3	112.9	169.3	116.3	100.9	N.G
		A2	125.6	264.1	188.5	396.1	125.6	188.5	86.4	151.0	O.K
	행신 IC R-B교	A1	128.4	183.4	192.7	275.1	128.4	192.7	76.7	100.9	O.K
		A2	125.6	183.4	188.5	275.1	125.6	188.5	86.4	151.0	O.K

■ 말뚝기초의 수평방향 허용지지력 검토결과(계속)

구 분			위치	지지력 산정식(kN/EA)				수평방향 허용지지력(kN/EA)		수평방향 설계반력 (kN/EA)		판 정
				상 시		지진시						
				Broms법	Chang법	Broms법	Chang법	상 시	지진시	상 시	지진시	
1공구 본선	원흥1교	서울	A1	124.6	480.2	186.8	1319.1	124.6	186.8	109.9	139.2	O.K
			P1	82.7	441.1	124.1	1243.2	82.7	124.1	46.1	75.6	O.K
			P2	81.4	138.2	122.1	368.0	81.4	122.1	41.9	64.4	O.K
			P3	87.1	170.0	130.7	452.7	87.1	130.7	35.5	66.9	O.K
			P4	81.5	301.2	122.3	802.0	81.5	122.3	35.5	75.9	O.K
			P5	82.7	138.2	124.1	368.0	82.7	124.1	35.7	85.0	O.K
			P6	81.3	138.2	122.0	368.0	81.3	122.0	35.4	77.1	O.K
			A2	119.5	279.6	179.2	744.5	119.5	179.2	117.8	157.2	O.K
		문산	A1	123.9	480.2	185.9	1319.1	123.9	185.9	107.7	135.9	O.K
			P1	84.8	334.2	127.1	889.8	84.8	127.1	40.7	54.2	O.K
			P2	80.4	138.2	120.6	368.0	80.4	120.6	40.7	55.5	O.K
			P3	85.6	170.0	128.4	452.7	85.6	128.4	35.6	73.8	O.K
			P4	81.6	301.2	122.3	802.0	81.6	122.3	35.6	77.3	O.K
			P5	82.9	138.2	124.4	368.0	82.9	124.4	35.7	86.7	O.K
			P6	81.2	138.2	121.8	368.0	81.2	121.8	35.5	78.4	O.K
			A2	119.8	279.6	179.7	744.5	119.8	179.7	117.3	148.8	O.K
	원흥2교	서울	A1	131.6	166.6	197.4	249.8	131.6	197.4	75.2	89.0	O.K
			A2	124.5	454.2	186.7	681.4	124.5	186.7	105.7	167.1	O.K
		문산	A1	127.7	166.6	191.5	249.8	127.7	191.5	74.5	92.4	O.K
			A2	125.8	454.2	188.7	681.4	125.8	188.7	103.1	162.5	O.K
	성사3교	서울	A1	102.2	71.2	153.4	106.9	71.2	106.9	93.8	121.8	N.G
			A2	103.5	82.8	155.2	124.2	82.8	124.2	93.9	154.5	N.G
		문산	A1	101.8	59.3	152.7	88.9	59.3	88.9	94.2	120.8	N.G
			A2	102.2	59.3	153.2	88.9	59.3	88.9	83.9	143.9	N.G
	성사4교	서울	A1	125.4	232.6	188.1	348.9	125.4	188.1	109.5	159.5	O.K
			A2	125.6	232.6	188.4	348.9	125.6	188.4	104.6	147.2	O.K
		문산	A1	124.6	232.6	186.9	348.9	124.6	186.9	109.8	161.5	O.K
			A2	125.3	232.6	187.9	348.9	125.3	187.9	109.3	155.4	O.K
	성사5교	서울	A1	121.5	248.4	182.3	372.7	121.5	182.3	111.9	162.7	O.K
			A2	123.8	279.6	185.8	419.4	123.8	185.8	119.2	167.6	O.K
		문산	A1	122.0	248.4	183.0	372.7	122.0	183.0	114.2	169.0	O.K
			A2	122.9	279.6	184.3	419.4	122.9	184.3	113.5	163.0	O.K
	성사6교	서울	A2	126.1	200.2	189.1	532.9	126.1	189.1	90.7	154.4	O.K
		문산	A2	122.1	200.2	183.1	532.9	122.1	183.1	101.1	162.5	O.K

검토결과

•극한평형법(Broms방법)과 탄성지반반력법(Chang방법)으로 수평방향 허용지지력 산정
•말뚝기초의 횡방향 안정성 검토결과
– 행신IC R-A1교(A1, A2), 행신IC R-A2교(A1), 성사 3교(A1, A2), 창릉천교(A1,P1,P4,P11,P15), 난점천 1교(A1, A2), 난점천 2교(A1, A2)는 원지반시 수평력(또는 말뚝변위)에 대해 N.G가 발생하므로, 대책공법으로 치환공법 또는 SCP 공법을 적용하여 안정성 검토 수행

○ 수평방향 허용지지력 대책공법 검토

•수평방향 허용지지력 검토 결과 N.G가 발생한 경우, 대책방안으로 치환공법과 SCP 공법 적용에 대해 검토하였으며, 경제성과 시공성을 고려하여 대책방안을 적용하였다.

■ 모래다짐말뚝(S.C.P)공법 검토

•치환율(a_s)은 원지반을 1.0로 하여 다짐말뚝 체적비로 개량 정도를 나타내는 정수로서, 사질토나 육상 점성토의 개량에는 0.3이하, 해상에서는 0.3~0.8의 범위

•육상공사에서는 말뚝의 지름을 60~80cm(표준 70cm)로 적용, 말뚝을 정삼각형 및 정사각형으로 배치할 경우 치환율(a_s)는 아래와 같이 계산

정사각형 배치

$$a_s = \frac{A_s}{A} = \frac{A_s}{X_2} \text{ 또는 } \frac{A_s}{x_1 x_2}$$

정삼각형 배치

$$a_s = \frac{A_s}{A} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{A_s}{x^2}$$

a_s : 치환율, x1, x2 : 말뚝 사이의 간격 , As : 쇄석말뚝 단면적, A : 말뚝 1개가 부담하는 면적(분담면적)

○ 점토에서의 다짐말뚝 개량효과

■ 응력집중효과

말뚝의 응력집중계수(≥1)	점성토의 응력집중계수(≤1)
$\mu_s = \frac{\sigma_s}{\sigma} = \frac{n \cdot A}{n \cdot A_s + A_c} = \frac{n}{1+(n-1) \cdot a_s}$	$\mu_c = \frac{\sigma_c}{\sigma} = \frac{A}{n \cdot A_s + A_c} = \frac{1}{1+(n-1) \cdot a_s}$
여기서, a_s : 치환율(As/A) n : 응력분담비(σ s/σ c = 3)	

■ 원지반 치환율과 응력집중효과를 고려한 복합지반 강도

• $\Delta C = C_0 \cdot (1 - a_s \cdot \mu_s)$ $\varphi = \tan^{-1}(\mu_s \cdot a_s \cdot \tan\varphi_p)$

여기서, n : 응력분담비(=3) C_0 : 점성토 원지반의 초기점착력 a_s : 치환율(As/A)

μ s : 응력증가계수 ø : 모래의 내부마찰각(=30°)

○ 설계입력치 결정

다짐말뚝 직경 (mm)	다짐말뚝 C.T.C (m×m)	응력분담비 (n)	모래말뚝에 의한 치환율(as)	복합지반의 마찰각 (°)	복합지반의 추정 N값
ø700	0.8×0.8	3.0	60%	25.3	10

■ 말뚝기초의 수평방향 허용지지력 대책공법 검토결과

구 분		위치	지지력 산정식(kN/EA)				수평방향 허용지지력(kN/EA)		수평방향 설계반력 (kN/EA)		판정	적용 공법
			상 시		지진시							
			Broms법	Chang법	Broms법	Chang법	상 시	지진시	상 시	지진시		
1공구	행신 IC R-A1교	A1	113.7	274.9	170.6	412.3	113.7	170.6	66.8	138.1	O.K	치환공법
		A2	117.3	279.6	176.0	419.4	117.3	176.0	66.8	131.9	O.K	
	행신 IC R-A2교	A1	128.4	279.6	192.7	419.4	128.4	192.7	76.7	100.9	O.K	

■ 말뚝기초의 수평방향 허용지지력 대책공법 검토결과(계속)

구 분			위치	지지력 산정식(kN/EA)				수평방향 허용지지력(kN/EA)		수평방향 설계반력 (kN/EA)		판정	적용 공법
				상 시		지진시							
				Broms법	Chang법	Broms법	Chang법	상 시	지진시	상 시	지진시		
1 공 구	성사 3교	서울	A1	126.4	200.2	189.6	300.2	126.4	189.6	93.8	121.8	O.K	치환 공법
			A2	128.1	200.2	192.2	300.2	128.1	192.2	93.9	154.5	O.K	
		문산	A1	125.8	200.2	188.7	300.2	125.8	188.7	94.2	120.8	O.K	
			A2	126.3	200.2	189.4	300.2	126.3	189.4	83.9	143.9	O.K	
	창릉천교		A1	124.4	200.2	186.6	532.9	124.4	186.6	94.1	136.1	O.K	SCP
			P1	81.0	259.2	121.6	690.0	81.0	121.6	23.3	72.5	O.K	치환 공법
			P4	76.4	259.2	114.6	690.0	76.4	114.6	26.5	70.6	O.K	
			P11	74.9	259.2	112.3	690.0	74.9	112.3	25.8	77.0	O.K	
			P15	78.4	259.2	117.6	690.0	78.4	117.6	25.8	76.6	O.K	
	난점천1교		A1	123.6	279.6	185.3	744.5	123.6	185.3	59.5	41.6	O.K	
			A2	123.4	279.6	185.1	744.5	123.4	185.1	59.5	42.0	O.K	
	난점천2교		A1	124.1	279.6	186.1	744.5	124.1	186.1	69.5	77.1	O.K	
			A2	124.1	279.6	186.2	744.5	124.1	186.2	69.5	76.6	O.K	

검토결과

•대책공법 안정성 검토결과
- **행신IC R-A1교(A1, A2), 행신IC R-A2교(A1), 성사 3교(A1, A2), 창릉천교(P1,P4,P11,P15), 난점천 1교(A1, A2), 난점천 2교(A1, A2)**에는 치환공법을 적용하였으며,
- **창릉천교(A1)**은 SCP공법을 적용하여 안정성을 확보하였음.

4.3 주요구간 안정성 검토

4.3.1 기초의 부등침하 검토

•기초형식이 상이하거나, 기초형식이 동일할지라도 하부 지지층이 다른 기초에 대한 부등침하 검토 필요

○ 부등침하 관리기준

검토방향 및 기준	•Moulton & Barker 허용각변위 기준 : $A = \delta / S$ 여기서, A : 각변위량 , δ : 각 교각 침하량 차 , S : 경간 길이 ➡ 허용각변위 : 연속교인 경우 A < 0.004 단순교인 경우 A < 0.005 •구조물기초 설계기준 : 각변위 = 1/300 (단일기초 각변위량)

➡

•허용부등침하량 : 10mm
•허용각변위 기준
연속교 : A < 0.004
단순교 : A < 0.005

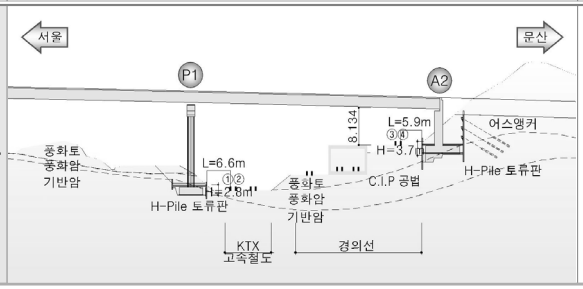
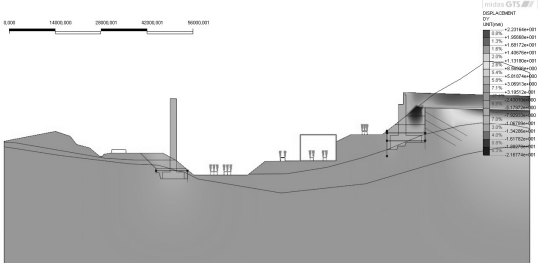
○ 대표 교량에 대한 부등침하 검토결과

구 분		침하량 (mm)	경간장 (m)	부 등 침 하(mm)			각 변 위		
				부등침하량	허용침하량	검토결과	rad	허용각변위	검토결과
행신 1교	P1	5.93	70.0	0.31	10.0	O.K	0.000044	0.004	O.K
	A2	11.3							

○ 수치해석에 의한 부등침하 검토

•인접기초간의 부등침하가 클 것으로 예상되는 구간을 대상으로 안정성 검토
•이론식을 검토한 부등침하 예상 교량에 수치해석을 통한 이론식 검증 (Midas GTX)

■ 부등침하 검토결과

구 분	1공구 행신 1교	1공구 행신 1교
연직 변위도		

구 분			침하량 (mm)	경간장 (m)	부 등 침 하(mm)			각 변 위(rad)		
					부등침하량	허용침하량	검토결과	각변위	허용각변위	검토결과
1공구	행신 1교	P1	6.11	70.0	4.2	10.0	O.K	0.00006	0.004	O.K
		A2	10.31							

검토결과

•수치해석을 통한 부등침하 검토 결과 발생부등침하량은 4.2mm, 각변위는 허용치 이내의 값을 나타내므로 안정

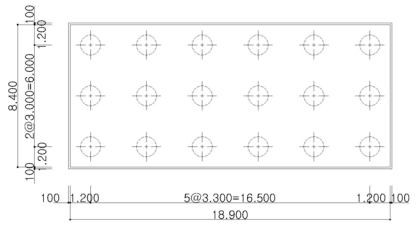
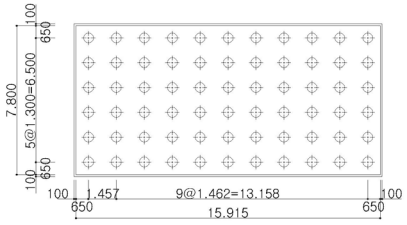
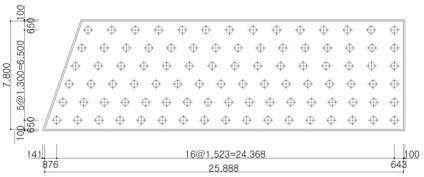
4.3.2 말뚝기초 군말뚝 영향 검토

- 단일말뚝 검토에서 하중-침하량 거동이 양호하더라도 군말뚝 거동에서는 하중전이가 선단으로 이동함에 따라 기초부의 침하에 영향을 미칠 수 있어, 수평지지력 해석에서 말뚝간격에 따라 군말뚝 감소계수를 적용
- 기초 구조물 안정성 특히 침하량 문제는 단말뚝이 아닌 군말뚝 조건으로 검토를 수행하는 것이 실구조물 조건과 부합되므로 현장 지질특성을 고려하여 p-y 비선형해석을 통한 군말뚝 거동을 분석

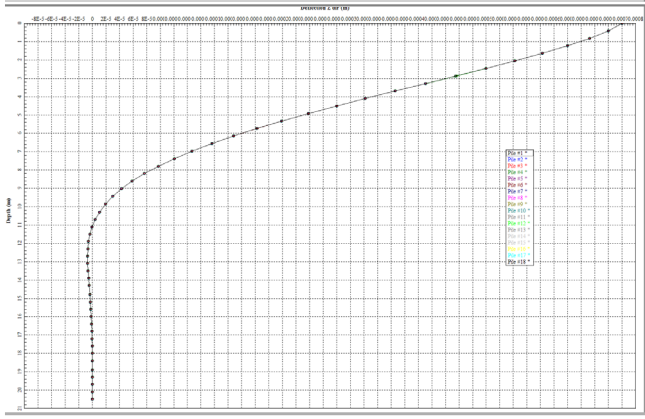
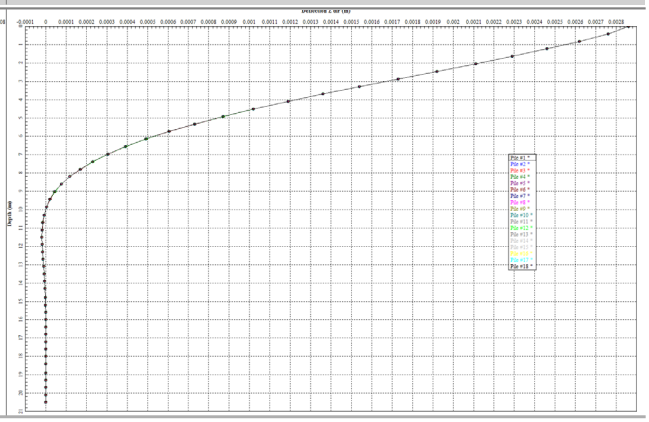
말뚝조건

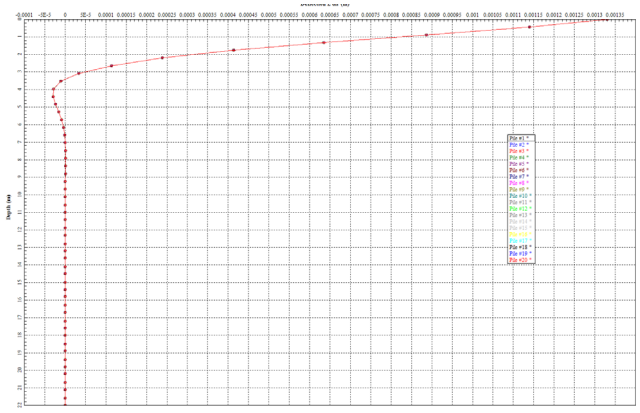
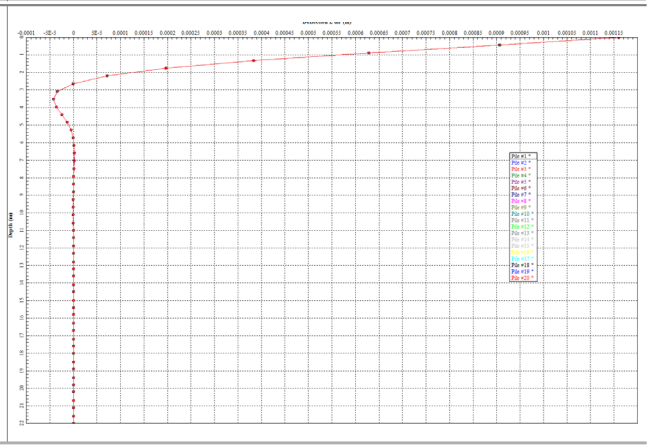
구 분		직경 D(mm)	탄성계수 E (MPa)	전단탄성계수 G (MPa)	단면적 A (m^2)	단면2차모멘트 I (m^4)	하중조건 (상시/지진시)		
							연직하중(MN)	수평하중(MN)	모멘트(MN·m)
1 공구	현천교 P2	1,200	2.45×10^4	1.0×10^4	1.130	0.102	42.98/36.89	0.99/5.57	6.79/37.93
	원흥 1교 A2	508	2.10×10^5	8.2×10^4	0.0155	0.000474	33.69/31.42	7.74/9.82	26.85/48.67
	창릉천교 A1	508	2.10×10^5	8.2×10^4	0.0155	0.000474	47.29/43.51	8.85/12.79	16.98/52.26

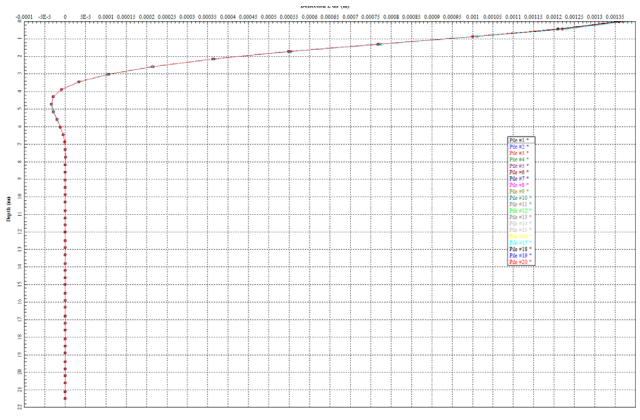
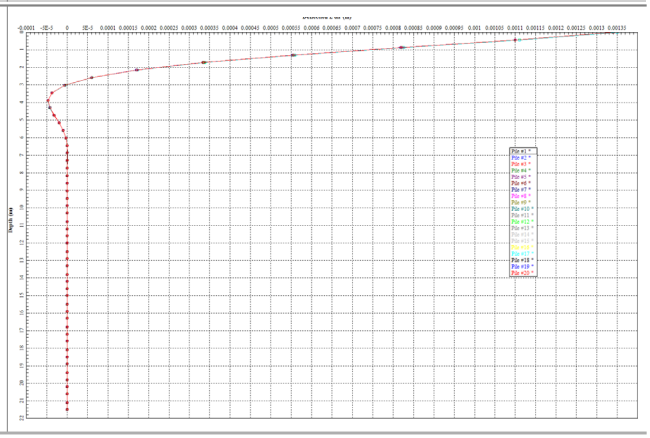
대표 교량 말뚝 배치 현황

1 공구 대표 교량 말뚝 배치 현황		
현천교 P2	원흥 1교 A2	창릉천교 A1
		
6 × 3 = 18 본	11 × 6 = 66 본	14×6+10 = 94 본

말뚝기초의 모델링 및 해석 결과

1공구 현천교 P2	
상 시 해석결과	지진시 해석결과
	

1공구 원흥1교 A2	
상 시 해석결과	지진시 해석결과
	

1공구 창릉천교 A1	
상 시 해석결과	지진시 해석결과
	

구 분		최대연직침하 상시/지진시(mm)	허용침하량 (mm)	최대수평변위 상시/지진시(mm)	허용수평변위 상시/지진시(mm)	판 정
1공구	현천교 P2	1.123/0.964	25.0	0.780/2.862	15.0/22.5	O.K
	원흥 1교 A2	1.312/1.236	25.0	1.326/1.160	15.0/22.5	O.K
	창릉천교 A1	1.436/1.368	25.0	1.371/1.344	15.0/22.5	O.K

검토결과

•군말뚝 영향을 고려한 검토 결과, 최대 연직침하량은 0.964~1.436mm이고, 최대 수평변위는 0.780~2.862mm로서 모두 허용치 이내의 값을 나타내므로 안정

4.3.3 고성토부 교대 안정성 검토

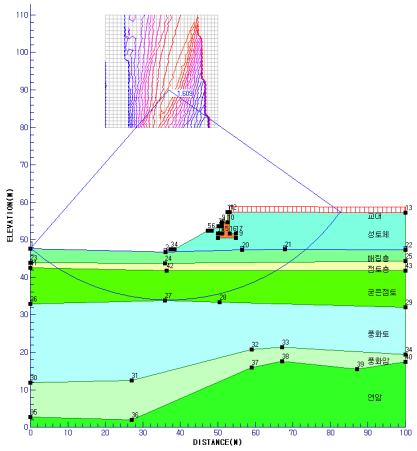
•공구별 고성토부에 위치하는 대표 교대에 대한 측방유동 발생 가능성 검토
•말뚝의 휨응력을 고려한 한계평형해석을 통한 상세 안정성 검토 수행

○ 공구별 고성토 교대부 검토 구간 선정

공구	교량명	성토고	지층 현황
1공구	강매1교 A1	H=10.0m	하부 점토층이 10.0m로 분포하나, 과압밀구간의 굳은 점토로 판정 (평균 N값 10)
	성사3교 A2	H=8.0m	연약점토층이 3.0m 분포 (평균 N값 4)

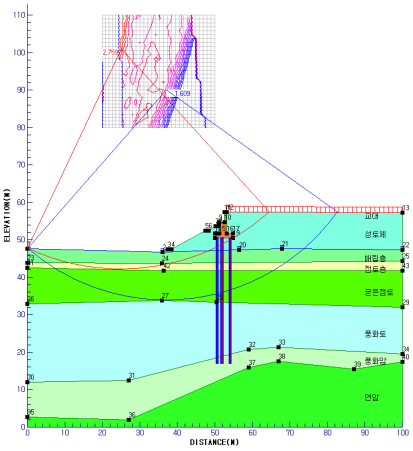
○ 강매1교 A1 (원지반)

말뚝 미고려시



Fs = 1.60 1.5 ∴ O.K

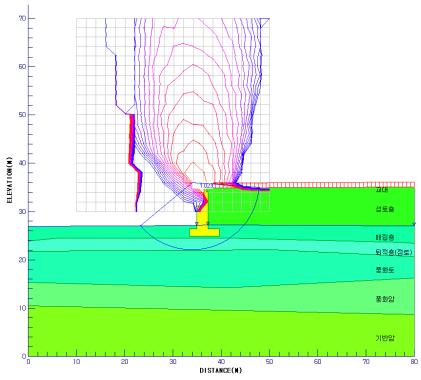
말뚝 고려시



Fs = 2.75 1.8 ∴ O.K

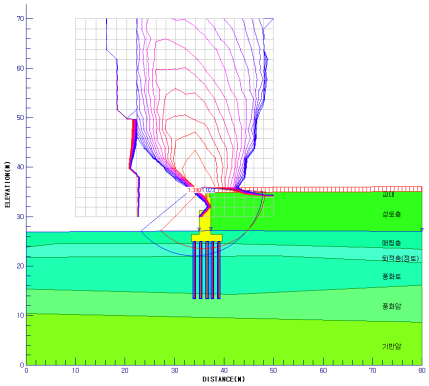
○ 성사3교 A2

말뚝 미고려시



Fs = 1.02 〈 1.5 ∴ N.G

말뚝 고려시



Fs = 1.39 〈 1.8 ∴ N.G

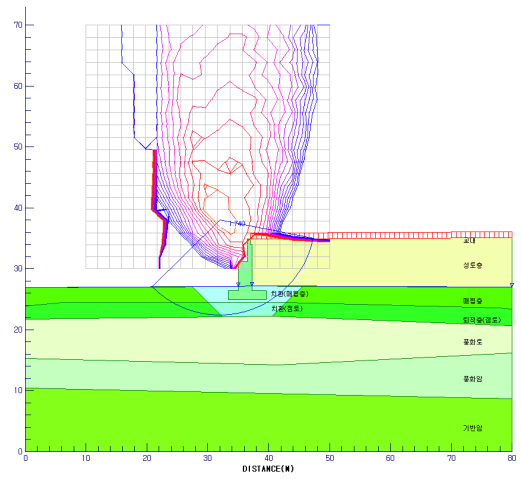
◎원지반 측방 유동 검토 결과

공구	교량명	성토고 (m)	원지반		검토 결과	대책 공법
			말뚝 고려	말뚝 미고려		
1공구	강매1교 A2	10.6	2.75	1.60	OK	-
	성사3교 A2	8.0	1.39	1.02	NG	필요

검토결과	•고성토 교대 구간 측방유동 안정성 검토 결과 성사3교 A2에서 기준안전율 이하로 검토되어 측방유동 대책공법 적용이 필요한 것으로 판단됨

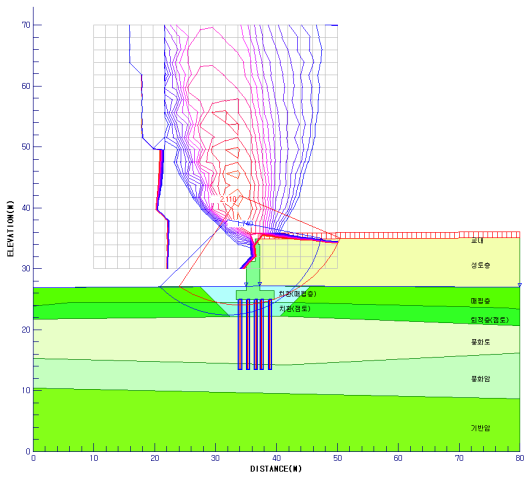
◎ 성사3교 A2(굴착치환)

말뚝 미고려시



Fs = 1.74 1.5 ∴ O.K

말뚝 고려시



Fs = 2.11 1.8 ∴ O.K

검 토 위 치	검토결과		비 고
	말뚝 미고려시	말뚝 고려시	
성사 3교 A2	1.74 1.5	2.11 1.8	교대하부 폭 18.0m / 기초하부 심도 2.5m 굴착치환 적용

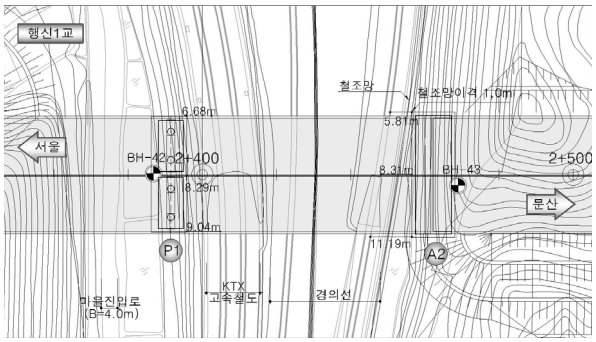
검토결과	•성사3교 A2구간에 대하여 하부지반에 대한 굴착치환 공법 적용시 안정성 확보

4.3.4 행신 1교 KTX 고속철도 및 경의선 통과구간 안정성 검토

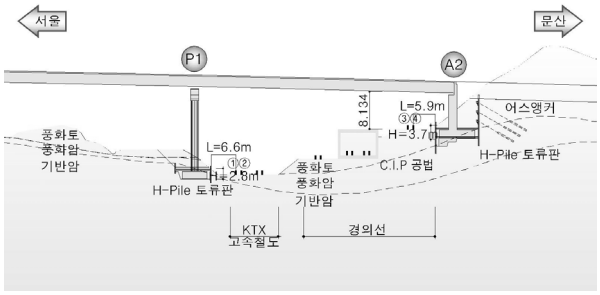
- 행신 1교는 KTX 고속철도 및 경의선 상부 통과하는 교량으로 기초 터파기시 기존 철도 노반에 미치는 영향과 기초 시공 및 공용 중 철도운행에 따른 영향 검토
- KTX철도 운행하중은 250/3≒85kN/m적용 (철도설계기준 노반편, 2011, p.8-33)
- 철도노반 침하기준은 직선(레일길이 10m에 대해)7.0mm 적용

○ 검토현황

행신 1교 KTX 및 경의선 횡단 평면



행신 1교 KTX 및 경의선 횡단 종단면도



■ 행신 1교 적용 물성치

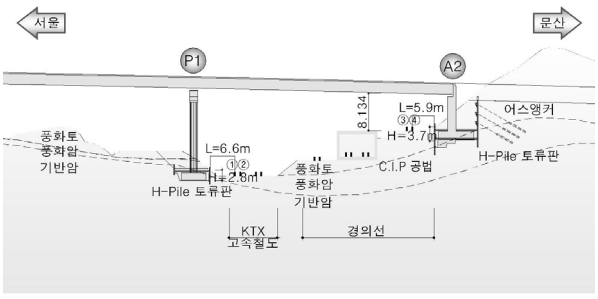
구 분	지층	r_t(kN/m^3)	c(kPa)	Φ	E(MPa)	ν	K(cm/s)
교 량 구 간	붕적층	18	5	28	10	0.35	5.4×10^{-4}
	풍화토	19	17	29	50	0.33	2.6×10^{-4}
	풍화암	21	28	31	280	0.30	5.8×10^{-5}
	연 암	23	500	33	660	0.26	3.3×10^{-5}

■ 행신 1교 해석조건 - 적용하중

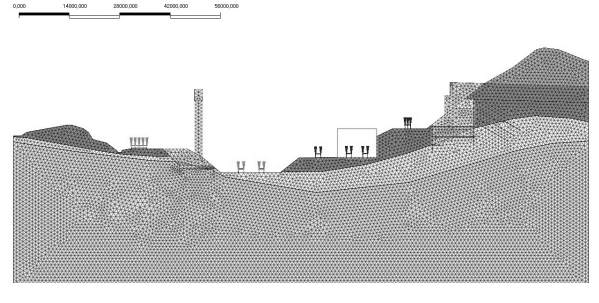
구 분	철도하중	교량 공용중 교각, 교대에 재하되는 하중	
		P1	A2
KTX 및 경의선 철도운행 하중 (kN)	85 kN/m^2	28,546 kN	2,924 kN

■ 해석 모델링 분석

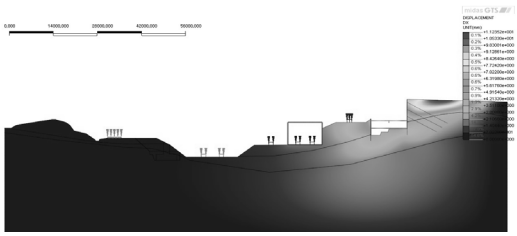
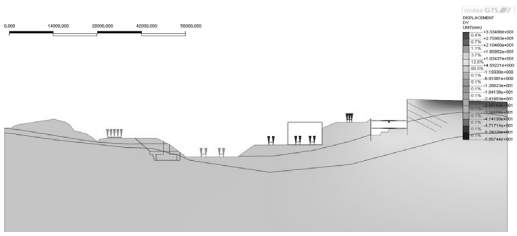
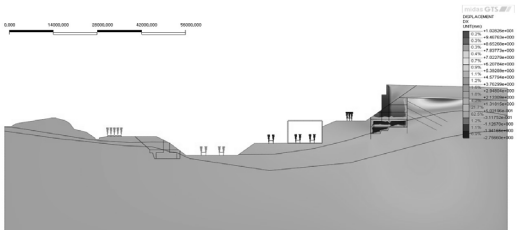
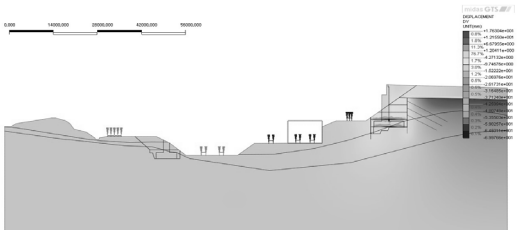
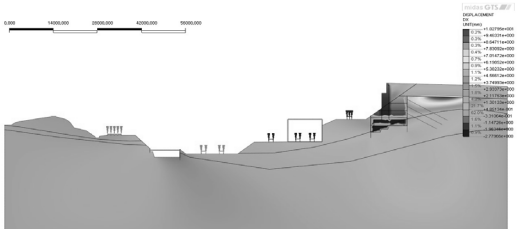
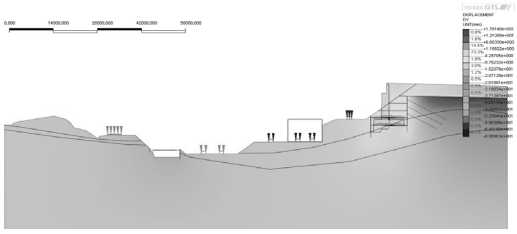
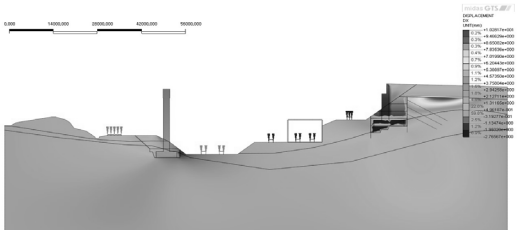
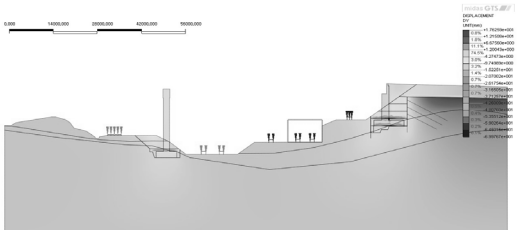
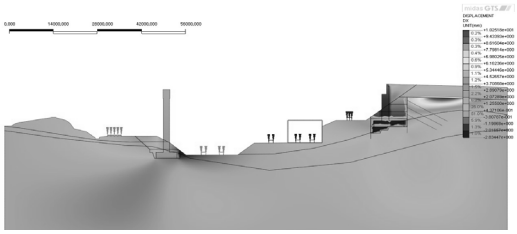
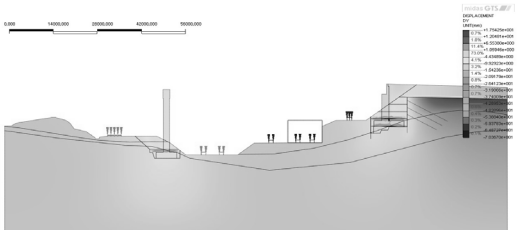
해석 단면도



해석 모델링



시공단계별 해석 결과

시공단계	수평변위도	연직변위도
교대 A2 기초 터파기시		
교대 A2 기초 배면성토		
교각 P1 기초 터파기시		
교각 P1 기초 배면성토		
공 용 시 하중재하		

기초 터파기시 지반 변위 검토

교대 A2 터파기시						
검토 위치		지반 최대수평변위 (mm)	허용변위 (mm)	지반 최대연직변위 (mm)	허용변위 (mm)	검 토
교각 P1		0.35 (→)	15.0	0.05 (↓)	25.0	O.K
교대 A2		4.57 (→)	15.0	10.92 (↑)	25.0	O.K
KTX	Point①	0.47 (→)	7.0	0.06 (↓)	7.0	O.K
	Point②	0.50 (→)	7.0	0.06 (↓)	7.0	O.K
경의선	Point③	2.89 (→)	7.0	2.00 (↑)	7.0	O.K
	Point④	3.25 (→)	7.0	2.45 (↑)	7.0	O.K

교대 A2 배면성토시						
검토 위치		지반 최대수평변위 (mm)	허용변위 (mm)	지반 최대연직변위 (mm)	허용변위 (mm)	검 토
교각 P1		0.08 (→)	15.0	0.01 (↓)	25.0	O.K
교대 A2		2.56 (←)	15.0	11.23 (↓)	25.0	O.K
KTX	Point①	0.12 (→)	7.0	0.01 (↓)	7.0	O.K
	Point②	0.13 (→)	7.0	0.01 (↓)	7.0	O.K
경의선	Point③	2.62 (→)	7.0	0.99 (↓)	7.0	O.K
	Point④	2.95 (→)	7.0	1.25 (↓)	7.0	O.K

교각 P1 터파기시						
검토 위치		지반 최대수평변위 (mm)	허용변위 (mm)	지반 최대연직변위 (mm)	허용변위 (mm)	검 토
교각 P1		0.53 (←)	15.0	2.31 (↑)	25.0	O.K
교대 A2		2.59 (←)	15.0	11.24 (↓)	25.0	O.K
KTX	Point①	0.06 (→)	7.0	0.81 (↑)	7.0	O.K
	Point②	0.10 (→)	7.0	0.69 (↑)	7.0	O.K
경의선	Point③	2.59 (→)	7.0	1.01 (↓)	7.0	O.K
	Point④	2.91 (→)	7.0	1.27 (↓)	7.0	O.K

교각 P1 배면성토시						
검토 위치		지반 최대수평변위 (mm)	허용변위 (mm)	지반 최대연직변위 (mm)	허용변위 (mm)	검 토
교각 P1		0.59 (←)	15.0	2.32 (↓)	25.0	O.K
교대 A2		2.57 (←)	15.0	11.23 (↓)	25.0	O.K
KTX	Point①	0.62 (→)	7.0	0.40 (↓)	7.0	O.K
	Point②	0.51 (→)	7.0	0.32 (↓)	7.0	O.K
경의선	Point③	2.60 (→)	7.0	1.00 (↓)	7.0	O.K
	Point④	2.93 (→)	7.0	1.26 (↓)	7.0	O.K

공용 시 하중 재하						
검토 위치		지반 최대수평변위 (mm)	허용변위 (mm)	지반 최대연직변위 (mm)	허용변위 (mm)	검 토
교각 P1		0.67 (←)	15.0	6.32 (↓)	25.0	O.K
교대 A2		2.64 (←)	15.0	11.62 (↓)	25.0	O.K
KTX	Point①	1.23 (←)	7.0	1.65 (↓)	7.0	O.K
	Point②	1.07 (←)	7.0	1.36 (↓)	7.0	O.K
경의선	Point③	2.63 (←)	7.0	1.11 (↓)	7.0	O.K
	Point④	2.95 (←)	7.0	1.39 (↓)	7.0	O.K

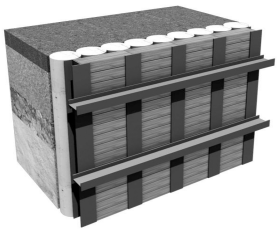
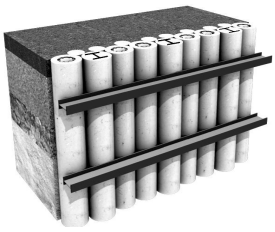
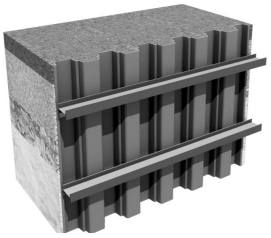
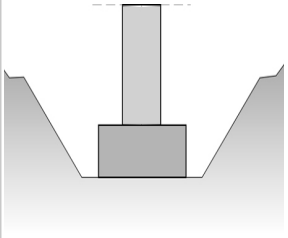
검토결과

- 기초 터파기시 안정성 검토결과 철도노반 변위가 미소하여 안정에 영향이 없는 것으로 판단됨
- 시공 완료 후 하중 재하시 철도노반 변위는 최대수평변위는 2.95mm, 최대연직 변위는 1.65mm로 허용변위 7.0mm이하로 검토되어 안정할 것으로 판단됨

철도횡단 가설공법 적정성 검토

•철도노반과 이격거리를 고려한 가시설 공법은 강성체공법과 일반 가시설 공법으로 구분하여 검토
•철도노반과의 이격거리를 고려하여 인접한 구간에 지하수위가 높은 구간은 Sheet Pile로 우선 검토하며, 이격거리 및 철도노반보다 상단에서 터파기가 시공되는 구간은 Open Cut 검토

철도횡단 교량 기초터파기 시 가설공법 검토

구 분		H-Pile+토류판	C.I.P 공법	Sheet Pile 공법	Open Cut 공법
시 공 단 면					
적용지반		모든 지반	토사 ~ 풍화암층	토사 ~ 연암층	토사 ~ 연암층
차수공법		차수공법(필요구간)	차수공법(필요구간)	차수 및 가물막이 겸용	-
침하억제		불 량	매 우 우 수	우 수	우 수
안 정 성		양 호	매 우 우 수	양 호	양 호
시 공 성		소형 (2차로 점유)	소형~중형(2차로 점유)	소형 (2차로 점유)	-
		•모든 지반에서 우수 •목재 사용시 토류판 부식 우려 •지하수위 적은 장소	•자갈 및 전석층 불량 •벽체 강성 우수 •토사-암 경계부 보강효과 우수	•전석층, 암반층 곤란 •항타 및 유압식삽입 •진동 영향시 워터제트 사용	•필요 심도까지 자연터파기 굴착 •지반이 좋고 굴착심도가 낮을 경우에 유리
행신 1교 검 토 안	P1	•KTX 횡단구간의 철도노반은 풍화암 지지층으로 P1 기초 터파기시 H-Pile+토류판 공법적용 •P1은 기초터파기 풍화암지층이 조기 출현하여 차수공법 제외			
	A2	•경의선 횡단구간의 A2는 철도노반에서 이격거리가 5.88m로, 기초 터파기시 하부 3.7m 토사층 굴착으로 철도노반의 안정성을 확보하기 위하여 좌측은 CIP 공법과 우측은 H-Pile+토류판 공법적용 •A2 구간의 지하수위는 미출현하여 차수공법 제외			

4.3.5 열차 진동영향에 의한 터파기 안정성 검토

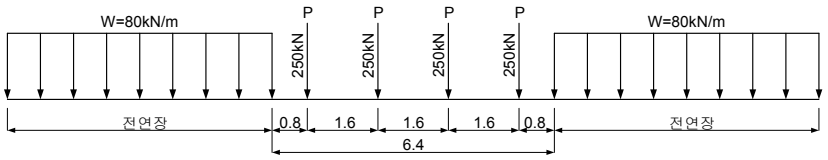
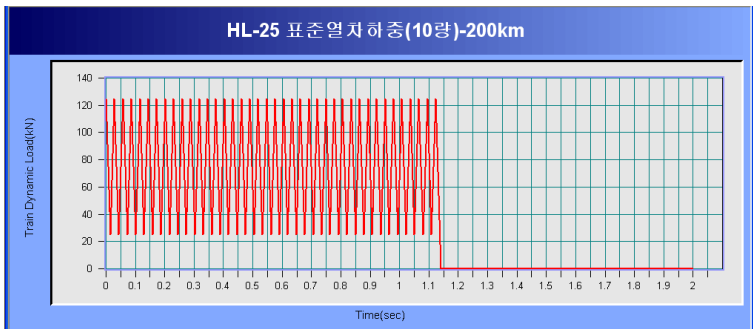
•철도진동하중을 고려한 안정 검토는 시간이력해석을 통해 임의의 절점에 따른 하중을 가하여 동적해석을 수행함으로 발생 변위에 대한 영향 검토
•시간이력함수는 일반열차 LS-22 표준활하중과 고속철도전용선 HL-25 표준활하중(철도설계기준,2004)에 대해 MIDAS 수치해석 프로그램 내부에 있는 프로그램을 이용하여 이동하중 결과를 산출하여 적용함

◎ 행신 1교 KTX 및 경의선 통과구간 열차 진동영향 검토

■ 행신 1교 적용 물성치

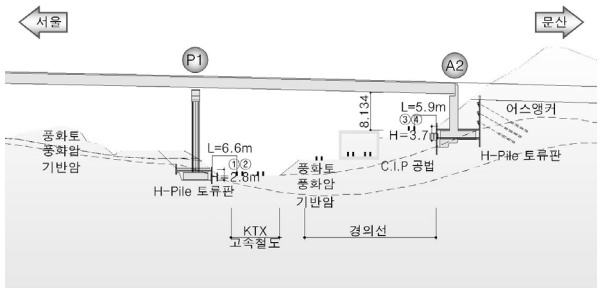
구 분	지층	r_t(kN/m^3)	c(kPa)	Φ	E(MPa)	ν	K(cm/s)
교 량 구 간	풍화토	19	17	29	50	0.33	2.6×10^{-4}
	풍화암	21	28	31	280	0.30	5.8×10^{-5}
	연 암	23	500	33	660	0.26	3.3×10^{-5}
	보통암	25	2,500	36	4,000	0.24	1.6×10^{-5}
	경 암	26	3,200	40	10,000	0.22	4.9×10^{-6}

■ 행신 1교 해석조건 – 적용하중

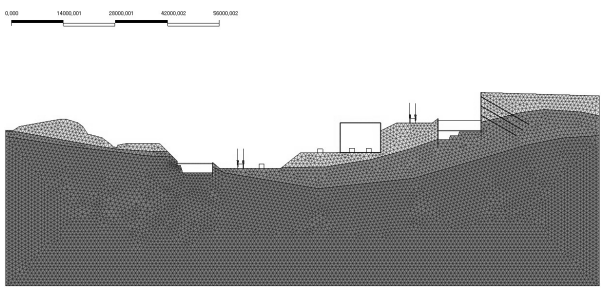
구 분	고속철도전용선 표준활하중[HL-25 표준활하중]
KTX 및 경의선 철도운행 하중 (kN)	 

■ 해석 모델링 분석

해석 단면도



해석 모델링



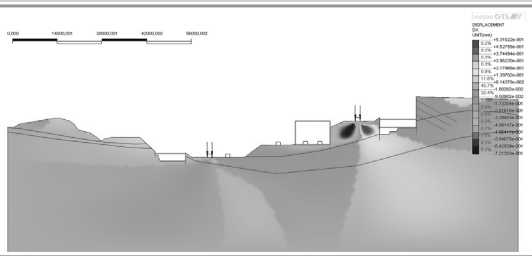
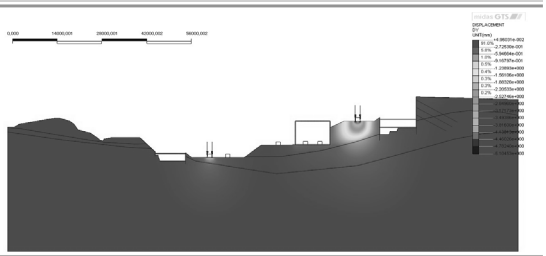
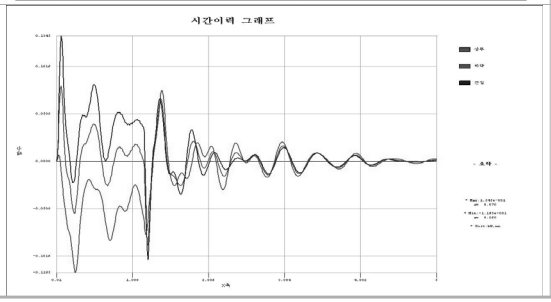
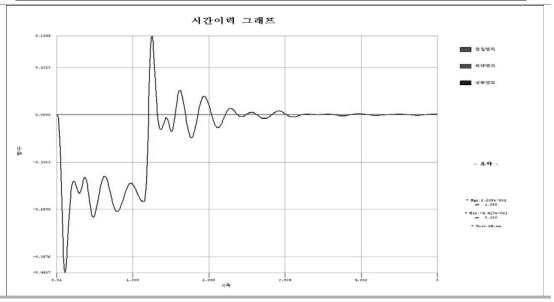
열차 진동하중에 의한 기초 가시설 변위 검토

동적하중 재하					
검토위치	최대수평변위(mm)	허용변위(mm)	최대연직변위(mm)	허용변위(mm)	검 토
교각 P1 가시설(우)	0.07 (→)	15.0	0.21 (↓)	25.0	O.K
교대 A2 가시설(좌)	0.17 (→)		0.44 (↓)		O.K

검토결과

- 열차 진동하중에 대한 동적 안정성 검토결과 기초 터파기 가시설 및 철도노반 변위가 미소하여 안정에 영향이 없는 것으로 판단됨
- 시공중 철도 진동하중 재하시 기초 터파기 가시설 최대수평변위는 0.17mm, 최대연직 변위는 0.44mm로 검토되어 발생변위는 미미한 것으로 나타남

해석 결과

시공단계	수평방향	연직방향
변 위 도		
시간이력 그 래 프		

행신 1교 장비 접지압 검토

- 거더 설치시 크레인 접지압
  - 접지 Plate 제원 : 0.6m X0.6m X (8EA)
  - 적용하중 산정 (하이드로 크레인 = 56.0 ton)
    ① 빔중량 : 20.0 ton ② 크레인중량 : 30.0 ton ③ Plate : 6.0 ton(1.5 ton X 4EA)
  - 접지압 산정(P / (B X L))
    하이드로 크레인 = 56.0 / (0.6mX0.6mX8EA) = 19.4 t/m^2 (= 194.0 kN/m^2)

허용지지력 검토결과

구 분			두께(m)	r_t(kN/m^3)	c(kPa)	Φ	비 고
하이드로 크레인	A2	풍화토층	10.5	19	17	29	BH-43

구 분		지지력 산정 (kN/m^2)		적 용 (kN/m^2)	접지압 (kN/m^2)	판 정
		Terzaghi	Hansen			
하이드로 크레인	A2	630.1	704.1	630.1	194.0	O.K

■ 장비 주행성에 대한 안전율(Fs)는 단기하중 개념으로 1.5 를 적용함.

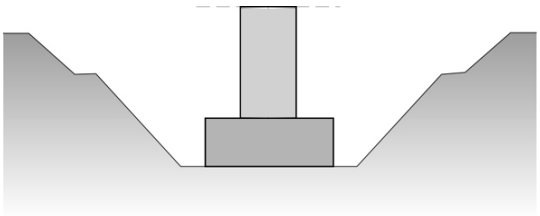
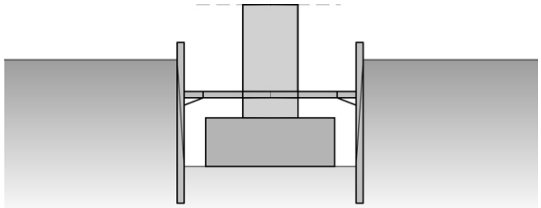
제 5 장 교량기초 시공방안 검토

5.1 직접기초 시공방안 검토

기본방향	•굴착심도, 지하수위, 지반조건, 인접구조물의 간섭 등을 고려한 굴착공법 선정 •터파기 심도보다 지하수위가 높은 구간은 침투해석을 수행하여 양수대책 수립 •기초저면에서 하중이 지반에 직접 전달되므로 기초저면의 처리지침을 준수 •상부하중을 지반에 균등하게 전달하여 상부구조물 안정성 도모

5.1.1 기초터파기 굴착공법 검토

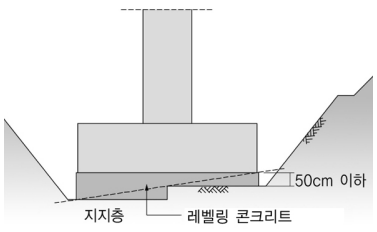
○ 기초터파기 굴착공법 검토

구 분	자연비탈면 굴착(Open Cut)	가시설 공법(H-Pile + Strut)
공법 특징		
공법 특징	•안전한 비탈면을 형성하면서 필요한 심도까지 굴착하는 공법으로 공간 확보가 가능 •지반이 좋고 굴착심도가 낮을 경우에 유리	•토류벽 및 지보공으로 토사의 붕괴를 방지 하면서 굴착하는 공법으로 근접시공 등 제약공간이나 굴착심도가 깊은 경우에 적용
장·단점	•공사비 저렴하고 공기가 빠름 •지하수위 높은 사질토지반 및 연약지반 곤란	•공간활용이 탁월하나 기계이용에 제약 •자립 Open Cut 공사보다 고가
적용구간	가시설 제외구간	창릉천교 외 (40개소)
선정사유	•기초터파기 시공 시 굴착심도 및 공간제약을 받지 않는 구간에 Open Cut 공법 적용	•기존도로근접 및 비탈면 훼손을 최소화하는 방안으로 제약공간 확보를 위하여 가시설 적용

○ 직접기초 저면처리

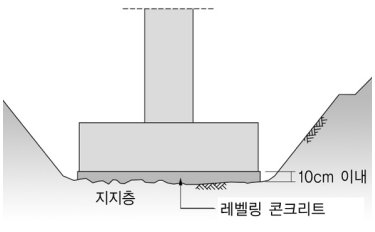
▮ 기초저면의 형태별 처리

기초저면이 경사진 경우



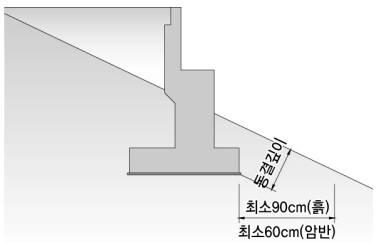
•기초폭 7m 이상인 경우 : 경사 고려 계단식 암절취
•기초 바닥정리 콘크리트(50cm이하) 타설

기초저면이 수평상태일 경우



•암굴착면의 요철은 ±10cm
•바닥면 처리를 위해 10cm 이상의 바닥정리 콘크리트 타설

비탈면에 기초 설치시

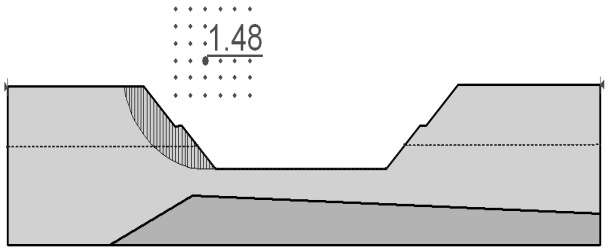


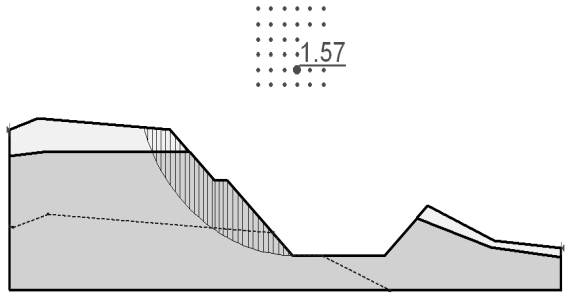
•기초바닥에서 최소 동결깊이 이상으로 복개

5.1.2 기초터파기시 안정성 검토

기초터파기 비탈면 안정성 검토

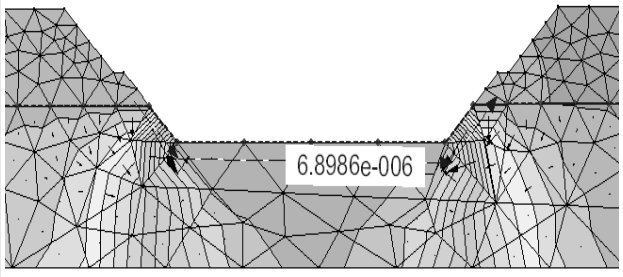
•대표단면에 대한 기초 터파기 임시비탈면의 안전율은 1.1로 적용 (건교부 및 도로공사기준 1.1~1.2)
•임시비탈면 기울기는 토사 : 1 : 1.0~1.2 암반의 경우 1 : 0.5 적용 및 비탈면 경사를 완화하여 검토

1 공구 (미병육교 A1)	결 과 분 석
	•검토구간 : 임시터파기 구간 •임시 터파기 비탈면 기울기 : 1 : 1.0 적용 검토 후 완화경사 적용 •Fs = 1.48 > 1.1 ∴ O.K •임시비탈면은 1 : 1.0 기울기 적용시 안정한 것으로 검토

1 공구 (원흥 1교 A1)	결 과 분 석
	•검토구간 : 임시터파기 구간 •임시 터파기 비탈면 기울기 : 1 : 1.0 적용 검토 후 완화경사 적용 •Fs = 1.57 > 1.1 ∴ O.K •임시비탈면은 1 : 1.0 기울기 적용시 안정한 것으로 검토

기초터파기시 침투영향 검토

•기초시공을 위한 가설 터파기 공사시 지하수 유입으로 공사지연에 대한 대책 필요
•터파기 대상지반의 투수계수를 산정, 수치해석 (SEEP/W)을 통해 시간당 총유출량 산정

1 공구 (미병육교)	결 과 분 석
	•검토구간 : 지하수위가 높은 구간 •터파기 면적 : 25.4m × 32.6m •침투유량 : $6.89/10^{-6}m^3/sec/m$ •총 유출량 : 1.06 m^3/hr

검토결과

•대표 단면에 대한 터파기시 굴착면으로 유입되는 지하수량은 $1.06m^3/hr$로 터파기시 집수정을 설치하여 유도배수한 후 Pumping하여 외부로 배출 계획 ➡ 배수펌프(2HP, 1.5KW, 양수량 : $15m^3/hr$) 1대로 배수할 경우 Dry Work 상태에서 기초시공이 가능할 것으로 판단

5.2 현장타설 말뚝기초 시공방안 검토

기본방향	•현장타설말뚝은 시공절차가 말뚝의 품질에 주요한 영향을 미치므로 세심한 시공관리가 필요

5.2.1 현장타설 말뚝기초 시공성 계획

•현장타설말뚝의 지치층 판정 방법, Slime 처리방안, 보일링 방지대책, 철근망 부상방지 등을 검토

○ 지지층 판정방법

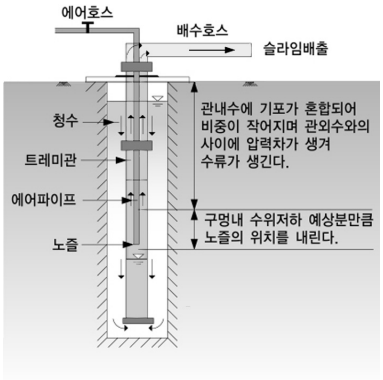
판정 방법	특 성
육안 및 해머타격	•암반판정법 중 가장 간단하고 신속한 판정법이나 판정자에 따른 객관성이 결여될 우려 높음
탄 성 파 시 험	•지층을 통과하는 탄성파의 속도를 측정하여 지반상태를 간접적으로 평가하는 방법 •가장 확실한 암반판정법이라고 할 수 있으나, 판정장비를 보유하기 어렵고 여러 개소의 암반판정에 신속하지 못함
일축압축강도시험	•말뚝시공을 위한 굴착작업 중 채취한 시료를 이용하여 압축강도 시험기에 의해 강도시험 함으로써, 암반의 지지력을 신속하고 정확히 판단할 수 있으나, 변화가 심한 경우에 있어서는 판정에 주의하여야 함
기 타	•점하중 강도시험에 의한 판정, 슈미트 해머수치에 의한 판정, 굴착속도에 의한 판정 등이 있음

검토결과	•육안, 해머타격법은 객관성 결여, 탄성파시험은 암판정을 위한 전문인력이 필요하여 분석비용이 고가이며, 분석시간이 오래 걸림 •일축압축강도시험에 의한 암반 판정법이 제반 여건상 장점이 많으며, 연속적으로 다량의 판정을 객관적으로 시행 가능하므로 설계적용

○ Slime 제거방법

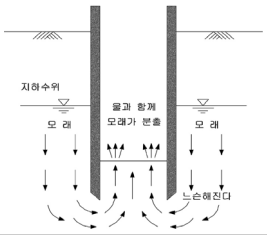
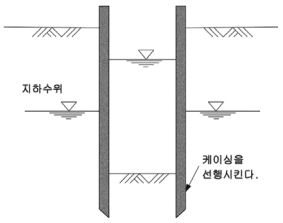
•말뚝자체의 시공관리를 아무리 잘해도 굴착공 바닥에 이토등이 침전되기 쉬우며 이로 인해 말뚝으로서의 기능이 현저하게 저하

•따라서, 현장타설말뚝의 안정성 문제에서 Slime 처리가 매우 중요하므로 Slime 제거 방법을 검토하여 설계 및 시공에 반영

구 분	발 생 원 인	제 거 방 법	Slime 처리방식 개요도
1차 Slime	•굴착 토사중에서 지상으로 배출되지 않고 굴착공 바닥 부근에 남아 있다가 굴삭 중지와 동시에 곧바로 침전된 것으로 큰 덩어리의 것도 포함 가능	•예정 굴착 심도에 도달한 후 굴삭토가 굴착공 바닥에서 거의 모두 제거될 때까지 배토 작업을 지속적으로 실시	
2차 Slime	•순환수 혹은 굴착 공내의 수중에 떠 있던 미립자가 굴삭 중지 후 시간이 경과함에 따라 서서히 공저에 침전	•Concrete 타설 직전 혹은 철근망 건입 전에 시행 •Air Lift 방식, Sand Pump 및 Suction Pump에 의한 배출방식 중 본 현장은 가장 확실한 Air Lift 방식 적용	

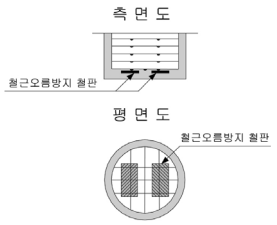
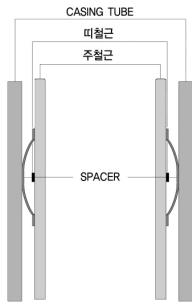
보일링 방지대책

•사질토 지반의 굴착 중 굴착공 내에 보일링 현상이 발생할 수 있으므로 이에 대한 대책방안 검토

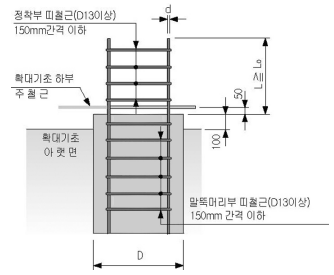
발 생 원 인	보일링 개요도	대 책 방 안	대책방안 모식도
•사질토 지반에서 굴착공 내의 수위와 케이싱 주변지반의 지하수위에 의하여 공내에 물과 함께 모래가 상승		•케이싱 선단을 굴착공저보다 선행시켜 시공 •공내에 물을 주입하여 주위지반의 지하수위 이상으로 공내수위를 유지	

철근망 부상방지 방법

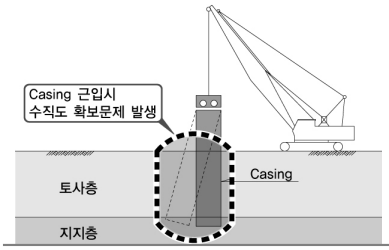
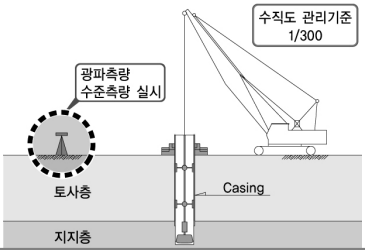
•콘크리트 타설이나 Casing 인발시 철근망이 부상하여 신뢰성 있는 말뚝기초 시공이 이루어질 수 없으므로 이에 대한 대책을 검토

철근망 부상원인	철근망 부상방지 대책	철근오름방지 철판사용	SPACER 사용
•굴착공 내가 휘어져 있거나 철근망이 휘어져 있을 경우 •Spacer가 바르게 설치되어 있지 않은 경우 •Slime이 남아 있을 경우 •트레미관을 통한 콘크리트 타설을 빠르게 한 경우	•철근망을 확실히 조립 •유동성이 좋은 콘크리트 타설 시행 •Slime을 충분히 제거하면서 콘크리트 타설 •콘크리트 타설 초기에 부상이 일어나지 않는 것을 확인하면서 콘크리트 타설 •하단에 철근오름방지 철판을 설치 및 철근망에 간격유지용 철판부착		

현장타설말뚝 두부정리 방법(도로교설계기준해설, 2001)

개 요	현장타설말뚝 두부고정방법
•말뚝 두부 고정도는 수평력에 대한 말뚝설계에서 매우 큰 영향요소 •지반반력이 길이방향으로 일정하다고 생각하는 탄성받침보로서의 해석에 의하면 말뚝두부가 고정인 경우 말뚝에 생기는 최대휨모멘트는 말뚝두부 힌지인 경우 보다 1.55배가 큼 •말뚝두부 수평변위는 0.5배로 작게 나타남 •말뚝본체의 허용휨모멘트 이내이며, 두부수평변위가 작은 말뚝두부 고정조건이 되도록 설계	

현장타설말뚝 수직도 유지

예 상 문 제 점		대 책 방 안	
	•케이싱 근입시 수직도 확보문제 발생 •철근망 근입시 철근망 변형예상		•광파측량기를 이용한 수직도 (1/300) 유지 •RCD 굴착시 수직도 ➡ Stabilizer추가 설치 (6m간격)

5.2.2 현장타설 말뚝기초 시공시 대책수립

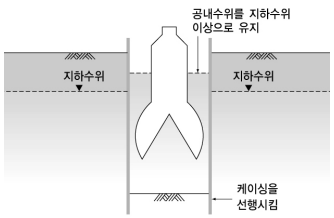
•현장타설말뚝은 시공 중 불확실성 요소가 많으므로 말뚝 설치 시 자주 발생하는 문제점을 검토하여 대책을 수립하고 품질 향상을 도모

○ 시공시 예상되는 문제점에 대한 대책

항 목		설 계 반 영
굴착시 공벽분리		•공벽붕괴가 예상되는 지층에 대하여 케이싱 적용
말뚝본체 불 량	형상불량	•케이싱 인발속도 조절 •트레미관을 통한 콘크리트 타설속도 조절 •건전도시험 실시
	정착불량	•지하수 유속에 의한 재료분리가 발생하지 않도록 수중 불분리성 콘크리트 사용 •말뚝선단에 매설된 관을 통한 압력 그라우팅 실시
철근망의 변형		•뒤틀림 방지 철근을 사용하여 운반 및 콘크리트 타설시 변형 방지 •선단부 스페이서를 설치하여 지반과 주철근의 직접적인 접촉 방지
지지력 부족		•선단 정착부 압력 그라우팅 실시 •재하시험에 의한 지지력 확인

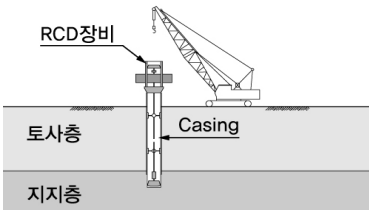
○ 시공시 예상문제에 대한 대책수립

피압지반 및 모래자갈층 굴착



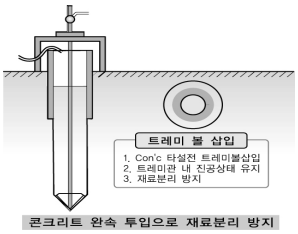
•케이싱 선행 후 굴착하고, 공내수를 지하수위 이상으로 유지

케이싱 강관 적용

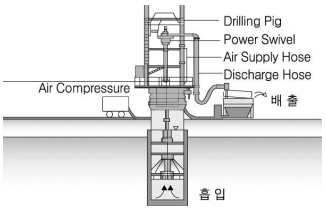
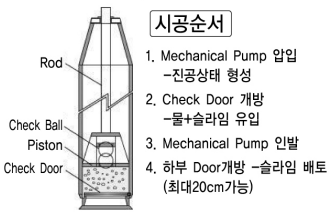
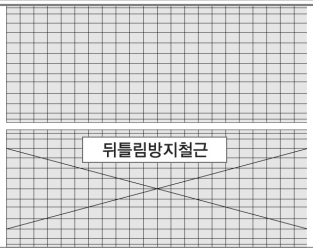


•케이싱강관 적용, 지하수 영향 및 공벽유지로 균일한 말뚝체 형성

트레미파이프 볼 삽입



•콘크리트 타설전 트레미볼 삽입으로 재료분리 방지

굴삭토사 및 니수의 양수		철근망 보강방안
1차 : RCD 장비 이용	2차 : Mechanical Pump	
		
•굴착 후 RCD를 선단과 50cm 이격시켜 공회전하며 순환수 배출	•케이싱내 펌프를 삽입하여 순간 압력으로 슬라임 제거 및 배출	•철근망 주변에 X-자 형태의 보조철근 부착으로 뒤틀림 방지

검토결과

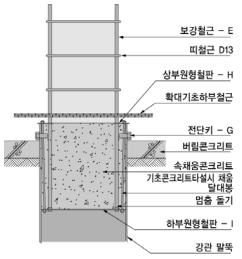
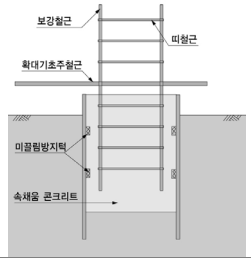
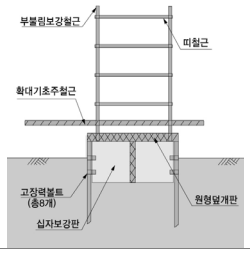
•육안, 해머타격법은 객관성 결여, 탄성파시험은 암판정을 위한 전문인력이 필요하여 분석비용이 고가이며, 분석시간이 오래 걸림

•일축압축강도시험에 의한 암반 판정법이 제반 여건상 장점이 많으며, 연속적으로 다량의 판정을 객관적으로 시행 가능하므로 설계적용

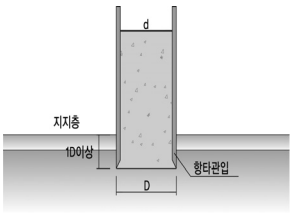
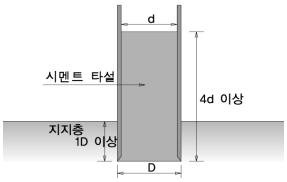
제 6 장 기초의 품질 및 유지관리 계획

6.1 말뚝기초 품질관리 계획

6.1.1 말뚝머리결합 방안

구 분	합성형 두부보강	콘크리트 속채움	볼트식 두부보강
개요도			
공법개요	•속채움이 가능한 강재결합구와 강판을 결합식으로 연결하므로 속채움방식의 단점인 시공성을 개선하고 볼트식 방식의 허용내력 한계를 개선한 공법	•보강철근망과 하부띠철근을 조립하여 확대기초의 주철근과 상부띠철근을 배근한 후, 확대 기초와 강관의 속채움 콘크리트 를 동시에 타설하는 공법	•콘크리트 속채움 방식의 시공성을 개선하기 위해 공장 제작된 십자 보강판을 볼트에 의해 강관과 연결하고 확대기초의 주철근과 띠철근에 연결하는 공법
적용성	•시공이 빠르고 간편하며 지압응력의 분포가 일정하고 수평력에 대한 저항력이 우수함	•수평력에 대한 저항력이 우수 하나 철근간섭에 의해 시공성이 저하, 강관말뚝 내부 용접시 용접불량이 발생할 수 있음	•시공이 빠르고 간편하지만 말뚝내부가 중공이므로 속채움 방식에 비해 수평력에 대한 저항력이 작음
경제성	공사비 저렴	공사비 다소고가	공사비 보통
선 정	◉	–	–
선정사유	•콘크리트 속채움공법은 철근간섭에 의한 시공성 저하가 크며, 볼트식 머리보강공법은 국부변형에 대하여 취약하고 말뚝내부가 중공이므로 수평력에 대한 저항력이 작음 •시공이 단순하며 지압응력의 분포가 일정하고 수평력에 대한 저항력이 우수한 합성형 두부보강 방법 선정		

6.1.2 말뚝선단처리 계획

구분	최 종 경 타	시멘트밀크 속채움
개요도		
특징	•타입공법에 비해 타격 회수 및 시간이 적음 •최종 경타 시 단시간 이지만 소음 · 진동발생 •타공법에 비해 지지력이 큼	•말뚝의 연직하중을 기반암까지 전달가능 •말뚝 속채움에 의한 폐색효과 발휘
적 용	◉	◉

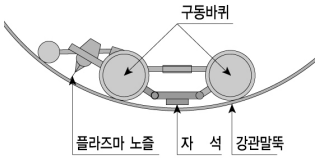
6.1.3 말뚝 품질관리 방안

○ 강관말뚝절단공법

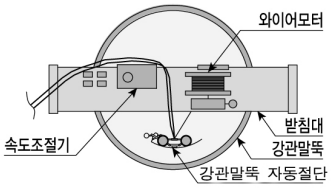
•지표면에서 말뚝 시공후 확대기초 저면위치까지 굴착하는 종전의 방법은 산소 토치(Torch)를 이용하여 노출된 말뚝두부절단 ➡ 말뚝사이 굴착 ➡ 노출된 말뚝두부절단의 단계를 거쳐 굴착하였으나, 시공이 번거롭고 경제성면에서도 불리하여 간편하고 경제적인 강관말뚝 자동절단

•강관파일을 항타한 후 요구되는 소요깊이에 자기력 발생수단과 구동수단 및 토치를 탑재한 절단기를 삽입 후 강관 말뚝 내부면을 따라 회전하면서 고온의 플라즈마를 이용하여 강관말뚝을 절단하는 공법
•절단에 사용되는 절단기는 경량이고 소형이어서 말뚝이 시공된 주변 환경에 적용성이 뛰어나고 말뚝직경 및 절단 깊이에 상관없이 단 1회에 절단을 완료하는 공법

강관파일 자동절단



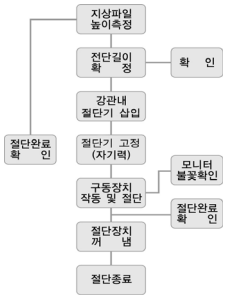
조절장치가 부착된 받침대



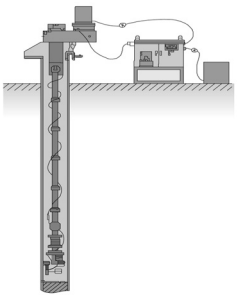
공 법 개 요

•강관말뚝 시공 후 소요 깊이에 자기력 발생 수단과 구동수단, 토치를 탑재한 기계를 삽입 고온의 플라즈마를 이용하여 강관말뚝을 절단하는 공법
•절단기의 무게가 작고 소형으로 파일 주변 영향을 받지 않고, 절단 깊이 조정이 가능
•절단면이 매끈하고 재래식 산소 절단 방식 등에 비해 경제적이고 시공성 우수

시공순서도



장 치 도



장점 및 단점

•장비 제작비용이 저렴하며, 말뚝 시공 후 후속 굴착작업 없이 절단 작업 진행, 공정의 단순화로 공기 단축이 가능함
•부대공종의 축소, 절단된 말뚝의 재사용으로 공사비가 절감되고, 작업조건의 향상으로 안전사고 예방효과 증대
•절단깊이, 말뚝직경, 경사도에 관계없이 절단가능
•강관말뚝 이외에는 적용 불가
•말뚝 내부에 물이나 흙이 차 있을 경우 작업이 불가능하므로 이를 제거하여야 작업 가능

○ 강관말뚝 수직도 관리방안

•기초 시공 시 굴착장비(Auger에 계측기 설치) 수직도 관리방안 설치
•광파 측량기를 이용한 수직도 (1/300) 유지

○ 강관말뚝 부식두께 검토

•강관말뚝은 부식에 의한 단면적의 축소 등으로 내구성이 저하되므로 이에 대한 대책방안 필요
•지층에서 강재의 부식은 토질, 수질 및 전기적 상태, 강재의 성질, 지층의 박테리아 등에 따라 상이

부 식 환 경(구조물기초 설계기준 2003)		부식속도(mm/년)
해상측	H.W.L 이상	0.3
	H.W.L~L.W.L(-)1m까지	0.1 ~ 0.3
	L.W.L(-)1m까지~해저부까지	0.1 ~ 0.2
	해저 이토층중	0.03
육상측	육상 대기중	0.1
	토중(잔류수위 이상)	0.03
	토중(잔류수위 이하)	0.02

검 토 결 과

•강관말뚝은 해수나 공장폐수의 오염물에 영향을 받는 특수한 조건이 아니며 주기적으로 물에 잠길 우려가 없는 지하수위 이하에 위치
•부식두께는 교량의 내구연한(100년)을 감안하여 강관말뚝의 전체두께에서 2mm를 공제한 단면을 설계에 반영하였으며, 부식두께 고려시 강관말뚝의 구조적 영향 없음

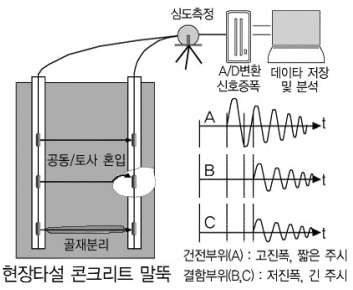
6.2 현장타설 말뚝기초 품질관리 계획

6.2.1 현장타설 말뚝 건전도 시험

•현장타설말뚝기초는 시공과정에서 철저한 품질관리 과정을 거치지만 현장타설말뚝의 특성상 심도가 깊어 콘크리트 시공상태 및 품질의 육안확인이 불가하므로 건전도 확인시험 필요
•Sonic Logging Test의 일종인 CSL(Crosshole Sonic Logging) 시스템을 적용한 건전도 시험 수행계획

시험방법	시험내용 및 측정원리
충격반향기법 (Impact-Echo Method)	•PIT는 현장타설 말뚝의 단면변화 예측에 적합 •말뚝의 강성(동적탄성계수)은 충격의 힘을 측정할 수 있는 망치를 이용하여 힘과 속도를 측정 •시험방법이 쉽고 저비용으로 말뚝의 단면형상을 예측
Crosshole Sonic Logging(CSL)	•부분단면의 결함을 측정하며 할 수 있음 •콘크리트내의 공극은 압축파가 반향을 유발 •콘크리트내의 이물질(철근)은 압축파의 부분반사와 부분굴절 발생 •시공시에 Tube를 미리 시공해야 하는 단점

CSL System 모식도



CSL System 특징

•적용대상
시공시의 현장타설말뚝과 기 조성된 콘크리트 말뚝에도 이용 가능
•특징
- 여러개의 결함을 정밀하게 탐지할 수 있음
- 탐지깊이에 제한이 없으며 말뚝 근입깊이를 정확하게 측정할 수 있음
- 검사결과가 지반의 강성에 영향을 받지 않음
- 결과분석 방법이 비교적 쉬우며 결함의 깊이를 정확히 탐지할 수 있음

•시험시점 : 콘크리트 타설 후 7일 이후

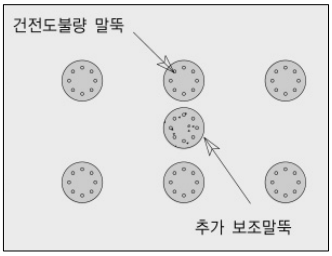
○ 건전도 시험빈도

구 분	평균말뚝길이(%)			비 고
	20m 이하	20m~30m	30m 이상	
시험수량(%)	10	20	30	•빈도 : 교각당 말뚝수량에 대한 백분율 (단, 교각당 최소 1개소 이상)

○ 건전도 시험결과 불량판정 대책 흐름도

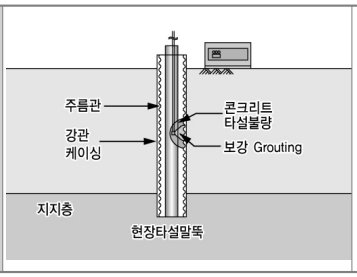
시험 실시 말뚝의 결함 발견 ⇒ **시험 분석** 결함의 크기 및 위치 추정 ⇒ **대책 수리** 결함이 있는 말뚝의 정적성능 분석 ⇒ **보 강** 보강공법 선정

개요도



•불량 말뚝에 근접하여 추가보조 말뚝 시공

대책수립

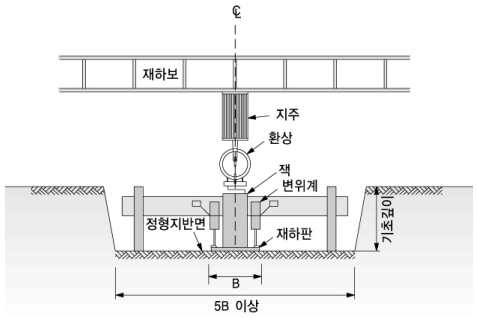


•기 설치된 현장타설말뚝에 굴착 후 Grouting

6.3 교량기초 재하시험 및 계측계획

기본방향	•설계시 산정한 기초의 지지력은 경험식이나 이론식에 의한 것으로 시공시 기초지반에 대한 현장시험을 통하여 확인 •기초의 재하시험은 기초를 설계함에 있어 필요한 설계정수 등을 얻거나 설계지지력의 결정 또는 기 시공된 말뚝의 지지력을 확인하는데 목적이 있음

6.3.1 직접기초 재하시험

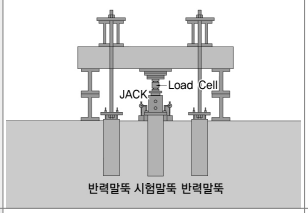
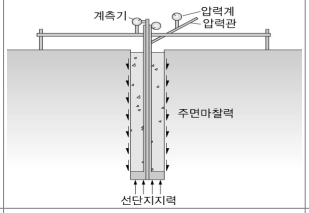
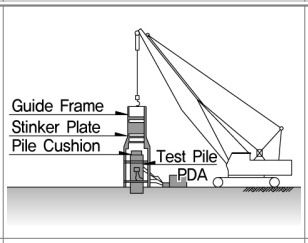
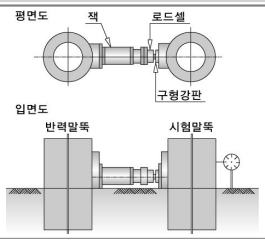


평판재하시험의 개요

•평판재하시험의 시점은 얕은기초 시공전(굴착터파기 후)에 기초바닥면을 대상으로 시행하여야 하며, 시험방법은 KS F 2444-95, ASTM D1194-87 규정에 근거하여 시행
•현장의 시험위치에 설치한 강성재하판에 단계적 하중을 가해서 침하량을 측정하고 측정된 침하 자료에서 지반의 전단 파괴유형, 극한 및 항복지지력, 지반반력계수, 변형계수 등을 산정
•최대시험 하중 : 설계하중의 2~3배
•적용 : 풍화암지지 얕은 기초의 지지력 확인

6.3.2 말뚝기초 재하시험

구 분		시험 횟수	시험 말뚝위치
동재하시험 (국도건설공사 설계 실무요령, 2013)	•구조물별 말뚝수 1~80본 까지	2 회	대각선상이나 감독자가 원하는 위치의 시험말뚝
	•구조물별 말뚝수 1~160본 까지	3 회	
	•구조물별 말뚝수 160본 이상	4 회	
정재하시험	•말뚝 250개당 또는 구조물별	1 회	
수평재하시험	•국내에는 별도 제시된 기준이 없어, 수평하중이 큰 교대에 실시하는 것으로 계획		
평판재하시험	•풍화암지지 직접기초에 대하여 재하시험 시행		
건전도시험	•국내에는 별도 제시된 기준이 없어, 현장타설말뚝 기초 교각당 1개소 이상 계획		

구 분	정재하시험		동재하시험	수평재하시험
	반력말뚝법	양방향 재하시험		
개념도				
하중전달	•시험말뚝 주위의 말뚝 반력(마찰 및 자중) 이용 재하	•양방향 재하시험에 의한 주면마찰력과 선단지지력 을 상호반력으로 이용 재하	•램 또는 해머에 의한 동적 충격하중	•고정하중, 주변말뚝
관련기준	•KS F 2445 •ASTM D 1143		•ASTM D 4945	•ASTM D 3936
적용	•현장타설말뚝기초의 경우 작용 하중이 커서 사하중 제작 및 재하의 어려움으로 원지반을 반력으로 사용하는 양방향 재하시험 적용 •말뚝기초의 정재하시험은 기 시공된 말뚝을 이용하여 경제적이고, 수평재하시험이 용이한 반력 말뚝법을 적용 •동재하시험은 (국도건설공사 설계실무요령, 2013)에 따라 실시하며, 정재하시험 값과 비교하여 적정성 검증			

6.3.3 교량기초 계측계획

•계측관리를 통해 계획시의 불확실한 조건에 대한 보완 및 시공 중 거동 예측 및 안정성 판단
•계측기 위치는 지반여건과 시공여건을 고려하여 계측항목별 기능과 목적이 최대한 발휘되도록 선정
•계측결과를 검토 분석하여 현장 시공상황과 여건변화를 종합적으로 판단·예측할 수 있는 위치 선정

○ 계측 선정 요인

계측항목	선 정 요 인
지 반 조 건	•지반특성 및 지하수 조건, 주변환경 고려 •설계, 시공방법의 불확실성을 고려
구조물 안정성	•침하 영향권 검토 및 인접구조물의 건전도 평가
계측방법과 기기특성	•작동원리의 안정성과 신뢰성 •측정조작 용이성과 내구성, 계기간의 상호 호환성

▪ 계측 항목 및 용도

계측항목	계 측 기	계측빈도	계 측 내 용
수평변위	지중경사계	1회/1주	•편재하중에 의해 발생되는 지반의 수평변위 측정
변 위	구조물경사계	1회/1주	•편재하중에 의한 교대 기울어짐 측정

○ 계측 활용 계획

구 분	내 용	비 고
계측관리기준 설 정	•응력의 절대관리, 예측관리 및 계측값의 변화율 관리 •기존 구조물 실적 관리	시공초기, 계측데이터 수집
계측관리기준 재 설 정	•계측데이터, 응력변화 관계 회귀분석 및 구조물 안정성 평가	현장에 부합한 관리기준 설정
시공관리 및 대책	•계측결과에 따른 현장관리 등급 설정 •관리등급별로 발생 가능한 상황에 대해 대처방안 수립	Feed Back

○ 계측항목 및 측정계획

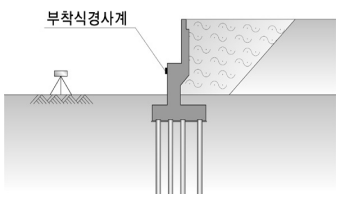
•설계시 지반상태를 시공시 재확인하고 문제발생시 보완대책(Feed Back)을 수립하기 위하여 다음과 같은 항목에 대하여 계측수행을 계획

▪ 계측기 설치계획

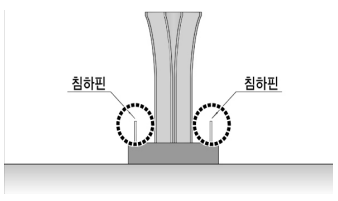
계측기 위치 선정시 고려사항

•지반조건 및 구조물 대표구간
•계측기 설치와 측정이 용이한 곳
•하중 및 변형이 집중 예상되는 곳

고성토 교대배면 수평변위측정



기초침하 측정(침하핀 설치)



6.3.4 철도횡단 교량 계측관리계획

철도노반 계측계획

가. 계측 범위

철도횡단 교량은 철도교량 및 선로와의 이격거리가 인접되어 있으므로, 교량신설시 충분한 안정성을 확보할 수 있도록 계측계획 반영

① 계측계획의 수립, ② 계측체계 구축, ③ 계측기기 설치 및 관리, ④ 현장계측 수행

⑤ 계측자료의 정리 및 수집, ⑥ 계측결과 분석(Feed Back) 및 보고

⑦ 계측자료의 종합분석, 평가 및 예측

나. 계측 목적

굴착 공사에 앞서서 이루어지는 설계나 시공 계획 과정을 보면 한정 구역의 지질 조사 및 현장의 직접 시료를 통하여 얻어진 각종 설계 정수를 이용하여 가설 구조물에 작용하는 토압의 형태, 크기, 수압 등의 외력을 산출하고 이로부터 지반 및 토류벽의 변형량과 Boiling 및 Heaving 등에 대한 지하공사의 안정성 검토가 이루어지고 있으나 상기 방법에 의한 결과들은 모두 이론식에 의한 추정일뿐, 실제 시공중에는 설계에 반영된 설계정수나, 설계 및 시공상의 오차로 인해 구조물에 과다한 외력이 작용됨으로써 변형이 발생하는 경우가 빈번히 발생한다. 계측은 이러한 시공중에 발생되는 실제 지반의 움직임을 측정하고 설계 및 시공상 고려하지 못한 점이나 설계, 시공상의 오차를 보충하여 안전하고 경제적인 시공으로 유도하는데 목적이 있다.

다. 계측 계획

합리적이고 안전한 시공이 되기 위한 자료를 정확하고 신속하게 수집하기 위해서는 체계적인 계측계획이 사전에 수립되어야 한다.

계측 관리 방법 및 계측 SYSTEM

1) 계측 관리 방법

① 절대치 관리 방법

시공전에 설정된 관리 기준치와 실측치와를 비교, 검토하여 그 시점에서의 안전성을 확인하는 방법이다.

② 예측 관리 방법

차단계 이후의 예측치와 관리 기준치를 비교 검토하고 사전에 공사의 안전성을 확인하거나 현재 시공되고 있는 시공법의 검토를 행하는 방법이다.

예측치란 현단계까지의 굴착상태의 실측치에 기초해서 해석결과 얻어진 토질성질을 나타내는 제정수와 차단계 굴착 이후의 토류 구조물의 거동을 추정한 값이다.

절대치 관리는 계측 결과에 대해서 즉시 대응할 수 있다는 점에서 일반적으로 일상의 안전 관리에 이용되고 있는 반면에, 예측 관리는 조기에 가설 구조물의 거동을 추정할 수 있고, 대응책도 충분히 검토할 수 있으나 계측 SYSTEM이 대규모화됨에 따라 경제적인 면에서 부담이 크므로 일반적으로 대규모 굴착 공사나 중요한 계측의 경우에 한정해서 이용되고 있다.

예측 관리를 하지 않을 경우에는 절대치 관리 단계에서 주의나 위험하다고 판정될 경우즉시 공사를 중단하고 적절한 대응책의 검토 및 시행이 불가피한 것이다. 따라서 본현장은 절대치 관리 및 부분적인 예측관리를 병행하여야 한다.

계측계획 관리

구 분	내 용	비 고
계측목적과의 부합성	•계측목적 및 해석상 합치한 장소선정과 배치간격, 수량 및 심도검토	
시 공 사 항	•선행부분,가장 취약하다고 판단되는 부분 •시공 과정에 대한 합리성 검토 •자연 조건 및 주변 여건 고려	
전체관리 및 집중관리	•한계기가 부담할 수 있는 영역검토 •주 계측단면, 보조계측 단면의 산정	
계 기 보 수	•가설물, 증기등에 대한 장해 •장기간 계측하는 경우의 설비	

철도횡단 교량구간 계측기 사양

도상 침하계

구 분	내 용	비 고
적용센서	•MEMS Sensor	
측정범위	•±10°	
허용온도 범위	•-40℃~+80℃	
주요 재질	•스테인레스 특수강재	

지중 경사계

구 분	내 용	비 고
적용센서	•Servo Accelerometer	
측정범위	•± 53° from Vertical	
Resolution	•0.02mm per 500mm	
허용온도 범위	•-20℃ ~ 50℃	
Casing 재질 및 크기	•ABS Plastic, O.D=70mm±0.2 , 3m	

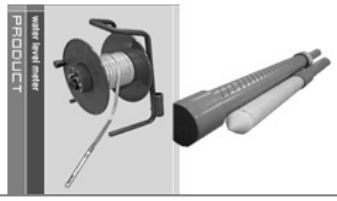
S/T 변형률계

구 분	내 용	비 고
적용센서	•Servo Accelerometer	
측정범위	•3,000 microstrain	
분 해 능	•1 microstrain	
정 확 도	•±0.1% FSR	
동작온도	•-29℃ ~ 105℃	

■ E/A 하중계

구 분	내 용	비 고
적 용 센 서	•진동현식 센서(V/W Type)	
측 정 범 위	•150 % FSR	
분 해 능	•0.01% FSR	
정 확 도	•0.5% FSR	
동 작 온 도	•-29℃ ~ 105℃	

■ 지하수위계

구 분	내 용	비 고
적 용 센 서	•Casagrande Type	
측 정 범 위	•50m	
Tip 직 경	•50mm	
정 확 도	•±1mm	

○ 교량별 계측기 사양

■ 행신 1교 (1 공구)

계 측 항 목		계 측 기	수량	측정방식
철도노반	•기존 KTX 및 경의선 인접구간의 굴착에 따른 선로 변형 감시	•도상침하계	10 EA	자동
가시설	•기존 KTX 및 경의선 인접 흙막이 가시설의 Strut 변형률 측정	•S/T 변형률계 (Strain Gauge)	9 EA	자동
	•기존 경의선 인접 흙막이 가시설의 E/A 하중 측정	•E/A 하중계	2 EA	자동
	•기존 경의선 인접 흙막이 가시설 배면의 지중 수평변위 측정	•지중경사계(Inclinometer)	1 EA	자동
	•기존 경의선 인접 흙막이 가시설 배면의 지하수위 측정	•지하수위계(Water Level)	1 EA	자동

○ 교량별 계측 분류 및 빈도

구간	분류방식	내 용	비 고
개착구간	지반에 따른 분류	지반Ⅰ : 지표에서 풍화암상단까지 심도/굴착심도가 10~40%일 경우	
		지반Ⅱ : 지표에서 풍화암상단까지 심도/굴착심도가 40~70%일 경우	
		지반Ⅲ : 지표에서 풍화암상단까지 심도/굴착심도가 70%이상일 경우	
	흙막이 벽체형식에 따른 분류	연성벽체 : Sheet Pile 및 H-Pile + 토류판 형식	
		강성벽체 : 지중연속벽식(Slurry Wall, C.I.P, S.C.W)	
	지보재의 설치간격에 따른 분류	수평간격 : 최대, 최소	
		수직간격 : 최대, 최소	

■ 행신 1교 (1 공구)

계측기명	계측빈도	관리기준			비 고
		1차	2차	3차	
도상침하계	1회/시간	3mm	4mm	5mm	자동
S/T 변형률계(Strain Gauge)	2회/주	설계예상치	1.25 X 설계예상치	부재허용치	자동
E/A 하중계	2회/주	±10 ton	±15 ton	±20 ton	자동
지중경사계(Inclinometer)	2회/주	1/500	1/300	1/200	자동
지하수위계(Water Level)	2회/주	0.5m/day	0.5m/day〈측정치〈1.0m/day	1.0m/day 이상	자동

◎ 적용된 계측수행빈도 및 일반적인 관련 기준치

계측항목	측정시기	측정빈도	관리 기준 참고 문헌	비 고
도상침하계	공사진행 중	2회 / 주	철도 침하 관리기준(5mm)주1	
S/T변형률계	공사진행 중	2회 / 주	서울 지하철 9호선 시공계측관리 표준시방서	
E/A하중계	공사진행 중	2회 / 주	서울 지하철 9호선 시공계측관리 표준시방서	
지중경사계	공사진행 중	2회 / 주	서울 지하철 9호선 시공계측관리 표준시방서	
지하수위계	공사진행 중	2회 / 주	수도권고속철도 계측관리기준 11년도	
구조물경사계	공사진행 중	2회 / 주	서울 지하철 9호선 시공계측관리 표준시방서	
균열계	공사진행 중	2회 / 주	서울 지하철 9호선 시공계측관리 표준시방서	
침하계	공사진행 중	2회 / 주	철도 침하 관리기준(5mm)주1	
지표침하계	공사진행 중	2회 / 주	서울 지하철 9호선 시공계측관리 표준시방서	

※ 일반적인 기준으로 구조검토 후 재설정 필요.

주1) 철도노반 5.0mm로 관리기준 제시-기준치는 직선(레일길이 10m에 대해)7.0mm

◎ 계측 관리시 주의 사항

현장 계측 관리자는 계측을 정확하고 정밀하게 측정을 수행해야 하며, 이들 측정치의 DATA를 감독관 및 감리자에게 제출하고 충분한 검토를 거쳐 향후 공사를 예측, 대비하여야 한다. 필요시 신속한 보강공법을 채택하여 설계에의 반영 및 시행이 이루어지도록 하여야 한다.

① 계측치 측정시 주의 사항

a. 계측 계획에 따라 시행하여야 하며 목적에 맞는 정밀도로 측정한다.

b. 전회의 DATA를 지참하여 이상치가 아닌가를 현장에서 파악한다.

c. 굴착 후 1~2일간의 변위량에 의하여 최종치가 결정되는 경우가 많으므로 해당 기간 중 정확하고 정밀한 계측을 요한다.

d. 관리기준에 측정치가 접근하면 측정빈도를 증가시킴과 동시에 대응책을 수립해야 한다.

② DATA 정리시 주의 사항

a. 측정이 완료되면 즉시 GRAPH화하여 측정치의 경향을 파악해야 하며, 이상치가 있으면 재 측정한다.

b. DATA 정리는 초기치, 계측기간, 막장과의 거리 및 지보설치 시점 등을 중심으로 정리한다.

c. 측점이 많으며, 장기간 계측이 시행되는 경우에는 COMPUTER를 이용하여 DATA를 처리한다.

d. 계측 효과와 지질 상황과의 상호 관계가 잘 나타날 수 있도록 계측 연관표를 작성한다

제7편 비탈면 설계

제1장 비탈면 설계개요

제2장 비탈면 안정성 검토

제3장 비탈면 보호공법 선정

제4장 비탈면 시공 및 유지관리

제 1 장 비탈면 설계개요

1.1 설계개요

기본방향	•주변 환경을 고려하여 합리적, 경제적, 환경친화적 비탈면 설계 •현장조건을 반영한 여러 분석기법들(한계평형, 수치해석, 파괴확률 등)의 비교를 통한 최적 설계 •비탈면 보호공법 및 유지관리 계획으로 시공 중·후 및 장기적인 비탈면의 안정성 확보

1.1.1 기본방향

지반조사 및 분석

•시추조사 및 시험결과의 상세 분석을 통한 합리적인 설계정수 산정
•시추공영상촬영, DHT등 각종 현장시험수행
•시추불가지역 탄성파탐사 수행

위험구간 선정 및 기준

•최근 강화된 설계기준과 국내외 기준을 비교 검토하여 안전측 설계 적용
•비탈면높이 및 지질특성을 고려한 대표단면 설정
•안정성·경제성을 고려한 보강 공법 선정

친화경적이며 경제성을 고려한 최적의 비탈면 설 계

•Domain별 절리특성을 고려한 평사투영해석
•지반특성을 고려한 한계평형해석
•안정해석을 통한 최적 기울기 선정
•동적특성을 고려한 유사정적해석 수행

비탈면 안정성 검토

•낙석해석을 통한 낙석방지책 설치구간선정
•친환경적인 비탈면 보강, 보호공 선정
•Face Mapping에 의한 비탈면 관리 및 계측을 통한 유지관리 계획 수립

비탈면 안정대책

1.1.2 주요 검토사항

예비 및 상세조사	•인접 비탈면 설계 조사 분석 •현장조사, 지표지질조사분석을 통한 설계 자료 활용 •시추조사, 물리탐사, 각종 실내시험으로 해석에 필요한 기초자료 제공
지반정수 산정	•지반조사 결과분석 및 상관성 분석에 의한 설계 지반정수 도출 •연속체, 불연속체 지반정수의 체계적인 분석 및 결정
비탈면 안정검토	•다양한 분석기법의 도입으로 인한 해석결과의 비교, 분석으로 적정성 검증 •사업구간의 절리특성을 반영한 확률 절리망 구성 및 불연속체 정밀해석 수행 •불안정 비탈면에 대하여 여러 공법의 비교·분석을 통한 최적의 보강 · 보호공 선정
비탈면 내진설계	•유사정적해석 : 지진파별 지진응답해석을 통해 얻어진 지표면 최대가속도 적용
낙석, 낙반 분석	•낙석의 운동 역학적 에너지 개념도입으로 인한 낙석 · 낙반 분석 •낙석 이동거리 및 충격 에너지검토를 통한 낙석방지울타리의 설치여부 검토
비탈면 유지관리계획	•계측계획 수립, 시공 중 및 시공 후 유지관리 계획 제시

1.2 비탈면 현황 분석

기본방향	•지반조사 성과를 바탕으로 지질특성, 풍화도를 고려하여 안정성 검토 및 비탈면 경사 결정 •깎기 및 쌓기구간에 대한 안정성 검토 후, 보강공법 선정과 비탈면 경사를 결정하여 안정성 및 경제성을 고려한 비탈면 설계 수행 •대규모 깎기 발생 구간의 비탈면 최적 경사를 제시하여 산림훼손 최소화 방안 강구 •환경친화성을 고려하여 자연적인 식생이 가능한 비탈면 보호공법 선정

1.2.1 쌓기비탈면 지반특성 및 현황

◯ 쌓기비탈면 지반특성

•구조물구간 시추조사 결과, 쌓기구간의 원지반은 대부분 충적층 및 풍화토층으로 구성
•쌓기고 10.0m 이상인 구간은 제체내 또는 원지반 중 N값이 작은 토사층에서 파괴가 날 수 있으므로 공구별로 구분 대표단면을 선정하여 안정성 검토를 수행함
•대표구간 선정 시 연약지반 구간은 연약지반 쌓기 안정성 검토에 반영

◉ 쌓기비탈면 현황

구 분			측점 (STA.)			최대높이(m)	대표단면 (STA.)	비고
1공구	지선	쌓기 1구간	0+420	~	0+700	9.35	0+460	연약지반
		쌓기 2구간	0+820	~	1+380	11.1	1+100	
	도내JCT	Ramp-A	0+040	~	0+160	17.8	0+320	쌓기2구간
			0+280	~	0+600			
		Ramp-B	0+260	~	0+280	5.0	0+260	
	행신IC	Ramp-A	0+000	~	0+080	9.8	0+020	보강토 옹벽
			0+320	~	0+420	6.6	0+380	
			0+620	~	0+775	8.8	0+775	
		Ramp-B	0+000	~	0+160	9.7	0+020	보강토 옹벽
		Ramp-C	0+160	~	0+340	10.4	0+320	보강토 옹벽
		Ramp-D	0+260	~	0+307	7.1	0+307	
		Ramp-F	0+000	~	0+080	7.7	0+020	
			0+180	~	0+240			
		Ramp-G	0+485	~	0+580	6.7	0+560	
	본선	쌓기 1구간	0+554	~	0+851	9.9	0+820	
		쌓기 2구간	1+760	~	2+020	18.8	1+940	보강토 옹벽
						19.2	1+800	
		쌓기 3구간	2+180	~	2+340	18.3	2+330	
			2+540	~	2+620			
		쌓기 4구간	2+800	~	3+380	10.1	3+020	
		쌓기 5구간	3+460	~	3+720	9.3	3+560	
		쌓기 6구간	4+308	~	4+520	16.3	4+308	
			4+780	~	5+160			
		쌓기 7구간	5+237	~	5+580	15.1	5+340	
			5+880	~	6+000			

1.2.2 깎기비탈면 지반특성 및 현황

○ 깎기비탈면 지반특성

- 깎기비탈면 토사층은 시추조사결과 풍화토(SM), 풍화암으로 구성되어 있고, 대체적으로 풍화대가 두텁게 분포하며, 기반암의 암종은 흑운모편마암이 주로 분포함
- 깎기고 20m 이상인 구간과 토사층이 깊은 구간에 대하여 대표단면을 선정하여 안정성 검토를 수행함

▌본선 깎기비탈면 현황

구 분			측점 (STA.)			비탈면 유형		최대높이 (m)	대표단면 (STA.)	비고
1 공 구	지선	깎기 1구간	0+360	~	0+400	토사	우측	13.5	0+380	
		깎기 2구간	0+720	~	0+800	토사	우측	12.5	0+760	
	도내JCT	Ramp-A	0+020	~	0+200	토사	좌측	15.8	0+140	Ramp-B 중복
			0+220	~	0+260	토사	우측	6.1	0+160	
		Ramp-B-1	0+060	~	0+240	토사	우측	21.1	0+194	깎기1구간 포함
		Ramp-B-2	0+300	~	0+580	토사	우측	26.8	0+340	
						암반	우측	16.5	0+400	
								26.8	0+560	
		Ramp-B-3	0+580	~	0+700	토사	우측	13.9	0+620	
						암반	우측	23.7	0+560	
	행신IC	Ramp-A	0+120	~	0+300	토사	우측	8.1	0+220	
			0+440	~	0+580	토사	좌측	8.9	0+520	
							우측	9.0	0+460	Ramp-I 중복
		Ramp-D	0+220	~	0+240	토사	우측	1.6	0+240	
		Ramp-E	0+080	~	0+231	토사	우측/좌측	22.1/11.7	0+140	
		Ramp-F	0+100	~	0+160	토사	우측	7.4	0+120	
		Ramp-G	0+660	~	0+720	토사	우측	8.7	0+680	Ramp-F중복
		Ramp-H	0+140	~	0+300	토사	우측	4.3	0+260	
		Ramp-I	0+000	~	0+160	토사	좌측	6.9	0+130	
	본선	깎기 1구간	2+020	~	2+160	토사/암반	좌측	19.6/3.9	2+040	도내 JCT Ramp B 구간 중복
		깎기 2구간	6+340	~	7+040	토사	좌측	20.8	6+480	휴게소 Ramp A,B 포함
						토사	우측	23.0	6+980	
						암반	좌측	38.9	6+700	
							우측	28.3	6+940	

▌갱구부 비탈면 검토구간

구 분		측점 (STA.)	비탈면 유형	최대높이 (m)	대표단면 (STA.)	비고
강매 터널	시점부	서울방향 갱구부 배면	토사/암반	28.6	1+330	
		문산방향 갱구부 배면	토사/암반	27.5	1+330	
		서울방향 좌측 비탈면	암반	10.2	1+330	
		문산방향 우측 비탈면	암반	16.9	1+330	
	종점부	서울방향 갱구부 배면	토사/암반	17.3	1+700	
		문산방향 갱구부 배면	토사/암반	17.2	1+700	
		서울방향 좌측 비탈면	암반	14.2	1+700	
		문산방향 우측 비탈면	암반	11.5	1+700	

1.3 비탈면 설계기준

1.3.1 비탈면 기울기 기준

○ 쌓기 비탈면 기울기 기준 검토

•쌓기 비탈면의 표준기울기는 비탈면의 안정성 확보에 필요한 최소 기울기를 나타내는 것으로 쌓기재의 토질조건, 쌓기 높이, 쌓기 재료의 다짐특성을 고려하여 계획
•국토교통부, 한국도로공사, 한국토지공사, 한국주택공사의 설계기준을 비교 검토

■국내 여러 기관의 쌓기 비탈면 표준기울기

토 질 조 건	비탈면높이	경사기준			
		국토교통부	한국도로공사	한국토지공사	한국주택공사
토사	6m이상	–	1 : 1.8	–	–
	0~6m	–	1 : 1.5	–	–
	5m이상	1 : 1.8	–	1 : 2.0	–
	0~5m	1 : 1.5	–	1 : 1.5	–
입도분포가 좋은 모래 및 자갈 섞인 모래, 사질토 및 굵은 모래	6m이상	–	–	–	1 : 2.0
	3~6m	–	–	–	1 : 1.8
	0~3m	–	–	–	1 : 1.5
입도분포가 나쁜 모래, 연약한 점성토	6m이상	–	–	–	별도적용
	3~6m	–	–	–	1 : 2.0
	0~3m	–	–	–	1 : 1.8

■한국도로공사(도로설계요령, 2009)

쌓기 재료	쌓기 높이(m)	기 울 기	흙의 분류
입도분포가 좋은 모래	0~6	1:1.5	GW, GP, SW, GM, GC
자갈 및 자갈 섞인 모래	6~15	1:1.8	
입도분포가 나쁜 모래	0~10	1:1.8	SP
암괴, 암버력	0~6 6이상	1:1.5 1:1.8	SW, GP, GM
사질토, 굳은 점질토, 굳은점토 (홍적층, 점성토, 점토 등)	0~6 6이상	1:1.5 1:1.8	SM, SC, CL
연약한 점성토	0~6	1:1.8	CH, OH, ML, MH

■쌓기비탈면 기울기의 설계기준 결정

흙쌓기 높이	적용경사	소단설치	적 용 기 준
0~5m	1:1.5	H=5m마다 1m의 소단설치	•국토교통부 및 한국도로공사 표준경사 적용 •안정검토 후 최종 경사 결정
5m 이상	1:1.8		

○ 깎기 비탈면 기울기 기준 검토

•깎기대상비탈면 원지반의 물성, 지질구조 및 깎기시 발생하는 발파진동, 응력해방, 장기간의 노출에 의한 풍화 등을 고려하여 깎기비탈면의 경사를 결정하는 것이 중요하며, 일반적으로 적용되는 설계기준은 다음과 같음

▌암반의 특성에 따른 표준비탈면(한국도로공사, 도로설계요령(2009))

암 석 종 류 (강도)	암반 파쇄상태(NX (BX)) TCR(%)	RQD(%)	굴착 난이도	기울기	소단 설치	비 고
풍화암 또는 연 · 경암으로 파쇄가 극심한 경우	20% 이하 (5% 이하)	10% 이하 (0%)	리핑암	1:1.0~1.2	H=5m마다 1m 폭	•최하단 기준 매 20m마다 3m 소단 설치 •발파암과 리핑암 사이에는 소단을 설치하지 않음 •소단사이에 토사와 리핑 구분선이 발생 시 많은 쪽 비탈면 경사를 적용
강한 풍화암으로 파쇄가 거의 없는 경우와 대부분의 연·경암	20~40% (10~30%)	10~25% (0~10%)	발파암 (연암)	1:0.8~1.0	H=10m마다 1~2m 폭	
	40~60% (30~50%)	25~50% (10~40%이상)	발파암 (보통암)	1:0.7		
	60% 이상 (50% 이상)	50% 이상 (40% 이상)	발파암 (경암)	1:0.5	H=20m마다 3m 폭	

▌국내 여러 기관의 깎기비탈면 표준경사

토 질 조 건		비탈면 높이	비탈면경사 기준			
			국토교통부	한국도로공사	한국토지공사	한국주택공사
토 사 (사질토,점성토)		5m 이상	1:1.5	1:1.5	1:1.5	1:1.5
		0~5m	1:1.2	1:1.2	1:1.2	1:1.2
리핑암 (풍화암)		5m 이상	1:1.0	1:1.0	1:1.0	1:1.2
		0~5m				1:1.0
발 파 암	연 암	5m 이상	1:0.5	1:0.5~0.8	1:0.5	1:1.0
		0~5m				1:0.8
	경 암	5m 이상				1:0.8
		0~5m				1:0.5

▌깎기비탈면 경사의 설계기준 결정

•연암층과 경암층을 구분하여 발파암의 경사를 결정할 경우, 현장 시공시 연 · 경암을 판단하는 것이 현실적으로 어렵기 때문에, 본 설계에서는 연 · 경암의 구분 없이 발파암의 경사를 일률적으로 적용
•따라서, 암반층의 경사는 1:0.7로 적용하는 것을 기준으로 하며, 암반비탈면의 안정검토를 실시한 후 최종적으로 비탈면의 경사를 결정

구분	설계적용 비탈면경사	적 용 기 준
토 사	1 : 1.2~1.5	•토사, 리핑암은 국토교통부 및 한국도로공사 표준경사 적용
리 핑 암	1 : 1.0	
발 파 암	1 : 0.7	•발파암은 안정검토 후 최종 경사 결정

○ 설계적용 비탈면 표준기울기

•지반조사 결과를 바탕을 토질 및 암질상태를 평가하여 설계 표준기울기 결정 자료로 활용
•설계적용 기준은 최근 발간된 국토교통부의 “건설공사 비탈면 설계기준” (2011)를 적용

구분		비탈면 높이	설계적용		적 용 기 준
			영구비탈면	임시비탈면	
쌓기비탈면		0~5m	1:1.5		•용지폭원을 벗어나지 않는 범위내에서 적용 •표준기울기 적용시 비탈면이 용지 폭원을 벗어나는 경우, 구간별 경사를 구분하여 적용
		5m 이상	1:1.8		
깎기 비탈면	붕적층	–	1:1.2~1.8	1:1.0	
	토사	0~5m	1:1.2		
		5m 이상	1:1.5		
	리핑암	–	1:1.0	1:0.5	
	발파암	–	1:0.7	1:0.3	

1.3.2 비탈면 소단 설치기준

•소단의 폭은 1m 이상을 표준으로 하고 있으나, 강우에 의해 침식되기 쉬운 토질에서는 토사가 소단상에 쌓일 우려가 있으므로 안정검토 결과에 따라 확폭을 적용함
•소단에 배수설비 설치시 산측으로 5~10%의 횡단경사를 주고, 배수설비가 필요하지 않은 경우에는 본선측으로 0~5%의 횡단경사 적용
•현장 상황에 따라 소단 설치 폭 변경 가능

○ 기관별 소단 설치기준

기관 및 규정명		비 고
국토교통부 도로시설 기준		•H = 5 ~ 10m마다 소단 1.0 ~ 1.5m
국토교통부 건설공사 비탈면설계기준 (2011)	쌓기	•H = 5m마다 소단 1m
국토교통부 국도건설공사 설계실무요령 (2008)	깎기	•토사, 리핑암 H = 5m마다 소단 1m •발파암 H = 20m 마다 소단 3m
토지공사 공사비 적산기준		•H = 6m마다 소단 1m

○ 설계적용소단 설치기준

기관 및 규정명		설계적용	비고
쌓기 비탈면	5m 이하	5m 마다 1m 소단	•국토교통부 건설공사 비탈면 설계기준(2011) 적용
	5m 이상		
깎기 비탈면	토사	5m 마다 1m 소단	
	리핑암		
	발파암	20m 마다 3m 소단	

1.3.3 허용안전율 기준

•안전율 F.S ≥ 1.0 일 경우에 이론적으로 안전한 것으로 해석할 수 있으나 설계시 비탈면의 불확실성으로 인한 여건을 감안하여 허용안전율을 설계에 적용
•입지조건과 공사내용, 비탈면의 중요도, 비탈면 파괴시 주변에 미치는 영향 및 경제성과 시공성에 따라 비탈면의 허용안전율 결정

○ 쌓기 비탈면 안전율 적용 기준

■ 한국도로공사 (도로설계요령, 2009)

구분	기준 안전율	참 조
건기시	Fs > 1.5	•지하수가 없는 것으로 해석하는 경우
우기시	Fs > 1.3	•일반적인 쌓기 비탈면은 별도의 지하수위 조건 없음. •한쪽 쌓기, 한쪽 깎기 비탈면에서는 측정한 지하수위 또는 침투해석을 통한 지하수위를 이용하여 해석 •쌓기 표면에 강우침투가 발생하는 경우에는 강우침투를 고려한 해석 실시
지진시	Fs > 1.1	•지진관성력은 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용시킴 •지하수위는 실제측정 또는 침투해석을 수행한 지하수위
단 기	Fs > 1.0~1.1	•1년 미만의 단기적인 비탈면의 안정성

■ 국토교통부 (건설공사 비탈면 설계기준, 2011)

구분	기준 안전율	참 조
건기시	Fs > 1.5	•쌓기체 내에 지하수가 없는 것으로 해석
우기시	Fs > 1.3	•지하수 조건은 지반조사 결과, 지형조건 및 배수 조건 등을 종합적으로 판단하여 안정성에 가장 불리한 상태가 발생하는 조건에 대하여 수행 •한쪽쌓기, 한쪽깎기 비탈면에서는 상기조건에 따라 산정한 지하수위 또는 침투해석을 통한 지하수위를 이용하여 해석 •쌓기 표면에 강우강도, 강우지속시간 등을 고려하여 강우침투를 고려한 해석 실시
지진시	Fs > 1.1	•지진관성력은 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용시킴 •지하수위는 우기시 조건과 동일하게 적용
단 기	Fs > 1.0~1.1	•1년 미만의 단기적인 비탈면의 안정성(시공중 포함) •지하수 조건은 장기안정성 검토의 우기시 조건과 동일하게 적용

○ 깎기 비탈면 안전율 적용 기준

■ 한국도로공사 (도로설계요령, 2009)

구분	기준 안전율	참 조
건기시	Fs > 1.5	•지하수가 없는 것으로 해석하는 경우
우기시	Fs > 1.2 또는 Fs > 1.3	•암반비탈면은 인장균열의 1/2심도까지 지하수를 위치시키고 해석 수행, 토층 및 풍화암은 지표면에 지하수를 위치시키고 해석 수행(Fs=1.2 적용) •강우의 침투를 고려한 해석을 실시하는 경우(Fs=1.3 적용) •위 두 가지 조건 중 선택적으로 1가지 조건을 만족시켜야 함
지진시	Fs > 1.1	•지진관성력은 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용시킴 •지하수위는 실제측정 또는 평상시 지하수위 측정
단 기	Fs > 1.0	•1년 미만의 단기간의 안정성 검토시

■ 국토교통부 (건설공사 비탈면 설계기준, 2011)

구분	기준 안전율	참 조
건기시	Fs > 1.5	•지하수가 없는 것으로 해석
우기시	Fs > 1.2 또는 Fs > 1.3	•연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 1/2심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 Fs=1.2를 적용 •토층 및 풍화암으로 구성된 비탈면의 안정해석은 지하수위를 결정하여 해석하는 방법 또는 강우의 침투를 고려한 방법 사용 가능 •지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정하는 근거를 명확히 기술(Fs=1.2 적용) •강우의 침투를 고려한 안정해석을 실시하는 경우에는 현장지반조사 결과, 지형조건, 배수조건과 설계계획빈도에 따른 해당지역의 강우강도, 강우지속시간 등을 고려하여 안정해석을 실시하며, 해석시 적용한 설계정수와 해석방법을 명확히 기술(Fs=1.3적용)
지진시	Fs > 1.1	•지진관성력은 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용 •지하수위는 우기시 조건과 동일하게 적용
내진설계 지진시	Fs > 1.1	•지진관성력은 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용 •지하수위는 실제 측정 또는 평상시의 지하수위 적용
단 기	Fs > 1.0	•1년 미만의 단기간의 안정성 검토시 •지하수 조건은 장기안정성 검토의 우기시 조건과 동일하게 적용

○ 설계적용 안전율

구분	쌓기 비탈면	깎기 비탈면	참 조
평 상 시	Fs > 1.5	Fs > 1.5	•한국도로공사 도로설계요령 (2009), •국토교통부 (건설공사 비탈면 설계기준, 2011) •장기적인 비탈면 안정 등을 고려하여 최근 고속도로 설계시 적용되고 있는 기준 적용
우 기 시	Fs > 1.3	Fs > 1.2	
지 진 시	Fs > 1.1		

1.3.4 지하수위 적용기준

•쌓기비탈면의 경우에는 인공적으로 조성하는 비탈면이므로 설계에 반영된 각종 배수시설과 우수의 표면침투 방지시설을 고려하여 지하수위를 원지반까지 수위로 설정
•깎기비탈면의 경우에는 건기시는 지하수위를 고려하지 않으며, 우기시에는 국토교통부 및 도로공사의 기준에 따라 지표면까지 포화하는 것으로 적용

1.3.5 설계 하중

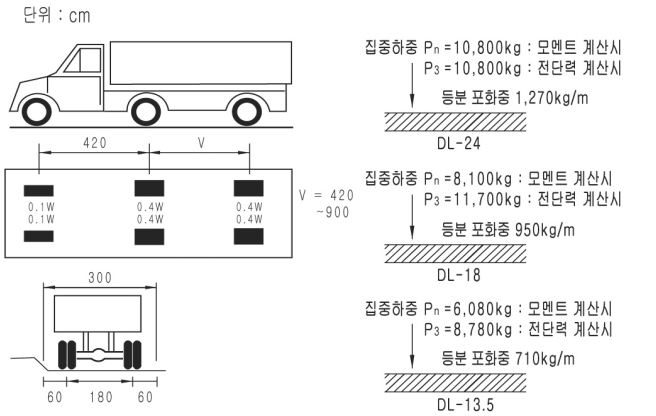
•구조물이 존재하는 경우 실제 작용 접지압을 적용하였으며 도로부 상단의 교통하중은 도로교시방서에 기준하여 상재하중 q=13kN/m으로 고려

○ 적용 기준

구 분	적 용 값	비 고
구조물하중	실제접지압	•구조물로 인해 발생되는 하중
교통하중	13kN/m	•차량통행에 따른 차량하중(DB-24)

•비탈면 상단에 구조물이 존재하는 경우 실제 기초면에 작용하는 접지압 적용
•비탈면에 작용하는 하중에는 구조물로 인한 하중과 차량주행에 따른 교통하중으로 구분되며 쌓기 비탈면인 경우에는 쌓기 높이를 고려하여 쌓기체 상단에 상재하중 적용

적 용 기 준



○ 지진하중

•지진응답해석을 수행하여 얻어진 지진하중을 고려하여 비탈면 해석
•설계지진하중 산정 : $F_h = 0.5 \times K_H \times W$
•설계지진하중은 비탈면의 수평변위를 일부 허용하는 개념을 도입하여 지표면 최대지진 가속도의 50% 고려

○ 지진구역에 따른 설계 지반운동 수준(국토해양부, 도로교설계기준, 2010)

•내진설계기준은 1등급 붕괴방지수준이며, 사업구간은 지진구역 Ⅰ(경기북부)에 해당되므로 본 설계적용 지반운동수준은 다음과 같음

내진등급	재현주기	구역 가속도	위험도 계수	설계지반운동수준
1등급	1000년	0.11g	1.4	0.154g

1.4 설계지반정수 산정

기본방향	•설계지반정수는 현장조사의 성과분석 결과에서 도출된 값을 우선하여 적용하되 기존 경험식, 문헌, 적용사례 등과 비교·검토 후 최종 선정

1.4.1 연속체 설계지반정수

구 분	지층	토성별	r_t(kN/m^3)	c(kPa)	Φ	E(MPa)	ν	V_s(m/s)	G_d(MPa)	K(cm/s)
1공구 깎기 구간	붕적층	모래	19	5	28	20	0.35	190	60	5.4×10^{-4}
	풍화토		19	19	29	60	0.33	310	180	2.6×10^{-4}
	풍화암		21	29	31	280	0.30	450	420	5.8×10^{-5}
	연 암		24	800	34	620	0.26	700	1,120	3.3×10^{-5}
	보통암		25	3,000	38	5,000	0.24	850	1,730	1.6×10^{-5}
	경 암		26	3,500	42	15,000	0.22	1,350	4,730	4.9×10^{-6}
2공구 깎기 구간	붕적층	모래	18	5	28	6	0.35	170	50	5.4×10^{-4}
	풍화토		19	19	29	60	0.33	270	130	4.5×10^{-4}
	풍화암		21	31	31	280	0.30	550	630	5.8×10^{-5}
	연 암		24	800	34	900	0.26	780	1,390	3.3×10^{-5}
	보통암		26	2,000	36	4,000	0.24	900	1,940	1.6×10^{-5}
	경 암		27	3,500	42	12,000	0.22	1,350	4,730	8.0×10^{-6}
3공구 깎기 구간	붕적층	모래	18	5	28	20	0.35	170	50	6.9×10^{-4}
	풍화토		19	19	29	60	0.33	310	180	5.3×10^{-4}
	풍화암		21	30	32	270	0.30	430	380	6.8×10^{-5}
	연 암		24	800	33	900	0.26	630	910	5.5×10^{-5}
	보통암		25	2,000	36	6,000	0.24	890	1,900	1.7×10^{-5}
	경 암		27	3,500	42	15,000	0.22	1,180	3,620	2.6×10^{-6}
4공구 깎기 구간	붕적층	모래	18	5	28	6	0.35	180	50	6.9×10^{-4}
	풍화토		19	18	29	60	0.33	330	200	6.2×10^{-4}
	풍화암		21	30	32	260	0.30	480	480	7.4×10^{-5}
	연 암		25	800	33	800	0.26	770	1,360	5.5×10^{-5}
	보통암		26	2,800	37	5,000	0.24	1,300	4,050	1.7×10^{-5}
	경 암		28	3,200	42	15,000	0.22	1,500	5,850	2.6×10^{-6}

구 분	r_t(kN/m^3)	c(kPa)	Φ	비고
쌓기재(토사)	18.0	15.0	28.0	

1.4.2 불연속체 설계지반정수

•충분한 절리특성시험 수행 및 시추코아 전체에 대한 공학적 특성 분석
•분포 및 공학적 특성이 유사한 불연속면에 대해 Domain별로 구분하여 불연속체 특성치 산정

◯균질절리영역(HFD) 구간별 불연속체 설계지반정수

구 분		절 리 군			점착력(kPa)			마찰각(°)			JCS (MPa)	JRC
		Set 1	Set 2	Set 3	Set 1	Set 2	Set 3	Set 1	Set 2	Set 3		
HFD 1구간 0+000~ 5+600	HFD1-1	42/111	49/307	62/066	48.0	43.0	31.0	30.9	31.1	31.7	59.9	8.6
	HFD1-2	49/252	41/112	75/352	34.0	39.0	27.0	30.1	29.9	29.4	52.0	7.1
	HFD1-3	82/186	67/130	56/320	34.0	25.0	35.0	29.9	30.5	29.9	25.4	8.4
	HFD1-4	64/188	–	–	46.0	–	–	32.6	–	–	27.6	13.0
HFD 2구간 5+600~1 5+500	HFD2-1	55/319	80/025	31/160	54.0	34.0	79.0	32.9	34.0	31.9	51.6	12.0
	HFD2-2	83/154	57/236	04/084	37.0	41.0	72.0	32.5	32.3	31.2	73.3	9.4
	HFD2-3	50/106	42/005	05/024	64.0	73.0	96.0	32.3	31.9	31.2	38.2	12.0
	HFD2-4	21/344	88/132	68/027	74.0	56.0	49.0	31.7	32.3	32.6	71.7	10.0
	HFD2-5	21/333	16/135	72/213	69.0	71.0	47.0	30.7	30.7	31.5	48.5	9.7
	HFD2-6	68/345	46/090	51/263	33.0	38.0	35.0	30.3	30.0	30.2	46.2	7.5
	HFD2-7	45/178	55/110	45/334	53.0	43.0	53.0	31.4	31.8	31.4	55.6	9.6
HFD 3구간 15+500~ 23+000	HFD3-1	60/034	74/189	–	47.0	42.0	–	33.7	34.0	–	71.6	11.0
	HFD3-2	56/187	46/039	56/259	44.0	54.0	44.0	32.4	32.0	32.4	66.2	9.9
	HFD3-3	38/039	83/189	60/276	55.0	35.0	36.0	31.1	32.0	32.0	61.1	9.1
HFD 4구간 23+000 ~33+00 0	HFD4-1	32/070	87/345	55/270	50.0	37.0	34.0	30.3	30.7	30.9	57.4	7.9
	HFD4-2	48/089	89/121	74/229	48.0	42.0	34.0	34.5	34.8	35.5	42.4	14.0
	HFD4-3	13/086	63/319	70/004	57.0	43.0	33.0	30.0	30.5	30.9	53.6	8.0
	HFD4-4	13/165	69/287	69/334	40.0	39.0	39.0	31.4	31.4	31.4	58.2	8.8
	HFD4-5	26/130	63/343	66/041	43.0	37.0	33.0	32.5	32.8	33.0	63.4	10.0

제 2 장 비탈면 안정성 검토

2.1 설계개요

기본방향	•쌓기 비탈면 중 쌓기고가 10.0m인 이상인 구간에 대하여 안정성 검토 •깎기 비탈면 중 토사층이 깊고 지층변화가 심한 구간에 대하여 대표단면 선정 •비탈면 한계평형해석 검토 후 확률분포 및 수치해석을 수행하여 해석의 신뢰도 검증

2.1.1 토사 및 풍화암 비탈면 안정해석

•한계평형해석 및 수치해석 그리고 통계기법을 이용한 토사비탈면 안정해석 수행
•토사비탈면 상세해석을 위한 응력-변형해석 병행
•해석결과 비교 검토 및 비탈면의 전체적인 안정성 확인

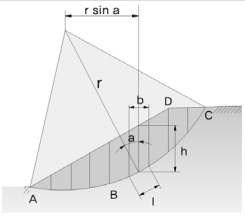
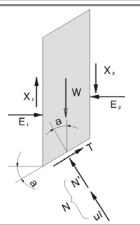
○ 개 요

•일반적으로 적용되는 한계평형해석 및 지하수 모델의 불합리성을 극복하기 위해 한계평형해석과 유한요소해석간의 연계해석을 수행
•강도감소법을 이용하여 지반내 응력 상태를 재현, 보다 실제에 가까운 파괴 활동 및 지반내 응력변화, 비탈면에서의 전단파괴 영역 및 소성범위를 확인
•지반의 불확실성을 고려하기 위한 통계적 기법을 이용한 분석

○ 한계평형 해석 (Limit Equilibrium Analysis)

■ 이론적 배경

•비탈면의 안정성 해석시 널리 사용되는 해석방법들은 한계평형 이론을 적용하고 있으며, 산정한 안전율이 허용안전율 이상이 되면 비탈면은 파괴에 대해 안정한 것으로 판단
•한계평형이론에 의한 비탈면안정 해석방법은 여러 가지가 있으며 그 정확성은 강도정수의 결정과 지반의 파괴형태를 의미하는 파괴모드의 가정방식에 의해 좌우됨
•파괴모드는 토사비탈면의 경우 지층구성에 의해 원호, 평면 혹은 복합활동파괴 등으로 구분
•토사비탈면의 파괴모드는 곡면형태의 함수(원호 혹은 대수나선 등)로 가정하여 해석을 수행

가상파괴면	n번째 절편에 작용하는 힘
	

• $Fs = \frac{1}{\Sigma W_n \sin\alpha} \Sigma(cb_n + W_n \tan\varphi + \Delta T \tan\varphi) \frac{1}{m_{\alpha(n)}}$ • $m_{a(n)} = \cos\alpha_n + \frac{\tan\varphi \times \sin\alpha_n}{F_s}$

여기서, Wn : n번째 절편에 흙의 중량(= γ×b×h)(K/m)
α : 경사각(°) c : 흙의 점착력 (MPa)
bn : n번째 절편의 폭(m) φ : 흙의 내부 마찰각(°)
ΔT : $T_n = T_{n+1}$ n : n 절편의 측면에 작용하는 수평력

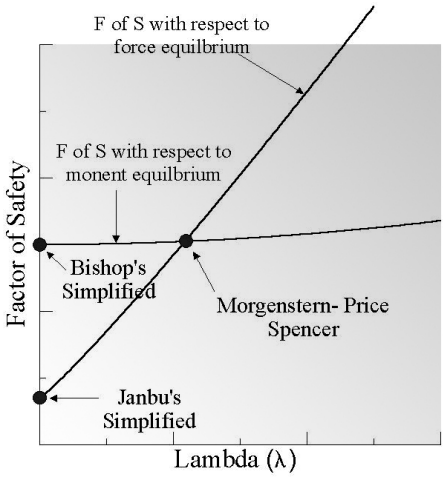
한계평형방법비교 (지반공학 시리즈5, 비탈면안정)

•모든 평형조건을 만족시키는 비탈면안정 해석법으로 구한 안전율은 정해와 약 ±5% 이내의 오차 보임
•Bishop의 간편법은 정해로 볼 수 있음(비탈면 선단부에서 활동면의 경사가 대단히 급할 때에는 예외)
•Fellenius 방법은 안전율을 과소평가함
•전응력 해석법(ru=0)은 실용상 허용범위 내에 있지만, 유효응력 해석법은 간극수압비가 큰 경우 큰 오차를 유발하므로 Fellenius 방법은 전응력 해석법에 적용, 유효응력 해석법에는 부적합
•전응력 해석방법에서 원호 활동면에 대해 모멘트 평형을 만족시키는 방법은 모두 정해를 산정

한계평형방법의 선정

•여러 한계평형방법들과 그 방법들이 제안한 가정에 의해서 결과값이 조금씩 상이함
•전단 및 수직 절편력과의 관계를 표현하는 λ값과 안전율과의 그래프를 통해 적용방법의 적정성를 판단
•모멘트 평형에만 근거를 둔 방법은 비교적 절편력의 영향을 적게 받는 반면, 힘 평형에만 근거를 둔 방법은 절편력의 영향을 많이 받음
•집중하중이나 앵커하중이 작용하는 경우와 같이 모멘트 평형에만 근거를 둔 방법이 절편력에 크게 영향을 받는 경우도 존재
  – 모멘트와 힘을 동시에 고려한 방법이 절편력에 영향을 적게 받음
  – 본 사업의 한계평형분석 방법은 모멘트와 힘을 동시에 고려한 방법 중 Bishop방법으로 선정함

모멘트, 힘평형조건의 안전율 변화 추이



해석 Program 비교

Program	개 발 자	해 석 방 법	활동면 형 상	활동면 추정 여부	외부 하중 적용	간극수압		비 고
						정수압	간극수 압계수	
PC STABLE5 PC STABLE6	Carpenter (1985)	Bishop, Janbu, Spencer	원호, 비원호 블록	○	○	○	○	
STABR	Lefevre (1971)	Bishop, Fellenius	원호	○	×	○	×	
SLOPER	Wright and Duncan (1986)	Spencer	비원호	×	×	○	×	
SLOPE/W	Fredlund (Geo-Slope)	Fellenius, Bishop, Janbu, Spencer Morgenstern-Price	원호, 비원호 블록	○	○	○	○	
TALREN	Terrasol	Fellenius, Bishop Janbu, Spencer, Morgenstern-Price	원호, 비원호 블록	○	○	○	○	

2.1.2 암반 비탈면 안정해석

•현장조사결과를 반영한 평사투영해석, SMR평가 등을 통하여 암반비탈면 안정성 예비평가
•잠재적인 파괴가능성을 내포한 비탈면에 대해 한계평형해석 및 수치해석 수행
•암반 절리특성의 불확실성을 고려한 암반비탈면의 파괴확률 산정

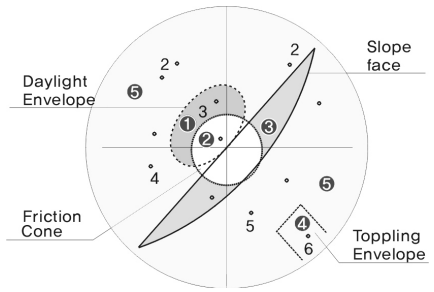
개 요

•현장 지질조사를 통하여 조사된 불연속면의 절리방향과 내부마찰각을 평사투영하여 암반 비탈면 붕괴유형별 안정성 평가(DIPS)
•절리면을 따라 암괴에 미치는 응력분포와 절리면의 전단저항특성, 지하수 조건 등을 고려한 한계평형식을 적용하여 비탈면 안정해석 수행(SWEDGE, ROCPLANE)

평사투영해석 (Stereographic Projection Method)

•평사투영법은 대원(Great Circle, 쐐기파괴의 가능성 예측)과 극점(Pole, 평면 및 전도파괴의 가능성 예측)으로 해석하는 두 가지 방법으로 대별
•불연속면의 긴 연장선 외에 충진물 협재, 지하수 유동 등 위험요소를 내포한 절리와 단층과 같은 불연속면은 평사투영 해석시 방향성이 우세하게 나타나지 않아도 중요 위험불연속면으로 고려하여 해석

검토 방법

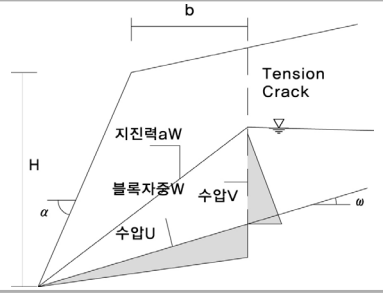


❶ 지역 : 불연속면의 경사가 마찰각보다 큰 Daylight로서 불안정한 지역
❷ 지역 : 불연속면의 경사가 마찰각보다 작은 Daylight로서 안정한 지역
❸ 지역 : 불연속면의 경사가 마찰각보다 작으며, Daylight도 아닌 안정한 지역
❹ 지역 : Toppling 붕괴의 위험성이 잠재된 불안정한 지역
❺ 지역 : 불연속면의 경사가 마찰각보다 크더라도 Daylight나 Toppling Envelope이 아니므로 안정한 지역

한계평형해석 (Limit Equilibrium Analysis)

•한계평형해석은 암반블록의 자중, 절리면의 마찰각 및 점착력, 암반간극수압 등을 고려하여 암반블록에 대한 비탈면 안정계수(Safety Factor)로 나타내는 방법

평면파괴해석 (Plane Failure)



•단위두께의 절편으로 생각, 파괴블록의 양측면은 미끄럼 저항이 없는 자유면으로 간주
•미끄럼 인장균열은 비탈면에 평행(비탈면의 주향과 인장균열의 주향이 같음)
•파괴면의 자중, 수압에 의한 양압력 및 수압 등은 블록의 중심을 통하여 작용 $b/H = \sqrt{\cot\alpha \cot\omega} - \cot\alpha$
ω : 불연속면의 경사 α : 비탈면의 경사

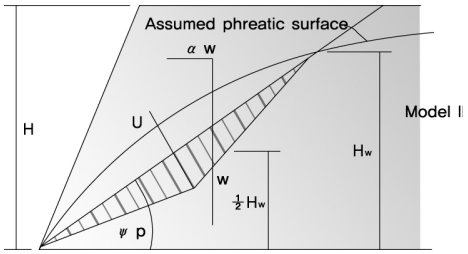
인장균열을 고려하지 않는 경우의 평면파괴 한계평형해석

평상/우기시의 경우	$F = \frac{c \cdot A + [W \cos\Psi_p - U] \tan\varphi}{W \sin\Psi_p}$
지진시의 경우	$F = \frac{c \cdot A + W(\cos\Psi_p - \alpha \sin\Psi_p) \tan\varphi}{W(\sin\Psi_p + \alpha \cos\Psi_p)}$

A : 파괴면의 면적 W : 암괴의 중량 H : 비탈면의 높이 Hw : 지하수로 포화된 비탈면의 높이
Ψ_p : 파괴면의 경사 α : 지진가속도 φ : 절리면의 내부 마찰각 U : 파괴면상의 수압에 의한 양압력

• $A = H_w \text{cosec}\ \Psi_p$ • $U = \frac{\gamma_w (H_w)^2 \text{cosec}\Psi_p}{4}$

인장균열이 없는 경우



인장균열을 고려하는 경우의 평면파괴 한계평형해석

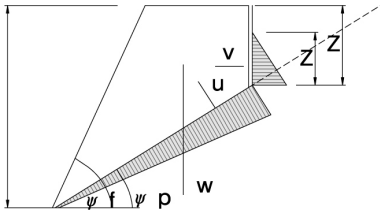
$$F = \frac{C \cdot A + (W \cos\Psi_p - U - V \cdot \sin\Psi_p) \tan\varnothing}{W \cdot \sin\Psi_p + V \cdot \cos\Psi_p}$$

$$A = (H - Z)\ \text{cosec}\Psi_p, \quad V = \frac{\gamma_w Z_w^2}{2}$$

$$U = \frac{\gamma_w Z_w (H - Z)\ \text{cosec}\Psi_p}{2}$$

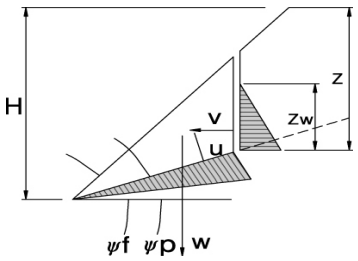
A : 파괴면의 면적 H : 비탈면의 높이
Z : 인장균열 깊이 W : 암괴의 중량
Ψ_p : 파괴면의 경사
U : 파괴면에 작용하는 수압에 의한 양압력
V : 인장균열속의 수압에 의한 힘 φ

상부비탈면에 인장균열이 있는 경우



$$W = \frac{\gamma^2 H^2 ((1 - (Z/H)^2) \cot\Psi_p - \cot\Psi_f)}{2}$$

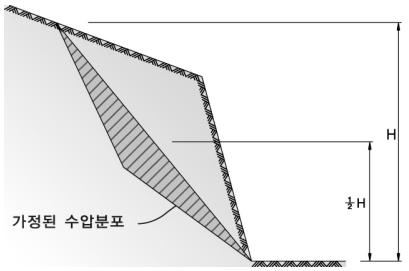
비탈면내에 인장균열이 있는 경우



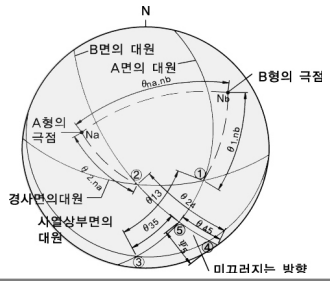
$$W = \frac{\gamma^2 H^2 ((1 - (Z/H))^2 \cot\Psi_p (\cot\Psi_p \tan\Psi_f - 1)}{2}$$

쐐기파괴 해석 (Wedge Failure)

해석을 위한 쐐기파괴 모식도



평사투영망에서의 해석



프 로 그 램 개 요

•쐐기파괴의 미끄러짐은 두 절리군의 교선을 따라 발생한다는 가정하에 Mohr-Coulomb 파괴기준을 이용하여 안전율을 계산

•해석프로그램(SWEDGE) : 비탈면내 두 절리의 교차로 인하여 쐐기파괴의 발생가능성과 안정성 분석을 위한 프로그램으로서 캐나다 Toronto 대학의 Rock Engineering Group에서 개발

•파괴조건 및 원리는 Hoek의 이론에 바탕을 두었으며, 다음과 같은 특징이 있음

- 쐐기파괴에 대한 안전율 계산 및 쐐기에 대한 록볼트 보강 후의 안전율 계산
- 쐐기파괴의 평사투영도 및 3차원 단면도 제시

기 본 이 론

•쐐기파괴를 이루는 두 불연속면을 각각 A, B(A가 B보다 완만한 경사)

$$F = \frac{3}{\gamma H}(C_A X + C_B Y) + (A - \frac{\gamma_w}{2\gamma} X)\tan\varphi_A + (B - \frac{\gamma_w}{2\gamma} Y)\tan\varphi_B$$

C_A, C_B : A면과 B면의 점착강도 φ_A, φ_B : A면과 B면에서의 마찰각

γ : 암석의 단위중량 γ_ω : 물의 단위중량 H : 쐐기의 전체높이

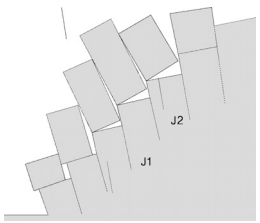
여기서, X, Y, A, B 는 쐐기의 기하형상에 좌우되는 무차원 요소

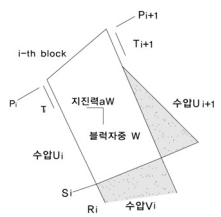
$$X = \frac{\sin\theta_{24}}{\sin\theta_{45}\cos\theta_{2na}} \qquad Y = \frac{\sin\theta_{13}}{\sin\theta_{35}\cos\theta_{1nb}}$$

$$A = \frac{\cos\Psi_a - \cos\Psi_b\cos\theta_{na-nb}}{\sin\Psi_5 \sin^2\theta_{na-nb}} \qquad B = \frac{\cos\Psi_b - \cos\Psi_a\cos\theta_{na-nb}}{\sin\Psi_5 \sin^2\theta_{na-nb}}$$

φ_a와 φ_b는 각각 A, B면의 경사, φ_5는 교선의 경사

전도파괴해석 (Toppling Failure)





•파괴조건 : 경사방향이 비탈면과 반대방향이며 경사각이 급한 불연속면(J_1)이 높은 빈도로 발달하고 비탈면보다 경사각이 작은 불연속면(J_2)이 존재하는 경우에 전도파괴의 가능성이 있으며, 이때 불연속면(J_1)의 반복적인 발달로 형성된 무게중심이 비탈면 저면부보다 외부로 치우쳐야함

•한계평형해석법

- 암반절편의 회전에 의한 전도하중이 인접한 암반절편에 전달
- 암반절편에 작용하는 자중(W), 수압(U, V), 수평지지력(aW), 절편간에 전달되는 법선력(P_i, P_{i+1}, N_i), 전단력(T_i, T_{i+1}, R_i)을 이용하여 힘의 평형식, 모멘트 평형식을 수립 ➡ 전달되는 전도하중 산정
- 비탈면 상부로부터 하부 마지막 절편으로 전달된 전도하중(P_1)이 0보다 큰 경우 전도파괴 발생

2.2 쌓기 비탈면 안정성 검토

기본방향	•시공 후 차량의 하중을 고려하여 교통하중(13kN/㎡) 적용 •쌓기고 10.0m이상구간과 지하수위가 원지반고 이상 상승하지 않는 것으로 가정하여 검토수행

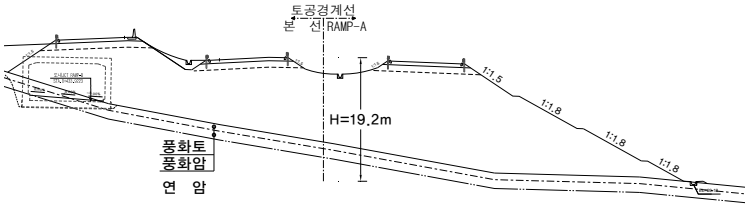
2.2.1 쌓기 비탈면 안정성 검토

○ 쌓기부 검토 현황

구 분			측점 (STA.)			최대높이(m)	대표단면 (STA.)	비고
1공구	지선	쌓기 1구간	0+420	~	0+700	9.3	0+460	연약지반
		쌓기 2구간	0+820	~	1+380	11.1	1+100	
	북로JCT	Ramp-A	0+000	~	0+540	9.6	0+180	10m 이하
	도내JCT	Ramp-A	0+040	~	0+160	17.8	0+320	쌓기2구간
			0+240	~	0+600			
		Ramp-B	0+260	~	0+280	5.0	0+260	10m 이하
	행신IC	Ramp-A	0+000	~	0+080	9.8	0+020	보강토 옹벽
			0+320	~	0+420	6.6	0+380	10m 이하
			0+620	~	0+775	8.8	0+775	10m 이하
		Ramp-B	0+000	~	0+160	9.7	0+020	보강토 옹벽
		Ramp-C	0+140	~	0+340	10.4	0+320	보강토 옹벽
		Ramp-D	0+260	~	0+307	7.1	0+307	10m 이하
		Ramp-F	0+000	~	0+080	7.7	0+020	10m 이하
			0+180	~	0+240			
		Ramp-G	0+485	~	0+580	6.7	0.560	10m 이하
	본선	쌓기 1구간	0+554	~	0+851	9.9	0+820	10m 이하
		쌓기 2구간	1+760	~	2+020	18.8	1+940	보강토 옹벽
						19.2	1+800	
		쌓기 3구간	2+180	~	2+340	18.3	2+330	
			2+540	~	2+620			
		쌓기 4구간	2+800	~	3+380	10.1	3+020	
						10.2	3+120	
		쌓기 5구간	3+460	~	3+720	9.3	3+560	10m 이하
		쌓기 6구간	4+308	~	4+520	16.3	4+308	
			4+780	~	5+160			
		쌓기 7구간	5+237	~	5+580	15.0	5+340	
			5+880	~	6+000			

1공구 쌓기 2구간 STA. 1+800 (표준 경사 쌓기재 1 : 1.5 ~ 1.8 적용)

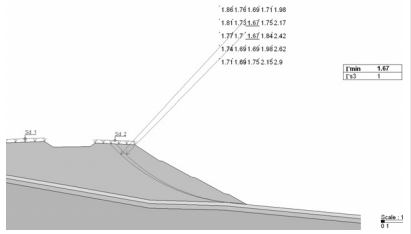
검 토 단 면



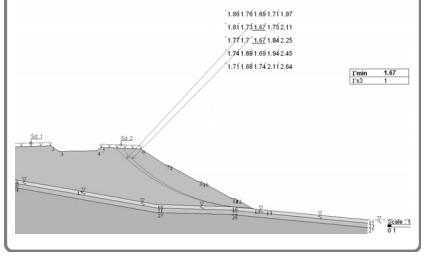
쌓기고(m)	매립층(m)	풍화토(m)	풍화암(m)
19.2	-	1.0	1.4

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	1.67	O.K
우기시	1.30	1.67	O.K
지진시	1.10	1.42	O.K

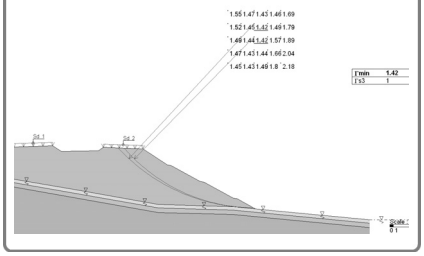
건기시



우기시

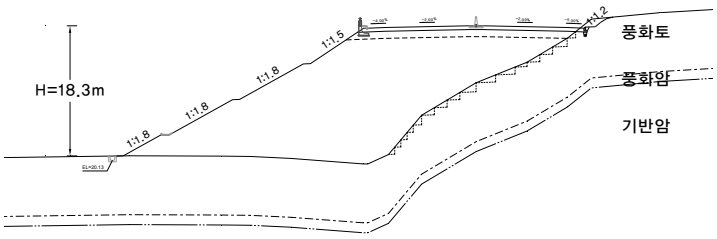


지진시



1공구 쌓기 3구간 STA. 2+330 (행신1교 A1 좌측) (표준 경사 쌓기재 1 : 1.5 ~ 1.8 적용)

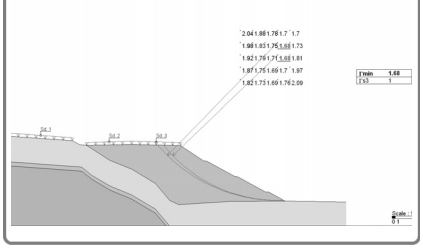
검 토 단 면



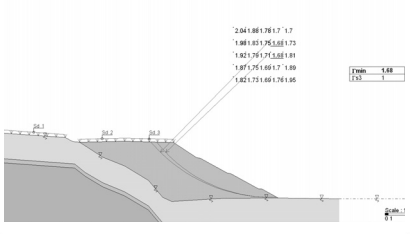
쌓기고(m)	매립층(m)	풍화토(m)	풍화암(m)
18.3	-	8.3	1.4

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	1.68	O.K
우기시	1.30	1.68	O.K
지진시	1.10	1.42	O.K

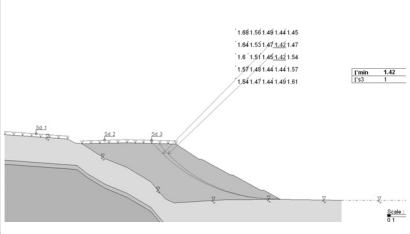
건기시



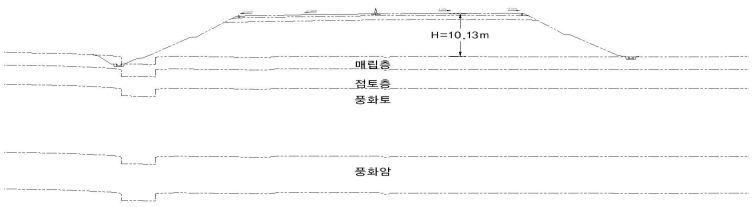
우기시



지진시

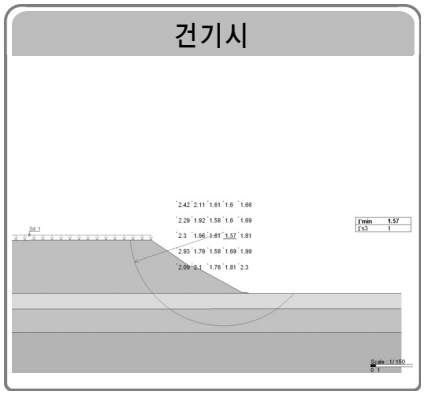
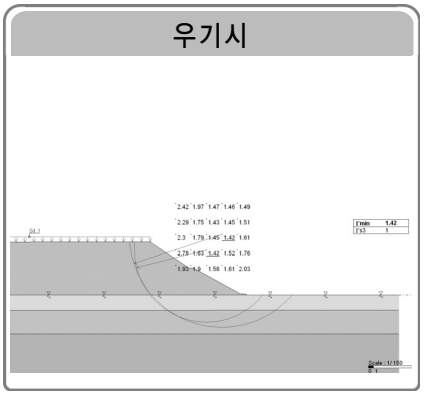
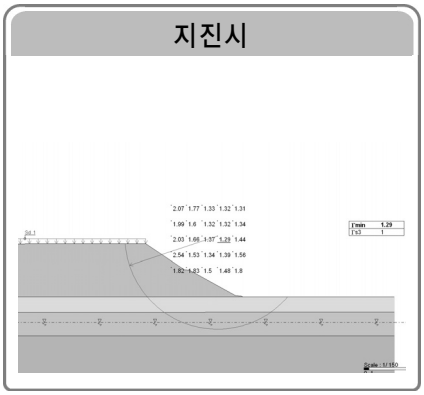


1공구 쌓기 4구간 STA. 3+020 (표준 경사 쌓기재 1 : 1.5 ~ 1.8 적용)

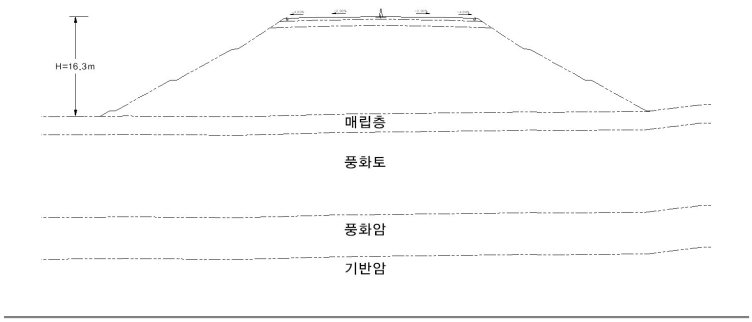
검 토 단 면


쌓기고(m)	매립층(m)	퇴적층(m)	풍화토(m)
10.13	3	4.6	15.8

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	1.57	O.K
우기시	1.30	1.42	O.K
지진시	1.10	1.29	O.K

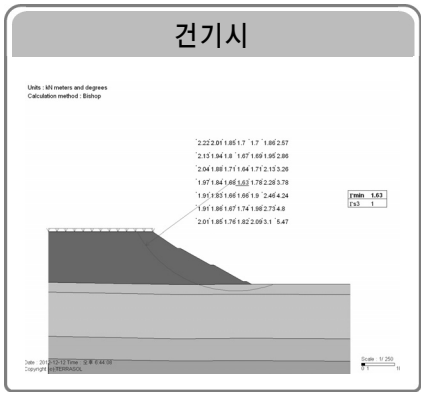
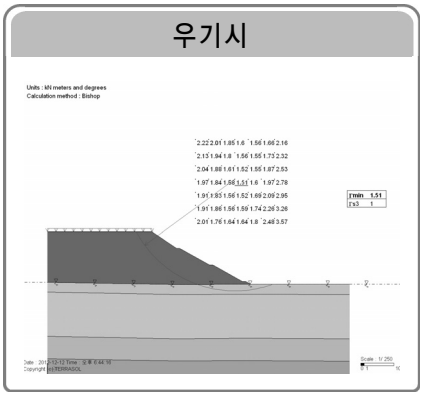
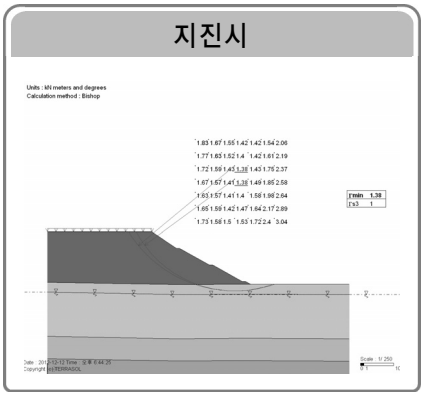
건기시	우기시	지진시
		

1공구 쌓기 6구간 STA. 4+308 (표준 경사 쌓기재 1 : 1.5 ~ 1.8 적용)

검 토 단 면


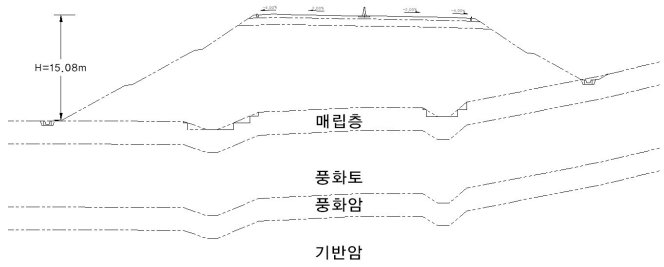
쌓기고(m)	매립층(m)	풍화토(m)	풍화암(m)
16.3	3.0	13.5	6.8

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	1.63	O.K
우기시	1.30	1.51	O.K
지진시	1.10	1.38	O.K

건기시	우기시	지진시
		

1공구 쌓기 7구간 STA. 5+340 (표준 경사 쌓기재 1 : 1.5 ~ 1.8 적용)

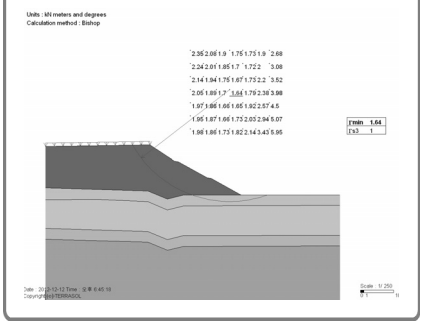
검 토 단 면



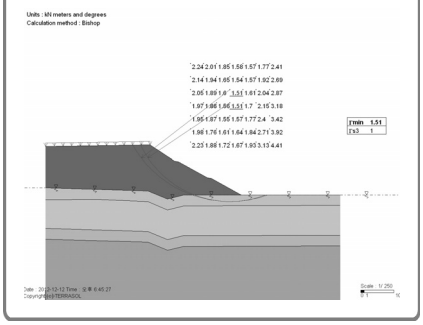
쌓기고(m)	매립층(m)	풍화토(m)	풍화암(m)
15.08	3.3	9.1	3.3

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	1.64	O.K
우기시	1.30	1.51	O.K
지진시	1.10	1.38	O.K

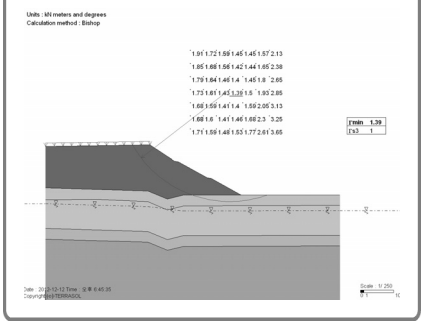
건기시



우기시



지진시



쌓기부 검토 결과

구 분		측점 (STA.)	대표단면 (STA.)	안전율			비고
				건기시	우기시	지진시	
본선	쌓기 2구간	1+760 ~ 2+020	1+800	1.67	1.67	1.42	안정
	쌓기 3구간	2+180 ~ 2+340	2+330	1.68	1.68	1.42	안정
		2+540 ~ 2+620					
	쌓기 4구간	2+800 ~ 3+380	3+020	1.57	1.42	1.29	안정
	쌓기 6구간	4+308 ~ 4+520	4+308	1.63	1.51	1.38	안정
		4+780 ~ 5+160					
	쌓기 7구간	5+237 ~ 5+580	5+340	1.64	1.51	1.38	안정
		5+880 ~ 6+000					

검토결과 • 쌓기비탈면에 대하여 한계평형해석 결과, 검토대상 비탈면은 안정한 것으로 판단됨

2.3 깎기 비탈면 안정성 검토

기본방향	•토사 깎기 및 암반 깎기 구간으로 구간별 안정성 검토 •평사투영 및 불연속체해석을 수행하여 암반 파괴유형 검토

2.3.1 암반 비탈면 안정성 검토

◯깎기부 현황

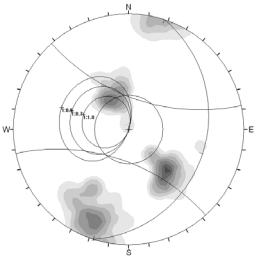
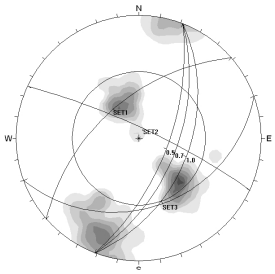
▮본선 깎기 비탈면 검토 현황

구 분			측점 (STA.)	비탈면 유형		Dipdir	최대높이 (m)	검토단면 (STA.)	비고
1공구	지선	깎기 1구간	0+380 ~ 0+420	토사	우측	-	13.5	0+380	
		깎기 2구간	0+720 ~ 0+800	토사	우측	-	12.5	0+760	
	도내JCT	Ramp-A	0+120 ~ 0+160	토사	좌측	-	15.8	0+160	Ramp-B 중복
		Ramp-B-2	0+300 ~ 0+580	토사	우측	-	26.8	0+340	
				암반	우측	125	16.5	0+400	
						91	26.8	0+560	
		Ramp-B-3	0+580 ~ 0+700	토사	우측	-	13.9	0+620	
	행신IC	Ramp-E	0+080 ~ 0+231	토사	우측/좌측	-	22.1/11.7	0+140	
	본선	깎기 1구간	2+020 ~ 2+160	토사/암반	좌측	-	21.2	2+040	도내JCT Ramp-B 중복
		깎기 2구간	6+340 ~ 7+040	토사	좌측	-	20.8	6+480	
					우측	-	23.0	6+980	
				암반	좌측	108	38.9	6+700	
					우측	281	28.3	6+940	

○ 본선구간 평사투영해석을 통한 암반 비탈면 안정성 검토

■ 1공구 깎기 2구간 STA. 6+700 비탈면

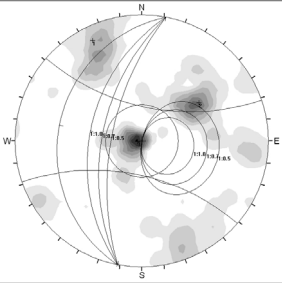
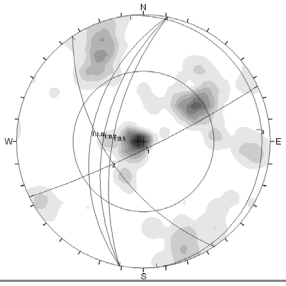
구분	검토단면 (STA.)	비탈면 방향 (Dipdir)	암종	불연속면 방향성(Dip/Dipdir)			마찰각 (°)
				J1	J2	J3	
좌측	6+700	108	편마암	55/319	80/025	31/160	33

평면 및 전도파괴	쐐기파괴
	

기울기	평면파괴	전도파괴	쐐기파괴
1:0.5	안정	불안정	안정
1:0.7	안정	안정	안정
1:1.0	안정	안정	안정
파괴 유형	•1:0.5~0.7 경사에 대해 국부적 평면 파괴 가능성 있음		

■ 1공구 깎기 2구간 STA. 6+940 비탈면

구분	검토단면 (STA.)	비탈면 방향 (Dipdir)	암종	불연속면 방향성(Dip/Dipdir)			마찰각 (°)
				J1	J2	J3	
우측	6+940	281	편마암	83/154	57/236	04/084	32

평면 및 전도파괴	쐐기파괴
	

기울기	평면파괴	전도파괴	쐐기파괴
1:0.5	안정	안정	안정
1:0.7	안정	안정	안정
1:1.0	안정	안정	안정
파괴 유형	•1:0.5~1:1.0 경사에 대해 평면 파괴, 전도파괴 및 쐐기파괴에 대해 안정		

○ 본선구간 암반 비탈면 안정검토 결과

○ : 안정, × : 불안정

구 분		측점 (STA.)	검토단면		평사투영해석			한계평형해석				비고
					평면	전도	쐐기	평면		쐐기		
								건기	우기	건기	우기	
1공구	깎기 2구간	6+340 ~ 7+040	6+700	좌측	○	○	○	1.69	1.39	–	–	암반층 1:0.5 기울기 적용 Random Bolt+수평배수공적용
			6+940	우측	○	○	○	–	–	–	–	–

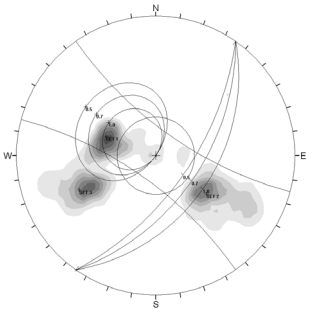
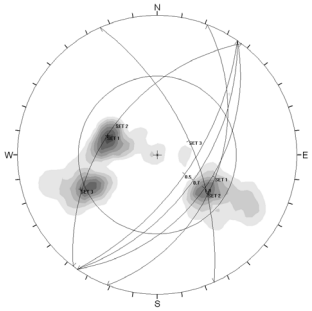
검토결과

• 평면파괴 가능성이 있는 깎기2구간 STA.6+340~7+040 좌측비탈면에 대하여 한계평형해석 결과, Random Bolt를 적용하여 비탈면 안정을 확보하도록 계획

○ Ramp구간 평사투영해석을 통한 암반 비탈면 안정성 검토

■ 1공구 도내JCT Ramp-B-2구간 STA. 0+400 비탈면

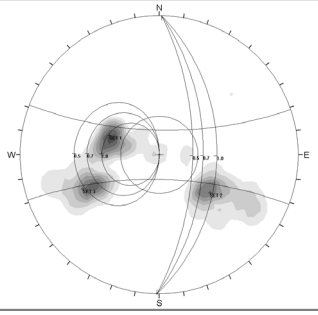
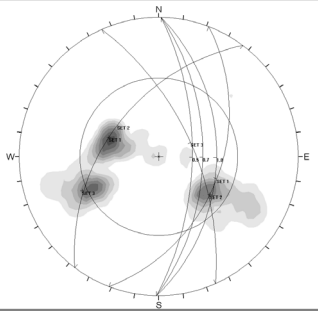
구분	검토단면 (STA.)	비탈면 방향 (Dipdir)	암종	불연속면 방향성(Dip/Dipdir)			마찰각 (°)
				J1	J2	J3	
우측	0+400	125	편마암	42/111	49/307	62/066	31

평면 및 전도파괴	쐐기파괴
	

기울기	평면파괴	전도파괴	쐐기파괴
1:0.5	불안정	안정	불안정
1:0.7	불안정	안정	불안정
1:1.0	불안정	안정	불안정
파괴 유형	•1:0.5~1:1.0 경사에 대해 평면 파괴 및 쐐기파괴 발생 가능성 있음		

■ 1공구 도내JCT Ramp-B-3구간 STA. 0+560 비탈면

구분	검토단면 (STA.)	비탈면 방향 (Dipdir)	암종	불연속면 방향성(Dip/Dipdir)			마찰각 (°)
				J1	J2	J3	
우측	0+540	91	편마암	42/111	49/307	62/066	31

평면 및 전도파괴	쐐기파괴
	

기울기	평면파괴	전도파괴	쐐기파괴
1:0.5	불안정	안정	불안정
1:0.7	불안정	안정	불안정
1:1.0	불안정	안정	안정
파괴 유형	•1:0.5~1:1.0 경사에 대해 평면 파괴 및 쐐기파괴 발생 가능성 있음		

○ Ramp구간 암반비탈면 안정검토 결과

○ : 안정, × : 불안정

구 분		측점 (STA.)	검토단면		평사투영해석			한계평형해석				비고
					평면	전도	쐐기	평면		쐐기		
								건기	우기	건기	우기	
도내JCT	R-B	0+300 ~ 0+580	0+400	우측	×	○	×	1.94	1.71	3.53	2.75	한계평형해석 결과 안정함
			0+560	우측	×	○	×	1.15	0.86	1.19	0.48	R/B 보강 + 수평배수공 적용 0+530~0+580

검토결과

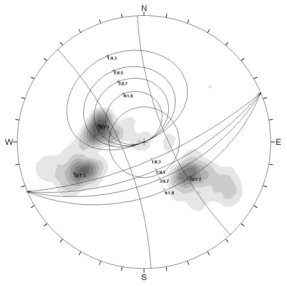
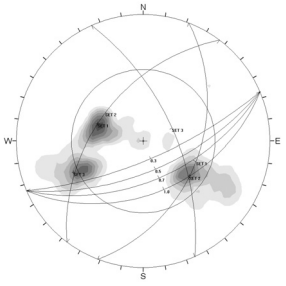
• 평면 및 쐐기파괴 가능성이 있는 비탈면에 대하여 한계평형해석 결과, 도내JCT STA.0+530~580 우측비탈면에 대해 록볼트 보강을 통해 비탈면 안정을 확보하도록 계획

2.3.2 터널 갱구부 암반 비탈면 안정성 검토

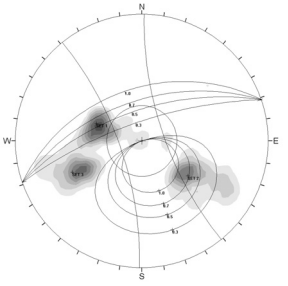
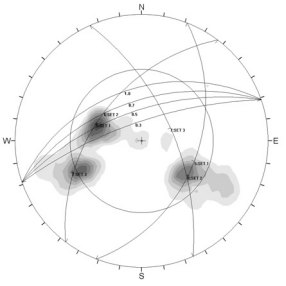
○ 평사투영해석을 통한 암반 비탈면 안정성 검토

■ 강매터널 시점 비탈면

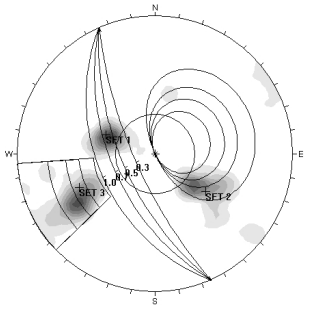
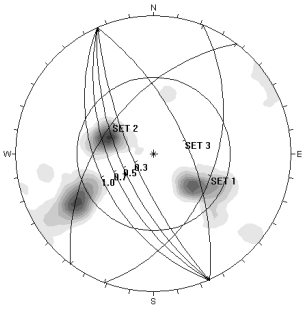
구분	검토단면 (STA.)	비탈면 방향 (Dipdir)	암종	불연속면 방향성(Dip/Dipdir)			마찰각 (°)
				J1	J2	J3	
좌측	1+330	157	편마암	42/111	49/307	62/066	31
우측	1+330	341					
배면	1+330	247					

평면 및 전도파괴	쐐기파괴
	

기울기	평면파괴	전도파괴	쐐기파괴
1:0.3	안정	안정	불안정
1:0.5	안정	안정	불안정
1:0.7	안정	안정	불안정
1:1.0	안정	안정	불안정
파괴 유형	•1:0.3~1:1.0 경사에 대해 쐐기 파괴 발생 가능성 있음		

평면 및 전도파괴	쐐기파괴
	

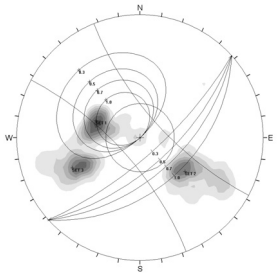
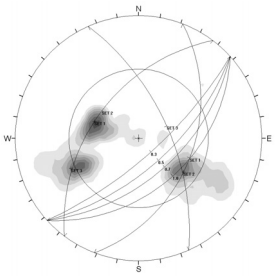
기울기	평면파괴	전도파괴	쐐기파괴
1:0.3	안정	안정	불안정
1:0.5	안정	안정	불안정
1:0.7	안정	안정	불안정
1:1.0	안정	안정	불안정
파괴 유형	•1:0.3~1:1.0 경사에 대해 쐐기 파괴 발생 가능성 있음		

평면 및 전도파괴	쐐기파괴
	

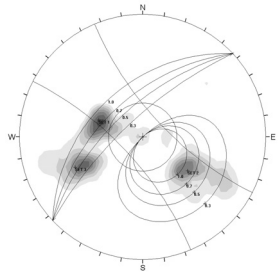
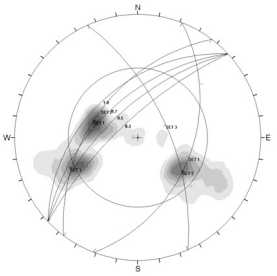
기울기	평면파괴	전도파괴	쐐기파괴
1:0.3	안정	불안정	안정
1:0.5	안정	불안정	안정
1:0.7	안정	안정	안정
1:1.0	안정	안정	안정
파괴 유형	•1:0.3~1:0.5 경사에 대해 전도 파괴 발생 가능성 있음		

강매터널 종점 비탈면

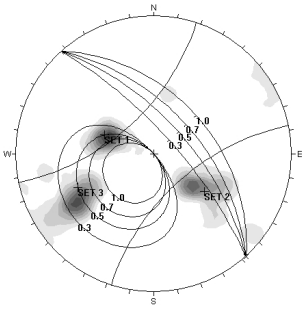
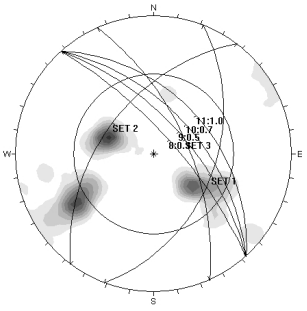
구분	검토단면 (STA.)	비탈면 방향 (Dipdir)	암종	불연속면 방향성(Dip/Dipdir)			마찰각 (°)
				J1	J2	J3	
좌측	1+700	138	편마암	42/111	49/307	62/066	31
우측	1+700	317					
배면	1+700	48					

평면 및 전도파괴	쐐기파괴
	

기울기	평면파괴	전도파괴	쐐기파괴
1:0.3	불안정	안정	불안정
1:0.5	불안정	안정	불안정
1:0.7	불안정	안정	불안정
1:1.0	불안정	안정	불안정
파괴 유형	•1:0.3~1:1.0 경사에 대해 쐐기 파괴 발생 가능성 있음		

평면 및 전도파괴	쐐기파괴
	

기울기	평면파괴	전도파괴	쐐기파괴
1:0.3	불안정	안정	불안정
1:0.5	불안정	안정	불안정
1:0.7	불안정	안정	불안정
1:1.0	안정	안정	불안정
파괴 유형	•1:0.3~1:1.0 경사에 대해 쐐기 파괴 발생 가능성 있음		

평면 및 전도파괴	쐐기파괴
	

기울기	평면파괴	전도파괴	쐐기파괴
1:0.3	불안정	안정	불안정
1:0.5	불안정	안정	불안정
1:0.7	안정	안정	불안정
1:1.0	안정	안정	안정
파괴 유형	•1:0.3~1:0.5 경사에 대해 평면 파괴 발생 가능성 있음 •1:0.3~1:0.75 경사에 대해 쐐기 파괴 발생 가능성 있음		

○ 터널구간 암반비탈면 안정검토 결과 ○ : 안정, × : 불안정

구 분	비탈면 검토 위치		평사투영해석			한계평형해석				비고
			평면	전도	쐐기	평면		쐐기		
						건기	우기	건기	우기	
강매 터널	시점	서울방향 배면 비탈면 (STA. 1+330)	○	×	○	-	-	-	-	전도파괴 가능성
		서울방향 좌측 비탈면 (STA. 1+330)	○	○	×	-	-	4.45	2.11	-
		문산방향 우측 비탈면 (STA. 1+330)	○	○	×	-	-	2.84	2.38	-
	종점	서울방향 배면 비탈면 (STA. 1+700)	×	○	×	1.92	1.66	3.89	3.27	
		서울방향 좌측 비탈면 (STA. 1+700)	×	○	×	2.01	1.43	4.25	3.65	-
		문산방향 우측 비탈면 (STA. 1+700)	×	○	×	1.93	1.63	2.98	2.51	-

검토결과

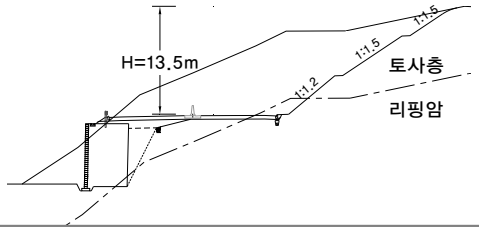
• 평사투영해석시 평면 및 쐐기파괴 가능성이 있는 비탈면에 대하여 한계평형해석을 수행한 결과, 평면 및 쐐기파괴에 대하여 안정한 것으로 판단됨

2.3.3 토사 비탈면 안정성 검토

○ 깎기 비탈면 검토 현황

구 분			측점 (STA.)	비탈면 유형		최대높이 (m)	검토단면 (STA.)	비고
1 공 구	지선	깎기 1구간	0+380 ~ 0+420	토사	우측	13.5	0+380	
		깎기 2구간	0+720 ~ 0+800	토사	우측	12.5	0+760	
	도내JCT	Ramp-B-1	0+000 ~ 0+240	토사	우측	21.1	0+194	본선 깎기 1구간 포함
		Ramp-B-2	0+300 ~ 0+560	토사	우측	26.8	0+340	
		Ramp-B-3	0+580 ~ 0+700	토사	우측	13.9	0+620	
	행신IC	Ramp-E	0+080 ~ 0+231	토사	우측/좌측	22.1	0+140	
	본선	깎기 2구간	6+340 ~ 7+040	토사	좌측	20.8	6+480	
					우측	23.0	6+980	

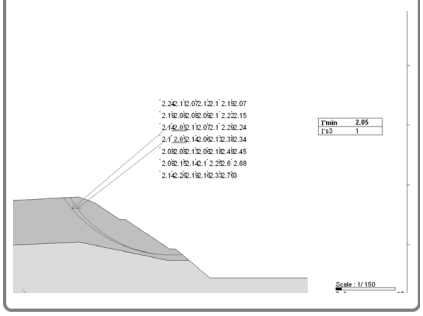
1공구 지선 깎기 1구간 STA. 0+380 우측 비탈면

검 토 단 면


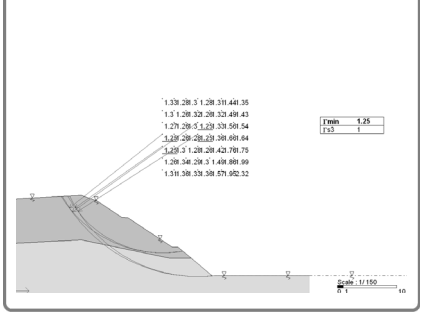
깎기고(m)	토사(m)	리핑암(m)	발파암(m)
13.5	11.3	2.2	-

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	2.05	O.K
우기시	1.20	1.25	O.K
지진시	1.10	1.28	O.K

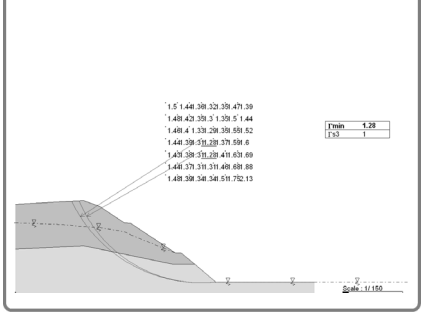
건기시



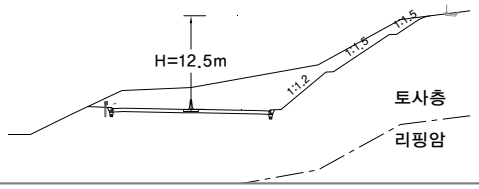
우기시



지진시



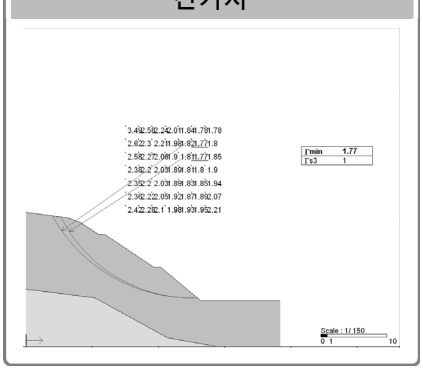
1공구 지선 깎기 2구간 STA. 0+760 우측 비탈면

검 토 단 면


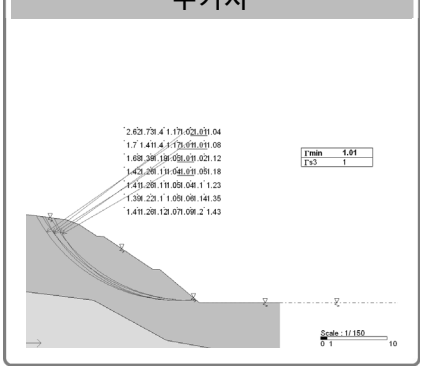
깎기고(m)	토사(m)	리핑암(m)	발파암(m)
12.5	12.5	-	-

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	1.77	O.K
우기시	1.20	1.01	N.G
지진시	1.10	1.08	N.G

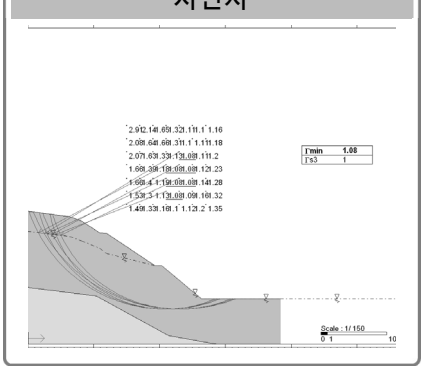
건기시



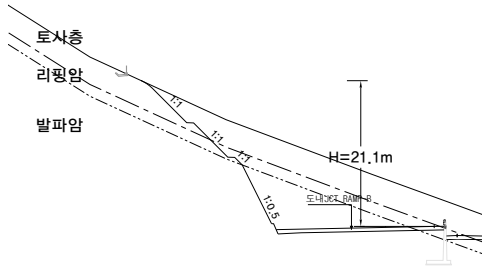
우기시



지진시

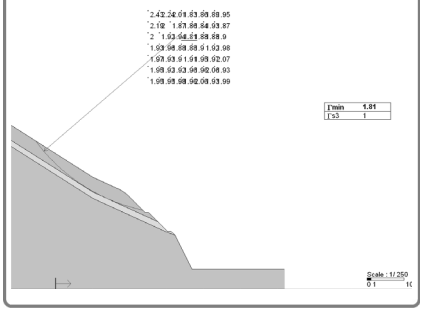
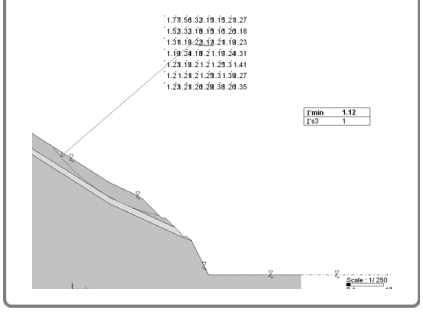
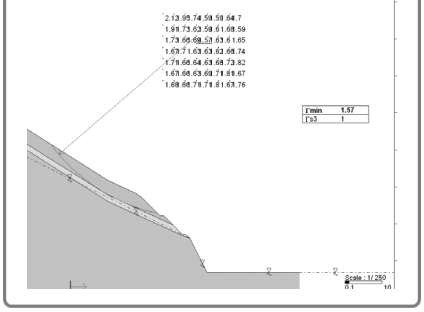


1공구 도내JCT Ramp-B-1 STA. 0+194 우측 비탈면

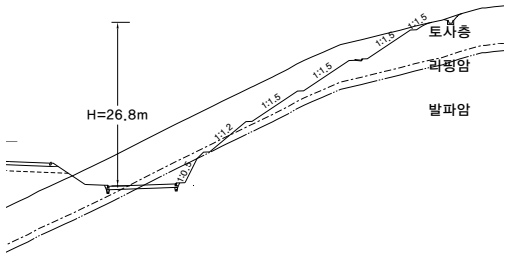
검 토 단 면


깎기고(m)	토사(m)	리핑암(m)	발파암(m)
21.1	8.6	3.6	9.9

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	1.81	O.K
우기시	1.20	1.12	N.G
지진시	1.10	1.57	N.G

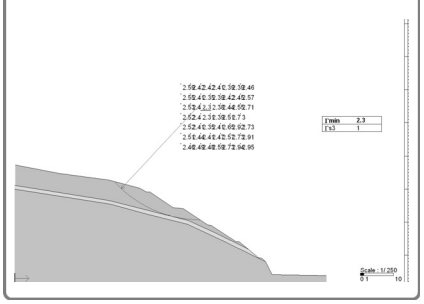
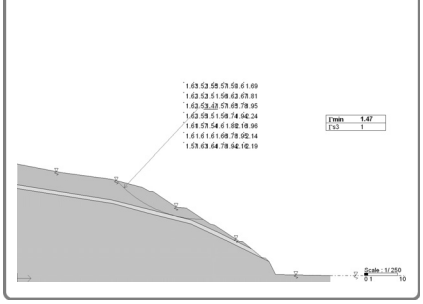
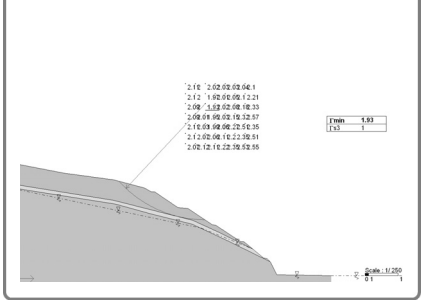
건기시	우기시	지진시
		

1공구 도내JCT Ramp-B-2 STA. 0+340 우측 비탈면

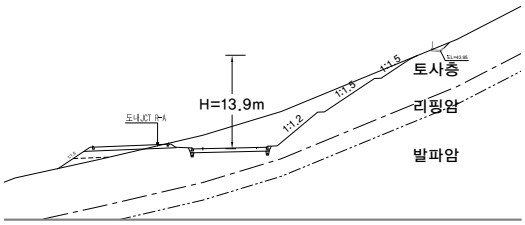
검 토 단 면


깎기고(m)	토사(m)	리핑암(m)	발파암(m)
26.8	18.5	3.8	4.5

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	2.30	O.K
우기시	1.20	1.47	O.K
지진시	1.10	1.93	O.K

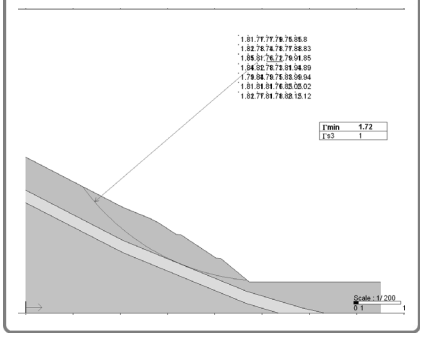
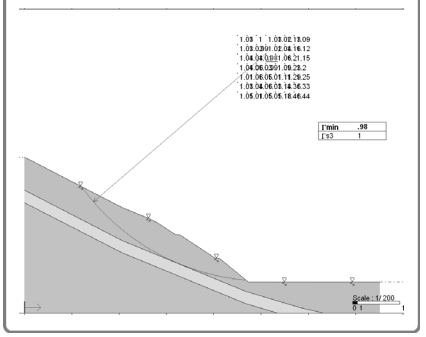
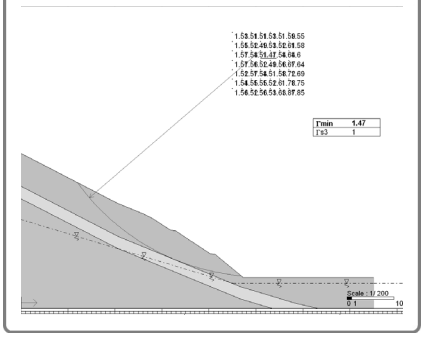
건기시	우기시	지진시
		

1공구 도내JCT RAMP-B-3 STA. 0+620 우측 비탈면

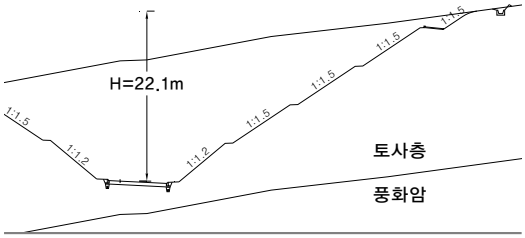
검 토 단 면


깎기고(m)	토사(m)	리핑암(m)	발파암(m)
13.9	13.9	-	-

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	1.72	O.K
우기시	1.20	0.98	N.G
지진시	1.10	1.47	O.K

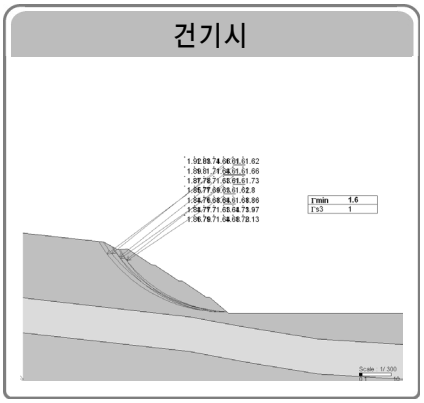
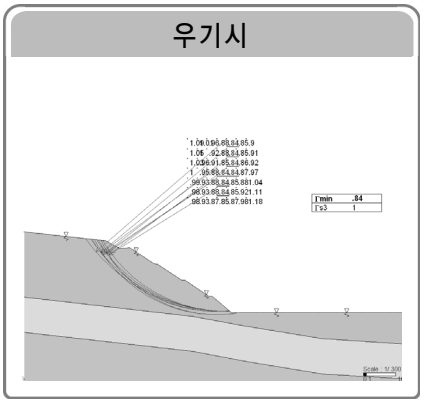
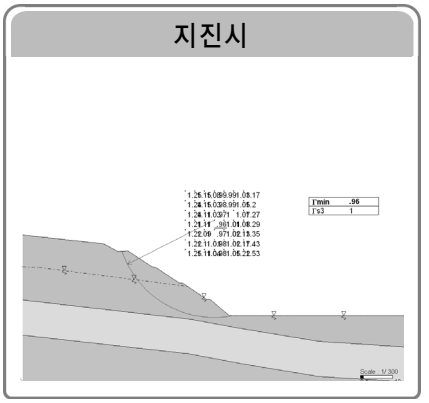
건기시	우기시	지진시
		

1공구 행신IC Ramp-E STA. 0+140 우측 비탈면

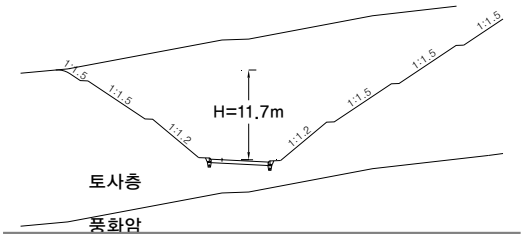
검 토 단 면


깎기고(m)	토사(m)	리핑암(m)	발파암(m)
22.1	22.1	-	-

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	1.60	O.K
우기시	1.20	0.84	N.G
지진시	1.10	0.96	N.G

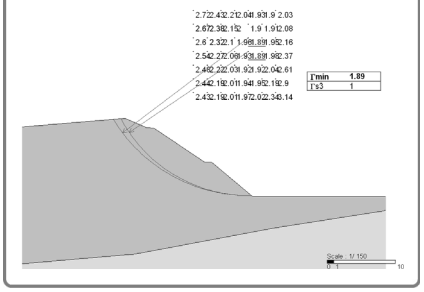
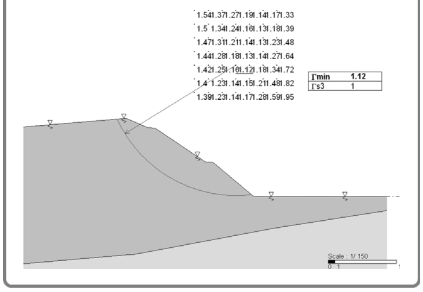
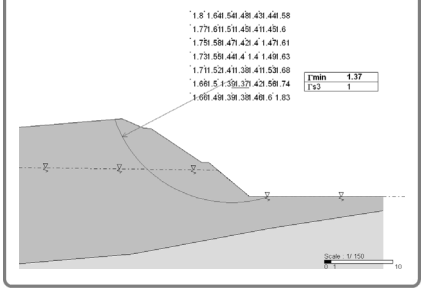
건기시	우기시	지진시
		

1공구 행신IC Ramp-E STA. 0+140 좌측 비탈면

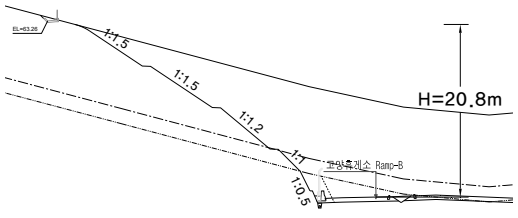
검 토 단 면


깎기고(m)	토사(m)	리핑암(m)	발파암(m)
11.7	11.7	-	-

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	1.89	O.K
우기시	1.20	1.12	N.G
지진시	1.10	1.37	O.K

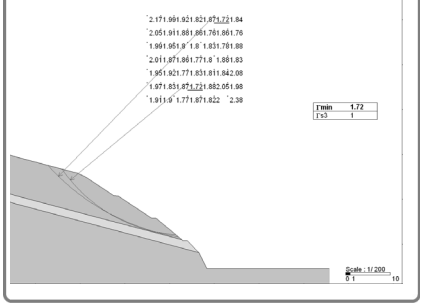
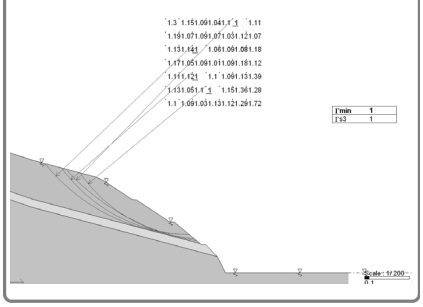
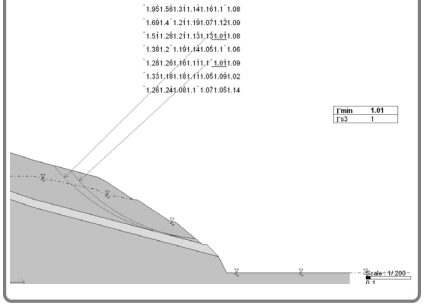
건기시	우기시	지진시
		

1공구 깎기 2구간 STA. 6+480 좌측 비탈면

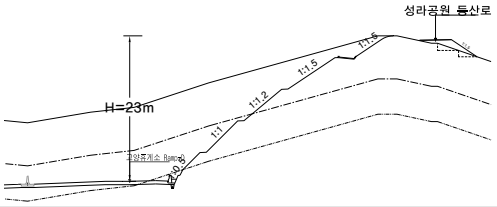
검 토 단 면


깎기고(m)	토사(m)	리핑암(m)	발파암(m)
20.8	14.9	2.8	3.1

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	1.72	O.K
우기시	1.20	1.00	N.G
지진시	1.10	1.01	N.G

건기시	우기시	지진시
		

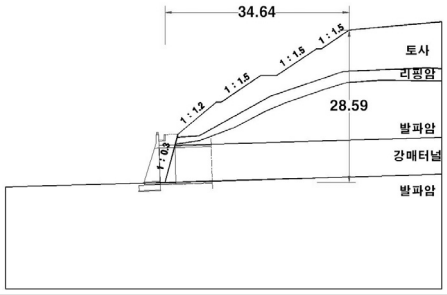
1공구 깎기 2구간 STA. 6+980 우측 비탈면

검 토 단 면	깎기고(m)	토사(m)	리핑암(m)	발파암(m)
	23.0	12.4	8.8	1.8

성라공원 등산로
H=23m
1:1.5
1:1.2
1:1
1:1.5
1:1.2
1:1
1:1.5
1:1.2
1:1

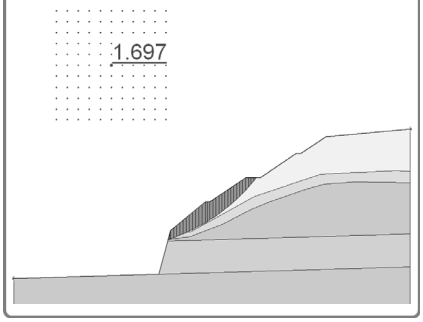
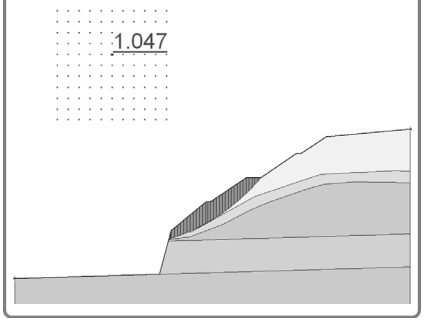
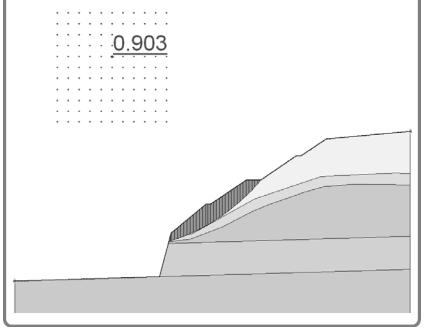
2.3.4 터널 갱구부 토사 비탈면 안정성 검토

○ 강매터널 시점부 서울방향 배면구간 STA. 1+330

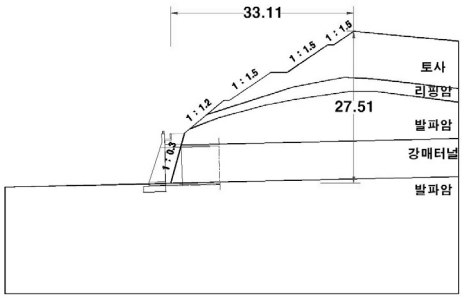
검 토 단 면


깎기고(m)	토사(m)	리핑암(m)	발파암(m)
28.5	14.0	5.0	0.0

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	1.69	O.K
우기시	1.20	1.04	N.G
지진시	1.10	0.90	N.G

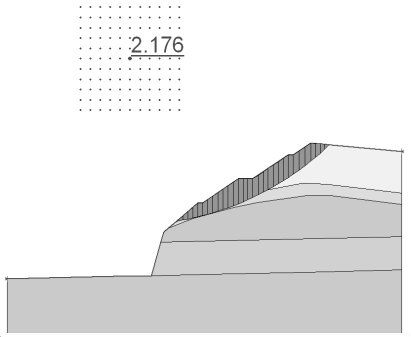
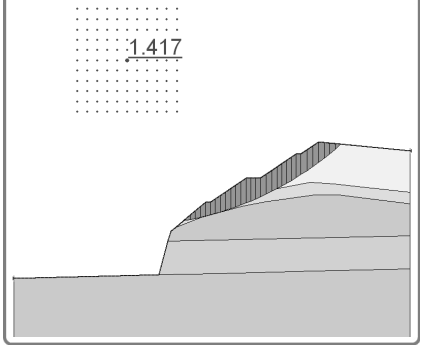
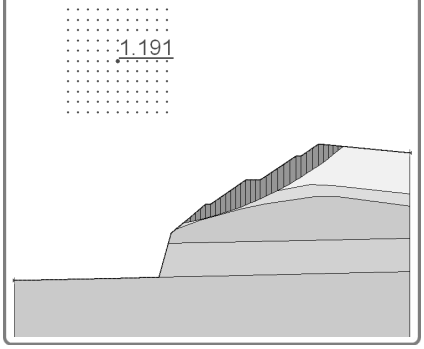
건기시	우기시	지진시
		

○ 강매터널 시점부 문산방향 배면구간 STA. 1+330

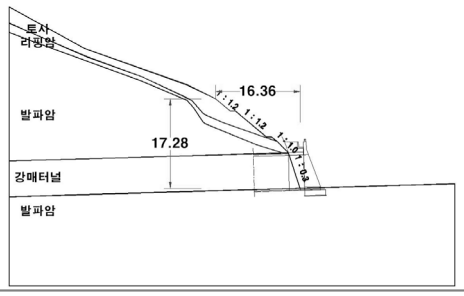
검 토 단 면


깎기고(m)	토사(m)	리핑암(m)	발파암(m)
27.5	14.0	5.0	0.0

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	2.17	O.K
우기시	1.20	1.41	O.K
지진시	1.10	1.91	O.K

건기시	우기시	지진시
		

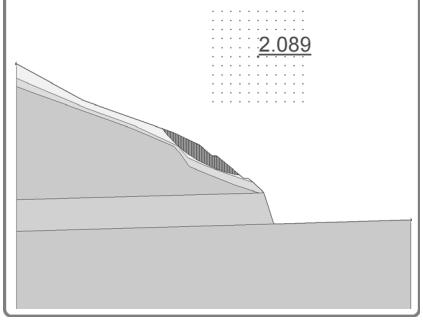
◎ 강매터널 종점부 서울방향 배면구간 STA. 1+700

검 토 단 면


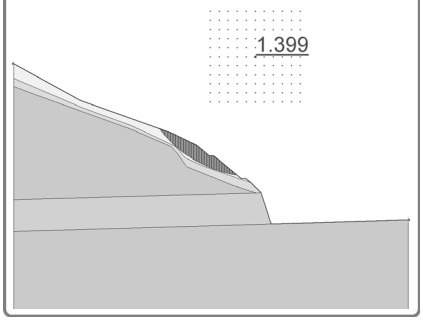
깎기고(m)	토사(m)	리핑암(m)	발파암(m)
17.2	4.5	1.5	0.0

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	2.08	O.K
우기시	1.20	1.39	O.K
지진시	1.10	1.20	O.K

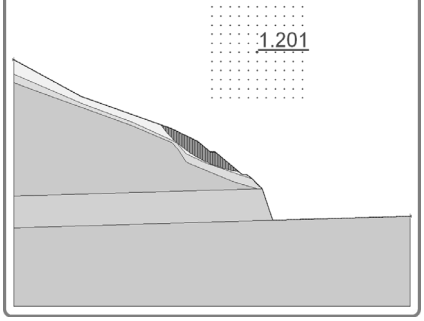
건기시



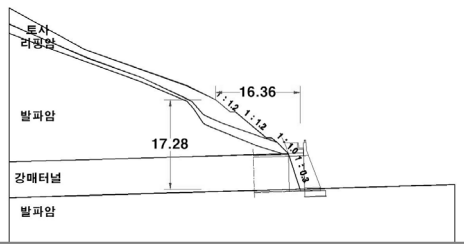
우기시



지진시



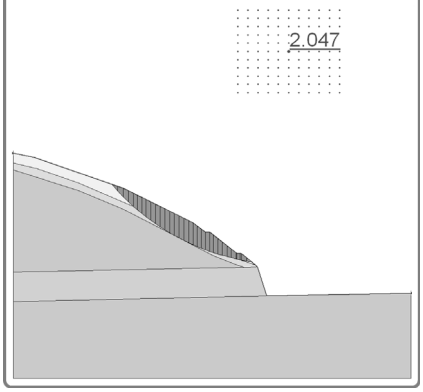
◎ 강매터널 종점부 문산방향 배면구간 STA. 1+710

검 토 단 면


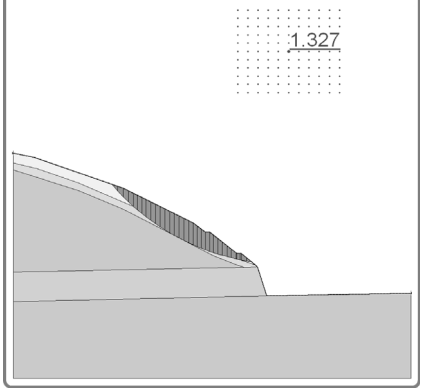
깎기고(m)	토사(m)	리핑암(m)	발파암(m)
17.2	4.5	1.5	0.0

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	2.04	O.K
우기시	1.20	1.32	O.K
지진시	1.10	1.12	O.K

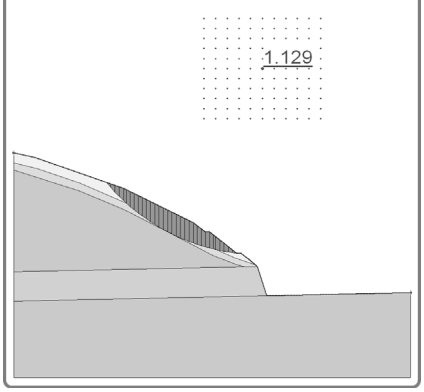
건기시



우기시



지진시



○ 갱구부 깎기 비탈면 검토 결과

구분	비탈면 검토 위치		비탈면 높이(m)	검토결과			비 고
				건기시	우기시	지진시	
강매 터널	시점부	서울방향 갱구부 배면 (STA. 1+330)	28.59	1.69 > 1.50	1.04 < 1.20	0.90 < 1.20	N.G
		문산방향 갱구부 배면 (STA. 1+330)	27.51	2.17 > 1.50	1.41 < 1.20	1.91 > 1.20	O.K
	종점부	서울방향 갱구부 배면 (STA. 1+700)	17.28	2.08 > 1.50	1.39 > 1.20	1.20 > 1.20	O.K
		문산방향 갱구부 배면 (STA. 1+710)	17.21	2.04 > 1.50	1.32 > 1.20	1.12 > 1.20	O.K

검토결과	• 깎기비탈면에 대하여 한계평형해석을 수행한 결과, 일부 구간에서 우기시 및 지진시 불안정한 것으로 나타나, 해당비탈면에 대하여 안정성 확보방안을 계획

2.4 비탈면 안정화 대책 검토

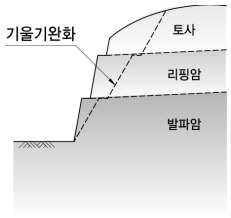
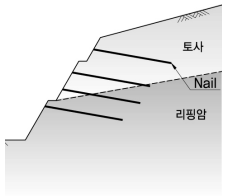
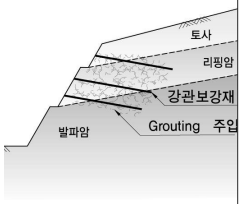
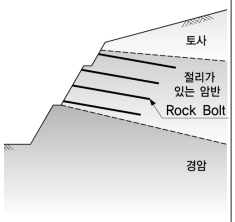
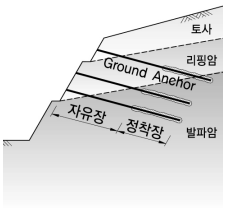
기본방향	•비탈면 불안정이 예상되는 구간에 대해 보강재의 저항력을 통한 안정성 확보 •절취량 최소화를 위해 구배 변경시 안정성 확보 •다양한 비탈면 보강공법을 검토하여 현장 여건에 가장 적합한 공법 선정

2.4.1 비탈면 보강공법 검토

○ 비탈면 보강공법의 종류

공법종류		공 법 개 요	적 용 성
저항력증가	억지말뚝	•활동토괴를 관통하여 말뚝을 지지층까지 일렬로 설치 ➡ 비탈면의 활동하중을 말뚝의 수평하중으로 기반암에 전달 •말뚝과 주변지반 사이의 상호작용에 의해서 지지력이 결정되며 여타 억지공법과 같이 이용	•강관말뚝의 사용으로 공사비가 비싸며, 여타 보강공법과 병행시 추가적 공사비 소요 •공사비 측면상 매우 불리
	앵커공법	•고강도 강재를 앵커재로 하여 보링공내에 삽입, 그라우트를 주입 ➡ 앵커재를 지반에 정착시켜 앵커재 두부의 하중을 정착지반에 전달	•일반적으로 사용되는 공법으로서 적용효과가 양호하며 국내 시공실적도 많으므로 적용가능
	Soil Nailing	•인장응력, 전단응력 및 휨모멘트에 저항할 수 있는 보강재를 지반내에 조밀한 간격으로 삽입 ➡ 원지반의 전체적 전단력, 활동력을 증가	•비탈면의 얕은파괴 우려시 적용 •공사비가 저렴, 시공성도 좋음
	FRP 보강공	•원지반 천공후 FRP 보강재 내에 패커를 설치하여 압력에 의하여 시멘트 밀크를 주입 ➡ 주입재에 의한 지반 고결 ➡ 원지반의 전단강도 증대 및 Nailing 효과를 함께 얻음	•풍화암 비탈면에도 적용이 가능 •확실한 보강효과 •공사비 측면에서 매우 유리함
	옹벽공	•비탈면의 선단부에 옹벽을 설치하여 안전율증가 •옹벽자체만으로도 안정성 확보가 어려운 경우 앵커나 수동말뚝과 같은 여타 보강공법과 병행	•고가의 공사비 및 시공상 어려움이 있어 적용 곤란
	Rock Bolt	•록볼트 설치, 그라우팅 실시 ➡ 지반변위억제 •소규모 암체의 전도파괴, Sliding에 효과적	•공사비 다소 고가, 녹화공법적용 불리 •전도 및 암반거동 발생방지 효과
	Tension Net	•표면에 고장력 와이어네트를 정착, 록볼트 병행 •볼트, 너트 응력분산 ➡ 낙석방지 및 암반보강	•표층부 보강효과는 뛰어나지만, 심부활동에는 미비 •암반 표층부 낙석예상구간에 효과적
활동력증가	압성토공	•비탈면의 선단부에 토사 쌓기 •연약지반상 쌓기시에 적용, 산지에 위치한 비탈면의 경우 접근성이나 현장용지 문제에 있어 시공성 불리	•연약지반상에서 쌓기시 적용성이 양호, 산지에서는 시공성 열악함 •안정성 확보효과가 불확실
	기울기완화	•비탈면기울기를 완만히 조정 ➡ 토괴의 자중 감소 •굴착량 과다 증대 우려 •현장 지형에 따라서 무한비탈면 발생 가능성	•적용효과가 확실, 일반적으로 도로깎기비탈면에서 흔히 적용 •깎기량 과다발생 ➡ 자연훼손
	깎기공	•활동토괴 중 일부를 제거하여 활동력 저감 •대규모 비탈면의 경우 굴착량이 과대, 경제성, 시공성 불리 ➡ 중소규모의 비탈면에 적용	•적용효과가 불확실하여 자연경관 훼손이 심각

◎ 비탈면 보강공법 비교

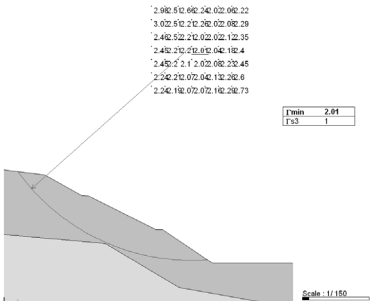
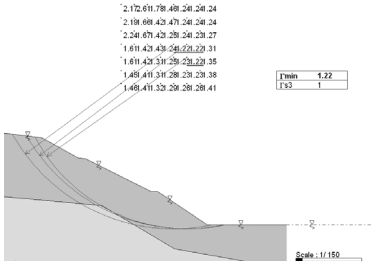
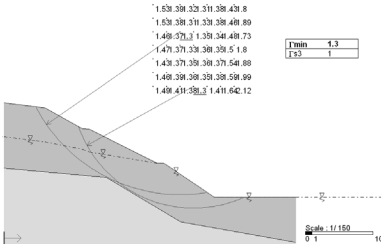
구분	비탈면 보강 공법				
	비탈면 경사완화	Soil Nailng	강관 보강형 그라우팅	록볼트	그라운드 앵커
개요도					
적용지반	•토사~발파암	•토사~풍화암 (심한 발파암)	•토사~발파암(연암)	•발파암 (연암, 경암)	•토사~발파암
장점	•시공후 관리 및하자보수가 용이함 •경사 조정에 의한 시각적 불안감 해소	•비탈면에 보강재를 프리스트레싱 없이 촘촘한 간격으로 원지반에 삽입하여 원지반 자체의 전단강도를 증대	•영구보강재인 고강도 강관과 암반과의 봉합 역할로 반영구적 •차수효과 및 보강효과 우수 •보강간격 확장으로 인한 경제성 향상	•원지반자체를 이용하여 암반에 부착하여 일체 구조화 •무소음이며, 진동이 적다 •시공성 및 경제성 유리	•부재의 전단강도나 원지반과의 인발저항에 의한 원지반 보강 •연쇄 반응적인 토층부의 붕괴방지 가능
단점	•추가용지 확보에 따른 공기 및 비용 문제 발생 •절취면적 증가로 비탈면고 증가 •추가 절토 및 사토 발생	•Nail 부식방지 대책 필요 •추가 표면처리공 필요	•공정 복잡하고 시공 및 품질관리 난해 •투수성 큰 지반에서는 그라우팅량 많고 별도의 배수공(수발공) 설치 필요	•부식염려 •동결방지를 위한 처리 필요 •별도의 수발공 설치 필요	•시간적 인장력 감소 가능성 •복잡한 공정과 공기 소요 •지압효과를 위한 전면판 요구
경제성	•공사비가 저렴함	•타공법에 비해 경제적	•공사비 고가	•타공법에 비해 경제적	•록볼트에 비해 다소 고가임
선정	◉	◉		◉	

검토결과	•불안정 비탈면에 대한 대책공법으로 경사완화와 각 보강공법별 비교 · 검토 후 선정 •토사불안정 비탈면에 대한 대책공법으로 경사완화, Soil Nailing 공법 선정, 암반불안정 비탈면에 대한 대책공법으로 Rock Bolt 공법을 선정

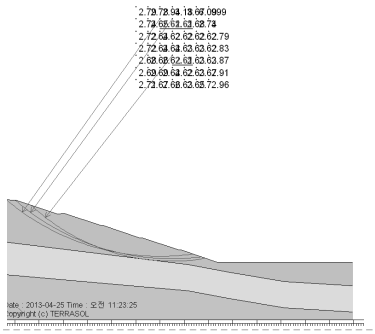
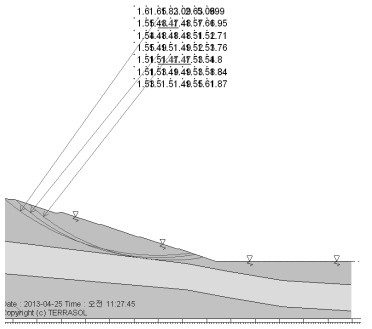
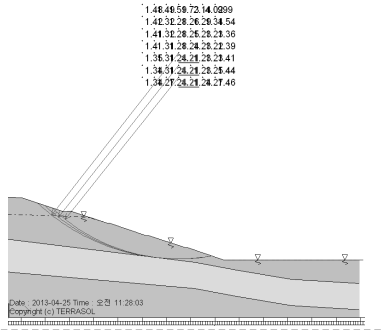
2.4.2 비탈면 대책방안 안정성 검토

○ 비탈면 경사완화 구간 검토

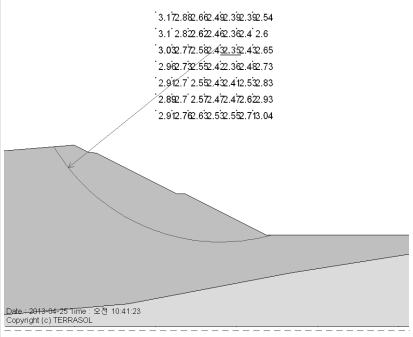
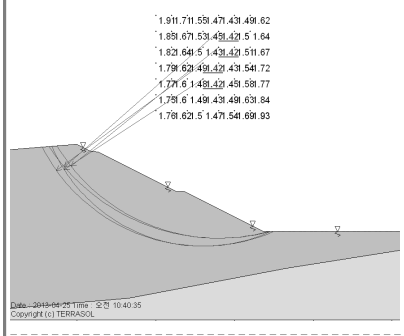
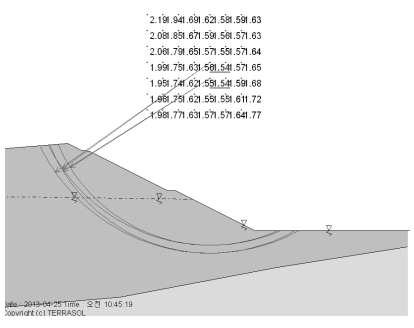
■ 1공구 지선 깎기 2구간 STA. 0+760 우측 비탈면(지선) 경사완화 토사 1:1.5~2.0

건기시	우기시	지진시
		
Fs=2.01 1.50 ∴O.K	Fs=1.22 1.20 ∴O.K	Fs=1.30 1.10 ∴O.K

■ 1공구 행신 IC Ramp-E STA. 0+140 우측 비탈면 경사완화 토사 1:3.0

건기시	우기시	지진시
		
Fs=2.61 1.50 ∴O.K	Fs=1.47 1.20 ∴O.K	Fs=1.21 1.10 ∴O.K

■ 1공구 행신 IC Ramp-E STA. 0+140 좌측 비탈면 경사완화 토사 1:2.0

건기시	우기시	지진시
		
Fs=2.35 1.50 ∴O.K	Fs=1.42 1.20 ∴O.K	Fs= 1.54 1.10 ∴O.K

비탈면 경사 완화구간 검토결과

구 분			보강 구간	검토단면	기울기 완화 후 안전률			적용 기울기	
					건기시	우기시	지진시	토사	풍화암
1공구	지선		0+720 ~ 0+800	우측 0+760	2.01	1.22	1.30	1:1.5~2.0	-
	행신 IC	RAMP-E	0+080~0+231	우측 0+140	2.61	1.47	1.21	1:3.0	
				좌측 0+140	2.35	1.42	1.54	1:2.0	

검토결과	•지선 및 행신IC구간에 대하여 비탈면 경사완화 적용시 안정성을 확보하는 것으로 판단됨

비탈면 깎기부 옹벽구간

구 분		측점 (STA.)			연장(m)
1공구	지선(우)	1+023.49	~	1+099.15	69.00
	본선(우)	1+823.76	~	1+873.23	48.75

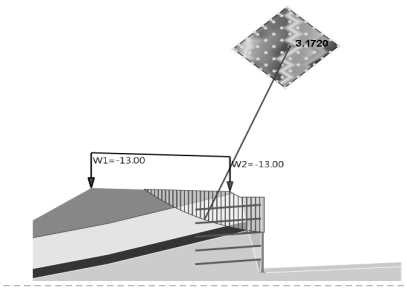
깎기부 옹벽 제원

구 분	크기	설치간격	비고
전면판	1,500 X 1,500 X 250(mm)	-	
Soil Nailing	D25, 29mm(SD 400)	1.5 X 1.5(m)	L=6m

깎기부 옹벽적용 대표 구간 1공구 본선 STA.1+830

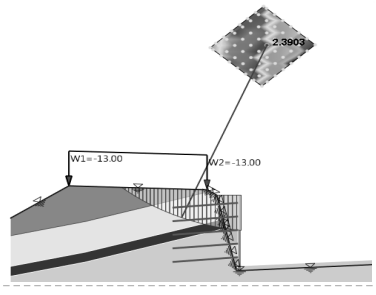
구 분		측점 (STA.)	검토단면		안전률			비고
					건기시	우기시	지진시	
1공구	본선	1+823 ~ 1+873	1+830	우측	3.17	2.39	2.15	

건기시



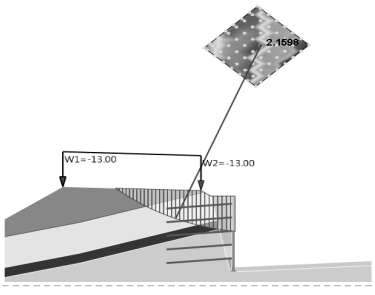
Fs=3.17 1.50 ∴O.K

우기시



Fs=2.39 1.20 ∴O.K

지진시

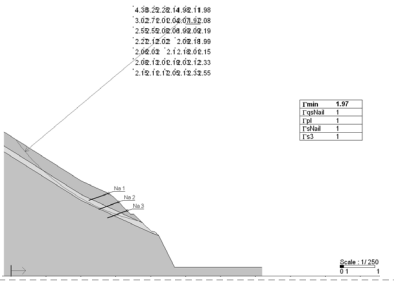
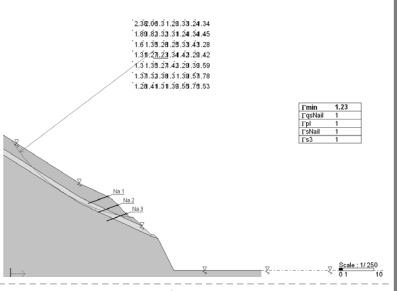
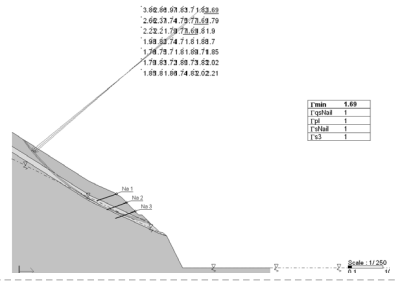


Fs=2.15 1.10 ∴O.K

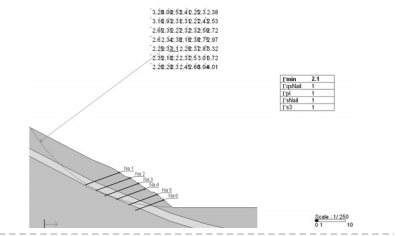
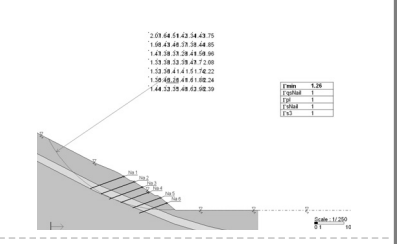
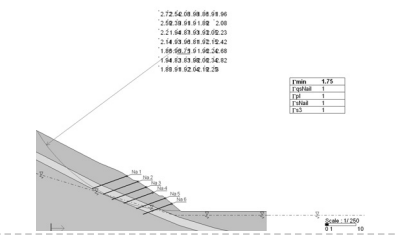
검토결과	•깎기구간은 인접구조물의 침범방지 및 깎기면적 최소화를 위하여 하부 옹벽형식 보강공법 선정결과 보강높이 변화에 탁월한 적용성을 가진 깎기부 옹벽 적용

◯ 비탈면 네일링 보강구간

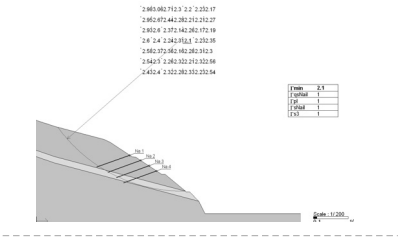
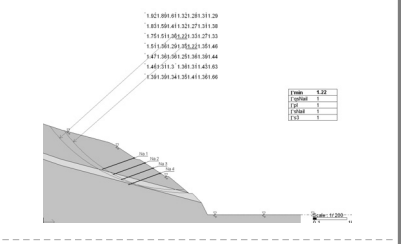
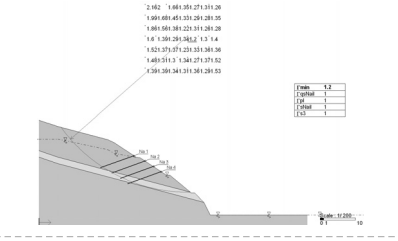
■ 1공구 도내JCT RAMP-B-1 STA. 0+194 C.T.C 2.5m×2.5m, L=6m

건기시	우기시	지진시
		
Fs=1.97 〉 1.50 ∴O.K	Fs=1.23 〉 1.20 ∴O.K	Fs=1.69 〉 1.10 ∴O.K

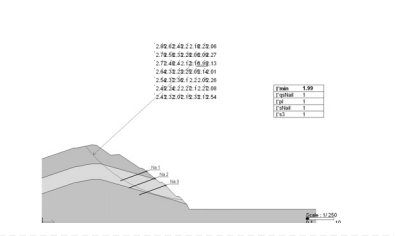
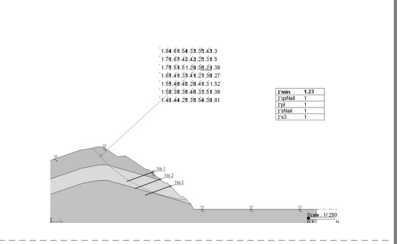
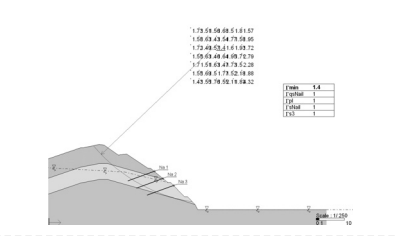
■ 1공구 도내JCT RAMP-B-3 STA. 0+620 C.T.C 1.8m×1.8m, L=10~12m

건기시	우기시	지진시
		
Fs=2.10 〉 1.50 ∴O.K	Fs=1.26 〉 1.20 ∴O.K	Fs=1.75 〉 1.10 ∴O.K

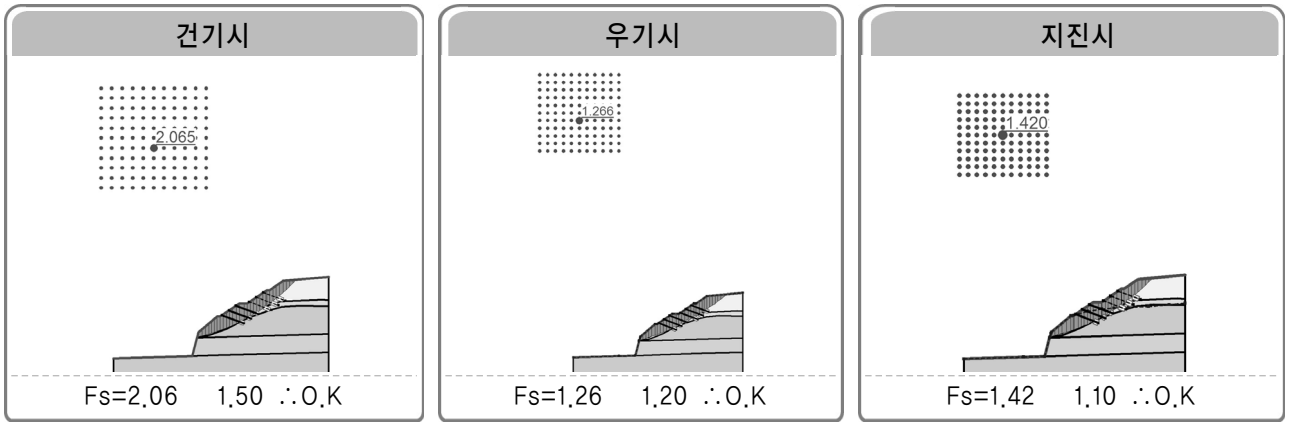
■ 1공구 깎기 2구간 본선 STA. 6+480 C.T.C 1.5m×1.5m, L=10,0m

건기시	우기시	지진시
		
Fs=2.10 〉 1.50 ∴O.K	Fs=1.22 〉 1.20 ∴O.K	Fs=1.20 〉 1.10 ∴O.K

■ 1공구 깎기 2구간 본선 STA. 6+980 C.T.C 2.5m×2.5m, L=10,0m

건기시	우기시	지진시
		
Fs=1.99 〉 1.50 ∴O.K	Fs=1.23 〉 1.20 ∴O.K	Fs=1.40 〉 1.10 ∴O.K

■ 강매터널 시점부 서울방향 STA. 1+330 C.T.C 1.8m×1.8m, L=9,0m



◎ 비탈면 네일링 보강구간 검토결과

구 분		보강구간	검토단면 (STA.)	안전율			대책공법
				건기시	우기시	지진시	
1공구	도내 JCT R-B	0+160~0+250	우측0+194	1.97	1.23	1.69	C.T.C 2.5×2.5 L=6.0m
		0+590~0+640	우측0+620	2.10	1.26	1.75	C.T.C 1.8×1.8 L=10.0~12.0m
	깎기 2구간	6+450~6+490	좌측6+480	2.10	1.22	1.20	C.T.C 1.5×1.5 L=10.0m
		6+950~7+000	우측6+980	1.99	1.23	1.40	C.T.C 2.5×2.5 L=10.0m
강매 터널	시점부	서울방향 갱구부 배면	배면1+330	2.06	1.26	1.42	C.T.C 1.8×1.8 L=9.0m

검토결과	•도내JCT Ramp-B, 본선깎기 2구간, 강매터널 시점부에 대하여 네일링 적용시 안정성을 확보하는 것으로 판단됨

2.5 낙석에 대한 안정성 검토

기본방향	•사업구간의 암반 비탈면 중 낙석 및 낙반이 예상되는 구간에 대해 RocFall Program(v3.0)을 이용한 상세 검토를 시행함으로써 현장에서 발생 가능한 낙석에너지 산정 •또한, 낙석 에너지와 낙석방지울타리의 흡수가능 에너지를 검토하여 낙석방지울타리의 단면을 검토하고 현장시험결과를 고려하여 깎기구간에 적합한 낙석방지울타리를 결정

2.5.1 암반비탈면 안정화 및 낙석방지 공법

안정화 대 책	암반보강	•록볼팅 및 록앵커 공법 •도웰(dowel)공법 •띠형 옹벽(Tied-Back wall)공법	•숏크리트 공법 •배수공법(Drainage) •부벽(buttress)공법
	암석 제거	•구배완화(resloping) •사면정리(Scaling)	•부석제거(Trimming)
낙석방지		•낙석방지측구(Ditch) •낙석방지망(Mesh) •낙석방지책(Catch-fence)	•낙석경보책(Warning Fence) •락세드(Rock shed) •터널화

2.5.2 낙석방지공 설계기준

○ 낙석방지 울타리

허용 낙석중량	•250kg	**허용 낙하고**	•경암 12.5m, 연암 16.1m
설계 대상	•발파암 및 풍화암의 혼합절취고가 6.0m 이상인 구간 또는 낙석이 우려되는 구간		

높 이	지주간격	지주규격	와이어로프	철망 규격
2.853m	2.0m	H-150×75×5×7	ø18(7×3ea)	ø4.0×58×58

○ 낙석방지망

허용 낙석중량	•1,500kgf/40m^2
설계대상	•발파암 및 풍화암의 혼합절취고가 11.0m 이상 구간

케이블 규격	철 망		앵 커 볼 트 (mm)
	규격(심선)	망 눈	
ø16(6×24)	ø4.0(ø3.2)	58×58	ø16×500

○ 현행 문제점

•획일적인 기준에 의한 단일형식을 설치함에 따라 현장여건과 다소 부조화
•도로안전시설 설치 및 관리지침 제정에 따른 설치기준 정비 필요
•구체적인 설치기준이 미흡하여 성능저하 초래

○ 낙석방지 울타리 개선방안 검토

•국내 고속도로 낙석사례 조사결과 낙하고 약 20m이하, 낙석의 중량은 약 800kg 이하가 주로 발생

■ 국내외 사례(설치기준)

구 분	낙석중량	높 이	참 고 문 헌
일 반	500kg	20m	•낙석대책 매뉴얼(일본)
미 국	500kg	15~25m	•낙석에 대한 안전대책(도로연구소)
국 내	400kg	25m	•도로안전시설 설치 및 관리지침('00.11)
사업 적용	•낙석 방지 울타리 설계를 위한 허용 낙석중량을 500kg으로 설정		

2.5.3 낙석 거동해석

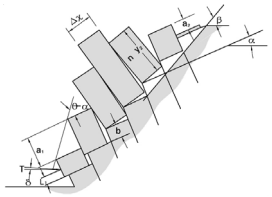
•낙석 발생시 낙석의 운동은 자유낙하(Free Falling), 반발(Bounding), 회전(Rolling), 미끄러짐(Sliding)등의 운동이 조합되어 거동
•낙석의 거동을 예측하는 방법은 암반을 블록으로 가정하여 블록의 동적평형조건을 이용하여 해석하는 정밀법과 낙석을 단일 블록의 무게와 속도를 지닌 점으로 가정하여 해석하는 간편법이 있음

○ 낙석 거동해석방법

구 분	등가마찰계수를 이용한 간편법	엄 밀 법 (RocFall Program)
산 정 방 법	• $E_{total} = \frac{1}{2} m v^2 + \frac{1}{2} I\omega = m \cdot g \cdot H$ • $E_i = (1+\beta)(1-\frac{\mu}{\tan\theta}) \cdot W \cdot H$	• $E_i = \frac{1}{2} \cdot m \cdot vi^2 - E_{friction}$ • $v_i = \sqrt{(v_{ni}^2 + v_{ti}^2)}$
	β : 회전에너지에 따른 계수 μ : 낙석의 등가마찰계수 θ : 비탈면 기울기 I: 관성모멘트 ω : 각속도	v_{ni} : 연직반발계수(Rn) v_{ti} : 수평반발계수(Rt) $E_{friction}$: 낙석의 마찰에너지
특 징	•암반상태에 따른 낙석 에너지의 감소를 고려할 수 없으므로 낙석 에너지가 과다 산정됨	•낙석의 회전에너지를 고려할 수 없으나 낙석규모와 반발에 의한 에너지의 감소를 고려
설 계 적 용	•간편법은 낙석 에너지가 과대평가될 수 있으므로 낙석규모와 반발에 의한 에너지의 감소를 고려할 수 있는 엄밀법(RocFall Program)을 적용	

○ 낙석의 초기속도 결정

• $v = \sqrt{2 \cdot g (\sin\alpha - \tan\theta \cdot \cos\alpha) \cdot l}$
(g : 중력가속도 θ : 미끄러짐/회전에 대한 마찰각)
•초기속도는 θ가 일정할 때, α 에 따라 결정
•일반적인 초기속도 : 1.0~3.0 m/sec
(Rock Slope Stability Analysis, 1988)



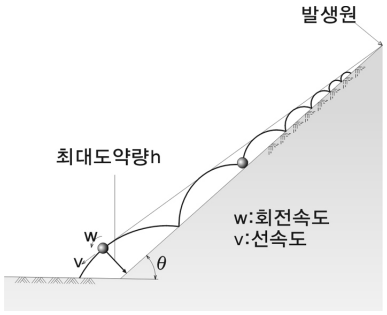
○ 낙석 반발 높이 및 에너지

■ 비탈면의 특성에 따른 반발계수(Coefficients of Restitution)

노두 특성	수직방향 반발계수(Rn)	접선방향 반발계수(Rt)	비 고
Bedrock	0.50	0.95	(Barbieri et al., 1988)
Bedrock covered by Large Blocks	0.35	0.85	
Debris Formed by Uniform Distributed Elements	0.30	0.70	
Soil Covered by Vegetation	0.25	0.55	

■ 낙석의 반발 높이

- 낙석의 운동은 비탈면의 최대 기울기를 따라 등고선의 직각방향으로 낙하
- 반발높이는 비탈면의 직각방향으로부터 추정
- 대개의 경우, 낙석의 형상과 무관하게 2m 정도
- 발파에 의한 암반비탈면 시공으로 인해 생기는 심한 굴곡의 비탈면의 경우 : 4~5m까지도 도달 (도로공사설계요령, 2009)
- 비탈면 표면의 특성을 잘 고려하고, RocFall에 의한 시뮬레이션을 통해 반발 높이 산출



○ 낙석에너지 계산(일본도로협회, 2000)

- $E_i = (1+\beta)\left(1-\frac{\mu}{\tan\theta}\right)W \cdot H$

  β : 회전에너지 계수 (0.1 적용)

  μ : 낙석의 등가 마찰계수 (0.05~0.31 ➡ 0.15 적용)

  θ : 비탈면 기울기 (63°)고려

■ 비탈면의 종류와 등가마찰계수 μ 값

낙석 및 비탈면의 특성	등가마찰계수 μ
•경암, 둥근 모양의 낙석 •굴곡이 작고 나무가 없는 비탈면	0.05
•연암, 모가 나거나 둥근 모양의 낙석 •굴곡이 중~대, 나무가 없는 비탈면	0.15
•토사, 애추, 모가 나거나 둥근 모양의 낙석 •굴곡이 소~중, 나무가 없는 비탈면	0.25
•애추, 큰 자갈이 포함된 애추, 모난 모양의 낙석 •굴곡이 대~중, 나무가 있거나 없는 비탈면	0.31

■ 국내 발생 낙석에 대한 평균 값 (한국건설기술연구원)

- 전국 225개소에서 발생된 낙석에 대한 조사결과
- 평균 낙석중량은 0.4tonf •절개면 기울기도는 65° •비탈면 평균높이는 25m
- 표준낙석에 대하여 시험결과
  - 국내 낙석방지울타리의 흡수가능에너지 : 50kJ(≒ 5.0tonf)
- 설계적용 낙석방지울타리

  φ 18mm, A=1.29cm^2, Ew=2.0×106kgf/cm^{2}의 흡수가능 에너지는 3.92tonf적용

2.5.4 낙석에 대한 안정성 검토

•Monte-Carlo Simulation기법을 적용한 RocFall프로그램을 이용하여 낙석발생이 예상되는 비탈면에 대하여 검토

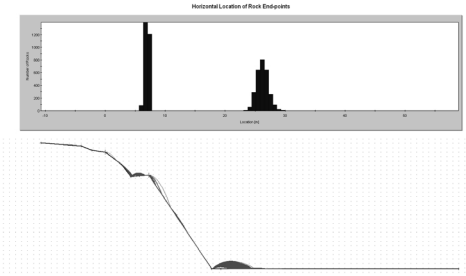
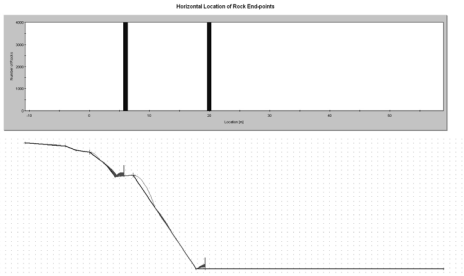
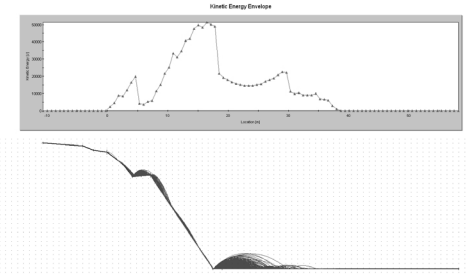
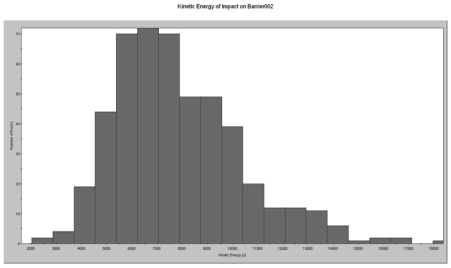
○ 검토구간 선정

•평사투영해석결과 전도파괴의 가능성이 있는 구간 및 TCR, RQD가 낮은 파쇄가 심한 구간을 선정
•Monte-Carlo Simulation기법을 적용한 RocFall 프로그램을 이용하여 깎기고 20.0m 이상 낙석발생이 예상되는 비탈면에 대해 낙석 발생시의 궤적을 추적하여 비탈면 시공 후 낙석에 대한 안정성 확보를 위한 낙석방지울타리의 설계자료로 활용
•낙석의 시작점은 암반비탈면의 최상단을 소단이 있는 대절토부의 경우 각 소단별로 낙석의 가능성을 검토

구 분		대표단면 (STA.)	초기속도 (m/s)	낙석무게 (kgf)	낙석발생높이 (m)	낙석방지울타리 이격거리 (m)	Simulation 횟 수
1공구	도내JCT R-B	0+560(우측)	3.0	500	26.5/20.0	1.5	50

○ RocFall Simulation 결과

■ 1공구 도내JCT R-B STA. 0+560 우측

구 분	낙석방지울타리 설치전	낙석방지울타리 설치후
이동거리		
충돌에너지		
결 과	•낙석방지 울타리 설치시 낙석충돌에너지가 44.0kJ로 허용 낙석 흡수에너지(50kJ)의 기준치를 만족함	

검토결과	•낙석발생 가능구간은 차로까지 침범하게 되어 교통장애를 초래할 가능성이 있음 •낙석방지울타리 설치 후 낙석궤적 추적결과 낙석에 대한 안정성을 확보함 •낙석방지울타리 미설치 시 비탈면 미관 및 풍화에 의한 낙석발생을 최소화하기 위하여 법면보호공법 적용을 검토

제 3 장 비탈면 보호공법 선정

3.1 설계개요

기본방향	•녹지자연도를 고려, 환경보전과 개발사이의 문제점 극복과 환경친화적 비탈면 보호계획 수립 •비탈면은 우수에 의한 침식 및 세굴로 인하여 비탈면 안정성이 저하되므로 보호공 필요 •지역적인 특성을 감안하여 주변 경관과의 조화를 주목표로 하여 경제성, 시공성, 환경친화성 고려

3.1.1 비탈면 보호공법 검토

○ 비탈면 보호공법의 종류

■ 구조물에 의한 보호공법

구 분		주 요 특 징
붙임쌓기공법	돌붙임공 블록붙임공	•비탈면의 풍화 침식 방지 •경사 1:1보다 완만한 점착력이 없는 토사 및 붕괴되기 쉬운 비탈면에 사용 •하천, 호수 또는 용수발생구간의 비탈면에 돌붙임, 블록 붙임공을 적용시에는 비탈면 토립자 유출방지를 위해 배면에 부직포 설치를 검토
	콘크리트 붙임공	•절리가 많은 암석, 낭떠러지 등의 붕락의 염려가 있는 경우에 사용 •철근콘크리트붙임공은 1:0.5, 무근콘크리트붙임공은 1:1정도의 경사에 사용 •용수가 예상되는 경우 배수구, 배수공 등을 설치하고 암반에 잘 물리도록 우수의 침입 방지
	돌 및 블록 쌓기공	•경사가 1:1 보다 급경사인 경우에 사용 •토질이 단단하여 토압이 작은 경우에 사용 •비탈면 배면의 수압 발생 방지를 위해 물구멍에 의한 배수처리
콘크리트격자공법	콘크리트 블록격자공	•용수가 있는 깎기비탈면, 장대비탈면, 표준경사보다 급한 쌓기 비탈면에서 식생이 부적합한 곳에 사용 •경사 1:0.8 보다 완만한 비탈면에 사용 •격자는 일반적으로 프리캐스트 제품으로 격자내에 객토나 식생 혹은 블록이나 옥석을 깔아 침식 방지
	현장타설 콘크리트 격자공	•용수가 있는 풍화암, 장대비탈면 등에서 비탈면의 장기적 안정이 염려되는 곳, 콘크리트 블록 격자공으로는 붕락의 염려가 있는 곳에 사용 •격자는 철근콘크리트의 현장 타설로써 용수처리를 충분히 실시하고 상황에 따라 블록깔기, 돌붙임, 식생 등으로 보호
모르타르 및 콘크리트 뿜어 붙이기 공법		•비탈면에 용수가 없고 당장 붕락의 위험은 없으나 풍화되기 쉬운 암석, 암석이나 호박돌 섞인 토사 등으로 식생이 부적합한 곳에 사용 •넓은 면적에 효과가 좋으며 경사가 심한 곳, 바위가 돌출한 비탈면에서 시공 가능 •지반은 연암이상으로 비탈면 자체가 안정되어 있는 곳에 사용 •뿜어붙이기 두께의 표준(모르타르 : 5~10cm, 콘크리트 : 10~20cm)

▪ 배수공에 의한 보호공법

구 분	개 요	주 요 특 징
지 하 배수구	•지표면에 가까운 침투수를 모아 배수	•용수상황에 따라 화살형이나 W형으로 배치하고 비탈면 파괴방지를 위해 Filter Mat 와 비탈격자공을 겸용
비탈면 망태공	•용수가 많은 비탈면에서는 지하배수구와 겸용하고 비탈 끝에 설치	•망태공은 지름, 길이, 간격 등이 어느 정도 자유스러워 원형, 부채형, Bedding등 여러 형태가 있음
수평 배수공	•횡방향으로 유공관 등을 삽입하여 배수	•규모가 큰 지반 활동지대에서는 배수터널이나 보링공을 조합하여 처리

○ 피복공에 의한 보호공법의 종류 및 특징

▪ 토사비탈면 식생보호공법

구 분	Seed Spray	종자분사+유기질토	줄 떼
개 요 도			
공법개요	• 종자, 비료, 피복양생제, 침식방지 안정제, 착색제, 청수 등을 살포기 탱크내에서 혼합 후 고압펌프로 살포하여 녹화하는 공법	• 유기질토양을 양잔디와 초목본류를 혼합하여 습식취부장비를 이용, 일정한 두께로 비탈면에 살포하는 공법	• 식생토를 사용해서 비탈하단에서부터 줄떼의 장변을 비탈면에 따라 수평으로 펴고 흙을 씌워 잔디를 비탈면에 붙이는 공법
특 징	• 공사비 가장 저렴 • 혹한기의 연중시공이 가능 • 절 · 성토 및 평지등에 다 양하고 편리하게 시공가능 • 기계화 시공으로 공기 단축 • 시공이 간편함 • 하자보수가 용이함 • 척박한 토질에서 만족할 만한 녹화효과 기대할 수 없다. • 건조기의 시공이나 함수율이 적은 토질에서는 정상적인 발아 및 성장이 어려움 • 면이 고르지 못할 경우 볏집 덮기가 불량	• 삼차원의 그물망을 형성하여 토양 유실 및 세굴방지 • 종자유실방지 및 보온보습효과로 균일한 초기발아로 녹화상태 우수 • 유기질토의 양분 공급으로 지속적인 성장유도 • 온도가 영하일 때 시공하면 완벽한 그물망 형성이 어려움 • 공사비 다소 고가	• 종래의 가장 보편적 공법 • 한국기후, 토질에 가장 적합 • 초장이 짧아 미관이 수려 • 주위환경과 친화력이 탁월 • 시공과 함께 피복되므로 침식되기 쉬운 토질에 사용 • 급경사지 식재 불가 • 토사구간외에는 적용 불가 • 토질조건에 따라 활착성 부족 • 강우, 강풍에 의한 침식발생 • 시공시 과다한 인원투입 • 유지보수의 어려움 • 노무비증가로 공사비 고가
선 정	◉	–	–

▪ 배수공에 의한 보호공법

구 분	개 요	주 요 특 징
지 하 배수구	•지표면에 가까운 침투수를 모아 배수	•용수상황에 따라 화살형이나 W형으로 배치하고 비탈면 파괴방지를 위해 Filter Mat 와 비탈격자공을 겸용
비탈면 망태공	•용수가 많은 비탈면에서는 지하배수구와 겸용하고 비탈 끝에 설치	•망태공은 지름, 길이, 간격 등이 어느 정도 자유스러워 원형, 부채형, Bedding등 여러 형태가 있음
수평 배수공	•횡방향으로 유공관 등을 삽입하여 배수	•규모가 큰 지반 활동지대에서는 배수터널이나 보링공을 조합하여 처리

○ 피복공에 의한 보호공법의 종류 및 특징

▪ 토사비탈면 식생보호공법

구 분	Seed Spray	종자분사+유기질토	줄 떼
개 요 도			
공법개요	• 종자, 비료, 피복양생제, 침식방지 안정제, 착색제, 청수 등을 살포기 탱크내에서 혼합 후 고압펌프로 살포하여 녹화하는 공법	• 유기질토양을 양잔디와 초목본류를 혼합하여 습식취부장비를 이용, 일정한 두께로 비탈면에 살포하는 공법	• 식생토를 사용해서 비탈하단에서부터 줄떼의 장변을 비탈면에 따라 수평으로 펴고 흙을 씌워 잔디를 비탈면에 붙이는 공법
특 징	• 공사비 가장 저렴 • 혹한기의 연중시공이 가능 • 절 · 성토 및 평지등에 다 양하고 편리하게 시공가능 • 기계화 시공으로 공기 단축 • 시공이 간편함 • 하자보수가 용이함 • 척박한 토질에서 만족할 만한 녹화효과 기대할 수 없다. • 건조기의 시공이나 함수율이 적은 토질에서는 정상적인 발아 및 성장이 어려움	• 삼차원의 그물망을 형성하여 토양 유실 및 세굴방지 • 종자유실방지 및 보온보습효과로 균일한 초기발아로 녹화상태 우수 • 유기질토의 양분 공급으로 지속적인 성장유도 • 온도가 영하일 때 시공하면 완벽한 그물망 형성이 어려움 • 공사비 다소 고가	• 종래의 가장 보편적 공법 • 한국기후, 토질에 가장 적합 • 초장이 짧아 미관이 수려 • 주위환경과 친화력이 탁월 • 시공과 함께 피복되므로 침식되기 쉬운 토질에 사용 • 급경사지 식재 불가 • 토사구간외에는 적용 불가 • 토질조건에 따라 활착성 부족 • 강우, 강풍에 의한 침식발생 • 시공시 과다한 인원투입 • 유지보수의 어려움 • 노무비증가로 공사비 고가
선 정	◉	–	–

제 4 장 비탈면 시공 및 유지관리

4.1 설계개요

기본방향	•비탈면 시공에 따른 발생 가능한 문제점을 사전에 도출하여 시공에 따른 유지관리 대책 수립

4.1.1 비탈면 시공시 주요 고려 사항

•비탈면 대책공법을 실시한 곳은 붕괴가능성이 높은 곳이기 때문에 주의해야 하며, 붕괴이력이 있는 구간과 인접하는 구간도 지층구조가 같은 경우 붕괴가능성이 있으므로 주의하여 관찰
•일반적으로 비탈면의 붕괴는 대부분 시공 중에 일어나며, 그 동안의 조사 사례를 분석하면 비탈면 시공 후에 붕괴의 90%는 표층 3.0m이내의 붕괴로 규모가 작은 편임
•강우에 의해 비탈면의 전단강도가 감소하여 붕괴 가능성의 위험 요소가 많으므로 강우량이 적어도 방심할 수 없다는 것을 주의하여 충분한 비탈면의 계측 및 유지관리의 필요성 요구

○ 중점관리구간 및 항목

중 점 관 리 구 간	항 목 관 리
•불안정 비탈면으로 인한 보강공법 적용구간 •쌓기, 깎기고가 높은 구간	•시공 중 유지관리 : 절리방향성, 균열, 붕락, 풍화정도의 확인 •시공 후 유지관리 : 우기시, 동절기시 붕괴위험 집중관리

○ 설계를 통해 안정성이 확보된 비탈면 파괴의 주요 원인

•깎기 및 쌓기 비탈면 지반 내 공극수의 동결·융해로 인한 비탈면 파괴
•얼음과 눈이 녹아 지하수위와 간극수압의 상승
•강우에 따른 함수량 증가에 따른 토사중량 증가
•강우시 비탈면 내부로 침투하여 비탈면 유동성 증가와 전단강도 저하로 인한 비탈면 파괴
•비탈면 지표의 풍화로 인한 부석 발생 및 비탈면 불안정

■ 쌓기비탈면의 유의사항

•시공 중에는 가배수로를 완비하고 경사면의 배수시설 및 비탈면 보호공을 가급적 빠르게 시공함
•쌓기 비탈면의 표면은 다짐이 불량해질 가능성이 있으며 1층마다 기준다짐도 이상으로 다지고 3층마다 마이티 팩으로 표면다짐을 반드시 실시
•비탈면 보호공 시공 전 비산먼지 발생 및 유수에 의한 침식방지를 위하여 보호막을 설치

■ 깎기비탈면의 유의사항

•비탈면 깎기 작업시 붕괴사고를 예방하기 위하여 시공시 균열의 유무와 크기 및 낙차, 풍화상태 및 불연속면의 방향성, 부석 및 전석의 유무, 용수위치와 상황 등을 유의깊게 관찰하여 경사면 및 상부 토층의 상태를 파악
•깎기 시공 중 예상 밖의 장소에서 변형이 발생할 수 있으며, 토괴의 이동에 관한 균열은 소단이 있는 콘크리트나 배수구에서 쉽게 발견되므로 임시변형 관측계를 설치하여 동태 관측 수행

4.1.2 비탈면 계측관리

•사업구간의 비탈면 계측단면 및 계측항목 선정구간에 대하여 검토

○개 요

•설계시 한정된 분석자료(시추조사, 각종 시험결과) 적용으로 복잡한 지반의 변화(암석의 풍화상태, 급격한 지층변화, 용수대의 출현, 국부적인 파쇄대 등)를 상세 판단 곤란
•현장조사 및 설계시 부득이 고려하지 못한 점을 보완하기 위하여 시공 중 발생하는 현장 Data를 정리·분석하여 비탈면의 안정성을 판단, 예측하고 이에 따라 설계 및 시공법을 수정·변경하는 시공관리를 통하여 안전하고 경제적인 시공 도모
•사업구간의 비탈면 안정검토에 의해 불안정구간으로 나타나 보강공법을 적용구간에 대해 중점 관리구간으로 선정하여 계측계획을 수립하여 제안

○비탈면 계측 항목

■ 비탈면 계측기 종류 및 용도

계측기기	계 측 대 상	적 용
지중 신축계	•활동면 위치 검출과 암괴 이동량	복합(원호, 평면, 쐐기, 전도)
지표면 신축계	•텐션부 부근의 머리부 변위량	원호, 복합(평면, 쐐기, 전도)
경 사 계	•활동머리부, 중간부, 선단부의 표면경사량	원호, 복합(전도)
광파측거법	•지표면 변위량(수평, 수직성분)	복합, 전도(원호, 평면, 쐐기)
소폭판측량	•지표면 변위량(수평, 수직성분)	평면, 쐐기, 원호, 복합(전도)
파이프 변형계	•활동면 위치의 검출과 변형주적경향	평면, 쐐기, 복합
지중 경사계	•활동면 위치의 검출과 암괴 이동량	복합(원호, 평면, 쐐기)
다단식 지중신축계	•활동면 위치의 검출과 암괴 이동량	복합(원호, 평면, 쐐기, 전도)
지중변위계	•지중변위량(수평, 수직성분)	평면, 쐐기, 원호, 복합(전도)
GPS 측량	•지표면 변위량(수평, 수직성분)	복합
지하수위계	•지하수상태 관측과 비탈면 안정도 검토	평면, 쐐기, 원호, 복합(전도)
유 량 계	•강설데이터 수집(비탈면안정과 적설의 관계)	복합
변형률계	•네일 및 앵커의 응력	복합

○계측구간 선정

•비탈면 깎기 작업시 붕괴사고를 예방하기 위하여 시공시 균열의 유무와 크기 및 낙차, 풍화상태 및 불연속면의 방향성, 부석 및 전석의 유무, 용수위치와 상황 등을 유의깊게 관찰하여 경사면 및 상부 토층의 상태 파악
•깎기 시공 중 예상 밖의 장소에서 변형이 발생할 수 있으며, 토괴의 이동에 관한 균열은 소단이 있는 콘크리트나 배수구에서 쉽게 발견되므로 임시변형 관측계를 설치하여 동태 관층 수행

공구별 계측구간 선정

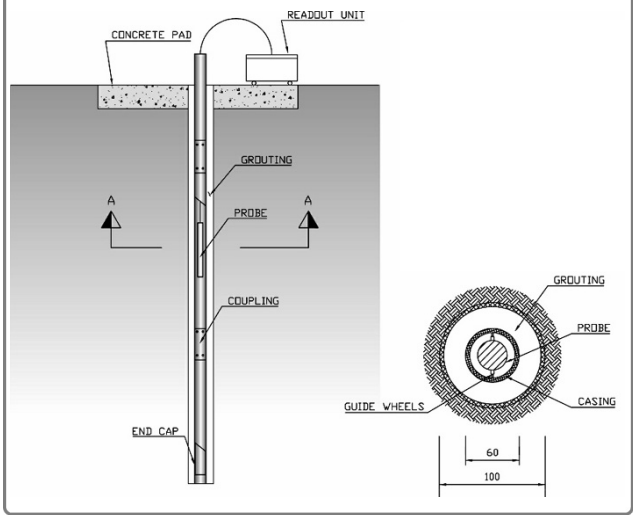
계측구간		선 정 사 유
1 공구	도내 JCT R-B STA. 0+540	•깎기고가 높으며 암반비탈면 불안정으로 보강공법 적용
	본선 STA. 6+740	
터널부	터널 갱구부	•토사비탈면 불안정으로 보강공법 적용

계측기 선정

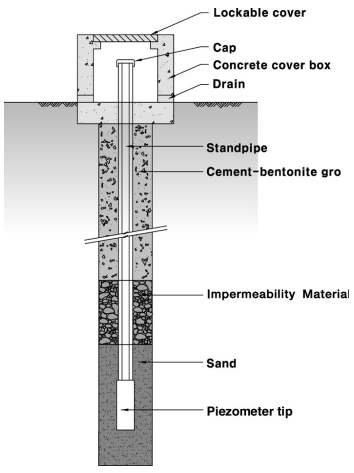
선정 계측기	측 정 항 목	계측수량	비 고
지중경사계 (Inclometor)	지중변위	1개소	–
지하수위계 (Water level meter)	비탈면내 수위변화 측정	1개소	상시 지하수위 이하 Tip 위치
측 량	비탈면 전면부 특정 위치 이동여부 측정	필요시	깎기 중 face mapping 후 위치선정
균열부 임시 변형 계측계	비탈면 배면 균열 발생시 이동량 측정	필요시	균열 발생시

선정 계측기 구성요소

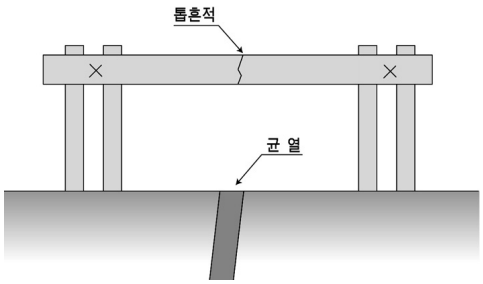
지중경사계



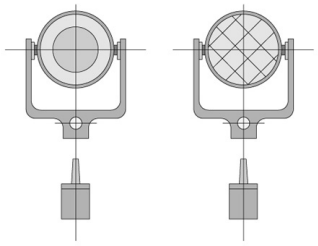
지하수위계



균열부 임시 변형 계측계



광파기 타겟(측량)



○ 계측관리 계획

▪ 계측기간

•지중경사계 및 지하수위계는 깎기전 매설을 원칙으로 하여 비탈면 공사 완료 후까지 연속적인 계측 수행, 계측기간은 12개월로 계획하였으며, 비탈면 공사 완료에 맞추어 종료할 수 있음

구 분	계 측 시 작	계 측 완 료
깎 기 중	계측기 설치 후	-
깎 기 후	-	변위 및 출력값이 수렴되는 시점

▪ 계측항목별 계측빈도

계 측 항 목	계 측 빈 도		
	깎 기 중	깎기직후~3개월	3개월 이후
지중 경사계	2회 / 1주	1회 / 1주	1회 / 월
지하 수위계	2회 / 1주	1회 / 1주	1회 / 월
비탈면 측량	1회 / 1주	2회 / 월	1회 / 월

▪ 비탈면 계측수량

설 치 구 간	지하수위계	지중경사계	비탈면 측량
깎기 구간	2개소	2개소	필요 구간
터널갱구 구간	2개소	2개소	필요 구간

검토결과

•사업구간의 비탈면 중 깎기고가 높으며 안정검토에 의해 불안정구간으로 나타나 보강공법을 적용한 구간에 대해 중점 관리구간으로 선정하여 계측계획을 수립하여 제안

4.1.3 시공 중 비탈면 유지관리

시공관리 개요

•절취비탈면의 시공시에는 시공 중 조사, 관찰, 계측을 실시하여 실제 굴착되는 비탈면의 안정성을 평가하고 필요에 따라서는 설계 및 시공법 변경
•일반적으로 설계단계에서 지질조사에 의한 지층단면과 굴착에 의해 드러나는 실제 비탈면의 지층구성 상태와는 차이점이 많은 경우가 흔하므로 다음 흐름도의 과정에 의해 시공계획시의 조건이나 제반조건 등을 검토하고 필요하면 추가조사 및 재해석을 실시하여 설계 변경

비탈면 절취시 유의사항

•비탈면의 절취작업시 예기치 못한 요인에 의하여 생길 수 있는 붕괴사고를 예방하기 위해서는 다음과 같은 사항을 주의 깊게 관찰하여 비탈면 및 상부토층의 상태 파악
•균열의 유·무
•우수에 의한 균열의 발생 유무
•부석, 전석의 유무
•풍화의 상황
•붕락정도
•절리, 층리의 방향성과 그 진행
•용수위치와 상황

시공 중 깎기 비탈면의 보호

•일부 지반은 지층 속에 강도가 높은 상태로 존재하더라도 대기 중에 노출되면 급속하게 강도저하가 될 가능성이 있음
•이는 응력이 해방됨과 동시에 건습의 반복 등 직접적인 기상의 영향을 받기 때문으로 장기적으로 볼 때 비탈면 붕괴의 요인일 될 수 있으므로 비탈면 보호공법이 조속 실시
•비탈면 보호공 시공 및 배수시설을 설치하여 강우의 침투 방지

급속한 굴착에 의한 변형 및 지하수위 변화

•깎기 공사 중 예상 밖의 장소에서 변형이 발생하는 경우가 있으며, 토괴의 이동에 의한 균열은 소단이 있는 콘크리트나 배수구에서 쉽게 발견할 수 있서, 이러한 경우 임시 변형 관측계를 설치하여 동태관측을 수행
•비탈면에 용출수가 있거나 지하수위가 높은 지반에서 급속시공을 할 경우 비탈면붕괴 가능성 검토
•깎기 전후의 지하수위는 안정상태까지 시간이 걸리므로 심층부에 과잉 간극수압이 비탈면 활동에 기여하는 상태가 되므로 시공 중에 지하수위 변화를 관측

시공 중 안정성 보강방법

•시공 중 비탈면의 안정성 검토는 토사비탈면과 암반비탈면으로 구분하여 각 비탈면의 특색에 맞는 방법으로 검토
•비탈면안정해석결과 불안정할 경우 다음과 같은 보강공법을 비교·검토하여 최적의 보강공법을 선정하여 안정성 확보
  – 토사비탈면 : 비탈면기울기완화, 식생공법, 네일링공법, 숏크리트 타설, 억지말뚝, 배수공 등

4.1.4 시공 후 비탈면 유지관리

•설계 및 시공시 조사자료, 시공기록 및 계측자료를 이용한 시공후의 비탈면 유지관리방안 수립

○ 비탈면 유지관리 방법

•시공이 이론적 근거와 조사자료를 근거로 하는 것이라면, 시공 후의 비탈면유지관리는 축적된 계측 Data와 경험의 축적에 의해 안정성 평가
•유지관리 작업은 공사가 준공되고 나서 시행하는 것이지만, 그 준비작업은 시공시점에서 시작된 조사자료와 시공스케치를 보존하여 비탈면 대장을 작성
•비탈면 대장에는 위치, 보호공법 종류, 대책공법 종류 등 필요 항목을 기재하여 비탈면 점검시 관찰상황을 추가 기재하되 주의 관찰이 요구되는 구간은 Check해 두고 유지관리를 실시
•비탈면의 불안정 요인이 관찰될 경우에는 현장 긴급조치를 하고 전문 기술자에게 안정성 분석을 의뢰함
•낙석 및 낙석제거, 낙석방지망 및 낙석방지울타리의 상태점검과 유지보수를 실시
•공사 준공 후 비탈면의 점검을 쉽게 하고 직접 육안으로 점검할 경우에는 점검로(점검계단, 점검사다리, 소단)를 이용
•공사비 절검과 점검로의 효용성을 증대시키기 위해 점검로는 도수로와 인접하여 설치하며 점검시 안전에 유의

○ 기존에 제안된 도로 비탈면의 유지관리 시스템의 예

- 고속도로 절토사면 유지관리시스템 (한국도로공사 연구개발자료), 한국도로공사의 절토사면 유지관리시스템 (한국지반공학회 사면안정위원회 세미나, 1999, 노한성 외)

•붕괴발생 후 대책을 세우는 사후처리 개념에서 전체적인 비탈면을 체계적으로 관리하여 가능한 한 사고를 미연에 방지할 수 있도록, 주기적이고 능동적인 유지관리를 실시한다는 개념 ➡ 관리체계의 구축 필요성 대두
•1단계 : 자료조사단계로 전국에 산재되어 있는 모든 깎기비탈면의 일반현황 파악
•2단계 : 도형정보 시스템과 결합된 데이터베이스 프로그램 수정 및 보완
•3단계 : 자료 입력 (비탈면의 일반현황조사, 비탈면의 상세현황조사 등)
•4단계 : 입력자료에 근거, 비탈면의 유지관리 활용 (보강대책이 요구되는 비탈면에 대한 예산편성 등)

- 절토사면의 안정성 평가를 위한 점검항목 제안 (한국지반공학회 사면안정위원회 세미나, 1999, 구호본 외) : 한국건설기술연구원

•지리정보시스템을 이용한 도로절개면에 대한 다양한 정보들을 데이터베이스화하여 효율적인 도로절개면 유지관리시스템의 모델 개발
•도로절개면의 특성과 제반여건을 고려한 절개면 위험도 평가표를 제시 ➡ 조사우선순위 기법 개발 ➡ 도로절개면 투자우선순위 결정방법 제안
•기대효과 : 향후 도로절개면 관련 설계기준 제시, 위험도 작성 등의 유지관리도구 작성에의 활용

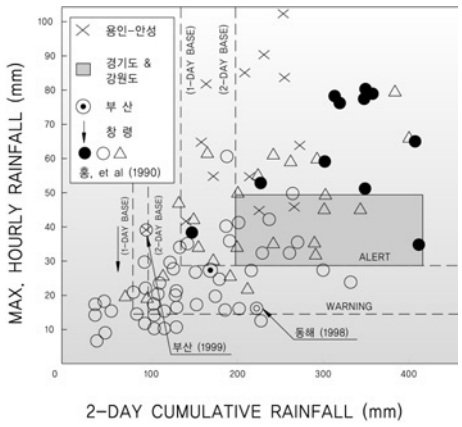
- 절개면 붕괴징후 포착시스템 (국토교통부)

•해마다 20~30건씩 발생하는 국도상의 낙석, 산사태 예방 목적
•광섬유센서를 절개면 중 기울기가 급하거나 바위 밑에 설치, 폭설이나 폭우시 흘러내리는 눈 및 토사의 양에 따라 낙석, 산사태의 위험여부를 경보를 통해 자동으로 알려주는 시스템

○ 확률강우강도에 따른 경보체계 수립

•국내에 발생될 강우와 산사태 발생규모와의 관계 그래프를 적용, 집중 강우에 따른 비탈면 유지관리 방안 수립

최대시간 강우량	2일누적 강우량	유지관리방안
15mm	100mm	•주의경보 발령
30mm	130mm	•경계경보 발령 (추가 계측 실시)
30mm	200mm	•추가계측 결과에 따라 안정성 확보가 어려울 경우 통행로 차단 실시



○ 중점관리구간

▮ 중점관리구간의 선정

•비탈면 불안정으로 인해 보강공법을 적용시킨 구간
•깎기 및 쌓기 높이가 큰 구간

▮ 점검방법

•비탈면 관리시 점검은 일반적인 점검외에 우기시나 동절기 등 붕괴현상이 집중되는 시기를 전후하여 실시하는 것이 바람직함
•위험성이 내포되어 보수가 필요하다고 판단될 때 재해로 발달되지 않도록 조치해 두고, 필요에 따라 상세한 조사를 수행하고 대응책을 강구하여야 함
•점검방법은 관리기간에 따라 다양하지만 다음 표와 같이 그 빈도를 정해 실시하여야 함

구 분		점 검 내 용	빈 도
일 상 점 검		•차량내에서 확인할 수 있는 범위의 비탈면 상황을 관찰	1일 1회
정 기 점 검	정기점검A	•걸어서 접근하여 관리구간 전체 상황을 전반적으로 점검	1년 1회
	정기점검B	•걸어서 접근하면서 관리구간 전체 상황을 세부적으로 점검	1년 1회
임 시 점 검		•일상점검 또는 정기점검을 보완하기 위해 필요에 따라 실시 일상점검에 의한 평가, 판정이 곤란할 경우 및 이상 기후 직전 혹은 통보에 의해 점검	필요시

제8편 연약지반 설계

제1장 연약지반 설계개요

제2장 연약지반 현황 및 성과분석

제3장 연약지반 안정성 검토

제4장 연약지반 계측관리 계획

제 1 장 연약지반 설계개요

1.1 설계개요

기본방향	•현장여건(지반조건, 주변환경)을 면밀히 검토하여 최적의 연약지반개량 공법 선정 •연약지반 특성에 적합한 개량공법 선정으로 비탈면의 안정화, 압밀침하량 및 기간산정 •부등침하 및 2차 압밀 검토로 주행성 확보 및 유지관리 계획 수립

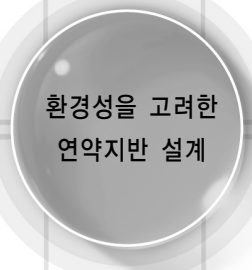
1.1.1 기본방향

지반조사 및 분석

•시추조사 결과 연약지반 판정 및 층후파악
•각종시험 분석에 의한 연약지반 특성파악
•연약지반 구간별 압밀도에 분석에 의한 압축성 분석

설 계 기 준

•연약지반 판정기준 및 역학적 특성파악에 의한 구간 및 연약지반 층후 산정
•침하기준 및 압밀기간 산정에 따른 개량공법 선정



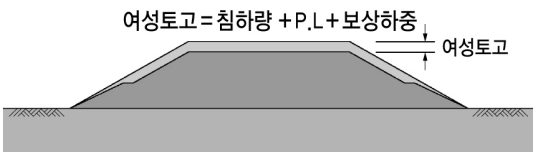
•장기적인 침하 및 활동에 대한 무처리 시 안정성 검토에 의한 개량공법 선정
•연약지반상의 비탈면 안정성 및 교대측방유동 검토

안 정 성 검 토

•연약지반 압밀침하량 및 압밀기간에 의한 공사기간 대책방안 수립
•Preloading공법 및 활동 방지방안 PET Mat 선정으로 지반 안정화

개량공법 선정

1.1.2 연약지반 주요 검토사항

주 요 항 목	주 요 검 토 사 항	
지반조사 및 지반정수	•지층분포 파악을 위한 충분한 시추조사 수행 •충분한 실내, 현장시험을 통한 합리적 설계정수 도출	
설 계 기 준	•연약지반 기준 : - 10.0m 이하 점성토 N ≤ 4 - 10.0m 이상 점성토 N ≤ 6 - 사질토 : N ≤ 10 •잔류침하량 : 10.0cm (1차 및 2차 침하량 고려) •교대부 배면지반 : 5.0cm (부등침하 감소)	
연 약 지 반 개 량 공 법	•현장여건에 따른 안정성, 시공성 및 경제성 등을 확보할 수 있는 공법선정 •연약지반 개량공법 선정 시 시공성, 경제성 및 안정성에 우수한 최적 공법 선정 •장기적인 침하를 고려한 설계 및 고성토 구간 비탈면 안정성 확보	
상 재 하 중 재 하 방 법		여성고 = 포장 + 교통하중(13.0kPa) + 침하고 + 보상고
계측 및 유지관리	•중점관리 구간을 설정하여 침하안정관리 계획 수립 •중요 지장물의 사용 중 유지관리계측 수립	

1.2 연약지반 판정

기본방향	•한국도로공사 설계기준 및 최근 수행된 설계사례 분석을 통하여 도로 노반의 안정성을 고려한 합리적인 설계기준 선정

1.2.1 연약지반 판정기준

○ 토질 특성에 따른 연약지반 판정기준(도로설계요령 제2권 토공 및 배수, 2009)

지반 구분	토층 및 토질 구분			토질 정수			
				Wn(%)	e_o	q_u (kgf/cm^2)	N
이탄질 지반	고유기질토 (Pt)	Peat	섬유질 고압축토	300이상	7.5이상	0.4 이하	1 이하
		흑니	분해가 진척된 고유기질토	300-200	7.5-5.0		
점토질 지반	세립토	유기질토	소성도 A선이하 유기질토	200-100	5.0-2.5	1.0 이하	4 이하
		화산회질 점토	소성도 A선이상, 화산회질 2차퇴적점토				
		Silt	소성도 A선이하, Dilatancy대	100-50	2.5-1.25		
		Clay	소성도 A선위, 그부근 Dilatancy대				
사질 지반	사질토	SM, SC	#200번체 통과량, 15~50%	50-30	1.25-0.8	거의 0	10 이하
		SP-SC, SW-SM	#200번체 통과량, 15%이하	30이하	0.8이하		

○ 구조물 종류에 따른 연약지반의 판정기준(도로설계요령 제2권 토공 및 배수, 2009)

구조물의 종 류	지 반 상 태							판 정
	토 질	층두께(m)	N 값	q_u (tf/m^2)	q_c (tf/m^2)	q_b (tf/m^2)	함수비(%)	
도 로	–	–	2이하	2.5이하	12.5이하	–	–	연약지반(초연약)
	–	–	2~4	2.5~5	12.5~25	–	–	연약지반(연 약)
	–	–	4~8	5~10	25~50	–	–	연약지반(보 통)
	이탄층	–	4이하	5이하	–	–	–	연약지반
고속도로	점성토	–	4이하	5이하	–	–	–	연약지반
	사질토	–	10이하	–	–	–	–	연약지반
	–	2이상	0	–	–	–	100이상	연약지반
철 도	–	5이상	2이하	–	–	–	50이상	연약지반
	–	10이상	4이하	–	–	–	30이상	연약지반
건 축	–	–	10이하	–	–	10이하	–	연약지반
댐	–	–	20이하	–	–	–	–	연약지반

○ 연약지반 판정기준

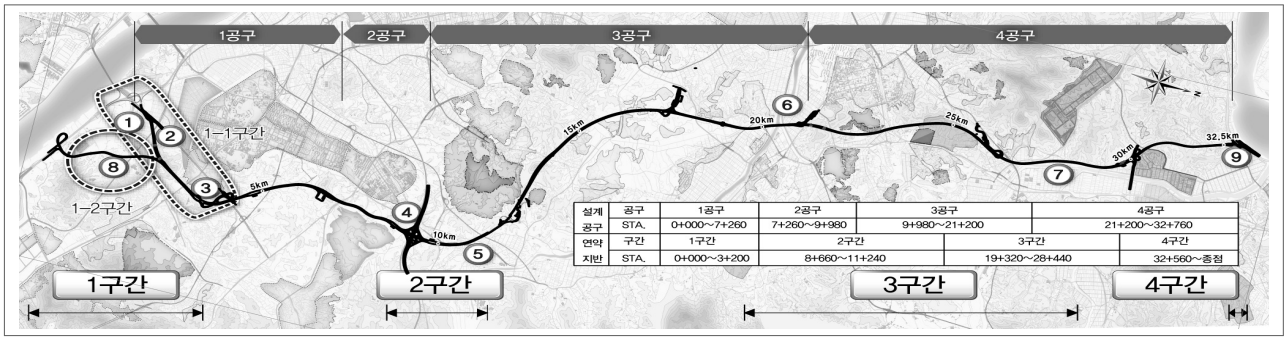
•한국도로공사 “도로설계요령 제2권”을 참고로 하여 현장의 토질상태 및 교통하중을 고려하여 압밀층 선정

구 분	이탄질 지반 및 점토질 지반		사질토 지반
층 두 께	10m 미만	10m 이상	–
N 값	4 이하	6 이하	10 이하
q_u(kgf/cm^2)	0.6 이하	1.0 이하	–
q_c(kgf/cm^2)	8 이하	12 이하	40 이하

제 2 장 연약지반 현황 및 성과분석

2.1 연약지반 현황 분석

2.1.1 연약지반 현황



2.1.2 연약지반 Zoning 선정

○ 연약지반 Zoning 구간 선정

구 분		위치 (STA.)	연약층 층후	지층현황	배수조건	비 고
1 공구	1-1구간(본선)	0+000~3+200	0.9~8.0m	N>9 과압밀구간	-	•계획쌓기고 10m이상
	1-2구간(지선)	0+060~1+760	1.0~11.9m	N>3~6 이상	양면배수	•계획쌓기고 10m이상 •교대 측방유동 검토

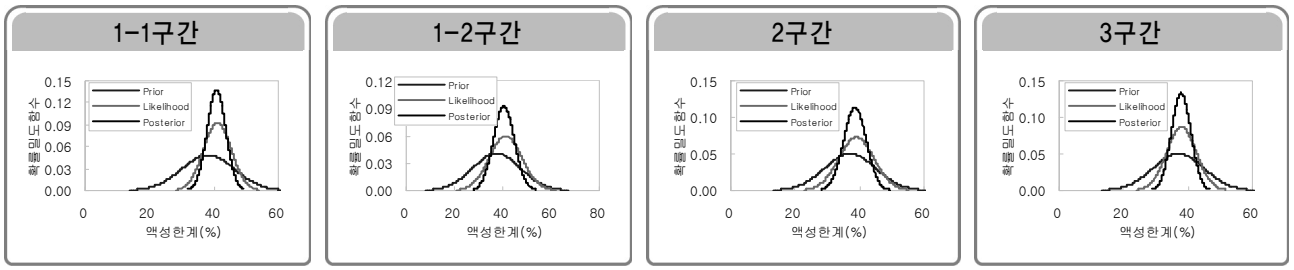
○ 연약지반 공사기간 검토

구 분	기 간	내 역	비 고
공 사 준 비 기 간	4개월	· 부지정비 및 기타 PET Mat, 수평배수공 포설 : 2.0개월	
연약지반 처리기간	30개월	· Pre-Loading 및 치환, 단계쌓기+PET MAT	
구조물 공사기간	6개월	· 연약지반 처리 후 터파기 포함 · 주요구조물(교량)과 간섭이 없는 구간 : 6개월	
포 장 기 간	3개월		
부대공 및 마무리	3개월		
총 계	46개월		
공사기간 검토	•사업구간의 공사기간은 5년으로 연약지반 처리기간(Pre-Loading 및 단계쌓기)은 30개월 이하로 계획하였으며, 검토에 적용한 연약지반 처리기간은 현장계측결과, 현장상황 및 시공조건에 따라 감독관과 협의하여 변경		

2.2 연약지반 공학적 특성 분석

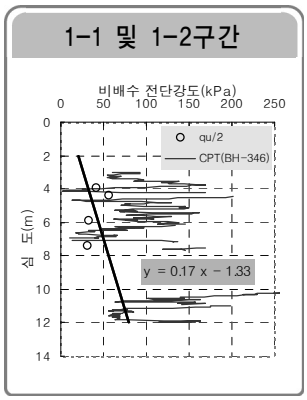
2.2.1 물리적 특성 분석

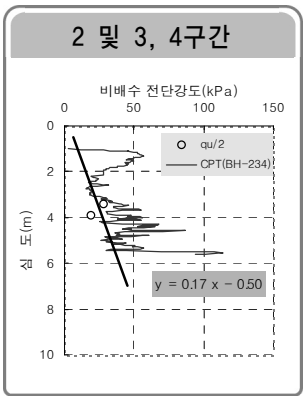
구 분	액성한계(%)					소성지수(%)				
	1-1구간	1-2구간	2구간	3구간	4구간	1-1구간	1-2구간	2구간	3구간	4구간
인근자료	32.0~43.8	26.7~42.3	25.0~42.5	25.0~42.5	25.0~42.5	3.5~19.7	4.3~17.8	12.1~18	12.1~18	12.1~18
기본설계	38.0	45.5	-	22.0	-	14.8	20.9	-	17.5	-
실시설계	44.1	36.8	39.0	37.5	38.7	20.0	14.5	15.9	14.7	14.5



2.2.2 역학적 특성 분석

○ 전단강도 분석





구 분	기본설계	1-1구간	1-2구간	2구간	3구간	4구간
평균 S_u (kPa)	20.7	32.0	34.0	20.0	20.0	32.0
상관식	S_u = 0.19D-0.58	S_u = 5.8D + 7.8 (평균 28.0)		S_u = 5.8D + 3.0 (평균 22.0)		
검 토 결 과	•기본설계에서 추정한 평균 S_u는 20.7 kPa이며, 심도에 따른 상관식은 S_u=0.19D-0.58 kPa임 •평균 S_u는 1구간은 32.0~34.0kPa이나 평균심도 3.5m를 적용하여 28.0kPa, 3구간은 시험의 평균값 22.0kPa을 적용하고, 2,4구간은 3구간 결과 이용					

■ 강도증가율 산정

구 분	기본설계	1-1구간	1-2구간	2구간	3구간	4구간
인근자료	-	-	-	-	-	-
기본설계	-	0.18~0.20 (0.19)	0.18~0.21 (0.20)	-	0.17~0.20 (0.19)	-
실시설계	-	0.16~0.60 (0.38)	0.15~0.72 (0.31)	0.15~0.20 (0.18)	0.15~0.70 (0.22)	0.14~0.20 (0.17)
적 용	0.183	0.25	0.25	0.20	0.20	0.20

○ 과압밀비(OCR)

구 분	기본설계	1-1구간	1-2구간	2구간	3구간	4구간
인근자료	-					
기본설계	-	-	-	-	0.5	-
실시설계	-	4.0	0.9~3.4 (2.2)	-	3.3	0.9~1.7 (1.3)
적 용	0.37(정규압밀)	과압밀(OC)	과압밀(OC)	과압밀(OC)	과압밀(OC)	정규압밀

○ 초기간극비(e_o) 및 압축지수(C_c)

구 분	초기간극비(e_o)						압축지수(C_c)					
	기본설계	1-1구간	1-2구간	2구간	3구간	4구간	기본설계	1-1구간	1-2구간	2구간	3구간	4구간
인근자료	-						-					
기본설계	-	-	0.962	-	0.720	-	-	-	0.194	-	0.209	
실시설계	-	0.963	0.876	-	0.962	0.94	-	0.253	0.243	-	0.281	0.239
적 용	0.699	0.96	0.88	0.88	0.88	0.94	0.155	0.25	0.24	0.26	0.26	0.24

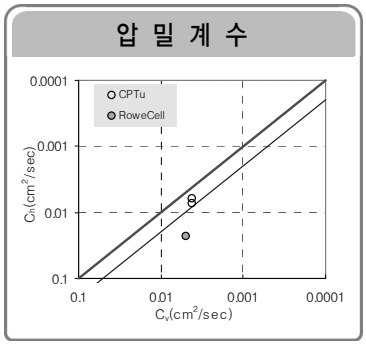
○ 연직압밀계수 및 투수계수

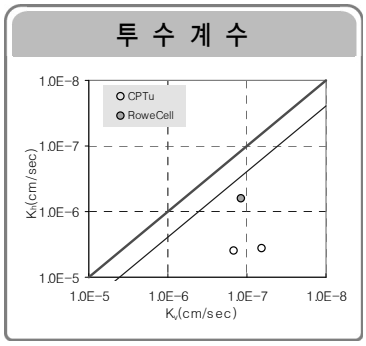
구 분	연직압밀계수($10^{-3}cm^2/sec$)						투수계수($10^{-7}cm/sec$)					
	기본설계	1-1구간	1-2구간	2구간	3구간	4구간	기본설계	1-1구간	1-2구간	2구간	3구간	4구간
인근자료	-						-					
기본설계	-	-	4.28	-	2.07	-	-	-	0.66	-	6.28	-
실시설계	-	9.84	4.03	-	3.20	3.72	-	2.29	0.83	-	1.57	0.472
적 용	3.452	9.80	4.00	2.50	3.20	3.70	2.561	2.30	0.80	3.10	3.10	0.47

○ 재압축지수(C_r) 및 2차압축지수(C_α)

구 분	재압축지수(C_r)						2차압축지수(C_α)					
	기본설계	1-1구간	1-2구간	2구간	3구간	4구간	기본설계	1-1구간	1-2구간	2구간	3구간	4구간
인근자료	-						-					
기본설계	-	-	-	-	-		-	0.0021	0.0036	-	0.0037	
실시설계	-	0.033	0.038	-	0.042	0.034	-	0.0035	0.0032	0.0036	0.0034	0.0035
적 용	-	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03	0.0037	0.0028	0.0034	0.0036	0.0035	0.0035

○ 압밀이방성 분석





구 분		C_h/C_v	K_h/K_v
문헌자료		1~9	1~15
인근자료			
기본설계 적용		2.0	1.5
시험 결과	현장시험	1.46~1.68	5.3~54.6
	실내시험	4.45	5.28
적 용		2.0	2.5

2.2.3 설계지반정수 산정

구 분	함수비(%)	단위중량 (kN/m^3)	S_u(kPa)	강도증가율	초기간극비	압축지수	C_v ($10^{-3}cm^2/s$)	k_v ($10^{-7}cm/s$)
1-1구간	28.0	18.0	28.0	0.25	0.96	0.25	9.80	2.30
1-2구간	35.0	18.0		0.25	0.88	0.24	4.00	0.80
2구간	36.0	18.0	22.0	0.20	0.88	0.26	2.50	3.10
3구간	34.1	18.0		0.20	0.88	0.26	3.20	3.10
4구간	35.0	18.0	30.0	0.20	0.94	0.24	3.80	0.47

제 3 장 연약지반 안정성 검토

3.1 연약지반 설계기준

3.1.1 쌓기속도 및 설계하중

토질 상태	쌓기 속도	
•점토층이 두꺼운 경우 및 흑니 •유기질토가 두꺼운 이탄질 지반	0.9m/월	–
•보통 점토질 지반	1.5m/월	적용
•점토층이 얇은 경우 및 흑니 •유기질토가 거의 없는 이탄질 지반	3.0m/월	–

차량 및 포장체 하중	쌓기재 하중
•차량하중 : 13.0kPa •포장단위하중 : 23.0kPa	•암버력 쌓기재 적용시 (단위중량 : 21kN/m^3) •터널 암버력 이용

3.1.2 허용 잔류침하량

도로의 허용잔류침하량 (도로설계요령 제2권, 토공 및 배수, 2009)	허용잔류침하량(cm)	비 고
포장공사 완료 후의 노면요철	10	지질특성상 장기침하 발생가능
BOX CULVERT 시공시의 더 올림시	30	
배 수 시 설	15 ~ 30	

도로의 허용 잔류침하량 (일본도로공단)	허용잔류침하량(cm)
포장공사 종료 후의 노면의 요철에 관한 허용치	10
BOX CULVERT 시공시의 더 높임에 관한 허용치	30

연약층 두께에 따른 허용잔류침하량 (일본도로공단 설계요령 제2집)	연약층 두께	허용잔류침하량(cm)	비 고
	D ≤ 10m	10	
	D ≤ 30m	20	
	D 30m	30	

3.1.3 비탈면 최소안전율

구 분		최 소 안 전 율	
한국도로공사	도로설계요령	•축조 기간 중	Fs 1.2
		•공용하중 개시 후	Fs 1.3
	도로설계실무편람	•축조 기간 중	Fs 1.2
		•공용하중 개시 후	Fs 1.3
국토교통부		•축조 기간 중	Fs 1.1
		•공용하중 개시 후	Fs 1.3
일 본 건 설 성		•표준적인 계획안전율	Fs ≥ 1.1~1.3
일본 도로실무강좌 5		•도로토공, 연약지반 대책공 지침	Fs ≥ 1.2~1.3

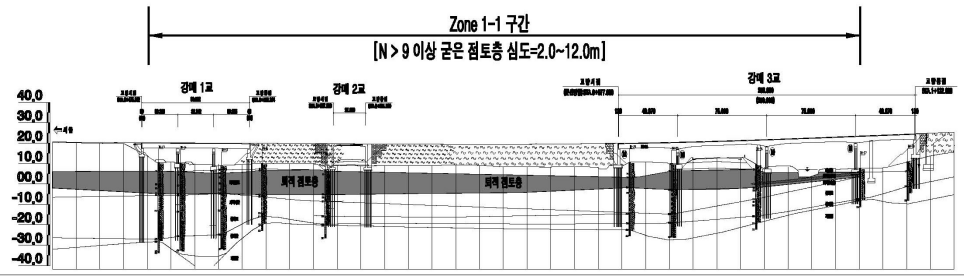
3.1.4 설계기준 적용

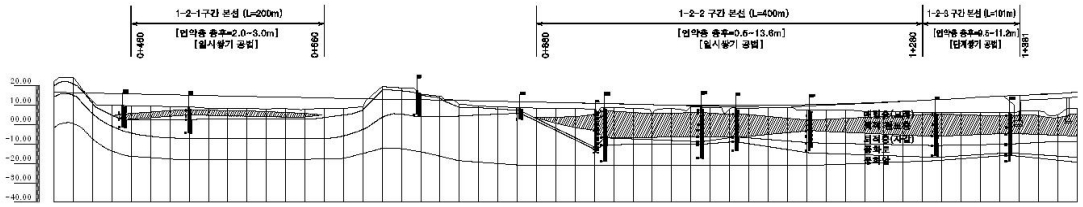
구 분			적 용 값	비 고
허 용 잔 류 침 하 량			10.0cm	–
쌓기비탈면 안전율	평상시	축조시	1.2	–
		공용시	1.3	–
	지진시		1.1	–
적 용 하 중			성토하중+포장하중+교통하중	포장단위하중=23.0kPa 교통하중=13.0kPa

3.2 연약지반처리 필요유무 검토

3.2.1 연약지반 구간별 지층현황 검토

○ 연약지반 구간별 검토단면 선정

1-1구간 본선 0+000 ~ 3+200	
지층현황	•상부 매립층이 2.3~5.8m 층후로 분포하며, 하부 퇴적 점토층이 2.0~12.0m 층후로 출현되나, 점토층 N값는 9~12로 굳은 점토층으로 출현되어 과압밀구간으로 산정

1-2구간 지선 0+460 ~ 1+381	
지층현황	•Zone 1-2-1구간은 상부 매립층이 1.5m 층후로 분포, N 〈 4 이하의 퇴적 점토층이 2.5m 층후로 N 〉 5이상 굳은 점토층이 하부 2.3m 층후로 분포 •Zone 1-2-2구간은 상부 매립층이 0.5~3.5m 층후로 분포, N 〈 4 이하의 퇴적 점토층이 1.0~4.5m 층후로 N 〉 7이상 굳은 점토층이 하부 2.5~9.0m 층후로 분포 •Zone 1-2-3구간은 상부 매립층이 0.8~5.4m 층후로 분포, N 〈 6 이하의 퇴적 점토층이 4.5~11.9m 층후로 N 〉 7이상 굳은 점토층이 하부 0.0~5.2m 층후로 분포

○ 연약지반 검토단면 선정

구 간		위치 (STA.)	압밀 침하검토	비탈면 안정검토	시추 공번	연약층 두께(m) 점토 및 실트	성토고 (m)	비 고
1 공구	1-2구간(지선)	0+540	O	O	BH-344, 344-1	3.7	6.5	-
		1+280	O	O	BH-346, 346-1, 347	12	6.2	-
		1+380	O	O		11.7	8.1	-

검토결과	•연약지반 Zone 구간별 지층현황 분석 후 상세 구간 검토 •Zone 1-1 구간의 성토구간은 강매-원흥간 도로개설로 인하여 시추조사결과 굳은 점토로 판정 •Zone 1-2 구간은 연약층 층후가 2.5~11.9m 이상으로 상세 검토

3.2.2 무처리시 연약지반 압밀소요기간 검토

○ 침하량 산정방법

•사질토 $S_i = \frac{0.4\ P_0 H}{N} \log\left(\frac{P_0+\Delta P}{P_0}\right)$

•점성토 - 정규압밀 : $S_c = \frac{C_c H}{1+e_0} \log\left(\frac{P_0+\Delta P}{P_0}\right)$

- 과 압 밀 $P_0+\Delta P \le PC$ 일 때 : $S_c = \frac{C_r H}{1+e_0}\log\left(\frac{P_0+\Delta P}{P_0}\right)$

P_0 $PC \le P0+\Delta P$ 일 때 : $S_c = \frac{C_r H}{1+e_0}\log\left(\frac{P_c}{P_0}\right) + \frac{C_c H}{1+e_0}\log\left(\frac{P_0+\Delta P}{P_c}\right)$

○ 압밀소요기간 산정방법

•압밀소요기간

$$t = \frac{T_v \cdot H^2}{C_v}$$

여기서, t = 압밀소요기간
Tv = 시간계수 (U=90% 일 때 Tv=0.848)
H = 연약층 두께 (일면배수 H=D, 양면배수 H = D/2)
Cv = 압밀계수 (cm^2/sec) 시간계수
U = 53% 이하일 경우 $Tv = \pi/4\ (U/100)^2$
U = 54% 이상일 경우 $Tv = 1.781 - 0.933 \log(100-U)$

○ 무처리시 침하량 및 압밀기간 결과

구 간			위치 (STA.)	쌓기고 (m)	연약층 층후(m)	배수 조건	총침하량 (cm)	잔류침하량(cm) U = 90%	압밀기간 (개월)
1공구 1-2구간	1-2-1	0+420~0+660	0+540	6.5	3.7	양면	29.7	2.9	6.0
	1-2-2	0+880~1+280	1+280	6.2	12.0	양면	66.6	6.7	23.4
	1-2-3	1+280~1+380	1+380	8.1	11.7	양면	57.8	5.8	19.2
검토 결과			•일시 쌓기후 방치기간 목표 압밀도는 90%, 준비 기간은 4개월, 연약지반 처리기간 23.4개월, 배수조건은 구간별 특성에 따라 양면배수 조건으로 검토						

○ 무처리시 연약지반 처리공법 판정 결과

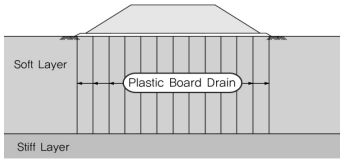
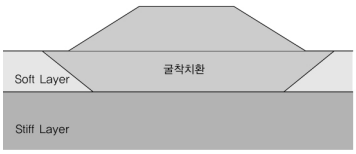
구 간			위치 (STA.)	압밀 총 소요기간 (개월)				처리가능기간 (개월)	처리필요 유 무
				준비기간	쌓기기간	방치기간	총기간		
1공구 1-2 구간	1-2-1	0+040~0+280	0+540	4	4.3	6.0	12.2	40	불필요
	1-2-2	0+500~0+900	1+280	4	4.1	23.4	29.5	40	불필요
	1-2-3	0+900~1+120	1+380	4	5.4	19.2	25.9	40	불필요

주) 1. 소요압밀기간은 90%에 해당하는 압밀기간임.
2. 총 소요시간은 쌓기기간 중의 압밀을 고려하여(쌓기기간/2+소요압밀기간) 계산

3.3 연약지반 개량공법 선정

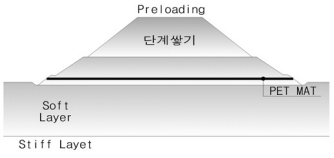
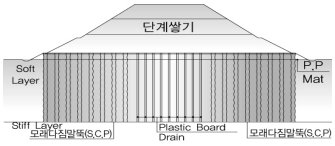
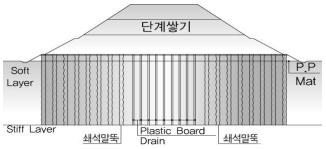
기본방향	•지반개량공법의 적용성을 평가하기 위한 예비 검토 수행 •연약지반 구간별 대표단면을 설정하고 무처리시의 침하량 및 압밀소요시간 산정

3.3.1 연약지반 개량공법 적용성 검토

구 분	Preloading 공법	Preloading + PBD공법	굴착 치환 공법
개요도			
개 요	•설계하중 이상의 여성토 하중을 가하여 연약지반을 개량	•연직으로 Plastic Board Drain을 타설 배수거리를 단축 압밀촉진	•연약층을 굴착하고 양질의 매립토 및 암버력으로 치환
특 징	•침하량에 비례한 여성토량 증가 시공법으로 매우 간단 •경제성 측면에 양호 •연약 층후가 두터운 경우 곤란하며, 연약지반 처리 기간내에 적용	•재료수급 및 배수효과 일정 •경제성 양호 •설치 후 측압, 압밀의 영향으로 Drain Board투수 기능저하 •치환에 따른 강도증가가 없음 •재료강도저하로 피복재파열	•개량효과가 확실하며, 토공 공급이 원할한 경우 유리 •경제성 측면에 양호 •사토장이 없는 경우 곤란 •연약층에서 굴착장비의 주행성 곤란
구 간	1-2구간(지선)	-	-

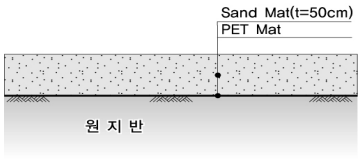
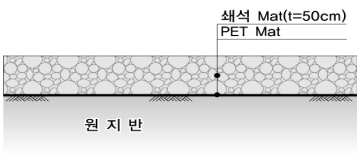
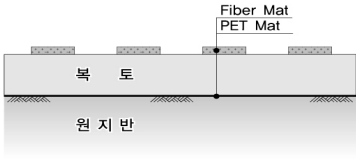
검토결과	•연약층 상-하부층에 양면배수 조건을 보이는 사질토 및 매립층이 출현하여 연약지반 처리시 압밀침하 기간에 완료하는 Preloading 공법 선정

3.3.2 연약지반 활동방지 대책공법 검토

구 분	단계쌓기	단계쌓기 + 모래다짐말뚝(S.C.P)	단계쌓기 + 쇄석말뚝(G.C.P)
개요도			
개 요	• 비탈면활동을 고강도 인장Mat의 인장력에 의해 활동을 방지하는 공법으로 쌓기하중에 따라 Mat의 인장력을 다르게 적용할 수 있음	• 직경400mm의 케이싱을 지중에 압입시켜 원지반내에 직경 700mm의 모래다짐말뚝을 형성시켜 지반을 보강하는 공법	• 직경400mm의 케이싱을 지중에 압입시켜 원지반내에 직경 700mm의 다짐쇄석말뚝을 형성시켜 지반을 보강하는 공법
특 징	• 공정 및 시공성 용이 • 공사비 타공법 대비 저렴 • 연약층심도가 깊지 않고 쌓기고가 낮은 경우 적용성 우수	• 압밀시간 단축 및 침하량 저감 • 지반활동저항에 대한 신뢰도 양호 • 시공실적이 많음	• 압밀시간 및 압밀침하량 저감 • ø40mm 이하의 쇄석 사용으로 활동방지 효과가 양호 • 사용골재의 구입 용이
구 간	1-2구간(지선)	-	-

검토결과	•연약지반 비탈면활동에 대한 대책공법이 요구되는 구간에 대해 시공이 용이하고, 공사비가 타공법에 저렴한 고강도 단계쌓기 적용

3.3.3 수평배수공법 검토

구 분	Sand Mat 공법	쇄석 Mat 공법	Fiber Mat 공법
개요도			
개 요	•원지반과 쌓기체 접속부에 모래층을 포설하여 원지반에서 유출되는 간극수를 쌓기체 외부로 배출하는 공법	•원지반과 쌓기체 접속부에 모래대신 쇄석층을 포설하여 원지반에서 유출되는 간극수를 쌓기체 외부로 배출하는 공법	•연약지반상의 수평배수재 Fiber Mat를 포설하여 원지반에서 유출되는 간극수를 쌓기체 외부로 배출하는 공법
특 징	•원지반과 점토층과의 입도차가 크지 않아 필터기능 우수 •모래수급이 용이할 경우 우수	•원지반과 쇄석층의 입도차이로 쇄석 Mat층으로 원지반 점토 혼입에 따라 배수기능 저하	•Fiber Mat의 Well Resistance 발생시 배수기능 저하 •천연섬유소재로 환경친화적공법
구 간	–	–	–

검토결과

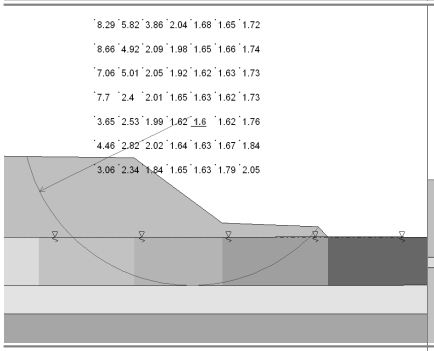
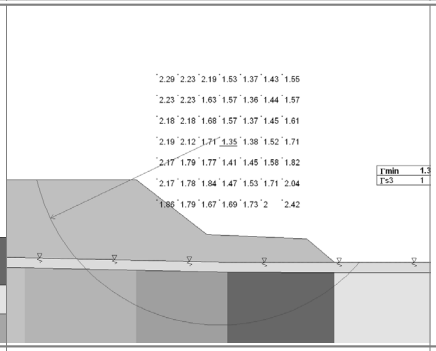
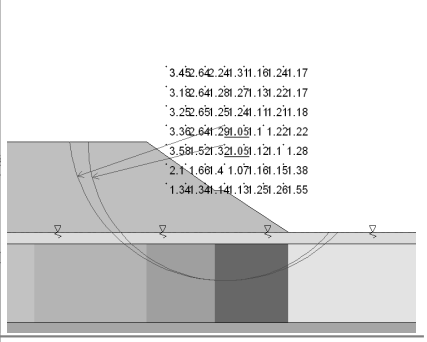
•지반조사결과 점토층상부에 모래질자갈로 이루어진 매립층이 두께 1m이상 분포하여, 수평배수층이 별도로 필요하지 않을 것으로 판단됨

3.3.4 연약지반 활동파괴에 대한안정성 검토

○ 일시 쌓기 검토개요

•연약 지반상에 흙쌓기가 이루어질 경우, 쌓기 하중으로 인한 연약지반내 전단파괴가 유발될 수 있으며 이는 원호활동으로 가정한 한계평형해석을 수행함으로써 그 가능성을 평가할 수 있다.
•따라서, 지반조사 등을 통하여 평가된 연약지반 강도 특성을 토대로 쌓기 비탈면의 안정성을 검토하고 그 결과에 따라 계획 쌓기고를 형성하기 위한 보강계획 또는 단계별 쌓기 설계를 수행 한다. 현장조사 및 시험성과로부터 산정된 지반정수를 이용하여 쌓기 비탈면에 대한 안정성 검토를 수행

○ 일시 쌓기 비탈면 안정검토

1-2-1구간 STA. 0+540	1-2-2구간 STA. 1+280	1-2-3구간 STA. 1+380
		
Fs = 1.60 〉 1.3 ⇒ O.K	Fs = 1.35 〉 1.3 ⇒ O.K	Fs = 1.05 〈 1.3 ⇒ N.G

○ 일시 쌓기시 비탈면안정 해석 결과

구 간	대표단면 (STA.)	쌓기고 (m)	연약층두께(m)	해석안전율	기준안전율	판 정
1-2-1	0+540	6.6	3.7	1.60	1.3	O.K
1-2-2	1+280	7.0	12.0	1.35	1.3	O.K
1-2-3	1+380	8.9	11.7	1.05	1.3	N.G

검토결과

- 1-2-3구간에서 일시 쌓기시 비탈면 안정해석 결과 안정성 확보 불가
- 대책방안으로 치환공법 또는 단계쌓기 및 압밀기간 검토

3.3.5 연약지반 한계 쌓기 검토

•연약지반상에 과대 흙쌓기 하중을 급속히 재하하면 지반은 활동을 일으켜 여러 가지 형태의 파괴로 나타나 일반적으로 연약층이 깊은 경우는 단계 흙쌓기 검토에 의해 연약지반상의 흙쌓기체 안정성 검토

○ 지반의 강도증가율 산정

•흙 쌓기하중에 의해 증가된 점착력을 적용

•점착력 증가 식 : $C = Co + c/p \times \Delta P \times U$

여기서, C : 증가된 점착력

Co : 초기 점착력

c/p : 점착력/선행압밀하중 = 강도증가율

ΔP : 증가된 유효응력 U : 압밀도

■ 물성시험을 이용한 실험값에 의한 방법

•소성지수와 액성한계를 이용한 방법으로 산정식은 다음과 같음

$Su/P = 0.11 + 0.0037PI$ (단, PI 10) (Skempton과 Henkel식)

여기서, PI : 소성지수(%)

$Su/P = 0.45LL$ (단, LL 40) (Hansbo식)

여기서, LL : 액성한계

■ 깊이에 따른 강도증가 경험식으로부터 Su/P를 구하는 방법

•건설부 제정 항만설계기준(1971)에 수록된 내용을 바탕으로 깊이에 따른 강도증가 경험식으로부터 Su/P를 구하는 방법은 다음과 같음 :

$Su = So + KZ$

여기서, So : 지표면에 있어서의 Su값(kPa)

K : 깊이에 대한 Su의 증가율(kPa)

Z : 지표면으로 부터의 깊이(m)

○ 지반의 강도증가율 산정 결과

•물성시험을 이용한 실험값에 의한 강도산정 적용 결과 지반강도 증가율은 0.24~0.25로 산정

○ 한계 쌓기고 높이 산정

■ 도로설계요령(한국도로공사) 제안식에 의한 한계 쌓기고 높이산정

•도로설계요령(한국도로공사)에서 제안한 한계 흙쌓기 높이 산정식

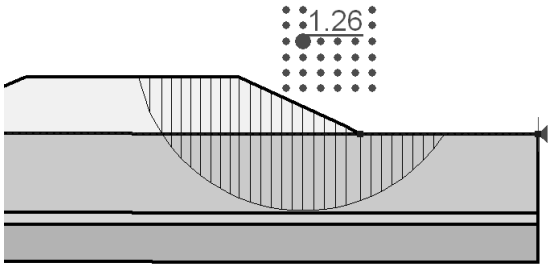
$$H_c = \frac{5.14\ C_u}{\gamma_t \cdot F_s}$$

여기서, H_c : 한계흙쌓기높이,

C_u : 비배수전단강도(kPa),

γ_t : 흙의 단위체적중량(KN/m^3), F_s : 안전율

○ 한계쌓기고 비탈면 안정해석 결과

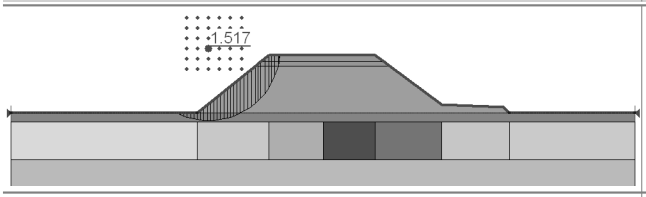
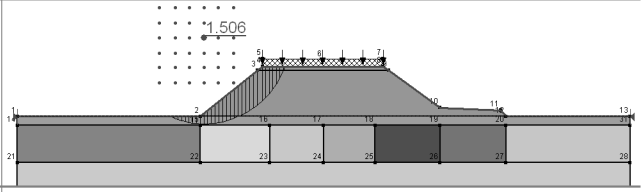
구 분	γ_t (kN/m^3)	C_u (kPa)	Fs	한계 쌓기고(m)		적용 한계 쌓기고(m)
				도로공사 제안식	원호활동(H=6.0m)	
1-2-3	18	28.0	1.2	6.66	 Fs = 1.26 〉 1.2 ⇒ O.K	6.0 (구간별 상세검토후 별도 적용)

3.3.6 연약지반 단계 쌓기 검토

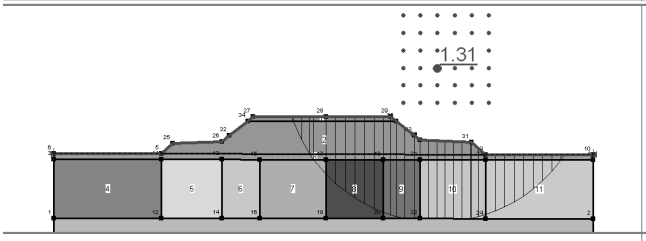
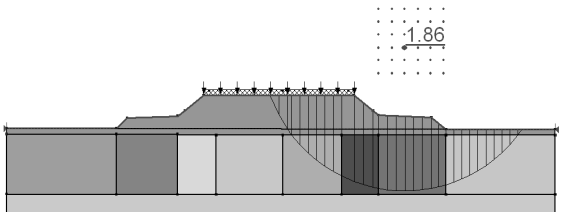
○ 단계쌓기시 쌓기위치에 따른 원지반의 강도증가량(△C)

구 간		연약층심도 (m)	쌓기높이 (H/HT)	점 착 력 (kPa)			압밀도(%) 단계별	비 고
				C1	C2	C3		
1-2-1	1단계	3.7	7.4/7.4	28.0	45.0	59.4	90	일시쌓기
1-2-2	1단계	12.0	7.0/7.0	28.0	42.0	56.4	90	일시쌓기
1-2-3	1단계	11.7	6.0/6.0	28.1	45.9	49.7	60	단계쌓기
	2단계		2.9/8.9	28.4	57.6	65.9	90	

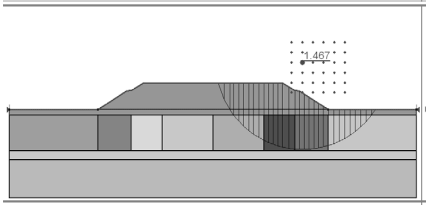
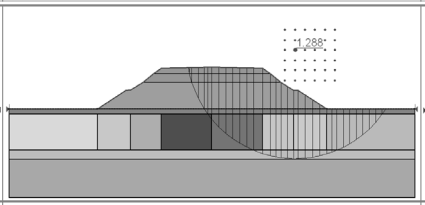
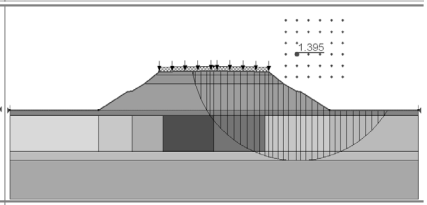
■ 1-2-1 구간 STA. 0+540 부체도로 적용 → 일시쌓기(7.4m) 적용

STA. 0+540 (일시쌓기)	
1단계	공용시 (U=90%)
	
Fs = 1.51 〉 1.2 ⇒ O.K	Fs = 1.50 〉 1.3 ⇒ O.K

■ 1-2-2 구간 STA. 1+280 부체도로 적용 → 일시쌓기(7.0m) 적용

STA. 1+280 (일시쌓기)	
1단계	공용시 (U=90%)
	
Fs = 1.31 〉 1.2 ⇒ O.K	Fs = 1.86 〉 1.3 ⇒ O.K

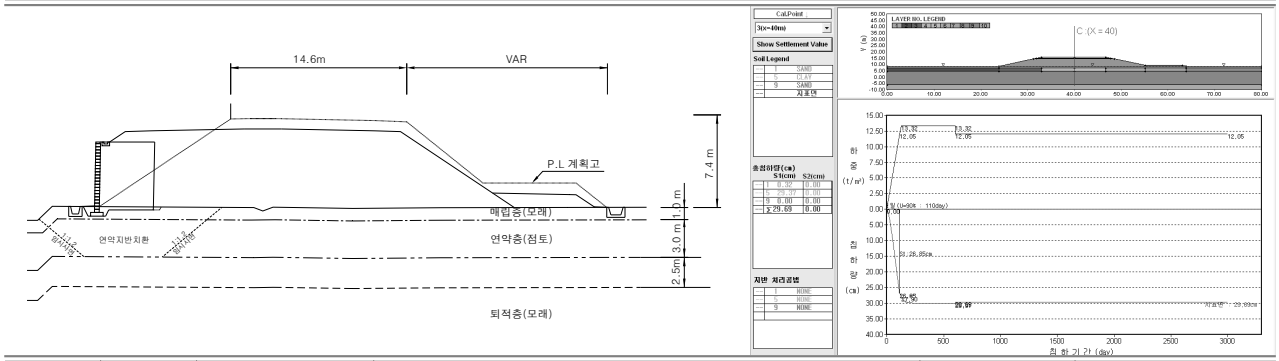
■ 1-2-3 구간 STA. 1+380 → 단계쌓기(한계성토고=6.0m) 적용

STA. 1+380 (단계쌓기)		
1단계	2단계	공용시
		
FS = 1.46 〉 1.2 ⇒ O.K	FS = 1.28 〉 1.2 ⇒ O.K	FS = 1.39 〉 1.3 ⇒ O.K

3.3.7 구간별 연약지반 처리공법 현황

1-2-1 구간 (STA. 0+420~0+660, L=240m)

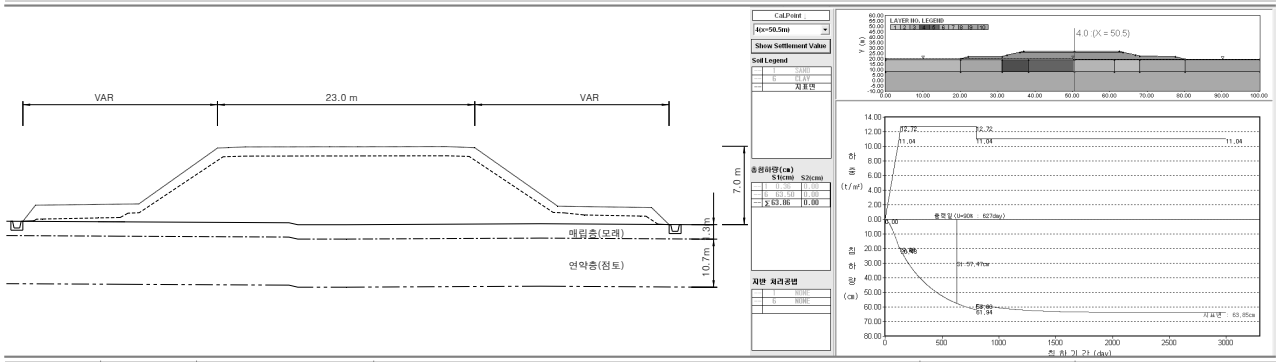
1-2-1 구간 STA. 0+540



총쌓기	단계 쌓기	쌓기고(m)	재 하 기 간			압 밀 도(%)	압밀침하량(cm)
			쌓기기간(개월)	방치기간(개월)	총계(개월)		
7.4	1 단계	7.4	4.9/2.5	6	8.5	90%	29.69
	계	7.4	4.9/2.5	6	8.5		
잔류침하량		총침하량(29.69) - 발생침하량(26.85) = 2.84cm ∴ O.K					
연약지반개량		프리로딩 공법 적용					
비 고		쌓기기간의 1/2은 압밀기간으로 적용					

1-2-2 구간 (STA. 0+880~1+280, L=400m)

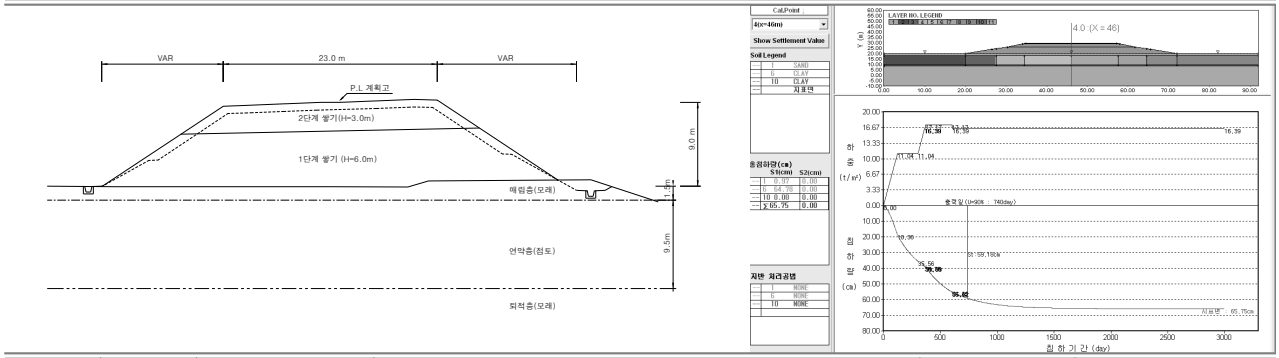
1-2-2 구간 STA. 1+280



총쌓기	단계 쌓기	쌓기고(m)	재 하 기 간			압 밀 도(%)	압밀침하량(cm)
			쌓기기간(개월)	방치기간(개월)	총계(개월)		
7.0	1 단계	7.0	4.6/2.3	23.4	25.7	90%	57.50
	계	7.0	4.6/2.3	23.4	25.7		
잔류침하량		총침하량(63.86) - 발생침하량(57.50) = 6.36cm ∴ O.K					
연약지반개량		프리로딩 공법 적용					
비 고		쌓기기간의 1/2은 압밀기간으로 적용					

■ 1-2-3 구간 (STA. 1+300~1+380, L=80m)

1-2-3 구간 STA. 1+360



총쌓기	단계 쌓기	쌓기고(m)	재 하 기 간			압 밀 도(%)	압밀침하량(cm)
			쌓기기간(개월)	방치기간(개월)	총계(개월)		
8.9	1 단계	6.0	4.0/2.0	6.5	8.5	60	18.36
	2 단계	3.0	2.0/1.0	19	20	90	41.26
계		9.0	6.0/3.0	25.5	28.5		59.62
잔류침하량		총침하량(65.75) - 단계침하량(59.62) = 6.13cm ∴ O.K					
연약지반개량		프리로딩 공법 적용					
비 고		쌓기기간의 1/2은 압밀기간으로 적용					

3.3.8 구간별 연약지반 처리공법 검토결과

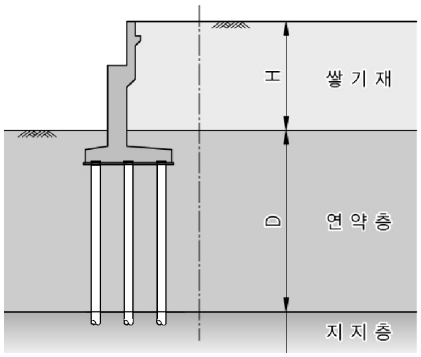
구 간	대표단면 (STA.)	쌓기고 (m)	연약층두께 (m)	적용공법	해석안전율	기준안전율	판 정
1-2-1	0+540	6.6	3.7	일시쌓기	1.50	1.3	O.K
1-2-2	1+280	7.0	12.0	일시쌓기	1.86	1.3	O.K
1-2-3	1+380	8.9	11.7	단계쌓기	1.39	1.3	O.K

3.4 연약지반내 구조물 안정성 검토

3.4.1 연약지반 교대 측방유동 검토

○ 연약지반상의 교대 측방유동 안정성 검토

- 측방유동 가능성이 있는 교대부에 대하여 경험적 방법인 측방유동지수(F), 측방유동판정지수(I), 원호활동파괴에 대한 안정성 검토를 우선 수행
- 교대는 비탈면의 안정성 보다는 사면변형에 의한 구조물 기능이 문제될 수 있으므로 안전율 기준을 말뚝효과 미고려시 Fs=1.5, 말뚝효과 고려시 Fs=1.8을 적용함 (국내연구결과 참조, 1994 홍원표)
- 연약지반의 경우 성토로 인한 강도증가를 고려하여 안정성 검토
- 안정성 검토결과 측방유동의 우려가 있는 경우 대책공법을 검토하여 안정성 재검토

판 정 기 준	판정 방법	비 고
측방유동지수(F)에 의한 방법 (일본도로공단)	•판정방법 : $F = c_u / (\gamma \cdot H \cdot D) > 0.04$ •판 정 : 0.027 < 0.04 - 교대의 측방유동 가능성 있음	
측방유동판정지수(I_L)에 의한 판정법 (일본건설성 토목연구소)	•판정방법 : $I_L = \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3 \cdot \gamma \cdot H / c_u < 1.2$ •판 정 : 1.04 < 1.2 - 교대의 측방유동 가능성 없음	
활동에 대한 안전율(Fs)에 의한 방법 (홍원표, 1991)	•말뚝 미고려시 1.5 이상 : 교대의 측방유동 가능성 없음 •말뚝 고 려 시 1.8 이상 : 교대의 측방유동 가능성 없음	• SLOPILE 결과

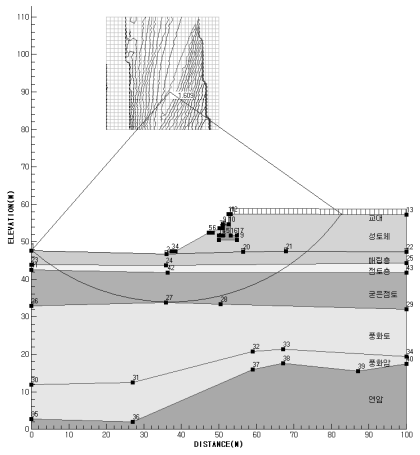
○ 측방유동 판정

공구	교량명	성토고 (m)	전단강도	판정지수	유동지수	판정	지층 현황
			Cu, kPa	F≥0.04	I_L≤1.2		
1공구	강매1교 A1	10.0	28.0	0.016	2.522	N.G	하부 점토층이 10.0m로 분포하나, 과압밀구간의 굳은 점토로 판정 (평균 N값 10)
	성사3교 A2	8.0	28.0	0.078	1.123	O.K	연약점토층이 3.0m 분포 (평균 N값 4)
	창릉천교 A1	8.7	28.0	0.019	2.353	N.G	상부 연약점토층이 6.0m 분포 (평균 N값 4) 하부 굳은점토층이 3.5m 분포 (평균 N값 9)

강매1교 A1

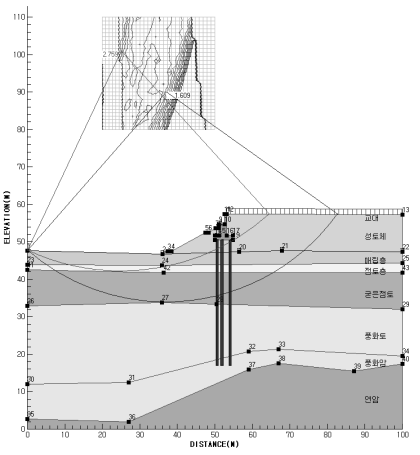
원지반

말뚝 미고려시



Fs = 1.60 1.5 ∴ O.K

말뚝 고려시



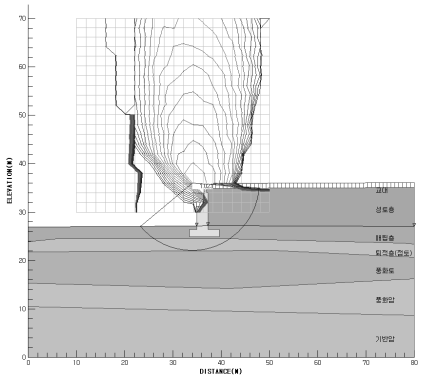
Fs = 2.75 1.8 ∴ O.K

검 토 위 치	검토결과		비 고
	말뚝 미고려시	말뚝 고려시	
강매2교 A1	1.60 1.5	2.75 1.8	기준 안전율 이상 검토되어 안정

성사3교 A2

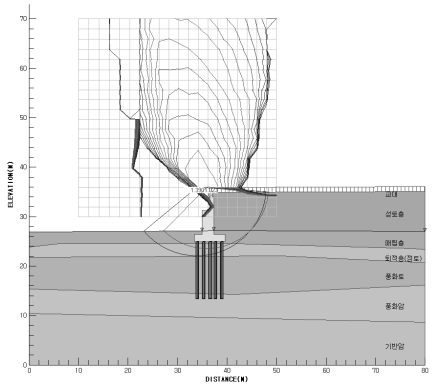
원지반

말뚝 미고려시



Fs = 1.02 〈 1.5 ∴ N.G

말뚝 고려시



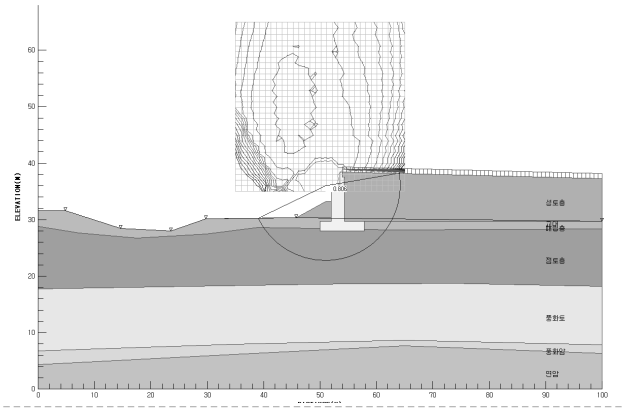
Fs = 1.39 〈 1.8 ∴ N.G

검 토 위 치	검토결과		비 고
	말뚝 미고려시	말뚝 고려시	
성사3교 A2	1.02 〈 1.5	1.39 〈 1.8	기준 안전율 이하로 검토

창릉천교 A1

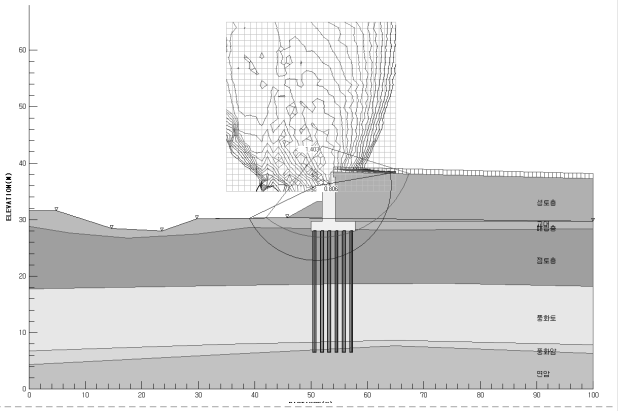
원지반

말뚝 미고려시



Fs = 0.80 〈 1.5 ∴ N.G

말뚝 고려시



Fs = 1.40 〈 1.8 ∴ N.G

검 토 위 치	검토결과		비 고
	말뚝 미고려시	말뚝 고려시	
창릉천교 A1	0.80 〈 1.5	1.40 〈 1.8	기준 안전율 이하로 검토

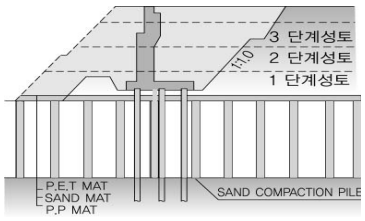
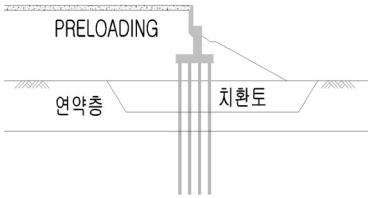
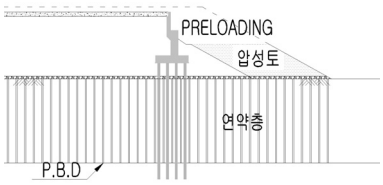
원지반 측방유동 검토결과

공구	교량명	성토고 (m)	원지반		검토 결과	대책 공법
			말뚝 고려	말뚝 미고려		
1공구	강매1교 A2	10.6	2.75	1.60	O.K	–
	성사3교 A2	8.0	1.39	1.02	N.G	필요
	창릉천교 A1	8.7	0.80	1.40	N.G	필요

3.4.2 연약지반 측방유동 대책공법 검토

- 측방유동에 대한 원인으로는 쌓기고, 쌓기재료 단위중량, 연약층의 전단강도 및 두께, 구조물의 형식 및 치수, 기초의 형식 및 강성 등을 들 수 있다.
- 측방유동에 대한 대책공법은 이들 요인을 개선시키는 것을 기본적인 접근 방법으로 하며, 위치별로 구분하여 보면 뒤채움 쌓기부, 연약지반부, 교대부, 기초부로 구분할 수 있다.
- 구조물의 측방유동에 영향을 미치는 영향요인은 구조물 위치에 관련된 요인이라 할 수 있으며, 대책공법을 정리하면 다음과 같다.

◎ 측방유동 대책공법 검토

구 분	S.C.P 공법	치환공법	압성토공법
개요도			
개 요	• 활동 저항 효과가 양호한 S.C.P를 교대 전면부에 타설한후 Preloading을 가함으로써 복합지반효과에 의한 활동저항력을 증대시키고 연약지반의 전단강도를 증가시켜 교대의 측방유동을 억제하는 공법	• 연약층의 일부나 전부를 제거하고 양질의 토사로 치환하여 지반을 안정시키고 침하 및 활동을 억제하는 공법	• 편재하중에 의한 측방유동압을 방지하기 위해 교대전면부에 성토를 실시하여 활동에 대한 저항효과 증진시키는 공법
장 점	• 품질관리가 용이 • 압밀 탈수에 수반하여 지반의 강성 증대 • 교대 시공전 지반 측방유동을 허용하여 시공후 측방유동 억제 • 지반이 강화되어 기초의 횡저항력 향상	• 연약층이 얕은 경우 효과적 • 개량 효과가 확실 • 토취장, 사토장, 치환량에 따라 공사비 변동이 큼 • 시공효율이 좋음 • 범용기계로 시공가능함 • 공기가 짧아 시공성 좋음	• 공사비 저렴 • 시공성 양호 • 유지보수 용이 • Pre-loading에 유리 • 부지확보가 어려운 경우 비경제적
단 점	• G.C.P 공사비가 다소 고가임. • 기존구조물과 근접해서 시공할 경우 진동에 의한 영향 큼.	• 근접시공등에서는 지반의 변위에 유의할 필요가 있음	• 부지확보가 어려운 경우 비경제적 • 유동압이 큰 경우는 효과가 적다.
선 정	◉	◉	-
검토결과	•교대 측방유동이 예상되는 구간의 대책공법 검토 결과 1공구~3공구 구간은 기초하부 연약층 층후가 3.0m 내외의 구간은 치환 공법 적용하고 5.0m 이상 심도가 출현하는 구간은 프리로딩 + S.C.P 공법 적용 •4공구 구간은 사토발생으로 본선토사 유용에 유리한 부분 치환공법 적용		

모래다짐말뚝(S.C.P)공법 검토

•치환율(a_s)은 원지반을 1.0로 하여 다짐말뚝 체적비로 개량 정도를 나타내는 정수로서, 사질토나 육상 점성토의 개량에는 0.3이하, 해상에서는 0.3~0.8의 범위

•육상공사에서는 말뚝의 지름을 60~80cm(표준 70cm)로 적용, 말뚝을 정삼각형 및 정사각형으로 배치할 경우 치환율(a_s)는 아래와 같이 계산

정사각형 배치

$$a_s = \frac{A_s}{A} = \frac{A_s}{X_2} \text{ 또는 } \frac{A_s}{x_1 x_2}$$

정삼각형 배치

$$a_s = \frac{A_s}{A} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{A_s}{x^2}$$

a_s : 치환율, x1, x2 : 말뚝 사이의 간격 , As : 쇄석말뚝 단면적, A : 말뚝 1개가 부담하는 면적(분담면적)

점토에서의 다짐말뚝 개량효과

응력집중효과

말뚝의 응력집중계수(≥1)	점성토의 응력집중계수(≤1)
$\mu_s = \frac{\sigma_s}{\sigma} = \frac{n \cdot A}{n \cdot A_s + A_c} = \frac{n}{1+(n-1) \cdot a_s}$	$\mu_c = \frac{\sigma_c}{\sigma} = \frac{A}{n \cdot A_s + A_c} = \frac{1}{1+(n-1) \cdot a_s}$

여기서, a_s : 치환율(As/A)　　n : 응력분담비(σ s/σ c = 3)

원지반 치환율과 응력집중효과를 고려한 복합지반 강도

• $\Delta C = C_0 \cdot (1 - a_s \cdot \mu_s)$　　$\varphi = \tan^{-1}(\mu_s \cdot a_s \cdot \tan\varphi_p)$

여기서, n : 응력분담비(=3) C_0 : 점성토 원지반의 초기점착력　a_s : 치환율(As/A)

μ s : 응력증가계수　ø : 모래의 내부마찰각(=30°)

복합지반 압밀침하량 산정

•복합지반에서의 압밀침하량은 점성토지반의 응력이 저감되는 영향을 고려하여 침하량을 산정하였다.

$$S_c = \frac{C_c}{1+e_0} \times H \times \log\left(\frac{P_0 + \beta \times \Delta P}{P_0}\right)$$

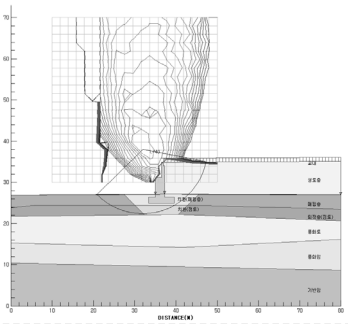
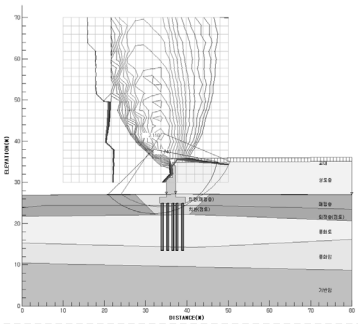
여기서, β : 침하저감계수　(a_s < 0.5일 경우) , $\beta = 1 - a_s$ (a_s > 0.5일 경우)

설계입력치 결정

다짐말뚝 직경 (mm)	다짐말뚝 직경 (mm)	단위중량 (kN/m³)	응력분담비 (n)	내부마찰각 (°)	다짐말뚝 투수계수 (cm/s)
설계입력치	ø700	1.9	3.0	30	1.0 × 10^{-3}이상

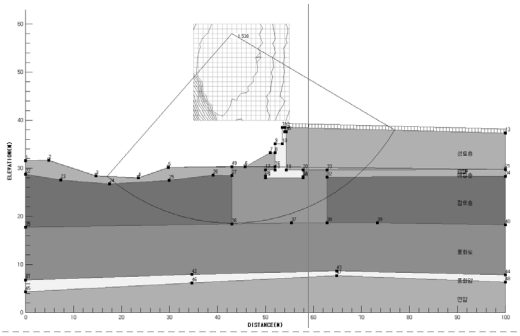
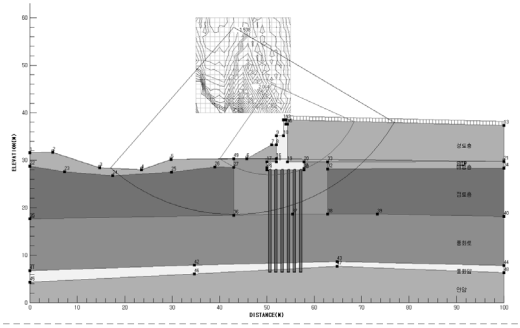
3.4.3 연약지반 측방유동 안정성 검토결과

○ 성사3교 A2(굴착치환)

말뚝 미고려시	말뚝 고려시
	
Fs = 1.74 1.5 ∴ O.K	Fs = 2.11 1.8 ∴ O.K

검 토 위 치	검토결과		비 고
	말뚝 미고려시	말뚝 고려시	
성사 3교 A2	1.74 1.5	2.11 1.8	교대하부 폭 18.0m / 기초하부 심도 2.5m 굴착치환 적용

○ 창릉천교 A1(SCP공법)

말뚝 미고려시	말뚝 고려시
	
Fs = 1.53 1.5 ∴ O.K	Fs = 2.06 1.8 ∴ O.K

검 토 위 치	검토결과		비 고
	말뚝 미고려시	말뚝 고려시	
창릉천교 A1	1.53 1.5	2.06 1.8	교대하부 폭 20.0m, 심도 10.0m, SCP (CTC 1.0×1.0m)적용, 프리로딩 완료 후 구조물 시공

○ 측방 유동 검토 결과

공구	교량명	성토고 (m)	원지반		대책공법 적용시		검토 결과	대책 공법
			말뚝 고려	말뚝 미고려	말뚝 고려	말뚝 미고려		
1공구	성사3교 A2	8.0	1.39	1.02	2.11	1.74	O.K	치환공법
	창릉천교 A1	8.7	1.40	0.80	2.06	1.53	O.K	SCP 공법

3.4.4 굴착 치환시 장비의 Trafficability 검토

•굴착치환시 치환심도가 두꺼운 경우 굴착장비에 대한 지지력 또는 전단강도의 부족으로 전단파괴가 발생할 수 있으므로 장비의 Trafficability 확보여부를 검토함

Dozer(대형)장비의 Trafficability 검토

$$q = \frac{C \cdot Nc}{Fs} + P$$

여기서, q : 허용지지력(kPa) C : 연약지반 점착력(kPa)
Nc : ø=0의 지지력 계수(5.3)
P : 장비의 설계 접지압 (Dozer(대형) : 45kPa
Fs : 단기하중개념으로 1.5를 적용

검토구간	점착력, C(kPa)	허용 지지력(kPa)	장비 접지압(kPa)	판 정	비 고
지선 구간	28.0	98.9	45	O.K	

※ 허용지지력(q) 〉 45.0kPa (장비의 설계접지압)

3.4.5 연약지반상 횡단 구조물 설치방안

기본방향

•일반적으로 연약지반에 설치되는 횡단구조물은 지지력과 침하에 대하여 안정하여야 하며 쌓기 구간에 매설되는 횡단 암거 및 흄관기초 등은 재하중의 규모가 작거나 기초 저면적 폭이 넓어서 지지력이 문제되는 경우는 많지 않으며 주로 침하에 대한 대책이 요구된다. 따라서 사업 구간 내에 분포하는 연약지반상에 횡단구조물을 설치할 경우는 쌓기로 인한 압밀 완료 후 터파기를 실시하여 구조물을 설치하는 것을 우선적용 하고 쌓기고가 높고 연약층 심도가 깊지 않은 구간은 치환 공법 적용하기 때문에 지지력 및 침하에는 문제가 없을 것으로 사료됨

1 공구 지선부 연약지반상 횡단구조물 현황

구 분		위 치 (Sta.)	연 장 (m)	성토고 (m)	규 격 (m)	용 도	연약층심도 (m)	적용 공법
1 공구 지선부	1	1+300	26.4	1.3	4.5×4.5	통로 박스	11.9	Preloading 완료 후
	2	부체도로 1-4	8	0.2	2.5×2.5	수로 박스	6.0	Preloading 완료 후

검토결과

•연약지반 처리공법(Preloading) 적용 및 터파기 후 횡단구조물 시공시 원지반 지지력 및 침하에 대하여 안정성 확보

시공순서 및 주의 사항

•일반적으로 연약지반에 설치되는 BOX 구조물 및 횡배수관 설치는 쌓기로 인한 압밀이 완료된 후 터파기를 실시하고 설치하여야 하며, 터파기시 굴착된 토사가 굴착배면에 야적되지 않도록 하여야 한다. 시공 순서는 다음과 같다.

1. 원지반 정지 및 수평배수공 설치
2. 필요시 P.E.T MAT 부설, 단계쌓기 및 방치 (계획고+P/L고)
3. 프리로딩 완료 후 터파기 및 기초하부 잡석 부설
4. 횡단구조물 시공
5. 뒷채움 및 되메우기 다짐

제 4 장 연약지반 계측관리 계획

4.1 연약지반 계측관리 계획

4.1.1 연약지반 계측관리

기본방향	•연약지반 개량 설계는 복잡한 자연현상(토층 및 토질특성)을 단순화시켜 시행되므로 설계시 추정치의 불확실성과 설계 단계에서의 자료 부족을 보완 •일반계측, 시공시 중점계측, 장기계측 으로 구분하여 계측항목 및 배치계획 수립

◎ 연약지반 계측 목적 및 항목

계측항목	계측기 선정	설 치 목 적 및 이 용	적용
변 위	지표침하판 지중경사계	•최종 침하량 추정 및 Pre-loading 제거시기 결정	◉
수 압	간극수압계 지하수위계	•성토하중에 의한 과잉간극수압 변화 측정 및 지반개량효과 판정 •침하진행 상황 검토 및 Pre-loading 제거시기 결정	

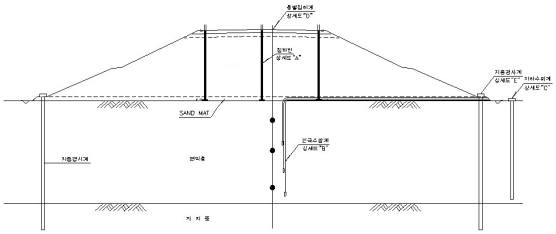
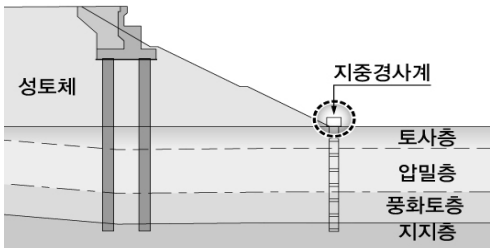
4.1.2 연약지반 계측계획

◎ 계측위치 및 빈도

항 목	도로설계요령 (도로공사)	국도설계요령 (건교부)	정보화 시공 (지반공학회)	설 계 적 용	계 측 수 량 1공구
지표침하판	1개소/100m	3개소/100m 간격	3개소/500m	1개소/100m간격 (중앙부,노견양측)	6
지중경사계	전단파괴 예상지점 및 교대부	좌동	2개소/200m	1개소/200m간격 (비탈면 양쪽끝)	6
간극수압계	대심도 연약지반 및 높은쌓기지역	1개소/200m	1개소/200m	1개소/200m간격 (중앙부)	3
지하수위계	-	1개소/200m	1개소/200m	1개소/200m간격 (비탈면 양쪽끝)	6

항 목	쌓기 구간					교대 측방유동 검측구간			
	지반개량 공사중	쌓기 기간중	쌓기 종료 후			지반개량 공사중	구조물 시공중	뒷채움 쌓기중	쌓기 완료후
			최초1개월	1개월~3개월	3개월이후				
지표침하판	1회/1주	1회/1일	1회/3일	1회/1주	1회/1월	-	-	-	-
지중경사계	1회/1월	1회/1일	1회/3일	1회/1주	1회/1월	-	1회/1주	1회/1일	1회/1주
간극수압계	-	1회/3일	1회/1주	1회/2주	-	-	-	-	-
지하수위계	-	1회/3일	1회/1주	1회/2주	-	-	-	-	-

○ 계측기 설치 표준도

구 분	쌓 기 구 간	교대 전면부
설 치 위 치 도		

4.1.3 연약지반 침하안정 관리

○ 침하관리

•연약지반 설계치와 실측치가 통상적으로 상이하여실측 침하곡선에 적합한 곡선식을 도출하여 앞으로의 침하를 추정한 후 당초설계를 검토하여 실측 침하와 불일치할 경우 합리적으로 변경

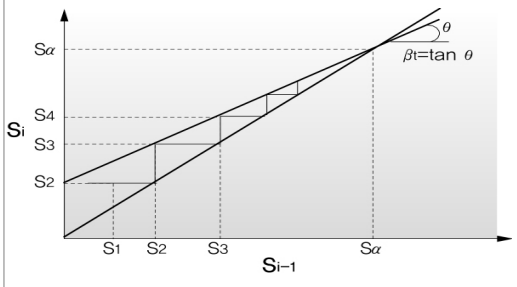
■ Asaoka법

•ASAOKA는 1차원 압밀방정식에 의거 하중이 일정할 때의 침하량을 나타내는 간편식으로 다음과 같은 식을 제안

$$S_i = \beta + \beta \cdot S_{i-1}$$ 여기서,

S_t : 시간 t를 이산화하여 $t_i = t \times i$로 할 때 시간 t_i에서의 침하량, S_{t-1} : 시간 $t_{i-1} = \Delta t \times (i-1)$에서의 침하량, β_1, β_2 : 시간계수

•위 식으로부터 최종침하량은 도시한 직선과 $S_i = S_{i-1}$인 직선(45°)의 교점으로부터 도식적으로 구할 수 있으며 그 산정식은 다음과 같음 $S_f = \frac{\beta_0}{1-\beta_1}$



쌍곡선법

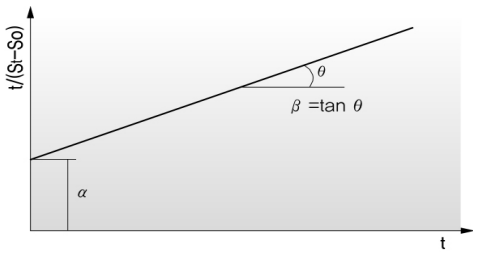
•이 방법은 "침하의 평균속도가 쌍곡선적으로 감소한다."는 가정하에 초기의 실측 침하량으로부터 장래의 장기 침하량을 예측하는 방법

$$S_t = S_0 + \frac{t}{(\alpha + \beta \times t)}$$ 여기서,

S_t : 쌓기종료 경과시간 t에서의 침하량, S_0 : 쌓기종료 직후의 침하량, t : 쌓기종료 시점으로부터의 경과시간, α, β : 실측침하량으로부터 구한 계수

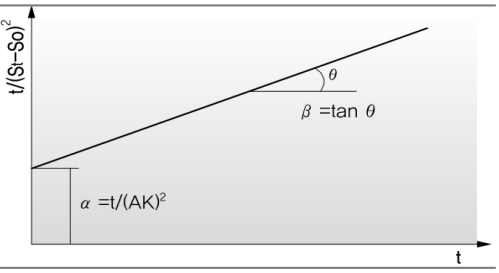
•위 식으로부터 쌓기종료 후 t 시간동안의 실측침하량을 기초로 하여 t/(st-s0)를 계산한 다음 t - t/(st-s0)의 관계를 PLOT하여 α, β 값을 결정 최종침하량(Sf)은 t=∞로 보면 다음 식과 같이 구함

$$S_f = S_0 + \frac{1}{\beta}$$



Hoshino법

•유동변형을 포함한 전침하량은 시간의 평방근에 비례한다는 가정으로부터 장래의 침하량을 예측하는 방법으로서 쌓기종료 후 실측침하량을 기초로 시간(t)과 $t/(S_t-S_o)^2$ 을 plot하고 이 점들 중 후반부의 직선부분을 연결하여 미지수 A, K에 의해 침하량을 계산



안정 관리

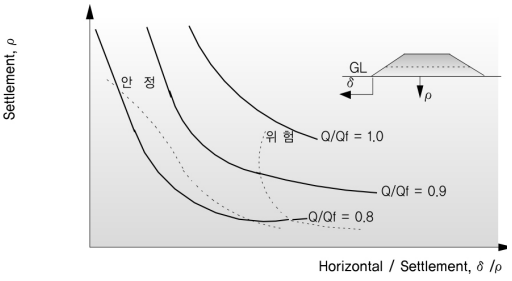
•쌓기 중앙부의 침하량과 쌓기 사면부 끝단에서의 변형량 및 변형속도로부터 쌓기사면의 안정성을 판단하여 쌓기 속도의 제어, 시공의 일시중지 또는 쌓기의 일부제거 등 그 대책을 수립하며, 필요시 강도시험 수행

Matsuo-kawamura법

•쌓기의 파괴사례를 조사하여 파괴시의 S(쌓기중앙의 침하량)과 δ /S(δ 는 쌓기비탈면의 수평변위량)의 관계가 대개 하나의 곡선으로 표시됨을 착안하여 시공중의 측정치를 S - δ /S도상에 아래 그림과 같이 파괴기준선에 근접하는지에 따라 안정 및 불안정을 판단하는 방법

•여기서 Pf는 파괴시의 하중을 나타내고 Pj는 임의의 시점에서 하중을 나타내며 Pi/Pj가 1이 되면 파괴기준선이 되며, Pj/Pf=0.9이면 준파괴선이고, Pj/Pf=0.8이면 위험선

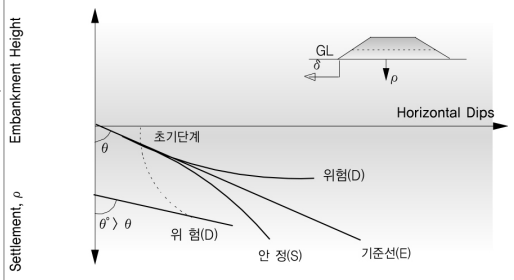
•일반적으로 판단기준으로는 Pj/Pf=0.9인 준파괴선을 이용하며, 그 이유는 S - δ /S의 관계가 준파괴선에 도달하면 쌓기비탈면에 CRACK이 나타나기 시작하기 때문임



Tominaga-Hashimoto법

•쌓기중앙부의 침하량 S와 쌓기비탈면 선단의 수평변위량 δ 의 관계를 그래프로 나타내면, 쌓기높이가 낮아 안정한 구간에서는 직선적인 관계에 있지만 쌓기높이가 높아져 불안정한 상태가 되면 δ 의 증가가 S에 비해서 상대적으로 커지게 된다는 것이 경험적으로 판명

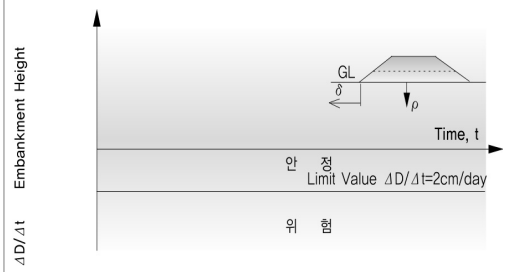
•즉 $\Delta\delta / \Delta S$를 α 라 할 때 α 의 값이 점차 감소경향을 나타내면 지반이 안정상태로 되는 반면 지반이 불안정상태로 되면 α 값의 증가율은 일정한 변곡점을 지나 점차 불안정하게 됨



Kurihara법

•쌓기비탈면의 수평변위속도에 착안하여 관리하는 방법

•측정치에는 $\Delta\delta / \Delta t$와 t와의 관계를 PLOT하여 $\Delta\delta / \Delta t$가 어느 한계치(통상 2cm/day)를 넘는 경우에 위험하다고 판단하므로 현장에서 적용이 간단



제9편 토공설계

제1장 토공 설계개요

제2장 토공계획

제3장 발파 설계

제 1 장 토공 설계개요

1.1 설계개요

기본방향	•지층의 공학적 특성파악으로 토공재료의 활용성 검토 및 토공분석 신뢰성 도출 •토공구간 재료시험을 통한 토량 환산계수 및 다짐도 평가 •사업구간 내에 발생암 유용성 및 쌓기재 적용시 다짐방법·품질관리기준 제시 •비탈면 발파 시공 시 인근 가옥 및 구조물 등에 미치는 영향을 최소화할 방안과 대책 수립

1.1.1 기본방향

지반조사 및 분석

•토공재료의 활용을 위한 시추조사

•토량환산을 위한 들밀도 시험, 실내다짐, 실내 CBR시험을 통한 분석

설 계 기 준

•쌓기재료 다짐특성과 토량변화율 제시

•노반시료의 설계CBR 및 암버력 유용성검토

•쌓기재 노체재료 유용 및 노상재료 선별 사용

암반파쇄 특성을 고려한 발파 및 토공설계

•굴착난이도 평가에 의한 굴착공법 선정

•깎기-쌓기 구간의 부등침하분석에 의한 안정성 검토 및 대책 수립(Approch Slab 설치)

안 정 성 검 토

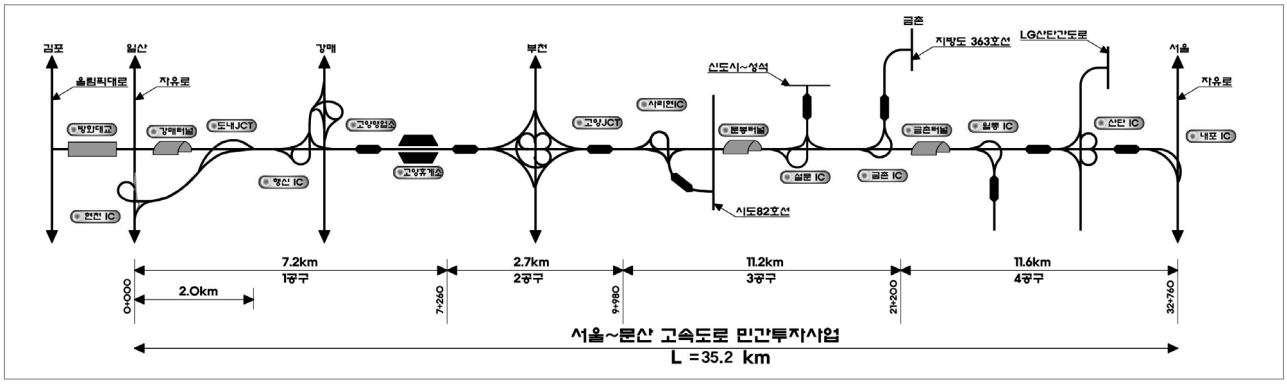
•계획노선 주변 환경과 지반 조건을 고려하여 합리적이고 경제적인 발파설계

•발파 추정식에 의한 진동-소음 영향원 검토 (민원예상 대책수립)

개량공법 선정

구 분	주요 검토사항
깎기부 토공작업	•굴착난이도 분석에 의한 굴착방법 평가 및 구간별 깎기부 토공방안 제시
노반재료 평가	•노상토의 지지력 평가 및 노반재료의 다짐특성 검토 •토량변화율 및 노반재의 적합성 평가
쌓기부 토공작업	•쌓기 비탈면 시공방안 검토 및 쌓기재 특성에 따른 다짐방법 검토 •암버력 쌓기 검토
발 파 설 계	•발파 영향 분석 장약량 및 발파패턴 선정

1.1.2 토공현황



제 2 장 토공계획

2.1 쌓기구간 토공계획

기본방향	•흙의 다짐효과는 흙의 종류, 함수비, 다짐에너지의 종류 및 크기에 따라 달라지며, 다짐으로서 흙입자간의 간격이 감소하여 밀도는 증가되고 투수성이 감소하며, 강도가 증가 •다짐특성 파악을 위해 시험굴 조사에 대하여 다짐시험(A, D방법)을 각각 9회 시행

2.1.1 쌓기재료의 특성평가

○ 쌓기재료의 다짐특성 분석

▪ 기본계획

공 번		심 도 (m)	지 층	A다짐		D다짐		CBR(%)	USCS
				건조단위중량 (kN/m^3)	OMC(%)	건조단위중량 (kN/m^3)	OMC(%)		
1공구	TP-1	1.8	풍화토	18.36	14.2	19.42	10.8	12.8	SM
3공구	TP-2	1.5	풍화토	18.18	14.9	19.36	11.4	12.4	SM
	TP-3	2.0	풍화토	17.72	15.4	18.93	12.7	11.4	SM
4공구	TP-4	2.0	풍화토	17.89	15.5	19.01	12.1	11.7	SM
	TP-5	2.0	풍화암	18.23	14.7	19.38	10.4	12.1	SM
	TP-6	2.0	풍화암	17.82	15.7	18.86	11.9	10.8	SM
1공구	TP-7	2.0	풍화토	18.30	14.9	19.49	10.7	12.5	SM
2공구	TP-8	1.9	풍화토	17.76	16.3	18.74	12.5	10.6	SM
4공구	TP-9	2.0	풍화토	17.92	16.1	18.82	12.0	10.3	SM

▪ 실시설계

공 번		심 도 (m)	지 층	A다짐		D다짐		CBR(%)	USCS
				건조단위중량 (kN/m^3)	OMC(%)	건조단위중량 (kN/m^3)	OMC(%)		
1,2 공구	NTP-1	1.0	풍화토	16.94	15.9	18.54	12.7	13.2	SM
	NTP-2	1.0	풍화토	17.30	14.8	18.87	11.9	13.7	SM
	NTP-3	1.0	풍화토	17.39	13.8	19.05	11.1	16.5	SM
	NTP-4	1.0	풍화토	17.86	13.2	19.49	10.3	17.2	SM
3 공구	NTP-5	1.0	풍화토	18.36	12.3	19.76	9.8	18.1	SM
	NTP-6	1.0	풍화토	17.57	15.6	19.06	12.2	15.2	SM
	NTP-7	1.0	풍화토	17.82	14.1	19.39	11.4	16.9	SM
4 공구	NTP-8	1.0	풍화토	17.19	14.9	18.77	11.8	14.2	SM
	NTP-9	1.0	풍화토	17.66	14.3	19.13	11.5	16.1	SM

검토결과	•건조단위중량은 A다짐:16.94~18.36kN/m^3(평균 17.6), D다짐:18.54~19.76kN/m^3 (평균 19.1) •CBR는 10.3~18.1%(평균 15.7%)의 범위로 나타남

2.1.2 쌓기재료의 토량변화율

구 분	심 도 (GL. -m)	구성 성분	불교란상태		교란상태		L값
			습윤단위중량 (kN/m^3)	건조단위중량 (kN/m^3)	습윤단위중량 (kN/m^3)	건조단위중량 (kN/m^3)	
NTP-1	1.0	SM	18.5	15.2	17.7	14.6	1.041
NTP-2	1.0	SM	1.80	15.8	16.4	14.4	1.080
NTP-3	1.0	SM	1.88	16.9	15.6	14.0	1.210
NTP-4	1.0	SM	1.79	15.2	16.0	13.6	1.120
NTP-5	1.0	SM	1.82	17.1	15.7	14.7	1.162
NTP-6	1.0	SM	1.86	16.0	16.4	14.1	1.137
NTP-7	1.0	SM	1.84	15.3	17.1	14.2	1.077
NTP-8	1.0	SM	1.89	15.5	18.4	15.1	1.027
NTP-9	1.0	SM	1.87	15.3	15.7	12.9	1.185

•토량변화율 C, L값은 자연상태에 대한 다짐 및 흐트러진 상태의 비로서 산정

$$C = \frac{\text{다짐상태의 토량}(m^3)}{\text{원지반상태의 토량}(m^3)} = \frac{\text{원지반상태의 단위중량}(KN/m^3)}{\text{다짐상태의 단위중량}(KN/m^3)}$$

$$L = \frac{\text{흐트러진상태(굴착후)의 토량}(m^3)}{\text{원지반상태의 토량}(m^3)} = \frac{\text{원지반상태의 단위중량}(KN/m^3)}{\text{흐트러진상태(굴착후)의 단위중량}(KN/m^3)}$$

○ 토량변화율의 적용

■ 국도건설공사 설계실무요령(2003)

구 분	C	L
토 사	0.9	1.3
리 핑 암	1.1	1.35
발 파 암	1.28	1.625

■ 건설표준품셈의 토량변화율

구 분	C	L
경 암	1.30 ~ 1.50	1.70 ~ 2.00
연 암	1.00 ~ 1.30	1.30 ~ 1.50
호 박 돌	0.95 ~ 1.05	1.10 ~ 1.15
모래 암괴, 호박돌섞인모래	0.85 ~ 0.95 0.90 ~ 1.00	1.10 ~ 1.20 1.15 ~ 1.20
자 갈	1.10 ~ 1.05	1.10 ~ 1.20
자 갈 질 토	0.90 ~ 1.00	1.15 ~ 1.20
점질토 호박돌 암괴, 호박돌 섞인 점토	0.85 ~ 0.95 0.90 ~ 1.00 0.90 ~ 0.95	1.25 ~ 1.35 1.35 ~ 1.40 1.40 ~ 1.45

○ 설계 적용

구 분	토 사	리 핑 암	발 파 암
C	0.9	1.1	1.28
L	1.3	1.35	1.625

2.1.3 설계 CBR 검토

•포장두께 결정을 위하여는 노상 쌓기재의 지지력 계수인 CBR 이외에 통과 교통량, 동결심도 등 포장에 영향을 주는 여러 가지 요소들을 충분히 조사분석

• 설계 CBR = CBR 평균치 $-\left(\frac{\text{CBR 최대값 - CBR 최소값}}{C}\right)$ 여기서 C(d2)=설계 CBR 계산용 계수

개수(n)	3	4	5	6	7	8	9	10
r(n, 0.05)	0.941	0.765	0.642	0.560	0.507	0.468	0.437	0.412

개수(n)	3	4	5	6	7	8	9	10
d2	1.41	1.91	2.24	2.48	2.67	2.83	2.96	3.08

○ CBR시험결과

■ 기본계획

구분	1,2공구				3공구			4공구	
	TP-1	TP-2	TP-3	TP-4	TP-5	TP-6	TP-7	TP-8	TP-9
CBR(%)	12.8	12.4	11.4	11.7	12.1	10.8	12.5	10.6	

■ 실시설계

구분	1,2공구				3공구			4공구	
	NTP-1	NTP-2	NTP-3	NTP-4	NTP-5	NTP-6	NTP-7	NTP-8	NTP-9
CBR(%)	13.2	13.7	16.5	17.2	18.1	15.2	16.9	14.2	16.1

○ 설계 CBR 계산결과

구분		1~4공구
기각판정	최대치	$r = \frac{X_n - X_{(n-1)}}{X_n - X_i} = \frac{18.1 - 17.2}{18.1 - 10.3} = 0.115 < 0.412 \ \therefore \ \text{O.K.}$
	최소치	$r = \frac{X_2 - X_1}{X_n - X_i} = \frac{10.6 - 10.3}{18.1 - 10.3} = 0.038 < 0.412 \ \therefore \ \text{O.K}$
CBR산정		$\text{계산 CBR} = \text{CBR(Ave)} - \frac{\text{CBR}_{\text{Max}} - \text{CBR}_{(\text{Min})}}{d_2}$ $13.7 - \frac{18.1 - 10.3}{3.18} = 11.3(\%)$
검토 결과		•CBR 산정결과 노상재료의 품질기준(10%)보다 큰 것으로 나타났으나 이는 시험시료에 따라 차이가 발생 할 수 있으므로 도로개설시 깎기 및 터널구간에서 발생하는 토사를 이용해서 도로의 노상 또는 노체로 사용할 경우 적합한 재료를 선별하여 사용

2.1.4 쌓기재료의 품질 평가

○ 쌓기재료의 품질기준 (국도건설공사 설계실무요령, 2003)

구 분	노 상		노 체		비 고
	상 부	하 부	토 사	암 괴	
최대치수	100mm	150mm	–	–	–
#4체 통과량	25~100%	–	–	–	–
#200체 통과량	0~25%	50%이하	–	–	–
#40체 통과분에 대한소성지수	10이하	20이하	–	–	–
수침 CBR(시방최소밀도)	10이상(20이상)	5이상(10이상)	2.5 이상	–	–
다짐도	95% 이상	90% 이상	90% 이상	시험시공 결정	KSF 2312
시공층 두께	20cm 이하	20cm 이하	30cm 이하	시험시공 결정	한층당 마무리두께

○ 쌓기재료의 유용성 검토

구 분	통일분류 (USCS)	#4체 통과량	#200체 통과량	소성 지수	CBR (%)	국도건설공사 설계실무		
						상부노상	하부노상	노체(토사)
NTP-1	SM	97.9	41.4	–	13.2	부적합	적 합	적 합
NTP-2	SW-SM	97.0	44.8	–	13.7	부적합	적 합	적 합
NTP-3	SW-SM	89.0	36.4	–	16.5	부적합	적 합	적 합
NTP-4	SW-SM	84.8	37.4	–	17.2	부적합	적 합	적 합
NTP-5	SW-SM	71.9	29.0	–	18.1	부적합	적 합	적 합
NTP-6	SW-SM	93.2	39.3	–	15.2	부적합	적 합	적 합
NTP-7	SW-SM	89.5	40.9	–	16.9	부적합	적 합	적 합
NTP-8	SW-SM	100.0	38.1	–	14.2	부적합	적 합	적 합
NTP-9	SM	96.1	43.3	–	16.1	부적합	적 합	적 합

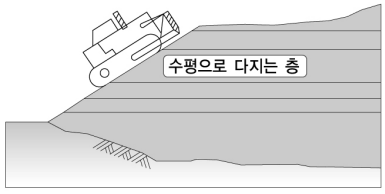
•깎기 구간 발생유용토는 하부노상 및 노체재료로 적합하나 상부노상재료로는 부적합한 것으로 검토
➡ 노상재료로 유용시 현장시험을 통해 선별적으로 사용

2.1.5 쌓기비탈면의 다짐시공 관리

•쌓기 재료의 품질기준(공사시방서, 건설교통부, 1998)을 만족시킬 수 있도록 현장 다짐관리를 수행
•쌓기 본체는 다짐기계 등을 사용하여 다짐이 충분하나 비탈면 선단은 다짐이 불충분할 수 있음
•비탈면 붕괴 방지를 위해 비탈면 표층부의 시공은 쌓기 본체와 동시에 실시하도록 함

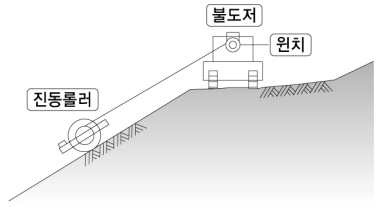
○ 쌓기 비탈면 다짐방법

불도져등에 의한 비탈면 다짐



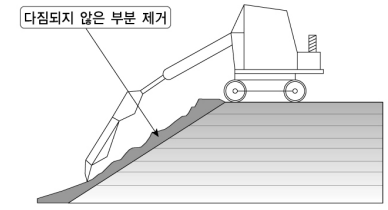
•흙쌓기의 전폭을 1층마다 다짐
•1~3층 올라갈 때마다 비탈면을 상하로 주행시켜 다짐

인력과 소형기계에 의한 다짐



•흙쌓기 본체 구성 후 비탈면에 흙을 보충하면서 소형 다짐기계로 다짐

흙쌓기폭 보다 넓게 완성 후 굴착, 정형하는 방법



•용지폭의 여유가 있거나 부채도로가 있는 경우 흙쌓기 폭보다 여유 있게 제체 형성 후 흙쌓기 단부절취

2.1.6 쌓기구간 시공관리

○ 저성토 구간

•노상부의 전압이 되지 않아 지지력 확보가 어려움
•지하수위가 노상부근까지 상승시 노상의 지지력저하
•교통하중이 쌓기재에서 분산이 안되고 지반에 도달하여, 지반의 침하를 촉진
•강성이 높은 쌓기재료(양질토)로 시공
•쌓기내부의 배수를 양호하게 함
•쌓기재료는 입도가 양호한 것을 선택하여 충분히 다짐

○ 고성토 구간

•고성토의 설계 및 시공에 있어서는 흙쌓기의 압축 침하 및 안정에 대하여 세심한 주의가 필요
•쌓기부의 안정해석은 쌓기재료의 특성, 지형조건, 지지층의 강도특성을 고려
•시공 중 쌓기재의 균일한 다짐도 확보와 더불어 쌓기재의 효과적인 배분, 적절한 다짐장비의 적용

○ 설계 및 시공상의 유의사항

구 분	설계 및 시공상의 유의사항
안정검토	•고성토의 안정도모를 위해서 기초지반의 개량, 흙쌓기 재료의 적절한 선정, 배수 대책 철저, 비탈면 보호공 및 다짐의 강화 등이 필요 •시공시 거동관측을 포함한 안정 대책 수립
기초지반	•연약지반, 경사지반, 비탈면활동 등 불안정한 기초지반위에 고성토 할 경우 세밀한 사전조사와 시공단계에서의 조사가 필요

2.1.7 암버력 쌓기

암버력 쌓기시 문제점 및 관리기준

암버력 쌓기시 문제점

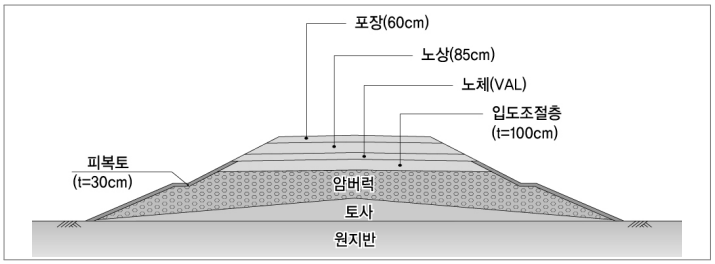
- 암버력과 상부세립재의 입경차로 세립토 침출
- 파쇄, 또는 수침반복등 연화로 인한 침하 발생
- 제체 및 기초지반의 침하
- 흙쌓기 제체의 활동 파괴

암버력 쌓기기준

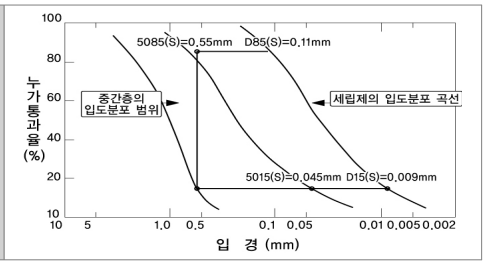
- 입경 : 60㎝이하로 선별 또는 분쇄
- 쌓기1층 다짐두께 : 60㎝이하
- 대형진동다짐장비
- 평판재하시험으로 관리

골재입경과 필터조건

- 중간 필터작용 : 침식방지 필터역할 수행
  D15F/D85S < 5, D15F/D15S > 5
- 입도분포곡선 : 입도분포곡선은 서로 평행해야 함
  D50F < 25D50S
- 침식방지 조건 : 투수성과 간극이 크지 않아야함
  D15F < 40D15S, D15F < 5D80S



입도분포곡선



구 분	암 쌓 기 입 경	상부노체 두 께	쌓 기		다 짐	
			1층다짐두께	중간복토규정	다짐장비	다짐관리규정
공사시방서 ('98, 건교부)	30cm 이하	60cm	90cm 이하	암·일반재료 교차시공	Shift-Roller	상대밀도 70%이상
토목공사 일반표준시방서 ('92)	60cm 이하	50cm	암버력 최대 직경 2배	규정 없음	대형진동	규정없음
도로공사 표준시방서 ('92, 건교부)	60cm 이하	60cm	60cm 이하	규정 없음	대형진동	평판재하 시험관리
고속도로공사전문시방서 ('98, 건교부)	60cm 이하	60cm	60cm 이하	규정 없음	대형진동	평판재하 시험관리
설 계 적 용	60cm 이하	60cm	60cm 이하	양호한 재료	대형진동	평판재하 시험관리

2.2 깎기구간 토공계획

기본방향

- 깎기의 난이도는 지층의 토질 구성상태, 암질, 풍화상태, 절리발달 상태 등에 따라 방안 제시
- 깎기 시공시에 깎기 방법 결정과 깎기 비용을 산출하기 위하여 깎기 난이도에 따라 지층을 토사, 리핑암, 발파암으로 구분하여 토공작업을 실시하도록 계획
- 비탈면 깎기시 사용되는 굴착방법은 지표지질조사 및 시추조사 결과로부터 구해지는 암석의 균열빈도와 강도와의 관계로부터 결정하거나 탄성파 탐사결과를 참고하여 결정
- 지층별 깎기 구분을 하여 도져나 백호 작업이 가능한 토사, 리퍼 작업이 가능한 리핑암과 발파에 의해 절취되는 발파암으로 구분
- 주요 깎기 구간에 대해서는 국도건설공사 설계실무요령에 의거 암반 분류 실시

2.2.1 굴착 난이도 평가방법

•토공설계를 위해 사용되는 지층별 굴착방법과 탄성파 속도에 따른 리퍼빌러티(Rippability)등 국내에서 제시된 굴착난이도 평가방법 제시

○ 지층별 굴착방법 (기존사례)

구 분	굴 착 방 법	비 고
표토, 풍화토	도져(Dozer)	-
붕 적 층	도져(Dozer)	일부 대규모 전석(φ=100~200cm)은 발파
풍 화 암	리핑(Ripping)	-
연 암	발파(Blasting)	균열이 심한 부분은 리핑으로 가능
보 통 암	발파(Blasting)	-

○ 암석경도 및 강도에 의한 판정 (F.G. Bell, Engineering in Rock Masses)

Rock Hardness Description	Unconfined Compression Strength (MPa)	Seismic Wave Velocity (m/sec)	Excavation Characteristics
Very Soft Rock	1.7~3.0	450~1,200	Easy Ripping
Soft Rock	3.0~10.0	1,200~1,500	Hard Ripping
Hard Rock	10.0~20.0	1,500~1,850	Very Hard Ripping
Very Hard Rock	20.0~70.0	1,850~2,150	Extremely Hard Ripping or Blasting
Extremely Hard Rock	70.0	2,150	Blasting

○ 절리간격에 의한 판정

Joint Spacing Description	Spacing of Joints (mm)	Rock Mass Grading	Excavation Characteristics
Very Close	50	Crushed/Shattered	Easy Ripping
Close	50~300	Fractured	Hard Ripping
Moderately Close	300~1,000	Block/Seamy	Very Hard Ripping
Wide	1,000~3,000	Massive	Extremely Hard Ripping or Blasting
Very Wide	3,000	Solid/Sound	Blasting

Weaver(1975)의 분류기준

•굴착방법의 판단은 암질의 종류, 층리와 절리의 유무, 풍화정도, 시공장비의 성능 및 시공방법 등에 따라 변화요인이 많으므로 제반사항을 종합적으로 검토하여 판단
•Weaver(1975)는 탄성파 속도, 압축강도, 풍화도, 불연속면 상태와 주향, 경사 등 제반요인을 종합 평가하여 리퍼빌리티를 평가하는 방법을 제시

등 급		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
양 질		매우양호	양 호	보 통	불 량	매우불량
탄성파속도 (m/sec)		2,150이상	1,850~2,150	1,500~1,850	1,200~1,500	450~1,200
평 점		26	24	20	12	5
일축압축강도 (MPa)		70이상	20~70	10~20	3~10	17~30
평 점		10	5	2	1	0
풍 화 도		신선(F)	다소풍화(SW)	보통풍화(MW)	많이풍화(HW)	완전풍화(CW)
평 점		9	7	5	3	1
불연속면 간격		3m이상	1~3m	0.3m~1m	0.05m~0.3m	0.05m 이상
평 점		30	25	20	10	5
불연속면의 연 속 성		연속성없음	약간연속성	연속적이고 협재된 점토 없음	연속적이고 협재된 점토 약간	연속적이고 점토 협재
평 점		5	5	3	0	0
불연속면의 상 태		분리흔적없음	약간분리상태	1mm이하 분리	틈이 5mm이하	틈이 5mm이상
평 점		5	5	4	3	1
주향과 경사		매우불량	불량	보통	양호	매우양호
평 점		15	13	10	5	3
총 평 점		90~100	70~90	50~70	25~50	25이하
리퍼빌리티		발파	리핑 극히곤란, 발파	리핑 매우 어려움	리핑 어려움	쉽게 리핑됨
중기선정		-	D9G/DD9G	D8/D9	D7/D8	D7
동력	마력	-	385/770	270/385	180/270	180
	kW	-	290/575	200/290	135/200	135

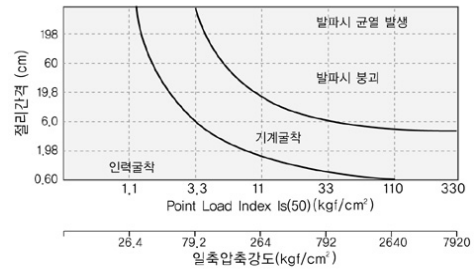
○ 지층별 굴착경계 설정기준

구 분	토 층	리 핑 암 반		발 파 암 반		비 고
국도건설공사 설계실무요령 (2003)	SPT값(N값) 50/10(회/cm)미만	SPT값(N값) 50/10(회/cm)이상		–		–
		BX	TCR=5%이하 RQD=0%정도	BX	TCR=5~10%이상 RQD=5%이상	
		NX	TCR=25%이하 RQD=0%정도	NX	TCR=25%이상 RQD=10%이상	
탄성파속도에 의한 분류	700m/sec 미만	700~1,200m/sec		1,200m/sec이상		A 그룹
	1,000m/sec 미만	1,000~1,800m/sec		1,800m/sec이상		B 그룹

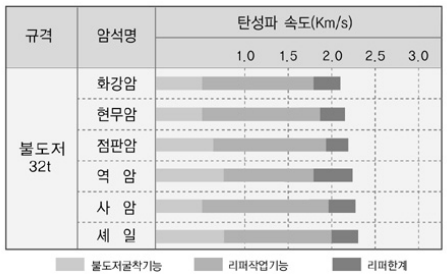
주) A 그룹 암종 : 편마암, 사질편암, 녹색편암, 석회암, 안산암, 현무암, 유문암, 감람암, 화강암
B 그룹 암종 : 흑색편암, 셰일, 휘록응회암, 이암, 응회암, 집괴암

○ 깎기 작업결정기준 및 탄성파속도와 굴착난이도의 범위

암반의 균열, 강도에 따른 굴착방법(Franklin, 1971)



탄성파 속도와 굴착난이도 범위(Atkinson, 1971)



○ 리퍼빌리티 구분

탄성파속도 기 종	V_p(m/sec) 500	1,000	1,500	2,000	2,500
중형트럭-리퍼 27~45톤급 (200~300마력)	리 퍼 불필요	용 이	보통	곤 란	매우 곤란 또는 발파	발파 굴착
대형트럭-리퍼 45~72톤급 (300~520마력)	리 퍼 불필요	용 이	보 통	곤 란	매우곤란 또는발파	발파굴착

○ 지층별 굴착방법 선정

지 층 구 분	굴 착 방 법	비 고
붕적층, 풍화토층	도 져	연·경암층의 경우 균열이 심한 부분은 리핑으로 가능
풍화암층	리 핑	
연암층, 경암층	발 파	

2.2.2 깎기구간 굴착방법 선정

- 토사, 리핑암, 발파암의 구분은 국도건설공사 설계실무요령 기준을 적용
- 깎기구간 중 깎기고가 20.0m 이상 암반출현구간에 대하여 굴착난이도 평가

○ 기준에 의한 분류결과

구 분	위치(Sta.)	층 후(m)	시추공	지층	Weaver기준	도로공사기준	탄성파속도	굴착방법선정
1공구 도내 JCT R-B구간	0+000~ 0+700	0.0~4.3	BH-35 BH-37	토사	백호우	백호우	리핑 용이	백호우
		0.0~1.3		풍화암	〃	〃	〃	백호우
		1.7~9.5		발파암(연암)	발 파	발 파	리핑 곤란	발 파
		0.0~8.5		발파암(경암)	발 파	발 파	발파암	발 파
1공구 깎기 3구간	6+340~ 7+020	0.0~9.0	BH-98 BH-99	토사	백호우	백호우	리핑 용이	백호우
		1.2~1.9		풍화암	〃	〃	〃	백호우
		0.0~5.1		발파암(연암)	발 파	발 파	리핑 곤란	발 파
		3.0~8.8		발파암(경암)	발 파	발 파	발파암	발 파
강매터널 갱구부	1+280~ 1+720	0.0~11.6	BH-29 BH-31 BH-34 BH-35	토사	백호우	백호우	토사	백호우
		0.4~1.7		리핑암	〃	〃	발파암	백호우
		5.1~21.0		발파암(연암)	발 파	발 파	발파암	발 파
		4.5~31.0		발파암(경암)	발 파	발 파	발파암	발 파

2.2.3 시공 중 암반분류 기준 검토

○ 시공 중 암반분류 기준 검토

•현재 설계 및 시공단계에서 깎기부 비탈면 지층을 토사, 리핑암 및 발파암으로 구분하고 있으나 지층구분을 명확히 할 수 있는 기준이 없는 실정임
•시공 중 굴착단계에서 굴착난이도의 평가를 시행할 수 있는 현장적용 평가기준을 제시
•현장적용 평가기준은 설계단계 및 시공단계에서의 적용성을 감안하여 평가항목을 기본항목과 보완항목으로 구분
•기본항목으로는 암석강도, 풍화도, 암괴의 크기(Core 크기), 보완항목으로는 탄성파속도, 암괴크기로 구분하여 현장에서 적용할 수 있는 기준값을 제시

항목구분	구 분		기 준 값	
			리 핑 암	발 파 암
기본항목	암석강도	Schmidt Hammer Value(SHV)	20미만	20이상
		점하중강도	980kPa 미만	980kPa 이상
	풍 화 도	육안관찰	심한 풍화상태 이상	심한 풍화상태 이하
		흡수율	3.4% 이상	3.4% 미만
	암괴 크기	단위체적당 절리수	30개 이상	30개 미만
		절리면 풍화정도	심한 풍화상태 이상	심한 풍화상태 이하
보완항목	탄성파속도	탄성파속도	1,200m/sec 미만	1,200m/sec 이상
	암괴 크기	TCR	20% 미만	20% 이상

2.3 깎기·쌓기 경계부 안정성 검토

2.3.1 깎기·쌓기 경계부의 부등침하 분석

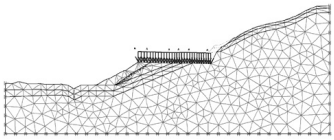
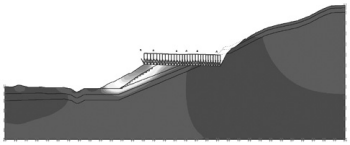
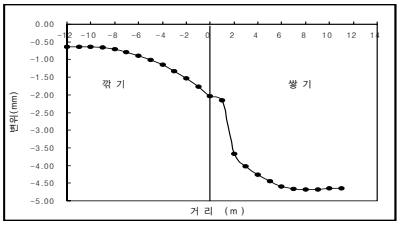
○ 부등침하 원인 및 분석

•깎기부와 흙쌓기부의 지지력이 불연속적이고 불균등하게 되어 부등침하 발생
•깎기부와 흙쌓기부의 경계에 지표수, 용수, 침투수 등이 집중되기 쉬워 이로 인해 흙쌓기부가 약화되어 침하 발생
•깎기와 흙쌓기 경계부는 다짐이 불충분하기 쉽게 때문에 압축에 의한 침하가 발생
•편절, 편성에서는 기초지반과 흙쌓기의 접착이 불충분하게 되기 쉽고 지반의 변형과 활동에 의한 단차가 발생하기 쉬움

○ 깎기 · 쌓기 경계부의 부등침하량 분석

•깎기·쌓기 경계부 및 편절·편성부에서 쌓기구간의 다짐 및 압밀정도가 원지반과 상이하여 부등침하 발생
•쌓기재의 자중과 윤하중, 우수침투 등에 의한 토립자의 재배열 및 압축침하 발생
•부등침하 발생시 포장균열, 단차(Faulting), 기울어짐(Tilting) 등이 발생
•원지반과 쌓기부 접속지역의 부등침하 발생에 따른 포장안정성 및 보강 슬래브의 적용여부를 판단하기 위해 수치해석을 통한 부등침하량 산정

깎기 · 쌓기 경계부 해석결과

검토단면	수직변위 (Y-Displacement)	변 위 벡 터
		

검토결과

•수치해석결과 예상 부등침하량이 4.5mm로 미소하나 깎기·쌓기 경계부 및 편절·편성부는 경계부 유수, 침투수의 유입 등으로 인하여 쌓기부가 연약화 될 수 있으므로 이에 대한 대책수립

2.3.2 부등침하 대책

•편절·편성부 및 깎기·쌓기 경계부는 지지력 및 침하량의 차이, 경계부 유수 및 침투수의 영향으로 쌓기부가 연약화되므로 접속부 하단에 맹암거 설치, 층따기 실시

•층따기는 깎기의 접속구간에 1:4 경사로 설치하며, 맹암거는 깎기 및 쌓기 경계부중 노상하부에 설치

깎기 · 쌓기 경계부(종단방향 처리)

깎기 · 쌓기경계부(종단방향 처리)

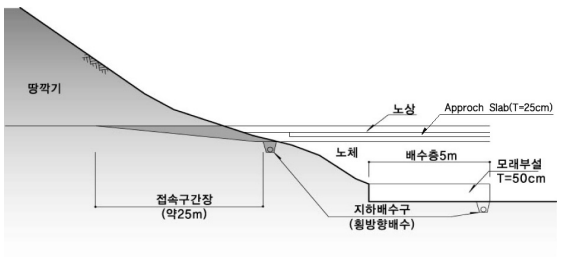
•부등침하 방지를 위해 흙쌓기 및 흙깎기 접속부 경사 1:4로 원지반 제거

•접속구간장
  - 흙깎기부 노상치환이 없을 때 : 25m
  - 흙깎기부 노상치환이 있을 때 : 17m
  - 원지반이 암구간일 때 : 5m

•흙쌓기부 경계면에 맹암거 설치

•경계구간 접속부는 암버력 쌓기 배제

대 책 단 면 도



편절 · 편성(횡단방향 처리)

편절 · 편성부 침하대책

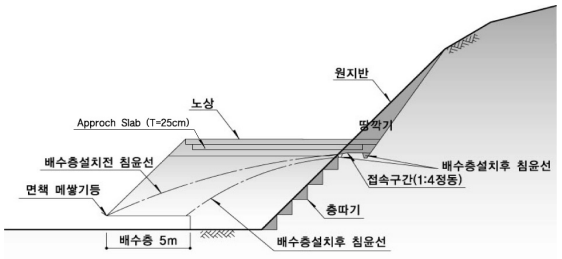
•흙깎기 단부에서 흙쌓기부 노상 저면의 깊이까지 굴착하는 것을 원칙으로 하며, 1:4(H:V)정도 경사의 접속구간을 두고 흙깎기부 노상저면에 접속

•깎기부분은 흙쌓기부 노상재료와 동일한 재료로 되메우고, 소정의 다짐도로 균일하게 다짐

•1:4(V:H) 보다 급한 경사를 가진 흙쌓기부의 기초지반은 층따기를 실시하는 것이 좋음

•배수를 위하여 원칙적으로 상부 노체면 또는 깎기면에 지하배수구를 설치하고 배수 유출구로 유도 배수함

대 책 단 면 도



제 3 장 발파 설계

3.1 발파 설계

3.1.1 발파설계 기본방향

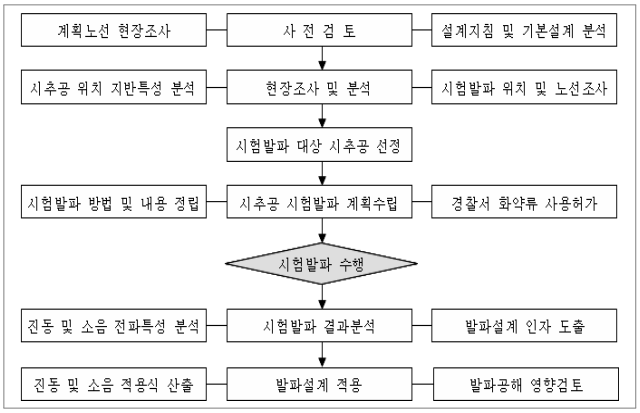
기본방향	•계획노선 주변 환경과 지반 조건을 고려하여 합리적이고 경제적인 발파설계 •계획노선 인접지역 에서 시험발파를 수행하여 발파진동 추정식 및 발파설계 인자 도출 •터널 및 깎기구간 주변에 존재하는 보안물건의 발파진동 및 소음 피해 최소화

◎ 발파설계 개요

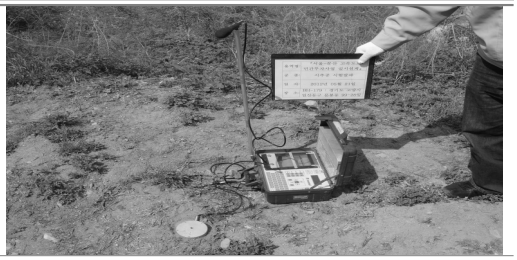
구 분	주 요 내 용	기 대 효 과
발파공법 선정	•발파공사 경제성 및 시공성을 고려한 발파공법 선정	•경제적인 발파공사 시현
발파수량 산출	•계획노선 암종 및 주변환경을 고려하여 발파수량 결정	•효율 극대화 및 민원 최소화
여굴 최소화	•굴착선 손상범위 추정을 통한 외곽공 발파패턴 설정	•보강비 절감 및 안정성 제고
진동 및 소음 영 향 평 가	•시험발파를 통한 진동추정식 및 소음예측식 추정과 예측 • 수치해석을 통한 진동 및 소음 전달특성 시뮬레이션	•보안물건 피해 최소화 • 안전발파 수행

3.1.2 시추공 시험 발파

•시추공 공저에서부터 1회 발파를 시행하고 시추공 상태 확인후 5차 발파를 시행
•공당장약량 변화에 따른 발파상수와 장약지수 등을 파악 (1회 장약량 : 0.125 ~ 0.500kg)
•매 발파마다 5m이상 모래전색으로 철포현상을 방지하며 공구에 복토 시행
•보안물건 축선 방향으로 이격거리를 두고 계측지점을 달리하여 진동측정
•시추공 시험발파 현황



◎ 계측장비

구 분	MINIMATE PLUS	BLASTMATE -Ⅲ
장 비 사 진		
진동속도의 측정범위	최저 0.13mm/s, 최대 254mm/s	최저 0.13mm/s, 최대 254mm/s
최대진동속도	•최대진동속도(PPV, Peak Particle Velocity)의 수직성분과 진행성분, 접선성분의 세성분이 동시에 각각 측정되며, 세 성분의 벡터(Vector)합의 최대값(PVS, Peak Particle Sum)이 측정됨	

○ 계측방법

•Sensor(수신기)는 진동에 매우 민감하므로 발파진동에 의한 자체의 진동발생을 막기 위하여 토사에서는 Sensor에 Spike를 부착하여 지면에 박아 고정시켰으며, 바닥면과 밀착시켜 측정면과 센서가 가능한 한 일체화되도록 함
•Trigger Source를 Geophone으로 설정하고, Trigger Level은 0.3~0.51mm/s으로 설정
•수진시간 (Record time)은 1회 발파시간을 계산하여 충분한 여진까지 측정 가능하도록 Continuous로 설정

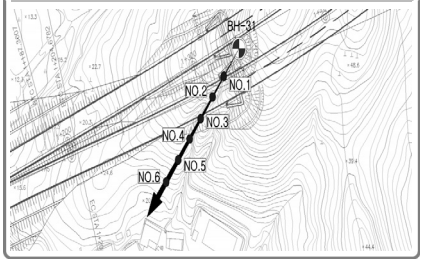
○ 발파방법

•발파에 의해 공벽의 붕괴를 막고 소음의 제어를 목적으로 소량의 화약을 사용
•진동의 수신 여부를 확인하기 위해 100g의 화약을 이용하여 TEST Blasting을 실시
•발파시 발생하는 소음을 차단하기 위하여 일부공에 대해서는 전색을 실시하였으며 일부 자연 지하수를 이용
•발파는 시추공 저부에서 부터 시작하여 상부로 진행하며, 사용폭약은 NewMITE(ϕ32, 250g)를 시추공당 5회 발파 실시

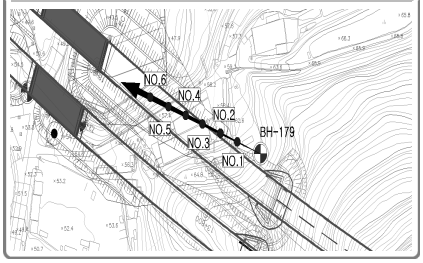
3.1.3 시험발파 현황

구 분	BH-31	BH-179	TTB-5
소 재 지	고양시 덕양구 강매동 225-2임	고양시 일산동구 문봉동 99-28임	파주시 아동동 산 55-2
발 파 횟 수	5 회	5 회	5 회
발 파 심 도	15 ~ 34 m	10 ~ 30.5 m	28 m
장 약 량	0.125 Kg ~ 0.500 Kg	0.250 Kg ~ 0.500 Kg	0.4 Kg ~ 0. 8Kg
사 용 화 약	NEW MITEPLUS ϕ32mm	NEW MITEPLUS ϕ32mm	NEWMITE ϕ50mm
계 측 지 점	6 지점	6 지점	6 지점

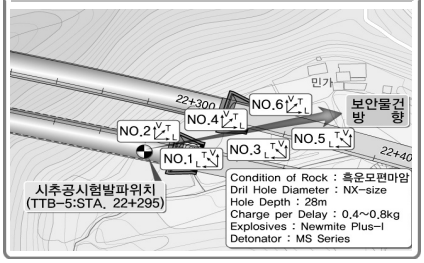
BH-31



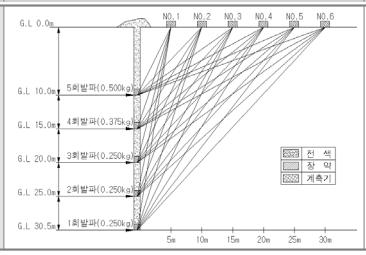
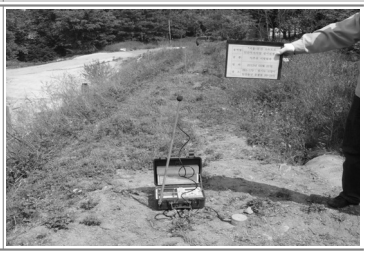
BH-179



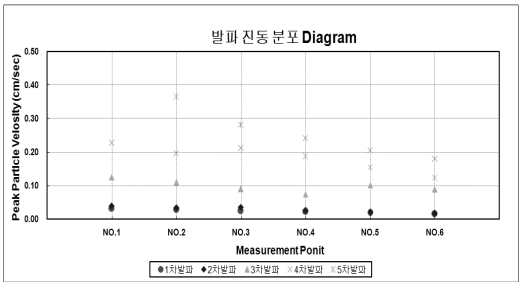
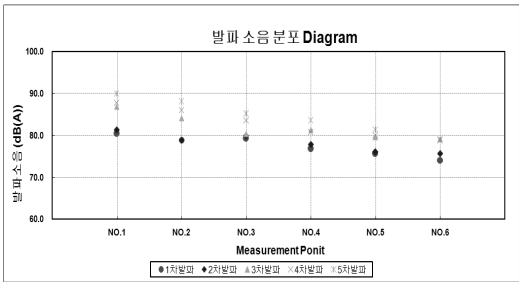
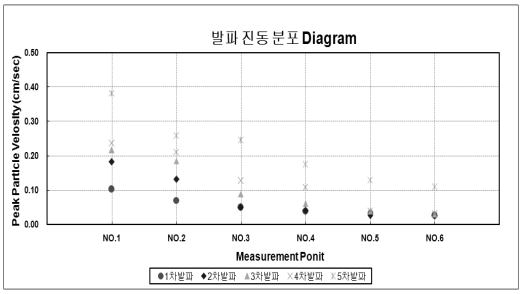
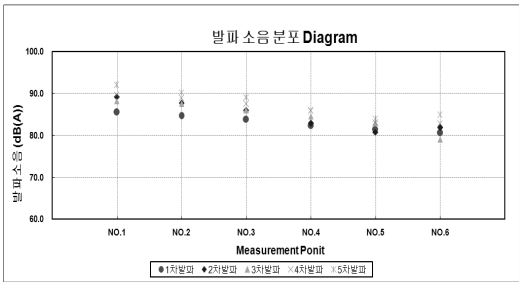
TTB-5(기본설계)



○ 시추공 시험발파 진행 및 전경모습

구 분	장약배열 및 계측기 설치도	시험발파 기장비모습	진동측정기 설치모습
현 황 및 전 경			

○ 시추공 시험발파 발파진동 분포도

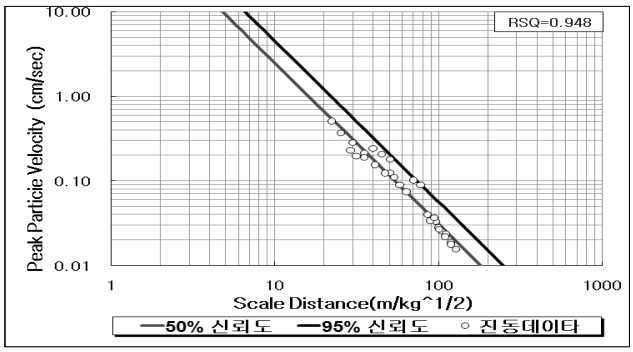
구 분	진동	소음
B H - 3 1		
B H - 1 7 9		

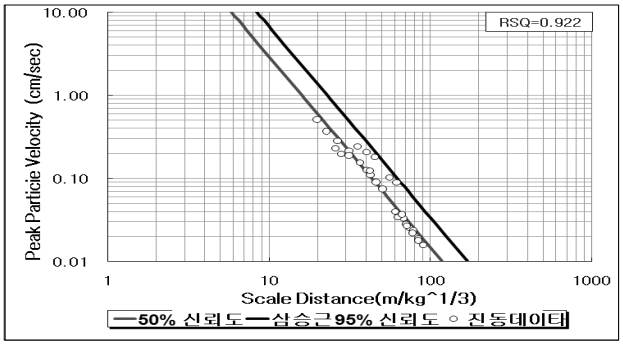
3.1.4 시험발파 결과분석

○ BH-31 발파진동 결과분석

- 발파진동 추정식 산출

자승근 회귀식 및 도표		삼승근 회귀식 및 도표	
50% 신뢰선	95% 신뢰선	50% 신뢰선	95% 신뢰선
$V = 197.47(\frac{D}{W^{1/2}})^{-1.90}$	$V = 357.69(\frac{D}{W^{1/2}})^{-1.90}$	$V = 584.36(\frac{D}{W^{1/3}})^{-2.30}$	$V = 1346.64(\frac{D}{W^{1/3}})^{-2.30}$



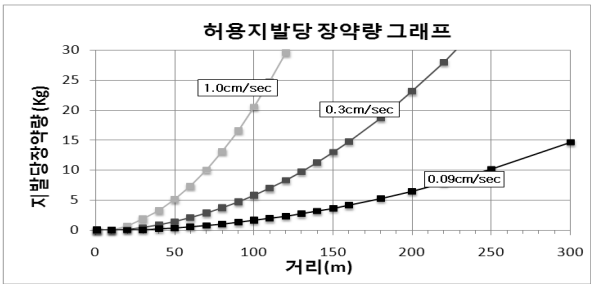


검토결과

- 발파진동 추정식은 95% 회귀선을 사용
- 자승근과 삼승근중에서 발파진동 허용치별 지발당 장약량이 적게 산출된 회귀식을 이용하여 장약량으로 활용

- 발파진동 허용치별 보안거리 변화에 따른 지발당 장약량 산출

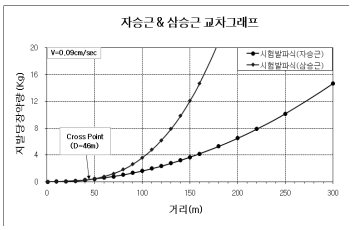
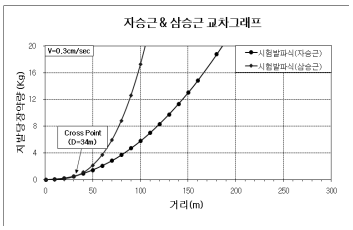
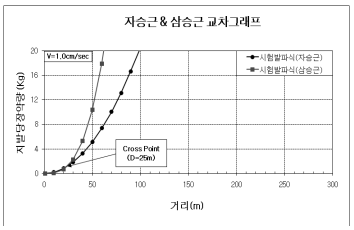
지발당 허용 장약량 그래프



발파진동 허용기준 : 0.09, 0.3, 1.0 cm/s

보안거리	허용기준치(V)별 지발당 허용 장약량(kg)		
	V = 0.09 cm/s	V = 0.3 cm/s	V = 1.0 cm/s
50	0.407	1.444	5.129
100	10627	5.777	20.516
150	3.660	12.998	46.162
200	6.507	23.108	82.065
250	10.167	36.106	128.227
300	14.640	51.993	184.646

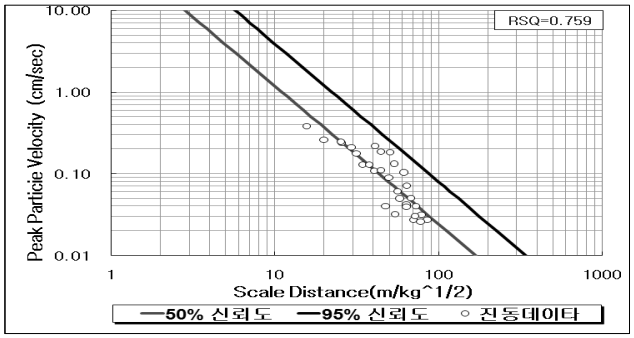
- 발파진동 허용치별 회귀선 교차지점 추정

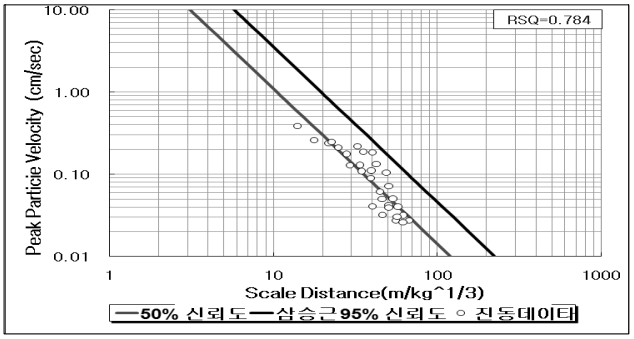
구 분	V = 0.09 cm/sec	V = 0.3 cm/sec	V = 1.0 cm/sec
교차분석 그래프			
교차지점	교차지점 : 46m	교차지점 : 34m	교차지점 : 25m

○ BH-179 발파진동 결과분석

- 발파진동 추정식 산출

자승근 회귀식 및 도표		삼승근 회귀식 및 도표	
50% 신뢰선	95% 신뢰선	50% 신뢰선	95% 신뢰선
$V = 58.27(\frac{D}{W^{1/2}})^{-1.69}$	$V = 191.74(\frac{D}{W^{1/2}})^{-1.69}$	$V = 85.48(\frac{D}{W^{1/3}})^{-1.89}$	$V = 276.47(\frac{D}{W^{1/3}})^{-1.89}$



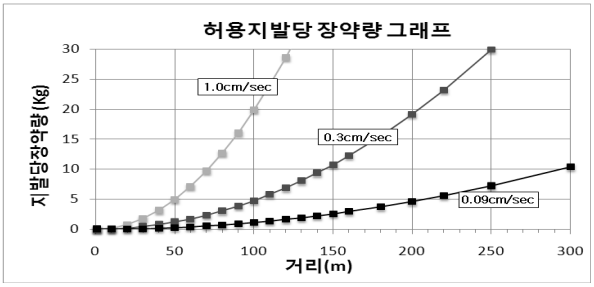


검토결과

- 발파진동 추정식은 95% 회귀선을 사용
- 자승근과 삼승근중에서 발파진동 허용치별 지발당 장약량이 적게 산출된 회귀식을 이용하여 장약량으로 활용

- 발파진동 허용치별 보안거리 변화에 따른 지발당 장약량 산출

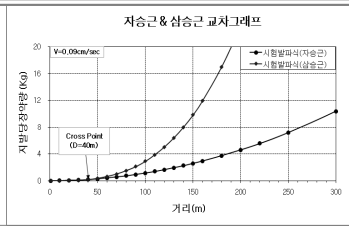
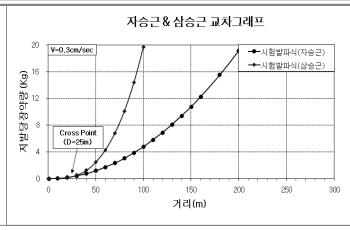
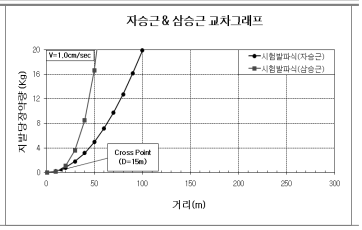
지발당 허용 장약량 그래프



발파진동 허용기준 : 0.09, 0.3, 1.0 cm/s

보안거리	허용기준치(V)별 지발당 허용 장약량(kg)		
	V = 0.09 cm/s	V = 0.3 cm/s	V = 1.0 cm/s
50	0.288	1.196	4.972
100	1.151	4.784	19.887
150	2.589	10.764	44.745
200	4.603	19.135	79.547
250	7.192	29.899	124.292
300	10.357	43.054	178.981

- 발파진동 허용치별 회귀선 교차지점 추정

구 분	V = 0.09 cm/sec	V = 0.3 cm/sec	V = 1.0 cm/sec
교차분석 그래프			
교차지점	교차지점 : 40m	교차지점 : 25m	교차지점 : 15m

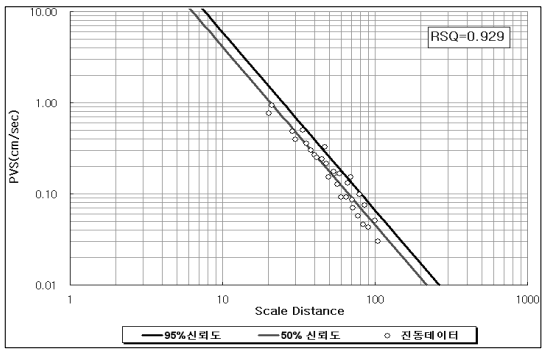
검토결과

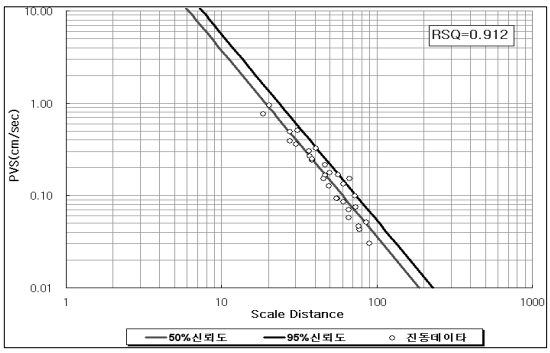
•현지 지반특성이 고려된 발파진동추정식의 발파상수(K) 및 감쇠지수(n)를 산출하여 발파진동의 전파특성 예측 및 환경피해 최소화하는 발파설계 유도

○ TTB-5 발파진동 결과분석

- 발파진동 추정식 산출

자승근 회귀식 및 도표		삼승근 회귀식 및 도표	
50% 신뢰선	95% 신뢰선	50% 신뢰선	95% 신뢰선
$V = 368.995 \left(\frac{D}{W^{1/2}}\right)^{-1.95}$	$V = 530.511 \left(\frac{D}{W^{1/2}}\right)^{-1.95}$	$V = 390.510 \left(\frac{D}{W^{1/3}}\right)^{-2.02}$	$V = 587.673 \left(\frac{D}{W^{1/3}}\right)^{-2.02}$





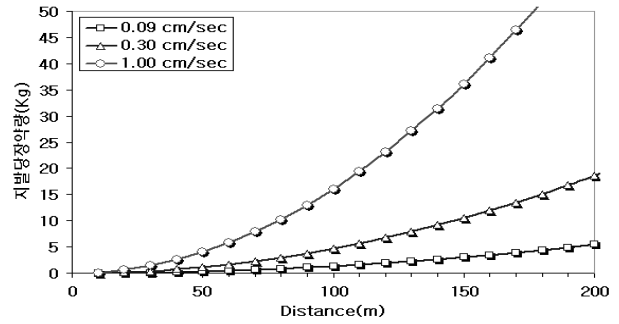
검토결과

•발파진동 추정식은 95% 회귀선을 사용

•자승근과 삼승근중에서 발파진동 허용치별 지발당 장약량이 적게 산출된 회귀식을 이용하여 장약량으로 활용

- 발파진동 허용치별 보안거리 변화에 따른 지발당 장약량 산출

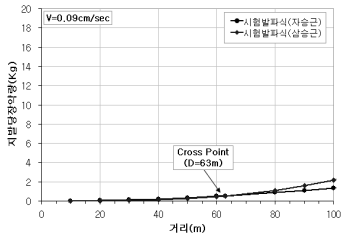
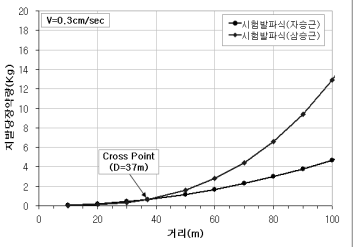
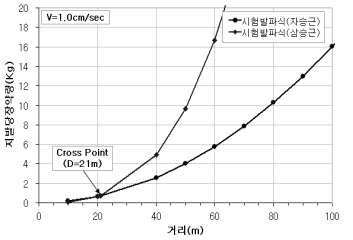
지발당 허용 장약량 그래프



발파진동 허용기준 : 0.09, 0.3, 1.0 cm/s

보안거리	허용기준치(V)별 지발당 허용 장약량(kg)		
	V = 0.09 cm/s	V = 0.3 cm/s	V = 1.0 cm/s
50	0.270	1.167	4.012
100	1.358	4.668	16.049
150	3.055	10.504	36.110
200	5.432	18.673	64.195
250	8.487	29.177	100.305
300	12.221	42.014	144.439

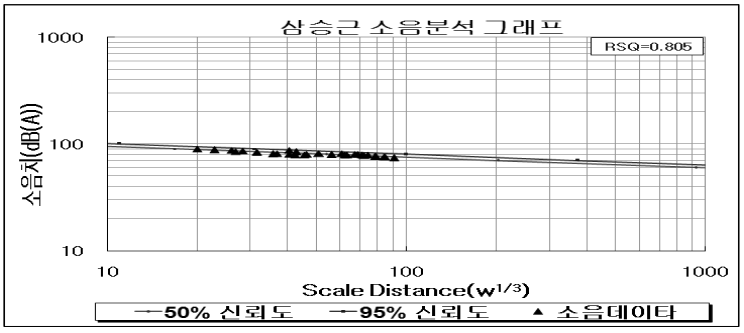
- 발파진동 허용치별 회귀선 교차지점 추정

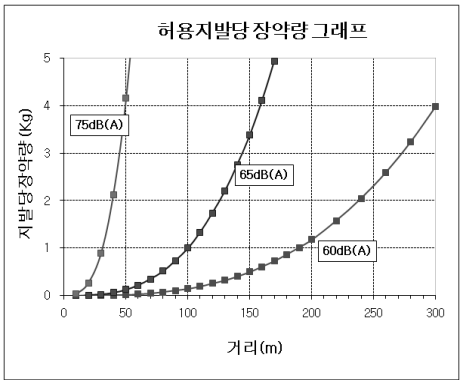
구 분	V = 0.09 cm/sec	V = 0.3 cm/sec	V = 1.0 cm/sec
교차분석 그래프			
교 차 지 점	삼승근〈D=63m≤자승근	삼승근〈D=37m≤자승근	삼승근〈D=21m≤자승근

◎ 발파소음 결과분석

- BH-31 발파소음 추정식 산출 및 장약량 산출

삼승근 회귀식 및 도표		지발당 허용 장약량 그래프
50% 신뢰선	95% 신뢰선	
$dB(A) = 119.66(\frac{D}{W^{1/3}})^{-0.101}$	$dB(A) = 127.36(\frac{D}{W^{1/3}})^{-0.101}$	

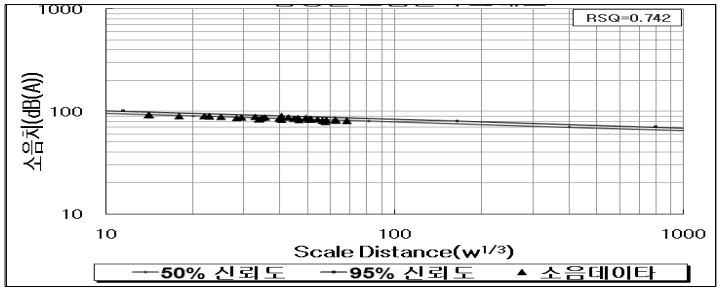


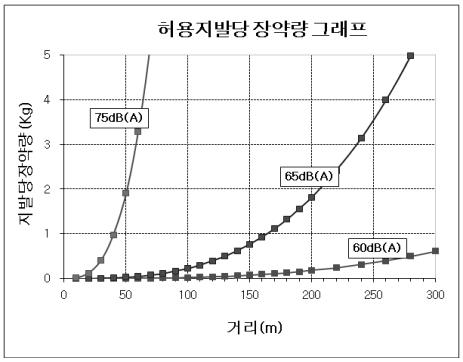


발파소음 허용기준 : 60, 65, 75 dB(A)

- BH-179 발파소음 추정식 산출 및 장약량 산출

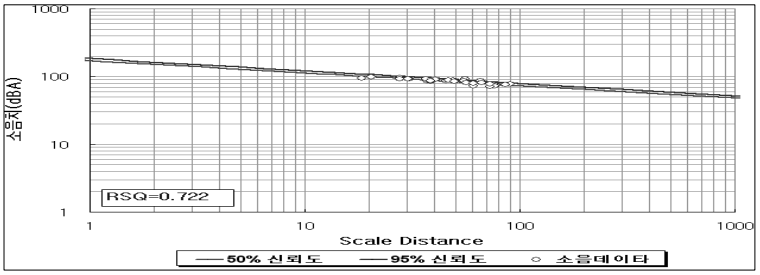
삼승근 회귀식 및 도표		지발당 허용 장약량 그래프
50% 신뢰선	95% 신뢰선	
$dB(A) = 118.32(\frac{D}{W^{1/3}})^{-0.092}$	$dB(A) = 124.61(\frac{D}{W^{1/3}})^{-0.092}$	발파소음 허용기준 : 60, 65, 75 dB(A)

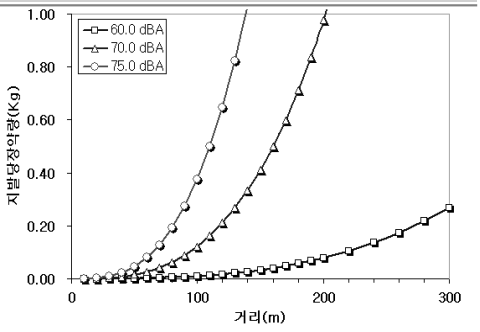




- TTB-5 발파소음 추정식 산출 및 장약량 산출

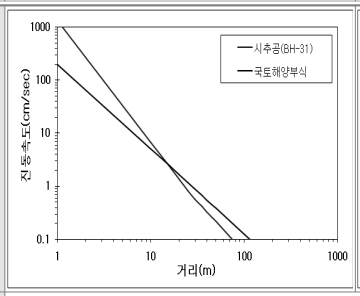
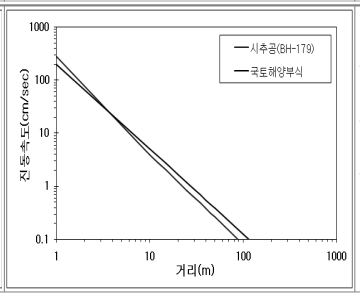
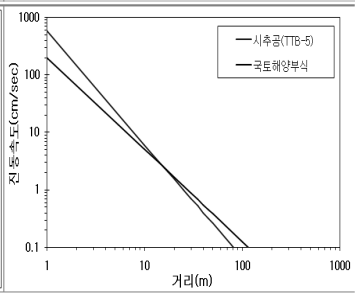
삼승근 회귀식 및 도표		지발당 허용 장약량 그래프
50% 신뢰선	95% 신뢰선	
$dB(A) = 172.804(\frac{D}{W^{1/3}})^{-0.1843}$	$dB(A) = 186.133(\frac{D}{W^{1/3}})^{-0.1843}$	발파소음 허용기준 : 60, 70, 75 dB(A)





검토결과	•현지 지반특성이 고려된 발파진동추정식의 발파상수(K) 및 감쇠지수(n)를 산출하여 발파진동의 전파특성 예측 및 환경피해 최소화하는 발파설계 유도

3.1.5 발파진동 추정식 비교분석

구 분	BH - 31	BH - 179	TTB - 5
비교분석 그라프			
분 석 내 용	•발파진동 추정식 비교검토는 국토해양부식과 계획노선에서 수행된 시추공 시험발파 결과의 진동추정식을 비교 검토 함. •깎기 구간 및 터널구간의 발파진동 추정식은 BH-31, BH-179, TTB-5 시추공에서 수행된 시험발파의 발파진동 추정식을 적용.		

3.2 보안물건별 발파진동 및 발파소음 영향검토

3.2.1 발파진동 및 소음 허용 기준치 선정

•암발파시 민원발생 방지를 위해 발파 소음·진동 영향분석 및 저감대책 수립
•사업구간에서 암깎기 구간을 대상으로 주요지장물과 인접하여 민원이 우려되는 구간을 선정하여 미진동 발파 공법 적용
•현장의 암반지질 및 지형조건 등에 따라 발파진동 추정식이 변화되므로 발파작업 착수전에 시험발파를 실시하여 현장에 적합한 현장 발파진동 추정식을 산출하고, 지발당 장약량에 의거 표준발파패턴에 대한 적용이격 거리를 확보하여 공사를 실시하여야 함

○ 발파진동 허용기준

구 분	서울지하철 기준	노동부	터널표준시방서	독일 DIN 4150
문화재(기념물등)	0.2	0.2	0.3	0.3~0.8
주 택 , 아 파 트	0.5	0.5	1.0~2.0	0.5~1.5
상 가 , 공 장 등	1.0	1.0	3.0~5.0	2.0~4.0
콘크리트구조물	1.0~4.0	1.0~4.0		

○ 소음 기준(생활소음 규제 기준)

구 분	조 석 (05:00~08:00 18:00~22:00)	주 간 (08:00~18:00)	심 야 (22:00~05:00)
주거지역, 녹지지역 등에 소재한 학교, 병원, 도서관	60 이하	65 이하	50 이하
기 타 지 역	65 이하	70 이하	50 이하

○ 가축대상 허용 발파 기준

•가시적 피해 사례 및 중앙환경분쟁 조정위원회 권고 기준 중 2006년도 환경피해 구제기준 참고
•진동 0.09cm/sec 이하, 소음 60dB 이하 기준 적용

○ 설계적용 허용기준치 선정

대상보안물건	진동(cm/sec)	소음(dB(A))	비 고
축 사	0.09	60	•중앙환경분쟁 조정위원회 권고 기준 적용
민가 및 군부대	0.3	75	•서울민사지법 판례, 중앙환경분쟁 조정위원회 사례
공 장	0.5	75	•국토해양부 암발파 설계 지침, 국내 적용 사례
송 전 탑	1.0	-	•스위스 송전탑 적용기준
교 량 구 조 물	1.0	-	•스위스 발파진동 허용기준(SN640 312a)

3.2.2 발파진동 추정식 및 소음 예측식 선정

적용구간	발파진동추정식		발파소음예측식
	자승근	삼승근	
BH-31	$V=357.69(\frac{D}{W^{1/2}})^{-1.90}$	$V=1346.64(\frac{D}{W^{1/3}})^{-2.30}$	$dB(A)=127.36(\frac{D}{W^{1/3}})^{-0.101}$
BH-179	$V=191.74(\frac{D}{W^{1/2}})^{-1.69}$	$V=276.47(\frac{D}{W^{1/3}})^{-1.89}$	$dB(A)=124.61(\frac{D}{W^{1/3}})^{-0.092}$
TTB-5	$V=530.51(\frac{D}{W^{1/2}})^{-1.95}$	$V=587.67(\frac{D}{W^{1/3}})^{-2.02}$	$dB(A)=186.13(\frac{D}{W^{1/3}})^{-0.184}$
적용근거	•시추공 시험발파를 통해서 산출된 발파진동·추정식 및 소음예측식이 본 계획노선의 지반특성과 지형조건이 반영된 적용식이기 때문에 신뢰성이 높고 적합함		

○ BH-31

구분	지발당장약량 (kg/delay)	발파진동(cm/sec) 영향범위(m)				
		0.09cm/sec	0.2cm/sec	0.3cm/sec	0.5cm/sec	1.0cm/sec
미진동	0.125미만	0 ~ 33	0 ~ 24	0 ~ 20	0 ~ 16	0 ~ 12
정밀진동	0.125~0.5	33 ~ 56	24 ~ 37	20 ~ 31	16 ~ 25	12 ~ 19
진동소규모	0.5~1.6	56 ~ 100	37 ~ 66	31 ~ 53	25 ~ 41	19 ~ 28
진동중규모	1.6~5.0	100 ~ 176	66 ~ 116	53 ~ 94	41 ~ 72	28 ~ 50
일반발파	5.0~15.0	176 ~ 304	116 ~ 200	94 ~ 162	72 ~ 124	50 ~ 86
대규모발파	15.0 이상	304 ~	200 ~	162 ~	124 ~	86 ~

○ BH-179

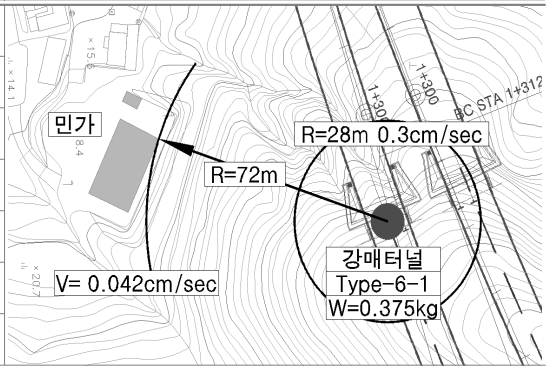
구분	지발당장약량 (kg/delay)	발파진동(cm/sec) 영향범위(m)				
		0.09cm/sec	0.2cm/sec	0.3cm/sec	0.5cm/sec	1.0cm/sec
미진동	0.125미만	0 ~ 36	0 ~ 23	0 ~ 19	0 ~ 15	0 ~ 10
정밀진동	0.125~0.5	36 ~ 66	23 ~ 42	19 ~ 33	15 ~ 24	10 ~ 16
진동소규모	0.5~1.6	66 ~ 118	42 ~ 74	33 ~ 58	24 ~ 43	16 ~ 29
진동중규모	1.6~5.0	118 ~ 209	74 ~ 130	58 ~ 103	43 ~ 76	29 ~ 51
일반발파	5.0~15.0	209 ~ 362	130 ~ 226	103 ~ 178	76 ~ 131	51 ~ 87
대규모발파	15.0 이상	362 ~	226 ~	178 ~	131 ~	87 ~

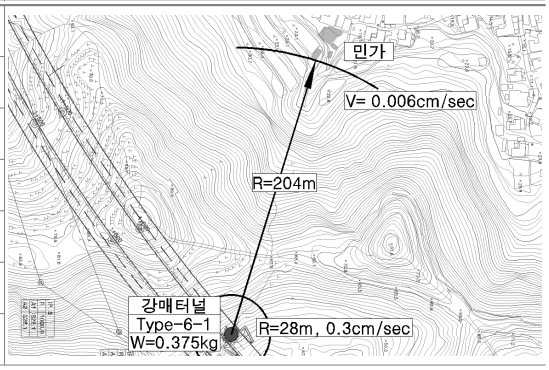
○ TTB-5

구분	지발당장약량 (kg/delay)	발파진동(cm/sec) 영향범위(m)				
		0.09cm/sec	0.2cm/sec	0.3cm/sec	0.5cm/sec	1.0cm/sec
미진동	0.125미만	0 ~ 39	0 ~ 27	0 ~ 22	0 ~ 17	0 ~ 12
정밀진동	0.125~0.5	39 ~ 62	27 ~ 42	22 ~ 34	17 ~ 27	12 ~ 19
진동소규모	0.5~1.6	62 ~ 109	42 ~ 73	34 ~ 59	27 ~ 46	19 ~ 32
진동중규모	1.6~5.0	109 ~ 192	73 ~ 128	59 ~ 104	46 ~ 80	32 ~ 56
일반발파	5.0~15.0	192 ~ 333	128 ~ 221	104 ~ 180	80 ~ 138	56 ~ 97
대규모발파	15.0 이상	333 ~	221 ~	180 ~	138 ~	97 ~

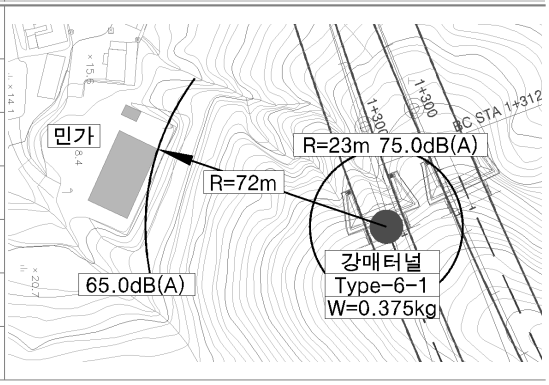
3.2.3 보안물건별 발파진동 영향권 검토

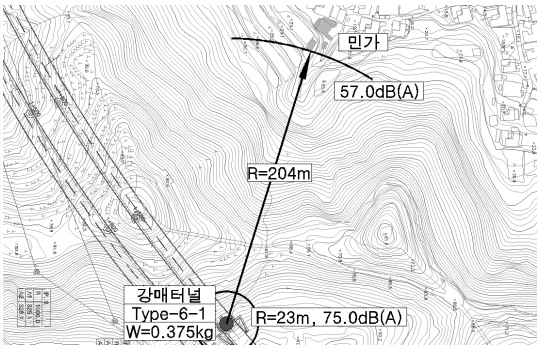
○ 강매터널 발파진동 영향권 검토

보안물건	항 목	내 용	영 향 원
시 점 부 민 가	발파위치	STA. 1+330	
	이격거리	72 m	
	굴착패턴	Type-6-1	
	굴 진 장	1.0 m	
	지발당장약량	0.375 kg/delay	
	영향권 범위	28 m	
	예상 진동값	0.042 cm/sec	
검 토 결 과	•발파진동 예측결과 : 0.042 cm/sec 〈 0.3 cm/sec (O.K)		

보안물건	항 목	내 용	영 향 원
종 점 부 민 가	발파위치	STA. 1+700	
	이격거리	204 m	
	굴착패턴	Type-6-1	
	굴 진 장	1.0 m	
	지발당장약량	0.375 kg/delay	
	영향권 범위	28 m	
	예상 진동값	0.006 cm/sec	
검 토 결 과	•발파진동 예측결과 : 0.006 cm/sec 〉 0.3 cm/sec (O.K)		

○ 강매터널 발파소음 영향권 검토

보안물건	항 목	내 용	영 향 원
시 점 부 민 가	발파위치	STA. 1+330	
	이격거리	72 m	
	굴착패턴	Type-6-1	
	굴 진 장	1.0 m	
	지발당장약량	0.375 kg/delay	
	영향권 범위	23 m	
	예상 소음값	65.0 dB(A)	
검 토 결 과	•발파소음 예측결과: 65.0 dB(A) 〈 75 dB(A) (O.K)		

보안물건	항 목	내 용	영 향 원
종점부 민가	발파위치	STA. 1+700	
	이격거리	204 m	
	굴착패턴	Type-6-1	
	굴 진 장	1.0 m	
	지발당장약량	0.375 kg/delay	
	영향권 범위	23 m	
	예상 소음값	57.0 dB(A)	
검 토 결 과	•발파소음 예측결과: 57.0 dB(A) 〈 75 dB(A) (O.K)		

깎기구간 적용 발파공법 설정

구 분 (STA.)		보 안 물 건	이격거리 (m)	발파공법 선정				
				미진동 굴착	정밀 진동	진동 소규모	진동 중규모	일반 발파
1공구	본선 1+260~1+370	민가	44	–	–	◎	◎	◎
	도내 JCT R-B 0+310~0+375	군부대	65	–	–	–	◎	◎
	도내 JCT R-A 0+100~0+200	군부대	136	–	–	–	–	◎
	본선 1+700~2+170	군부대	17	◎	◎	◎	◎	◎
	행신 IC R-F 0+090~0+300	민가	20	–	◎	◎	◎	◎
	행신 IC R-G 0+640~710	민가	24	◎	◎	◎	◎	–
	행신 IC R-A 0+500~710	민가	3	◎	◎	◎	–	–
	행신 IC R-I 0+000~0+170	민가	24	–	◎	◎	◎	◎
	본선 3+750~3+770	민가	22	–	◎	◎	–	–
	행신 IC R-B 0+090~0+310	민가	38	–	–	◎	◎	◎
	행신 IC R-H 0+170~0+330	민가	46	–	–	◎	◎	◎
	본선 3+810~4+010	민가	12	◎	◎	◎	◎	–
	행신 IC R-E 0+030~0+270	민가	52	–	–	◎	◎	◎
	행신 IC R-D 0+210~0+250	민가	43	–	–	◎	◎	–
	본선 4+570~4+780	민가	72	–	–	–	◎	◎
	본선 6+330~7+050	민가	70	–	–	–	◎	◎

제10편 기타구조물 설계

제1장 보강토옹벽 구조물 설계

제2장 횡단구조물 설계

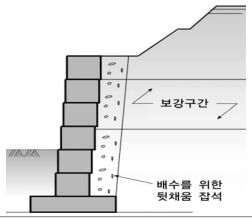
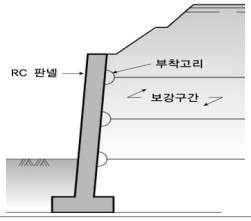
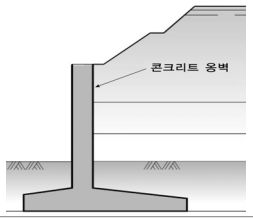
제 1 장 보강토옹벽 구조물 설계

1.1 설계개요

기본방향	•주거지역, 인근 도로 및 토공계획이 곤란한 민원예상구간에 기타구조물 계획 •옹벽 형식은 지반조건, 경제성 및 시공성 분석을 통한 현지여건에 적합한 형식 선정 •주변 환경성 미관 및 안정성에 유리한 옹벽형식 선정

1.1.1 보강토옹벽 형식 검토

•옹벽의 형식은 지반조건, 미관 및 경제성 분석을 통하여 현지여건에 적합한 형식을 선정
•옹벽에 대한 내적, 외적 및 전체적 안정성을 검토하여 옹벽설계 수행

구 분		블럭식 보강토 옹벽	판넬식 보강토 옹벽	일반 콘크리트 옹벽
개 요 도				
시공성	높이	•1~15m (계단형)	•3~30m	•2~8m
	구성	•콘크리트 블록 •보강재 및 기타부속 •뒷채움 토공 및 다짐	•콘크리트 전면판 •보강재 및 기타부속 •뒷채움 토공 및 다짐	•콘크리트, 철근, 거푸집, 비계 등 가설재로 구성 •배수공, 뒷채움 다짐
	공기	•기성품으로 동절기 공사가능	•기성품으로 동절기 공사가능	•동절기 공사에 어려움
	미관	•자연석 문양 외관수려 •다양한 색상 옹벽축조	•조립식 Precast Con'c 이므로 형상이 정확	•현장타설로 표면이 거침 •조형미가 없음
안정성		•부등침하, 지진등 내구성이 강함 (지반, 배면토변위에 적응력우수)	•전면배수로 수압에 조절에 의해 안정성확보, 전면판 변형 미비	•배수공 막힘 현상에 따른 수압 증가로 옹벽 안정성 저하우려
선 정		◉	-	◉
검 토 결 과		•지역여건을 고려하여 미관이 우수한 블럭식 보강토 옹벽 선정 •배면 여유부지 미확보 및 옹벽 높이가 높지 않은 구간은 일반 콘크리트 옹벽 선정		

1.1.2 보강토옹벽 설계기준

구 분		설계기준 및 해석방법	적용 설계기준	
적용 시방서		•French Standard NF P94-220, A 05-252 •도로교 설계기준 (건설교통부, 2000)	외적안정	•저면활동 : Fs = 1.5 •전 도 : Fs = 2.0 •지 지 력 : Fs = 2.5 •전체활동 : Fs = 1.5
참 고 문 헌		•TAI Design Guide A-01/05, A-15/16 •도로설계편람(II) (건설교통부, 2000) •도로설계실무편람 (한국도로공사, 1996)		
적용 설계법		•내적/외적안정 - 한계상태 설계법 •전체안정 - 허용응력 설계법	내적안정	•보강재인발 : Fs = 1.5 •보강재파단 : Fs = 1.0
적 용 토 압	상 시	•Coulomb 토압		
	지진시	•Mononobe-Okabe 토압		

1.2 보강토옹벽 안정성 검토

1.2.1 보강토옹벽 안정성 검토

○ 외적 안정성 검토

■ 옹벽에 작용하는 토압

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2$$

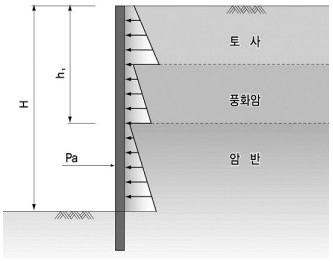
여기서,

K_a : Coulomb주동토압계수

H : 옹벽의 높이

φ : 쌓기재의 내부 마찰각

작용 토압



■ 활동에(Sliding) 대한 안정

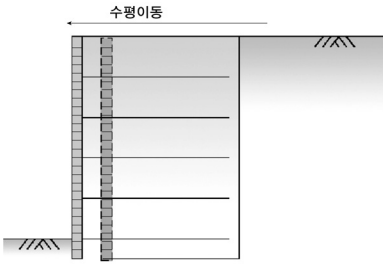
•보강토체와 지반 사이에서 발생하는 활동력과 이에 대한 저항력에 근거하여 안정검토

$$F_s = \frac{\sum \text{수평저항력}}{\sum \text{수평활동력}} = \frac{(V_1 + V_2 + F_V)\tan\delta + C_a B}{F_H}$$

여기서, δ : 옹벽저판과 지지지반 사이 마찰각

Ca : 옹벽저판과 지지지반 사이 부착력

보강토 옹벽의 활동(Slinding)



■ 전도에(Overturning) 대한 안정

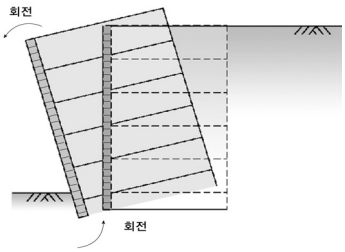
•전면판을 포함한 보강토체가 옹벽선단을 중심으로 회전하려는 모멘트와 이에 대해 저항하려는 모멘트에 근거한 안정검토

$$F_s = \frac{\sum \text{저항모멘트}}{\sum \text{전도모멘트}}$$

여기서,

Ms : 저항 모멘트, Mγ : 전도 모멘트

보강토 옹벽의 전도(Overturning)



■ 지지력에(Bearing Capacity)에 대한 안정

•보강토 옹벽의 자중 및 토압으로 인한 수직응력과 지반의 허용지지력과의 관계에 근거한 안정검토

$$\sigma_v \le q_a = \frac{q_{ult}}{FS}$$

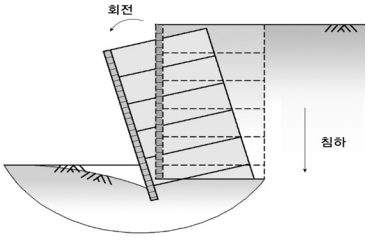
여기서,

σ_v : 옹벽저면의 수직응력

q_a : 기초지반의 허용지지력

q_{ult} : 기초지반의 극한지지력

보강토 옹벽의 지지력(Beariang Capacity)



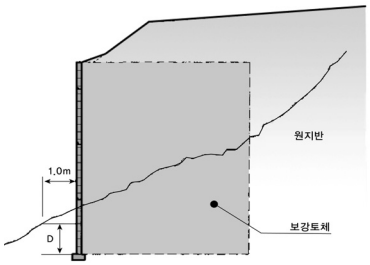
근입장에 (Embedment) 대한 안정

•적용조건
- 단단한 지반 : 최소근입장 없음
- 일반 지반조건 : 최소 근입장 Dm ≥ 40cm
  벽체 전면지반의 경사에 따라 다름

•검토식 - NF P 94-220

벽체 전면지반 경사	Dmin / qref ≥ Dm
수평	1.5×10^{-3}
3H : 1V	3.0×10^{-3}
2H : 1V	4.5×10^{-3}
3H : 2V	6.5×10^{-3}

보강토 옹벽의 근입장(Embedment)



내적 안정성 검토

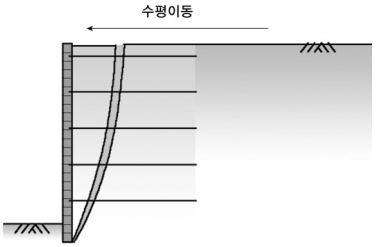
인발저항 (Pull out)

•각 보강재에 유발되는 인장력에 대해 보강재의 유효 길이에 따른 인발저항력에 근거하여 안정검토

$$\frac{T_f}{T_m} > 1, T_f = \frac{2bxf^* \times L_a \times \sigma_v}{(F_s)f}$$

여기서,
Tf : 보강재의 인발저항 능력
Tm : 발생최대 인장력
La : 보강재의 유효길이(인장파괴선 외측)
b : 보강재 폭, f* : 마찰계수

보강재 인발파괴



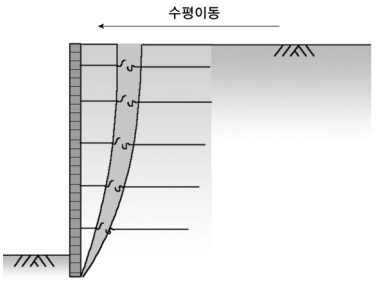
보강재 파단 (Strip rupture)

•보강재에 유발되는 인장력에 대한 보강재가 견딜 수 있는 최대허용인장력에 근거한 안정검토

$$\frac{T_f}{T_m} > 1, T_y = \frac{Ro}{(F_s)f} \times \frac{eo - es}{eo}$$

여기서,
Tm : 최대인장력
Tγ : 보강재의 허용인장강도
R0 : 파단강도

보강재 파단



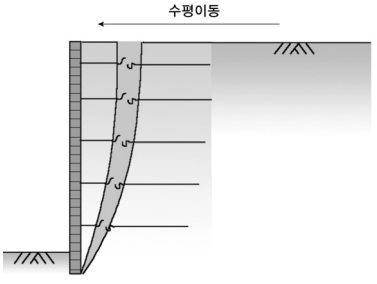
보강토 옹벽의 전체 안정성 검토

•보강토 옹벽 구조체 전체를 포함한 토체의 파괴에 대한 비탈면 안정검토를 수행
•파괴면은 원호로 가정하고, Moment Equilibrium에 의한 한계평형해석으로 검토

$$F_{sgs} = \frac{M_y}{M_d}$$

여기서,
Md : 보강토 옹벽에 불안정을 유발하는 Driving모멘트
Mγ : Driving모멘트에 대한 저항 모멘트

전체적 안정성 (Global Slope Stability)



1.2.2 보강토옹벽 안정성 검토결과

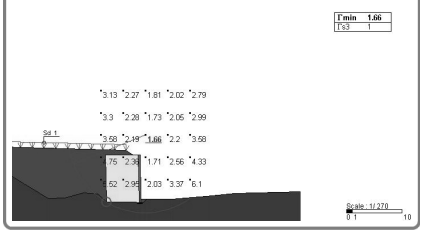
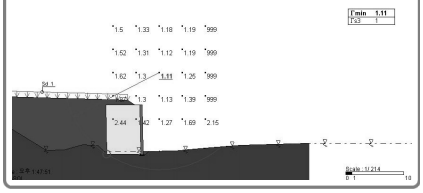
○ 내적·외적 안정성 검토 (도면 부대공 : 보강토옹벽 참조, 구조계산서)

구 간			내 적 안 정		외 적 안 정		
구분	Sta.	높이(m)	인장파단 (>1.0)	인발파괴 (>1.5)	활동 (>1.5)	전도 (>2.0)	지지력 (>2.5)
1	지선 STA. 0+321.27 ~ STA. 0+680.00	9.63	1.55	2.56	1.79	3.09	3.25
2	본선 STA. 0+283.83 ~ STA. 0+400.00	6.13	1.53	10.87	1.59	3.35	4.41
3	본선 STA. 1+914.20 ~ STA. 2+20.00	11.88	1.57	7.13	1.67	2.90	4.55
4	본선 STA. 2+560.00 ~ STA. 2+637.18	8.63	1.61	19.12	1.68	3.79	7.41
5	시도79호선 STA. 3+220.00 ~ sta. 3+300.00	83.13	1.58	2.51	1.66	2.74	4.14
6	본선 STA. 4+339.33 ~ STA. 4+435.21	10.63	1.51	2.65	1.68	2.91	4.06
7	행신R-C STA. 0+234.31 ~ STA. 0+269.19	4.13	1.80	15.10	1.67	4.53	9.27
8	북로JCT R-D STA. 0+478.97 ~ STA. 0+565.00	6.38	1.57	2.66	1.67	2.85	2.57
9	강매IC 1교 sta. 0+784.33 ~ sta. 0+808.31	3.13	3.08	8.61	1.61	4.07	6.59
10	강매IC 1교 sta. 0+869.70 ~ sta. 0+925.09	3.13	3.08	8.61	1.61	4.07	6.59
11	행신IC 자전거도로 STA. 0+79.30 ~ STA. 0+124.43	7.13	1.66	1.92	1.74	3.00	4.59
12	강매IC 1교	4.13	1.52	2.30	1.75	3.00	4.22
13	강매2교	10.13	1.50	2.69	1.61	3.00	2.58
14	도내지하차도	8.38	1.54	3.02	2.35	4.77	11.83
15	행신1교	7.13	1.50	2.86	1.85	3.00	4.41
16	행신3교	8.88	1.52	5.31	1.68	2.68	3.57
17	도내교	6.63	1.50	2.75	1.83	3.00	4.50
18	행신IC R-G교	6.63	1.50	2.75	1.75	3.00	2.56
19	행신IC교	9.13	1.50	2.05	1.79	3.00	3.36
20	미병교	9.13	1.50	2.53	1.78	3.06	2.60
21	미병육교	4.88	1.53	2.76	1.73	3.00	2.59
22	행신IC R-A 1교	9.13	1.51	2.44	1.68	2.94	5.20
23	행신IC R-A 2교	6.63	1.51	4.29	1.66	2.66	4.14
24	행신IC R-B교	5.63	1.50	2.62	1.74	3.00	2.57
25	원흥1교	5.38	1.50	2.50	1.73	3.00	2.59
26	원흥2교	10.63	1.50	2.75	1.75	3.00	2.56
27	성사3교	8.38	1.50	2.62	1.74	3.00	2.56
28	성사4교	7.13	1.50	2.62	1.74	3.00	2.56
29	성사5교	8.38	1.50	2.69	1.82	3.00	3.44
30	흥도육교	6.38	1.50	2.66	1.66	2.84	7.64
31	성라교	5.38	1.50	2.58	1.80	3.00	96.44
32	성라육교	6.38	1.50	2.78	1.66	2.84	7.64
33	성라6교	7.88	1.50	2.78	1.75	3.00	2.56
34	창릉천교	7.88	1.50	2.41	1.72	3.00	2.59

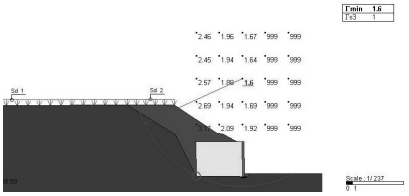
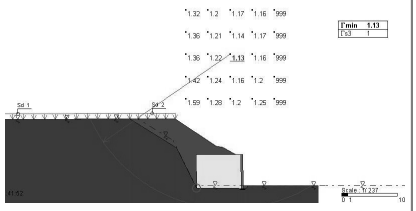
○ 전체적 안정성 검토결과 (도면 부대공 : 보강토옹벽 참조, 구조계산서)

구분	구 간 Sta.	높이(m)	전체 안정성 건기시 (>1.5)	전체 안정성 지진시 (>1.1)	비고
1	지선 STA. 0+321.27 ~ STA. 0+680.00	9.63	1.66	1.11	O.K
2	본선 STA. 0+283.83 ~ STA. 0+400.00	6.13	1.60	1.13	O.K
3	본선 STA. 1+914.20 ~ STA. 2+20.00	11.88	1.63	1.17	O.K
4	본선 STA. 2+560.00 ~ STA. 2+637.18	8.63	1.62	1.14	O.K
5	시도79호선 STA. 3+220.00 ~ sta. 3+300.00	83.13	1.74	1.24	O.K
6	본선 STA. 4+339.33 ~ STA. 4+435.21	10.63	1.81	1.18	O.K
7	행신R-C STA. 0+234.31 ~ STA. 0+269.19	4.13	2.05	1.38	O.K
8	북로JCT R-D STA. 0+478.97 ~ STA. 0+565.00	6.38	2.10	1.65	O.K
9	강매IC 1교 sta. 0+784.33 ~ sta. 0+808.31	3.13	1.66	1.16	O.K
10	강매IC 1교 sta. 0+869.70 ~ sta. 0+925.09	3.13	-	-	O.K
11	행신IC 자전거도로 STA. 0+79.30 ~ STA. 0+124.43	7.13	2.12	1.47	O.K
12	강매IC 1교	4.13	2.18	1.78	O.K
13	강매2교	10.13	6.69	1.11	O.K
14	도내지하차도	8.38	2.78	1.36	O.K
15	행신1교	7.13	2.12	1.46	O.K
16	행신3교	8.88	1.57	1.13	O.K
17	도내교	6.63	2.06	1.45	O.K
18	행신IC R-G교	6.63	1.68	1.14	O.K
19	행신IC교	9.13	1.51	1.12	O.K
20	미병교	9.13	1.68	1.13	O.K
21	미병육교	4.88	2.42	1.55	O.K
22	행신IC R-A 1교	9.13	1.55	1.17	O.K
23	행신IC R-A 2교	6.63	1.89	1.13	O.K
24	행신IC R-B교	5.63	1.69	1.16	O.K
25	원흥1교	5.38	2.16	1.48	O.K
26	원흥2교	10.63	1.64	1.20	O.K
27	성사3교	8.38	1.76	1.22	O.K
28	성사4교	7.13	1.83	1.11	O.K
29	성사5교	8.38	1.51	1.20	O.K
30	흥도육교	6.38	2.66	1.84	O.K
31	성라교	5.38	10.2	6.64	O.K
32	성라육교	6.38	2.66	1.84	O.K
33	성라6교	7.88	1.77	1.12	O.K
34	창릉천교	7.88	1.70	1.25	O.K

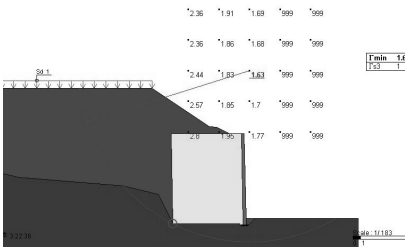
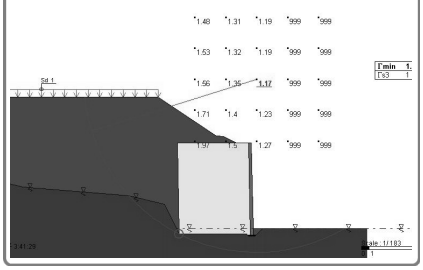
1호옹벽 지선 STA.0+340

건기시	지진시	검토 결과
		•전체 활동 대표단면 검토결과 •건기시 : Fs= 1.66 〉 1.5-O.K •지진시 : Fs= 1.11 〉 1.1-O.K

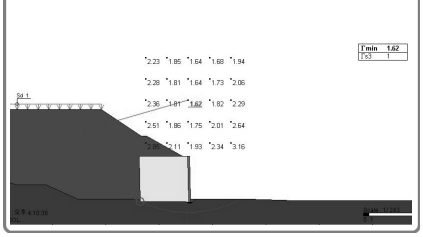
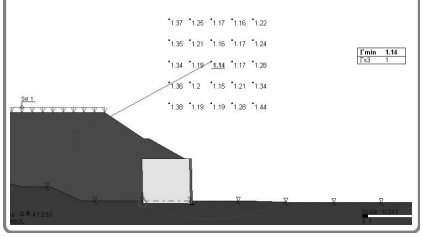
2호옹벽 본선 STA.0+340

건기시	지진시	검토 결과
		•전체 활동 대표단면 검토결과 •건기시 : Fs= 1.60 〉 1.5-O.K •지진시 : Fs= 1.13 〉 1.1-O.K

3호옹벽 본선 STA.1+960

건기시	지진시	검토 결과
		•전체 활동 대표단면 검토결과 •건기시 : Fs= 1.63 〉 1.5-O.K •지진시 : Fs= 1.17 〉 1.1-O.K

4호옹벽 본선 STA.2+580

건기시	지진시	검토 결과
		•전체 활동 대표단면 검토결과 •건기시 : Fs= 1.62 〉 1.5-O.K •지진시 : Fs= 1.14 〉 1.1-O.K

1.2.3 보강토옹벽 뒷채움재 검토

•보강토 구조물의 건설에 이용되는 뒷채움재는 이론적으로 흙과 보강재 사이의 마찰효과에 의하여 쌓기제체의 전단특성이 개량된다고 할 수 있음
•국내에서는 뒤채움재료에 대하여 상세하게 명기된 시방 및 규정은 없으며, 국내외 각 기관의 시방기준을 참조하여, 토취장 쌓기재료의 적합성 여부를 검토한 후 설계에 적용

○ 국내 뒤채움재 선정기준

구 분	입 도 분 포			비 고
	체 크 기		통과백분율(%)	
국립건설시험 연구소 (1983)	254mm (10 in) 101.6mm (4 in) 74μ m (No 200체)		최대입경 100 ~ 75 0 ~ 15	내부마찰각 25° 이상
도로설계 실무편람 (1996)	102mm (4 in) 0.425mm 74μ m (No 200체)		100 0 ~ 60 0 ~ 15	-
	예외규정 (No. 200통과량 15% 이상인 경우)	0.015mm	10% 이하	-
		0.015mm	10 ~ 20%	내부마찰각 25° 이상, 소성지수(PI) 6이하
구조물 기초설계기준 (2003)	100mm 0.425mm 0.075mm		100 0 ~ 60 0 ~ 15	-
	예외규정 (No. 200통과량 15% 이상인 경우)	0.015mm	10% 이하	-
		0.015mm	10 ~ 20%	내부마찰각 25° 이상, 소성지수(PI) 6이하

■ 뒤채움 재료로서 갖추어야 할 조건 : 도로설계 표준편람, 1996, 구조물 기초설계기준, 2003

최대입경	입경100mm 이상의 함유율	입경 0.074mm 이하의 함유율	비 고
250mm	5% 이하	25% 이하	•세립분이 적당하게 혼합되어 있어서 다짐효과를 발휘할 수 있어야 함

○ 품질기준 설정

구 분	기준 1	기준 2	비 고
입 도	•최대입경 : 254mm •5mm 통과량 : 20 ~ 100% •0.08mm 통과량 : 15% 이하	•최대입경 : 254mm •100mm 통과량 : 75 ~ 100% •0.08mm 통과량 : 25% 이하	•기준 1재료를 사용하되 기준 1재료를 현장 부근 에서 구할 수 없을 때 기준 적용
내부마찰각	25° 이상	25° 이상	
소성지수(PI)	PI < 6	PI < 6	

○ 다짐장비에 의한 시공 시 횡토압 검토

•국내·외 연구사례를 분석을 통하여 Duncan(ASCE, 1993)에 의하여 제시된 방법을 활용하여 시공 중 다짐장비에 의하여 발생되는 추가토압을 고려하여 시공 중 안정성 분석 수행
•국내 · 외 연구사례를 검토하여 Duncan(ASCE,1993)이 제안한 방법에 의하여 100kN의 진동로울러 장비를 사용한 경우 최대 횡토압은 43.6kPa으로 산정
•연구사례와 시공사례를 토대로 검토한 결과, 다짐장비와 옹벽 벽체사이의 거리를 1.0m이상으로 할 경우 옹벽에 미치는 횡토압의 영향은 적은 것으로 분석

제 2 장 횡단구조물 설계

2.1 설계개요

기본방향	•도로계획에 따른 기존의 마을 진입도로 및 우회도로의 기능을 확보하며, 배수구조물의 원활한 배수기능을 위하여 설치하는 횡단구조물은 지지력과 침하에 대하여 안정성을 확보하여야 하므로 구조물위치에 지반조사를 실시하여 안정검토 수행 •연약지반상 횡단구조물 안정성은 연약지반 처리공법(Preloading)완료 및 터파기 후 구조물 시공시 지지력 및 침하에는 안정

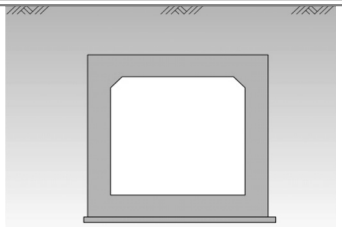
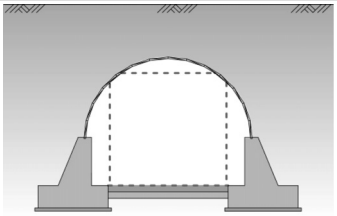
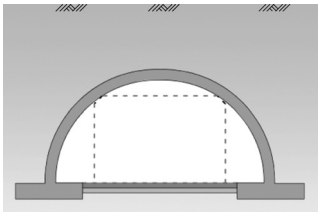
2.1.1 횡단구조물 설치현황

○ 횡단구조물 설치 현황

구 분		위 치(Sta.)	연 장(m)	토피고(m)	규 격(m)	용 도	비 고
1	본선	2+984.1	104.4	9.2	2.5×2.5	수로 박스	
2	본선	3+185	114.4	8.3	2.0×2.0		
3	본선	5+167.4	65.1	12.3	2.0×2.0		
4	본선	5+374.2	118.9	12.6	2.5×2.0		
5	부체도로 1-4	0+122.1	8	0.2	2.5×2.5		연약지반구간Preloading 후 시공
1	본선	0+750.3	51.64	6.6	3.5×3.5	통로 박스	
2	본선	3+231.7	81.5	1.9	4.5×4.5		
3	본선	3+800	41.89	0.7	3.0×2.5		
4	본선	4+961.6	57.6	5	4.5×4.5		
5	본선	5+160	59.9	7.5	4.5×4.5		
6	본선	6+260	44.1	1.6	3.5×3.5		
7	지선	1+300	26.4	1.3	4.5×4.5		연약지반구간Preloading 후 시공
8	행신IC R-A	0+375	43.17	2.7	3.0×2.5		
9	행신IC R-C	0+201.4	15.6	2.4	4.0×4.0		

검토결과	•연약지반상 횡단구조물 안정은 연약지반 처리공법 완료 및 터파기 후 시공계획으로 안정

2.1.2 횡단구조물 형식 검토

구 분	콘크리트 암거(BOX형)	파형강판 암거	콘크리트 암거
개요도			
시공방법	•콘크리트 현장 타설	•공장제작 + 현장조립	•콘크리트 현장 타설
강 도	•콘크리트 : fck=24MPa •철 근 : fy=30MPa	•항복강도 : 245N/mm^2 •인장강도 : 400N/mm^2	•콘크리트 : fck=24MPa •철 근 : fy=30MPa
특 징	•미관 보통 •어려운 지형여건에 유리 •설계 및 시공경험 풍부 •공사비 비교적 저가	•구조물 현장설치 •현장타설 양생기간 불필요 •잔류침하로 인한 구조물 종방향 균열 발생 예방 •유출입부 곡면형상(미관우수)	•농로 진입부의 미관 양호 •충분한 시거 확보 •구조적으로 안정함 •시공성 불량 •품질관리 및 공사비 고가
선 정	◉	-	-

검토결과

•도로계획에 따른 기존 마을의 진입도로 및 우회도로의 기능을 확보하기 위하여 설치하는 횡단구조물은 지형여건에 시공성이 우수하며 경제적인 콘크리트 박스 선정

2.2 횡단구조물 안정성 검토

기본방향

•허용지지력 검토는 시추조사 결과와 각종 현장시험 및 실내시험결과를 토대로 선정된 지반정수를 이용한 정역학적 공식과 N값을 이용한 경험식에 의하여 지지력 산정

•대부분 압밀침하가 발생하지 않는 지반에 위치하므로 즉시침하만을 고려하여 비교적 신뢰도가 높다고 판단되는 경험식에 의해 침하량을 산정

2.2.1 횡단구조물 안정성 검토

◎ 횡단구조물 지지력 검토 (원지반)

구 분		위 치 (Sta.)	규 격 (m)	허용지지력 (kPa)			허용지지력 (kPa)	최대작용력 (kPa)	판 정
				Terzaghi	Meyerhof	수정 Meyerhof			
수로박스	본선	2+984.1	2.5×2.5	53.3	56.4	142.9	53.3	258.3	N.G
		3+185	2.0×2.0	50.2	53.3	150.7	50.2	248.5	N.G
		5+167.4	2.0×2.0	379.2	366.5	322.9	322.9	258.3	O.K
		5+374.2	2.5×2.0	404.1	376.1	485.0	376.1	251.7	O.K

구 분		위 치 (Sta.)	규 격 (m)	허용지지력 (kPa)			허용지지력 (kPa)	최대작용력 (kPa)	판 정
				Terzaghi	Meyerhof	수정 Meyerhof			
통로박스	본선	0+750.3	3.5×3.5	607.2	592.7	191.8	191.8	229.6	N.G
	본선	3+231.7	4.5×4.5	771.9	748.4	277.8	277.8	144.8	O.K
	본선	3+800	3.0×2.5	466.5	443.7	472.0	443.7	171.6	O.K
	본선	4+961.6	4.5×4.5	771.2	752.2	148.1	148.1	190.2	N.G
	본선	5+160	4.5×4.5	771.2	751.5	370.3	370.3	291.4	O.K
	본선	6+260	3.5×3.5	607.2	593.2	287.8	287.8	161.3	O.K
	행신IC R-A	0+375	3.0×2.5	517.8	494.1	377.6	377.6	184.9	O.K
	행신IC R-C	0+201.4	4.0×4.0	933.5	980.5	376.2	376.2	166.4	O.K

○ 횡단구조물 침하량 검토(원지반)

구 분		위 치 (Sta.)	침하량 (cm)			예상침하량 (cm)	허용침하량 (cm)	판 정	비 고
			Hooke	Harr	Meyerhof				
수로박스	본선	2+984.1	11.4	10.9	6.1	11.4	30.0	O.K	치환구간
	본선	3+185	8.78	8.37	5.6	8.78	30.0	O.K	치환구간
	본선	5+167.4	3.17	3.0	2.7	3.1	30.0	O.K	
	본선	5+374.2	3.9	3.7	1.7	3.9	30.0	O.K	
통로박스	본선	0+750.3	4.9	4.7	4.1	4.9	30.0	O.K	치환구간
	본선	3+231.7	4.0	3.8	1.8	4.0	30.0	O.K	
	본선	3+800	3.2	3.0	1.2	3.2	30.0	O.K	
	본선	4+961.6	5.3	5.1	3.5	5.3	30.0	O.K	치환구간
	본선	5+160	4.3	4.1	2.7	4.3	30.0	O.K	
	본선	6+260	3.5	3.3	1.9	3.5	30.0	O.K	
	행신IC R-A	0+375	1.0	1.0	1.6	1.6	30.0	O.K	
	행신IC R-C	0+201.4	1.2	1.2	1.5	1.5	30.0	O.K	

○ 지지력 검토(양질의 토사 치환공법) 적용

구 분		위 치 (Sta.)	규 격 (m)	허용지지력 (kPa)			허용지지력 (kPa)	최대작용력 (kPa)	판 정
				Terzaghi	Meyerhof	수정 Meyerhof			
수로박스	본선	2+984.1	2.5×2.5	632.6	629.2	306.2	306.2	258.3	O.K
	본선	3+185	2.0×2.0	540.7	540.3	322.9	322.9	248.5	O.K
통로박스	본선	0+750.3	3.5×3.5	739.6	739.1	287.8	287.8	229.6	O.K
	본선	4+961.6	4.5×4.5	903.6	898.7	277.8	277.8	190.2	O.K

검토결과

- 횡단 구조물 안정성 검토결과 지지력 및 침하량은 대부분 허용기준을 만족하는 것으로 판정
- 원지반 불안정구간은 하부 양질의 토사로 치환시 지지력 및 침하에 안정성 확보
- 연약지반상 횡단 구조물은 연약지반처리 공법(Preloading)완료 및 터파기 후 시공시 안정성 확보
- 기초 시공시 줄파기등을 수행하여 기초지반의 상태를 확인한 후 시공하여야 하며, 지층이 상이할 시 현장여건에 따라 변경하여 함

제11편 내진 설계

제1장 지반구조물 내진설계

제2장 교량기초 내진설계

제3장 비탈면 내진설계

제 1 장 지반구조물 내진설계

1.1 설계개요

기본방향	•사업구간의 중요도와 인근상황을 고려하여 지진 발생시 구조물 피해정도를 최소화 할 수 있도록 내진성능을 설정 •우리나라 지진발생 현황분석 및 동적지반정수 산정에 의한 내진해석 수행

1.1.1 기본방향

•내진설계는 지진과 같은 동적하중이 가해질 경우 지반-구조물에 발생하는 응력과 변형거동을 해석이론을 통하여 분석하고 지반-구조물의 강도(특히 전단강도)와 허용변위보다 작도록 구조물의 제원과 형식 결정
•지진에 인한 구조물의 피해정도를 최소화할 수 있도록 지역현황을 고려하여 내진설계기준 및 목표를 선정
•일반적인 정적해석과 내진설계를 위한 동적해석은 크게 하중의 적용방법, 변형의 크기에 부합하는 지반의 강도정수 산정, 해석대상의 경계조건설정 등에 차이가 있어 설계형식에 부합하도록 반영
•허용 안전율 미달 및 과대변위 발생 시 합리적인 보강공법 적용, 구조물의 크기를 재조정하여 내진 안정 확보

1.1.2 우리나라의 지진발생 현황

○ 내진설계 필요성

•국내 최근 지진활동은 약 200년동안 지진정지기(Seismic Gap)에 있다가 20세기부터 다시 활발한 추세
•최근 지진발생지역인 한반도 남부지역은 그동안 지진정지기에서 벗어나 오랫동안 축척된 변형에너지를 최근에 와서 방출하기 시작. (지진발생빈도 : 1978~2003년동안 총597회 발생, 연평균 23회 발생)
  ➡ 황해지진(M=6.75, 1944년), 쌍계사지진(M=5.2, 1963년), 동해지진(M=5.4, 1968년), 속리산지진 (M=5.2, 1978년), 홍성지진(M=5.0, 1978년)
•2005년에도(4월20일 기준) 일본 후쿠오카 북서쪽 20~45km해역에서의 10여차례 지진발생으로 인해 우리나라에도 영향을 미침. (1978년 홍성지진이후 구조물 설계시 내진설계 개념의 도입이 본격화)

○ 내진 설계 주요 검토 사항

항 목	검 토 사 항
부지특성 고려	•토사층에 의한 지진증폭현상을 고려하기 위하여 PROSHAKE를 이용한 지진응답해석 결과를 이용하여 사업구간 부지의 지반내진특성을 고려
다양한 지진파의 검토	•장 · 단주기 지진 및 인공지진파를 생성하여 각 지진파에 따른 구조물의 안정성 검토
액상화의 상세예측	•기존의 문헌치등의 경험적인 액상화 평가기법 외의 공진주 시험을 통한 현지반의 동적물성을 정확히 파악하여 액상화 평가에 반영함
교량기초 내진검토	•유사 정적 해석을 수행하여, 지진에 대한 교량구간 안정성 검토
비탈면 내진검토	•비탈면 구간 유사 정적 및 동적 해석을 수행

1.1.3 지반조건 및 내진설계 검토구간

•전 구간에 걸쳐 지표면 부근에 붕적층 및 충적층이 형성되어 있고 대부분 지진증폭을 유발하고 액상화의 가능성이 높은 실트질 모래로 분포
•각 교량 및 비탈면의 대표단면을 선정하여 내진에 대한 안정성 해석 수행

○ 내진설계 검토구간 선정

•비탈면은 비탈면 높이 및 풍화대의 심도를 고려하여 검토구간 선정
•교량기초의 검토구간은 심도가 깊어 장주기 영역에서 지진가속도의 증폭이 큰 말뚝기초와 단주기 영역에서 증폭이 크게 발생할 것으로 예상되는 기초를 검토단면으로 선정
•액상화 검토구간은 지하수위 이하에서 느슨한 모래층에서 심도가 깊은 지역을 선정

구 분	액 상 화	교량기초	비 탈 면
현황 분석	•포화된 느슨한 모래층이 분포하는 지점을 대상으로 지반조사결과시 검토구간 선정 •선정된 구간에 대하여 액상화 간편 예측 및 상세예측 수행	•느슨한 사질토 지반이 깊게 분포하고 있는 단면 선정 •지진하중 작용시 기초의 유사정적해석 수행	•비탈면 구간 중 지진에 취약할 것으로 예상되는 최고 깎기부에 대하여 2차원 수치해석을 수행하여 안정성 검토 •유사정적해석 및 동적수행

1.2 내진설계 검토기준

기본방향	•부지응답해석을 통한 설계지반 운동수준 결정 •지진하중에 의한 교량기초의 안정성 검토 •지진 발생시 지반의 액상화 발생 여부 및 비탈면의 안정성 검토

1.2.1 내진설계 검토방법 및 기준

검 토 항 목		검 토 방 법
응 답 해 석		•인공지진 시간이력 곡선 작성(EQMAKER), 지진응답해석(PROSHAKE)
교량구간	말뚝기초	•유사정적해석 ➡ GROUP 6.0
비 탈 면	쌓 기 부	•유사정적해석, 동적해석 ➡ TALREN 97, SLOPE/W
	깎 기 부	
액상화 검토		•간편예측법 ➡ 최근의 액상화 평가기법 적용 (Seed & Idriss, NCEER2001 등)
		•상세예측법 ➡ 진동삼축 압축시험

○ 국외 설계규정

구 분	설 계 방 법	지 진 계 수
미 국 (UBC)	•연성도 설계법 (Ductile Design Method) 적용	•지진계수를 밑변 전단력(V)으로 적용 $V = \frac{1.25Z \cdot I \cdot S \cdot W}{R} \times T \times \frac{2}{3}$ Z : 지진 지역계수, W : 자 중 I : 중요도 계수, R : 연성계수 S : 지반계수, T : 주기
일 본	•정적설계인 진도법을 기본으로 하고 1800년대 이후 지반종류와 구조물의 주기에 따른 진동특성계수와 같은 동역학적인 사항을 포함 적용	•각 기관이 규정하는 정도의 차이는 있으나 일반적으로 0.15~0.25를 적용
ISO 3010	•등가정적 및 동적해석으로 구분하여 국가별 현장상황을 고려한 설계	•각 국가에서 규정하는 계수 적용
터 키	•UBC, ATC3-06와 같은 연성도 설계법 (Ductile Design Method)채택	•지진구역을 5분할하여 0~0.4을 적용
대 만	•UBC와 비슷하며, 연성 설계법 채택	•지진구역을 4분할하여 0.18~0.33을 적용

○ 국내 설계규정

■ 내진등급

구 분	시 설 물	내진검토 적용기준
내진 특등급	•파괴시 큰 재난이 초래될 수 있는 시설물 •기능이 마비될 경우 사회적으로 큰 영향을 줄 수 있는 시설물	•내진설계 기준연구 II - 건설교통부, 1997 •도로교 설계기준 - 국토해양부, 2010 •참고자료 : 항만 및 어항시설의 내진설계표준서 - 해양수산부, 1999
내진 I 등급	•사회 국가적으로 중요한 시설물	
내진 II 등급	•일반 시설물	

■ 설계성능수준

구 분	시 설 물
기능수행수준	•구조물에 심각한 구조적 손상이 발생하지 않고 지진시나 지진 경과 후에도 구조물의 기능은 정상적으로 유지될 수 있는 성능수준
붕괴방지수준	•구조물에 제한적인 구조적 피해는 발생하나 긴급보수를 통해 단시간에 구조물로서의 기능이 발휘될 수 있는 수준

○ 내진성능목표

성능수준 \ 재현주기	50년	100년	200년	500년	1000년	2400년
기능수행수준	내진II등급	내진I등급	내진특등급	-	-	-
붕괴방지수준	-	-	-	내진II등급	내진I등급	내진특등급

○ 설계지진계수(최대지반가속도) (국토해양부, 도로교설계기준, 2010)

■ 지진구역에 따른 설계지진계수

•지진발생지역을 분류하여 지역에 따른 적용 가속도값인 지진구역계수 결정
•내진성능목표에 따라 지진의 재현주기에 따른 최대유효 지반가속도를 의미하는 위험도계수 결정
•지진구역계수와 위험도계수를 곱하여 기반암(보통암)에서의 설계지진계수 산출
•설계지진계수 = 지진구역계수 × 위험도 계수

■ 지진구역계수 (Z)

지진구역	행 정 구 역		지진구역계수 (재현주기 500년)
I	시	서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시	0.11
	도	경기도, 강원도 남부(1), 충청남도, 충청북도, 경상남도, 경상북도, 전라북도, 전라남도 북동부(2)	
II	도	강원도 북부(3), 전라남도 남서부(4), 제주도	0.07

■ 위험도 계수 (I)

재현주기	50년	100년	200년	500년	1000년	2400년
위험도계수	0.4	0.57	0.73	1.0	1.4	2.0

○ 지진구역에 따른 설계지진계수 산정 (국토해양부, 도로교설계기준, 2010)

•내진설계기준은 그 중요도에 따라서 사업구간의 경우 Ⅰ등급 붕괴방지수준을 적용하고 지진구역 Ⅰ(경기도)에 해당되므로 지반운동수준 산정
•설계지진계수는 기준 지진재해도 각각 0.10g와 0.13g를 적용하는 것이 경제적이지만 안전측 설계를 도모하는 취지에서 지진구역에 따른 설계지진계수 적용

구 분	내진등급	재현주기	구역 가속도	위험도 계수	설계지진계수
사업구간	Ⅰ등급	1000년	0.11g	1.4	0.154g

○ 적용 설계기준

구 분		기준안전율	허용 변위(mm)	설계지진계수
비탈면 구간	쌓 기 부	1.1	–	0.154g
	깎 기 부	1.1		
교량 구간	교량기초	–	22.5	
액상화 구간	간 편 법	1.5	–	–
	상 세 법	1.0		

1.2.2 동적 설계지반정수 산정

○ 설계지반정수 산정

■ 1공구 및 2공구

구 분		1 공구						2 공구					
		V_p (m/s)	V_s (m/s)	G_d (MPa)	E_d (MPa)	K_d (MPa)	υ_d	V_p (m/s)	V_s (m/s)	G_d (MPa)	E_d (MPa)	K_d (MPa)	υ_d
매립층	점토	440	170	40	130	260	0.41	400	150	30	100	220	0.42
	모래	460	180	50	160	300	0.41	420	160	40	130	250	0.42
붕적층		480	190	60	180	320	0.41	440	170	50	140	270	0.41
퇴적층	점토	490	200	60	190	320	0.40	460	180	50	150	280	0.41
	실트	530	220	80	230	370	0.40	480	190	60	170	310	0.41
	모래(≤10)	550	240	100	290	410	0.38	500	210	80	220	350	0.39
	모래(>10)	600	260	120	340	490	0.38	570	240	100	290	450	0.39
	자갈	660	290	150	440	610	0.38	600	260	120	350	510	0.38
풍화토		690	310	180	500	660	0.37	620	270	130	380	540	0.38
풍화암		960	450	420	1,150	1,360	0.36	1,150	550	630	1,710	1,930	0.35
연 암		1,430	700	1,120	3,020	3,200	0.34	1,550	780	1,390	3,720	3,650	0.33
보통암		1,650	850	1,730	4,570	4,220	0.32	1,700	900	1,940	5,070	4,340	0.31
경 암		2,300	1,350	4,730	11,720	7,430	0.24	2,300	1,350	4,730	11,720	7,430	0.24
Ⅴ등급		2,830	1,300	3,880	10,620	13,230	0.37	2,380	1,100	2,780	7,590	9,310	0.36
Ⅳ등급		3,100	1,550	5,760	15,370	15,370	0.33	3,000	1,490	5,320	14,230	14,490	0.34
Ⅲ등급		3,550	1,900	9,020	23,450	19,470	0.30	3,600	1,900	9,020	23,590	20,360	0.31
Ⅱ등급		3,750	2,100	11,460	29,150	21,270	0.27	3,750	2,100	11,460	29,150	21,270	0.27
Ⅰ등급		4,000	2,350	14,910	36,870	23,310	0.24	4,150	2,400	15,550	38,840	25,760	0.25

■ 3공구 및 4공구

구 분		3 공구						4 공구					
		V_p (m/s)	V_s (m/s)	G_d (MPa)	E_d (MPa)	K_d (MPa)	υ_d	V_p (m/s)	V_s (m/s)	G_d (MPa)	E_d (MPa)	K_d (MPa)	υ_d
매립층	점토	380	140	30	90	200	0.42	430	160	40	120	250	0.42
	모래	400	150	40	110	230	0.42	440	180	50	160	270	0.40
붕적층		450	170	50	140	290	0.42	450	180	50	160	280	0.40
퇴적층	점토	470	180	50	150	300	0.41	460	190	60	170	280	0.40
	모래(≤10)	555	230	90	270	430	0.40	500	210	80	220	350	0.39
	모래(>10)	560	230	90	270	440	0.40	550	230	90	270	420	0.39
	자갈	580	250	110	320	480	0.39	580	280	140	400	440	0.35
풍화토		700	310	180	500	680	0.38	680	330	200	550	600	0.35
풍화암		900	430	380	1,050	1,180	0.35	970	480	480	1,290	1,330	0.34
연 암		1,230	630	910	2,410	2,260	0.32	1,500	770	1,360	3,600	3,350	0.32
보통암		1,700	890	1,900	4,980	4,400	0.31	2,500	1,300	4,050	10,660	9,590	0.31
경 암		2,100	1,180	3,620	9,190	6,630	0.27	2,620	1,500	5,850	14,690	10,040	0.26
Ⅴ등급		–	–	–	–	–	–	2,800	1,300	3,880	10,590	12,840	0.36
Ⅳ등급		–	–	–	–	–	–	3,000	1,550	5,760	15,190	13,910	0.32
Ⅲ등급		–	–	–	–	–	–	3,150	1,700	7,220	18,700	15,170	0.29
Ⅱ등급		–	–	–	–	–	–	4,250	2,400	14,970	37,910	26,990	0.27
Ⅰ등급		–	–	–	–	–	–	4,350	2,550	17,550	43,470	27,680	0.24

■ 지진응답해석 및 동적해석에 적용한 감쇄비는 Richart(1970)가 제안한 값을 이용

Soil Type	Damping Ratio (%)	Reference
Dry Sand 6& Gravel	3~7	Weissmann & White (1961)
Dry & Saturated Sand	1~3	Hall & Richart (1963)
Dry Sand	3	Whiteman (1963)
Dry & Saturated Sands & Gravels	5~6	Barkan (1962)
Clay	2~5	Barkan (1962)
Silt Sand	3~10	Stevens (1966)
Dry Sand	1~3	Hardin (1965)

○ 동적해석 적용 감쇄비

구 분	감쇄비 (%)
토 사 층	5.0
풍 화 토	5.0
풍 화 암	5.0
기 반 암	2.0

1.3 지진 응답 해석

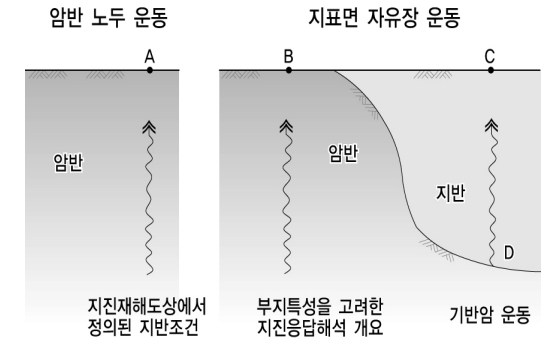
기본방향	•내진설계 기준서에서 제시하고 있는 설계지반운동 수준은 기반암(보통암)지반의 자유장에서 발생할 수 있는 최대지반 가속도 값으로 정의 •해석지반조건이 보통암 노출 지반이 아닌 경우 해당지역의 지반특성에 따른 설계 지반 가속도로 재산정해야 하며, 이러한 일련의 과정을 위해 지진응답해석 실시

1.3.1 지진응답해석 방법

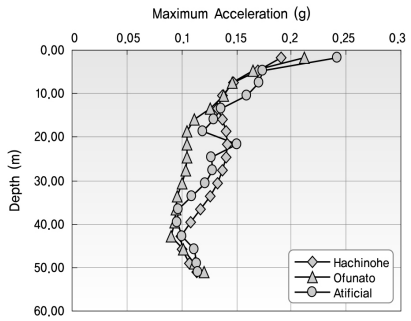
○ 지진응답해석 개념

•설계지반운동 수준은 지표면 자유장인 보통암 수준의 암반 노두(점 A)에 관한 것으로 이러한 조건에 부합되지 않는 조건인 경우 별도의 해석이 필요
•내진해석이 필요한 부지 조건이 아래의 점 C와 같이 내진 기준서에서 규정한 상태인 보통암 지반과 다른 경우 점 B의 설계지반운동 수준을 기반암 운동(점 D)으로 1차 변환하고 부지의 동적 변형 특성에 따른 점 D에서 점 C 경로의 운동변화 양상에 관한 해석을 수행하는 방법이 지진응답해석

지진응답해석의 개념



지진가속도의 증폭



▮ 사용 프로그램 (PROSHAKE)

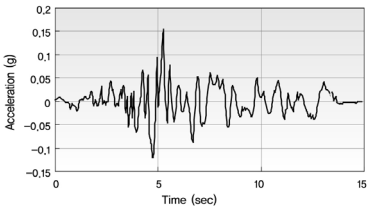
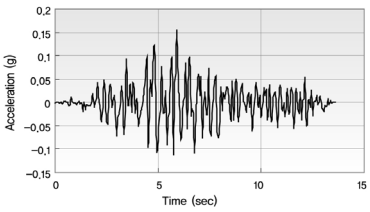
•지진과 같은 진동하중 재하시 수평으로 놓인 지반의 거동을 등가선형분석(Equilibrium Linear Analysis)
•비선형해석프로그램인 DESRA, CHASOIL에 비해 설계시 안전측 결과를 제공

특성			
	•1차원 전응력 지진응답해석	•중복반사파이론+등가선형이론	•실지진 시간이력 입력
	•주파수영역에서 응답스펙트럼작성	•전단파속도, 전단응력, 가속도 출력	•변형률 수준별 물성자료 입력 가능
	•수평으로 놓인 지반 대상		

1.3.2 입력 지진파

•지진응답해석에 이용되는 입력지진은 내진설계를 수행하는 지점에서 직접 측정한 지진기록을 이용하는것이 가장 적합하나, 국내의 경우 사용할 수 있는 지진기록이 거의 없는 상태로 외국의 지진기록을 수정하여 사용하거나 시간영역에서 인공적으로 생성한 지진파를 입력지진으로 사용
•실제 지진기록에서 장주기 성분과 단주기 성분의 특성을 나타내는 지진파는 일본에서 발생한 Hachinohe와 Ofunato 지진기록을 들 수 있으며, 본 해석에서는 이들 지진기록을 사용
•표준설계 응답스펙트럼에 부합하는 인공합성 지진기록을 추가적으로 생성하여 해석에 적용

실지진 기록

지진형태	지 진 발 생 현 황	지진규모	지진성분	실 지 진 파
Hachinohe	1968년 3월 16일 Takachin 앞바다	7.9	장주기파	
Ofunato	1978년 6월 12일 Miyagi-ken-oki 앞바다	7.4	단주기파	

인공지진의 합성

- 사용프로그램 : EQMAKER
- 실제 지진기록은 크기를 조정하여 목표로 하는 최대값을 만족해도 설계 응답스펙트럼을 만족시키지 못함
- 설계 응답스펙트럼에 부합하는 입력지진을 산정하고 이를 이용하여 지진응답해석 등을 수행하며 그 결과를 설계에 반영하는 것이 필요
- 입력지진이력은 주기와 위상각 진폭이 다양한 정현함수와 포락함수로 중첩하여 시간의 함수로 표현

$$V_g(t) = E(t) \sum_{i=1}^{n} C_i \sin(\omega_i t + \varphi_i)$$

여기서,

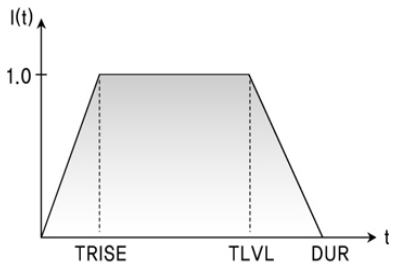
- $E(t)$: 가속도-시간이력 곡선의 진도포락함수
- C_i : 진폭 • ω_i : 진동수 • φ_i : 위상각

진도포락함수

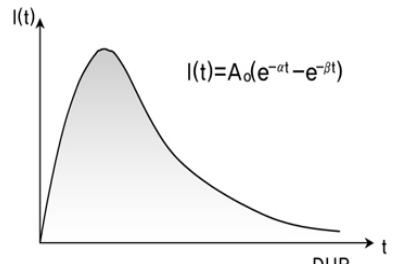
- 입력지진이력에 사용된 위상각은 독립무작위변수로 0 과 2 π 사이에서 일정한 분포의 진도포락함수를 특정지역에서 발생한 가속도 시간이력의 기록을 참조하여 그 지역의 지반특성에 맞는 결과를 회득
- 진도포락함수에는 과업지역에서 발생한 가속도 시간이력의 기록을 참조하여 결정하여야 그 지역의 지반특성에 맞게 사용할 수 있으며 일반적으로 Trapezoidal, Exponential, Compound 등의 형태를 이용
- 설계에서는 진앙지와 관측지가 멀리 떨어져 있는 경우에 많이 이용하는 Trapezoidel형을 사용함

진도포락함수의 종류

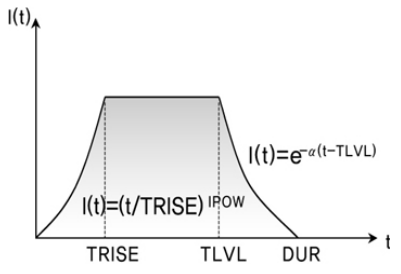
Trapezoidal



Exponential



Compound



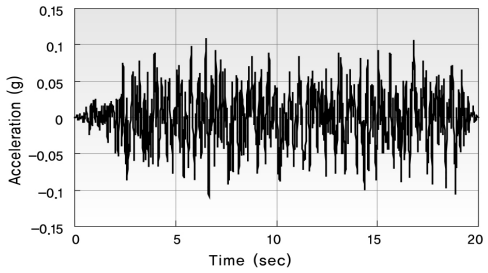
•강진 시작시간 (tb) = 3.0sec
•강진 지속시간 (tc-tb) = 13sec (European Standards)
•강진 시작전 시간함수 : $I(t)=(t/t_b)^2$
•전체적 지속시간 = 20sec
•강진 이후 시간함수 : $T(t)=e^{-\alpha(t-t_c)}$

■ 최대지반가속도에 대한 인공가속도 시간이력의 강진지속시간 (European Standards, 1994)

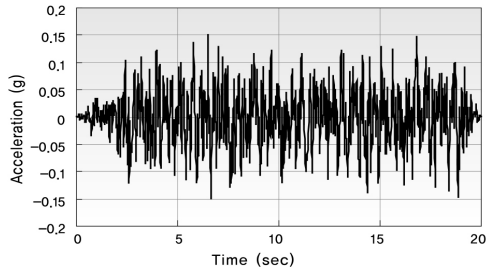
Ca (g)	0.1	0.2	0.3	0.4
tc-tb	10sec	15sec	20sec	25sec

■ 입력지진의 생성 (지속시간(T) 20초, 강진시작 3초 및 강진지속시간 13초로 하여 생성)

인공지진파 (0.110g)



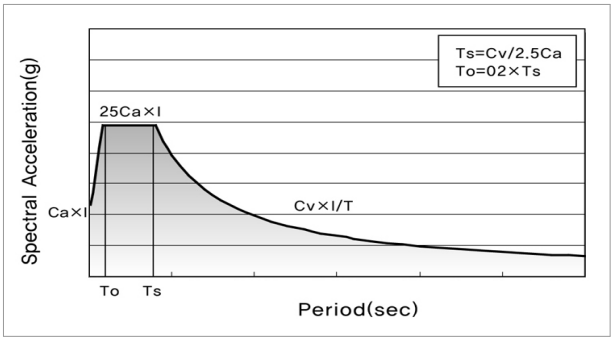
인공지진파 (0.154g)



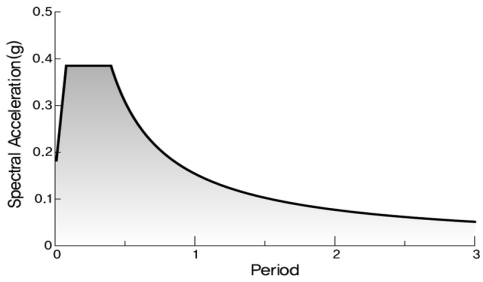
○ 표준설계 응답스펙트럼 (감쇄비 5%)

•해석지역의 특성과 지반조건을 고려한 설계지반 운동의 특성을 응답스펙트럼으로 표현
•지진계수 Ca와 Cv의 값은 지반종류와 지진구역별로 주어진 값을 사용(SB, Ⅰ구역)
•보통암 노두지반을 고려하여 지반종류는 SB로 하고 지진구역은 기 선정한 것과 같이 Ⅰ구역으로 하여 지진계수를 선정

지반 종류	Ca		Cv	
	Ⅰ	Ⅱ	Ⅰ	Ⅱ
SA	0.09	0.55	0.09	0.05
SB	0.11	0.07	0.11	0.07
SC	0.13	0.08	0.18	0.11
SD	0.16	0.11	0.23	0.16
SE	0.22	0.17	0.37	0.23

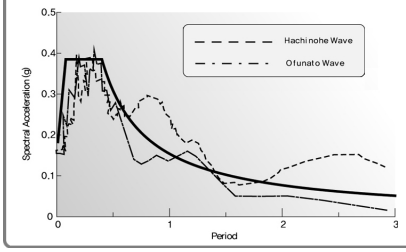
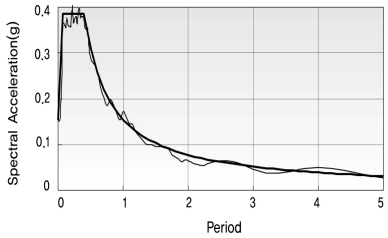


표준설계 응답스펙트럼



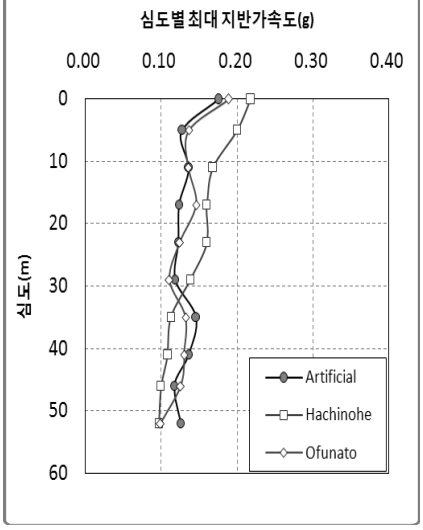
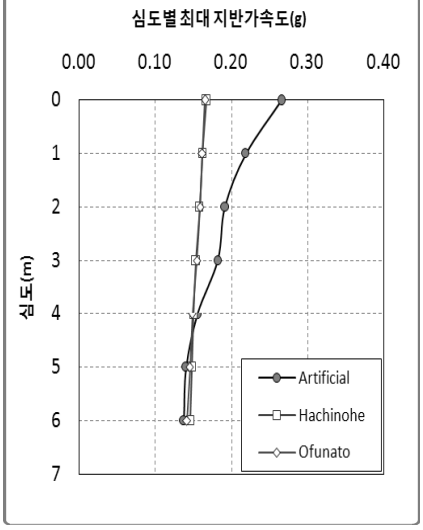
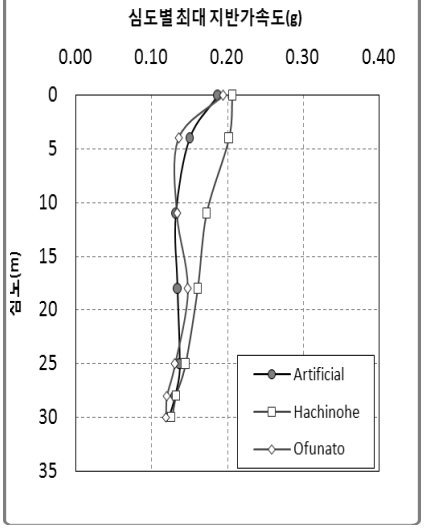
•지진구역 = Ⅰ구역
•지진계수(Ca) = 0.11, 지진계수(Cv) = 0.11
•위험도계수(I) = 1.0 & 1.4
•통제주기(Ts) = 0.4
•통제주기(To) = 0.08
•최대스펙트럼가속도 = 0.385g

표준응답스펙트럼과의 부합성 검토

교 량 구 간	실지진의 부합성 검토	인공지진의 부합성 검토
•인공지진과 Hachinohe 실지진의 경우 유사한 부합도를 가지며 가속도도 표준설계 응답스펙트럼보다 다소 큰 반면 Ofunato 실지진은 부합도는 비슷하나 가속도는 다소 작은 것으로 나타남		

지진응답 해석결과

1 공구

교 량 구 간	깎 기 구 간	쌓 기 구 간
		

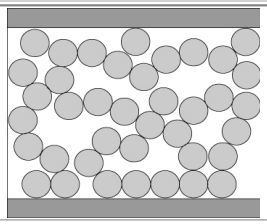
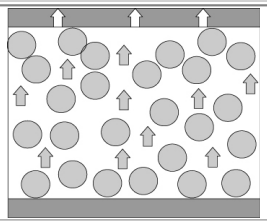
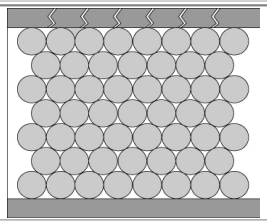
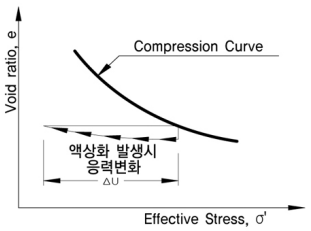
구 분	지진파 형태	교량 구간	깎기 구간	쌓기 구간
지 표 면 최대가속도 (g)	Hachinohe Wave	0.2177	0.1671	0.2066
	Ofunato Wave	0.1891	0.1651	0.1938
	Artifical Wave	0.1754	0.2662	0.1871
적 용		0.2177	0.2662	0.2066

1.4 액상화 검토

기본방향	•기지반조사결과를 토대로 액상화 가능지역 선별하여 1차적으로 액상화 가능성 평가 •1차 액상화 가능성이 있는 구간에 간편예측법 (Seed & Idriss, 수정Seed & Idriss) 2차 평가 •2차 평가에 결과 액상화 가능성이 존재할 경우 상세예측법(진동삼축시험) 액상화 3차 평가 •3차 평가결과 액상화 가능성이 있을 경우 액상화에 대한 대책마련

1.4.1 액상화 발생현상

•액상화 현상은 지반에 가해진 진동하중으로 간극수압은 상승하고 지반의 유효응력은 감소하여 그 결과, 포화사질토가 외력에 대해 전단응력을 잃게 되는 현상
•주로 느슨하게 다져진 포화 사질토 퇴적지반에서 발생하며, 지반의 물리적 특성 및 형성조건에 따라 액상화 발생여부 판단이 가능
•지반조사결과를 토대로 액상화 평가대상지역을 폭넓게 검토하고 액상화 발생이 우려되거나 액상화에 대해 취약한 구조물 구간을 대상으로 가능지역으로 선별하여 액상화 평가를 실시

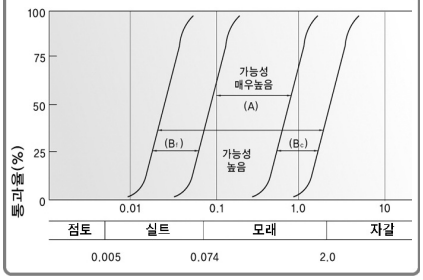
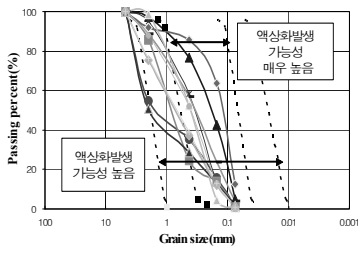
액상화 과정			액상화현상 개념도
			
액상화 발생 전	액상화 발생 순간	액상화 발생 후	

1.4.2 액상화 발생 가능성 평가 (1차평가)

•액상화는 주로 느슨하게 다져진 포화 사질토 퇴적지반에서 발생하며, 지반의 물리적 특성 및 형성조건에 따라 액상화 발생여부 판단이 가능
•설계지진규모의 지진 발생시 액상화 현상이 발생할 가능성이 있는 지역을 선별하기 위하여 지하수위 하부의 토사층에 대한 입도분포곡선 및 물리적 특성으로부터 액상화 발생 가능성이 높은 지역을 선정

○ 액상화 개요

•일본 구조물 내진설계규정에서 이용하는 액상화 평가방법으로 입도분포와 N치를 이용하여 액상화 현상을 평가하는 방법을 제시

균등계수가 작은 사질토 (Cu 3.5)	분 석 결 과
	

검토결과	•입도분포분석 결과 대부분의 지반은 Cu≥3.5이고, 입도분포곡선은 가능성이 매우 높은 A영역에 속하는 것으로 판정, 간편 예측검토 후 불안정 할 경우 상세예측을 수행 안정성 판정

내진설계기준에 의한 액상화 평가

•액상화 발생 기준에 따라 1차적으로 액상화 발생구간 선별
•1차적으로 액상화 발생가능성이 있을 경우 액상화 간편예측법(Seed & Idriss등)을 통하여 2차 액상화 평가

구 분		액상화 생략조건
대상지반 심도	A	대상지반의심도가 20m이상인 지반
표준관입시험	B	주상도상의 표준관입저항값(N)이 20이상인 지반
소성지수, 점토성분	C	소성지수(PI)가 10이상이고, 점토성분이 20%이상인 지반
세립토 함유량	D	세립토 함유량이 35%이상인 지반
지하수위	E	지하수위 위의 지반
중요도	F	지진구역 Ⅱ등급에서의 내진2등급 구조물
상대밀도	G	상대밀도가 80%이상인 지반

액상화 대상지역 선정 결과

액상화 평가 대상지역

•실트 및 점토 함유량 10% 이하인 지반
•평균입경(D50)이 0.075~2.0㎜인 지반
•균등계수가 10보다 작은 빈입도의 모래지반
•소성지수(PI)가 10 이하인 지반
•느슨하게 다져진 포화사질토 지반
•포화된 사질매립지반

액상화 평가 생략지역

•A – 대상지반심도가 20m 이상인 지반
•B – 표준관입저항값(N값)이 20 이상인 지반
•C – 소성지수(PI)가 10 이상인 지반
•D – 세립질 함유량이 35% 이상인 지반
•E – 지하수위 위의 지반
•F – 상대밀도가 80% 이상인 지반 및 지하수위

1공구

위 치	공 번	A 대상지반심도 (m)	B N값	C 소성지수	D 세립질함유량 35% 이상	E 지하수위 (GL.(-)m)	액상화 판정	사유
쌓기 구간	BH-52	3.0	9/30	NP	20.0	3.6	평 가	-
	BH-86	3.0	7/30	NP	15.5	5.0	평가제외	E
	BH-91	5.0	5/30	NP	25.5	3.8	평 가	-
	BH-106	3.0	9/30	NP	20.0	3.6	평가제외	E
깎기 구간	BH-37	2.0	31/30	NP	13.7	7.6	평가제외	B, E
	BH-69	5.0	8/30	NP	19.7	3.8	평 가	-
	BH-85	3.0	16/30	NP	13.7	4.2	평가제외	E
교량 구간	BH-1	9.5	4/30	NP	28.6	2.6	평 가	-
	BH-24	12.0	9/30	NP	22.6	7.9	평 가	-
	BH-45	9.0	4/30	NP	36.3	7.6	평가제외	D
	BH-54	5.0	8/30	NP	18.9	2.0	평 가	-
	BH-87	5.0	21/30	NP	23.8	2.5	평가제외	B

검토결과

•액상화 발생구간 선별시 대부분 N/20이하의 지반은 지하수위가 높게 분포하는 것으로 나타남
•액상화 1차평가 결과 교량구간과 비탈면구간에서 액상화 발생 가능성이 있는 구간에 대하여 간편예측법 수행

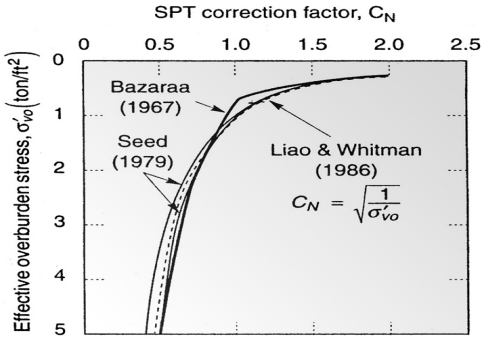
1.4.3 간편예측법을 통한 액상화 평가 (2차 평가)

○ 표준관입시험에 의한 액상화 간편예측

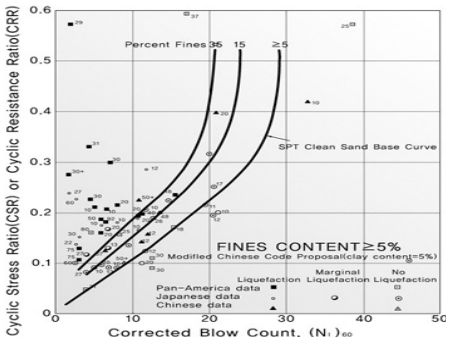
- 수정 Seed와 Idriss방법에 의한 액상화 간편예측법은 국내 실정에 맞는 지진규모 6.5를 기준으로 액상화에 대한 안전율을 산정하여 액상화에 대한 안정성을 판단하는 방법
- 액상화에 대한 안전율은 지진으로 인해 지반에 전달되는 전단응력을 유효 상재압으로 정규화시킨 지진 전단응력비 τ / σ_v'와 지반이 발휘 할 수 있는 최대전단응력을 유효 상재압으로 정규화 시킨 액상화 저항응력비 τ / σ_v'의 비로 정의됨
- 입도분포와 표준관입시험에 의해 검토한 결과, 액상화 발생 가능성이 있는 것으로 판단되는 구간에 대하여 국내 실정에 맞는 수정 Seed와 Idriss방법을 이용하여 액상화 간편예측을 수행

○ Seed & Idriss방법(SPT N치 이용)에 의한 액상화 가능성 검토

- 지진은 최대전단응력의 65%가 정현하중으로 작용한다는 등가전단 응력이론 제안 (1971)
- Seed & Idriss방법은 많은 지진기록 및 피해사례에 대한 분석을 통해 보편적으로 현장에서 획득 용이한 N치로부터 구한 액상화 저항강도비와 지진규모 7.5 기준의 세립분 함유분별 지진시 발생하는 전단응력과의 비교를 통해 간편하게 액상화 현상을 평가할 수 있는 평가법

구 분	적 용 방 법	상재유효응력에 따른 SPT 보정계수 (Liao와 Whitman, 1986)
지 진 전단응력	•최대전단응력의 65%가 전단응력으로 작용 (설계지진가속도, 지진응답해석)	
지반전단 저항응력	•표준관입저항치나 실내시험을 통하여 지반의 전단저항응력 산정	
지표면최대 가 속 도	•입력지진파에 따른 PROSHAKE 프로그램 적용	
응력감소 계 수	•지반심도에 따른 응력값 보정 $r_d = 1 - \frac{z}{90}$ (z > 9.0m인 경우 0.9)	

■ 지진 규모 7.5의 액상화 전단저항응력비 산정곡선(Seed 등, 1984)

구 분	반복재하횟수	수 정 계 수	반복응력비(7.5)와 (NI)60의 관계
8.5	26 회	0.89	
7.5	15 회	1.00	
6.75	10 회	1.13	
6.0	5~6 회	1.32	
5.25	2~3 회	1.50	
평 가	•국내적용 지진규모를 7.5로 산정하여 사용하는 것은 과도한 지진규모의 산정 •지진규모별 재하횟수와 이를 토대로 산정한 지진규모별 수정계수를 제안 (산정된 지진규모 6.5의 수정계수는 1.21 적용)		

■ 지진 전단응력비 $(\tau_e/\sigma_v')_{max}$의 산정

•발생 가능한 진도에 대해 지진응답해석을 실시하여 최대 지표면 가속도 결정 α_{max}

$$\left(\frac{\tau_e}{\sigma_v'}\right)_{max} = 0.65\times\frac{\alpha_{max}}{g}\times\frac{\sigma_v}{\sigma_v'}\, r_d$$

여기서, $\left(\frac{\tau_e}{\sigma_v'}\right)_{max}$: 지진전단응력비 α_{max} : 최대 지표면 지반가속도 (cm/sec²)

g : 중력가속도 (m/sec²) r_d : 지반의 소성거동을 고려한 응력감소계수

σ_v : 전체 상재압 (MPa) σ_v' : 유효상재압 (MPa) z : 깊이(m)

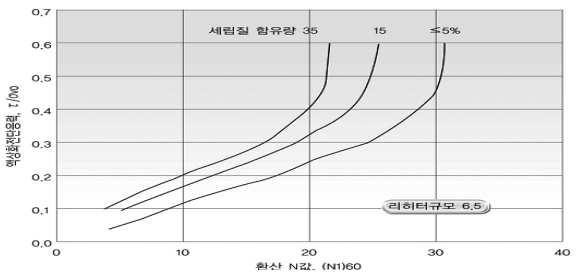
■ 액상화 저항응력비와 (N1) 관계

•1999년 제정된 「항만 및 어항시설의 내진설계 표준서」 에서는 액상화 저항응력비(CSR)와 보정 N값과 관계를 그림과 같이 나타냄

•Seed 등(1983)이 전세계 지진자료를 토대로 작성한 곡선을 지진규모 6.5를 기준으로 수정

•#200체 통과량을 고려하여 액상화 저항응력비를 산정

저항응력비(CSR)와 보정된 N치의 관계



○ 수정 Seed & Idriss방법(Korean Method)

•기존 Seed & Idriss 방법을 국내 상황에 맞게 수정

•"지반공학분야에서의 내진설계(2001. 2)"에서 제시된 방법

■ 진동 전단응력비($\tau_d/\sigma_{v'}$)의 산정

$$\frac{\tau_d}{\sigma_v'} = 0.65\times\frac{\alpha_{max}}{g}\times\frac{\sigma_v}{\sigma_v'}$$

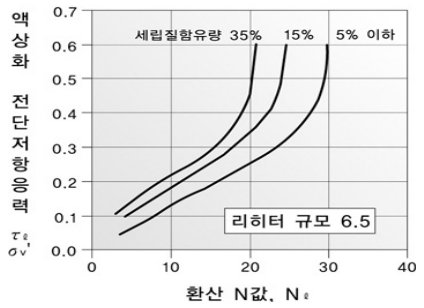
α_{max} : 액상화평가 대상지반의 최대가속도 (cm/sec²)

g : 중력가속도 (m/sec²)

σ_v : 액상화를 평가하고자 하는 깊이의 총 상재압 (MPa)

σ_v' : 액상화를 평가하고자 하는 깊이에서의 유효 상재압

•표준관입시험(SPT)에 의한 N값을 유효상재하중으로 보정한 값(NI)과 세립분 함유량을 이용하여 지진규모 6.5에 대한 액상화에 저항하는 전단저항 응력비를 산정



•환산 N_1 산정 : $N_1 = C_N \cdot N$

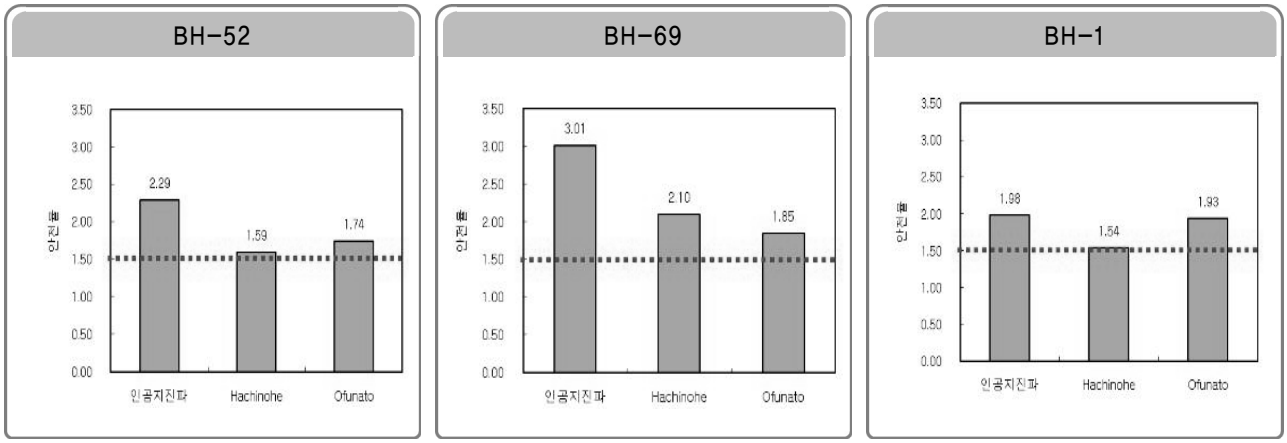
CN(보정계수) = $\sqrt{\frac{10}{\sigma_v'}}$

여기서, σ_v' : 유효상재압(MPa)

N : 표준관입시험 결과

•액상화 안전율 $F_L = \frac{(\tau_1/\sigma_v')}{(\tau_d/\sigma_v')} \geq 1.5$ ➡ ∴ 안정 (간편 예측)

○1공구 액상화 간편예측 결과



구 분		심 도 (m)	진동전단 응력비	전단저항 응력비	Fs ≥ 1.5	평 가
쌓기구간	BH-52	9.5	2.741 MPa	1.726 MPa	1.59	O.K
깎기구간	BH-69	1.0	1.996 MPa	1.081 MPa	1.85	O.K
교량구간	BH-1	10.0	2.415 MPa	1.565 MPa	1.54	O.K

검토결과
- 장/단주기 실지진파 및 인공지진파를 이용하여 대표구간에 대하여 액상화 간편예측 수행결과 허용안전율 이상으로 액상화 발생 가능성은 없는 것으로 나타남

제 2 장 교량기초 내진설계

2.1 설계개요

기본방향
- 지진하중 작용시 교량기초에 대한 유사정적 해석 안정성 검토
- 교량기초 중 대표적인 단면을 선정하여 각 지진파에 따른 안정성 검토

2.1.1 교량기초의 내진설계

- 지진하중을 받는 말뚝기초는 상부 구조의 관성력에 의해서 지배되며, 말뚝의 거동은 상부하중에 의한 말뚝두부에 작용하는 모멘트, 전단력 그리고 축력을 동시에 받는 말뚝의 거동과 유사
- 지진시 두부의 변위에 의한 교량의 안정성을 검토하기 위하여 유사정적해석(GROUP 6.0)실시
- 지층 조건, 작용 하중 및 기초 형상이 상이하므로 대표구간에 유사정적 해석을 수행하여 안정성을 판별한 후, 위험성을 내포하고 있는 단면을 선정하여 상세 안정성 검토 수행

○ 단말뚝 및 군말뚝효과를 고려한 유사정적해석 (GROUP 6.0)

- 말뚝 두부에 작용하는 지진시 설계하중은 내진 1등급 붕괴방지수준의 하중을 적용
- 허용수평변위 22.5mm 적용

○ 말뚝 제원 및 하중조건 (지진시)

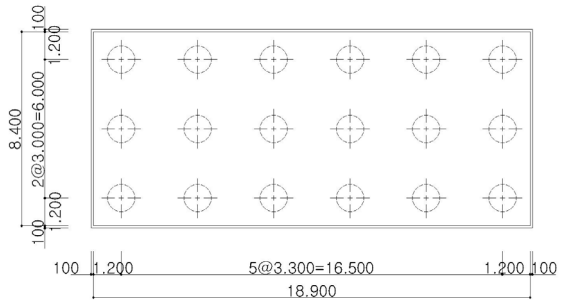
(단위 : MN, m)

구 분		직경 D(mm)	탄성계수 E (MPa)	전단탄성계수 G (MPa)	단면적 A (m^2)	단면2차모멘트 I (m^4)	하중조건 (상시/지진시)		
							연직하중(MN)	수평하중(MN)	모멘트(MN·m)
1공구	현천교 P2	1,200	2.45×10^4	1.0×10^4	1.130	0.102	42.98/36.89	0.99/5.57	6.79/37.93
	원흥 1교 A2	508	2.10×10^5	8.2×10^4	0.0155	0.000474	33.69/31.42	7.74/9.82	26.85/48.67

○ 군말뚝기초의 유사정적 해석결과 (Group 6.0)

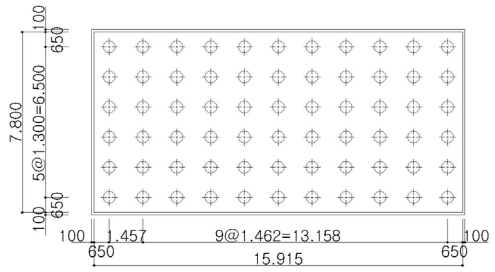
■ 말뚝 배치현황

현천교 P2



현장타설 말뚝기초 (Φ 1,200)
6 × 3 = 18 본

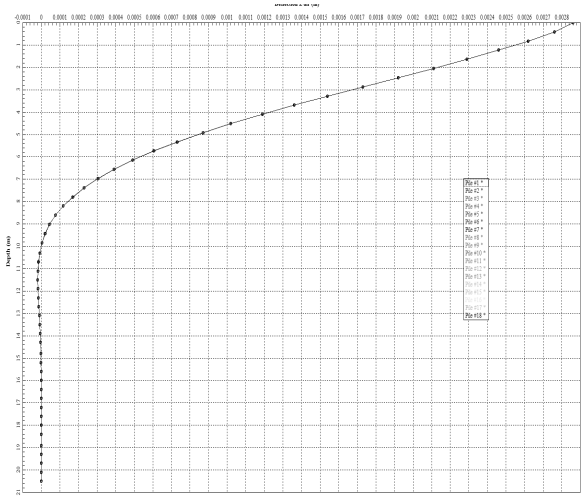
원흥 1교 A2



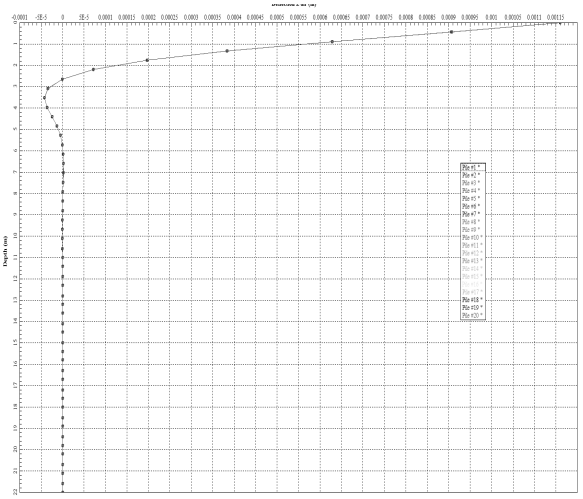
강관 말뚝기초 (Φ 508 t = 12)
11 × 6 = 66 본

■ 말뚝기초의 모델링 및 해석 결과

현천교 P2 지진시



원흥1교 A2 지진시



구 분		말뚝두부 수평변위량 (mm)	허용 수평변위량(mm)	판 정
1 공구	현천교 P2	2.862	22.5	O.K
	원흥 1교 A2	1.160	22.5	O.K

검토결과	•말뚝기초에 대하여 GROUP 6.0을 이용한 유사정적해석 수행 •말뚝기초 유사정적 해석결과, 수평변위는 1.160~2.862mm로 허용수평변위 22.5mm이내➡안정

제 3 장 비탈면 내진설계

3.1 설계개요

기본방향	•지진하중 작용 시 비탈면의 안정성 검토 •지진응답 해석에서 산정된 지진가속도를 이용하여 유사정적해석 및 동적해석 수행 •간극수압의 변화 및 시간에 따른 응력변화를 고려한 유효 응력해석의 동적시간 이력 해석

3.1.1 내진해석 방법

•장주기, 단주기 및 인공지진파에 대한 지진응답 해석(PROSHAKE)에서 산정된 최대지진가속도를 이용한 지진계수를 적용하여 유사정적해석 실시

•현장 및 실내시험을 통한 변형률 수준별 동적거동 특성을 적용한 등가선형해석 실시

•Newmark 방법 ➡ 평균가속도, 항복가속도 개념을 이용한 쌓기 비탈면의 동적해석에 적용

•시간이력해석법 ➡ 쌓기 · 깎기 비탈면의 동적해석에 적용

○ 유사정적해석

•지진에 의한 수평하중을 추가시켜 안정성을 검토, 특히 활동에 대해 안전해야 함

•활동에 대한 안정성 검토는 가정된 파괴형상의 도심에 재하한 설계지진하중(K_H)에 대한 안전율 산정을 통해 수행되며, 안정성은 수평변위를 어느 정도 허용하는 개념을 도입하여 산정

■ 검토 개요

•지진응답 해석결과로부터 산정된 지표면 최대지진가속도를 적용

•설계지진력은 대상구조물의 수평변위를 일부 허용하는 개념을 도입, 지표면최대 지진 가속도의 50%고려

$$F_h = 0.5 \cdot K_H \cdot W$$

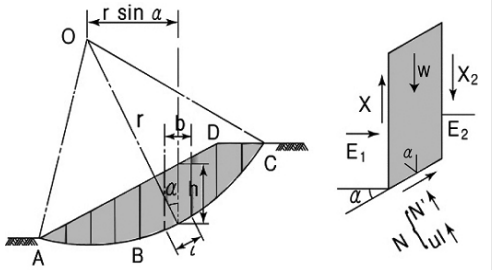
여기서 •F_h : 가상 활동파괴면의 도심에 작용하는 지지력
•K_H : 지표면 최대 지진가속도계수
•W : 가상 활동파괴면의 자중

■ 안정성 검토방법

•지진시 비탈면의 활동에 대한 허용안전율은 1.10을 기준으로 하며 원호활동은 Bishop의 절편법을 적용

등가정적 해 석	•지진의 영향을 지진계수를 통하여 수평방향에 작용시켜 해석 •비탈면 예상파괴면에 힘의 평형상태에 대한 안전율로 나타냄 •설계지진력은 대상구조물의 수평변위를 일부 허용하는 개념을 도입하여 지진가속도의 50%를 고려 $F_H = 0.5 \cdot k_h \cdot W$
동적해석	•인공지진파의 가속도 시간이력곡선을 입력데이타로 사용하여 시간이력 응답해석을 수행함

등가정적해석 개념도



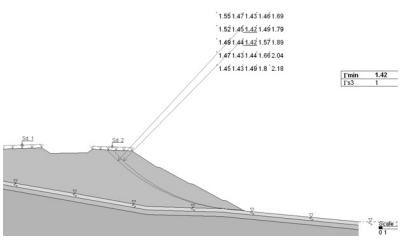
3.1.2 비탈면 내진 안정성 (등가정적해석)

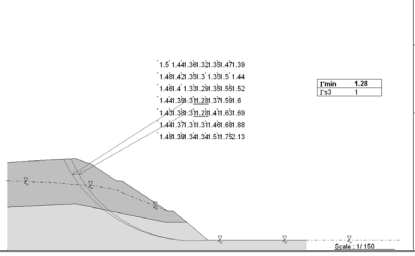
○ 비탈면 등가정적해석 결과

구 분	설계적용 가속도
등가정적해석	•등가정적해석에 사용될 설계수평 지진계수는 지진응답해석에서 구한 지표면 최대 가속도 평균값의 1/2적용 •비탈면구간 설계적용 지진가속도 산정

■ 1공구

쌓기구간(STA.1+800)	깎기구간(STA.2+040)	지진응답해석 최대가속도 / 2	
		쌓기구간	깎기구간
		0.206 / 0.103	0.266 / 0.133
		Fs=1.42〉1.1 O.K	Fs=1.28〉1.1 O.K





검토결과	•비탈면 쌓기 및 깎기구간에 대한 등가정적해석 결과 안전율(Fs)은 지진시 설계기준 안전율 1.1을 상회하므로 지진에 대하여 안정한 것으로 판정

난 점 마 을

조 사 편 목 차

제1편 지반조사 계획

제 1 장 조사개요 1
1.1 조사목적 1
1.2 조사위치 1
1.3 조사항목 및 조사기간 2
1.4 조사장비 2

제2편 지반조사 일반사항

제 1 장 토질·암반의 분류 및 기재방법 3
1.1 토질의 분류 및 기재방법 3
1.1.1 토질의 분류방법 3
1.1.2 토질의 기재방법 5
1.2 암반의 분류 및 기재방법 6
1.2.1 암반의 분류방법 6
1.2.2 암반의 기재방법 7
1.3 암반의 공학적분류 9
1.3.1 국내의 암반분류 방법 9
1.3.2 암반의 공학적분류 기준 10

제 2 장 현장조사 및 시험 11
2.1 시추조사 11
2.2 현장시험 12
2.2.1 표준관입시험 12
2.2.2 지하수위 측정 12

제 3 장 실내시험 13
3.1 실내토질시험 13
3.1.1 기본물성시험 13
3.1.2 압밀시험 14

제3편 지반조사 결과

제 1 장 지형 및 지질 15
1.1 지형특성 분석 15
1.2 지질특성 분석 15

제 2 장 조사결과 17
2.1 시추조사 17
2.1.1 시추조사 위치 17
2.1.2 지층분포 현황 17
2.2 표준관입시험 18
2.3 지하수위 분포 19

제 3 장 실내시험 20
3.1 실내토질시험 20
3.1.1 기본물성시험 20
3.1.2 압밀시험 20

제4편 교량기초 설계

제 1 장 교량기초 설계개요 21
1.1 설계개요 21
1.1.1 기본방향 21
1.1.2 교량현황 22
1.2 교량기초 주요검토사항 22
1.2.1 주요 설계 검토사항 22
1.2.2 적용 프로그램 22

제 2 장 기초형식 선정 23
2.1 기초형식 검토 23

2.1.1 기초형식 선정 시 고려사항 ····· 23
2.1.2 기초형식 선정기준 ····· 23
2.1.3 기초형식 검토 ····· 24
2.1.4 기초형식 선정 ····· 25
2.2 교량기초 시공법 선정 ····· 26
2.2.1 말뚝기초 시공성 검토 ····· 26
2.2.2 소음-진동 환경 영향원 분석 ····· 27
2.2.3 환경성 평가 분석 ····· 30
2.2.4 강관말뚝 기초 시공법 검토 ····· 30

제 3 장 교량기초 설계정수 ····· 32
3.1 교량구간 설계지반정수 산정 ····· 32
3.1.1 설계지반정수 산정개요 ····· 32
3.1.2 설계지반정수 산정결과 ····· 32

제 4 장 교량기초 안정성 검토 ····· 33
4.1 말뚝기초의 안정성 검토 ····· 33
4.1.1 말뚝기초 현황 ····· 33
4.1.2 강관말뚝기초 연직 지지력에 대한 안정성 검토 ····· 34
4.1.3 연직변위(침하량)에 대한 안정성 검토 ····· 35
4.1.4 수평변위에 대한 안정성 검토 ····· 36

제 5 장 교량기초 시공방안 검토 ····· 39
5.1 직접기초 시공방안 검토 ····· 39
5.1.1 기초터파기 굴착공법 검토 ····· 39
5.1.2 기초터파기시 안정성 검토 ····· 39

제 6 장 기초의 품질 및 유지관리 계획 ····· 40
6.1 말뚝기초 품질관리 계획 ····· 40
6.1.1 말뚝머리결합 방안 ····· 40
6.1.2 말뚝선단처리 계획 ····· 40
6.1.3 말뚝 품질관리 방안 ····· 41
6.2 교량기초 재하시험 및 계측계획 ····· 42
6.2.1 말뚝기초 재하시험 ····· 42
6.2.2 교량기초 계측계획 ····· 43

제5편 비탈면 설계

제1장 비탈면 설계개요
1.1 설계개요 ····· 45
1.1.1 기본방향 ····· 45
1.1.2 주요 검토사항 ····· 45
1.2 비탈면 현황 분석 ····· 46
1.2.1 쌓기비탈면 지반특성 및 현황 ····· 46
1.2.2 깎기비탈면 지반특성 및 현황 ····· 46
1.3 비탈면 설계기준 ····· 47
1.3.1 비탈면 기울기 기준 ····· 47
1.3.2 비탈면 소단 설치기준 ····· 49
1.3.3 허용안전율 기준 ····· 50
1.3.4 지하수위 적용기준 ····· 52
1.3.5 설계 하중 ····· 52
1.4 설계지반정수 산정 ····· 53
1.4.1 연속체 설계지반정수 ····· 53

제2장 비탈면 안정성 검토
2.1 설계개요 ····· 54
2.1.1 토사 및 풍화암 비탈면 안정해석 ····· 54
2.2 깎기 비탈면 안정성 검토 ····· 56
2.2.1 토사 비탈면 안정성 검토 ····· 56
2.2 비탈면 안정화 대책 검토 ····· 57
2.2.1 비탈면 보강공법 검토 ····· 57
2.2.2 비탈면 대책방안 안정성 검토 ····· 58

제3장 비탈면 보호공법 선정

3.1 설계개요 ····· 60
3.1.1 비탈면 보호공법 검토 ····· 60

제4장 비탈면 시공 및 유지관리

4.1 설계개요 ····· 62
4.1.1 비탈면 시공시 주요 고려 사항 ····· 62
4.1.2 시공 중 비탈면 유지관리 ····· 63
4.1.3 시공 후 비탈면 유지관리 ····· 64

제6편 연약지반 설계

제1장 연약지반 설계개요

1.1 설계개요 ····· 67
1.1.1 기본방향 ····· 67
1.1.2 연약지반 주요 검토사항 ····· 67
1.2 연약지반 판정 ····· 68
1.2.1 연약지반 판정기준 ····· 68

제2장 연약지반 현황 및 성과분석

2.1 연약지반 현황 분석 ····· 69
2.1.1 연약지반 현황 ····· 69
2.1.2 연약지반 Zoning 선정 ····· 69
2.2 연약지반 공학적 특성 분석 ····· 70
2.2.1 물리적 특성 분석 ····· 70
2.2.2 역학적 특성 분석 ····· 70
2.2.3 설계지반정수 산정 ····· 71

제3장 연약지반 안정성 검토

3.1 연약지반 설계기준 ····· 72
3.1.1 쌓기속도 및 설계하중 ····· 72
3.1.2 허용 잔류침하량 ····· 72
3.1.3 비탈면 최소안전율 ····· 72
3.1.4 설계기준 적용 ····· 72
3.2 연약지반처리 필요유무 검토 ····· 73
3.2.1 연약지반 구간별 지층현황 검토 ····· 73
3.2.2 무처리시 연약지반 압밀소요기간 검토 ····· 74
3.3 연약지반 개량공법 선정 ····· 75
3.3.1 연약지반 개량공법 검토 ····· 75
3.3.2 연약지반 활동방지 대책공법 검토 ····· 75
3.3.3 수평배수공법 설계 ····· 76
3.3.4 연약지반 활동파괴에 대한안정성 검토 ····· 78
3.3.5 연약지반 한계 쌓기 검토 ····· 79
3.3.6 구간별 비탈면 안정 검토 ····· 80
3.3.7 구간별 연약지반 처리공법 현황 ····· 82
3.4 연약지반내 구조물 안정성 검토 ····· 84
3.4.1 연약지반 교대 측방유동 유 - 무 검토 ····· 84
3.4.2 연약지반 측방유동 대책공법 검토 ····· 86
3.4.3 연약지반 측방유동 안정성 검토결과 ····· 85
3.4.4 연약지반상 횡단 구조물 설치방안 ····· 88

제4장 연약지반 계측관리 계획

4.1 연약지반 계측관리 계획 ····· 89
4.1.1 연약지반 계측관리 ····· 89
4.1.2 연약지반 계측계획 ····· 89
4.1.3 연약지반 침하안정 관리 ····· 90

제7편 기타구조물 설계

제1장 보강토옹벽 구조물 설계

1.1 설계개요 ····· 93
1.1.1 보강토옹벽 형식 검토 ····· 93
1.1.2 보강토옹벽 설계기준 ····· 93
1.2 보강토옹벽 안정성 검토 ····· 94
1.2.1 보강토옹벽 안정성 검토 ····· 94
1.2.2 보강토옹벽 안정성 검토결과 ····· 96

1.2.3 보강토옹벽 뒷채움재 검토 ····· 97

제2장 횡단구조물 설계

2.1 설계개요 ····· 98

2.1.1 횡단구조물 현황 ····· 98

2.1.2 횡단구조물 형식 검토 ····· 98

2.2 횡단구조물 안정성 검토 ····· 99

2.2.1 횡단구조물 안정성 검토 ····· 99

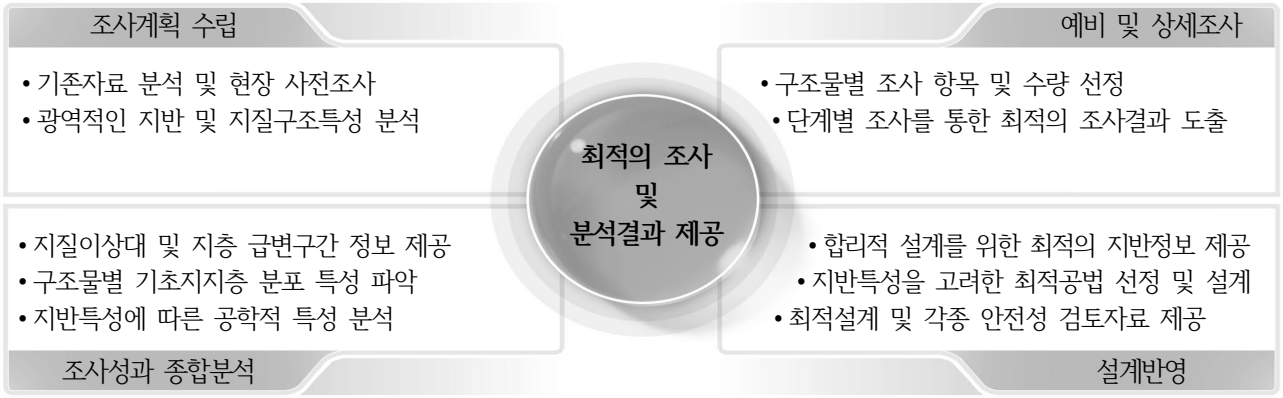
제1편 지반조사 계획

제1장 조사개요

제 1 장 조사개요

1.1 조사목적

사 업 명	• 서울~문산 고속도로 민간투자사업(난점마을 진입도로) 실시설계
사 업 목 적	• 사업구간에 대한 최적설계와 시공에 필요한 지반공학적 정보 제공 • 구조물 기초설계 안정해석을 위한 지반자료 제공 • 조사된 자료를 종합·분석하여 경제적이고 효율적인 설계 및 시공을 위한 자료 제공



1.2 조사위치

사업위치	• 경기도 고양시 덕양구 현천동동

구 분	위 치	비 고
난점마을 진입도로	• 경기도 고양시 덕양구 현천동 일대	-

1.3 조사항목 및 조사기간

구 분		기 간
현 장 조 사 및 시 험	시추조사	2017.06.19. ~ 2017.06.20
	실내시험	2016.07.21. ~ 2017.07.03
성과분석 및 보고서 작성		2017.07.21. ~ 2017.07.03

1.4 조사장비

조 사 항 목		조 사 장 비
현장조사	시추조사	• 유압식 시추기 및 부속장비 1식
실내시험	토질시험	• 시험기 1식

압밀시험

제2편 지반조사 일반사항

제1장 토질·암반의 분류 및 기재방법

제2장 현장조사 및 시험

제3장 실내시험

제 1 장 토질.암반의 분류 및 기재방법

1.1 토질의 분류 및 기재방법

• 흙의 공학적 특성을 파악하여 토질설계의 기초 자료로 활용

○ 개 요

흙의분류	• 흙의 공학적 분류는 1차 분류 수행 후, 최종적으로 통일분류법(USCS)을 기준으로 분류
기재방법	• 시추주상도의 지층구분은 통일된 기호를 사용하고 N값은 사질토의 상대밀도 및 점성토의 연경도를 추정하는데 사용
기술내용	• 지층상태는 매립층, 전답층, 붕적층, 충적층, 풍화토, 풍화암으로 지층 구분 • 함수상태는 건조(Dry), 습윤(Moist), 젖음(Wet), 포화상태(Saturated)로 구분 • 색조는 흑, 갈, 홍, 적, 황색등에 담(연한)과 암(진한)의 접두어를 사용

1.1.1 토질의 분류방법

○ 육안관찰에 의한 분류방법(구조물기초 설계기준, 2008)

구 분	토립자의 육안적 판별과 일반적인 상태	손으로 쥐었다 놓음		습윤상태에서 손가락으로 끈모양으로 꼴때
		건 조 상 태	습 윤 상 태	
모 래 (Sand)	• 개개입자의 크기가 판별될 수 있는 입상을 보임 • 건조 상태에서 흘러내림	• 덩어리로 되지 않고 흐트러짐	• 덩어리지나 가볍게 건드리면 흐트러짐	• 끈모양으로 꼬아지지 않음
실트섞인 모래 (Silty Sand)	• 입상이나 실트, 점토가 섞여서 약간 점성 있음 • 모래질의 특성 우세함	• 덩어리지나 가볍게 건드리면 흐트러짐	• 덩어리지며 조심스럽게 다루면 부서지지 않음	• 끈모양으로 꼬아지지 않음
모래섞인 실트 (Sandy Silt)	• 적당량 세립사와 소량의 점토를 함유하고 실트 입자 50% 이상 • 건조되면 덩어리가 쉽게 부서져서 가루가 됨	• 덩어리지며 만져도 부서지지 않음 • 부서지면 밀가루와 같은 감촉	• 덩어리지며 자유롭게 다루어도 부서지지 않음 • 물을 부으면 서로 엉킴	• 끈모양으로 꼬아지지 않으나 작게 끊어지고 부드럽고 약간의 점성 있음
실 트 (Silt)	• 세립사와 점토 함량이 극소량이고 실트입자 함량이 80% 이상 • 건조되면 덩어리지나 쉽게 부서져서 밀가루 감촉의 가루로 됨	• 덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않음	• 덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않으며 물에 젖으면 엉킴	• 완전히 꼬아지지는 않으나 작게 끊어지는 상태로 꼬아지고 부드러움
점 토 (Clay)	• 건조되면 아주 딱딱한 덩어리의 상태로 됨 • 건조 상태에서 잘 부서지지 않음	• 덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않음	• 덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않으며 찰흙 상태로 됨	• 길고 얇게 꼬아지며, 점성 큼

통일분류법

<table>
<tr><th colspan="3">주 요 구 분</th><th>기호</th><th>대표적인 흙</th><th colspan="3">분 류 기 준</th></tr>
<tr><td rowspan="8">조립토
(Coarse-Grained Soil)

#200체 (0.075mm)에 50%이상 남음</td><td rowspan="4">자갈

#4체 (4mm)에 50% 이상 남음</td><td rowspan="2">세립분이 약간 또는 거의 없는 자갈</td><td>GW</td><td>• 입도분포가 좋은 자갈 또는 자갈과 모래의 혼합토, 세립분이 약간 또는 없음</td><td rowspan="4">세립분의 함유율에 의한 분류 :

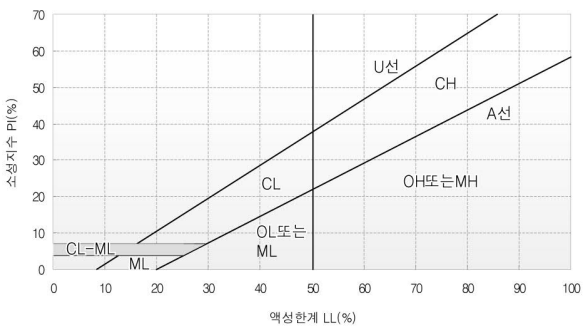
200번체 통과율이 5%이하인 경우
GW, GP, SW, SP

200번체 통과율이 12%이상인 경우
GM, GC, SM, SC

200번체 통과율이 5~12%인 경우 2중 문자로 표시</td><td colspan="2">Cu > 4 ($Cu=D_{60}/D_{10}$)
1 < Cg < 3 ($Cg=(D_{30})^2/(D_{10}\times D_{60})$)</td></tr>
<tr><td>GP</td><td>• 입도분포가 나쁜 자갈 또는 자갈과 모래의 혼합토, 세립분이 약간 또는 없음</td><td colspan="2">GW의 조건이 만족되지 않을 때</td></tr>
<tr><td rowspan="2">세립분을 함유한 자갈</td><td>GM</td><td>• 실트질의 자갈, 자갈·모래·실트의 혼합토</td><td>Atterberg 한계가 A선 밑 또는 소성지수가 4이하</td><td rowspan="2">소성지수가 4~7이면서 Atterberg 한계가 A선 위에 존재 할 때는 2중 문자로 표시</td></tr>
<tr><td>GC</td><td>• 점토질의 자갈, 자갈·모래
• 점토의 혼합토</td><td>Atterberg 한계가 A선 위 또는 소성지수가 7이상</td></tr>
<tr><td rowspan="4">모 래
(Sand)

#4체 (4mm)에 50% 이상 통과</td><td rowspan="2">세립분이 약간 또는 거의 없는 모래</td><td>SW</td><td>• 입도분포가 좋은 모래 또는 자갈질의 모래, 세립분은 약간 또는 없음</td><td colspan="2">Cu > 6
1 < Cg < 3</td></tr>
<tr><td>SP</td><td>• 입도분포가 불량한 모래 또는 자갈질 모래</td><td colspan="2">SW의 조건이 만족되지 않을 때</td></tr>
<tr><td rowspan="2">세립분을 함유한 모래</td><td>SM</td><td>• 실트질의 모래, 모래와 실트의 혼합토</td><td>Atterberg 한계가 A선 밑에 있거나 소성지수가 4 이하</td><td rowspan="2">소성지수가 4~7이면서 Atterberg 한계가 A선 위에 존재 할 때는 2중 문자로 표시</td></tr>
<tr><td>SC</td><td>• 점토질의 모래, 모래와 점토의 혼합토</td><td>Atterberg 한계가 A선 밑에 있거나 소성지수가 7 이상</td></tr>
<tr><td rowspan="6">세립토
(Fine-Grained Soil)

#200체 (0.075mm) 50%이상 통과</td><td colspan="2" rowspan="3">액성한계 50% 이하인 실트나 점토</td><td>ML</td><td>• 무기질의 실트, 매우 가는 모래, 암분, 소성이 작은 실트질의 세사나 점토질의 세립사</td><td colspan="3" rowspan="3">• 소성도(Plasticity Chart)는 세립토에 함유된 세립분과 세립토를 분류하기 위해 사용

• 소성도의 빗금친 곳은 2중 표기</td></tr>
<tr><td>CL</td><td>• 소성이 중간값 이하인 유기질 점토, 자갈질 점토, 모래질 점토, 실트질 점토</td></tr>
<tr><td>OL</td><td>• 소성이 작은 유기질 실트 및 점토</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="3">액성한계 50% 이상인 실트나 점토</td><td>MH</td><td>• 무기질 실트, 운모질 또는 규소의 세사 또는 실트질 흙, 탄성이 큰 실트</td><td colspan="3" rowspan="3">세립토의 분류를 위한 소성도
 
</td></tr>
<tr><td>CH</td><td>• 소성이 큰 무기질 점토, 탄성이 큰 점토</td></tr>
<tr><td>OH</td><td>• 탄성이 중간값 이상인 유기질 점토</td></tr>
<tr><td colspan="3">고유기성 흙</td><td>Pt</td><td>• 이탄 및 그 밖의 유기질을 많이 함유한 흙</td><td colspan="3"></td></tr>
</table>

1.1.2 토질의 기재방법

기본방향

• 흙의 상태에 대한 기재내용은 토질분류, 연경도, 함수상태, 색깔 등이며, 다음과 같은 방법에 의하여 그 결과를 시추주상도에 기록

○ 흙의 통일분류법(USCS)에 사용되는 기호

토질의 종류		제1문자
조립토	자갈 (Gravel)	G
	모래 (Sand)	S
세립토	실트 (Silt)	M
	점토 (Clay)	C
	유기질의 실트 및 점토	O
유기질토	이탄	Pt

토질의 속성		제2문자
조립토	• 입도 분포 양호, 세립분 거의 없음	W
	• 입도 분포 불량, 세립분 거의 없음	P
	• 세립분 12%이상 함유, A선 아래, 소성지수 4이하	M
	• 세립분 12%이상 함유, A선 위, 소성지수 7이상	C
세립토	• 압축성 낮음(Low Compressibility) WL≤50	L
	• 압축성 높음(High Compressibility) WL≥50	H

○ 상대밀도 및 연경도

조립토 (모래, 자갈)	
관입저항값(N값)	상 대 밀 도
4 이하	매우 느슨 (Very Loose)
4~10	느 슨 (Loose)
10~30	보통 조밀 (Medium Dense)
30~50	조 밀 (Dense)
50 이상	매우 조밀 (Very Dense)

세립토 (점토, 실트)	
관입저항값(N값)	연 경 도
2 이하	매우 연약 (Very Soft)
2~4	연 약 (Soft)
4~8	보통 견고 (Medium Stiff)
8~15	견 고 (Stiff)
15~30	매우 견고 (Very Stiff)
30 이상	고 결 (Hard)

○ 시료의 함수상태

함 수 비 (%)	함 수 상 태
0~10	건조 (Dry)
10~30	습윤 (Moist)

함 수 비 (%)	함 수 상 태
30~70	젖음 (Wet)
70 이상	포화 (Saturated)

○ 시료의 색조

색	1	담				암				
	2	분홍	홍	황	갈	감람	녹	회		
	3	분홍	적	황	갈	감람	녹	청	백	회	흑

주) 시료의 색조는 회색, 갈색, 황색등의 기본색에 필요에 따라 연한(담), 짙은(암) 등과 같은 접두어를 사용하여 기재

1.2 암반의 분류 및 기재방법

- 일반적으로 연암, 보통암, 경암으로 구분
- 암석의 풍화상태, 불연속면 절리나 파쇄대의 간격, 강도 및 암질 표기 (국제암반역학회, ISRM의 분류방법에 의거 분류)
- 조사과정에서 회수된 시추코어를 암석시험 및 육안으로 관찰하여 American Institute of Professional Geologist에서 제시한 "공학적 목적을 위한 암석시료의 채취방법 및 시추주상도 작성방법"에 의거 시추주상도 작성
- 색, 불연속면(Discontinuity)의 간격과 상태, 풍화상태, 강도, 암석명 등
- 색은 암석의 기본색(황색, 갈색, 회색, 청색 및 녹색)에 담(연함), 암(진한)의 명암 및 혼색의 서술용어를 사용
- 강도, 풍화정도, 파쇄정도는 암석분류 기준에 의거하여 분류

1.2.1 암반의 분류방법

기본방향

- 지반조사시 암반의 분류는 TCR, RQD, 시추 굴진상태 및 시추 굴진속도, 풍화상태를 관찰하여 시추주상도에 기재하고, 한국도로공사의 분류기준을 참고로 하여 풍화암, 연암, 보통암, 경암으로 구분
- 토공의 작업성(리퍼빌리티)에 의거한 분류는 토사, 리핑암, 발파암으로 구분

○ 토공작업 리퍼빌리티에 따른 암반의 분류(도로설계편람, 2012)

구 분		토 공 작 업		
		토 사(도져)	리 핑 암	발 파 암
표준관입시험 (N값)		50/10 미만	50/10 이상	–
불연속면의 발달 빈도	BX 크기	–	TCR=5% 이하이고 RQD=0% 정도	TCR=5~10% 이상이고 RQD=0~5% 이상
	NX 크기	–	TCR=20% 이하이고 RQD=0% 정도	TCR=20% 이상이고 RQD=10% 이상
탄성파속도	A그룹 암종	700m/s 미만	700~1,200m/s 미만	1,200m/s 이상
	B그룹 암종	1,000m/s 미만	1,000~1,800m/s 미만	1,800m/s 이상

○ A, B 그룹 암종

구 분	A 그 룹	B 그 룹
대표적인 암 석 명	편마암, 사질편암, 녹색편암, 각암, 사암, 석회암, 휘록응회암, 역암, 화강암, 섬록암, 감람암, 사문암, 유문암, 안산암, 현무암	흑색편암, 녹색편암, 휘록응회암, 셰일, 이암, 응회암, 집괴암
함유물 등에 의한 시각 판정	사질분, 석영분을 다량 함유, 암질이 단단, 결정도가 높은 것	사질분, 석영분이 거의 없고 응회분이 거의 없는 암석천매상의 암석
500~1,000g 해머의 타격에 의한 판정	타격점의 암은 작은 평평한 암편으로 되어 비산되나, 거의 암분을 남기지 않는것	타격점에 암 자신이 부서지지 않고 분상이 되어 남고 암편이 별로 비상되지 않는 암석

○ 한국도로공사 분류기준(2005)

표준 단면	암 질	특 징	RMR	Q 값	RQD (%)	탄성파 속 도 (km/s)	일 축 압축강도 (MPa)	코 어 채취율 (%)
Ⅰ	경 암	• 안정성 있고 풍화, 변질 및 물리적, 화학적 영향을 거의 받지 않은 신선한 대괴상의 암질	80~100	40 이상	70 이상	4.5 이상	1,000 이상	90 이상
Ⅱ	보통암	• 균열 및 편리가 다소 발달되어 있으며 일반적으로 절리가 존재하는 층상의 암질	70~80	10~40	40~70	4.0~4.5	800~1,000	70~90
Ⅲ	연 암	• 층리, 절리 및 편리 등이 매우 발달된 상태이며 파쇄대가 존재하는 소괴상의 암질	50~70	4~10	20~40	3.5~4.0	600~800	40~70
Ⅳ	풍화암	• 물리적, 화학적 영향으로 파쇄대가 매우 발달되고 절리가 불규칙적으로 발달된 파쇄상의 풍화된 암질	25~50	1~4	20~40	3.5 이하	250~600	40 이하
Ⅴ	풍화암 (±)	• 풍화작용 심하고 일부가 토괴화된 상태이며 매우 쉽게 부서지고 뜯어낼 수 있는 암질	25 이하	1 이하	20 이하 N>100:Ⅳ N<100:Ⅴ	3.0 이하	250 이하	–

1.2.2 암반의 기재방법

○ 색깔(Color)

• 암반의 기본색(황색, 갈색, 회색, 청색 또는 녹색)에 담(연한)과 암(진한)의 명암 및 혼색에 대한 서술용어를 사용

○ 불연속면의 간격(Discontinuity Spacing)

기 재 방 법	기 호	Joint 간격	균 열 상 태
불연속면 간격의 최대값, 최소값, 평균값을 주상도에 수록	F5	6cm 이하	• 매우 심한균열 (Highly Fractured)
	F4	6~20cm	• 심 한 균 열 (Fractured)
	F3	20~60cm	• 보 통 균 열 (Moderately Fractured)
	F2	60~200cm	• 약 간 균 열 (Slightly Fractured)
	F1	200 cm이상	• 괴 상 (Massive)

강도(Strength)

기 호	용 어	강 도 상 태
S5	매 우 약 함 (Very Weak)	• 손가락 또는 엄지손톱의 압력으로 눌러 으스러지는 정도
S4	약 함 (Weak)	• 해머로 눌러 으스러지는 정도
S3	보 통 강 함 (Moderately Strong)	• 1회의 약한 해머 타격으로 쉽게 깨지며 모서리가 으스러지는 정도
S2	강 함 (Strong)	• 1~2회의 강한 해머 타격으로 깨지거나 모서리가 각이 지는 정도
S1	매 우 강 함 (Very Strong)	• 여러 번의 강한 해머 타격으로 패각상의 조각으로 깨지며 각이 날카로운 정도

풍화상태(Weathered Condition)

기 호	용 어	풍 화 상 태
D5	완 전 풍 화 (Completely Weathered)	• 암석전체가 완전풍화를 받아 흙으로 변화되었으나 모암의 조직과 구조를 지니며 간혹 풍화를 받지 않은 암편을 함유한 상태
D4	심 한 풍 화 (Highly Weathered)	• 암석내부까지 풍화가 진행 중이며 점토물질이 협재되어 있어 부분적으로 쉽게 부술 수 있는 상태
D3	보 통 풍 화 (Moderately Weathered)	• 전 암석 표면에서부터 풍화가 진행 중이며 색조는 변하였으나 손으로 부술 수 없는 상태
D2	약 간 풍 화 (Slightly Weathered)	• 기반암내 발달된 불연속면을 따라 미약한 풍화작용이 시작되고 있으나 암석 자체에는 아무런 풍화작용이 일어나지 않는 상태
D1	신 선 (Fresh)	• 풍화작용의 흔적이 없는 상태

절리면 거칠기(Joint Roughness)

구 분	계단형(Stepped)	파동형(Undurating)	평면형(Planar)
거 칠 음 (Rough)			
완 만 (Smooth)			
경 면 (Slikensided)			

1.3 암반의 공학적분류

- 암반분류는 터널이나 비탈면 설계시 지반에 대한 평가를 수행함과 동시에 굴착과 보강 설계에 대한 기준을 제시하는데 이용
- 설계와 수치해석의 입력 물성값 결정을 위한 정량적인 자료와 Guideline 제공

1.3.1 국내의 암반분류 방법

기본방향

- 각 기관별로 설계에 이용된 암반분류 기준들이 아직까지 일관성과 통일성이 없는 기준들이 제시되고 있으며, 시공시의 막장을 관찰하여 결정한 암반등급과 보강패턴과의 관계에서 도출된 RMR과 Q-System을 이용하여 암반분류 수행

○ 국내의 암반분류 기준

구 분	분류목적	분류요소	주 요 내 용	비 고
도로설계편람	토 공	• 탄성파속도 (자연암석) • 내압강도 • 암석종류	• 암석의 깎기 난이도를 기준으로 분류 • 일축압축강도에 의한 암종별 특성치 범위 규정	국토교통부 (2012)
용역협회기준	시 추 암석분류	• 탄성파속도 • 일축압축강도	• 시추주상도상의 암석종류 기재시 탄성파속도 및 일축압축강도에 의한 분류	한국엔지니어링 진흥협회 (2004)
서 울 시	토목공사	• TCR, RQD • 일축압축강도 • 절리면 간격	• TCR, RQD에 의한 암반분류 • 암종별 일축압축강도 및 절리면 간격 등을 고려한 분류내용 기재	서울시 지반조사편람 (2006)
서울 지하철	터 널	• TCR, RQD • 일축압축강도 • 절리면 간격 • RMR과 연계	• 서울지하철 분류기준에 의하여 TCR, RQD에 의한 암반분류 • 암종별 일축압축강도 및 절리면 간격 등을 고려한 분류내용 기재	서울지하철 9호선 설계기준(안) (1997)
고 속 철 도	터 널	• 일축압축강도 • 탄성파속도 • 변형계수 • 지반강도비 • TCR, RQD • 현장 육안관찰	• RQD 및 일축압축강도 등 개별요소에 의해 암반등급 결정 가능성 제시 • 변형계수 및 지반강도의 범위 제시	고속철도 전문시방서 지반분류 (2006)
한국도로공사	터 널	• RQD, TCR • RMR • Q-System • 탄성파속도 • 일축압축강도	• 기존 암반분류 기준으로 적용, RQD 및 일축압축강도 등 개별요소에 의해 암반등급결정 범위 제시	한국도로공사 암반분류기준 (2005)

1.3.2 암반의 공학적분류 기준

기본방향 • 사업구간의 암반분류의 적용은 RQD, RMR, Q-System을 이용한 암반분류 수행

○ RQD에 의한 암반분류

▪ RQD에 의한 암반분류법 개요

개 요	• 1967년 Deere에 의해 제안 • 코어회수율(TCR : Total Core Recovery)을 발전시킨 개념인 RQD(Rock Quality Designation)는 절리의 발달간격을 나타내는 지수로서 암반 특성을 파악하는 중요한 요소 • 사업구간에서 실시한 BIPS와 BHTV자료에서의 RQD를 산정하여 시추코어에 대한 RQD산정의 적정성 검증
평 가	• $RQD(\%) = \frac{\text{10cm이상 Core 길이의 합}}{\text{총 시추길이}} \times 100(\%)$
특 징	• 신속하게 불연속면의 간격을 정량화, 주관적인 차이가 적음
	• 절리의 방향성, 밀착성, 충전물, 지반응력 등을 고려할 수 없음

▪ RQD에 의한 암반분류법

RQD 범위	100~81	80~61	60~41	40~21	20이하
암반등급	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
암질상태	매우 양호	양호	보통	불량	매우 불량

제 2 장 현장조사 및 시험

2.1 시추조사

기본방향

• 지반의 성상을 조사하고, 조사와 병행하여 시료 채취 및 각종 원위치 공내시험 수행으로 설계에 필요한 제반 자료 제공
-지반의 수직적 분포상태, 파쇄대 및 단층대 확인, 지반 공학적 특성 파악 및 시료 채취
-암질상태, 균열상태, 파쇄구간의 분포 및 암석의 강도정수 산정을 위한 Core 채취

◎ 조사방법

• 시추작업과 병행하여 지층의 상대밀도와 구성성분을 파악하기 위하여 표준관입시험 병행 실시
• 코어회수율을 높여 정확한 암질상태를 파악하기 위하여 D-3 Core Barrel 및 Diamond Bit 사용
• 채취된 암석 Core는 육안관찰에 의하여 암석 내에 분포된 절리와 절리면의 충전물 등을 파악하고, 절리의 분포상태, TCR, RQD 등의 암반특성을 평가할 수 있는 자료를 조사하여 시추주상도에 기재
• 지하수위의 측정은 지하수체(Groundwater) 상면의 위치 또는 시추공에 나타나는 정수면의 위치를 지표면과 일정한 기준면으로부터의 수직거리로 구함(시추종료 24시간 경과 후)

시 추 작 업 전 경 (BH-1)

시 추 작 업 전 경 (BH-3)

◎ 적용현황

구 분	쌓기	교량	깎기	합 계
수 량(회)	1	2	1	4

• 지층상태 및 지지층 확인, 암반분류, 현장시험 및 채취된 시료를 이용하여 실내 토질 및 암석시험 실시
• 작성된 주상도는 암반분류 및 지보패턴 설계에 활용
• 작성된 지층단면도는 비탈면 설계에 활용

2.2 현장시험

2.2.1 표준관입시험

기본방향

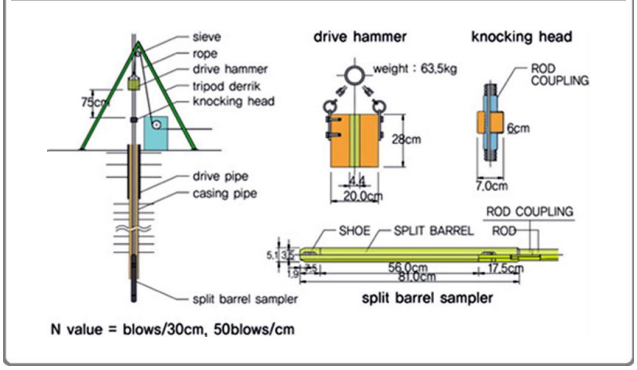
• 표준관입시험기를 이용하여 1.0m 간격을 전 시추공에서 수행하고, Split Spoon Sampler로 채취한 불교란 시료는 육안관찰 및 실내시험 수행

○ 시험방법

• 한국산업규격(KS F-2318)에 의거 토사 및 풍화대에서 1.0m마다 또는, 지층변화 지점에서 수행
• Sampler를 Rod의 하단에 연결, 표준해머(63.5kg)를 76cm 높이에서 자유낙하시켜 관입 깊이를 측정
• 15cm씩 3단계로 시행, Sampler를 30cm 관입하는데 필요한 타격횟수를 N값으로 측정(예, 10회/30cm)
• 지층이 조밀, 견고하여 30cm 관입이 곤란할 경우, 50회 타격한 관입량을 기록(예, 50회/5cm)

○ 시험모식도 및 시험전경

표준관입시험 모식도



시 험 전 경

• N치로부터 지층의 조밀도 및 연경도 확인하고, 교란시료를 채취하여 육안판별 및 물성시험 시료로 이용, 지반 강도특성 및 변형특성 파악을 위한 자료로 활용

2.2.2 지하수위 측정

기본방향 • 지속적인 시추공 지하수위를 측정하여 안정된 지하수위 분포현황 파악

• 시추작업 완료 직후 1차 측정
• 지하수위 측정은 지하수체(Groundwater) 상면의 위치 또는, 시추공에 나타나는 정수면 (Piezometric Surface)의 위치를 지표면이나 일정한 기준면부터의 심도를 측정
• 각 시추공별 지하수위 측정은 24시간 경과 후에 2차로 측정하며, 공내 지속측정이 가능한 시추공은 지하수위를 장기간에 걸쳐 측정하여 부록의 시추주상도에 기록

지하수위 측정

• 공내 안정수위 분포로 지하수위 분포 현황을 파악

제 3 장 실내시험

3.1 실내토질시험

3.1.1 물성시험

기본방향

• 시추조사와 병행하여 실시한 표준관입시험, 시험굴조사시 얻어진 시료 중 대표적인 시료를 선별하여 흙의 물리적, 역학적 특성을 파악, 시험방법은 한국산업규격(KS F) 준수

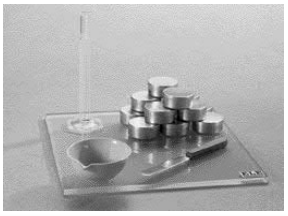
◎ 시험장비

비중시험

액성한계

토질물성시험

소성한계



체분석

◎ 결과활용

시험 명칭	시험 결과	시험결과의 이용	표준방법
함 수 비 시 험	함수비	지반의 함수상태 파악	KS F 2306
비 중 시 험	비 중	지반의 단위중량 추정	KS F 2308
체 분 석 시 험	입도분포곡선	지반의 입도 조성 파악	KS F 2309
입 도 분 석 시 험			KS F 2302
액 성 한 계 시 험	액성한계	흙의 분류와 공학적 성질 추정	KS F 2303
소 성 한 계 시 험	소성한계		KS F 2304

◎ 적용현황

구 분	쌓기	교량	깎기	합 계
수 량(회)	1	2	1	4

• 지반의 공학적 분류와 기본 물성치 산정에 반영

3.1.2 압밀시험

기본방향

- 연약지반의 점성토에 대한 압밀 특성 분석
- 시험방법은 한국산업규격(KS F)을 우선 적용하였으나 미 지정된 시험의 경우 외국 규정을 적용

시험 방법

- 흙 시료를 위, 아래에 다공질판을 부착시킨 링속에 넣고 상하로 압밀하중을 가함
- 처음 0.1kgf/cm를 24시간 가한후 침하량 기록한 후 2배 하중가함
- 동일한 방법으로 6.4kgf/cm^2 까지 가한 후 하중 제거
- Terzaghi의 1차 압밀 이론
  - 흙이 하중을 받게되면 체적이 감소하게 되는데, 이때 토체를 이루고 있는 흙입자, 간극, 공기 중에서 흙입자와 물은 비압축성이므로 공기의 압축, 용해 또는 간극수가 간극으로부터 빠져나감

시험명칭	시험결과의 이용	표준방법
압밀시험	• 압밀정수(압축지수, 선행압밀하중, 체적변화계수, 압밀계수)의 산정 • 연약지반의 침하량과 침하속도를 해석	KS F 2316

적용현황

구 분	쌓기	교량	깎기	합 계
수 량(회)	-	1	-	1

- 점성토 지반의 수직압밀계수, 수직투수계수 산정시 적용
- 연약지반구간의 압밀시간, 압밀침하량 산정시 입력자료로 활용

제3편 지반조사 결과

제1장 지형 및 지질

제2장 조사결과

제3장 실내시험

제 1 장 지형 및 지질

1.1 지형특성 분석

기본방향

- 사업구간 노선의 주요 구간에 대한 토질 및 지질공학적인 자료 획득
- 산계 및 수계 등 지형특성을 파악하는 1차적 자료로 활용

◎ 산계 및 수계 분석

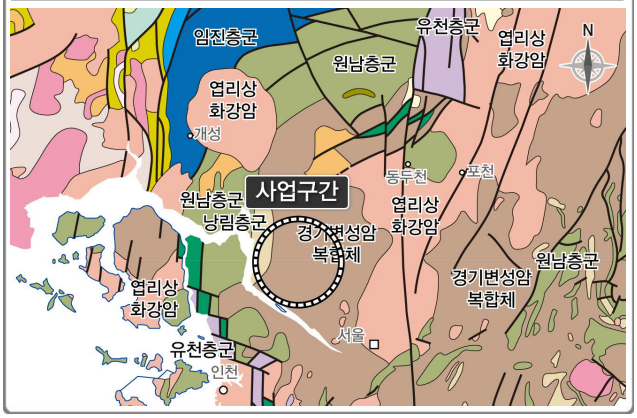
산 계	• 사업구간 주변으로 북으로는 봉산 망월산, 동측으로는 백련산, 대덕산, 남으로는 개화산 등이 남북방향의 구릉지성 저산능 발달
수 계	• 사업구간 주변으로 북에서 남으로 직선상의 유로를 형성하며 한강으로 유입되는 창릉천 및 불광천이 분포 • 사업구간 남측으로 동에서 서로 흘러 서해로 유입되는 한강이 분포

- 사업구간 주변 저구릉성 산지가 분포 하며, 주 수계로는 북에서 남으로 흘러 한강에 합류되는 창릉천, 동에서 서해로 유입되는 한강이 분포

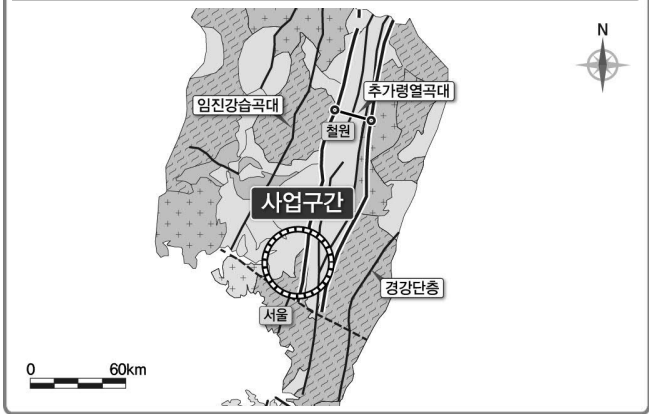
1.2 지질특성 분석

◎ 광역지질분포 및 지체구조 특성 분석

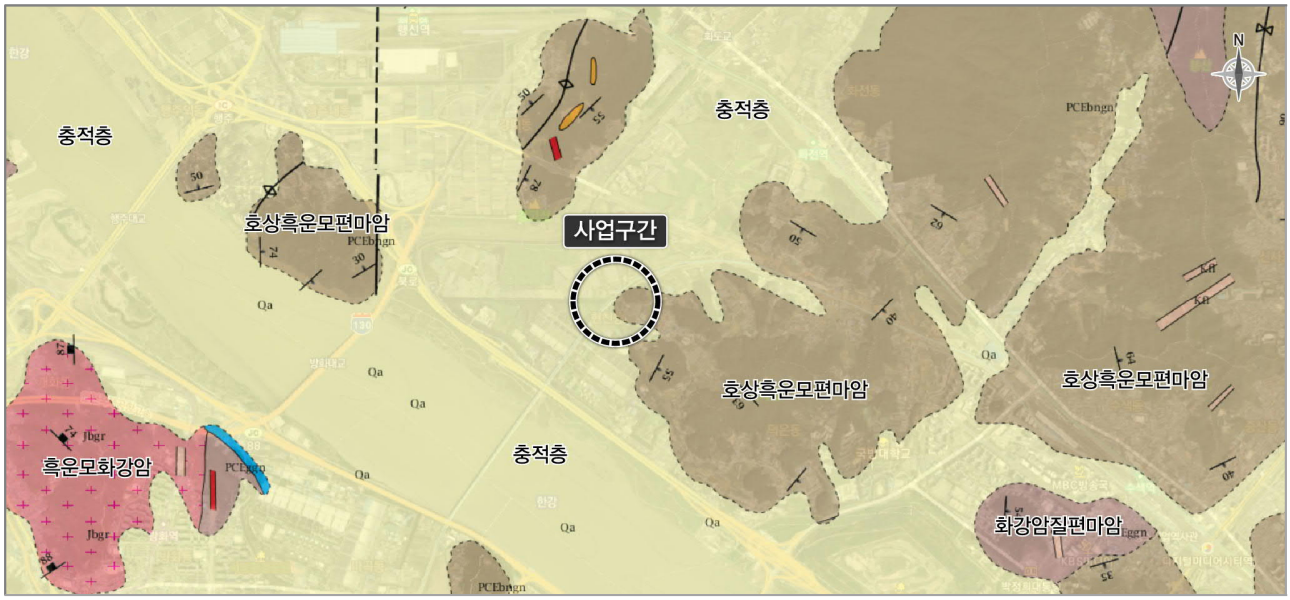
광역지질분포 특성



지체구조 분석



상세지질 특성 분석

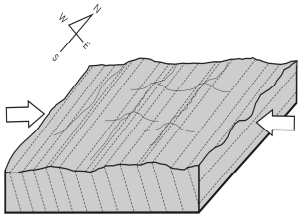


지질분포 및 지체구조 특성 분석

- 사업구간의 광역지질은 대부분 경기변성암복합체(편마암, 편암 등으로 구성)로 분포하며, 주변으로 김포 부근의 원생대 원남층군과 동두천, 포천 부근 중생대 엽리상화강암이 분포
- 사업구간은 원산에서 서울까지 이어지는 북북동 방향의 추가령 열곡대 서측에 위치하고, 지체구조상 안정된 경기육괴에 해당되며 지질구조대(대규모 단층, 파쇄대 등)의 영향이 적은 위치에 해당
- 사업구간은 선캄브리아기의 호상흑운모편마암이 분포하며, 우백대와 우흑대가 교호하는 호상구조가 특징

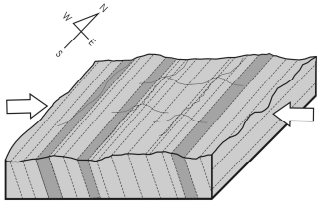
지질변천사

1단계



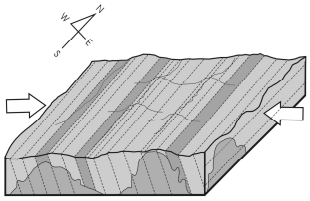
- 변형작용 및 변성작용에 의해 흑운모편마암 형성

2단계



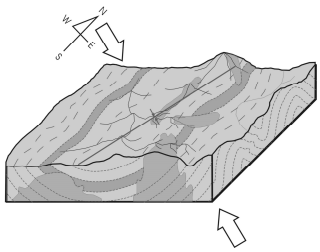
- 변성작용 동안 열수순환작용이 활발하여 석회규산염암 분포

3단계



- 심성암 관입 후 변성작용으로 우백질화강편마암 형성

4단계

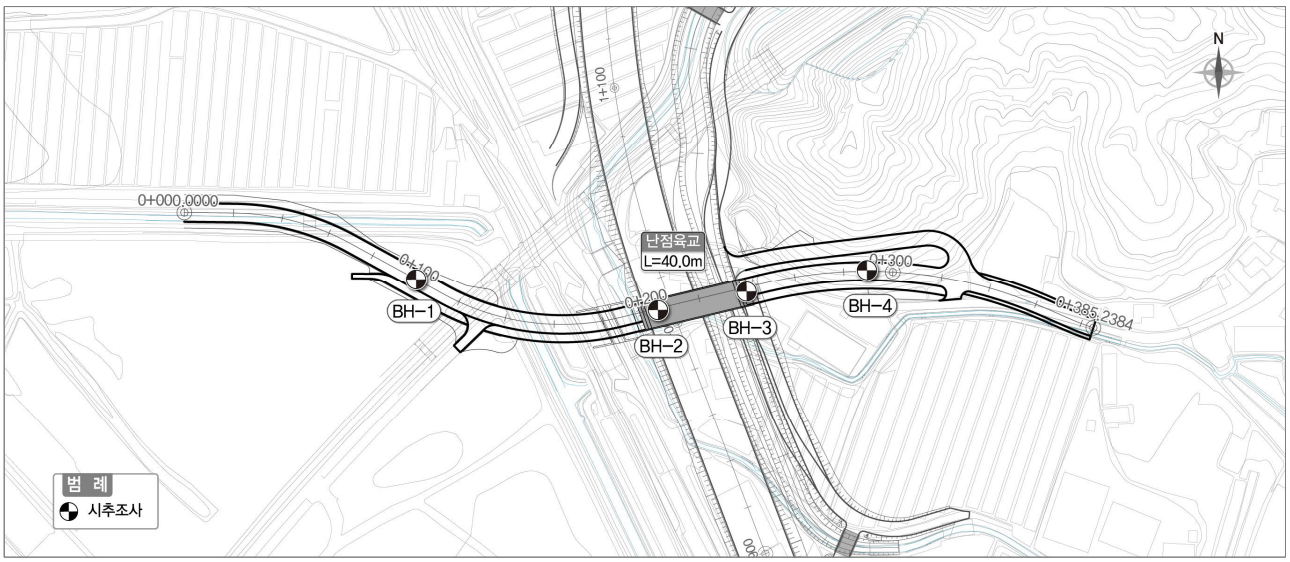


- 동-서방향의 응력에 의해 NE방향의 습곡 발달

제 2 장 조사결과

2.1 시추조사

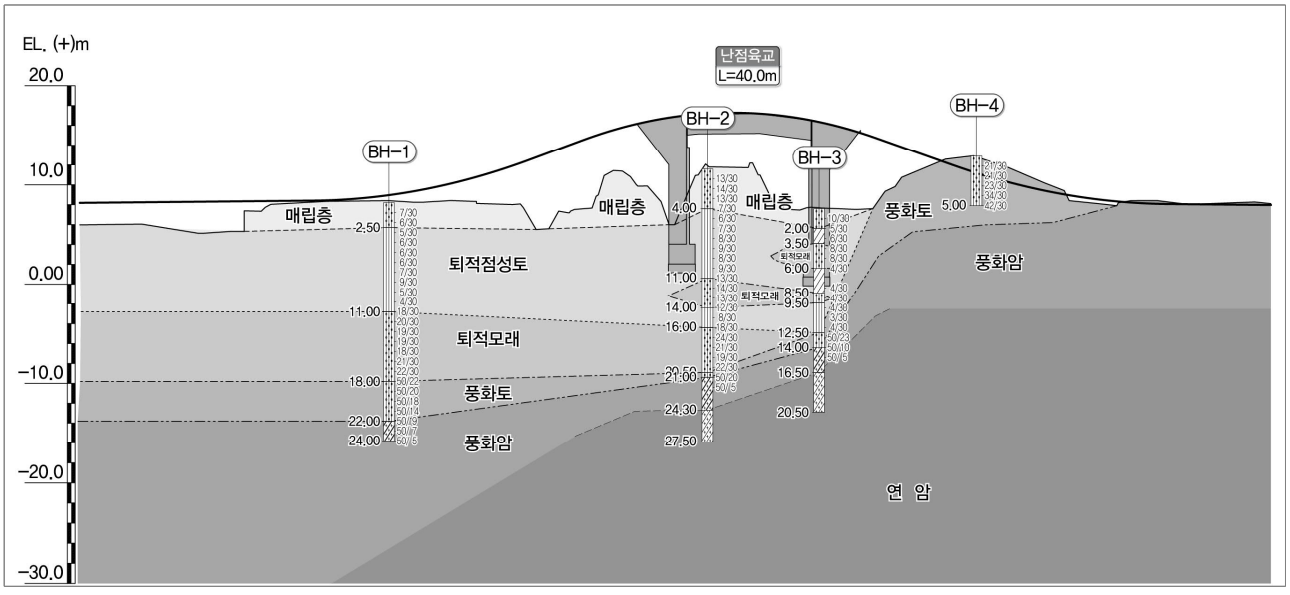
2.1.1 시추조사 위치



구분	공번	좌표		표고 (EL.m)
		X	Y	
난점마을 진입도로	BH-1	554471.466	186886.655	8.2
	BH-2	554760.573	186871.777	11.6
	BH-3	554462.592	186837.716	7.6
	BH-4	554471.466	186886.655	12.9

2.1.2 지층분포 현황

◯지층단면도



○ 시추조사결과

구 분	출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층	0.0	2.0~4.0	실트질 모래	6/30~14/30(11/30)
퇴적층(점성토)	2.0~2.5	1.5~8.5	저소성 점토, 저소성 실트	3/30~12/30(6/30)
퇴적층(모래)	3.5~11.0	1.0~7.0	실트질 모래	4/30~24/30(17/30)
풍화토	0.0~20.5	0.5~5.0	암편 및 실트질 모래	21/30~50/14(44/30)
풍화암	14.0~22.0	2.0~3.3	굴진시 실트질 모래로 와해	50/20/50/5(50/9)
연 암	16.5~24.3	3.2~4.0	편마암	75~100%/0~50%

구 분	지 층 개 요
매립층	• BH-1, 2, 3 시추공에서 확인된 최상부층으로 2.0~4.0m 층후로 분포 • 암갈색, 적갈색의 부분적 자갈 혼재된 실트질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며, 느슨~보통조밀한 상대밀도로 분포
퇴적층(점성토)	• 지표하 2.0~2.5m에서 1.5~8.5m 층후로 분포 • 암갈~암회색의 저소성 점토 및 저소성 실트로 구성 • 습윤한 상태이며, 느슨~매우조밀한 상대밀도
퇴적층(모래)	• 지표하 3.5~11.0m에서 1.0~7.0m 층후로 분포 • 암갈~암회색의 부분적 자갈 혼재된 실트질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며, 느슨~보통조밀한 상대밀도
풍화토	• 모든 시추공에서 확인되며, 지표하 0.0~20.5m에서 0.6~4.5m 층후로 분포 • 암갈색의 실트질 모래로 구성 되며, 부분적 모암조직 잔존 • 습윤한 상태이며, 보통조밀~매우조밀한 상대밀도를 보임
풍화암	• BH-1, 2, 3 시추공에서 확인되며, 지표하 16.5~22.0m에서 2.0~3.3m 이상 층후로 분포 • 암갈색의 편마암으로 구성 • 굴진 및 타격에 의하여 암편 및 실트질 모래로 분해됨 • 습윤한 상태이며, 매우조밀한 상대밀도를 보임
연 암	• BH-2, 3 시추공에서 확인되었으며, 지표하 16.5~24.3m에서 3.2~4.0m 이상 층후로 분포 • 암갈~암회색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 75~100%/0~50%로 매우불량~보통 암질 상태 • 심한풍화~보통풍화, 약함~보통강함, 심한균열~보통균열의 상태

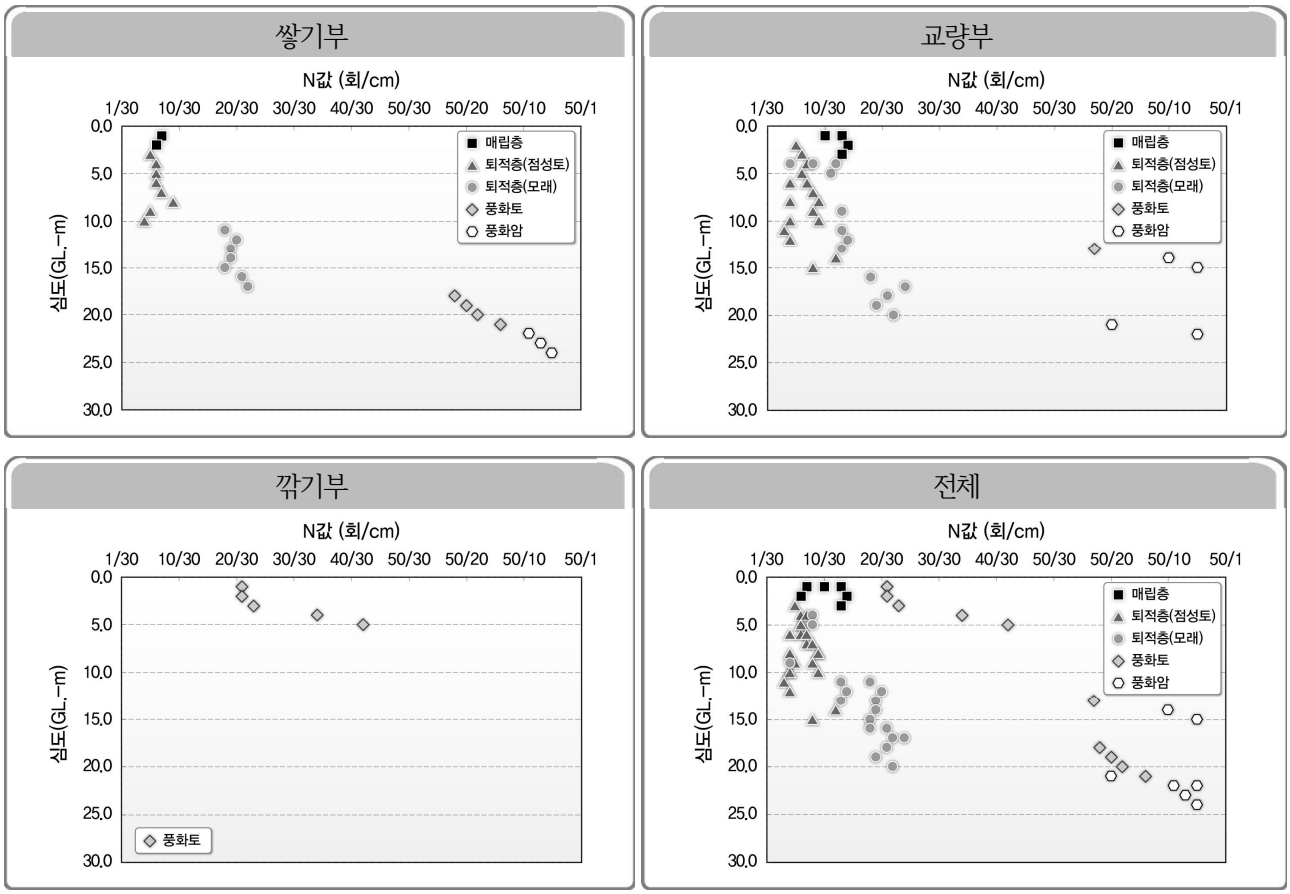
2.2 표준관입시험

개 요

• 시추작업과 병행하여 지층의 교란시료를 채취하여 육안분류로 토질을 분류하고, 지층의 상대밀도와 연경도 파악으로 지층을 분류함

구 분	N값	상대밀도	U.S.C.S
매립층	6/30~14/30(11/30)	느슨~보통조밀	SM
퇴적(점성토)	3/30~12/30(6/30)	연약~견고	CL, ML
퇴적(모래)	4/30~24/30(17/30)	매우느슨~보통조밀	SM
풍화토	21/30~50/14(44/30)	보통조밀~매우조밀	SM
풍화암	50/20/50/5(50/9)	매우조밀	-

◎ 표준관입시험결과



분석결과

- 토사구간은 매립층(모래), 퇴적층(점토, 실트, 모래), 풍화토, 풍화암의 지층으로 분포
- 퇴적점성토층은 N값 3/30~12/30회/cm, 퇴적모래층은 N값 4/30~24/30의 분포를 보임

2.3 지하수위 분포

개 요

- 사업구간내 시추공에 대한 지하수위 분포현황을 파악하기 위해 지하수위 측정
- 시추조사 완료후 1일이 경과한 후 수위를 측정하여 안정수위를 주상도에 기재

◎ 측정결과

구 분	지하수위	
	GL.-m	EL.+m
BH-1	5.3	2.9
BH-2	6.9	4.7
BH-3	2.1	5.5
BH-4	심도이하	심도이하

분석결과

- 지하수위 측정결과 GL.- 2.1~6.9m, ,EL.+ 5.5~2.9m 범위로 분포
- BH-4 깎기부로 굴진심도 내에 지하수위가 분포하지 않음

제 3 장 실내시험

3.1 실내토질시험

3.1.1 기본물성시험

개 요

- 시추조사와 병행하여 실시한 표준관입시험 및 불교란시료에 대하여 입도분석 및 물성시험 수행
- 지층별 대표시료를 선정하여 흙의 물리적 특성 파악 및 지층 분류시 활용

○ 시험결과

구 분	공 번	심 도 (m)	지 층	함수비 (%)	비 중	Atterberg Limits(%)		통과중량 백분율(%)				USCS
						LL	PI	No.4	No.10	No.200	0.005mm	
난점마을 진입도로	BH-1	5.0	퇴적층	30.7	2.65	32.2	7.6	100	100	94.3	12.0	ML
	BH-2	6.0	퇴적층	23.2	2.67	31.9	8.0	100	100	95.4	13.3	ML
	BH-3	6.9	퇴적층	28.1	2.69	33.3	11.2	100	100	97.3	20.5	CL
	BH-4	3.0	풍화토	14.5	2.61	NP	NP	96.3	84.6	29.7	-	SM

분석결과

- 실내시험결과, 퇴적층에서 ML, CL, 풍화토 SM로 분류됨
- 함수비: 14.5~30.7%, 비중: 2.61~2.69, #200통과중량 백분율: 29.7~97.3%

3.1.2 압밀시험

개 요

- 시추조사와 병행하여 실시한 표준관입시험 및 불교란시료에 대하여 입도분석 및 물성시험 수행
- 지층별 대표시료를 선정하여 흙의 물리적 특성 파악 및 지층 분류시 활용

○ 시험결과

공 번	심 도 (GL.-m)	초기간극비 (e_0)	선행압밀하중 (P_c, kN/m^2)	압축지수 (C_c)	압밀계수 (C_v, cm^2/s)	USCS
BH-3	6.5~7.3	0.869	177.01	0.255	9.25×10^{-4}	CL

분석결과

- BH-3 6.5~7.3m(퇴적층)구간은 CL로 분류됨
- 선행압밀하중(P_c, kN/m^2): 177.01, 압축지수: 0.255, 압밀계수(C_v, cm^2/s): 9.25×10^{-4}

제4편 교량기초 설계

제1장 교량기초 설계개요

제2장 기초형식 선정

제3장 교량기초 설계정수

제4장 교량기초 안정성 검토

제5장 교량기초 시공방안 검토

제6장 기초의 품질 및 유지관리계획

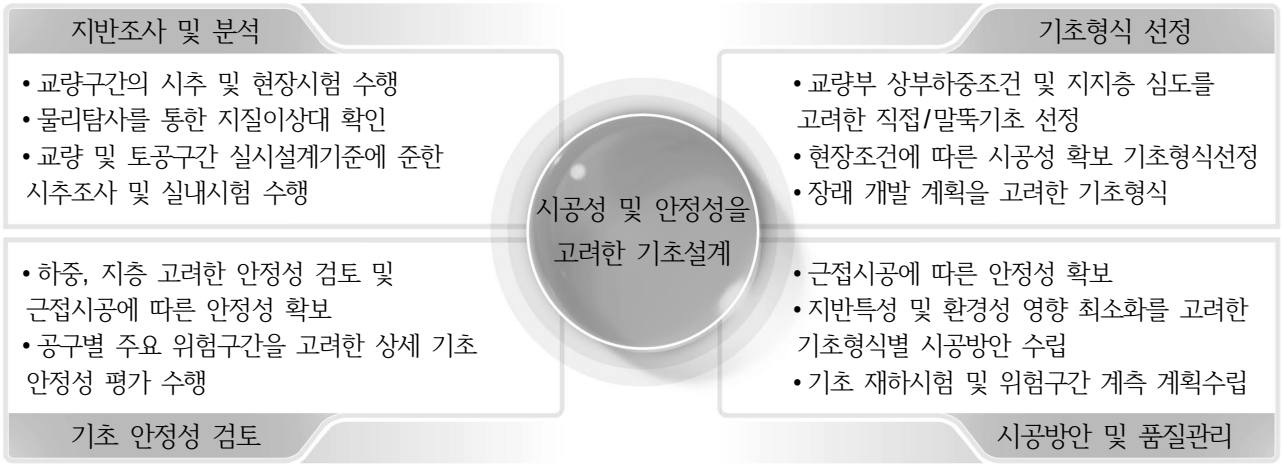
제 1 장 교량기초 설계개요

1.1 설계개요

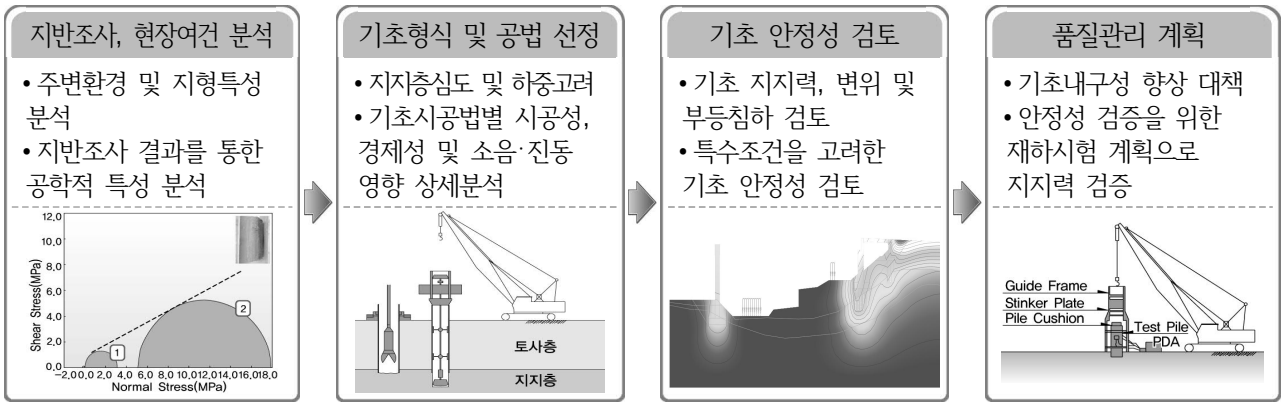
기본방향

- 지층분포, 시공조건, 교량 상부구조 형식 및 환경성을 고려한 최적의 기초형식 선정
- 구조물인접 시공구간, 고성토부 교대 등 주요 구간의 기초안정성 검토
- 선정된 기초형식의 안정성 확보를 위한 재하시험 및 시공 중 품질관리 계획 수립

1.1.1 기본방향



◎ 교량기초 설계흐름



◎ 지반조사 설계활용

조사항목		조 사 내 용	설 계 활 용
지표지질조사		• 교량구간의 지형 및 지질특성 파악 • 사업구간의 노두조사로 암종분포 특성 파악	• 교량위치 선정 및 지층특성 파악 • 암반 절리파악에 의한 기초 안정성 검토
시 추 조 사		• 교량구간의 지층분포 및 기반암 심도 확인 • 기반암 상태조사 및 연경도 파악(SPT 수행)	• 지지층확인을 통한 기초형식 선정에 활용 • 설계 지지력 검토 시 문헌치 판단에 활용
공내재하시험		• 기반암의 하중에 대한 변형특성 파악	• 변형계수(E_d) 및 탄성계수(E_s)
DHT 시험		• 구조물 내진해석을 위한 동적지반정수 산정	• 인공지진파 산정 후 구조물 내진해석 수행
실내 시험	토질	• 비중, 함수비, 액·소성한계 등	• 흙의 분류 및 지반특성 파악
	암석	• 일축압축강도, 점하중강도 등	• 암반 지지기초의 안정성 검토

1.1.2 교량현황

○ 난점마을 연결교량 현황

교 량 명	위치(STA.)	교량형식	경간/연장	지 지 층	기초형식
난점마을 연결교량	0+196.500~0+236.500	합성라멘교	단경간 / 40.0	풍화암	강관말뚝기초

1.2 교량기초 주요검토사항

기본방향
- 교량기초 설계에 있어 시추조사와 현장 및 실내시험 결과를 종합적으로 분석
- 교량기초 설계 시 상부구조물, 하중조건, 지반특성 및 현장여건을 고려한 주요 검토사항을 분석하여 최적의 설계수행

1.2.1 주요 설계 검토사항

검 토 사 항		검 토 내 용
기초형식 적정성		• 기초형식검토 : 지형 및 지질, 구조물의 특성 및 기타 시공조건 등을 고려 • 기초형식선정 : 경제성, 시공성 및 환경영향을 고려한 최적의 기초형식 선정
설 계 안정성	지지력 및 변위	• 얕은 기초의 안정성 : 연직지지력, 변위 • 깊은 기초의 안정성 : 연직 및 수평지지력, 변위, 군말뚝효과를 고려한 말뚝해석 • 부등침하에 대한 안정성 검토
	현장여건을 고려한 안정검토	• 쌓기 교대부 안정성 검토 및 고성토 구간 측방유동 검토 • 지선부 현장타설말뚝 안정해석 검토 • 지지층 및 기초형식 상이구간 기초의 안정성 검토 • 근접시공에 따른 인접구조물의 안정성 검토
기초 시공방안		• 얕은 기초의 시공성 검토 • 가시설 공법 안정성 검토 • 환경성 평가를 통한(소음.진동) 기초시공법 선정(매입말뚝선정)
유지관리 및 품질관리계획		• 깊은 기초의 재하시험 계획 및 얕은 기초의 평판재하시험 계획 • 강관/현장타설 말뚝기초 품질관리 및 계측계획 수립

1.2.2 적용 프로그램

분 야	프로그램명	내 용	설 계 적 용
수치해석	Midas GTS	연속체 해석을 통한 지반거동분석	• 상이 기초형식 및 지층변화구간의 부등침하 검토 • 시공단계를 고려한 고성토 교대부 안정성 검토 • 현장타설 말뚝기초 안정성 검증 • 근접시공에 따른 안정성 검토
	SLOPILE	2차원적 거동분석	• 교대부 고성토구간 측방유동 안정성 검토
말뚝검토	GROUP 6.0	군말뚝의 수평력 해석	• p-y곡선을 이용한 군말뚝의 수평 거동 검토
기타검토	Tarlen97, SLOPE/W	임시 비탈면 안정검토	• 얕은 기초 터파기시 임시 비탈면에 대한 검토
	SEEP/W	침투류 해석	• 기초 터파기 지하수 유입량 검토
	Midas GEOX	가시설 해석	• 가시설의 안정성 해석

제 2 장 기초형식 선정

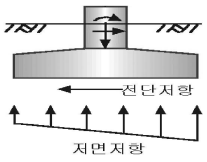
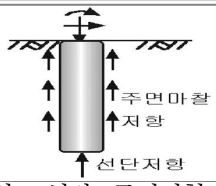
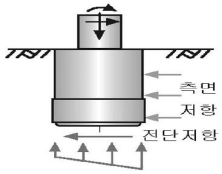
2.1 기초형식 검토

기본방향
- 지층구성 및 특성파악으로 지지층심도와 주변 환경영향을 고려한 합리적인 기초형식 도출
- 직접기초 적용 가능성을 우선 검토한 후 안정성, 시공성 및 경제성에 따라 깊은기초 적용
- 기초형식은 내적(구조물 특성, 지반조건) 및 외적(현장조건, 시공성)요인에 의해 선정

2.1.1 기초형식 선정 시 고려사항

환경 영향	• 시공중 환경오염 및 소음 . 진동에 의한 주민 생활 불편을 최소화 할 수 있는 기초형식 선정
지반 조건	• 지층 분포현황 및 지반의 공학적 특성을 고려한 기초형식 선정
안 정 성	• 상부 구조형식에 의한 작용하중을 원활히 지지하여 구조물 기능을 유지할 수 있는 기초형식 선정
경 제 성	• 지반상태 변화에 대한 능동적 대처 및 장비 접근성 등이 고려된 경제적인 기초형식 선정

2.1.2 기초형식 선정기준

기 초 형 식	직 접 기 초	깊 은 기 초	
		말 뚝 기 초	우 물 통 기 초
개요도			
	• 연직력 : 저면반력 • 수평력 : 기초저면의 전단저항 (마찰저항)	• 연직력 : 선단, 주면마찰저항 • 수평력 : 말뚝 휨강성, 주변지반 수동저항	• 연직력 : 저면반력 • 수평력 : 측면반력 및 전단저항 (마찰저항)
적 용 기 준	• 기초심도 : 5.0~8.0m 내외 • 시공성, 경제성을 고려하여 선정 • 터파기내 장애물이 없고 시공중 배수처리가 곤란하지 않을 것	• 기초심도 : 5.0~60.0m • 현장조건 및 하중조건에 따라 기성말뚝과 현장타설 말뚝으로 나누어 적용	• 기초심도 : 5.0~30.0m • 연직하중이 큰 구조물 • 하상, 수상 등 말뚝기초형식 적용이 곤란한 지역

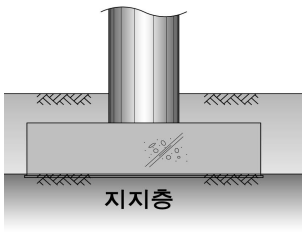
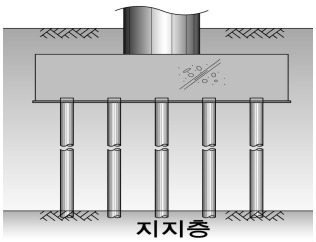
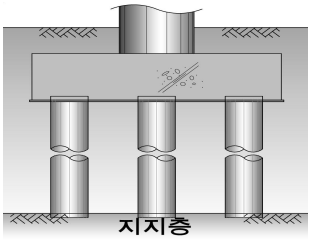
○ 기초형식 설계기준

구 분	선 정 기 준 (D_f : 근입깊이, B : 기초 최소폭)
도로설계요령(2009)	• 지지층 : 사질토 N > 30, 점성토 N > 20 • 직접기초 : 지지층 5~10m 이내, 말뚝기초 : 지지층 5~10m 이상
구조물기초 설계기준(2008)	• 직접기초 : $D_f/B = 1.0$ 이하, 말뚝기초 : $D_f/B = 1.0$ 이상
도로교 설계기준 해설(2008)	• 직접기초 : $D_f/B = 1/2$ 이하
깊은기초(지반공학시리즈)	• 직접기초 : $D_f/B = 1.0$ 이하, 말뚝기초 : $D_f/B = 1.0$ 이상

○ 기초형식 선정기준

기초 형식	지지층 (풍화암 이상) 심도
직접 기초	• 심도 5.0m~8.0m 이내 (Mass Con'c 3m 이하 타설), 기초저판은 동결심도 이상 근입
말뚝 기초	• 심도 8.0m이상 지지층의 확실한 근입을 위해 풍화암층은 2.0D이상 및 연.경암은 1.0D이상 근입
현장타설말뚝기초	• 한강 제내지 및 유심부 구간은 지반 및 시공조건을 종합적 분석한 후 선정

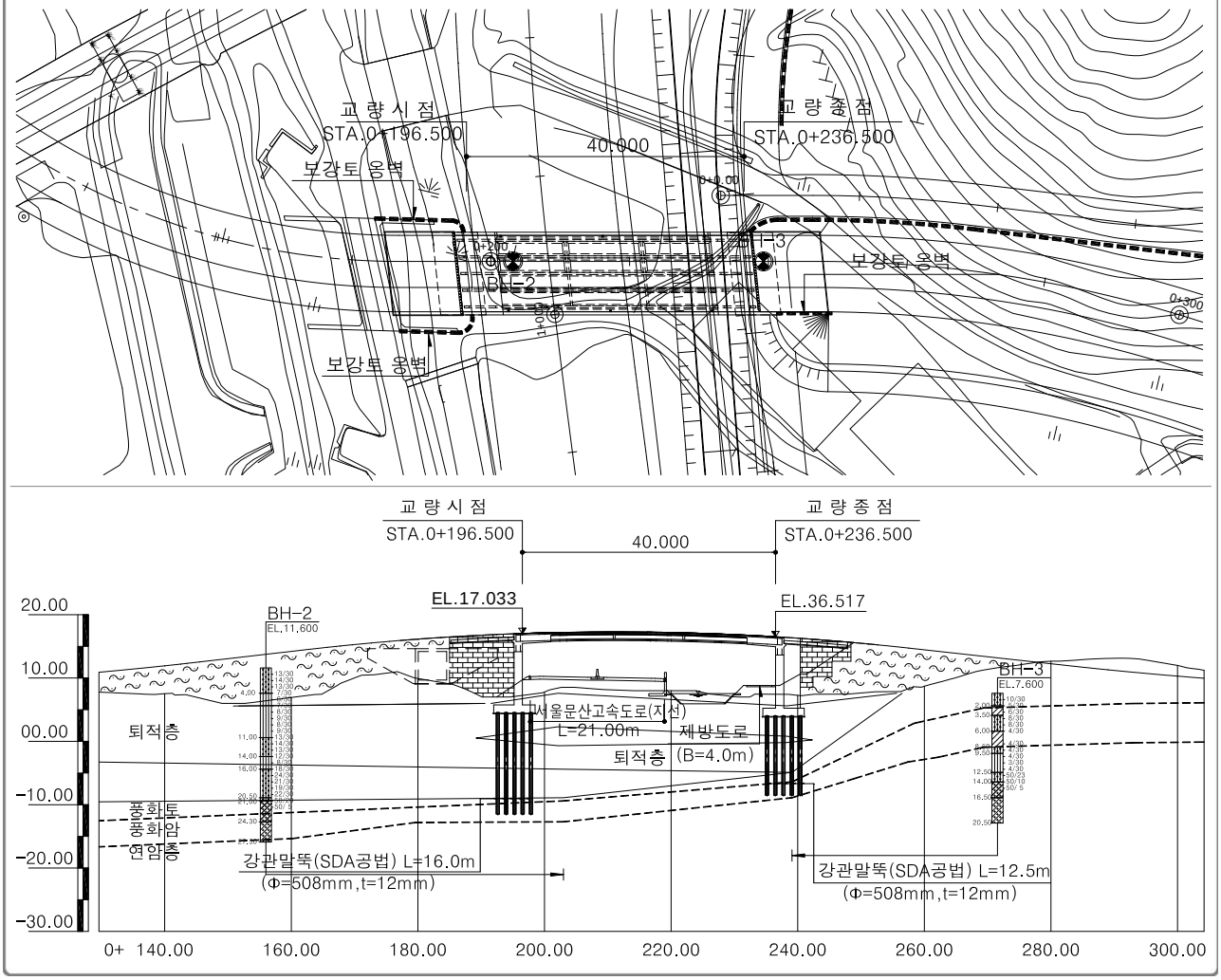
2.1.3 기초형식 검토

기초형식	얕은기초	깊은기초	
	직접기초	강관말뚝기초	현장타설말뚝기초
개요도			
공법개요	• 소요 지지력을 갖는 지반까지 굴착하여 기초를 직접 설치	• 항타기를 이용 직접 항타, 천공 후 항타 적용 • 중굴말뚝 시공 시 시멘트풀 주입 불필요 • 매입말뚝적용 시 시멘트풀 주입	• 정수압에 의하여 공벽을 안정 • 특수 비트에 의해 굴착 • 공내수는 침전지와 순환 재활용 • 철근망 근입 및 콘크리트 타설
공법구별	• 독립기초 • 줄기초 • 복합기초 • 전면(Mat)기초	• 강관 및 기성(PHC) 항타 말뚝 • 매입 말뚝	• 단일 현장타설 말뚝 • 대구경 현장타설 말뚝
특징	• 지지층 확인 가능 • 양호한 품질유지, 공사비 저렴 • 굴착심도가 깊은 경우 별도의 가설공사 필요	• 깊은 굴착이 가능 • 수직도 유지 용이 • 자갈, 전석층인 경우 항타 시공 곤란	• 깊은 굴착이 가능 • 지지층에 관계없이 시공 • 양호한 품질관리 곤란
적용기준	• 기초심도 5.0~8.0m 이내 • 시공성, 경제성 고려 • 연직하중은 침하영향내로 검토 • 터파기 영향권 내 장애물이 없고 배수처리가 양호한 지역	• 관입성 및 시공성 검토 • 연직하중 100~200ton • 상부에 비교적 연약 토사층 및 퇴적층 등이 분포하는 지역	• 지지층 10m 이상 • 호박돌, 전석에 유리 • 연직하중 100~200ton • 지지층이 상당히 깊고 기초에 대규모 하중 작용 시
적용구간	-	기초심도 5.0~8.0m 이상 구간	-
검토결과	지반조건	• 지층현황 분석시 지지층 심도가 깊어 직접기초 형식 구간은 없는 것으로 분석 • 전반적으로 지지층심도가 깊어 연직 및 수평력 확보에 우수한 기초 선정 • 지층구성상태, 현장여건 및 상부하중규모에 따라 깊은기초 (강관말뚝 검토)로 선정	
	시공조건	• 시공 시 소음에 의한 민원예상구간 및 항타 시공이 어려운 자갈, 전석층에 매입말뚝 선정	

2.1.4 기초형식 선정

◎ 난점마을 연결교량 (STA. 0+196.5 ~ 0+236.5)

종 . 평면도



교 량 형 식	• 상부구조 형식 : 합성형 라멘교 • 단경간 : L = 40.0m
지 층 분 석	• 매립층이 2.0~4.0m, 퇴적층이 10.5~19.8m 층후로 분포하며 풍화토 및 풍화암층이 3.8~4.0m 층후로 분포 • 지지층인 풍화암층이 G.L(-)9.2m, G.L(-)14.2m에서 출현

기초 형식 선정

위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
A1	BH-2	G.L-16.8m	풍화암	강관말뚝기초	Φ 508
A2	BH-3	G.L-13.9m	풍화암	강관말뚝기초	Φ 508
선 정 사 유	• A1, A2은 지지층인 풍화암 심도가 GL(-)16.8m, GL(-)13.9m로 강관말뚝기초 선정				

2.2 교량기초 시공법 선정

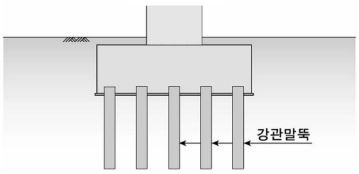
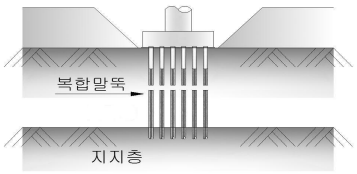
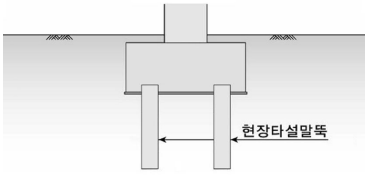
기본방향

- 육상부 깊은기초로 계획된 교대 및 교각에 대하여 적용 가능한 말뚝재료와 시공법을 비교 검토한 후 최적의 재료와 시공법을 선정
- 교량기초 형식 중 지반조건상 기초터파기시 영향검토와 굴착시 임시비탈면 등에 대한 안정성 검토를 토대로 시공방법을 결정

2.2.1 말뚝기초 시공성 검토

기준 설정	환경조건 검토	시공법 선정	적용시공법 검토		선정
말뚝재료 선정	소음 · 진동 영향 반경 및 항타분석	타입공법 매입공법	• 항타공법	• 선굴착공법	
			• 진동압입, 매입공법	• 속파기 공법	

○ 말뚝재료 비교 검토

구 분	강 관 말 뚝	복 합 말 뚝	현 장 타 설 말 뚝
개요도			
설 계 시 검토내용	• N값 50까지도 항타가능 하므로 다양한 토질에 가능 • 자갈, 전석층의 경우 항타곤란 • 허용 휨압축응력이 크고 전단력 및 모멘트에 대한 저항력이 큼	• 주면고정을 위한 주면고정액 선별적 필요 • 자갈, 전석층은 항타곤란 • 허용 휨 압축응력, 모멘트 및 인장력 저항성 깊이 산정	• 일반토사 및 자갈전석, 호박돌층에도 적용 가능 • 허용 휨 압축응력(9MPa)이 작음 • 모멘트에 대한 저항력이 작음
시 공 시 검토내용	• 이음, 절단, 운반이 용이하고 말뚝길이에 대한 제한이 없음 • 단면적이 작아 타입시 배토량이 적어 타입능률 양호 • 용접이음부 연결이 확실하여 본체와 동등한 강도발휘	• 상부지반 조건이 말뚝거동에 영향을 크게 주므로 지반조건의 충분한 확인 필요 • 15m이상의 지지층에 양호 • 연직하중:100tonf/EA 내외	• 장비규모가 크고 시공속도 느림 • 지층에 상관없이 굴착가능 • 수질오염과 콘크리트 품질관리 곤란 • 굴착 후 철근망을 삽입, 트레미 파이프를 이용하여 콘크리트타설
재료특성	• 부식하기 쉬워 부식방지 대책 수립(설계시 2mm의 부식두께 고려) • 중량이 P.H.C의 1/3정도로 운반, 취급이 용이	• 항타 에너지가 클 경우 균열발생으로 인한 강도저하 • 중량물이므로 운반시 편하중에 의한 파단과 취급주의	• 품질관리에 따라서 내구성이 좌우되므로 품질관리를 철저히 하여야 함 • 현장타설로 문제점 없음
적 용	교대부 깊은 기초구간 적용	-	-

- 사업구간은 단교량으로 상부하중이 크지 않고, 지지층 심도가 깊어 교대부에 수평저항력이 크고 안정성 및 시공성이 우수한 강관말뚝 선정
- 말뚝강성이 충분한 재료가 요구되므로 경제성을 고려하여 강관말뚝 적용

2.2.2 소음-진동 환경 영향원 분석

○ 강관말뚝기초 항타 가능성 검토

- 국내외의 소음·진동 규제기준 상향 조정에 대한 종합적인 검토를 통한 합리적인 적용기준 선정
- 구조물별 말뚝항타시 소음, 진동값을 인근에 있는 정온시설물 등의 이격거리별로 예측하고, 예측된 소음, 진동값이 각종 규제기준값의 허용값 이내에 포함되는지 검토
- 말뚝기초 시공지역에 대한 지층현황 파악 및 항타공법 적용시 항타시공 가능성 판단

기준설정	현장 환경 조건	항타가능성 검토	시공법 선정
• 말뚝재료 선정 • 지층 및 주변 여건분석 • 항타장비 선정	• 소음·진동기준 및 영향범위 결정 • 항타 공해 검토	• 관입지층 평가 • 항타관입성 평가 • 말뚝허용응력 검토	항타 공법 또는 매입 공법

○ 소음 영향검토 (2010년 7월1일부터 규제강화)

■ 생활소음 규제기준(소음진동규제법 시행규칙 제20조 2 제3항 관련 별표8)(단위 : dB(A))

대 상 지 역	시 간 대 별 대 상 소 음		아침,저녁 (05:00~07:00) (18:00~22:00)	주 간 (07:00~18:00)	야 간 (22:00~05:00)
주거지역, 녹지지역, 준도시지역 중 취락지구 및 운동 휴양지구, 자연환경보전지역, 기타 지역안에 소재한 학교, 병원, 공공도서관 등	확성기	옥외설치	60이하	65이하	60이하
		옥내에서 옥외로 소음이 나오는경우	50이하	55이하	45이하
	공장, 사업장		50이하	55이하	45이하
	공 사 장		60이하	65이하	50이하
기 타 지 역	확성기	옥외설치	65이하	70이하	60이하
		옥내에서 옥외로 소음이 나오는 경우	60이하	65이하	55이하
	공장, .사업장		60이하	65이하	55이하
	공 사 장		65이하	70이하	50이하

○ 교통 소음의 한도(소음진동규제법 시행규칙 제37조관련 별표10) (단위 : dB(A), dB(V))

대 상 지 역	구 분	한 도	
		주 간 (06:00~22:00)	야 간 (22:00~06:00)
주거지역, 녹지지역, 준도시지역 중 취락지구 및 운동.휴양지구, 자연환경보전지역, 학교, 병원, 공공도서관의 부지경계선으로 부터 50m이내 지역	소 음	68	58
상업지역, 공업지역, 농림지역, 준농림지역 및 준도시지역 중 취락지구 및 운동 · 휴양지구 외의 지역, 미고시 지역	소 음	73	63

○ 강관말뚝 항타시 소음영향 검토 (건설기계 중 고소음 발생장비의 소음도 측정 예 (환경연구원))

공 정	기계명		작동원리	O.A 소음도(dB(A))				측정 대수	비 고
				이격거리 7m		이격거리 15m			
				범위	평균	범위	평균		
기 초 공 사	항 타 기 계	항타기	드롭식	93~95	94	88~90	89	4	Con-Pile
		항타기	디젤식	99~110	103	96~101	99	8	Con-Pile
		항타기	디젤식	106~108	107	100~103	102	3	천공후 H-Beam
		항타기	유압식	101~104	103	92~93	93	2	Con-Pile
		항타기	유압식	89~92	91	83~85	84	2	Con-Pile
		항타기	유압식	96~99	97	90~92	91	4	보조강판
		항타항발기	진동식	80~91	85	75~86	80	3	H-Beam 항타
		드릴마스터	공압식	103~107	105	100	100	2	강 관 타 입

• 이격거리별 예측 소음 및 진동도 산정 : 음원의 전파(거리감쇠공식)

$SPL_{\gamma} = SPL_0\ (SPL_T) - 20\log(\gamma/\gamma_0)$

여기서, SPL_{γ} : 수음점까지의 거리가 γ지점에서 개별투입장비의 발생소음도(dB(A)

$SPL_0\ (SPL_T)$: 소음원으로부터 γ_0지점에서 장비합성소음도 (dB(A))

γ : 소음원으로부터 예측점까지의 거리(m)

γ_0 : 소음원으로부터 기준점까지의 거리 (m, =15m)

■ 항타작업시 이격거리별 예측소음도(점음원 감쇄공식 적용) (단위 : dB(A))

항 목/ 장 비	기준소음도 (15m)	이 격 거 리							
		50m	100m	150m	200m	250m	300m	400m	500m
디젤해머	99	88.5	82.5	79.0	76.5	74.6	73.0	70.5	68.5
유압해머	89.2	78.7	72.7	69.2	66.7	64.8	63.2	60.7	58.7
진동해머	80	69.5	63.5	60.0	57.5	55.6	54.0	51.5	49.5
드롭해머	89	78.5	72.5	69.0	66.5	64.6	63.0	60.5	58.5

■ 항타소음의 전달 및 감쇄특성에 관한 연구결과 (대한건축학회논문집, 1999.12)

• 공회전시 발생되는 소음은 항타소음에 비해 거리가 멀어져도 큰 감쇄가 발생되지 않으므로 항타소음과 함께 이에 대한 검토가 필요

• 유압식 항타공법 적용 시 발생되는 소음을 항타시와 공회전시로 구분하여 소음레벨의 변화 및 감쇄특성을 파악 (거리에 따른 소음레벨의 예측상관식 제시)

• 말뚝항타 시공시 이격거리별 소음정도를 예측한 결과 디젤해머 항타시 400m, 유압해머 항타시 250.0m 이상일 경우 허용소음값 이내인 것으로 판정 (장비의 공회전시 발생되는 소음을 포함한 검토결과)

○ 진동 영향검토

▮ 우리나라의 허용 진동기준

- 국가 또는 지방자치단체에서 설정한 진동허용기준에 대한 구체적인 규제조항 없음
- 외국의 자료를 참고로 하여 서울지하철 2, 3호선 건설당시 설정한 기준과 부산지하철의 기준은 독일의 기준과 동일하게 적용함
- 기타의 경우에는 조건에 따라 미광무국 등의 외국 사례를 근거로 하여 설계 기준을 마련하고 있으며 대체로 안전률을 높여 엄격하게 적용하고 있는 편임

▮ 진동규제기준 허용값 선정

- 시공시 진동의 영향을 받을 수 있는 대상은 주거지이므로 인체에 대한 허용 진동규제기준을 우리나라에서 적용하는 재래주택 최소기준값 0.3Kine이나 "환경영향 평가서를 참조"하여 시설물(가옥) 및 문화재 진동규제기준 0.2Kine을 기준하여 말뚝 시공시 진동으로 인한 피해를 최소로 적용

▮ 이격거리별 항타진동속도 검토

- Attewell과 Farmer는 많은 현장에서의 실측과 결과값의 회귀분석에 의하여 다음과 같이 말뚝의 항타에 의한 진동속도 추정식을 제안

$$V = 32.36\left(\frac{\sqrt{W}}{R}\right)^{1.61}$$

여기서, V : 최대진동속도(mm/sec) W : 해머에너지 (KN-m) R : 수평거리 (m)

- 항타장비 (HH-7,유압해머)
  - Ram 중량 : 7ton, 7×9.81 = 68.67KN
  - Stoke : 1.2m
  - 항타효율 : 0.9
  - Energy : 74.16KN.m (= 68.67×1.2×0.9)

▮ 이격 거리별 예측 진동속도(Attewell & Farmer 제안식 적용)

이 격 거 리 (m)	30	50	70	100	120	140
진동 속도 (cm/sec)	0.43	0.19	0.11	0.06	0.05	0.04

▮ 진동에 대한 영향 검토결과

- 유압해머로 말뚝항타시 발생되는 진동속도를 Attewell과 Farmer의 제안식에 의해 이격거리별 진동 속도를 산정하여 말뚝 항타시 진동에 관한 영향원 반경을 50m로 결정

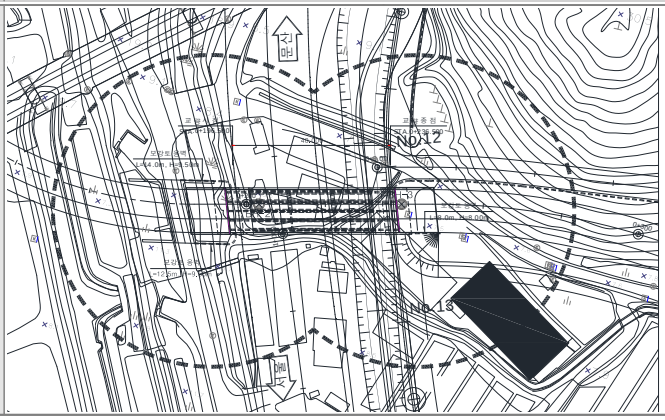
○ 항타공법 적용시 소음 및 진동에 관한 규제 기준

▮ 소음 및 진동에 대한 허용기준값

구 분	규 제 기 준	영향원 반경	비 고
소 음	65dB(소음진동규제법)	250m	• 점음원 감쇄공식
진 동	0.2㎝/sec(국내외 기준참고)	50m	• Attewell & Farmer 제안식

2.2.3 환경성 평가 분석

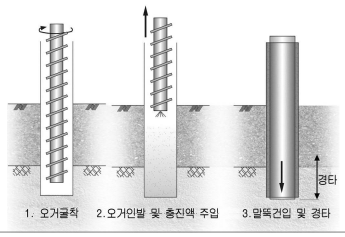
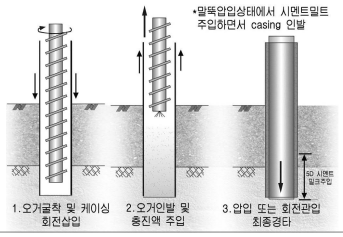
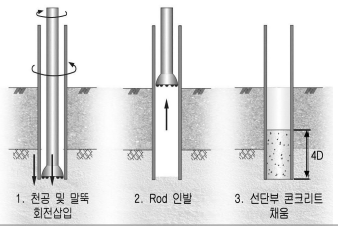
◎ 1공구 : 환경성 평가에 의한 항타가능성 판정

교 량 명	환경성평가	항타 판정
난점마을 연결교량		부적합

• 1공구 환경 영향권 분석 시 소음진동 기준에 의한 인근보안물건 인접으로 교량 기초 시공법 선정 시 매입공법으로 적용

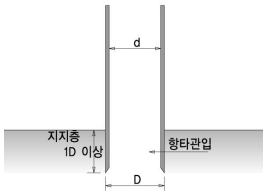
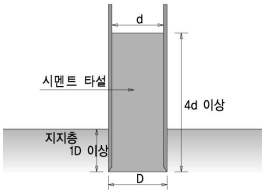
2.2.4 강관말뚝 기초 시공법 검토

• 지층조건, 환경영향 및 항타가능성 분석결과를 토대로 최적의 매입말뚝 공법 선정
• 매입말뚝공법은 일반적으로 선굴착공법과 매입공법으로 분류할 수 있으며, 현장에 적용 가능한 SIP, SDA, PRD공법에 대하여 검토

구 분	SIP 공법	SDA 공법	PRD 공법
공 법 개요도			
계획성	• 공벽유지가 가능 지층에 적합 • 하상부지 외 지역에 적합	• 모든 토층에 적용 가능 • 공벽유지가 필요한 지층에 적합	• 자갈, 전석층이 두꺼운 경우 적합 • 공벽유지가 필요한 지층에 적합
시공성	• 굴착배토시 지반응력 이완 • 자갈층 분포시 붕괴가능성 높음 • SDA시공 개념과 동일, 공벽유지 가능 구간 케이싱제외	• 굴착배토시 지반응력 이완 • 올케이싱공법이므로 공벽붕괴 방지 • 외측 케이싱과 말뚝 사용	• 굴착속도 빠름 • 상대적으로 장비설치시간 김
환경성	• 저소음·저진동공법 • 안정액 미사용으로 환경오염방지	• 저소음·저진동공법 • 안정액 미사용으로 환경오염방지	• 저소음·저진동 공법 • 안정액 미사용으로 환경오염방지
선 정	-	◉	-

• 지하수위가 높고 N값이 낮아 공벽유지가 어려운 지층은 케이싱에 의한 공벽유지 및 선단지지력이 우수한 SDA공법 선정

○ 매입말뚝의 선단처리방법 검토(도로교 설계기준, 2001)

구 분	최종타격방식	시멘트밀크 속채움
개 요 도		
선 정	◉	◉

- 시멘트 밀크를 분사, 선단지반과 흙과 혼합된 흙-시멘트 기초를 형성하는 방법은 사질토 지반에만 적용가능
- 강관의 폐합효과로 확실한 선단지지력 확보를 위하여 최종 타격방식과 시멘트 밀크 속채움 방식을 적용 (강관의 폐합효과를 고려하여 4D이상 타설)

○ 1 공구 매입말뚝공법 선정결과

교 량 명	말뚝길이 (m)	말뚝형식	지하수위 GL(-)m	시공법	선정사유 (N값, 지반조건)
난점마을 연결교량 A1	16.0	강관	6.9	SDA	상부 N값 : 7~9 하부 풍화토층으로 분포
난점마을 연결교량 A2	12.5	강관	2.1	SDA	상부 N값 : 4~8 하부 풍화토층으로 분포

제 3 장 교량기초 설계정수

3.1 교량구간 설계지반정수 산정

기본방향

- 기존 설계정수 산정의 문제점을 분석하고 대표값 산정시 신뢰도 향상을 위해 통계처리기법 (Monte Carlo Simulation, Bayesian Approach)을 적용하여 설계지반정수 산정
- 인근 설계자료와 기존문헌자료를 분석하여 통계처리의 초기추정치(Prior)로 적용, 현장조사 및 실내시험 값을 최대우도치(Likelihood)로 선정하여 Bayesian 통계처리를 통한 설계정수 도출

3.1.1 설계지반정수 산정개요

토 사 풍화암	• 현장 및 실내시험 결과를 우선적으로 고려, 문헌자료와 경험식을 비교 . 분석하여 산정 • 토질분류를 실시하여 경향을 파악하고 토질 특성에 맞는 정수 산정
기반암 (연속체)	• 동일지반에서 비탈면과 교량기초의 암반 지반정수는 하중규모, 굴착방법, 응력이완 및 풍화진행에 따라 다르므로, 이러한 조건을 고려하여 강도정수 산정 • 암반분류(GSI, RMR) 특성을 감안한 대표성을 가진 지반정수 산정
기반암 (불연속체)	• 암반불연속면 특성을 고려한 전단시험 및 Barton & Bandis 경험식을 이용한 강도정수 산정 • 지표지질조사 및 암석코아에 대한 (JRC, JCS) 등을 비교 . 분석하여 강도정수 산정

3.1.2 설계지반정수 산정결과

○ 1공구 ※ 기존 보고서 교량구간 지반정수 참고

구 분	지층	토성별	r_t(kN/m³)	c(kPa)	Φ	E(MPa)	ν	V_s(m/s)	G_d(MPa)	K(cm/s)
교 량 구 간	매립층	모래	19	3	28	15	0.35	180	50	7.0×10^{-4}
		점토	17	5	-	5	0.40	170	40	1.2×10^{-7}
	붕적층	모래	18	5	28	10	0.35	190	60	5.4×10^{-4}
	퇴적층	점토(N > 6)	18	30	-	5	0.40	200	60	1.2×10^{-7}
		실트	18	30	-	5	0.38	220	80	1.3×10^{-7}
		모래(N≤10)	18	-	27	10	0.35	240	100	5.8×10^{-4}
		모래(N > 10)	18	-	30	18	0.35	260	120	6.6×10^{-4}
		자갈	20	-	32	50	0.32	290	150	5.9×10^{-3}
	풍화토		19	17	29	50	0.33	310	180	2.6×10^{-4}
	풍화암		21	28	31	280	0.30	450	420	5.8×10^{-5}
	연 암		23	500	33	660	0.26	700	1,120	3.3×10^{-5}
	보통암		25	2,500	36	4,000	0.24	850	1,730	1.6×10^{-5}
	경 암		26	3,200	40	10,000	0.22	1,350	4,730	4.9×10^{-6}

- 금회 조사시 기존보고서 교량구간 및 쌓기재 지반정수를 참고
- 구간별, 지층별 대표 N값 선정하여 적합한 물성값 도출

제 4 장 교량기초 안정성 검토

4.1 말뚝기초의 안정성 검토

기본방향
- 말뚝기초의 연직 및 수평방향 허용지지력, 침하량, 수평변위량 등에 대한 검토를 수행
- 지층특성과 상부구조물의 하중조건 및 주변환경 등을 고려한 기초안정성 검토
- 다양한 산정공식 및 해석기법의 결과를 수치해석과 비교, 분석하여 안정성의 신뢰성 검증

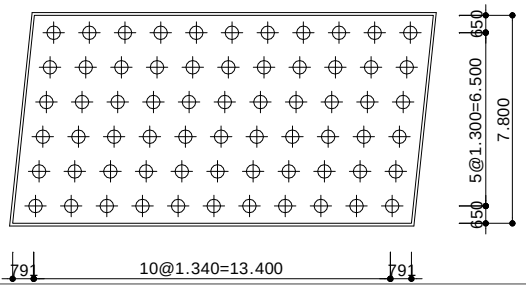
4.1.1 말뚝기초 현황

교 량 명	위 치	지지층	말뚝재료	말뚝제원	말뚝길이(m)
난점마을 연결교량	A1	풍화암	강관	Φ508mm×t12mm	16.0
	A2	풍화암	강관	Φ508mm×t12mm	12.5

◎ 난점마을 연결교량 A1 기초하부 굴착치환

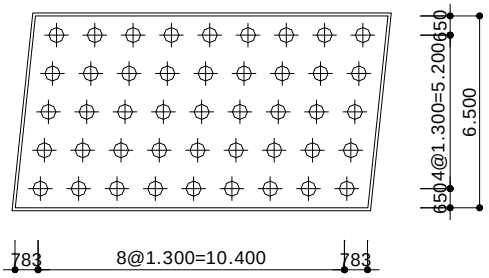
- 난점마을 연결교량 A1 기초하부에 원지반 점성토층 분포조건으로 구조안정 검토결과 수평변위에 대해 불안정하게 검토되었음 ⇒ 굴착치환에 의한 지반보강공법 적용

굴착치환공법 적용전



- 6 x 11 = 66본
- 발생변위 :14.6mm 〈 허용변위 :15.0mm

굴착치환공법 적용후



- 5 x 9 = 45본
- 발생변위 :11.2mm 〈 허용변위 :15.0mm

- A1 기초하부구간에 시공성 및 경제성을 고려하여 굴착치환공법을 적용
- 치환심도는 1/β(수평저항에 관여하는 지반의 깊이)인 3.0m를 적용하여 검토함

◎ 말뚝기초 설계기준

구 분	도로교설계기준	도로설계요령	한국도로공사	설 계 적 용
말뚝최소 중심간격	• 2.5D~3.0D	• 2.5D이상	-	• 강관말뚝 : 2.5D
연직 침 하 량	• 25.0mm	• 25.0~50.0mm	-	• 25mm
수평 변위	• Φ1,500mm 이하 15.0mm	• 말뚝직경 1%	-	• 강관말뚝 : 15mm (ϕ508)
부등 침하량	-	-	• 다경간 0.004 rad, • 단경간 0.005 rad	• 0.004 rad

구 분		콘크리트 설계기준	구조물기초설계기준	설 계 적 용
염해방지 내구성 기 준	콘크리트	• 25MPa 이상	-	• 설계강도 : 27MPa • 호칭강도 : 35MPa
	강관	-	• 부식두께 2.0~3.0mm	• 부식두께 : 2.0mm

○ 검토방법

구 분		단 말 뚝	군 말 뚝
연 직 방 향	지지력	• 매입말뚝 및 현장타설말뚝 고려 • 말뚝재료의 허용압축응력 검토 • 설계하중 < 허용지지력	• 말뚝간격에 따른 군말뚝 효과 적용 • 총 설계하중 < 군말뚝지지력 • 군말뚝 침하량 < 허용침하량
	변 위	• 기초침하량 < 허용침하량 • 부등침하량 < 허용부등침하량	

구 분		단 말 뚝	군 말 뚝
수 평 방 향	지지력	• 지반반력계수 결정 • 극한지반반력법, 탄성지반반력법	• 말뚝간격에 따른 군말뚝 효과 적용 • 총 설계하중 < 군말뚝지지력 • 군말뚝 침하량 < 허용침하량
	변 위	• 수평변위 < 허용수평변위 • p-y 곡선 비선형 해석방법	

4.1.2 강관말뚝기초 연직 지지력에 대한 안정성 검토

○ 강관말뚝의 연직지지력 검토 방법

• 강관말뚝기초는 풍화암층 이상 지지층으로 계획하며, 암반층에 설치된 말뚝기초에 대해서 경험식과 일축압축강도, 점하중강도, 절리상태에 따른 시험 결과치 및 관련시방기준을 근거하여 허용지지력을 산정

■ 말뚝재료의 허용지지력(도로교 설계기준, 2009)

$$Q_{as} = \left(1 - \frac{\mu_1 + \mu_2}{100}\right) f_{sa} \cdot A$$

여기서, Q_{as} : 말뚝본체의 허용지지력(kN/ea),
μ_1 : 세장비에 의한 저감율, μ_2 : 이음에 대한 저감율,
f_{sa} : 재료의 장기허용압축응력(kPa), A : 말뚝의 단면적 (m^2)

■ 풍화암지지 허용지지력 산정식

$$Q_a = (q_p \cdot A_p + U \cdot \sum \ell \cdot f_i)/Fs$$

q_p : 단위면적당 선단지지력(KPa) A_p : 말뚝 선단면적(m^2) U : 말뚝의 둘레길이 (m)
ℓ : 주면마찰력을 고려하는 층두께(m), fi : 최대주면마찰력(KPa) - 아래표 참조
N : 말뚝선단에서 위로 1D, 아래로 4D 평균값, Fs : 안전율 (상시 = 3.0, 지진시 = 2.0)

■ 주면마찰력 산정식(구조물기초 설계기준 해설, 2009)

구 분	타 입 공 법	현장타설말뚝공법	매 입 말 뚝	단 위
사 질 토	0.2N(≤10)	0.5N(≤20)	0.2N(≤50)	kN
점 성 토	c* 또는 N(≤15)	c* 또는 N(≤15)	0.8c* 또는 0.8N(≤10)	

■ 풍화암지지 말뚝기초의 허용지지력 검토결과

교 량 명		지지력 산정식(kN/EA)		허용지지력(kN/EA)		설계반력(kN/EA)		판 정
		재료의 허용응력	도로교 표준시방서	상시	지진시	상시	지진시	
난점마을 연결교량	A1	2,064.1	1,086.7	1,086.7	1,630.1	1031.90	521.37	O.K
	A2	2,172.1	1,135.1	1,135.1	1,702.7	1047.98	760.43	O.K

• 지지력 공식에 의한 허용지지력과 말뚝 본체의 허용압축하중을 비교하여 허용지지력을 산정하여 안정 판정

• 강관말뚝기초의 허용지지력 산정결과 설계반력은 허용지지력 이하로 검토되어, 안정한 것으로 판정

4.1.3 연직변위(침하량)에 대한 안정성 검토

○ 침하량 산정방법

■ 도로교 설계기준(2009)

구 분	침하량 산정식	비 고
도 로 교 설계기준	$S_t = Q[(\frac{I_{ps}}{D_r E_m}) + (\frac{L_r}{AE_c})]$	• Q : 말뚝머리 축방향 압축하중(kN) • I_{ps} : 암반소켓부 변위 영향계수 • D_r, L_r : 암반 및 흙지반 관입 길이(m) • E_m, E_c : 암반 및 콘크리트 탄성계수(kPa)

■ 구조물기초 설계기준(2009)

침하량 산정식	S_s	S_p	S_{ps}
$S_t = S_s + S_p + S_{ps}$	$S_s = (Q_{pa} + \alpha_s \times Q_{fa}) \times \frac{L}{A \times E_p}$	$S_p = \frac{C_p \times Q_{pa}}{B \times q_b}$	$S_{ps} = \frac{C_s \times Q_{fa}}{L_b \times q_p}$
• S_s: 말뚝자체의 길이방향 변형 • S_p: 말뚝선단부에 가해지는 하중으로 인한 침하량 • S_{ps}: 주면마찰력에 의해 지반에 전달된 하중에 의한 침하량	여기서, Q_{pa} : 말뚝선단부 전달하중 Q_{fa} : 말뚝주면부 전달하중 L : 말뚝길이, A : 말뚝 단면적 E_p : 말뚝의 탄성계수 α_s : 주면마찰력 분포 계수	여기서, B : 말뚝직경 q_b : 단위면적당 극한 선단 지지력 C_p : 흙의 종류와 말뚝시공	여기서, L_b : 땅속에 묻힌 말뚝길이 C_s : $(0.93 + 0.16\sqrt{\frac{L_b}{B}} \times C_p)$

■ 말뚝기초의 연직침하량 검토결과

교 량 명	위 치	지 지 층	발생침하량(㎜)	허용침하량(㎜)	판 정
난점마을 연결교량	A1	풍화암	16.19	25.40	O.K
	A2	풍화암	14.70	25.40	O.K

• 말뚝기초에 대한 풍화암 및 연암지지 침하량 검토결과 발생침하량이 허용침하량 25.40mm 이내로 안정한 것으로 판정

4.1.4 수평변위에 대한 안정성 검토

- 말뚝에 수평하중 작용시 발생하는 말뚝머리부 수평반력은 말뚝의 허용수평지지력을 초과해서는 안되며, 수평변위량은 허용수평변위를 초과하지 않도록 설계
- 최대수평하중 < 수평허용지지력, 말뚝머리 수평변위 < 허용수평변위
- 말뚝의 수평허용변위 : B < 1,500mm 이면 1.5cm(상시), 2.25cm(지진시)
  B > 1,500mm 이면, 기초폭의 1% (단, < 5cm)

○ 검토방법

검 토 방 법			검 토 내 용
해석적 방 법	지지력	극한평형법 (Broms법)	• 말뚝에 작용하는 본당 최대 수평반력에 대한 지반의 반력 특성 및 말뚝의 강성에 의한 지지력 산정
		탄성지반반력법 (Chang법)	• 탄성지반위의 보이론을 적용 • 허용수평변위량을 적용하여 말뚝두부의 수평방향지지력 산정
	변 위	탄성지반반력법 (Chang법)	• 기초저면으로부터 1/β심도까지의 평균 수평지반반력계수를 적용하여 말뚝두부에 작용하는 하중에 의한 탄성변위 산정
		비선형해석 (GROUP)	• 다층지반에 대하여 각층의 응력-변형특성을 고려한 p-y곡선을 적용하여 말뚝머리에 작용하는 하중에 의한 탄소성변위 산정

○ 수평지반반력계수(kh) 산정

▪ 수평지반반력계수(k_h) 산정 방법

- 말뚝의 지지력 및 변위량 산정시 주요변수가 되는 지반반력계수에 대한 산정방법별 결과를 비교하고, 지층 및 말뚝특성별로 가장 적합한 지반반력계수 산정을 위해 검토를 수행

▪ 도로교 설계기준(2009)

- $k_h = k_{ho}\left(\frac{B_H}{30}\right)^{-\frac{3}{4}}$, $k_{ho} = \frac{1}{30}\alpha E_o$ ➡ $k_h = 0.34\,(\alpha E_o)^{1.1} d^{-0.31} (EI)^{-0.1}$

여기서, k_h : 30cm의 강체원판에 의한 평판재하시험 결과에 상당하는 수평방향 지반반력 계수(kN/m³)

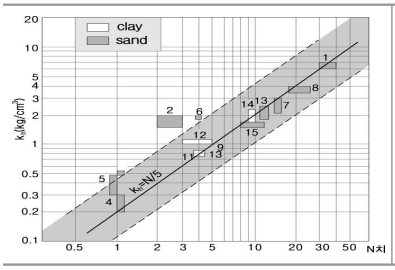
B_H : 하중작용방향에 직교하는 기초의 환산재하폭(cm) $=(D/\beta)^{1/2}$

α, E_o : 지반반력계계수 추정에 쓰이는 계수 및 지반변형계수(kN/m²)

▪ Hukuoka 공식

- $k_h = 0.691 \times 10^4 \times N^{0.406}$(kN/m³) 여기서, N : 표준관입 시험값

▪ 한국지반공학회 "깊은기초" k_h-N관계 분석

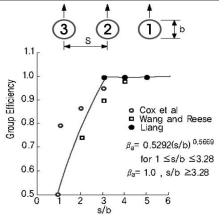
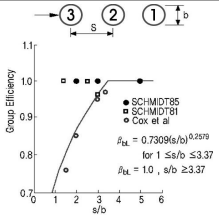
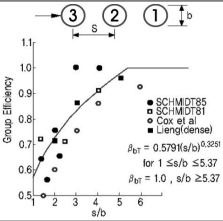


- 수평지반반력계수 k_h는 말뚝 수평거동의 지배구간인 1/β 심도 이내에서 산정
- 수평재하시험에 의한 k_h-N 과의 관계 도표 '지반공학회, 깊은기초'와 도로교 설계기준 추천방법 E_o-N과의 관계식 및 Hukuoka 제안식을 비교·분석하여 결정
- 일반 토사 구간에 적용 가능한 E_o-N 관계 도출
- 사질토 구간 적용 범위 중 E_o=1.0N(MPa) 적용

○ 군말뚝 감소계수 산정

• 말뚝기초에서 말뚝간의 간격이 충분히 이격되어 있지 않으면 하중재하시 간섭효과가 발생하여 단말뚝의 경우보다 지지력이 저하되는데 이것을 군말뚝효과라 함
• 본 설계에서는 말뚝의 수평 안정성에 대한 군말뚝효과를 고려하기 위하여 기존방법을 비교·검토하고 실험을 통하여 검증된 최신의 군말뚝효과에 대한 연구 성과를 설계에 반영

▌군말뚝 고려방법에 대한 검토

<table>
<tr><th>구 분</th><th>군말뚝효과 고려 방법</th></tr>
<tr><td>도 로 교
설계기준해설(2001)</td><td>• 말뚝 중심 간격이 2.5D 이상이라면 단말뚝의 수평방향 지반반력계수 사용
• 말뚝 중심 간격이 2.5D 이하인 경우 수평방향 지반반력계수에 다음의 감소계수를 적용
• μ= 1-0.2(2.5-L/D), (L<2.5D) 여기서, L : 말뚝 중심간격(m), D : 말뚝지름(m)</td></tr>
<tr><td>구조물기초
설 계 기 준
(2003)</td><td>• 하중작용 직각방향에 대해서는 말뚝간격이 2.5D이상이면 군말뚝에 대한 효과를 고려하지 않음
• 하중이 작용하는 방향의 말뚝중심간의 거리가 말뚝직경의 8배 이하일 경우 수평방향 지반반력계수 감소계수를 적용하는 방법으로 군말뚝 영향 고려
<table>
<tr><th>말뚝간격</th><th>8D</th><th>6D</th><th>4D</th><th>3D</th></tr>
<tr><td>감소계수</td><td>1.00</td><td>0.70</td><td>0.40</td><td>0.25</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>FHWA
Federal Highway
Administraion</td><td>• 미연방도로국(FHWA) 설계지침서에서는 Brown(1988)과 McVay(1995)에 의하여 시행된 현장시험과 원심모형시험 시험결과로부터 분석한 군말뚝효과를 다음과 같이 제시
<table>
<tr><th rowspan="2">지반종류</th><th rowspan="2">시행시험</th><th rowspan="2">말 뚝
중심간격</th><th colspan="3">말뚝열에 따른 감소계수(Pm)</th><th rowspan="2">전 체
감소계수</th></tr>
<tr><th>1열</th><th>2열</th><th>3열이후</th></tr>
<tr><td>매우조밀한 모래</td><td>현장시험</td><td>3D</td><td>0.8</td><td>0.4</td><td>0.3</td><td>75%</td></tr>
<tr><td rowspan="2">보통조밀한 모래</td><td rowspan="2">원심모형실험</td><td>3D</td><td>0.8</td><td>0.4</td><td>0.3</td><td>74%</td></tr>
<tr><td>5D</td><td>1.0</td><td>0.85</td><td>0.7</td><td>95%</td></tr>
<tr><td rowspan="2">느슨한 모래</td><td rowspan="2">원심모형실험</td><td>3D</td><td>0.65</td><td>0.45</td><td>0.35</td><td>73%</td></tr>
<tr><td>5D</td><td>1.0</td><td>0.85</td><td>0.7</td><td>92%</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>Lymon C. Reese
(1996)</td><td>• 하중작용방향과 하중직각방향 말뚝간격과 군말뚝효과의 관계를 시험결과로부터 그래프와 관계식으로 제시하였으며, 군말뚝효과는 고려하지 않아도 되는 말뚝간격은 다음과 같음
<table>
<tr><th>하중직각방향
말뚝간격의 영향</th><th colspan="2">하중작용방향 말뚝간격의 영향</th></tr>
<tr><th></th><th>첫번째열</th><th>뒷 열</th></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>3.1 D</td><td>3.37 D</td><td>5.37 D</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

• 내부마찰각이 40°미만인 사질토지반에서는 단말뚝 지지력의 합보다 군말뚝 지지력이 크게 발휘됨
• 말뚝의 중심간격이 말뚝지름의 2.5배 이상인 경우, 군말뚝의 영향은 무시하는 것이 타당함
• 본 사업의 경우 풍화암지지 말뚝기초의 중심간격은 말뚝지름의 2.5배 이상으로, 연직방향 하중에 대한 군말뚝 효과는 고려하지 않음(구조물기초 설계기준, 2009)

▌군말뚝 감소계수 적용

말뚝종류	교량명	말뚝 간격	군말뚝 효율	비 고
강관말뚝 (Φ508, 12t)	난점마을 연결교량	2.5D 이상	1.0	교대

1 공구 수평지반반력계수(k_h) 산정 결과

구 분	위치	평균 N 값	E_0/N	지층	수평지반반력계수(kg/cm³)		말뚝 간격	적 용
					도로교설계기준	후쿠오카공식		
난점마을 연결교량	A1	10	7	모래층	0.856	1.760	2.5D 이상	0.856
	A2	7	7	모래층	0.578	1.523	2.5D 이상	0.578

수평방향 허용지지력 산정 방법

극한평형법(Broms의 해석법)

• Broms는 수평력을 받고 있는 말뚝과 지반의 파괴형태를 고찰한 결과 말뚝의 휨강성과 묻힘깊이 및 지반강성에 의해 말뚝을 분류하고 점성토와 사질토에서의 말뚝의 수평지지력을 구하는 방법을 제안

• 사질토 지반의 극한 수평지지력(Broms 방법, 두부고정)

짧은 말뚝($\eta L < 2$)	중간 말뚝($2 \le \eta L < 4$)	긴 말뚝($\eta L > 4$)
$Q_u = 1.5L^2\gamma' dK_p$	$\left(\frac{Q_u}{K_p d^3\gamma'}\right)\cdot\left(\frac{L}{d}\right) - \frac{1}{2}\left(\frac{L}{d}\right)^3 = \frac{M_y}{K_p d^4\gamma'}$	$\frac{Q_u}{K_p d^3\gamma} = 2.38\left(\frac{M_y}{K_p d^3\gamma}\right)^{2/3}$

• 점성토 지반의 극한 수평지지력(Broms 방법, 두부고정)

짧은 말뚝 ($\beta L < 2.25$)	중간 말뚝	긴 말뚝 ($\beta L > 2.25$)
$Q_u = 9c_u d^2\left(\frac{L}{d} - 1.5\right)$	$\left(\frac{Q_u}{c_u d^2}\right)^2 + \left(27 + 18\frac{L}{d}\right)\left(\frac{Q_u}{c_u d^2}\right) - 81\left(\frac{L}{d} - 1.5\right)^2 = 36\left(\frac{M_y}{c_u d^3}\right)$	$\left(\frac{Q_u}{c_u d^2}\right)^2 + 27\left(\frac{Q_u}{c_u d^2}\right) = 36\left(\frac{M_y}{c_u d^3}\right)$

■ 탄성지반반력법(Chang, 1985)

$$H_a = k_h \cdot \frac{D}{\beta} \cdot y$$

여기서, H_a : 허용수평지지력(kgf)　k_h : 수평지반반력계수(kN/cm³)

D : 말뚝 직경(cm)　y : 기준변위량(상시 1.5cm, 지진시 2.25cm)

β : $\left(\frac{k_h D}{4EI}\right)^{1/4}$(cm⁻¹)

말뚝기초의 수평방향 허용지지력 검토결과

구 분	위치	지지력 산정식(kN/EA)				수평방향 허용지지력(kN/EA)		수평방향 설계반력 (kN/EA)		판 정
		상 시		지진시						
		Broms법	Chang법	Broms법	Chang법	상 시	지진시	상 시	지진시	
난점마을 연결교량	A1	113.1	105.0	169.6	279.5	105.0	169.6	70.4	19.8	O.K
	A2	112.7	149.1	169.1	396.9	112.7	169.1	70.4	44.0	O.K

제 5 장 교량기초 시공방안 검토

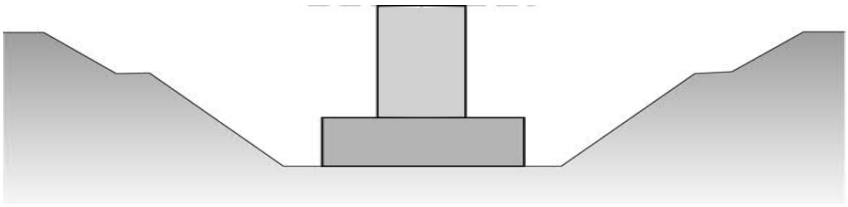
5.1 직접기초 시공방안 검토

기본방향

- 굴착심도, 지하수위, 지반조건, 인접구조물의 간섭 등을 고려한 굴착공법 선정
- 터파기 심도보다 지하수위가 높은 구간은 침투해석을 수행하여 양수대책 수립
- 기초저면에서 하중이 지반에 직접 전달되므로 기초저면의 처리지침을 준수
- 상부하중을 지반에 균등하게 전달하여 상부구조물 안정성 도모

5.1.1 기초터파기 굴착공법 검토

◎ 기초터파기 굴착공법 검토

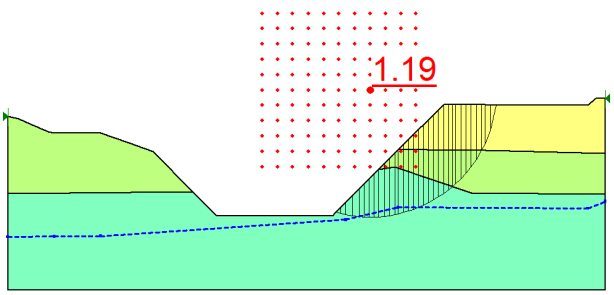
구 분	자연비탈면 굴착(Open Cut)
공 법 특 징	
공 법 특 징	• 안전한 비탈면을 형성하면서 필요한 심도까지 굴착하는 공법으로 공간 확보가 가능 • 지반이 좋고 굴착심도가 낮을 경우에 유리
장·단점	• 공사비 저렴하고 공기가 빠름 • 지하수위 높은 사질토지반 및 연약지반 곤란
적용구간	난점마을 연결교량
선정사유	• 기초터파기 시공 시 굴착심도 및 공간제약을 받지 않는 구간에 Open Cut 공법 적용

5.1.2 기초터파기시 안정성 검토

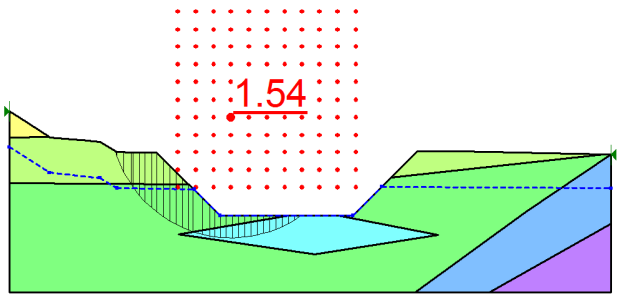
◎ 기초터파기 비탈면 안정성 검토

- 대표단면에 대한 기초 터파기 임시비탈면의 안전율은 1.1로 적용 (건교부 및 도로공사기준 1.1~1.2)
- 임시비탈면 기울기는 토사 : 1 : 1.0~1.2 암반의 경우 1 : 0.5 적용 및 비탈면 경사를 완화하여 검토

난점마을 연결교량 A1



난점마을 연결교량 A2

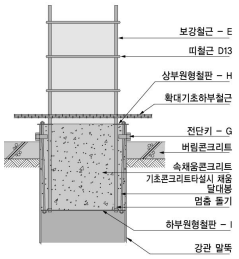
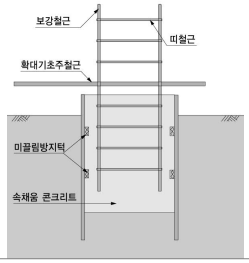
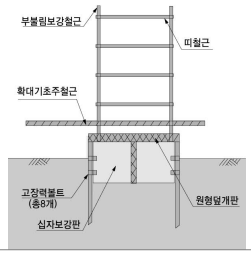


- 난점마을 연결교량 A1, A2 임시터파기 1 : 1.0 기울기 적용시 기준 안전율을 만족 → 안정

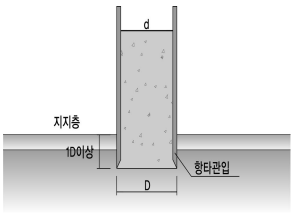
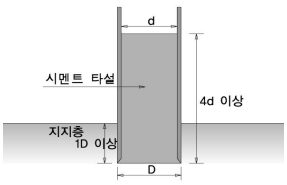
제 6 장 기초의 품질 및 유지관리 계획

6.1 말뚝기초 품질관리 계획

6.1.1 말뚝머리결합 방안

구 분	합성형 두부보강	콘크리트 속채움	볼트식 두부보강
개요도			
공법개요	• 속채움이 가능한 강재결합구와 강판을 결합식으로 연결하므로 속채움방식의 단점인 시공성을 개선하고 볼트식 방식의 허용내력 한계를 개선한 공법	• 보강철근망과 하부띠철근을 조립하여 확대기초의 주철근과 상부띠철근을 배근한 후, 확대 기초와 강관의 속채움 콘크리트 를 동시에 타설하는 공법	• 콘크리트 속채움 방식의 시공성을 개선하기 위해 공장 제작된 십자 보강판을 볼트에 의해 강관과 연결하고 확대기초의 주철근과 띠철근에 연결하는 공법
적용성	• 시공이 빠르고 간편하며 지압응력의 분포가 일정하고 수평력에 대한 저항력이 우수함	• 수평력에 대한 저항력이 우수 하나 철근간섭에 의해 시공성이 저하, 강관말뚝 내부 용접시 용접불량이 발생할 수 있음	• 시공이 빠르고 간편하지만 말뚝내부가 중공이므로 속채움 방식에 비해 수평력에 대한 저항력이 작음
경제성	공사비 저렴	공사비 다소고가	공사비 보통
선 정	◉	-	-
선정사유	• 콘크리트 속채움공법은 철근간섭에 의한 시공성 저하가 크며, 볼트식 머리보강공법은 국부변형에 대하여 취약하고 말뚝내부가 중공이므로 수평력에 대한 저항력이 작음 • 시공이 단순하며 지압응력의 분포가 일정하고 수평력에 대한 저항력이 우수한 합성형 두부보강 방법 선정		

6.1.2 말뚝선단처리 계획

구분	최 종 경 타	시멘트밀크 속채움
개요도		
특징	• 타입공법에 비해 타격 회수 및 시간이 적음 • 최종 경타 시 단시간 이지만 소음 · 진동발생 • 타공법에 비해 지지력이 큼	• 말뚝의 연직하중을 기반암까지 전달가능 • 말뚝 속채움에 의한 폐색효과 발휘
적 용	◉	◉

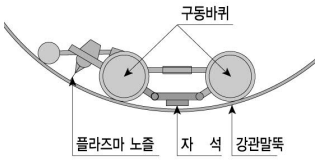
6.1.3 말뚝 품질관리 방안

○ 강관말뚝절단공법

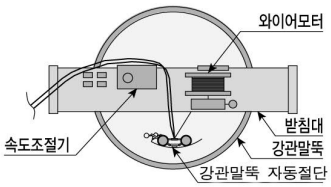
• 지표면에서 말뚝 시공후 확대기초 저면위치까지 굴착하는 종전의 방법은 산소 토치(Torch)를 이용하여 노출된 말뚝두부절단 ➡ 말뚝사이 굴착 ➡ 노출된 말뚝두부절단의 단계를 거쳐 굴착하였으나, 시공이 번거롭고 경제성면에서도 불리하여 간편하고 경제적인 강관말뚝 자동절단

• 강관파일을 항타한 후 요구되는 소요깊이에 자기력 발생수단과 구동수단 및 토치를 탑재한 절단기를 삽입 후 강관 말뚝 내부면을 따라 회전하면서 고온의 플라즈마를 이용하여 강관말뚝을 절단하는 공법
• 절단에 사용되는 절단기는 경량이고 소형이어서 말뚝이 시공된 주변 환경에 적용성이 뛰어나고 말뚝직경 및 절단 깊이에 상관없이 단 1회에 절단을 완료하는 공법

강관파일 자동절단



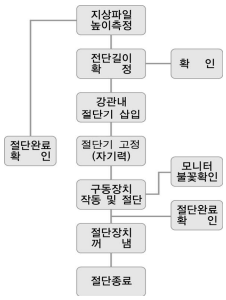
조절장치가 부착된 받침대



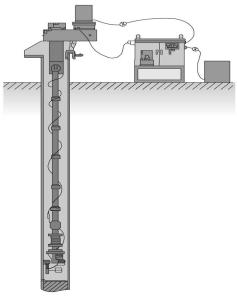
공 법 개 요

• 강관말뚝 시공 후 소요 깊이에 자기력 발생 수단과 구동수단, 토치를 탑재한 기계를 삽입 고온의 플라즈마를 이용하여 강관말뚝을 절단하는 공법
• 절단기의 무게가 작고 소형으로 파일 주변 영향을 받지 않고, 절단 깊이 조정이 가능
• 절단면이 매끈하고 재래식 산소 절단 방식 등에 비해 경제적이고 시공성 우수

시공순서도



장 치 도



장점 및 단점

• 장비 제작비용이 저렴하며, 말뚝 시공 후 후속 굴착작업 없이 절단 작업 진행, 공정의 단순화로 공기 단축이 가능함
• 부대공종의 축소, 절단된 말뚝의 재사용으로 공사비가 절감되고, 작업조건의 향상으로 안전사고 예방효과 증대
• 절단깊이, 말뚝직경, 경사도에 관계없이 절단가능
• 강관말뚝 이외에는 적용 불가
• 말뚝 내부에 물이나 흙이 차 있을 경우 작업이 불가능하므로 이를 제거하여야 작업 가능

○ 강관말뚝 수직도 관리방안

• 기초 시공 시 굴착장비(Auger에 계측기 설치) 수직도 관리방안 설치
• 광파 측량기를 이용한 수직도 (1/300) 유지

○ 강관말뚝 부식두께 검토

• 강관말뚝은 부식에 의한 단면적의 축소 등으로 내구성이 저하되므로 이에 대한 대책방안 필요
• 지층에서 강재의 부식은 토질, 수질 및 전기적 상태, 강재의 성질, 지층의 박테리아 등에 따라 상이

부 식 환 경(구조물기초 설계기준 2003)		부식속도(mm/년)
해상측	H.W.L 이상	0.3
	H.W.L~L.W.L(-)1m까지	0.1 ~ 0.3
	L.W.L(-)1m까지~해저부까지	0.1 ~ 0.2
	해저 이토층중	0.03
육상측	육상 대기중	0.1
	토중(잔류수위 이상)	0.03
	토중(잔류수위 이하)	0.02

검 토 결 과

• 강관말뚝은 해수나 공장폐수의 오염물에 영향을 받는 특수한 조건이 아니며 주기적으로 물에 잠길 우려가 없는 지하수위 이하에 위치
• 부식두께는 교량의 내구연한(100년)을 감안하여 강관말뚝의 전체두께에서 2mm를 공제한 단면을 설계에 반영하였으며, 부식두께 고려시 강관말뚝의 구조적 영향 없음

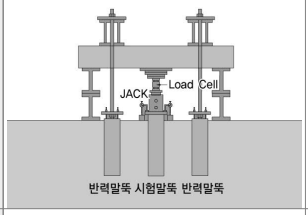
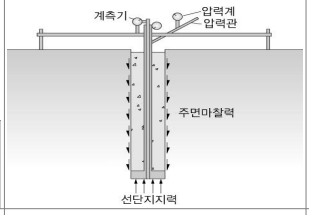
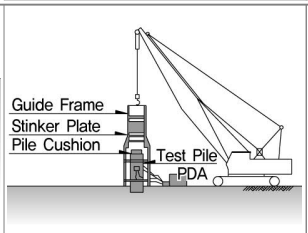
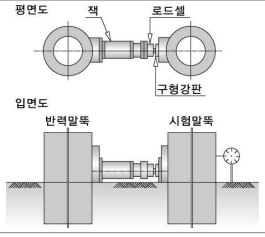
6.2 교량기초 재하시험 및 계측계획

기본방향

- 설계시 산정한 기초의 지지력은 경험식이나 이론식에 의한 것으로 시공시 기초지반에 대한 현장시험을 통하여 확인
- 기초의 재하시험은 기초를 설계함에 있어 필요한 설계정수 등을 얻거나 설계지지력의 결정 또는 기 시공된 말뚝의 지지력을 확인하는데 목적이 있음

6.2.1 말뚝기초 재하시험

구 분		시험 횟수	시험 말뚝위치
동재하시험 (국도건설공사 설계 실무요령, 2013)	• 구조물별 말뚝수 1~80본 까지	2 회	대각선상이나 감독자가 원하는 위치의 시험말뚝
	• 구조물별 말뚝수 1~160본 까지	3 회	
	• 구조물별 말뚝수 160본 이상	4 회	
정재하시험	• 말뚝 250개당 또는 구조물별	1 회	
수평재하시험	• 국내에는 별도 제시된 기준이 없어, 수평하중이 큰 교대에 실시하는 것으로 계획		
평판재하시험	• 풍화암지지 직접기초에 대하여 재하시험 시행		
건전도시험	• 국내에는 별도 제시된 기준이 없어, 현장타설말뚝 기초 교각당 1개소 이상 계획		

구 분	정재하시험		동재하시험	수평재하시험
	반력말뚝법	양방향 재하시험		
개념도				
하중 전달	• 시험말뚝 주위의 말뚝 반력(마찰 및 자중) 이용 재하	• 양방향 재하시험에 의한 주면마찰력과 선단지지력 을 상호반력으로 이용 재하	• 램 또는 해머에 의한 동적 충격하중	• 고정하중, 주변말뚝
관련 기준	• KS F 2445 • ASTM D 1143		• ASTM D 4945	• ASTM D 3936
적용	• 현장타설말뚝기초의 경우 작용 하중이 커서 사하중 제작 및 재하의 어려움으로 원지반을 반력으로 사용하는 양방향 재하시험 적용 • 말뚝기초의 정재하시험은 기 시공된 말뚝을 이용하여 경제적이고, 수평재하시험이 용이한 반력 말뚝법을 적용 • 동재하시험은 (국도건설공사 설계실무요령, 2013)에 따라 실시하며, 정재하시험 값과 비교하여 적정성 검증			

6.2.2 교량기초 계측계획

- 계측관리를 통해 계획시의 불확실한 조건에 대한 보완 및 시공 중 거동 예측 및 안정성 판단
- 계측기 위치는 지반여건과 시공여건을 고려하여 계측항목별 기능과 목적이 최대한 발휘되도록 선정
- 계측결과를 검토 분석하여 현장 시공상황과 여건변화를 종합적으로 판단·예측할 수 있는 위치 선정

○ 계측 선정 요인

계측항목	선 정 요 인
지 반 조 건	• 지반특성 및 지하수 조건, 주변환경 고려 • 설계, 시공방법의 불확실성을 고려
구조물 안정성	• 침하 영향권 검토 및 인접구조물의 건전도 평가
계측방법과 기기특성	• 작동원리의 안정성과 신뢰성 • 측정조작 용이성과 내구성, 계기간의 상호 호환성

■ 계측 항목 및 용도

계측항목	계 측 기	계측빈도	계 측 내 용
수평변위	지중경사계	1회/1주	• 편재하중에 의해 발생되는 지반의 수평변위 측정
변 위	구조물경사계	1회/1주	• 편재하중에 의한 교대 기울어짐 측정

○ 계측 활용 계획

구 분	내 용	비 고
계측관리기준 설 정	• 응력의 절대관리, 예측관리 및 계측값의 변화율 관리 • 기존 구조물 실적 관리	시공초기, 계측데이터 수집
계측관리기준 재 설 정	• 계측데이터, 응력변화 관계 회귀분석 및 구조물 안정성 평가	현장에 부합한 관리기준 설정
시공관리 및 대책	• 계측결과에 따른 현장관리 등급 설정 • 관리등급별로 발생 가능한 상황에 대해 대처방안 수립	Feed Back

○ 계측항목 및 측정계획

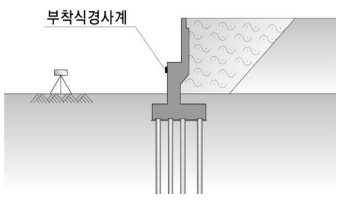
- 설계시 지반상태를 시공시 재확인하고 문제발생시 보완대책(Feed Back)을 수립하기 위하여 다음과 같은 항목에 대하여 계측수행을 계획

■ 계측기 설치계획

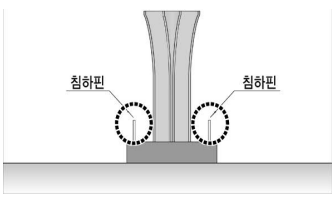
계측기 위치 선정시 고려사항

- 지반조건 및 구조물 대표구간
- 계측기 설치와 측정이 용이한 곳
- 하중 및 변형이 집중 예상되는 곳

고성토 교대배면 수평변위측정



기초침하 측정(침하핀 설치)



제5편 비탈면 설계

제1장 비탈면 설계개요

제2장 비탈면 안정성 검토

제3장 비탈면 보호공법 선정

제4장 비탈면 시공 및 유지관리

제 1 장 비탈면 설계개요

1.1 설계개요

기본방향
- 주변 환경을 고려하여 합리적, 경제적, 환경친화적 비탈면 설계
- 현장조건을 반영한 여러 분석기법들(한계평형, 수치해석, 파괴확률 등)의 비교를 통한 최적 설계
- 비탈면 보호공법 및 유지관리 계획으로 시공 중.후 및 장기적인 비탈면의 안정성 확보

1.1.1 기본방향

1.1.2 주요 검토사항

예비 및 상세조사	• 인접 비탈면 설계 조사 분석 • 현장조사, 지표지질조사분석을 통한 설계 자료 활용 • 시추조사, 물리탐사, 각종 실내시험으로 해석에 필요한 기초자료 제공
지반정수 산정	• 지반조사 결과분석 및 상관성 분석에 의한 설계 지반정수 도출 • 연속체, 불연속체 지반정수의 체계적인 분석 및 결정
비탈면 안정검토	• 다양한 분석기법의 도입으로 인한 해석결과의 비교, 분석으로 적정성 검증 • 사업구간의 절리특성을 반영한 확률 절리망 구성 및 불연속체 정밀해석 수행 • 불안정 비탈면에 대하여 여러 공법의 비교.분석을 통한 최적의 보강 . 보호공 선정
비탈면 내진설계	• 유사정적해석 : 지진파별 지진응답해석을 통해 얻어진 지표면 최대가속도 적용
낙석, 낙반 분석	• 낙석의 운동 역학적 에너지 개념도입으로 인한 낙석 . 낙반 분석 • 낙석 이동거리 및 충격 에너지검토를 통한 낙석방지울타리의 설치여부 검토
비탈면 유지관리계획	• 계측계획 수립, 시공 중 및 시공 후 유지관리 계획 제시

1.2 비탈면 현황 분석

기본방향

- 지반조사 성과를 바탕으로 지질특성, 풍화도를 고려하여 안정성 검토 및 비탈면 경사 결정
- 깎기 및 쌓기구간에 대한 안정성 검토 후, 보강공법 선정과 비탈면 경사를 결정하여 안정성 및 경제성을 고려한 비탈면 설계 수행
- 대규모 깎기 발생 구간의 비탈면 최적 경사를 제시하여 산림훼손 최소화 방안 강구
- 환경친화성을 고려하여 자연적인 식생이 가능한 비탈면 보호공법 선정

1.2.1 쌓기비탈면 지반특성 및 현황

○ 쌓기비탈면 지반특성

- 구조물구간 시추조사 결과, 쌓기구간의 원지반은 대부분 충적층 및 풍화토층으로 구성
- 쌓기고 10.0m 이상인 구간은 제체내 또는 원지반 중 N치가 작은 토사층에서 파괴가 날 수 있으므로 공구별로 구분 대표단면을 선정하여 안정성 검토를 수행함
- 대표구간 선정 시 연약지반 구간은 연약지반 쌓기 안정성 검토에 반영

구 분		측점 (STA.)			최대높이(m)	대표단면 (STA.)	비고
난점마을 진입도로	쌓기 1구간	0+000.0	~	0+196.5	6.68	0+160	연약지반
	쌓기 2구간	0+236.05	~	0+385.24	0.91	0+320	연약지반
부체도로 #1-2	쌓기 3구간	0+000.00	~	0+040.00	4.56	0+030	연약지반
부체도로 #1-3	쌓기 4구간	0+000.0	~	0+160.00	2.42	0+060	연약지반
	쌓기 5구간	0+240.0	~	0+289.83	1.26	0+260	검토제외

1.2.2 깎기비탈면 지반특성 및 현황

○ 깎기비탈면 지반특성

- 깎기비탈면 토사층은 시추조사결과 풍화토(SM)로 구성되어 있고, 대체적으로 풍화대가 두텁게 분포하함
- 깎기고 10m 이상인 구간과 토사층이 깊은 구간에 대하여 대표단면을 선정하여 안정성 검토를 수행함

■ 본선 깎기비탈면 현황

구 분		측점 (STA.)			비탈면 유형		최대높이 (m)	대표단면 (STA.)	비고
난점마을 진입도로	깎기 1구간	0+270	~	0+325	토사	좌측	5.6	0+300	검토제외
부체도로 #1-3	깎기 2구간	0+190	~	0+240	토사	우측	15.6	0+210	안정검토

1.3 비탈면 설계기준

1.3.1 비탈면 기울기 기준

○ 쌓기 비탈면 기울기 기준 검토

- 쌓기 비탈면의 표준기울기는 비탈면의 안정성 확보에 필요한 최소 기울기를 나타내는 것으로 쌓기재의 토질조건, 쌓기 높이, 쌓기 재료의 다짐특성을 고려하여 계획
- 국토교통부, 한국도로공사, 한국토지공사, 한국주택공사의 설계기준을 비교 검토

■ 국내 여러 기관의 쌓기 비탈면 표준기울기

토 질 조 건	비탈면높이	경사기준			
		국토교통부	한국도로공사	한국토지공사	한국주택공사
토사	6m이상	-	1 : 1.8	-	-
	0~6m	-	1 : 1.5	-	-
	5m이상	1 : 1.8	-	1 : 2.0	-
	0~5m	1 : 1.5	-	1 : 1.5	-
입도분포가 좋은 모래 및 자갈 섞인 모래, 사질토 및 굵은 모래	6m이상	-	-	-	1 : 2.0
	3~6m	-	-	-	1 : 1.8
	0~3m	-	-	-	1 : 1.5
입도분포가 나쁜 모래, 연약한 점성토	6m이상	-	-	-	별도적용
	3~6m	-	-	-	1 : 2.0
	0~3m	-	-	-	1 : 1.8

■ 한국도로공사(도로설계요령, 2009)

쌓기 재료	쌓기 높이(m)	기 울 기	흙의 분류
입도분포가 좋은 모래	0~6	1:1.5	GW, GP, SW, GM, GC
자갈 및 자갈 섞인 모래	6~15	1:1.8	
입도분포가 나쁜 모래	0~10	1:1.8	SP
암괴, 암버력	0~6 6이상	1:1.5 1:1.8	SW, GP, GM
사질토, 굳은 점질토, 굳은점토 (홍적층, 점성토, 점토 등)	0~6 6이상	1:1.5 1:1.8	SM, SC, CL
연약한 점성토	0~6	1:1.8	CH, OH, ML, MH

■ 쌓기비탈면 기울기의 설계기준 결정

흙쌓기 높이	적용경사	소단설치	적 용 기 준
0~5m	1:1.5	H=5m마다 1m의 소단설치	• 국토교통부 및 한국도로공사 표준경사 적용 • 안정검토 후 최종 경사 결정
5m 이상	1:1.8		

○ 깎기 비탈면 기울기 기준 검토

• 깎기대상비탈면 원지반의 물성, 지질구조 및 깎기시 발생하는 발파진동, 응력해방, 장기간의 노출에 의한 풍화 등을 고려하여 깎기비탈면의 경사를 결정하는 것이 중요하며, 일반적으로 적용되는 설계기준은 다음과 같음

■ 암반의 특성에 따른 표준비탈면(한국도로공사, 도로설계요령(2009))

암 석 종 류 (강도)	암반 파쇄상태(NX (BX))		굴착 난이도	기울기	소단 설치	비 고
	TCR(%)	RQD(%)				
풍화암 또는 연 . 경암으로 파쇄가 극심한 경우	20% 이하 (5% 이하)	10% 이하 (0%)	리핑암	1:1.0~ 1.2	H=5m마다 1m 폭	• 최하단 기준 매 20m마다 3m 소단 설치 • 발파암과 리핑암 사이에는 소단을 설치하지 않음 • 소단사이에 토사와 리핑 구분선이 발생 시 많은 쪽 비탈면 경사를 적용
강한 풍화암으로 파쇄가 거의 없는 경우와 대부분의 연.경암	20~40% (10~30%)	10~25% (0~10%)	발파암 (연암)	1:0.8~ 1.0	H=10m마다 1~2m 폭	
	40~60% (30~50%)	25~50% (10~40%이상)	발파암 (보통암)	1:0.7		
	60% 이상 (50% 이상)	50% 이상 (40% 이상)	발파암 (경암)	1:0.5	H=20m마다 3m 폭	

■ 국내 여러 기관의 깎기비탈면 표준경사

토 질 조 건		비탈면 높이	비탈면경사 기준			
			국토교통부	한국도로공사	한국토지공사	한국주택공사
토 사 (사질토,점성토)		5m 이상	1:1.5	1:1.5	1:1.5	1:1.5
		0~5m	1:1.2	1:1.2	1:1.2	1:1.2
리핑암 (풍화암)		5m 이상	1:1.0	1:1.0	1:1.0	1:1.2
		0~5m				1:1.0
발 파 암	연 암	5m 이상	1:0.5	1:0.5~0.8	1:0.5	1:1.0
		0~5m				1:0.8
	경 암	5m 이상				1:0.8
		0~5m				1:0.5

■ 깎기비탈면 경사의 설계기준 결정

• 연암층과 경암층을 구분하여 발파암의 경사를 결정할 경우, 현장 시공시 연 . 경암을 판단하는 것이 현실적으로 어렵기 때문에, 본 설계에서는 연 . 경암의 구분 없이 발파암의 경사를 일률적으로 적용
• 따라서, 암반층의 경사는 1:0.7로 적용하는 것을 기준으로 하며, 암반비탈면의 안정검토를 실시한 후 최종적으로 비탈면의 경사를 결정

구분	설계적용 비탈면경사	적 용 기 준
토 사	1 : 1.2~1.5	• 토사, 리핑암은 국토교통부 및 한국도로공사 표준경사 적용
리 핑 암	1 : 1.0	
발 파 암	1 : 0.7	• 발파암은 안정검토 후 최종 경사 결정

설계적용 비탈면 표준기울기

- 지반조사 결과를 바탕을 토질 및 암질상태를 평가하여 설계 표준기울기 결정 자료로 활용
- 설계적용 기준은 최근 발간된 국토교통부의 “건설공사 비탈면 설계기준” (2011)를 적용

구분		비탈면 높이	설계적용		적 용 기 준
			영구비탈면	임시비탈면	
쌓기비탈면		0~5m	1:1.5		• 용지폭원을 벗어나지 않는 범위내에서 적용 • 표준기울기 적용시 비탈면이 용지 폭원을 벗어나는 경우, 구간별 경사를 구분하여 적용
		5m 이상	1:1.8		
깎기 비탈면	붕적층	-	1:1.2~1.8	1:1.0	
	토사	0~5m	1:1.2		
		5m 이상	1:1.5		
	리핑암	-	1:1.0	1:0.5	
	발파암	-	1:0.7	1:0.3	

1.3.2 비탈면 소단 설치기준

- 소단의 폭은 1m 이상을 표준으로 하고 있으나, 강우에 의해 침식되기 쉬운 토질에서는 토사가 소단상에 쌓일 우려가 있으므로 안정검토 결과에 따라 확폭을 적용함
- 소단에 배수설비 설치시 산측으로 5~10%의 횡단경사를 주고, 배수설비가 필요하지 않은 경우에는 본선측으로 0~5%의 횡단경사 적용
- 현장 상황에 따라 소단 설치 폭 변경 가능

기관별 소단 설치기준

기관 및 규정명	비 고
국토교통부 도로시설 기준	• H = 5 ~ 10m마다 소단 1.0 ~ 1.5m
국토교통부 국도건설공사 설계실무요령 (2008)	• 토사, 리핑암 H = 5m마다 소단 1m • 발파암 H = 20m 마다 소단 3m
토지공사 공사비 적산기준	• H = 6m마다 소단 1m

설계적용소단 설치기준

기관 및 규정명		설계적용	비고
쌓기 비탈면	5m 이하	5m 마다 1m 소단	• 국토교통부 건설공사 비탈면 설계기준(2011) 적용
	5m 이상		
깎기 비탈면	토사	5m 마다 1m 소단	
	리핑암		
	발파암	20m 마다 3m 소단	

1.3.3 허용안전율 기준

- 안전율 F.S ≥ 1.0 일 경우에 이론적으로 안전한 것으로 해석할 수 있으나 설계시 비탈면의 불확실성으로 인한 여건을 감안하여 허용안전율을 설계에 적용
- 입지조건과 공사내용, 비탈면의 중요도, 비탈면 파괴시 주변에 미치는 영향 및 경제성과 시공성에 따라 비탈면의 허용안전율 결정

○ 쌓기 비탈면 안전율 적용 기준

■ 한국도로공사 (도로설계요령, 2009)

구분	기준 안전율	참 조
건기시	Fs > 1.5	• 지하수가 없는 것으로 해석하는 경우
우기시	Fs > 1.3	• 일반적인 쌓기 비탈면은 별도의 지하수위 조건 없음. • 한쪽 쌓기, 한쪽 깎기 비탈면에서는 측정한 지하수위 또는 침투해석을 통한 지하수위를 이용하여 해석 • 쌓기 표면에 강우침투가 발생하는 경우에는 강우침투를 고려한 해석 실시
지진시	Fs > 1.1	• 지진관성력은 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용시킴 • 지하수위는 실제측정 또는 침투해석을 수행한 지하수위
단 기	Fs > 1.0~1.1	• 1년 미만의 단기적인 비탈면의 안정성

■ 국토교통부 (건설공사 비탈면 설계기준, 2011)

구분	기준 안전율	참 조
건기시	Fs > 1.5	• 쌓기체 내에 지하수가 없는 것으로 해석
우기시	Fs > 1.3	• 지하수 조건은 지반조사 결과, 지형조건 및 배수 조건 등을 종합적으로 판단하여 안정성에 가장 불리한 상태가 발생하는 조건에 대하여 수행 • 한쪽쌓기, 한쪽깎기 비탈면에서는 상기조건에 따라 산정한 지하수위 또는 침투해석을 통한 지하수위를 이용하여 해석 • 쌓기 표면에 강우강도, 강우지속시간 등을 고려하여 강우침투를 고려한 해석 실시
지진시	Fs > 1.1	• 지진관성력은 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용시킴 • 지하수위는 우기시 조건과 동일하게 적용
단 기	Fs > 1.0~1.1	• 1년 미만의 단기적인 비탈면의 안정성(시공중 포함) • 지하수 조건은 장기안정성 검토의 우기시 조건과 동일하게 적용

○ 깎기 비탈면 안전율 적용 기준

■ 한국도로공사 (도로설계요령, 2009)

구분	기준 안전율	참 조
건기시	Fs > 1.5	• 지하수가 없는 것으로 해석하는 경우
우기시	Fs > 1.2 또는 Fs > 1.3	• 암반비탈면은 인장균열의 1/2심도까지 지하수를 위치시키고 해석 수행, 토층 및 풍화암은 지표면에 지하수를 위치시키고 해석 수행(Fs=1.2 적용) • 강우의 침투를 고려한 해석을 실시하는 경우(Fs=1.3 적용) • 위 두 가지 조건 중 선택적으로 1가지 조건을 만족시켜야 함
지진시	Fs > 1.1	• 지진관성력은 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용시킴 • 지하수위는 실제측정 또는 평상시 지하수위 측정
단 기	Fs > 1.0	• 1년 미만의 단기간의 안정성 검토시

■ 국토교통부 (건설공사 비탈면 설계기준, 2011)

구분	기준 안전율	참 조
건기시	Fs > 1.5	• 지하수가 없는 것으로 해석
우기시	Fs > 1.2 또는 Fs > 1.3	• 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 1/2심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 Fs=1.2를 적용 • 토층 및 풍화암으로 구성된 비탈면의 안정해석은 지하수위를 결정하여 해석하는 방법 또는 강우의 침투를 고려한 방법 사용 가능 • 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정하는 근거를 명확히 기술(Fs=1.2 적용) • 강우의 침투를 고려한 안정해석을 실시하는 경우에는 현장지반조사 결과, 지형조건, 배수조건과 설계계획빈도에 따른 해당지역의 강우강도, 강우지속시간 등을 고려하여 안정해석을 실시하며, 해석시 적용한 설계정수와 해석방법을 명확히 기술(Fs=1.3적용)
지진시	Fs > 1.1	• 지진관성력은 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용 • 지하수위는 우기시 조건과 동일하게 적용
내진설계 지진시	Fs > 1.1	• 지진관성력은 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용 • 지하수위는 실제 측정 또는 평상시의 지하수위 적용
단 기	Fs > 1.0	• 1년 미만의 단기간의 안정성 검토시 • 지하수 조건은 장기안정성 검토의 우기시 조건과 동일하게 적용

○ 설계적용 안전율

구분	깎기 비탈면	참 조
평 상 시	Fs > 1.5	• 한국도로공사 도로설계요령 (2009), • 국토교통부 (건설공사 비탈면 설계기준, 2011) • 장기적인 비탈면 안정 등을 고려하여 최근 고속도로 설계시 적용되고 있는 기준 적용
우 기 시	Fs > 1.2	
지 진 시	Fs > 1.1	

1.3.4 지하수위 적용기준

• 깎기비탈면의 경우에는 건기시는 지하수위를 고려하지 않으며, 우기시에는 국토교통부 및 도로공사의 기준에 따라 지표면까지 포화하는 것으로 적용

1.3.5 설계 하중

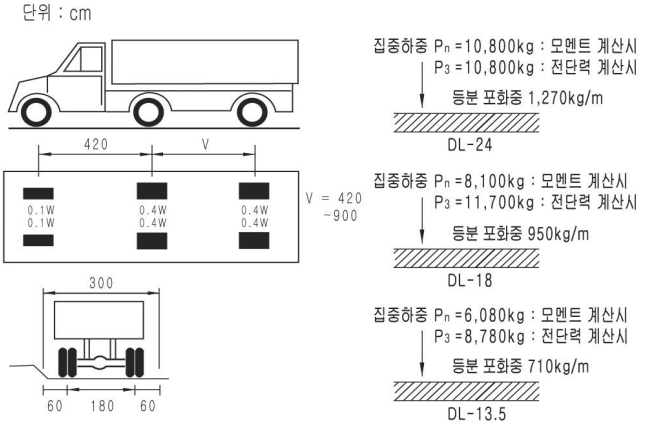
• 구조물이 존재하는 경우 실제 작용 접지압을 적용하였으며 도로부 상단의 교통하중은 도로교시방서에 기준하여 상재하중 q=13kN/m으로 고려

○ 적용 기준

구 분	적 용 값	비 고
구조물하중	실제접지압	• 구조물로 인해 발생되는 하중
교통하중	13kN/m	• 차량통행에 따른 차량하중(DB-24)

• 비탈면 상단에 구조물이 존재하는 경우 실제 기초면에 작용하는 접지압 적용
• 비탈면에 작용하는 하중에는 구조물로 인한 하중과 차량주행에 따른 교통하중으로 구분되며 쌓기 비탈면인 경우에는 쌓기 높이를 고려하여 쌓기체 상단에 상재하중 적용

적 용 기 준



○ 지진하중

• 지진응답해석을 수행하여 얻어진 지진하중을 고려하여 비탈면 해석
• 설계지진하중 산정 : $F_h = 0.5 \times K_H \times W$
• 설계지진하중은 비탈면의 수평변위를 일부 허용하는 개념을 도입하여 지표면 최대지진 가속도의 50% 고려

○ 지진구역에 따른 설계 지반운동 수준(국토해양부, 도로교설계기준, 2010)

• 내진설계기준은 1등급 붕괴방지수준이며, 사업구간은 지진구역 Ⅰ(경기북부)에 해당되므로 본 설계적용 지반운동수준은 다음과 같음

내진등급	재현주기	구역 가속도	위험도 계수	설계지반운동수준
1등급	1000년	0.11g	1.4	0.154g

1.4 설계지반정수 산정

기본방향

- 기존 설계정수 산정의 문제점을 분석하고 대표값 산정시 신뢰도 향상을 위해 통계처리기법 (Monte Carlo Simulation, Bayesian Approach)을 적용하여 설계지반정수 산정
- 인근 설계자료와 기존문헌자료를 분석하여 통계처리의 초기추정치(Prior)로 적용, 현장조사 및 실내시험 값을 최대우도치(Likelihood)로 선정하여 Bayesian 통계처리를 통한 설계정수 도출

3.1.1 설계지반정수 산정개요

토 사 풍화암	• 현장 및 실내시험 결과를 우선적으로 고려, 문헌자료와 경험식을 비교 . 분석하여 산정 • 토질분류를 실시하여 경향을 파악하고 토질 특성에 맞는 정수 산정
기반암 (연속체)	• 동일지반에서 비탈면과 교량기초의 암반 지반정수는 하중규모, 굴착방법, 응력이완 및 풍화진행에 따라 다르므로, 이러한 조건을 고려하여 강도정수 산정 • 암반분류(GSI, RMR) 특성을 감안한 대표성을 가진 지반정수 산정
기반암 (불연속체)	• 암반불연속면 특성을 고려한 전단시험 및 Barton & Bandis 경험식을 이용한 강도정수 산정 • 지표지질조사 및 암석코아에 대한 (JRC, JCS) 등을 비교 . 분석하여 강도정수 산정

○ 1공구 ※ 기존 보고서 교량구간 지반정수 참고

구 분	지층	토성별	r_t(kN/m³)	c(kPa)	Φ	E(MPa)	ν	V_s(m/s)	G_d(MPa)	K(cm/s)
1공구 깎기 구간	붕적층	모래	19	5	28	20	0.35	190	60	5.4×10^{-4}
	풍화토		19	19	29	60	0.33	310	180	2.6×10^{-4}
	풍화암		21	29	31	280	0.30	450	420	5.8×10^{-5}
	연 암		24	800	34	620	0.26	700	1,120	3.3×10^{-5}
	보통암		25	3,000	38	5,000	0.24	850	1,730	1.6×10^{-5}
	경 암		26	3,500	42	15,000	0.22	1,350	4,730	4.9×10^{-6}

구 분	r_t(kN/m³)	c(kPa)	Φ	비고
쌓기재(토사)	18.0	15.0	28.0	

- 금회 조사시 기존보고서 깎기 및 깎기구간 및 쌓기재 지반정수를 참고
- 구간별, 지층별 대표 N값 선정하여 적합한 물성값 도출

제 2 장 비탈면 안정성 검토

2.1 설계개요

기본방향
- 쌓기 비탈면 중 쌓기고가 10.0m인 이상인 구간에 대하여 안정성 검토
- 깎기 비탈면 중 토사층이 깊고 지층변화가 심한 구간에 대하여 대표단면 선정
- 비탈면 한계평형해석 검토 후 확률분포 및 수치해석을 수행하여 해석의 신뢰도 검증

2.1.1 토사 및 풍화암 비탈면 안정해석

- 한계평형해석 및 수치해석 그리고 통계기법을 이용한 토사비탈면 안정해석 수행
- 토사비탈면 상세해석을 위한 응력-변형해석 병행
- 해석결과 비교 검토 및 비탈면의 전체적인 안정성 확인

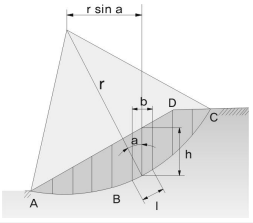
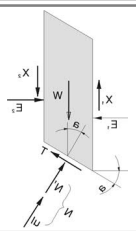
○개 요

- 일반적으로 적용되는 한계평형해석 및 지하수 모델의 불합리성을 극복하기 위해 한계평형해석과 유한요소해석간의 연계해석을 수행
- 강도감소법을 이용하여 지반내 응력 상태를 재현, 보다 실제에 가까운 파괴 활동 및 지반내 응력변화, 비탈면에서의 전단파괴 영역 및 소성범위를 확인
- 지반의 불확실성을 고려하기 위한 통계적 기법을 이용한 분석

○한계평형 해석 (Limit Equilibrium Analysis)

■ 이론적 배경

- 비탈면의 안정성 해석시 널리 사용되는 해석방법들은 한계평형 이론을 적용하고 있으며, 산정한 안전율이 허용안전율 이상이 되면 비탈면은 파괴에 대해 안정한 것으로 판단
- 한계평형이론에 의한 비탈면안정 해석방법은 여러 가지가 있으며 그 정확성은 강도정수의 결정과 지반의 파괴형태를 의미하는 파괴모드의 가정방식에 의해 좌우됨
- 파괴모드는 토사비탈면의 경우 지층구성에 의해 원호, 평면 혹은 복합활동파괴 등으로 구분
- 토사비탈면의 파괴모드는 곡면형태의 함수(원호 혹은 대수나선 등)로 가정하여 해석을 수행

가상파괴면	n번째 절편에 작용하는 힘
	

$$\cdot\ Fs = \frac{1}{\sum W_n \sin\alpha} \sum (cb_n + W_n \tan\phi + \Delta T \tan\phi) \frac{1}{m_{\alpha(n)}} \qquad \cdot\ m_{a(n)} = \cos\alpha_n + \frac{\tan\phi \times \sin\alpha_n}{F_s}$$

여기서, Wn : n번째 절편에 흙의 중량(= γ×b×h)(K/m)

α : 경사각(°) c : 흙의 점착력 (MPa)

bn : n번째 절편의 폭(m) ϕ : 흙의 내부 마찰각(°)

ΔT : $T_n = T_{n+1}$ n : n 절편의 측면에 작용하는 수평력

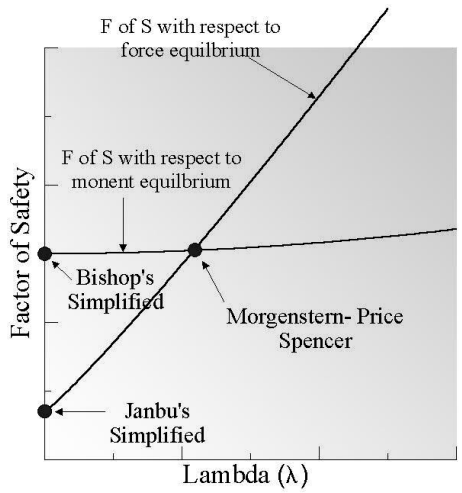
한계평형방법비교 (지반공학 시리즈5, 비탈면안정)

- 모든 평형조건을 만족시키는 비탈면안정 해석법으로 구한 안전율은 정해와 약 ±5% 이내의 오차 보임
- Bishop의 간편법은 정해로 볼 수 있음(비탈면 선단부에서 활동면의 경사가 대단히 급할 때에는 예외)
- Fellenius 방법은 안전율을 과소평가함
- 전응력 해석법(ru=0)은 실용상 허용범위 내에 있지만, 유효응력 해석법은 간극수압비가 큰 경우 큰 오차를 유발하므로 Fellenius 방법은 전응력 해석법에 적용, 유효응력 해석법에는 부적합
- 전응력 해석방법에서 원호 활동면에 대해 모멘트 평형을 만족시키는 방법은 모두 정해를 산정

한계평형방법의 선정

- 여러 한계평형방법들과 그 방법들이 제안한 가정에 의해서 결과값이 조금씩 상이함
- 전단 및 수직 절편력과의 관계를 표현하는 λ값과 안전율과의 그래프를 통해 적용방법의 적정성를 판단
- 모멘트 평형에만 근거를 둔 방법은 비교적 절편력의 영향을 적게 받는 반면, 힘 평형에만 근거를 둔 방법은 절편력의 영향을 많이 받음
- 집중하중이나 앵커하중이 작용하는 경우와 같이 모멘트 평형에만 근거를 둔 방법이 절편력에 크게 영향을 받는 경우도 존재
  - 모멘트와 힘을 동시에 고려한 방법이 절편력에 영향을 적게 받음
  - 본 사업의 한계평형분석 방법은 모멘트와 힘을 동시에 고려한 방법 중 Bishop방법으로 선정함

모멘트, 힘평형조건의 안전율 변화 추이



해석 Program 비교

Program	개 발 자	해 석 방 법	활동면 형 상	활동면 추정 여부	외부 하중 적용	간극수압		비 고
						정수압	간극수 압계수	
PC STABLE5 PC STABLE6	Carpenter (1985)	Bishop, Janbu, Spencer	원호, 비원호 블록	○	○	○	○	
STABR	Lefevre (1971)	Bishop, Fellenius	원호	○	×	○	×	
SLOPER	Wright and Duncan (1986)	Spencer	비원호	×	×	○	×	
SLOPE/W	Fredlund (Geo-Slope)	Fellenius, Bishop, Janbu, Spencer Morgenstern-Price	원호, 비원호 블록	○	○	○	○	
TALREN	Terrasol	Fellenius, Bishop Janbu, Spencer, Morgenstern-Price	원호, 비원호 블록	○	○	○	○	

2.2 깎기 비탈면 안정성 검토

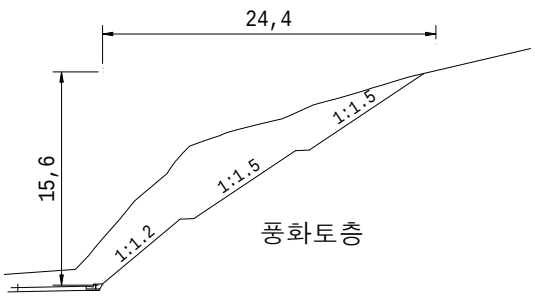
기본방향 • 토사 깎기 구간으로 구간별 안정성 검토

2.2.1 토사 비탈면 안정성 검토

깎기 비탈면 검토 현황

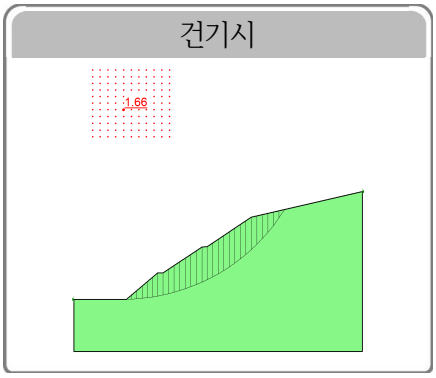
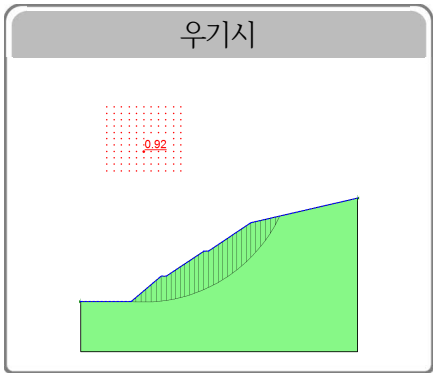
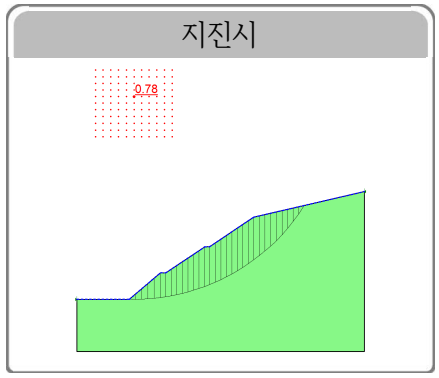
구 분		측점 (STA.)	비탈면 유형		최대높이 (m)	검토단면 (STA.)	비고
깎기 2구간	난점천 제방진입 부체도로	0+190 ~ 0+243	토사	우측	15.6	0+210	

깎기 2구간 난점천 제방진입 부체도로 STA. 0+210 우측 비탈면

검 토 단 면


깎기고(m)	토사(m)	리핑암(m)	발파암(m)
15.6	15.6	-	-

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	1.68	O.K
우기시	1.20	0.92	N.G
지진시	1.10	0.78	N.G

건기시	우기시	지진시
		

본선 깎기 비탈면 안정성 검토 결과

구 분	측점 (STA.)	검토단면		안전률			비 고
				건기시	우기시	지진시	
깎기2구간	0+190 ~ 0+243	0+210	우측	1.68 > 1.50	0.92 < 1.20	0.78 < 1.10	N.G

• 깎기비탈면에 대하여 한계평형해석을 수행한 결과, 깎기 2구간에서 우기시 및 지진시 불안정한 것으로 나타나, 해당비탈면에 대하여 안정성 확보방안을 계획

2.2 비탈면 안정화 대책 검토

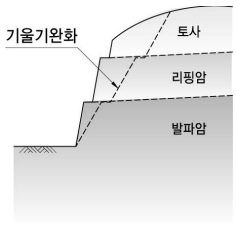
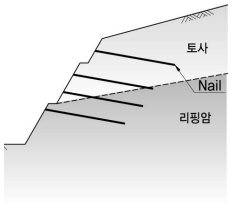
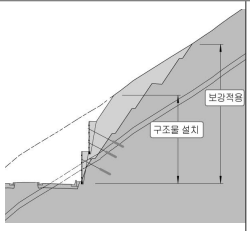
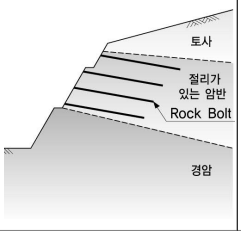
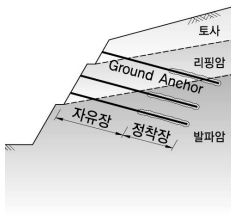
기본방향
- 비탈면 불안정이 예상되는 구간에 대해 보강재의 저항력을 통한 안정성 확보
- 절취량 최소화를 위해 구배 변경시 안정성 확보
- 다양한 비탈면 보강공법을 검토하여 현장 여건에 가장 적합한 공법 선정

2.2.1 비탈면 보강공법 검토

◎ 비탈면 보강공법의 종류

공법종류		공 법 개 요	적 용 성
저항력증가	억지말뚝	• 활동토괴를 관통하여 말뚝을 지지층까지 일렬로 설치 ➡ 비탈면의 활동하중을 말뚝의 수평하중으로 기반암에 전달 • 말뚝과 주변지반 사이의 상호작용에 의해서 지지력이 결정되며 여타 억지공법과 같이 이용	• 강관말뚝의 사용으로 공사비가 비싸며, 여타 보강공법과 병행시 추가적 공사비 소요 • 공사비 측면상 매우 불리
	앵커공법	• 고강도 강재를 앵커재로 하여 보링공내에 삽입, 그라우트를 주입 ➡ 앵커재를 지반에 정착시켜 앵커재 두부의 하중을 정착지반에 전달	• 일반적으로 사용되는 공법으로서 적용효과가 양호하며 국내 시공실적도 많으므로 적용가능
	Soil Nailing	• 인장응력, 전단응력 및 휨모멘트에 저항할 수 있는 보강재를 지반내에 조밀한 간격으로 삽입 ➡ 원지반의 전체적 전단력, 활동력을 증가	• 비탈면의 얕은파괴 우려시 적용 • 공사비가 저렴, 시공성도 좋음
	FRP 보강공	• 원지반 천공후 FRP 보강재 내에 패커를 설치하여 압력에 의하여 시멘트 밀크를 주입 ➡ 주입재에 의한 지반 고결 ➡ 원지반의 전단강도 증대 및 Nailing 효과를 함께 얻음	• 풍화암 비탈면에도 적용이 가능 • 확실한 보강효과 • 공사비 측면에서 매우 유리함
	옹벽공	• 비탈면의 선단부에 옹벽을 설치하여 안전율증가 • 옹벽자체만으로도 안정성 확보가 어려운 경우 앵커나 수동말뚝과 같은 여타 보강공법과 병행	• 고가의 공사비 및 시공상 어려움이 있어 적용 곤란
	Rock Bolt	• 록볼트 설치, 그라우팅 실시 ➡ 지반변위억제 • 소규모 암체의 전도파괴, Sliding에 효과적	• 공사비 다소 고가, 녹화공법적용 불리 • 전도 및 암반거동 발생방지 효과
	Tension Net	• 표면에 고장력 와이어네트를 정착, 록볼트 병행 • 볼트, 너트 응력분산 ➡ 낙석방지 및 암반보강	• 표층부 보강효과는 뛰어나지만, 심부활동에는 미비 • 암반 표층부 낙석예상구간에 효과적
활동력증가	압성토공	• 비탈면의 선단부에 토사 쌓기 • 연약지반상 쌓기시에 적용, 산지에 위치한 비탈면의 경우 접근성이나 현장용지 문제에 있어 시공성 불리	• 연약지반상에서 쌓기시 적용성이 양호, 산지에서는 시공성 열악함 • 안정성 확보효과가 불확실
	기울기완화	• 비탈면기울기를 완만히 조정 ➡ 토괴의 자중 감소 • 굴착량 과다 증대 우려 • 현장 지형에 따라서 무한비탈면 발생 가능성	• 적용효과가 확실, 일반적으로 도로깎기비탈면에서 흔히 적용 • 깎기량 과다발생 ➡ 자연훼손
	깎기공	• 활동토괴 중 일부를 제거하여 활동력 저감 • 대규모 비탈면의 경우 굴착량이 과대, 경제성, 시공성 불리 ➡ 중소규모의 비탈면에 적용	• 적용효과가 불확실하여 자연경관 훼손이 심각

○ 비탈면 보강공법 비교

구분	비탈면 보강 공법				
	비탈면 경사완화	Soil Nailng	깎기부 옹벽	록볼트	그라운드 앵커
개요도					
적용지반	• 토사~발파암	• 토사~풍화암 (심한 발파암)	• 토사~발파암	• 발파암 (연암, 경암)	• 토사~발파암
장점	• 시공후 관리 및하자보수가 용이함 • 경사 조정에 의한 시각적 불안감 해소	• 비탈면에 보강재를 프리스트레싱 없이 촘촘한 간격으로 원지반에 삽입하여 원지반 자체의 전단강도를 증대	• Top Down방식으로 시공 • 영구앵커에 충분한 긴장력을 줄 수 있어 구조적 안정성 가장 우수함 • 깊은 원호활동에 효과적임	• 원지반자체를 이용하여 암반에 부착하여 일체 구조화 • 무소음이며, 진동이 적다 • 시공성 및 경제성 유리	• 부재의 전단강도나 원지반과의 인발저항에 의한 원지반 보강 • 연쇄 반응적인 토층부의 붕괴방지 가능
단점	• 추가용지 확보에 따른 공기 및 비용 문제 발생 • 절취면적 증가로 비탈면고 증가 • 추가 절토 및 사토 발생	• Nail 부식방지 대책 필요 • 추가 표면처리공 필요	• 쏘일 네일링 공법에 비해 공사비가 다소 크게 발생	• 부식염려 • 동결방지를 위한 처리 필요 • 별도의 수발공 설치 필요	• 시간적 인장력 감소 가능성 • 복잡한 공정과 공기 소요 • 지압효과를 위한 전면판 요구
경제성	• 공사비가 저렴함	• 타공법에 비해 경제적	• 공사비 고가	• 타공법에 비해 경제적	• 록볼트에 비해 다소 고가임
선정			◉		

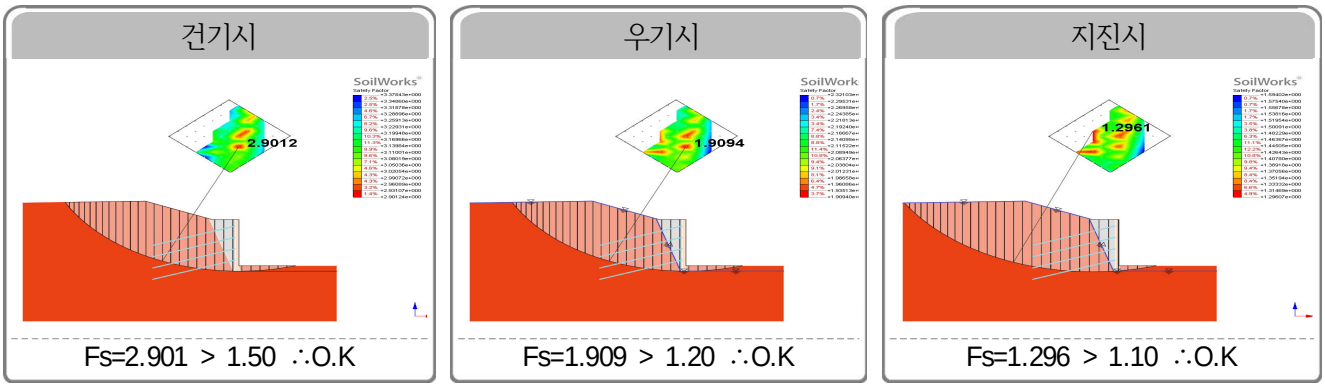
• 불안정 비탈면에 대한 대책공법으로 각 보강공법별 비교 . 검토 후 선정

• 토사불안정 비탈면에 대한 대책공법으로 깎기부 옹벽 선정

변 경

2.2.2 비탈면 대책방안 안정성 검토

■ 난점천 제방진입 부체도로 STA. 0+210 우측 깎기부옹벽구간



○ 비탈면 네일링 보강구간 검토결과

구 분	보강구간	검토단면 (STA.)	안전율			비 고
			건기시 (>1.50)	우기시 (>1.20)	지진시 (>1.10)	
난점천 제방진입 부체도로	0+199~0+230.5	0+210	2.901	1.909	1.296	

- 난점천 제방진입 부체도로 우측구간에 대하여 1소단 상부에 깎기부 옹벽 적용시 안정성을 확보하는 것으로 판단
- 현재 지층은 인근 시추공인 BH-4 시추공을 반영하여 전체 지층을 토사층으로 가정하였으며, 지층분포에 따라 해석결과가 크게 달라지므로, 시공전 확인시추를 수행하여 지층조건이 설계조건과 일치여부를 확인하고 최적의 보강공법 선정이 필요함

제 3 장 비탈면 보호공법 선정

3.1 설계개요

기본방향
- 녹지자연도를 고려, 환경보전과 개발사이의 문제점 극복과 환경친화적 비탈면 보호계획 수립
- 비탈면은 우수에 의한 침식 및 세굴로 인하여 비탈면 안정성이 저하되므로 보호공 필요
- 지역적인 특성을 감안하여 주변 경관과의 조화를 주목표로 하여 경제성, 시공성, 환경친화성 고려

3.1.1 비탈면 보호공법 검토

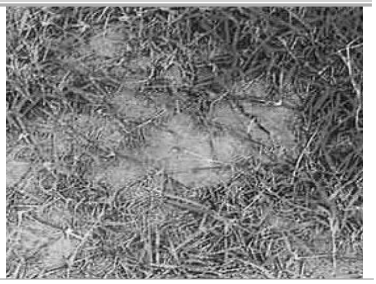
○ 비탈면 보호공법의 종류

▮ 구조물에 의한 보호공법

구 분		주 요 특 징
붙임 쌓기 공법	돌붙임공 블록붙임공	• 비탈면의 풍화 침식 방지 • 경사 1:1보다 완만한 점착력이 없는 토사 및 붕괴되기 쉬운 비탈면에 사용 • 하천, 호수 또는 용수발생구간의 비탈면에 돌붙임, 블록 붙임공을 적용시에는 비탈면 토립자 유출방지를 위해 배면에 부직포 설치를 검토
	콘크리트 붙임공	• 절리가 많은 암석, 낭떠러지 등의 붕락의 염려가 있는 경우에 사용 • 철근콘크리트붙임공은 1:0.5, 무근콘크리트붙임공은 1:1정도의 경사에 사용 • 용수가 예상되는 경우 배수구, 배수공 등을 설치하고 암반에 잘 물리도록 우수의 침입 방지
	돌 및 블록 쌓기공	• 경사가 1:1 보다 급경사인 경우에 사용 • 토질이 단단하여 토압이 작은 경우에 사용 • 비탈면 배면의 수압 발생 방지를 위해 물구멍에 의한 배수처리
콘크리트 격자 공법	콘크리트 블록격자공	• 용수가 있는 깎기비탈면, 장대비탈면, 표준경사보다 급한 쌓기 비탈면에서 식생이 부적합한 곳에 사용 • 경사 1:0.8 보다 완만한 비탈면에 사용 • 격자는 일반적으로 프리캐스트 제품으로 격자내에 객토나 식생 혹은 블록이나 옥석을 깔아 침식 방지
	현장타설 콘크리트 격자공	• 용수가 있는 풍화암, 장대비탈면 등에서 비탈면의 장기적 안정이 염려되는 곳, 콘크리트 블록 격자공으로는 붕락의 염려가 있는 곳에 사용 • 격자는 철근콘크리트의 현장 타설로써 용수처리를 충분히 실시하고 상황에 따라 블록깔기, 돌붙임, 식생 등으로 보호
모르타르 및 콘크리트 뿜어 붙이기 공법		• 비탈면에 용수가 없고 당장 붕락의 위험은 없으나 풍화되기 쉬운 암석, 암석이나 호박돌 섞인 토사 등으로 식생이 부적합한 곳에 사용 • 넓은 면적에 효과가 좋으며 경사가 심한 곳, 바위가 돌출한 비탈면에서 시공 가능 • 지반은 연암이상으로 비탈면 자체가 안정되어 있는 곳에 사용 • 뿜어붙이기 두께의 표준(모르타르 : 5~10cm, 콘크리트 : 10~20cm)

◎ 피복공에 의한 보호공법의 종류 및 특징

▮ 토사비탈면 식생보호공법

구 분	Seed Spray	종자분사+유기질토	줄 떼
개 요 도			
공법개요	• 종자, 비료, 피복양생제, 침식방지 안정제, 착색제, 청수 등을 살포기 탱크내에서 혼합 후 고압펌프로 살포하여 녹화하는 공법	• 유기질토양을 양잔디와 초목본류를 혼합하여 습식취부장비를 이용, 일정한 두께로 비탈면에 살포하는 공법	• 식생토를 사용해서 비탈하단에서부터 줄떼의 장변을 비탈면에 따라 수평으로 펴고 흙을 씌워 잔디를 비탈면에 붙이는 공법
특 징	• 공사비 가장 저렴 • 혹한기의 연중시공이 가능 • 절·성토 및 평지등에 다양하고 편리하게 시공가능 • 기계화 시공으로 공기 단축 • 시공이 간편함 • 하자보수가 용이함 • 척박한 토질에서 만족할 만한 녹화효과 기대할 수 없다. • 건조기의 시공이나 함수율이 적은 토질에서는 정상적인 발아 및 성장이 어려움	• 삼차원의 그물망을 형성하여 토양 유실 및 세굴방지 • 종자유실방지 및 보온보습효과로 균일한 초기발아로 녹화상태 우수 • 유기질토의 양분 공급으로 지속적인 성장유도 • 온도가 영하일 때 시공하면 완벽한 그물망 형성이 어려움 • 공사비 다소 고가	• 종래의 가장 보편적 공법 • 한국기후, 토질에 가장 적합 • 초장이 짧아 미관이 수려 • 주위환경과 친화력이 탁월 • 시공과 함께 피복되므로 침식되기 쉬운 토질에 사용 • 급경사지 식재 불가 • 토사구간외에는 적용 불가 • 토질조건에 따라 활착성 부족 • 강우, 강풍에 의한 침식발생 • 시공시 과다한 인원투입 • 유지보수의 어려움 • 노무비증가로 공사비 고가
선 정	◉	-	-

◎ 비탈면 보호공법 선정

구 분		적용공법	비 고
깎 기 부	토 사	Seed Spray	
	리핑암	식생기반 취부공법	t=5cm

• 비탈면의 장기적인 안정성 확보를 위한 비탈면 표면부의 보호공법 검토 및 선정

제 4 장 비탈면 시공 및 유지관리

4.1 설계개요

기본방향 • 비탈면 시공에 따른 발생 가능한 문제점을 사전에 도출하여 시공에 따른 유지관리 대책 수립

4.1.1 비탈면 시공시 주요 고려 사항

- 비탈면 대책공법을 실시한 곳은 붕괴가능성이 높은 곳이기 때문에 주의해야 하며, 붕괴이력이 있는 구간과 인접하는 구간도 지층구조가 같은 경우 붕괴가능성이 있으므로 주의하여 관찰
- 일반적으로 비탈면의 붕괴는 대부분 시공 중에 일어나며, 그 동안의 조사 사례를 분석하면 비탈면 시공 후에 붕괴의 90%는 표층 3.0m이내의 붕괴로 규모가 작은 편임
- 강우에 의해 비탈면의 전단강도가 감소하여 붕괴 가능성의 위험 요소가 많으므로 강우량이 적어도 방심할 수 없다는 것을 주의하여 충분한 비탈면의 계측 및 유지관리의 필요성 요구

○ 중점관리구간 및 항목

중 점 관 리 구 간	항 목 관 리
• 불안정 비탈면으로 인한 보강공법 적용구간 • 쌓기, 깎기고가 높은 구간	• 시공 중 유지관리 : 절리방향성, 균열, 붕락, 풍화정도의 확인 • 시공 후 유지관리 : 우기시, 동절기시 붕괴위험 집중관리

○ 설계를 통해 안정성이 확보된 비탈면 파괴의 주요 원인

- 깎기 및 쌓기 비탈면 지반 내 공극수의 동결.융해로 인한 비탈면 파괴
- 얼음과 눈이 녹아 지하수위와 간극수압의 상승
- 강우에 따른 함수량 증가에 따른 토사중량 증가
- 강우시 비탈면 내부로 침투하여 비탈면 유동성 증가와 전단강도 저하로 인한 비탈면 파괴
- 비탈면 지표의 풍화로 인한 부석 발생 및 비탈면 불안정

▮ 쌓기비탈면의 유의사항

- 시공 중에는 가배수로를 완비하고 경사면의 배수시설 및 비탈면 보호공을 가급적 빠르게 시공함
- 쌓기 비탈면의 표면은 다짐이 불량해질 가능성이 있으며 1층마다 기준다짐도 이상으로 다지고 3층마다 마이티팩으로 표면다짐을 반드시 실시
- 비탈면 보호공 시공 전 비산먼지 발생 및 유수에 의한 침식방지를 위하여 보호막을 설치

▮ 깎기비탈면의 유의사항

- 비탈면 깎기 작업시 붕괴사고를 예방하기 위하여 시공시 균열의 유무와 크기 및 낙차, 풍화상태 및 불연속면의 방향성, 부석 및 전석의 유무, 용수위치와 상황 등을 유의깊게 관찰하여 경사면 및 상부 토층의 상태를 파악
- 깎기 시공 중 예상 밖의 장소에서 변형이 발생할 수 있으며, 토괴의 이동에 관한 균열은 소단이 있는 콘크리트나 배수구에서 쉽게 발견되므로 임시변형 관측계를 설치하여 동태 관측 수행

4.1.2 시공 중 비탈면 유지관리

○ 시공관리 개요

- 절취비탈면의 시공시에는 시공 중 조사, 관찰, 계측을 실시하여 실제 굴착되는 비탈면의 안정성을 평가하고 필요에 따라서는 설계 및 시공법 변경
- 일반적으로 설계단계에서 지질조사에 의한 지층단면과 굴착에 의해 드러나는 실제 비탈면의 지층구성 상태와는 차이점이 많은 경우가 흔하므로 다음 흐름도의 과정에 의해 시공계획시의 조건이나 제반조건 등을 검토하고 필요하면 추가조사 및 재해석을 실시하여 설계 변경

○ 비탈면 절취시 유의사항

- 비탈면의 절취작업시 예기치 못한 요인에 의하여 생길 수 있는 붕괴사고를 예방하기 위해서는 다음과 같은 사항을 주의 깊게 관찰하여 비탈면 및 상부토층의 상태 파악
- 균열의 유.무
- 붕락정도, 부석, 전석의 유무
- 용수위치와 상황, 풍화의 상황
- 절리, 층리의 방향성과 그 진행
- 우수에 의한 균열의 발생 유무

○ 시공 중 깎기 비탈면의 보호

- 일부 지반은 지층 속에 강도가 높은 상태로 존재하더라도 대기 중에 노출되면 급속하게 강도저하가 될 가능성이 있음
- 이는 응력이 해방됨과 동시에 건습의 반복 등 직접적인 기상의 영향을 받기 때문으로 장기적으로 볼 때 비탈면 붕괴의 요인일 될 수 있으므로 비탈면 보호공법이 조속 실시
- 비탈면 보호공 시공 및 배수시설을 설치하여 강우의 침투 방지
  - 절취후 대기에 장기간 노출시 지표수 유수와 우수에 의해 침식에 의한 파괴발생이 예상되므로 작업중 비닐덮기와 조기에 배수시설 및 비탈면 보호공을 설치하도록 함

○ 급속한 굴착에 의한 변형 및 지하수위 변화

- 깎기 공사 중 예상 밖의 장소에서 변형이 발생하는 경우가 있으며, 토괴의 이동에 의한 균열은 소단이 있는 콘크리트나 배수구에서 쉽게 발견할 수 있서, 이러한 경우 임시 변형 관측계를 설치하여 동태관측을 수행
- 비탈면에 용출수가 있거나 지하수위가 높은 지반에서 급속시공을 할 경우 비탈면붕괴 가능성 검토
- 깎기 전후의 지하수위는 안정상태까지 시간이 걸리므로 심층부에 과잉 간극수압이 비탈면 활동에 기여하는 상태가 되므로 시공 중에 지하수위 변화를 관측
- 깎기비탈면에서 용수는 특정한 위치에 집중되는 경향이 우세하므로 비탈면 깎기중 지하수위 상태를 검토하고 지하수 과다유출이 확인된 구간은 필요시 수평배수공을 집중 설치하여 지하수위 상승을 억제하도록 함

○ 시공 중 안정성 보강방법

- 시공 중 비탈면의 안정성 검토는 토사비탈면과 암반비탈면으로 구분하여 각 비탈면의 특색에 맞는 방법으로 검토
- 비탈면안정해석결과 불안정할 경우 다음과 같은 보강공법을 비교.검토하여 최적의 보강공법을 선정하여 안정성 확보(토사비탈면 : 비탈면기울기완화, 식생공법, 네일링공법, 숏크리트 타설, 억지말뚝, 배수공 등)

4.1.3 시공 후 비탈면 유지관리

• 설계 및 시공시 조사자료, 시공기록 및 계측자료를 이용한 시공후의 비탈면 유지관리방안 수립

○ 비탈면 유지관리 방법

• 시공이 이론적 근거와 조사자료를 근거로 하는 것이라면, 시공 후의 비탈면유지관리는 축적된 계측 Data와 경험의 축적에 의해 안정성 평가
• 유지관리 작업은 공사가 준공되고 나서 시행하는 것이지만, 그 준비작업은 시공시점에서 시작된 조사자료와 시공스케치를 보존하여 비탈면 대장을 작성
• 비탈면 대장에는 위치, 보호공법 종류, 대책공법 종류 등 필요 항목을 기재하여 비탈면 점검시 관찰상황을 추가 기재하되 주의 관찰이 요구되는 구간은 Check해 두고 유지관리를 실시
• 비탈면의 불안정 요인이 관찰될 경우에는 현장 긴급조치를 하고 전문 기술자에게 안정성 분석을 의뢰함
• 낙석 및 낙석제거, 낙석방지망 및 낙석방지울타리의 상태점검과 유지보수를 실시
• 공사 준공 후 비탈면의 점검을 쉽게 하고 직접 육안으로 점검할 경우에는 점검로(점검계단, 점검사다리, 소단)를 이용
• 공사비 절검과 점검로의 효용성을 증대시키기 위해 점검로는 도수로와 인접하여 설치하며 점검시 안전에 유의

○ 기존에 제안된 도로 비탈면의 유지관리 시스템의 예

- 고속도로 절토사면 유지관리시스템 (한국도로공사 연구개발자료), 한국도로공사의 절토사면 유지관리시스템 (한국지반공학회 사면안정위원회 세미나, 1999, 노한성 외)

• 붕괴발생 후 대책을 세우는 사후처리 개념에서 전체적인 비탈면을 체계적으로 관리하여 가능한 한 사고를 미연에 방지할 수 있도록, 주기적이고 능동적인 유지관리를 실시한다는 개념 ➡ 관리체계의 구축 필요성 대두
• 1단계 : 자료조사단계로 전국에 산재되어 있는 모든 깎기비탈면의 일반현황 파악
• 2단계 : 도형정보 시스템과 결합된 데이터베이스 프로그램 수정 및 보완
• 3단계 : 자료 입력 (비탈면의 일반현황조사, 비탈면의 상세현황조사 등)
• 4단계 : 입력자료에 근거, 비탈면의 유지관리 활용 (보강대책이 요구되는 비탈면에 대한 예산편성 등)

- 절토사면의 안정성 평가를 위한 점검항목 제안 (한국지반공학회 사면안정위원회 세미나, 1999, 구호본 외) : 한국건설기술연구원

• 지리정보시스템을 이용한 도로절개면에 대한 다양한 정보들을 데이터베이스화하여 효율적인 도로절개면 유지관리시스템의 모델 개발
• 도로절개면의 특성과 제반여건을 고려한 절개면 위험도 평가표를 제시 ➡ 조사우선순위 기법 개발 ➡ 도로절개면 투자우선순위 결정방법 제안
• 기대효과 : 향후 도로절개면 관련 설계기준 제시, 위험도 작성 등의 유지관리도구 작성에의 활용

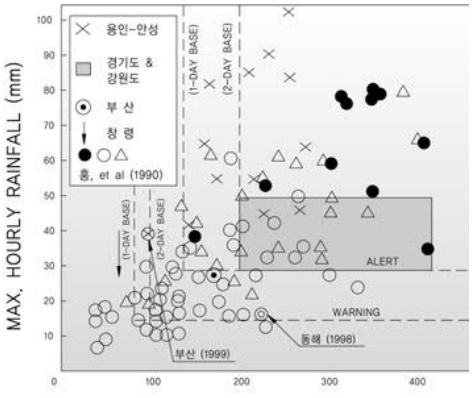
- 절개면 붕괴징후 포착시스템 (국토교통부)

• 해마다 20~30건씩 발생하는 국도상의 낙석, 산사태 예방 목적
• 광섬유센서를 절개면 중 기울기가 급하거나 바위 밑에 설치, 폭설이나 폭우시 흘러내리는 눈 및 토사의 양에 따라 낙석, 산사태의 위험여부를 경보를 통해 자동으로 알려주는 시스템

○ 확률강우강도에 따른 경보체계 수립

• 국내에 발생될 강우와 산사태 발생규모와의 관계 그래프를 적용, 집중 강우에 따른 비탈면 유지관리 방안 수립

최대시간 강우량	2일누적 강우량	유지관리방안
15mm	100mm	• 주의경보 발령
30mm	130mm	• 경계경보 발령 (추가 계측 실시)
30mm	200mm	• 추가계측 결과에 따라 안정성 확보가 어려울 경우 통행로 차단 실시



○ 중점관리구간

▮ 중점관리구간의 선정

• 비탈면 불안정으로 인해 보강공법을 적용시킨 구간
• 깎기 및 쌓기 높이가 큰 구간

▮ 점검방법

• 비탈면 관리시 점검은 일반적인 점검외에 우기시나 동절기 등 붕괴현상이 집중되는 시기를 전후하여 실시하는 것이 바람직함
• 위험성이 내포되어 보수가 필요하다고 판단될 때 재해로 발달되지 않도록 조치해 두고, 필요에 따라 상세한 조사를 수행하고 대응책을 강구하여야 함
• 점검방법은 관리기간에 따라 다양하지만 다음 표와 같이 그 빈도를 정해 실시하여야 함

구 분		점 검 내 용	빈 도
일 상 점 검		• 차량내에서 확인할 수 있는 범위의 비탈면 상황을 관찰	1일 1회
정 기 점 검	정기점검A	• 걸어서 접근하여 관리구간 전체 상황을 전반적으로 점검	1년 1회
	정기점검B	• 걸어서 접근하면서 관리구간 전체 상황을 세부적으로 점검	1년 1회
임 시 점 검		• 일상점검 또는 정기점검을 보완하기 위해 필요에 따라 실시 일상점검에 의한 평가, 판정이 곤란할 경우 및 이상 기후 직전 혹은 통보에 의해 점검	필요시

제6편 연약지반 설계

제1장 연약지반 설계개요

제2장 연약지반 현황 및 성과분석

제3장 연약지반 안정성 검토

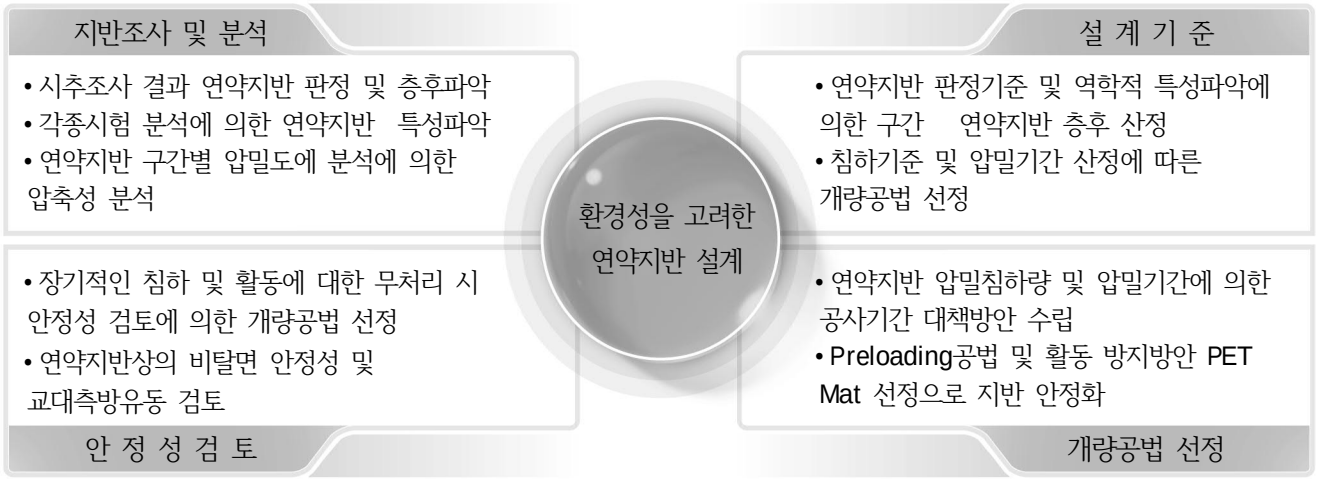
제4장 연약지반 계측관리 계획

제 1 장 연약지반 설계개요

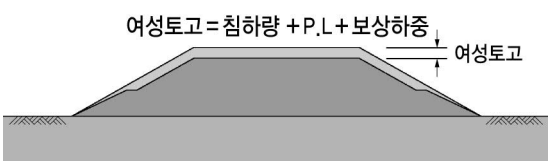
1.1 설계개요

기본방향
- 현장여건(지반조건, 주변환경)을 면밀히 검토하여 최적의 연약지반개량 공법 선정
- 연약지반 특성에 적합한 개량공법 선정으로 비탈면의 안정화, 압밀침하량 및 기간산정
- 부등침하 및 2차 압밀 검토로 주행성 확보 및 유지관리 계획 수립

1.1.1 기본방향



1.1.2 연약지반 주요 검토사항

주 요 항 목	주 요 검 토 사 항	
지반조사 및 지반정수	• 지층분포 파악을 위한 충분한 시추조사 수행 • 충분한 실내, 현장시험을 통한 합리적 설계정수 도출	
설 계 기 준	• 연약지반 기준 : - 10.0m 이하 점성토 N ≤ 4 - 10.0m 이상 점성토 N ≤ 6 - 사질토 : N ≤ 10 • 잔류침하량 : 10.0cm (1차 및 2차 침하량 고려) • 교대부 배면지반 : 5.0cm (부등침하 감소)	
연 약 지 반 개 량 공 법	• 현장여건에 따른 안정성, 시공성 및 경제성 등을 확보할 수 있는 공법선정 • 연약지반 개량공법 선정 시 시공성, 경제성 및 안정성에 우수한 최적 공법 선정 • 장기적인 침하를 고려한 설계 및 고성토 구간 비탈면 안정성 확보	
상 재 하 중 재 하 방 법		여성고 = 포장 + 교통하중(13.0kPa) + 침하고 + 보상고
계측 및 유지관리	• 중점관리 구간을 설정하여 침하안정관리 계획 수립 • 중요 지장물의 사용 중 유지관리계측 수립	

1.2 연약지반 판정

기본방향

• 한국도로공사 설계기준 및 최근 수행된 설계사례 분석을 통하여 도로 노반의 안정성을 고려한 합리적인 설계기준 선정

1.2.1 연약지반 판정기준

○ 토질 특성에 따른 연약지반 판정기준(도로설계요령 제2권 토공 및 배수, 2009)

지반 구분	토층 및 토질 구분			토질 정수			
				Wn(%)	e_o	q_u (kgf/cm^2)	N
이탄질 지반	고유기질토 (Pt)	Peat	섬유질 고압축토	300이상	7.5이상	0.4 이하	1 이하
		흑니	분해가 진척된 고유기질토	300-200	7.5-5.0		
점토질 지반	세립토	유기질토	소성도 A선이하 유기질토	200-100	5.0-2.5	1.0 이하	4 이하
		화산회질 점토	소성도 A선이상, 화산회질 2차퇴적점토				
		Silt	소성도 A선이하, Dilatancy대	100-50	2.5-1.25		
		Clay	소성도 A선위, 그부근 Dilatancy대				
사질 지반	사질토	SM, SC	#200번체 통과량, 15~50%	50-30	1.25-0.8	거의 0	10 이하
		SP-SC, SW-SM	#200번체 통과량, 15%이하	30이하	0.8이하		

○ 구조물 종류에 따른 연약지반의 판정기준(도로설계요령 제2권 토공 및 배수, 2009)

구조물의 종 류	지 반 상 태							판 정
	토 질	층두께(m)	N 값	q_u (tf/m^2)	q_c (tf/m^2)	q_b (tf/m^2)	함수비(%)	
도 로	-	-	2이하	2.5이하	12.5이하	-	-	연약지반(초연약)
	-	-	2~4	2.5~5	12.5~25	-	-	연약지반(연 약)
	-	-	4~8	5~10	25~50	-	-	연약지반(보 통)
	이탄층	-	4이하	5이하	-	-	-	연약지반
고속도로	점성토	-	4이하	5이하	-	-	-	연약지반
	사질토	-	10이하	-	-	-	-	연약지반
	-	2이상	0	-	-	-	100이상	연약지반
철 도	-	5이상	2이하	-	-	-	50이상	연약지반
	-	10이상	4이하	-	-	-	30이상	연약지반
건 축	-	-	10이하	-	-	10이하	-	연약지반
댐	-	-	20이하	-	-	-	-	연약지반

○ 연약지반 판정기준

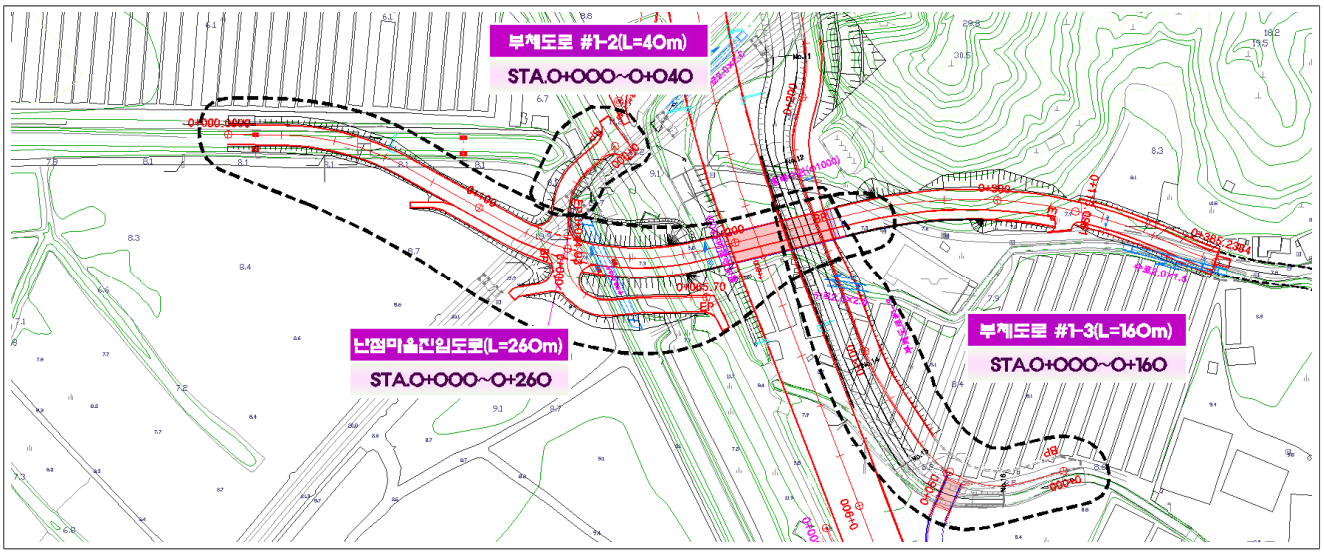
• 한국도로공사 “도로설계요령 제2권”을 참고로 하여 현장의 토질상태 및 교통하중을 고려하여 압밀층 선정

구 분	이탄질 지반 및 점토질 지반		사질토 지반
층 두 께	10m 미만	10m 이상	-
N 값	4 이하	6 이하	10 이하
q_u(kgf/cm^2)	0.6 이하	1.0 이하	-
q_c(kgf/cm^2)	8 이하	12 이하	40 이하

제 2 장 연약지반 현황 및 성과분석

2.1 연약지반 현황 분석

2.1.1 연약지반 현황



2.1.2 연약지반 Zoning 선정

◎ 연약지반 Zoning 구간 선정

구 분	위치 (STA.)	연약층 층후	지층현황	배수조건	비 고
난점마을 진입도로	0+000~0+175	5.0~7.9m	N치 4~6	일면배수	
	0+175~0+260	5.0~8.3m	N치 4~6	일면배수	보강토옹벽구간
부체도로 #1-2	0+000~0+040	6.9m	N치 4~6	양면배수	
부체도로 #1-3	0+000~0+180	9.1~13.9m	N치 2~6	양면배수	

◎ 연약지반 공사기간 검토

구 분	기 간	내 역	비 고
공 사 준 비 기 간	4개월	ㆍ부지정비, 수평배수공 포설 : 2.0개월	
연약지반 처리기간	20개월	ㆍPre-Loading, PBD공법, 단계쌓기, 지반개량공법	
구조물 공사기간	6개월	ㆍ연약지반 처리 후 터파기 포함 ㆍ주요구조물(교량)과 간섭이 없는 구간 : 6개월	
포 장 기 간	3개월		
부대공 및 마무리	3개월		
총 계	36개월		
공사기간 검토	• 사업구간의 공사기간은 3년으로 연약지반 처리기간(Pre-Loading 및 PBD공법, 단계쌓기, 지반개량공법)은 20개월 이하로 계획하였으며, 검토에 적용한 연약지반 처리기간은 현장계측결과, 현장상황 및 시공조건에 따라 감독관과 협의하여 변경		

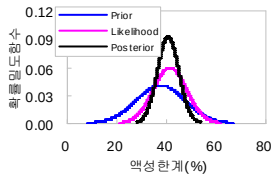
2.2 연약지반 공학적 특성 분석

2.2.1 물리적 특성 분석

기존보고서 연약지반 지반정수 참고(1-2구간)

구 분	액성한계(%)	소성지수(%)
인근자료	26.7~42.3	4.3~17.8
기본설계	45.5	20.9
실시설계	36.8	14.5

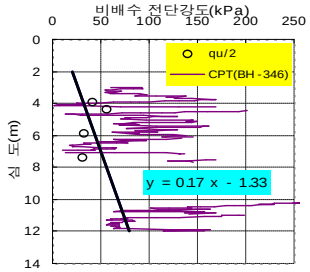
1-2구간



2.2.2 역학적 특성 분석

○ 전단강도 분석

1-2구간



구 분	기본설계	1-2구간
평균 S_u (kPa)	20.7	34.0
상관식	S_u = 0.19D-0.58	S_u = 5.8D + 7.8 (평균 28.0)
검 토 결 과	• 기본설계에서 추정한 평균 S_u는 20.7 kPa이며, 심도에 따른 상관식은 S_u=0.19D-0.58 kPa임 • 평균 S_u는 1구간은 32.0~34.0kPa이나 평균심도 3.5m를 적용하여 28.0kPa, 3구간은 시험의 평균값 22.0kPa을 적용하고, 2,4구간은 3구간 결과 이용	

■ 강도증가율 산정

구 분	기본설계	1-2구간
인근자료	-	-
기본설계	-	0.18~0.21 (0.20)
실시설계	-	0.15~0.72 (0.31)
적 용	0.183	0.25

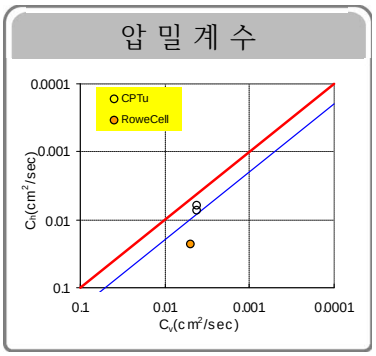
○ 과압밀비(OCR), 초기간극비(e_o) 및 압축지수(C_c)

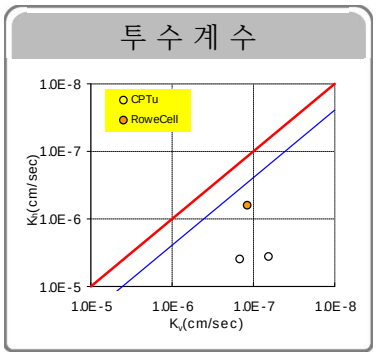
구 분	과압밀비(OCR)		초기간극비(e_o)		압축지수(C_c)	
	기본설계	1-2구간	기본설계	1-2구간	기본설계	1-2구간
인근자료	-		-		-	
기본설계	-	-	-	0.962	-	0.194
실시설계	-	0.9~3.4 (2.2)	-	0.876	-	0.243
적 용	0.37(정규압밀)	과압밀(OC)	0.699	0.88	0.155	0.24

연직압밀계수 및 투수계수, 재압축지수(C_r) 및 2차압축지수(C_α)

구 분	연직압밀계수 ($10^{-3}cm^2/sec$)		투수계수 ($10^{-7}cm/sec$)		재압축지수 (C_r)		2차압축지수 (C_α)	
	기본설계	1-2구간	기본설계	1-2구간	기본설계	1-2구간	기본설계	1-2구간
인근자료	-		-		-		-	
기본설계	-	4.28	-	0.66	-	-	-	0.0036
실시설계	-	4.03	-	0.83	-	0.038	-	0.0032
적 용	3.452	4.00	2.561	0.80	-	0.04	0.0037	0.0034

압밀이방성 분석





구 분		C_h/C_v	K_h/K_v
문헌자료		1~9	1~15
인근자료			
기본설계 적용		2.0	1.5
시험 결과	현장시험	1.46~1.68	5.3~54.6
	실내시험	4.45	5.28
적 용		2.0	2.5

2.2.3 설계지반정수 산정

구 분	함수비(%)	단위중량 (kN/m^3)	S_u(kPa)	강도증가율	초기간극비	압축지수	C_v ($10^{-3}cm^2/s$)	k_v ($10^{-7}cm/s$)
1-2구간	35.0	18.0	28.0	0.25	0.88	0.24	4.00	0.80

제 3 장 연약지반 안정성 검토

3.1 연약지반 설계기준

3.1.1 쌓기속도 및 설계하중

토질 상태	쌓기 속도	
• 점토층이 두꺼운 경우 및 흑니 • 유기질토가 두꺼운 이탄질 지반	0.9m/월	-
• 보통 점토질 지반	1.5m/월	적용
• 점토층이 얇은 경우 및 흑니 • 유기질토가 거의 없는 이탄질 지반	3.0m/월	-

차량 및 포장체 하중	쌓기재 하중
• 차량하중 : 13.0kPa • 포장단위하중 : 23.0kPa	• 암버력 쌓기재 적용시 (단위중량 : 21kN/m^3) • 터널 암버력 이용

3.1.2 허용 잔류침하량

도로의 허용잔류침하량 (도로설계요령 제2권, 토공 및 배수, 2009)	허용잔류침하량(cm)	비 고
포장공사 완료 후의 노면요철	10	지질특성상 장기침하 발생가능
BOX CULVERT 시공시의 더 올림시	30	
배 수 시 설	15 ~ 30	

도로의 허용 잔류침하량 (일본도로공단)	허용잔류침하량(cm)
포장공사 종료 후의 노면의 요철에 관한 허용치	10
BOX CULVERT 시공시의 더 높임에 관한 허용치	30

연약층 두께에 따른 허용잔류침하량 (일본도로공단 설계요령 제2집)	연약층 두께	허용잔류침하량(cm)	비 고
	D ≤ 10m	10	
	D ≤ 30m	20	
	D > 30m	30	

3.1.3 비탈면 최소안전율

구 분		최 소 안 전 율	
한국도로공사	도 로 설 계 요 령	• 축조 기간 중	Fs > 1.2
		• 공용하중 개시 후	Fs > 1.3
	도 로 설 계 실 무 편 람	• 축조 기간 중	Fs > 1.2
		• 공용하중 개시 후	Fs > 1.3
국토교통부		• 축조 기간 중	Fs > 1.1
		• 공용하중 개시 후	Fs > 1.3
일 본 건 설 성		• 표준적인 계획안전율	Fs ≥ 1.1~1.3
일본 도로실무강좌 5		• 도로토공, 연약지반 대책공 지침	Fs ≥ 1.2~1.3

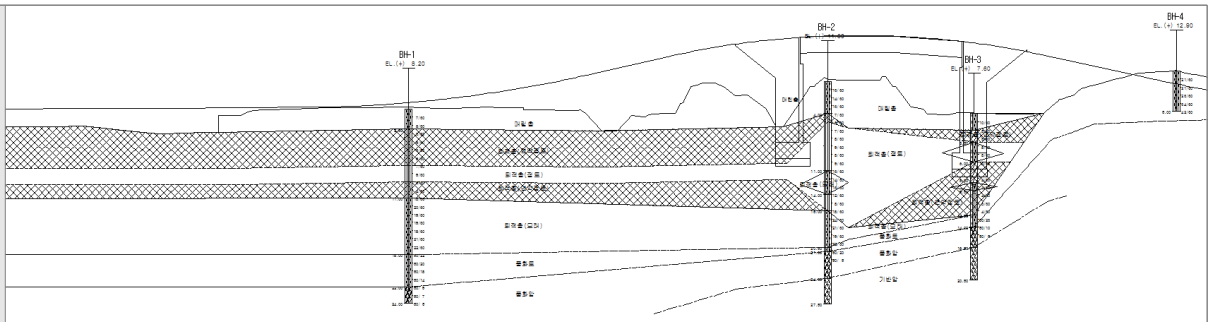
3.1.4 설계기준 적용

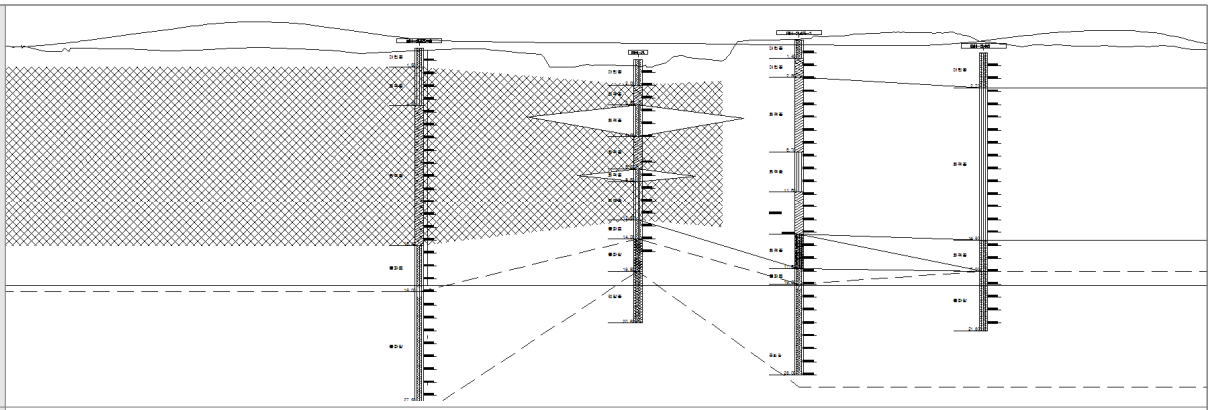
구 분			적 용 값	비 고
허 용 잔 류 침 하 량			10.0cm	-
쌓기비탈면 안전율	평상시	축조시	1.2	-
		공용시	1.3	-
	지진시		1.1	-
적 용 하 중			성토하중+포장하중+교통하중	포장단위하중=23.0kPa 교통하중=13.0kPa

3.2 연약지반처리 필요유무 검토

3.2.1 연약지반 구간별 지층현황 검토

◎ 연약지반 구간별 검토단면 선정

난점마을 진입도로 0+000 ~ 0+260	
지층현황	• 상부 매립층이 2.3~4.0m 층후로 분포하며, 하부 퇴적 점토층이 5.99~7.37m 층후로 분포

부체도로 #1-3 0+000 ~ 0+160	
지층현황	• 상부 매립층이 1.5~2.0m 층후로 분포, N < 4 이하의 퇴적 점토층이 7.00~13.90m 층후로 분포

◎ 연약지반 검토단면 선정

구 간	위치 (STA.)	압밀 침하검토	비탈면 안정검토	시추 공번	연약층 두께(m) 점토 및 실트	성토고 (m)	비 고
난점마을 진입도로	0+040	O	O	BH-1	5.99	3.17	-
	0+160	O	O	BH-2	7.37	6.68	-
부체도로 #1-2	0+030	O	O	BH-2	6.90	2.83	-
부체도로 #1-3	0+066	O	O	BH-3	13.90	2.17	-

• 연약지반 구간별 지층현황 분석 후 상세 구간 검토
• 난점마을 진입도로 및 부체도로 #1-2, #1-3구간은 연약층 층후가 5.99~13.90m 로 상세 검토

3.2.2 무처리시 연약지반 압밀소요기간 검토

○ 침하량 산정방법

- 사질토 $S_i = \frac{0.4 P_0 H}{N} \log(\frac{P_0 + \Delta P}{P_0})$
- 점성토 - 정규압밀 : $S_c = \frac{C_c H}{1+e_0} \log(\frac{P_0 + \Delta P}{P_0})$
  - 과 압 밀 $P_0+\Delta P \le PC$ 일 때 : $S_c = \frac{C_r H}{1+e_0} \log(\frac{P_0 + \Delta P}{P_0})$
  $P_0 < PC \le P0+\Delta P$ 일 때 : $S_c = \frac{C_r H}{1+e_0} \log(\frac{P_c}{P_0}) + \frac{C_c H}{1+e_0} \log(\frac{P_0 + \Delta P}{P_c})$

○ 압밀소요기간 산정방법

- 압밀소요기간 $t = \frac{T_v \cdot H^2}{C_v}$

여기서, t = 압밀소요기간
Tv = 시간계수 (U=90% 일 때 Tv=0.848)
H = 연약층 두께 (일면배수 H=D, 양면배수 H = D/2)
Cv = 압밀계수 (cm^2/sec) 시간계수
U = 53% 이하일 경우 $Tv = \pi/4 (U/100)^2$
U = 54% 이상일 경우 $Tv = 1.781 - 0.933 \log(100-U)$

○ 무처리시 침하량 및 압밀기간 결과

구 간		위치 (STA.)	쌓기고 (m)	연약층 두께(m)	배수 조건	총침하량 (cm)	잔류침하량(cm) U = 90%	압밀기간 (개월)
난점마을 진입도로	0+000~0+260	0+040	3.17	5.99	일면	11.82	1.18	19.9
		0+160	6.68	7.37	일면	34.97	3.50	15.9
		0+196.5	8.37	5.95	일면	41.70	4.17	21.3
		0+240	8.73	7.65	양면	36.32	3.63	36.5
부체도로#1-2	0+000~0+040	0+030	2.83	6.90	양면	36.67	3.67	12.0
부체도로#1-3	0+000~0+160	0+066	2.17	13.90	양면	19.67	1.97	34.2
검토 결과		• 일시 쌓기후 방치기간 목표 압밀도는 90%, 준비 기간은 4개월, 연약지반 처리기간 20개월, 배수조건은 구간별 특성에 따라 일면배수 및 양면배수 조건으로 검토 • 난점마을 진입도로 구간중 0+196.5, 0+240단면은 보강토옹벽 구간으로 연약지반개량공법 대책공법 검토						

○ 무처리시 연약지반 처리공법 판정 결과

구 간		위치 (STA.)	압밀 총 소요기간 (개월)				처리가능기간 (개월)	처리필요 유 무
			준비기간	쌓기기간	방치기간	총기간		
난점마을 진입도로	0+000~0+260	0+040	4	2.4	17.5	22.7	15	필요
		0+160	4	5.4	10.5	17.2	15	필요
부체도로 #1-2	0+000~0+040	0+030	4	1.9	10.1	15.1	15	필요
부체도로 #1-3	0+000~0+160	0+066	4	2.3	31.9	37.1	15	필요

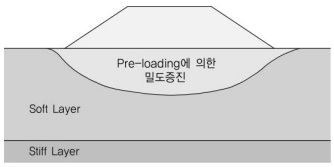
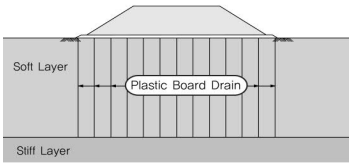
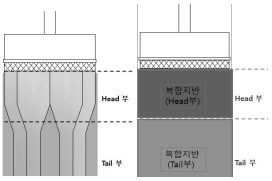
주) 1. 소요압밀기간은 90%에 해당하는 압밀기간임 2.처리가능기간은 용지보상기간을 반영해 15개월로 적용함
3. 총 소요시간은 쌓기기간 중의 압밀을 고려하여(쌓기기간/2+소요압밀기간) 계산

3.3 연약지반 개량공법 선정

기본방향

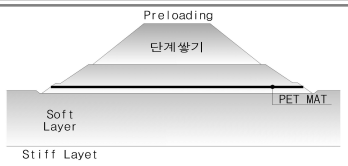
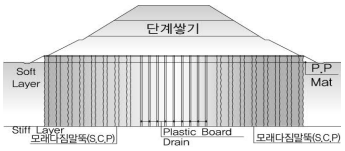
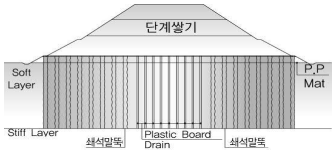
- 지반개량공법의 적용성을 평가하기 위한 예비 검토 수행
- 연약지반 구간별 대표단면을 설정하고 무처리시의 침하량 및 압밀소요시간 산정

3.3.1 연약지반 개량공법 적용성 검토

구 분	Preloading 공법	Preloading + PBD공법	지반개량공법
개요도			
개 요	• 설계하중 이상의 여성토 하중을 가하여 연약지반을 개량	• 연직으로 Plastic Board Drain을 타설 배수거리를 단축 압밀촉진	• 원지반을 개량하여 연약지반의 평균강도를 증가시켜 지내력 확보
특 징	• 침하량에 비례한 여성토량 증가 시공법으로 매우 간단 • 경제성 측면에 양호 • 연약 층후가 두터운 경우 곤란하며, 연약지반 처리 기간내에 적용	• 재료수급 및 배수효과 일정 • 경제성 양호 • 설치 후 측압, 압밀의 영향으로 Drain Board투수 기능저하 • 치환에 따른 강도증가가 없음 • 재료강도저하로 피복재파열	• 설계하중을 개량율에 따라 원지반 및 개량체가 분담(아칭효과) • 개량율(치환율)을 고려하여 설계물성을 산정함 • 시공범위가 3m이하~40m가능 • 공기가 짧아 시공성 좋음
구 간	◉	◉	◉(보강토옹벽구간)

- 연약지반 처리기간 15개월 내에 허용잔류침하량을 만족하기 위해서는 별도의 압밀침하촉진공법 적용 필요
- Preloading공법은 연약지반 심도가 낮아 개량효과를 얻을 수 있는 구간에 적용하며, 연약지반 분포 심도에 따라 현장 적용성 및 압밀효과가 우수하며, 시공성이 양호한 Preloading공법+PBD공법 적용
- 보강토옹벽구간은 하부지반의 침하로 인한 보강토옹벽의 균열 등이 우려되며, 시공 후 하자를 최소화하기 위하여 연약지반 개량 효과가 우수한 지반개량공법을 적용

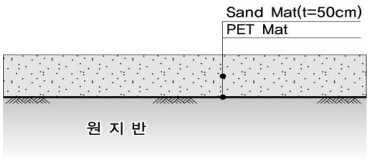
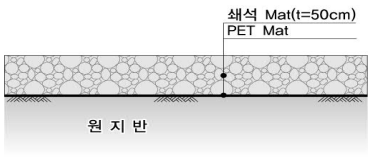
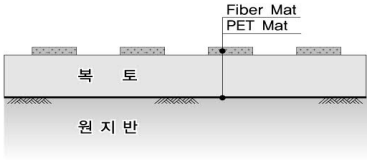
3.3.2 연약지반 활동방지 대책공법 검토

구 분	단계쌓기	단계쌓기 + 모래다짐말뚝(S.C.P)	단계쌓기 + 쇄석말뚝(G.C.P)
개요도			
개 요	• 비탈면활동을 고강도 인장Mat의 인장력에 의해 활동을 방지하는 공법으로 쌓기하중에 따라 Mat의 인장력을 다르게 적용할 수 있음	• 직경400mm의 케이싱을 지중에 압입시켜 원지반내에 직경 700mm의 모래다짐말뚝을 형성시켜 지반을 보강하는 공법	• 직경400mm의 케이싱을 지중에 압입시켜 원지반내에 직경 700mm의 다짐쇄석말뚝을 형성시켜 지반을 보강하는 공법
특 징	• 공정 및 시공성 용이 • 공사비 타공법 대비 저렴 • 연약층심도가 깊지 않고 쌓기고가 낮은 경우 적용성 우수	• 압밀시간 단축 및 침하량 저감 • 지반활동저항에 대한 신뢰도 양호 • 시공실적이 많음	• 압밀시간 및 압밀침하량 저감 • ø40mm 이하의 쇄석 사용으로 활동방지 효과가 양호 • 사용골재의 구입 용이
구 간	◉	-	-

- 연약지반 비탈면활동에 대한 대책공법이 요구되는 구간에 대해 시공이 용이하고, 공사비가 타공법에 저렴한 고강도 단계쌓기 적용

3.3.3 수평배수공법 설계

◎ 수평배수공법 비교

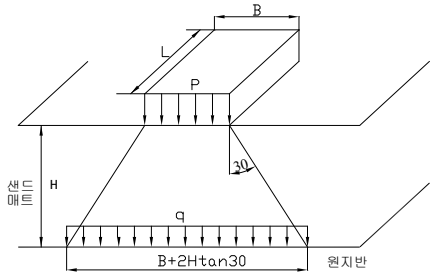
구 분	Sand Mat 공법	쇄석 Mat 공법	Fiber Mat 공법
개요도			
개 요	• 원지반과 쌓기체 접속부에 모래층을 포설하여 원지반에서 유출되는 간극수를 쌓기체 외부로 배출하는 공법	• 원지반과 쌓기체 접속부에 모래대신 쇄석층을 포설하여 원지반에서 유출되는 간극수를 쌓기체 외부로 배출하는 공법	• 연약지반상의 수평배수재 Fiber Mat를 포설하여 원지반에서 유출되는 간극수를 쌓기체 외부로 배출하는 공법
특 징	• 원지반과 점토층과의 입도차가 크지 않아 필터기능 우수 • 모래수급이 용이할 경우 우수	• 원지반과 쇄석층의 입도차이로 쇄석 Mat층으로 원지반 점토 혼입에 따라 배수기능 저하	• Fiber Mat의 Well Resistance 발생시 배수기능 저하 • 천연섬유소재로 환경친화적공법
구 간	-	◉	-

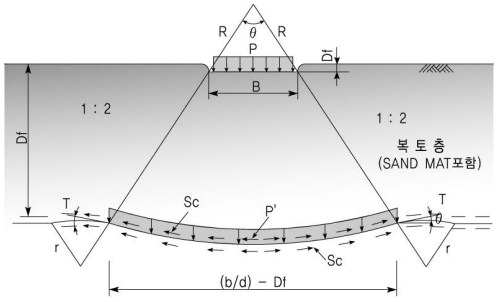
• 시공실적이 풍부하고 쇄석의 사용으로 양호한 배수기능을 수행 할 수 있는 쇄석 Mat를 적용

◎ 수평배수공 두께 검토

▮ 장비주행성 확보를 위한 매트 두께 산정

• 시공장비의 접지압이(q) 허용지지력(q_a)보다 큰 경우에는 수평배수재 시공장비의 접지압을 감소시켜 $q < q_a$ 가 될 수 있는 수평배수재 두께를 산정한다.
• 연약지반 상부에 Mat 및 수평배수 Mat를 부설 후 P.B.D 타설장비가 재하하게 되므로 연약지반의 지지력 검토는 저면 Mat 및 수평배수 Mat의 보강효과를 고려한 Yamanouchi의 제안식을 사용하였다.

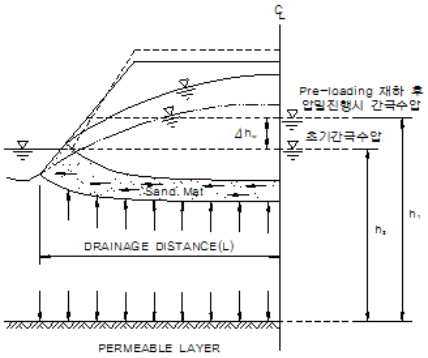
장비 접지압에 대한 Model	직사각형 등분포 하중 조건
	$q = \frac{p}{2[(B+2H\tan 30) \times L]}$ 여기서, q : 원지반 작용응력(kPa) p : 장비중량(kN) H : 수평배수재의 두께(m) B, L : 장비궤도 접지폭(m), 길이(m)

복토 완료후 매트의 지지력에 대한 모델	Yamanouchi의 제안식
	$q_a = \frac{1}{F_s}(1+\frac{d}{b})(cN_c+\frac{2T\sin\theta}{b})$ Fs=안전율 (단기 흙쌓기인 경우 1.5를 적용) b=장비의 접지폭(m), d=Sand Mat두께(cm) T=저면 Mat의 인장강도(50 kN/m) θ=Mat가 수평면과 이루는 각(30°) c=원지반의 점착력, Nc=지지력계수(5.14)

구 분	구간	원지반 강도 (kN/m^2)	허용지지력 (qa) (kN/m^2)	접지압 (qd) (tf/m^2)	안전율 (Fs)	판 정	비 고
드레인장비 (유압식 60t)	0+160	30.0	156.76	90.77	2.0	O.K	쇄석 Mat 0.5m 두께

배수기능을 위한 매트 두께 산정

- 압밀 진행에 의한 지표로 배수된 간극수는 수평배수재를 통하여 수평방향으로 배출되며 수평배수재의 두께, 투수계수, 수평배수거리는 압밀속도에 상당한 영향을 준다.
- 수평배수재의 변형을 고려하지 않고 간극수의 배출만을 고려할 때 수평배수재 두께는 다음과 같이 계산할 수 있다.

장비 접지압에 대한 Model	직사각형 등분포 하중 조건
	$\triangle h_w = \frac{L^2 \times S}{2 \times k \times h}$ 여기서, k : 쇄석 재료의 투수계수 (5.0×10-2cm/s) S : 쌓기재하시의 평균침하속도 L : 수평배수 배수거리 $\triangle h_w$: 매트내 압력수두(cm) h : 매트 두께 ∴ 매트 두께(h) ≥ $\triangle h_w$ (O.K.)

구간	대표단면	배수층두께 (cm)	투수계수 (cm/s)	배수거리 (m)	침하속도 (cm/일)	△hw (cm)	판 정
난점마을 진입도로	0+160	50	5×10^{-2}	11.25	0.034	0.10	O.K

검토결과

- 성토시 원지반이 쇄석 Mat와 혼합될 경우 배수층 역할을 충분히 발휘할 수 없으므로 P.P Mat 포설을 계획하였다.
- 장비의 주행성, 배수기능 검토로부터 50cm의 쇄석 Mat 포설 두께를 산정하였다.

○ 수평배수재 품질관리 기준 및 시공시 유의사항

• 수평배수재 용으로 사용되는 쇄석은 배수가 잘되고, 아래의 입도 규정에 적합하게 생산된 쇄석을 적용한다. [LH 전문시방서, 2012]

최대치수 (mm)	40mm 통과량 (%)	38mm 통과량 (%)	19mm 통과량 (%)	5mm 통과량 (%)	2mm 통과량 (%)	0.4mm 통과량 (%)	0.08mm 통과량 (%)	투수계수 (cm/s)
40	100	80~100	55~100	30~70	20~55	5~30	2~10	5.0×10^{-2} 이상

• 세립분의 함량 또는 입도가 품질기준을 초과할 때에는 투수시험을 실시하고 감독자의 승인을 받아 사용할 수 있다.

• 사용재료는 충분한 내구성을 가져야 한다. 사용 재료는 시공에 앞서 설계도서에서 제시한 방법에 따라 재료시험을 실시하고 그 결과를 감독자에게 제출하여 승인을 받아야 한다. 또한 풍화된 것으로 추정되는 재료를 사용할 때에는 다짐에 의한 투수성 저하를 고려하여 지반강도시험 및 투수시험을 실시하여야 한다.

• 수평배수층 포설은 충분히 표면배수를 시킨 후, 설계도서에 따라 원지반상에 균일한 두께로 포설하여야 한다.

• 균일하고 연속된 층을 형성하고 배수효과를 높이기 위해 진흙이나 이토 등이 혼입되지 않도록 주의하여야 한다.

• 수평배수층을 포설하는 방법으로는 강압건식에 의한 방법, 벨트 컨베이어에 의한 방법, 분배식 포설기에 의한 방법, 크레인을 이용한 방법 및 도자에 의한 방법 등이 있으며, 장비의 접지압과 표층 지반강도를 고려하여 지반의 전단파괴가 발생하지 않도록 하여야 한다.

• 수평배수층을 포설한 후 시공장비의 주행성능에 대한 안정성을 검토하여 문제가 있다고 판단될 경우에는 수평배수층의 두께를 조정하여 안정성을 재검토하여야 하며, 수평배수기능에 필요한 두께 이상은 감독자의 승인을 얻은 후 산토(양질의 토사)를 사용할 수 있다.

• 수평배수층의 폭은 흙쌓기부의 침하를 고려하여 최종침하시에도 원활한 배수기능을 수행할 수 있도록 제체 측면으로부터 충분한 여유폭을 제체 양단부에 연결하여 포설하여야 하며, 또한 단계별 흙쌓기와 존치기간 중에도 배수기능이 저하되지 않도록 지속적으로 유지관리하여야 한다.

• 연약지반 처리기간 동안 수평배수층 내에서 배수되는 유출수의 원활한 배수를 위해 배수계획에서 설치 계획한 측구 위치 및 사면 끝에 가배수로 역할을 할 수 있는 토사측구를 설치하여야 한다.

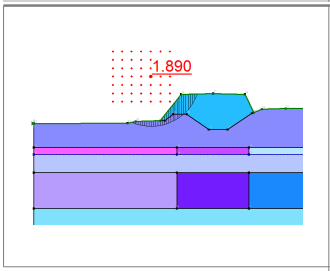
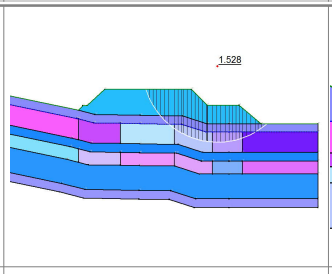
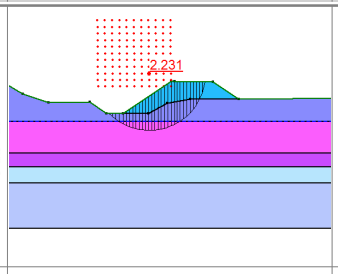
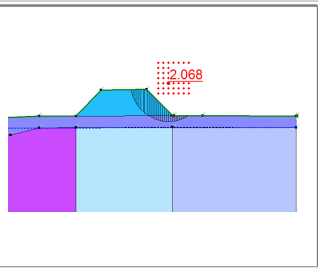
3.3.4 연약지반 활동파괴에 대한 안정성 검토

○ 일시 쌓기 검토개요

• 연약 지반상에 흙쌓기가 이루어질 경우, 쌓기 하중으로 인한 연약지반내 전단파괴가 유발될 수 있으며 이는 원호활동으로 가정한 한계평형해석을 수행함으로써 그 가능성을 평가할 수 있다.

• 따라서, 지반조사 등을 통하여 평가된 연약지반 강도 특성을 토대로 쌓기 비탈면의 안정성을 검토하고 그 결과에 따라 계획 쌓기고를 형성하기 위한 보강계획 또는 단계별 쌓기 설계를 수행 한다. 현장조사 및 시험성과로부터 산정된 지반정수를 이용하여 쌓기 비탈면에 대한 안정성 검토를 수행

◎ 일시 쌓기 비탈면 안정검토

난점마을 진입도로 STA. 0+040	난점마을 진입도로 STA. 0+160	부체도로 #1-2 STA. 0+030	부체도로 #1-3 STA. 0+066
			
Fs = 1.890 > 1.3 ⇒ O.K	Fs = 1.528 > 1.3 ⇒ O.K	Fs = 2.231 > 1.3 ⇒ O.K	Fs = 2.068 > 1.3 ⇒ O.K

◎ 일시 쌓기시 비탈면안정 해석 결과

구 간	대표단면 (STA.)	쌓기고 (m)	연약층두께(m)	해석안전율	기준안전율	판 정
난점마을 진입도로	0+040	3.17	5.99	1.890	1.3	O.K
	0+160	6.68	7.37	1.528	1.3	O.K
부체도로 #1-2	0+030	2.83	6.90	2.231	1.3	O.K
부체도로 #1-3	0+066	2.17	13.90	2.068	1.3	O.K

- 난점마을진입도로 일시 쌓기시 비탈면 안정해석 결과 안정성 확보 가능함

3.3.5 연약지반 한계 쌓기 검토

- 연약지반상에 과대 흙쌓기 하중을 급속히 재하하면 지반은 활동을 일으켜 여러 가지 형태의 파괴로 나타나 일반적으로 연약층이 깊은 경우는 단계 흙쌓기 검토에 의해 연약지반상의 흙쌓기체 안정성 검토

◎ 지반의 강도증가율 산정

- 흙 쌓기하중에 의해 증가된 점착력을 적용
- 점착력 증가 식 : $C = Co + c/p \times \Delta P \times U$

여기서, C : 증가된 점착력 Co : 초기 점착력

c/p : 점착력/선행압밀하중 = 강도증가율 ΔP : 증가된 유효응력 U : 압밀도

▮ 물성시험을 이용한 실험값에 의한 방법

- 소성지수와 액성한계를 이용한 방법으로 산정식은 다음과 같음

Su/P = 0.11 + 0.0037PI (단, PI > 10) (Skempton과 Henkel식) 여기서, PI : 소성지수(%)

Su/P = 0.45LL (단, LL > 40) (Hansbo식) 여기서, LL : 액성한계

깊이에 따른 강도증가 경험식으로부터 Su/P를 구하는 방법

• 건설부 제정 항만설계기준(1971)에 수록된 내용을 바탕으로 깊이에 따른 강도증가 경험식으로부터 Su/P를 구하는 방법은 다음과 같음 :

Su = So + KZ 여기서, So : 지표면에 있어서의 Su값(kPa)
K : 깊이에 대한 Su의 증가율(kPa)
Z : 지표면으로 부터의 깊이(m)

지반의 강도증가율 산정 결과

• 물성시험을 이용한 실험값에 의한 강도산정 적용 결과 지반강도 증가율은 0.24~0.25로 산정

한계 쌓기고 높이 산정

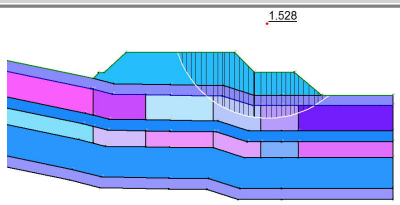
도로설계요령(한국도로공사) 제안식에 의한 한계 쌓기고 높이산정

• 도로설계요령(한국도로공사)에서 제안한 한계 흙쌓기 높이 산정식

$$H_c = \frac{5.14\ C_u}{\gamma_t \cdot F_s}$$ 여기서, H_c : 한계흙쌓기높이,

C_u : 비배수전단강도(kPa) γ_t : 흙의 단위체적중량(KN/m³), F_s : 안전율

한계쌓기고 비탈면 안정해석 결과

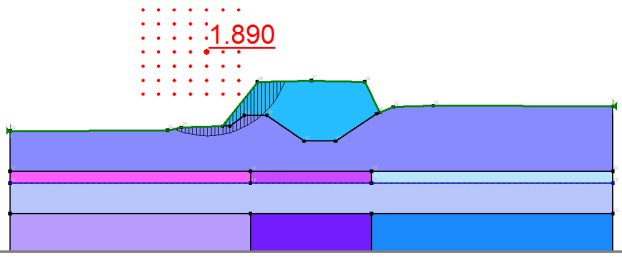
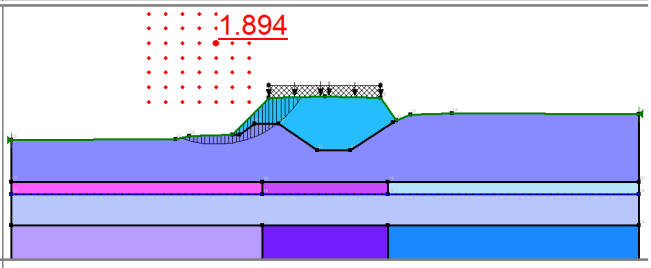
구 분	γ_t (kN/m³)	C_u (kPa)	Fs	도로공사 제안식 한계 쌓기고(m)	STA.0+160 (성토고 6.68m)	적용 (m)
난점마을 진입도로 STA.0+160	19.0	28.0	1.2	6.3	 Fs = 1.528 > 1.2 ⇒ O.K	6.0

- 난점마을진입도로 구간중 성토고가 최대높이인 STA.0+160구간은 일시쌓기시 안정함
- 도로공사 제안식의 한계 쌓기고는 6.3m로 검토됨
- 안정측으로 도로공사 제안식을 반영하여 한계 쌓기고를 6.0m로 적용함

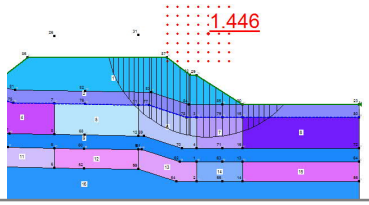
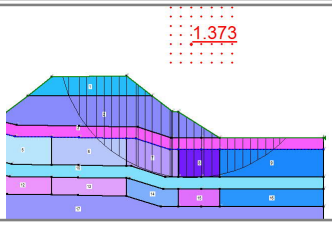
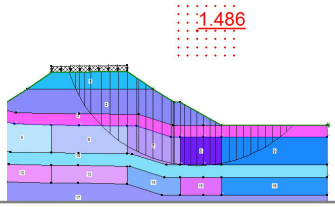
3.3.6 구간별 비탈면 안정 검토

• 무처리시 산정된 총쌓기고 및 지층의 분포 상태를 고려하여 검토단면을 설정하였고, 공용 후 차량 하중과 쌓기 계획고를 고려하여 교통하중을 적용
• 난점마을 진입도로 연약지반구간 중 보강토옹벽 구간에 대해 대표단면 선정 후 안정 검토 수행

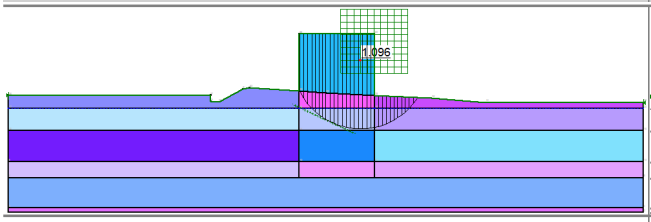
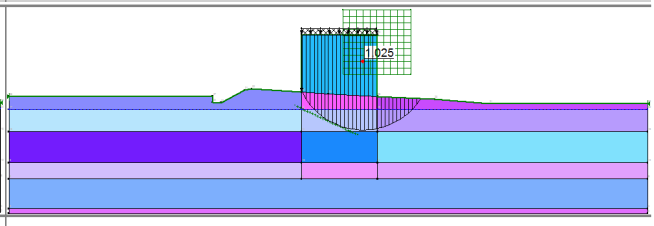
■ 난점마을 진입도로 STA. 0+040

STA. 0+040 (일시쌓기)	
시공중	공용시
	
FS = 1.89 > 1.2 ⇒ O.K	FS = 1.89 > 1.3 ⇒ O.K

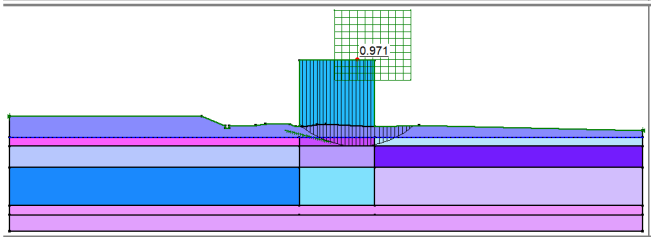
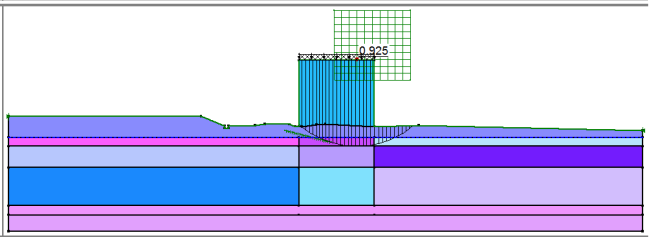
■ 난점마을 진입도로 STA. 0+160

STA. 0+160 (단계쌓기)		
1단계	2단계	공용시
		
FS = 1.45 > 1.2 ⇒ O.K	FS = 1.37 > 1.2 ⇒ O.K	FS = 1.49 > 1.3 ⇒ O.K

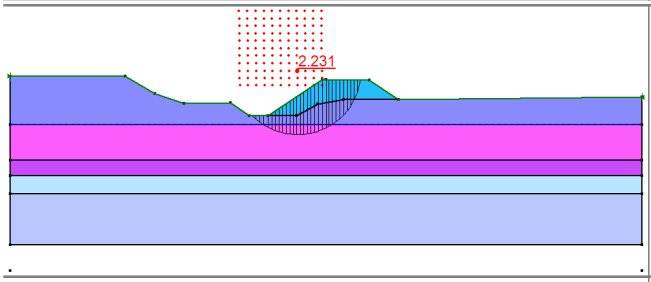
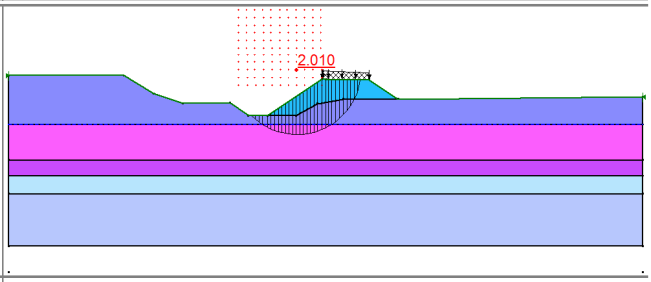
■ 난점마을 진입도로 STA. 0+196.5(보강토옹벽)

STA. 0+196.5	
시공중	공용시
	
FS = 1.10 < 1.2 ⇒ N.G	FS = 1.02 < 1.3 ⇒ N.G

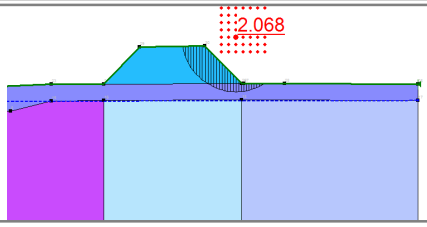
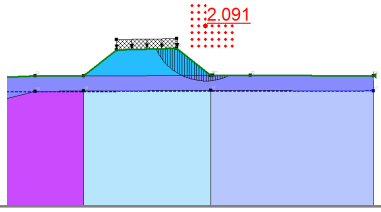
■ 난점마을 진입도로 STA. 0+240(보강토옹벽)

STA. 0+240	
시공중	공용시
	
FS = 0.97 < 1.2 ⇒ N.G	FS = 0.92 < 1.3 ⇒ N.G

■ 부체도로 #1-2

STA. 0+030 (일시쌓기)	
시공중	공용시
	
FS = 2.23 > 1.2 ⇒ O.K	FS = 2.01 > 1.3 ⇒ O.K

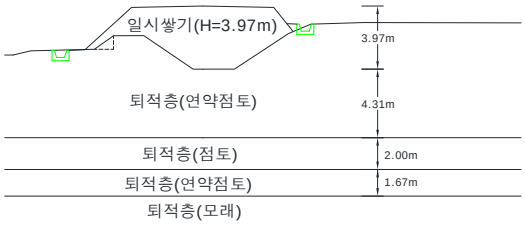
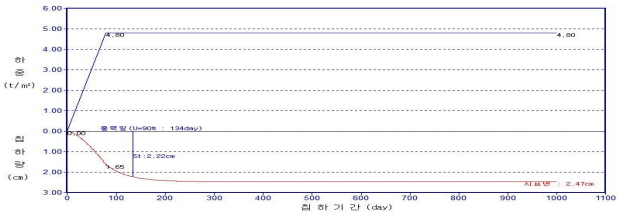
■ 부체도로 #1-3

STA. 0+066 (일시쌓기)	
시공중	공용시
	
FS = 2.07 > 1.2 ⇒ O.K	FS = 2.09 > 1.3 ⇒ O.K

- 단계쌓기에 의한 강도증가를 고려한 쌓기비탈면 안정해석을 수행한 결과, 보강토옹벽 구간을 제외한 모든 구간에서 기준안전율 이상으로 안정한 것으로 나타남
- 보강토옹벽 하부 연약지반의 경우 추가적인 연약지반 개량공법이 필요한 것으로 판단됨

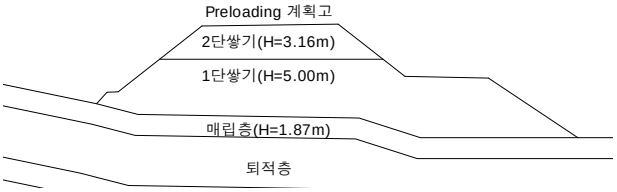
3.3.7 구간별 연약지반 처리공법 현황

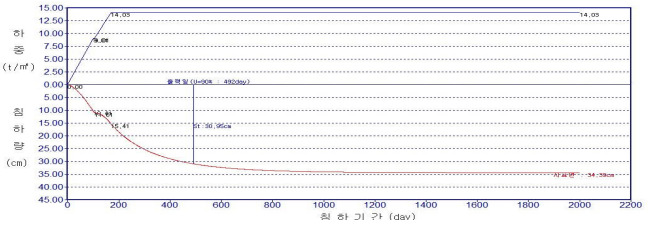
■ 난점마을 진입도로 (STA. 0+000~0+180, L=180m)

난점마을 진입도로 STA. 0+040	
	

총쌓기	단계 쌓기	쌓기고(m)	재 하 기 간			압 밀 도(%)	압밀침하량(cm)
			쌓기기간(개월)	방치기간(개월)	총계(개월)		
3.97	1 단계	3.97	2.6	1.8	4.4	90%	2.47
	계	3.97	2.6	1.8	4.4		
잔류침하량		총침하량(2.47) - 발생침하량(2.22) = 0.25cm ∴ O.K					
연약지반개량		프리로딩 공법 적용					

난점마을 진입도로 STA. 0+160



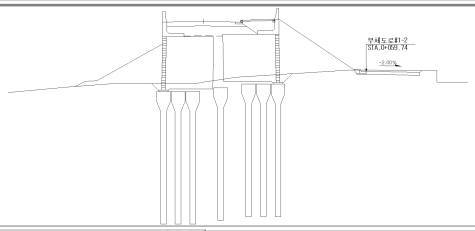


총쌓기	단계 쌓기	쌓기고(m)	재 하 기 간			압 밀 도(%)	압밀침하량(cm)
			쌓기기간(개월)	방치기간(개월)	총계(개월)		
8.16	1 단계	5.00	3.3	4.0	7.3	90%	30.95
	2 단계	3.16	2.1	5.3	7.4		
	계	8.16	5.4	9.3	14.7		
잔류침하량		총침하량(32.66) - 발생침하량(29.39) = 3.27cm ∴ O.K					
연약지반개량		PBD공법(1.5m x 1.5m) + Preloading 공법 적용					

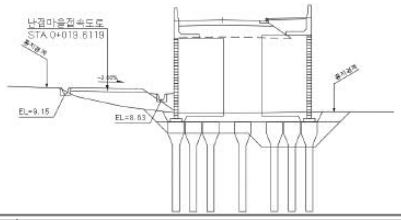
난점마을 진입도로 보강토옹벽구간 (STA. 0+175~0+196.5, 0+240~0+260, L=41.5m)

난점마을 진입도로 보강토 옹벽구간

STA. 0+180



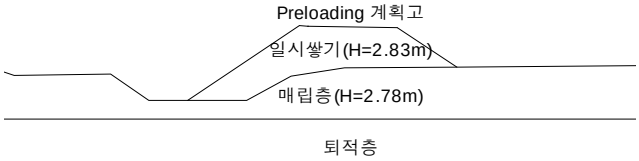
STA. 0+250

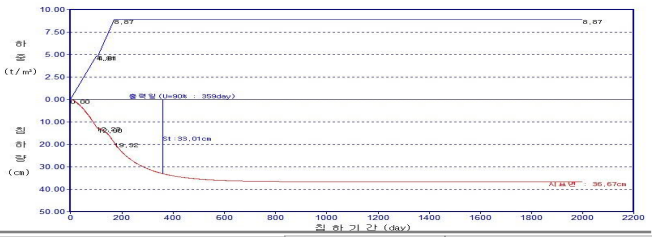


구 분	STA. 0+180	STA. 0+250
	침하량(cm)	침하량(cm)
개량구역 침하량(cm)	2.79	5.50
하부지반 침하량(cm)	0.02	0.14
총 침하량(cm)	2.81	5.64
연약지반개량	지반개량공법 적용	

부체도로 #1-2 (STA. 0+000~0+140, L=140m)

부체도로 #1-2 STA. 0+030

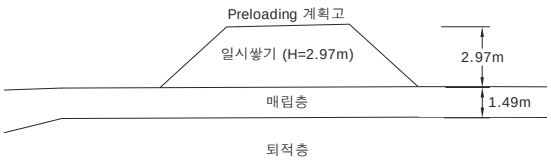




총쌓기	단계 쌓기	쌓기고(m)	재 하 기 간			압 밀 도(%)	압밀침하량(cm)
			쌓기기간(개월)	방치기간(개월)	총계(개월)		
2.97	1 단계	2.83	1.9	10.1	12.0	90%	33.0
	계	2.83	1.9	10.1	12.0		
잔류침하량		총침하량(36.67) - 발생침하량(33.0) = 3.67cm ∴ O.K					
연약지반개량		프리로딩 공법 적용					

■ 부체도로 #1-3 (STA. 0+000~0+140, L=140m)

부체도로 #1-3 STA. 0+066



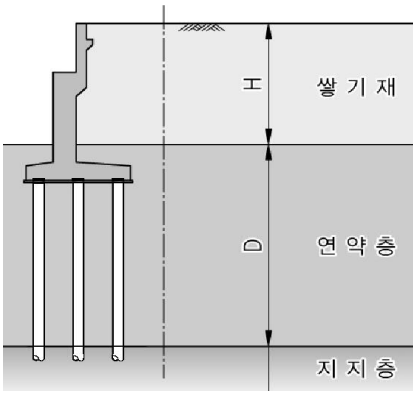
총쌓기	단계 쌓기	쌓기고(m)	재 하 기 간			압 밀 도(%)	압밀침하량(cm)
			쌓기기간(개월)	방치기간(개월)	총계(개월)		
2.97	1 단계	2.97	2.0	19.5	21.5	90%	19.64
	계	2.97	2.0	19.5	21.5		
잔류침하량		총침하량(19.64) - 발생침하량(17.68) = 1.96cm ∴ O.K					
연약지반개량		Preloading 공법 적용 용지보상이 완료되어 21.5개월 적용 가능					

3.4 연약지반내 구조물 안정성 검토

3.4.1 연약지반 교대 측방유동 검토

◎ 연약지반상의 교대 측방유동 안정성 검토

- 측방유동 가능성이 있는 교대부에 대하여 경험적 방법인 측방유동지수(F), 측방유동판정지수(I), 원호활동파괴에 대한 안정성 검토를 우선 수행
- 교대는 비탈면의 안정성 보다는 사면변형에 의한 구조물 기능이 문제될 수 있으므로 안전율 기준을 말뚝효과 미고려시 Fs=1.5, 말뚝효과 고려시 Fs=1.8을 적용함 (국내연구결과 참조, 1994 홍원표)
- 연약지반의 경우 성토로 인한 강도증가를 고려하여 안정성 검토
- 안정성 검토결과 측방유동의 우려가 있는 경우 대책공법을 검토하여 안정성 재검토

판 정 기 준	판정 방법	비 고
측방유동지수(F)에 의한 방법 (일본도로공단)	• 판정방법 : $F = c_u / (\gamma \cdot H \cdot D) > 0.04$ • 판 정 : 0.027 < 0.04 - 교대의 측방유동 가능성 있음	
측방유동판정지수(I_L)에 의한 판정법 (일본건설성 토목연구소)	• 판정방법 : $I_L = \mu_1 \cdot \mu_2 \cdot \mu_3 \cdot \gamma \cdot H / c_u < 1.2$ • 판 정 : 1.04 < 1.2 - 교대의 측방유동 가능성 없음	
활동에 대한 안전율(Fs)에 의한 방법(홍원표, 1991)	• 말뚝 미고려시 1.5 이상 : 교대의 측방유동 가능성 없음 • 말뚝 고 려 시 1.8 이상 : 교대의 측방유동 가능성 없음	• SLOPILE 결과

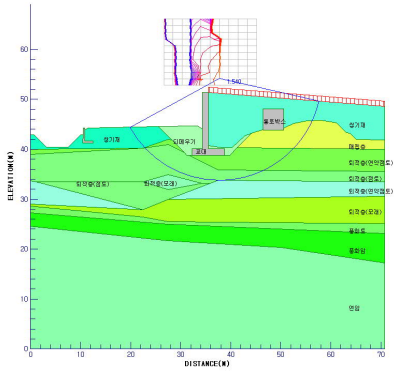
○ 측방유동 판정 기준

공구	교량명	성토고 (m)	전단강도 Cu, kPa	판정지수 F≥0.04	유동지수 IL≤1.2	판정	지층 현황
1공구	난점마을 연결교량 A1	10.6	28.0	0.026	0.513	N.G	• 점토층이 5.6m로 분포(평균 N치 6)
	난점마을 연결교량 A2	8.6	28.0	0.029	0.653	N.G	• 점토층이 6.2m 분포 (평균 N치 4)

○ 난점마을 연결교량 A1

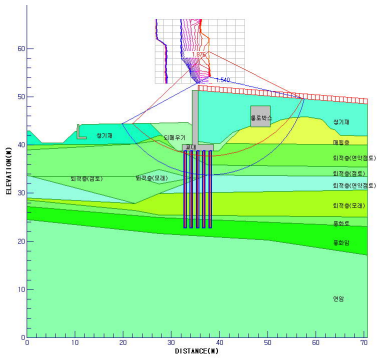
▮ 원지반

말뚝 미고려시



Fs = 1.540 > 1.5 ∴ O.K

말뚝 고려시



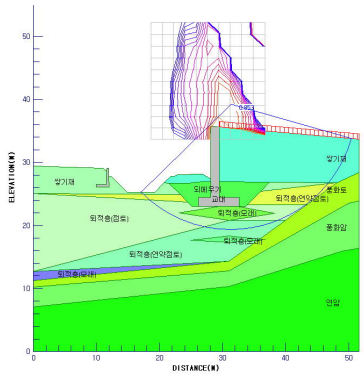
Fs = 1.876 > 1.8 ∴ O.K

검 토 위 치	검토결과		비 고
	말뚝 미고려시	말뚝 고려시	
난점마을 연결교량 A1	1.540 > 1.5	1.876 > 1.8	기준 안전율 이상 검토되어 안정

○ 난점마을 연결교량 A2

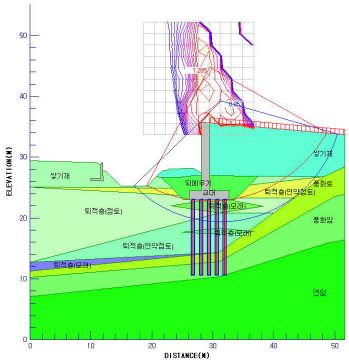
▮ 원지반

말뚝 미고려시



Fs = 0.853 < 1.5 ∴ N.G

말뚝 고려시



Fs = 1.285 < 1.8 ∴ N.G

검 토 위 치	검토결과		비 고
	말뚝 미고려시	말뚝 고려시	
난점마을 연결교량 A2	0.853 < 1.5	1.285 < 1.8	기준 안전율 이하로 검토

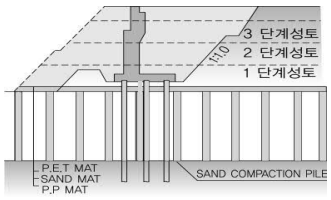
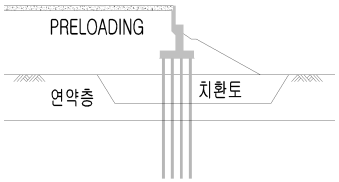
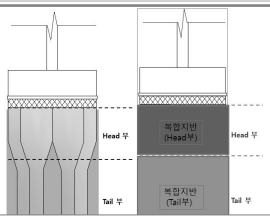
○ 원지반 측방유동 검토결과

공구	교량명	성토고(m)	원지반		검토 결과	대책 공법
			말뚝 고려	말뚝 미고려		
1공구	난점마을 연결교량 A1	10.6	1.540	1.876	O.K	-
	난점마을 연결교량 A2	8.6	0.853	1.285	N.G	필요

3.4.2 연약지반 측방유동 대책공법 검토

- 측방유동에 대한 원인으로는 쌓기고, 쌓기재료 단위중량, 연약층의 전단강도 및 두께, 구조물의 형식 및 치수, 기초의 형식 및 강성 등을 들 수 있다.
- 측방유동에 대한 대책공법은 이들 요인을 개선시키는 것을 기본적인 접근 방법으로 하며, 위치별로 구분하여 보면 뒤채움 쌓기부, 연약지반부, 교대부, 기초부로 구분할 수 있다.
- 구조물의 측방유동에 영향을 미치는 영향요인은 구조물 위치에 관련된 요인이라 할 수 있으며, 대책공법을 정리하면 다음과 같다.

○ 측방유동 대책공법 검토

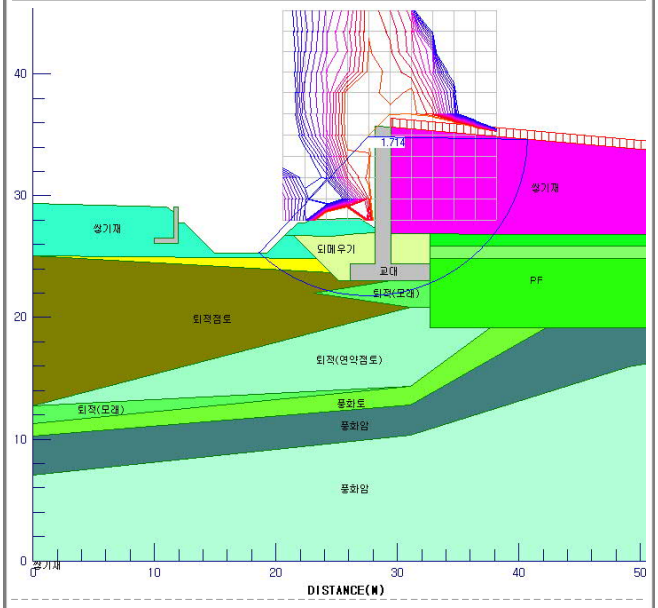
구 분	S.C.P 공법	치환공법	지반개량공법
개요도			
개 요	• 활동 저항 효과가 양호한 S.C.P를 교대 전면부에 타설한후 Prel oading을 가함으로써 복합지반 효과에 의한 활동저항력을 증대 시키고 연약지반의 전단강도를 증가시켜 교대의 측방유동을 억제하는 공법	• 연약층의 일부나 전부를 제거하고 양질의 토사로 치환하여 지반을 안정시키고 침하 및 활동을 억제하는 공법	• 원지반을 개량하여 연약지반의 평균 강도를 증가시켜 지내력 확보하고 교반장비를 이용하여 상부층의 지내력 확보, 하부층의 침하량 제어를 동시에 수행하여 기초를 형성하는 공법
장 점	• 품질관리가 용이 • 압밀 탈수에 수반하여 지반의 강성 증대 • 교대 시공전 지반 측방유동을 허용하여 시공후 측방유동 억제 • 지반이 강화되어 기초의 횡저항력 향상	• 연약층이 얕은 경우 효과적 • 개량 효과가 확실하며, 시공효율이 좋음 • 토취장, 사토장, 치환량에 따라 공사비 변동이 큼 • 범용기계로 시공가능함 • 공기가 짧아 시공성 좋음	• 설계하중을 개량율에 따라 원지반 및 개량체가 분담(아칭효과) • 개량율(치환율)을 고려하여 설계물성을 산정함 • 시공범위가 3m이하~40m가능 • 공기가 짧아 시공성 좋음
단 점	• G.C.P 공사비가 다소 고가임. • 기존구조물과 근접해서 시공할 경우 진동에 의한 영향 큼	• 근접시공등에서는 지반의 변위에 유의할 필요가 있음	• 공사비가 다소 고가임
선 정	-	-	◉
검토결과	• 교대 측방유동이 예상되는 구간의 대책공법 검토 결과 A2 기초하부 및 보강토옹벽 하부에 연약층 5.0m 이상 심도로 출현하여 측방유동 대책 및 연약지반 개량을 위해 지반개량공법 적용		

3.4.3 연약지반 측방유동 안정성 검토결과

검 토 위 치	검토결과		비 고
	말뚝 미고려시	말뚝 고려시	
난점마을 연결교량 A2	1.674 > 1.5	1.845 > 1.8	교대 A2 우측 보강토옹벽 하부 연약지반 지반개량공법 적용

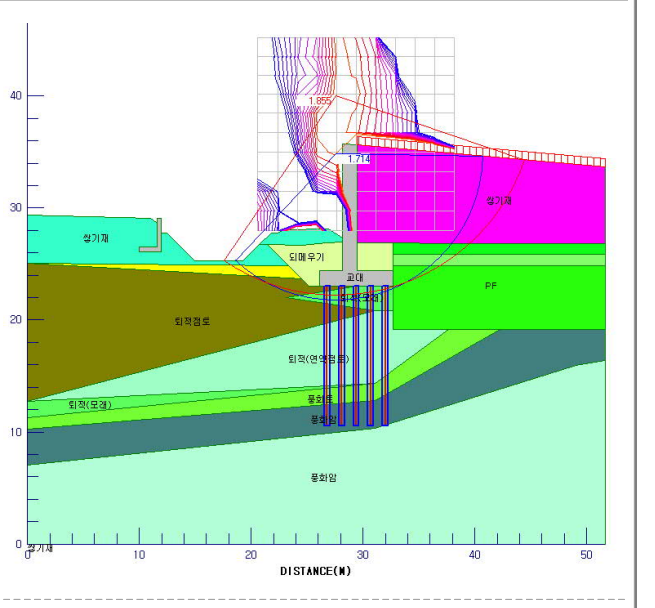
◎ 난점마을 연결교량 A2(지반개량공법)

말뚝 미고려시



Fs = 1.714 > 1.5 ∴ O.K

말뚝 고려시



Fs = 1.855 > 1.8 ∴ O.K

◎ 측방 유동 검토 결과

공구	교량명	성토고 (m)	원지반		대책공법 적용시		검토 결과	대책 공법
			말뚝 미고려	말뚝 미고려	말뚝 미고려	말뚝 고려		
1공구	난점마을 연결교량 A2	8.6	0.853	1.285	1.714	1.855	O.K	지반개량 공법

※ 지반개량공법 구조계산 및 상세내용은 부록에 수록됨

3.4.4 연약지반상 횡단 구조물 설치방안

기본방향

• 일반적으로 연약지반에 설치되는 횡단구조물은 지지력과 침하에 대하여 안정하여야 하며 쌓기 구간에 매설되는 횡단 암거 및 흄관기초 등은 재하중의 규모가 작거나 기초 저면적 폭이 넓어서 지지력이 문제되는 경우는 많지 않으며 주로 침하에 대한 대책이 요구된다. 따라서 사업 구간 내에 분포하는 연약지반상에 횡단구조물을 설치할 경우는 쌓기로 인한 압밀 완료 후 터파기를 실시하여 구조물을 설치하는 것을 우선적용 하고 쌓기고가 높고 연약층 심도가 깊지 않은 구간은 치환 공법 적용하기 때문에 지지력 및 침하에는 문제가 없을 것으로 사료됨

1 공구 지선부 연약지반상 횡단구조물 현황

구 분		위 치 (Sta.)	연 장 (m)	성토고 (m)	규 격 (m)	용 도	적용 공법
난점마을 진입도로	1	0+149.8	31.4	4.2	3.0×3.0	수로박스	Preloading 완료 후
지선	2	1+072.4	34.2	2.0	2.0×2.0	수로박스	Preloading 완료 후
부체도로# 1-3	3	0+126.7	8.8	0.6	2.0×2.0	수로박스	Preloading 완료 후

• 연약지반 처리공법(Preloading) 적용 및 터파기 후 횡단구조물 시공시 원지반 지지력 및 침하에 대하여 안정성 확보

시공순서 및 주의 사항

• 일반적으로 연약지반에 설치되는 BOX 구조물 및 횡배수관 설치는 쌓기로 인한 압밀이 완료된 후 터파기를 실시하고 설치하여야 하며, 터파기시 굴착된 토사가 굴착배면에 야적되지 않도록 하여야 한다. 시공 순서는 다음과 같다.

1. 원지반 정지 및 수평배수공 설치
2. 필요시 P.P MAT, 쇄석 MAT 부설, PBD공법 시공, 단계쌓기 및 방치 (계획고+P/L고)
3. 프리로딩 완료 후 터파기 및 기초하부 잡석 부설
4. 횡단구조물 시공
5. 뒷채움 및 되메우기 다짐

제 4 장 연약지반 계측관리 계획

4.1 연약지반 계측관리 계획

4.1.1 연약지반 계측관리

기본방향

- 연약지반 개량 설계는 복잡한 자연현상(토층 및 토질특성)을 단순화시켜 시행되므로 설계시 추정치의 불확실성과 설계 단계에서의 자료 부족을 보완
- 일반계측, 시공시 중점계측, 장기계측 으로 구분하여 계측항목 및 배치계획 수립

○ 연약지반 계측 목적 및 항목

계측항목	계측기 선정	설 치 목 적 및 이 용	적용
변 위	지표침하판 지중경사계	• 최종 침하량 추정 및 Pre-loading 제거시기 결정	◉
수 압	간극수압계 지하수위계	• 성토하중에 의한 과잉간극수압 변화 측정 및 지반개량효과 판정 • 침하진행 상황 검토 및 Pre-loading 제거시기 결정	

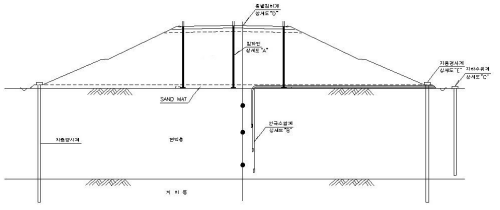
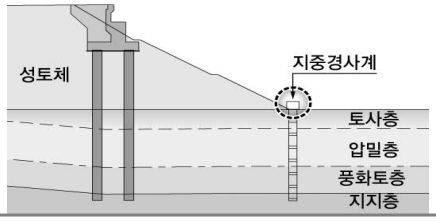
4.1.2 연약지반 계측계획

○ 계측위치 및 빈도

항 목	도로설계요령 (도로공사)	국도설계요령 (건교부)	정보화 시공 (지반공학회)	설 계 적 용	계 측 수 량
지표침하판	1개소/100m	3개소/100m 간격	3개소/500m	1개소/100m간격 (중앙부)	2
지중경사계	전단파괴 예상지점 및 교대부	좌동	2개소/200m	1개소/200m간격 (비탈면 양쪽끝)	2
간극수압계	대심도 연약지반 및 높은쌓기지역	1개소/200m	1개소/200m	1개소/200m간격 (중앙부)	1
지하수위계	-	1개소/200m	1개소/200m	1개소/200m간격 (비탈면 양쪽끝)	2

항 목	쌓기 구간					교대 측방유동 검측구간			
	지반개량 공사중	쌓기 기간중	쌓기 종료 후			지반개량 공사중	구조물 시공중	뒷채움 쌓기중	쌓기 완료후
			최초1개월	1개월~3개월	3개월이후				
지표침하판	1회/1주	1회/1일	1회/3일	1회/1주	1회/1월	-	-	-	-
지중경사계	1회/1월	1회/1일	1회/3일	1회/1주	1회/1월	-	1회/1주	1회/1일	1회/1주
간극수압계	-	1회/3일	1회/1주	1회/2주	-	-	-	-	-
지하수위계	-	1회/3일	1회/1주	1회/2주	-	-	-	-	-

○ 계측기 설치 표준도

구 분	쌓 기 구 간	교대 전면부
설 치 위 치 도		

4.1.3 연약지반 침하안정 관리

○ 침하관리

• 연약지반 설계치와 실측치가 통상적으로 상이하여실측 침하곡선에 적합한 곡선식을 도출하여 앞으로의 침하를 추정한 후 당초설계를 검토하여 실측 침하와 불일치할 경우 합리적으로 변경

Asaoka법

• ASAOKA는 1차원 압밀방정식에 의거 하중이 일정할 때의 침하량을 나타내는 간편식으로 다음과 같은 식을 제안

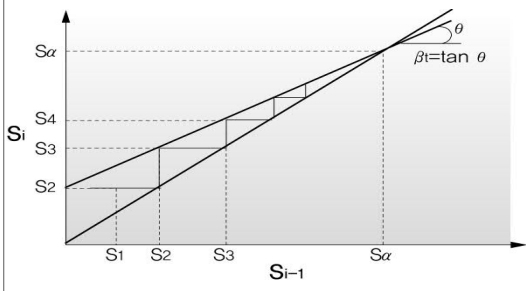
$$S_i = \beta + \beta \cdot S_{i-1}$$ 여기서,

S_t : 시간 t를 이산화하여 $t_i = t \times i$로 할 때 시간 t_i에서의 침하량,

S_{t-1} : 시간 $t_{i-1} = \Delta t \times (i-1)$에서의 침하량,

β_1, β_2 : 시간계수

• 위 식으로부터 최종침하량은 도시한 직선과 $S_i = S_{i-1}$인 직선(45°)의 교점으로부터 도식적으로 구할 수 있으며 그 산정식은 다음과 같음 $S_f = \frac{\beta_0}{1-\beta_1}$



쌍곡선법

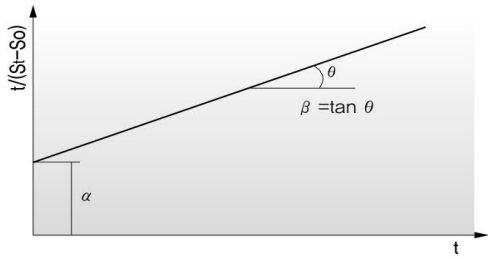
• 이 방법은 "침하의 평균속도가 쌍곡선적으로 감소한다."는 가정하에 초기의 실측 침하량으로부터 장래의 장기 침하량을 예측하는 방법

$$S_t = S_0 + \frac{t}{(\alpha + \beta \times t)}$$ 여기서,

S_t : 쌓기종료 경과시간 t에서의 침하량, S_0 : 쌓기종료 직후의 침하량 , t : 쌓기종료 시점으로부터의 경과시간, α, β : 실측침하량으로부터 구한 계수

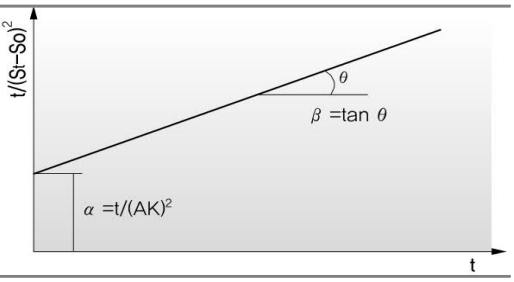
• 위 식으로부터 쌓기종료 후 t 시간동안의 실측침하량을 기초로 하여 t/(st-s0)를 계산한 다음 t - t/(st-s0)의 관계를 PLOT하여 α, β값을 결정 최종침하량(Sf)은 t=∞로 보면 다음 식과 같이 구함

$$S_f = S_0 + \frac{1}{\beta}$$



Hoshino법

• 유동변형을 포함한 전침하량은 시간의 평방근에 비례한다는 가정으로부터 장래의 침하량을 예측하는 방법으로서 쌓기종료 후 실측침하량을 기초로 시간(t)과 $t/(S_t-S_0)^2$을 plot하고 이 점들 중 후반부의 직선부분을 연결하여 미지수 A, K에 의해 침하량을 계산

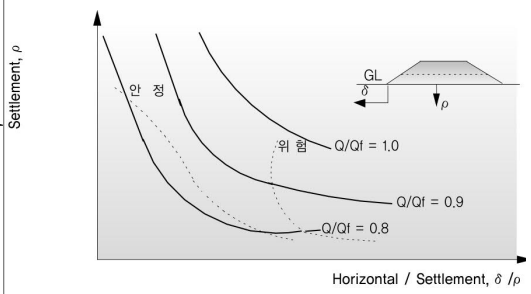


○ 안정 관리

• 쌓기 중앙부의 침하량과 쌓기 사면부 끝단에서의 변형량 및 변형속도로부터 쌓기사면의 안정성을 판단하여 쌓기 속도의 제어, 시공의 일시중지 또는 쌓기의 일부제거 등 그 대책을 수립하며, 필요시 강도시험 수행

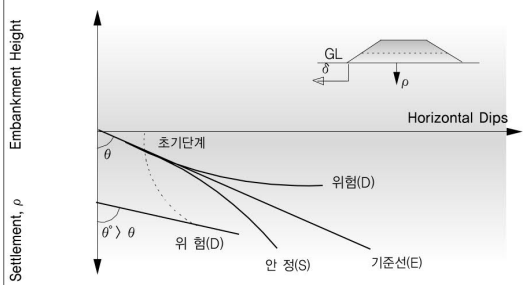
Matsuo-kawamura법

• 쌓기의 파괴사례를 조사하여 파괴시의 S(쌓기중앙의 침하량)과 δ/S(δ는 쌓기비탈면의 수평변위량)의 관계가 대개 하나의 곡선으로 표시됨을 착안하여 시공중의 측정치를 S - δ/S도상에 아래 그림과 같이 파괴기준선에 근접하는지에 따라 안정 및 불안정을 판단하는 방법
• 여기서 Pf는 파괴시의 하중을 나타내고 Pj는 임의의 시점에서 하중을 나타내며 Pi/Pj가 1이 되면 파괴기준선이 되며, Pj/Pf=0.9이면 준파괴선이고, Pj/Pf=0.8이면 위험선
• 일반적으로 판단기준으로는 Pj/Pf=0.9인 준파괴선을 이용하며, 그 이유는 S - δ/S의 관계가 준파괴선에 도달하면 쌓기비탈면에 CRACK이 나타나기 시작하기 때문임



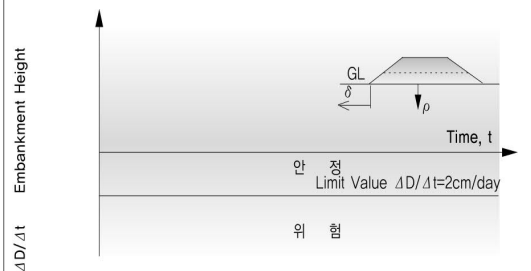
Tominaga-Hashimoto법

• 쌓기중앙부의 침하량 S와 쌓기비탈면 선단의 수평변위량 δ의 관계를 그래프로 나타내면, 쌓기높이가 낮아 안정한 구간에서는 직선적인 관계에 있지만 쌓기높이가 높아져 불안정한 상태가 되면 δ의 증가가 S에 비해서 상대적으로 커지게 된다는 것이 경험적으로 판명
• 즉 Δδ/ΔS를 α라 할 때 α의 값이 점차 감소경향을 나타내면 지반이 안정상태로 되는 반면 지반이 불안정상태로 되면 α값의 증가율은 일정한 변곡점을 지나 점차 불안정하게 됨



Kurihara법

• 쌓기비탈면의 수평변위속도에 착안하여 관리하는 방법
• 측정치에는 Δδ/Δt와 t와의 관계를 PLOT하여 Δδ/Δt가 어느 한계치(통상 2cm/day)를 넘는 경우에 위험하다고 판단하므로 현장에서 적용이 간단



제7편 기타구조물 설계

제1장 보강토옹벽 구조물 설계

제2장 횡단구조물 설계

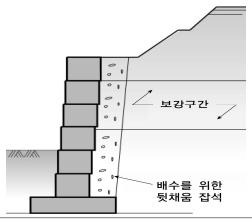
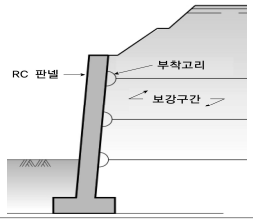
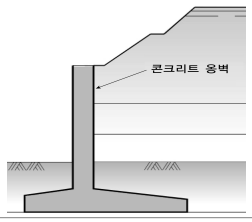
제 1 장 보강토옹벽 구조물 설계

1.1 설계개요

기본방향
- 주거지역, 인근 도로 및 토공계획이 곤란한 민원예상구간에 기타구조물 계획
- 옹벽 형식은 지반조건, 경제성 및 시공성 분석을 통한 현지여건에 적합한 형식 선정
- 주변 환경성 미관 및 안정성에 유리한 옹벽형식 선정

1.1.1 보강토옹벽 형식 검토

- 옹벽의 형식은 지반조건, 미관 및 경제성 분석을 통하여 현지여건에 적합한 형식을 선정
- 옹벽에 대한 내적, 외적 및 전체적 안정성을 검토하여 옹벽설계 수행

구 분		블럭식 보강토 옹벽	판넬식 보강토 옹벽	일반 콘크리트 옹벽
개 요 도				
시공성	높이	• 1~15m (계단형)	• 3~30m	• 2~8m
	구성	• 콘크리트 블록 • 보강재 및 기타부속 • 뒷채움 토공 및 다짐	• 콘크리트 전면판 • 보강재 및 기타부속 • 뒷채움 토공 및 다짐	• 콘크리트, 철근, 거푸집, 비계 등 가설재로 구성 • 배수공, 뒷채움 다짐
	공기	• 기성품으로 동절기 공사가능	• 기성품으로 동절기 공사가능	• 동절기 공사에 어려움
	미관	• 자연석 문양 외관수려 • 다양한 색상 옹벽축조	• 조립식 Precast Con'c 이므로 형상이 정확	• 현장타설로 표면이 거침 • 조형미가 없음
안정성		• 부등침하, 지진등 내구성이 강함 (지반, 배면토변위에 적응력우수)	• 전면배수로 수압에 조절에 의해 안정성확보, 전면판 변형 미비	• 배수공 막힘 현상에 따른 수압 증가로 옹벽 안정성 저하우려
선 정		◉	-	
검 토 결 과		• 지역여건을 고려하여 미관이 우수한 블럭식 보강토 옹벽 선정 • 배면 여유부지 미확보 및 옹벽 높이가 높지 않은 구간은 일반 콘크리트 옹벽 선정		

1.1.2 보강토옹벽 설계기준

구 분		설계기준 및 해석방법	적용 설계기준	
적용 시방서		• French Standard NF P94-220, A 05-252 • 도로교 설계기준 (건설교통부, 2000)	외적안정	• 저면활동 : Fs = 1.5 • 전 도 : Fs = 2.0 • 지 지 력 : Fs = 2.5 • 전체활동 : Fs = 1.5
참 고 문 헌		• TAI Design Guide A-01/05, A-15/16 • 도로설계편람(II) (건설교통부, 2000) • 도로설계실무편람 (한국도로공사, 1996)		
적용 설계법		• 내적/외적안정 - 한계상태 설계법 • 전체안정 - 허용응력 설계법	내적안정	• 보강재인발 : Fs = 1.5 • 보강재파단 : Fs = 1.0
적 용 토 압	상 시	• Coulomb 토압		
	지진시	• Mononobe-Okabe 토압		

1.2 보강토옹벽 안정성 검토

1.2.1 보강토옹벽 안정성 검토

○ 외적 안정성 검토

■ 옹벽에 작용하는 토압

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2$$

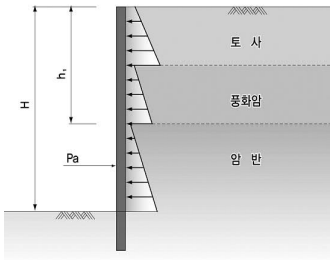
여기서,

K_a : Coulomb주동토압계수

H : 옹벽의 높이

Φ : 쌓기재의 내부 마찰각

작용 토압



■ 활동에(Sliding) 대한 안정

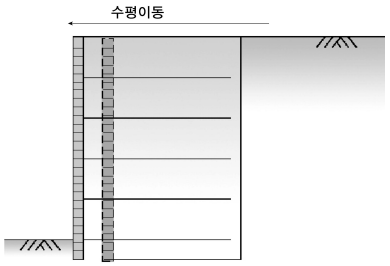
• 보강토체와 지반 사이에서 발생하는 활동력과 이에 대한 저항력에 근거하여 안정검토

$$F_s = \frac{\sum \text{수평저항력}}{\sum \text{수평활동력}} = \frac{(V_1 + V_2 + F_V)\tan\delta + C_a B}{F_H}$$

여기서, δ : 옹벽저판과 지지지반 사이 마찰각

Ca : 옹벽저판과 지지지반 사이 부착력

보강토 옹벽의 활동(Slinding)



■ 전도에(Overturning) 대한 안정

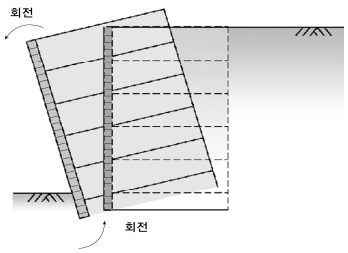
• 전면판을 포함한 보강토체가 옹벽선단을 중심으로 회전하려는 모멘트와 이에 대해 저항하려는 모멘트에 근거한 안정검토

$$F_s = \frac{\sum \text{저항모멘트}}{\sum \text{전도모멘트}}$$

여기서,

Ms : 저항 모멘트, Mγ : 전도 모멘트

보강토 옹벽의 전도(Overturning)



■ 지지력에(Bearing Capacity)에 대한 안정

• 보강토 옹벽의 자중 및 토압으로 인한 수직응력과 지반의 허용지지력과의 관계에 근거한 안정검토

$$\sigma_v \le q_a = \frac{q_{ult}}{Fs}$$

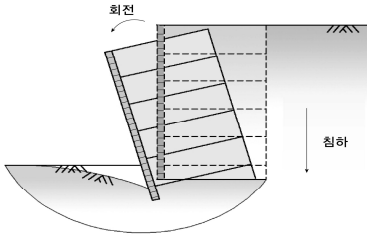
여기서,

σ_v : 옹벽저면의 수직응력

q_a : 기초지반의 허용지지력

q_{ult} : 기초지반의 극한지지력

보강토 옹벽의 지지력(Beariang Capacity)

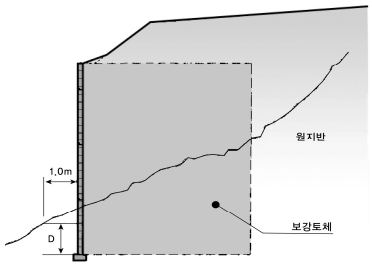


근입장에 (Embedment) 대한 안정

- 적용조건
  - 단단한 지반 : 최소근입장 없음
  - 일반 지반조건 : 최소 근입장 Dm ≥ 40cm
    벽체 전면지반의 경사에 따라 다름
- 검토식 - NF P 94-220

벽체 전면지반 경사	Dmin / qref ≥ Dm
수평	1.5×10^{-3}
3H : 1V	3.0×10^{-3}
2H : 1V	4.5×10^{-3}
3H : 2V	6.5×10^{-3}

보강토 옹벽의 근입장(Embedment)



내적 안정성 검토

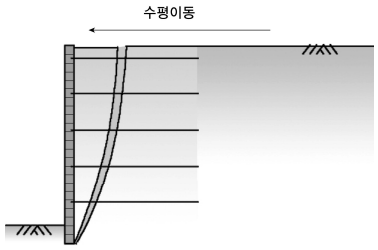
인발저항 (Pull out)

- 각 보강재에 유발되는 인장력에 대해 보강재의 유효 길이에 따른 인발저항력에 근거하여 안정검토

$$\frac{T_f}{T_m} > 1, T_f = \frac{2bxf^* \times L_a \times \sigma_v}{(F_s)f}$$

여기서,
Tf : 보강재의 인발저항 능력
Tm : 발생최대 인장력
La : 보강재의 유효길이(인장파괴선 외측)
b : 보강재 폭, f* : 마찰계수

보강재 인발파괴



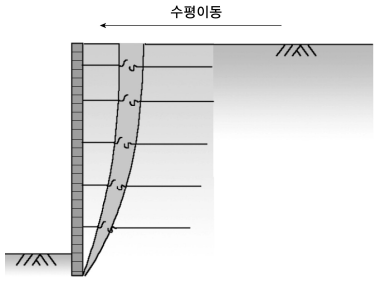
보강재 파단 (Strip rupture)

- 보강재에 유발되는 인장력에 대한 보강재가 견딜 수 있는 최대허용인장력에 근거한 안정검토

$$\frac{T_f}{T_m} > 1, T_y = \frac{Ro}{(F_s)f} \times \frac{eo - es}{eo}$$

여기서,
Tm : 최대인장력
Tɣ : 보강재의 허용인장강도
R0 : 파단강도

보강재 파단



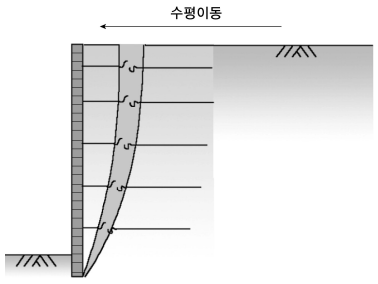
보강토 옹벽의 전체 안정성 검토

- 보강토 옹벽 구조체 전체를 포함한 토체의 파괴에 대한 비탈면 안정검토를 수행
- 파괴면은 원호로 가정하고, Moment Equilibrium에 의한 한계평형해석으로 검토

$$F_{sgs} = \frac{M_y}{M_d}$$

여기서,
Md : 보강토 옹벽에 불안정을 유발하는 Driving모멘트
Mɣ : Driving모멘트에 대한 저항 모멘트

전체적 안정성 (Global Slope Stability)



1.2.2 보강토옹벽 안정성 검토결과

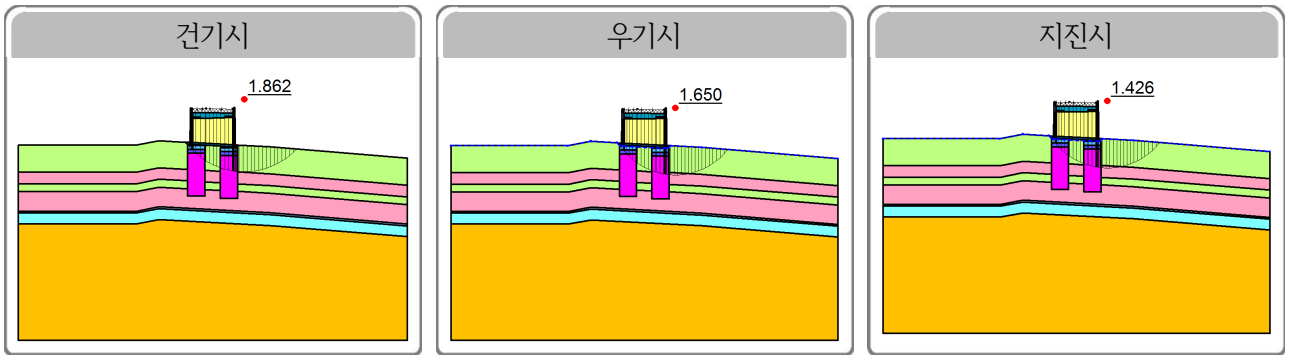
◎ 내적·외적 안정성 검토 (도면 부대공 : 보강토옹벽 참조, 구조계산서)

구 간			내 적 안 정		외 적 안 정		
구분	Sta.	높이(m)	인장파단 (>1.0)	인발파괴 (>1.5)	활동 (>1.5)	전도 (>2.0)	지지력 (>2.5)
1	난점마을 진입도로 STA. 0+175.00 ~ 196.50	6.88~7.63	1.501	3.008	1.781	3.06	2.60
2	난점마을 진입도로 STA. 0+240.00 ~ 294.78	6.13~8.13	1.543	3.107	1.792	3.09	2.62

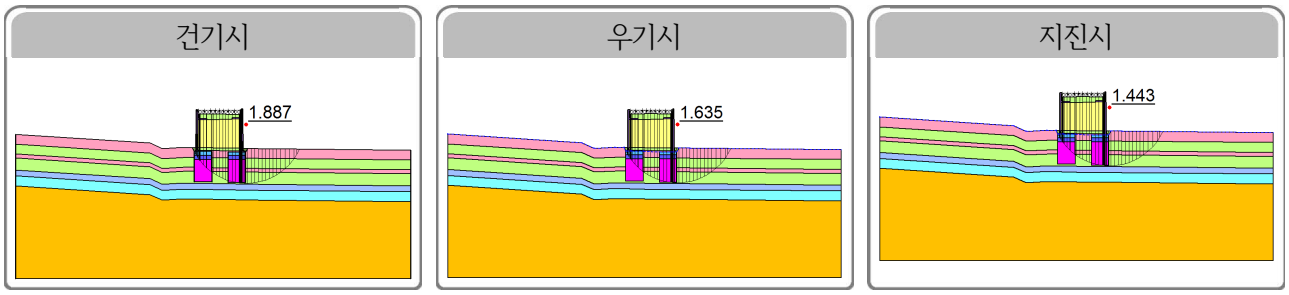
◎ 전체적 안정성 검토결과 (도면 부대공 : 보강토옹벽 참조, 구조계산서)

구 간			전체 안정성			비고
구분	Sta.	높이(m)	건기시 (>1.5)	우기시 (>1.3)	지진시 (>1.1)	
1	난점마을 진입도로 STA. 0+175.00 ~ 196.50	6.88~7.63	1.862	1.650	1.426	O.K
2	난점마을 진입도로 STA. 0+240.00 ~ 294.78	6.13~8.13	1.887	1.635	1.443	O.K

◎ 난점마을 진입도로 STA.0+196.5



◎ 난점마을 진입도로 STA.0+240



• 보강토옹벽 하부구간은 연약지반이 분포하여 연약지반 처리(PF공법) 완료 후 보강토옹벽 시공계획으로 전체적 안정성 검토결과 기준안전율을 만족함

1.2.3 보강토옹벽 뒷채움재 검토

- 보강토 구조물의 건설에 이용되는 뒷채움재는 이론적으로 흙과 보강재 사이의 마찰효과에 의하여 쌓기제체의 전단특성이 개량된다고 할 수 있음
- 국내에서는 뒤채움재료에 대하여 상세하게 명기된 시방 및 규정은 없으며, 국내외 각 기관의 시방기준을 참조하여, 토취장 쌓기재료의 적합성 여부를 검토한 후 설계에 적용

○ 국내 뒤채움재 선정기준

구 분	입 도 분 포			비 고
	체 크 기		통과백분율(%)	
국립건설시험 연구소 (1983)	254mm (10 in) 101.6mm (4 in) 74μm (No 200체)		최대입경 100 ~ 75 0 ~ 15	내부마찰각 25°이상
도로설계 실무편람 (1996)	102mm (4 in) 0.425mm 74μm (No 200체)		100 0 ~ 60 0 ~ 15	-
	예외규정 (No. 200통과량 15% 이상인 경우)	0.015mm	10% 이하	-
		0.015mm	10 ~ 20%	내부마찰각 25°이상, 소성지수(PI) 6이하
구조물 기초설계기준 (2003)	100mm 0.425mm 0.075mm		100 0 ~ 60 0 ~ 15	-
	예외규정 (No. 200통과량 15% 이상인 경우)	0.015mm	10% 이하	-
		0.015mm	10 ~ 20%	내부마찰각 25°이상, 소성지수(PI) 6이하

■ 뒤채움 재료로서 갖추어야 할 조건 : 도로설계 표준편람, 1996, 구조물 기초설계기준, 2003

최대입경	입경100mm 이상의 함유율	입경 0.074mm 이하의 함유율	비 고
250mm	5% 이하	25% 이하	• 세립분이 적당하게 혼합되어 있어서 다짐효과를 발휘할 수 있어야 함

○ 품질기준 설정

구 분	기준 1	기준 2	비 고
입 도	• 최대입경 : 254mm • 5mm 통과량 : 20 ~ 100% • 0.08mm 통과량 : 15% 이하	• 최대입경 : 254mm • 100mm 통과량 : 75 ~ 100% • 0.08mm 통과량 : 25% 이하	• 기준 1재료를 사용하되 기준 1재료를 현장 부근 에서 구할 수 없을 때 기준 적용
내부마찰각	25°이상	25°이상	
소성지수(PI)	PI < 6	PI < 6	

○ 다짐장비에 의한 시공 시 횡토압 검토

- 국내·외 연구사례를 분석을 통하여 Duncan(ASCE, 1993)에 의하여 제시된 방법을 활용하여 시공 중 다짐장비에 의하여 발생되는 추가토압을 고려하여 시공 중 안정성 분석 수행
- 국내 . 외 연구사례를 검토하여 Duncan(ASCE,1993)이 제안한 방법에 의하여 100kN의 진동로울러 장비를 사용한 경우 최대 횡토압은 43.6kPa으로 산정
- 연구사례와 시공사례를 토대로 검토한 결과, 다짐장비와 옹벽 벽체사이의 거리를 1.0m이상으로 할 경우 옹벽에 미치는 횡토압의 영향은 적은 것으로 분석

제 2 장 횡단구조물 설계

2.1 설계개요

기본방향

- 도로계획에 따른 기존의 마을 진입도로 및 우회도로의 기능을 확보하며, 배수구조물의 원활한 배수기능을 위하여 설치하는 횡단구조물은 지지력과 침하에 대하여 안정성을 확보하여야 하므로 구조물위치에 지반조사를 실시하여 안정검토 수행
- 연약지반상 횡단구조물 안정성은 연약지반 처리공법(Preloading)완료 및 터파기 후 구조물 시공시 지지력 및 침하에는 안정

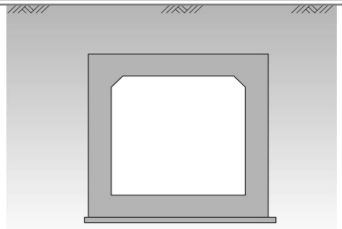
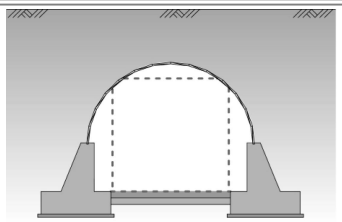
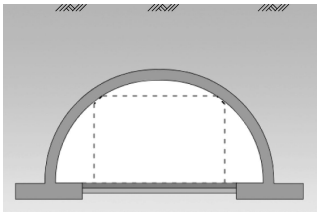
2.1.1 횡단구조물 설치현황

◎ 횡단구조물 현황

구 분	위 치 (Sta.)	연 장(m)	토피고(m)	규 격(m)	용 도	비 고
지선	1+072.4	34.2	2.0	2.0×2.0	수로박스	연약지반구간 Preloading 후 시공
난점마을 진입도로	0+149.8	31.4	4.2	3.0×3.0		연약지반구간 Preloading 후 시공
	0+380.0	33.4	0.3	2.0×1.5		-
부체도로 #1-3	0+126.7	8.8	0.6	2.0×2.0		연약지반구간 Preloading 후 시공

- 연약지반상 횡단구조물 안정은 연약지반 처리공법 완료 및 터파기 후 시공계획으로 안정

2.1.2 횡단구조물 형식 검토

구 분	콘크리트 암거(BOX형)	파형강판 암거	콘크리트 암거
개요도			
시공방법	• 콘크리트 현장 타설	• 공장제작 + 현장조립	• 콘크리트 현장 타설
강 도	• 콘크리트 : fck=24MPa • 철 근 : fy=30MPa	• 항복강도 : 245N/mm² • 인장강도 : 400N/mm²	• 콘크리트 : fck=24MPa • 철 근 : fy=30MPa
특 징	• 미관 보통 • 어려운 지형여건에 유리 • 설계 및 시공경험 풍부 • 공사비 비교적 저가	• 구조물 현장설치 • 현장타설 양생기간 불필요 • 잔류침하로 인한 구조물 종방향 균열 발생 예방 • 유출입부 곡면형상(미관우수)	• 농로 진입부의 미관 양호 • 충분한 시거 확보 • 구조적으로 안정함 • 시공성 불량 • 품질관리 및 공사비 고가
선 정	◉	-	-

- 도로계획에 따른 기존 마을의 진입도로 및 우회도로의 기능을 확보하기 위하여 설치하는 횡단구조물은 지형여건에 시공성이 우수하며 경제적인 콘크리트 박스 선정

2.2 횡단구조물 안정성 검토

기본방향

- 허용지지력 검토는 시추조사 결과와 각종 현장시험 및 실내시험결과를 토대로 선정된 지반정수를 이용한 정역학적 공식과 N값을 이용한 경험식에 의하여 지지력 산정
- 압밀침하가 발생하지 않는 지반에 위치하므로 즉시침하만을 고려하여 비교적 신뢰도가 높다고 판단되는 경험식에 의해 침하량을 산정

2.2.1 횡단구조물 안정성 검토

○ 횡단구조물 지지력 검토 (원지반)

구 분		위 치 (Sta.)	규 격 (m)	허용지지력 (kPa)			허용지지력 (kPa)	최대작용력 (kPa)	판 정
				Terzaghi	Meyerhof	수정 Meyerhof			
수로박스	난점마을 진입도로	0+360.0	2.0×1.5	785.0	828.4	425.2	425.2	91.8	O.K

○ 횡단구조물 침하량 검토(원지반)

구 분		위 치 (Sta.)	침하량 (cm)			예상침하량 (cm)	허용침하량 (cm)	판정	비 고
			Hooke	Harr	Meyerhof				
수로박스	난점마을 진입도로	0+360.0	3.7	3.6	7.3	7.3	30.0	O.K	-

- 횡단 구조물 안정성 검토결과 지지력 및 침하량은 허용기준을 만족하는 것으로 판정
- 연약지반 횡단 구조물은 연약지반처리 공법(Preloading)완료 및 터파기 후 시공시 안정성 확보
- 기초 시공시 줄파기 등을 수행하여 기초지반의 상태를 확인한 후 시공하여야 하며, 지층이 상이할 시 현장여건에 따라 변경하여 함

성 라 터 널

제1편 지반조사 계획

제1장 조사개요

제 1 장 조사개요

1.1 조사목적

사 업 명	•서울~문산 고속도로 민간투자사업 실시설계
사 업 목 적	•사업구간에 대한 최적설계와 시공에 필요한 지반공학적 정보 제공 •터널설계 및 지보패턴 선정을 위한 암반등급 산정 •구조물 기초설계 안정해석을 위한 지반자료 제공 •조사된 자료를 종합·분석하여 경제적이고 효율적인 설계 및 시공을 위한 자료 제공

1.2 조사위치

사업위치	•경기도 고양시 덕양구 성사동 ~ 경기도 고양시 일산동구 식사동

구 분	위 치	비 고
성라 터널	•경기도 고양시 덕양구 성사동 일대	–
생태 터널	•경기도 고양시 덕양구 성사동 일대	–
휴게소 부지	•경기도 고양시 덕양구 성사동 일대	–

1.3 조사기간

구 분		기 간
예 비 조 사		2016.10.10. ~ 2016.10.20
현 장 조 사 및 시 험	물리탐사	2016.10.20. ~ 2016.11.02
	시추조사	2016.10.20. ~ 2016.11.02
	현장시험	2016.10.20. ~ 2016.11.02
	실내시험	2016.11.07. ~ 2016.11.18
성과분석 및 보고서 작성		2016.11.15. ~ 2016.11.30

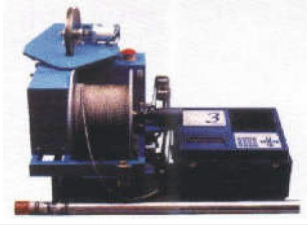
1.4 조사장비

조 사 항 목		조 사 장 비
지표지질 조 사	지표지질조사	•Clinocompass, Profile gauge, Schmidt hammer
	선구조분석	•Landsat-5 TM & DEM •항공사진
물리탐사 및 검 층	전기비저항탐사	•SYSCALPro(IRIS, 프랑스)
	탄성파탐사	•McSEIS-24(OYO, 일본)
현 장 조 사 및 시 험	시추조사	•유압식 시추기 및 부속장비 1식
	현장투수시험	•줄자, Stop Watch
	현장수압시험	•Single Packer, 유량계, Stop Watch, 부대장비
	공내재하시험	•Goodman Jack/Elastmeter-2/LLT
	공내전단시험	•BST(Handy Geotechnical Ins. Co, 미국)
	시추공영상촬영	•Geologger-3 OBI System(OYO, 일본)
	하향식탄성파탐사	•McSEIS-24(OYO, 일본)
실내시험	토질시험	•시험기 1식
	암석시험	•시험기 1식

물리탐사

현장시험

시추공영상촬영



실내시험

제2편 지반조사 일반사항

제1장 토질·암반의 분류 및 기재방법

제2장 현장조사 및 시험

제3장 실내시험

제 1 장 토질·암반의 분류 및 기재방법

1.1 토질의 분류 및 기재방법

• 흙의 공학적 특성을 파악하여 토질설계의 기초 자료로 활용

○ 개 요

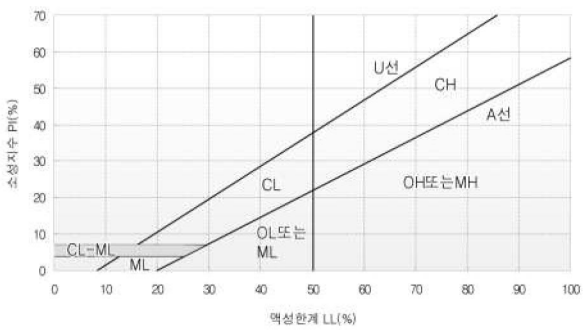
흙의분류	•흙의 공학적 분류는 1차 분류 수행 후, 최종적으로 통일분류법(USCS)을 기준으로 분류
기재방법	•시추주상도의 지층구분은 통일된 기호를 사용하고 N값은 사질토의 상대밀도 및 점성토의 연경도를 추정하는데 사용
기술내용	•지층상태는 매립층, 전답층, 붕적층, 충적층, 풍화토, 풍화암으로 지층 구분 •함수상태는 건조(Dry), 습윤(Moist), 젖음(Wet), 포화상태(Saturated)로 구분 •색조는 흑, 갈, 홍, 적, 황색등에 담(연한)과 암(진한)의 접두어를 사용

1.1.1 토질의 분류방법

○ 육안관찰에 의한 분류방법(구조물기초 설계기준, 2008)

구 분	토립자의 육안적 판별과 일반적인 상태	손으로 쥐었다 놓음		습윤상태에서 손가락으로 끈모양으로 굴릴때
		건 조 상 태	습 윤 상 태	
모 래 (Sand)	•개개입자의 크기가 판별될 수 있는 입상을 보임 •건조 상태에서 흘러내림	•덩어리로 되지 않고 흐트러짐	•덩어리지나 가볍게 건드리면 흐트러짐	•끈모양으로 꼬아지지 않음
실트섞인 모래 (Silty Sand)	•입상이나 실트, 점토가 섞여서 약간 점성 있음 •모래질의 특성 우세함	•덩어리지나 가볍게 건드리면 흐트러짐	•덩어리지며 조심스럽게 다루면 부서지지 않음	•끈모양으로 꼬아지지 않음
모래섞인 실트 (Sandy Silt)	•적당량 세립사와 소량의 점토를 함유하고 실트 입자 50% 이상 •건조되면 덩어리가 쉽게 부서져서 가루가 됨	•덩어리지며 만져도 부서지지 않음 •부서지면 밀가루와 같은 감촉	•덩어리지며 자유롭게 다루어도 부서지지 않음 •물을 부으면 서로 엉킴	•끈모양으로 꼬아지지 않으나 작게 끊어지고 부드럽고 약간의 점성 있음
실 트 (Silt)	•세립사와 점토 함량이 극소량이고 실트입자 함량이 80% 이상 •건조되면 덩어리지나 쉽게 부서져서 밀가루 감촉의 가루로 됨	•덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않음	•덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않으며 물에 젖으면 엉킴	•완전히 꼬아지지는 않으나 작게 끊어지는 상태로 꼬아지고 부드러움
점 토 (Clay)	•건조되면 아주 딱딱한 덩어리의 상태로 됨 •건조 상태에서 잘 부서지지 않음	•덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않음	•덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않으며 찰흙 상태로 됨	•길고 얇게 꼬아지며, 점성 큼

통일분류법

주 요 구 분			기호	대표적인 흙	분 류 기 준		
조립토 (Coarse-Grained Soil) #200체 (0.075mm)에 50%이상 남음	자갈 #4체 (4mm)에 50% 이상 남음	세립분이 약간 또는 거의 없는 자갈	GW	•입도분포가 좋은 자갈 또는 자갈과 모래의 혼합토, 세립분이 약간 또는 없음	세립분의 함유율에 의한 분류 :	Cu > 4 (Cu=D_{60}/D_{10}) 1<Cg<3 (Cg=$(D_{30})^2/(D_{10}\times D_{60})$)	
			GP	•입도분포가 나쁜 자갈 또는 자갈과 모래의 혼합토, 세립분이 약간 또는 없음		GW의 조건이 만족되지 않을 때	
		세립분을 함유한 자갈	GM	•실트질의 자갈, 자갈·모래·실트의 혼합토	200번체 통과율이 5%이하인 경우 GW, GP, SW, SP	Atterberg 한계가 A선 밑 또는 소성지수가 4이하	소성지수가 4~7이면서 Atterberg 한계가 A선 위에 존재 할 때는 2중 문자로 표시
			GC	•점토질의 자갈, 자갈·모래 •점토의 혼합토		Atterberg 한계가 A선 위 또는 소성지수가 7이상	
	모 래 (Sand) #4체 (4mm)에 50% 이상 통과	세립분이 약간 또는 거의 없는 모래	SW	•입도분포가 좋은 모래 또는 자갈질의 모래, 세립분은 약간 또는 없음	200번체 통과율이 12%이상인 경우 GM, GC, SM, SC	Cu > 6 1< Cg <3	
			SP	•입도분포가 불량한 모래 또는 자갈질 모래		SW의 조건이 만족되지 않을 때	
		세립분을 함유한 모래	SM	•실트질의 모래, 모래와 실트의 혼합토	200번체 통과율이 5~12%인 경우 2중 문자로 표시	Atterberg 한계가 A선 밑에 있거나 소성지수가 4 이하	소성지수가 4~7이면서 Atterberg 한계가 A선 위에 존재 할 때는 2중 문자로 표시
			SC	•점토질의 모래, 모래와 점토의 혼합토		Atterberg 한계가 A선 밑에 있거나 소성지수가 7 이상	
세립토 (Fine-Grained Soil) #200체 (0.075mm) 50%이상 통과	액성한계 50% 이하인 실트나 점토		ML	•무기질의 실트, 매우 가는 모래, 암분, 소성이 작은 실트질의 세사나 점토질의 세립사	•소성도(Plasticity Chart)는 세립토에 함유된 세립분과 세립토를 분류하기 위해 사용		
			CL	•소성이 중간값 이하인 유기질 점토, 자갈질 점토, 모래질 점토, 실트질 점토	•소성도의 빗금친 곳은 2중 표기		
			OL	•소성이 작은 유기질 실트 및 점토	세립토의 분류를 위한 소성도		
	액성한계 50% 이상인 실트나 점토		MH	•무기질 실트, 운모질 또는 규소의 세사 또는 실트질 흙, 탄성이 큰 실트			
			CH	•소성이 큰 무기질 점토, 탄성이 큰 점토			
			OH	•탄성이 중간값 이상인 유기질 점토			
고유기성 흙			Pt	•이탄 및 그 밖의 유기질을 많이 함유한 흙			

1.1.2 토질의 기재방법

기본방향	•흙의 상태에 대한 기재내용은 토질분류, 연경도, 함수상태, 색깔 등이며, 다음과 같은 방법에 의하여 그 결과를 시추주상도에 기록

○ 흙의 통일분류법(USCS)에 사용되는 기호

토질의 종류		제1문자
조립토	자갈 (Gravel)	G
	모래 (Sand)	S
세립토	실트 (Silt)	M
	점토 (Clay)	C
	유기질의 실트 및 점토	O
유기질토	이탄	Pt

토질의 속성		제2문자
조립토	•입도 분포 양호, 세립분 거의 없음	W
	•입도 분포 불량, 세립분 거의 없음	P
	•세립분 12%이상 함유, A선 아래, 소성지수 4이하	M
	•세립분 12%이상 함유, A선 위, 소성지수 7이상	C
세립토	•압축성 낮음(Low Compressibility) WL≤50	L
	•압축성 높음(High Compressibility) WL≥50	H

○ 상대밀도 및 연경도

조립토 (모래, 자갈)	
관입저항값(N값)	상 대 밀 도
4 이하	매우 느슨 (Very Loose)
4~10	느 슨 (Loose)
10~30	보통 조밀 (Medium Dense)
30~50	조 밀 (Dense)
50 이상	매우 조밀 (Very Dense)

세립토 (점토, 실트)	
관입저항값(N값)	연 경 도
2 이하	매우 연약 (Very Soft)
2~4	연 약 (Soft)
4~8	보통 견고 (Medium Stiff)
8~15	견 고 (Stiff)
15~30	매우 견고 (Very Stiff)
30 이상	고 결 (Hard)

○ 시료의 함수상태

함 수 비 (%)	함 수 상 태
0~10	건조 (Dry)
10~30	습윤 (Moist)

함 수 비 (%)	함 수 상 태
30~70	젖음 (Wet)
70 이상	포화 (Saturated)

○ 시료의 색조

색	1	담					암				
	2	분홍		홍		황		갈	감람	녹	회
	3	분홍	적	황	갈	감람	녹	청	백	회	흑

주) 시료의 색조는 회색, 갈색, 황색등의 기본색에 필요에 따라 연한(담), 짙은(암) 등과 같은 접두어를 사용하여 기재

1.2 암반의 분류 및 기재방법

- 일반적으로 연암, 보통암, 경암으로 구분
- 암석의 풍화상태, 불연속면 절리나 파쇄대의 간격, 강도 및 암질 표기 (국제암반역학회, ISRM의 분류방법에 의거 분류)
- 조사과정에서 회수된 시추코어를 암석시험 및 육안으로 관찰하여 American Institute of Professional Geologist에서 제시한 "공학적 목적을 위한 암석시료의 채취방법 및 시추주상도 작성방법"에 의거 시추주상도 작성
- 색, 불연속면(Discontinuity)의 간격과 상태, 풍화상태, 강도, 암석명 등
- 색은 암석의 기본색(황색, 갈색, 회색, 청색 및 녹색)에 담(연함), 암(진한)의 명암 및 혼색의 서술용어를 사용
- 강도, 풍화정도, 파쇄정도는 암석분류 기준에 의거하여 분류

1.2.1 암반의 분류방법

기본방향

- 지반조사시 암반의 분류는 TCR, RQD, 시추 굴진상태 및 시추 굴진속도, 풍화상태를 관찰하여 시추주상도에 기재하고, 한국도로공사의 분류기준을 참고로 하여 풍화암, 연암, 보통암, 경암으로 구분
- 토공의 작업성(리퍼빌리티)에 의거한 분류는 토사, 리핑암, 발파암으로 구분

○ 토공작업 리퍼빌리티에 따른 암반의 분류(도로설계편람, 2012)

구 분		토 공 작 업		
		토 사(도져)	리 핑 암	발 파 암
표준관입시험 (N값)		50/10 미만	50/10 이상	–
불연속면의 발달 빈도	BX 크기	–	TCR=5% 이하이고 RQD=0% 정도	TCR=5~10% 이상이고 RQD=0~5% 이상
	NX 크기	–	TCR=20% 이하이고 RQD=0% 정도	TCR=20% 이상이고 RQD=10% 이상
탄성파속도	A그룹 암종	700m/s 미만	700~1,200m/s 미만	1,200m/s 이상
	B그룹 암종	1,000m/s 미만	1,000~1,800m/s 미만	1,800m/s 이상

○ A, B 그룹 암종

구 분	A 그 룹	B 그 룹
대표적인 암 석 명	편마암, 사질편암, 녹색편암, 각암, 사암, 석회암, 휘록응회암, 역암, 화강암, 섬록암, 감람암, 사문암, 유문암, 안산암, 현무암	흑색편암, 녹색편암, 휘록응회암, 셰일, 이암, 응회암, 집괴암
함유물 등에 의한 시각 판정	사질분, 석영분을 다량 함유, 암질이 단단, 결정도가 높은 것	사질분, 석영분이 거의 없고 응회분이 거의 없는 암석천매상의 암석
500~1,000g 해머의 타격에 의한 판정	타격점의 암은 작은 평평한 암편으로 되어 비산되나, 거의 암분을 남기지 않는것	타격점에 암 자신이 부서지지 않고 분상이 되어 남고 암편이 별로 비상되지 않는 암석

○ 한국도로공사 분류기준(2005)

표준 단면	암 질	특 징	RMR	Q 값	RQD (%)	탄성파 속 도 (km/s)	일 축 압축강도 (MPa)	코 어 채취율 (%)
Ⅰ	경 암	•안정성 있고 풍화, 변질 및 물리적, 화학적 영향을 거의 받지 않은 신선한 대괴상의 암질	80~100	40 이상	70 이상	4.5 이상	1,000 이상	90 이상
Ⅱ	보통암	•균열 및 편리가 다소 발달되어 있으며 일반적으로 절리가 존재하는 층상의 암질	70~80	10~40	40~70	4.0~4.5	800~1,000	70~90
Ⅲ	연 암	•층리, 절리 및 편리 등이 매우 발달된 상태이며 파쇄대가 존재하는 소괴상의 암질	50~70	4~10	20~40	3.5~4.0	600~800	40~70
Ⅳ	풍화암	•물리적, 화학적 영향으로 파쇄대가 매우 발달되고 절리가 불규칙적으로 발달된 파쇄상의 풍화된 암질	25~50	1~4	20~40	3.5 이하	250~600	40 이하
Ⅴ	풍화암 (±)	•풍화작용 심하고 일부가 토괴화된 상태이며 매우 쉽게 부서지고 뜯어낼 수 있는 암질	25 이하	1 이하	20 이하 N>100:Ⅳ N<100:Ⅴ	3.0 이하	250 이하	–

1.2.2 암반의 기재방법

○ 색깔(Color)

•암반의 기본색(황색, 갈색, 회색, 청색 또는 녹색)에 담(연한)과 암(진한)의 명암 및 혼색에 대한 서술용어를 사용

○ 불연속면의 간격(Discontinuity Spacing)

기 재 방 법	기 호	Joint 간격	균 열 상 태
불연속면 간격의 최대값, 최소값, 평균값을 주상도에 수록	F5	6cm 이하	•매우 심한균열 (Highly Fractured)
	F4	6~20cm	•심 한 균 열 (Fractured)
	F3	20~60cm	•보 통 균 열 (Moderately Fractured)
	F2	60~200cm	•약 간 균 열 (Slightly Fractured)
	F1	200 cm이상	•괴 상 (Massive)

강도(Strength)

기 호	용 어	강 도 상 태
S5	매 우 약 함 (Very Weak)	•손가락 또는 엄지손톱의 압력으로 눌러 으스러지는 정도
S4	약 함 (Weak)	•해머로 눌러 으스러지는 정도
S3	보 통 강 함 (Moderately Strong)	•1회의 약한 해머 타격으로 쉽게 깨지며 모서리가 으스러지는 정도
S2	강 함 (Strong)	•1~2회의 강한 해머 타격으로 깨지거나 모서리가 각이 지는 정도
S1	매 우 강 함 (Very Strong)	•여러 번의 강한 해머 타격으로 패각상의 조각으로 깨지며 각이 날카로운 정도

풍화상태(Weathered Condition)

기 호	용 어	풍 화 상 태
D5	완 전 풍 화 (Completely Weathered)	•암석전체가 완전풍화를 받아 흙으로 변화되었으나 모암의 조직과 구조를 지니며 간혹 풍화를 받지 않은 암편을 함유한 상태
D4	심 한 풍 화 (Highly Weathered)	•암석내부까지 풍화가 진행 중이며 점토물질이 협재되어 있어 부분적으로 쉽게 부술 수 있는 상태
D3	보 통 풍 화 (Moderately Weathered)	•전 암석 표면에서부터 풍화가 진행 중이며 색조는 변하였으나 손으로 부술 수 없는 상태
D2	약 간 풍 화 (Slightly Weathered)	•기반암내 발달된 불연속면을 따라 미약한 풍화작용이 시작되고 있으나 암석 자체에는 아무런 풍화작용이 일어나지 않는 상태
D1	신 선 (Fresh)	•풍화작용의 흔적이 없는 상태

절리면 거칠기(Joint Roughness)

구 분	계단형(Stepped)	파동형(Undurating)	평면형(Planar)
거 칠 음 (Rough)			
완 만 (Smooth)			
경 면 (Slikensided)			

1.3 암반의 공학적분류

- 암반분류는 터널이나 비탈면 설계시 지반에 대한 평가를 수행함과 동시에 굴착과 보강 설계에 대한 기준을 제시하는데 이용
- 설계와 수치해석의 입력 물성값 결정을 위한 정량적인 자료와 Guideline 제공

1.3.1 국내의 암반분류 방법

기본방향	• 각 기관별로 설계에 이용된 암반분류 기준들이 아직까지 일관성과 통일성이 없는 기준들이 제시되고 있으며, 시공시의 막장을 관찰하여 결정한 암반등급과 보강패턴과의 관계에서 도출된 RMR과 Q-System을 이용하여 암반분류 수행

○ 국내의 암반분류 기준

구 분	분류목적	분류요소	주 요 내 용	비 고
도로설계편람	토 공	• 탄성파속도 (자연암석) • 내압강도 • 암석종류	• 암석의 깎기 난이도를 기준으로 분류 • 일축압축강도에 의한 암종별 특성치 범위 규정	국토교통부 (2012)
용역협회기준	시 추 암석분류	• 탄성파속도 • 일축압축강도	• 시추주상도상의 암석종류 기재시 탄성파속도 및 일축압축강도에 의한 분류	한국엔지니어링 진흥협회 (2004)
서 울 시	토목공사	• TCR, RQD • 일축압축강도 • 절리면 간격	• TCR, RQD에 의한 암반분류 • 암종별 일축압축강도 및 절리면 간격 등을 고려한 분류내용 기재	서울시 지반조사편람 (2006)
서울 지하철	터 널	• TCR, RQD • 일축압축강도 • 절리면 간격 • RMR과 연계	• 서울지하철 분류기준에 의하여 TCR, RQD에 의한 암반분류 • 암종별 일축압축강도 및 절리면 간격 등을 고려한 분류내용 기재	서울지하철 9호선 설계기준(안) (1997)
고 속 철 도	터 널	• 일축압축강도 • 탄성파속도 • 변형계수 • 지반강도비 • TCR, RQD • 현장 육안관찰	• RQD 및 일축압축강도 등 개별요소에 의해 암반등급 결정 가능성 제시 • 변형계수 및 지반강도의 범위 제시	고속철도 전문시방서 지반분류 (2006)
한국도로공사	터 널	• RQD, TCR • RMR • Q-System • 탄성파속도 • 일축압축강도	• 기존 암반분류 기준으로 적용, RQD 및 일축압축강도 등 개별요소에 의해 암반등급결정 범위 제시	한국도로공사 암반분류기준 (2005)

1.3.2 외국의 암반분류 방법

기본방향	•1940년대 중반부터 암반분류가 도입된 이래 터널, 댐, 비탈면 등을 대상으로 하는 각종 공사에서 암반조사, 시험, 계측 기술의 진보와 더불어 수치해석 기법이 발달됨에 따라 여러 암반분류 시스템을 도입하여 수행

◎ 외국의 암반분류법

분 류 방 법	제 안 자	평 가 요 소																
		암석종류	풍화변질정도	파쇄상황	층리편리상태	절리간격	절리상태	절리·균열의방향	시추코어	암석강도	변형특성	팽창·압출의정도	햄머타격	탄성파속도	지반강도비·지압	RQD	코아채취율	용수의정도	지반의안정성
암반 사하중법	Terzaghi,1946 Rose, 1982			○		○				○		○				◎			
Rabcewicz 암 반 분 류	Rabcewicz & Pacher,1957			○						○		○							
Möller 암반분류	Möller,1963		○			○													
R Q D	Deere,1967															◎			
R S R	Wickham,1974	○				○	○	○		○									
R M R	Bieniawski,1974					○	○	○		◎						◎		○	
Q-System	Barton,1974		○			○	○								◎	◎		○	
스위스 지반분류	SIA 199호,1975																		○
오스트리아지하공사 표준시방서	ÖNORMB2203, 1975									○		○							
프랑스 터널협회 암 반 분 류	AFTES,1975	○								○		○							
Rock Mass Index (RMI)	PalmstrÖm,1995					○	○	○		◎	◎	○			◎	△			
일본 국유철도 기준		○												◎			◎		
일본 도로협회 기준		○	○		○	◎	○		◎				○	◎			◎		
일본 도로공단 기준		○	○		○	◎			◎				○	◎	◎		◎		
일본 농림산성 기준				○		○				◎				◎	◎				
일본수자원개발공단 기준		○	○			◎	○			◎			○	◎					

주) ○ : 정성적 평가, ◎ : 정량적 평가, △: 간접 이용

1.3.3 암반의 공학적분류 기준

기본방향	•사업구간의 암반분류의 적용은 RQD, RMR, Q-System을 이용한 암반분류 수행

○ RQD에 의한 암반분류

▮ RQD에 의한 암반분류법 개요

개 요	•1967년 Deere에 의해 제안 •코어회수율(TCR : Total Core Recovery)을 발전시킨 개념인 RQD(Rock Quality Designation)는 절리의 발달간격을 나타내는 지수로서 암반 특성을 파악하는 중요한 요소 •사업구간에서 실시한 BIPS와 BHTV자료에서의 RQD를 산정하여 시추코어에 대한 RQD산정의 적정성 검증
평 가	$\text{•RQD(\%)} = \frac{\text{10cm이상 Core 길이의 합}}{\text{총 시추길이}} \times 100(\%)$
특 징	•신속하게 불연속면의 간격을 정량화, 주관적인 차이가 적음
	•절리의 방향성, 밀착성, 충전물, 지반응력 등을 고려할 수 없음

▮ RQD에 의한 암반분류법

RQD 범위	100~81	80~61	60~41	40~21	20이하
암반등급	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
암질상태	매우 양호	양호	보통	불량	매우 불량

○ RMR에 의한 암반분류

▮ RMR에 의한 암반분류법 개요

제 안	•Bieniawski(1976)제안
평 가	•현장시험이나 시추자료에서 구한 6가지 항목에 점수를 주어 암반을 평가 ① 일축압축강도(15점) ② RQD(20점) ③ 불연속면의 간격(20점) ④ 절리상태(30점) ⑤ 지하수상태(15점) ⑥ 불연속면의 방향
특 징	•안정성 평가를 위한 공학적 기초정보의 취득이 용이 •절리군이 작을 때 보수적인 평가 •많은 적용 사례가 있으며, 비교 검정 및 항목 평가가 비교적 용이 •터널의 진행방향과 절리방향성을 고려 •보강방법을 개략적으로 제시 •지반응력을 고려하지 못함 •분류요소(6가지)간의 점수가 뚜렷한 경계가 없음

암반분류 요소와 평점

평 가 항 목			평 점						
1	무결암 (Intact Rock) 강도(MPa)	점하중강도	>10	4~10	2~4	1~2	일축압축강도적용		
		일축압축강도	>250	100~250	50~100	25~50	5~25	1~5	<1
	점 수		15	12	7	4	2	1	0
2	R Q D (%)		90~100	75~90	50~75	25~50	<25		
	점 수		20	17	13	8	3		
3	절 리 간 격		>2m	0.6~2m	0.2~0.6m	60~200mm	<60mm		
	점 수		20	15	10	8	5		
4	불연속면 상 태	굴 곡	매우거침	–	약간거침	부드러움			
		연 속 성	<1m	1~3m	3~10m	10~20m	평활면		
		틈	없 음	<1mm	<1mm	1~5mm	>5mm		
		충진물 두께	없 음	단단한 충진물 <5mm	>5mm	연한 충진물 < 5 mm	>5mm (단층점토 존재)		
		풍화상태	신 선	약간풍화	–	심한 풍화	분 해		
	점 수		30	25	20	10	0		
5	지 하 수	터널길이 10m당 유입량(L/min)	없음	<10	10~25	25~125	>125		
		절리수압 /최대주응력비	0	<0.1	0.1~0.2	0.2~0.5	>0.5		
		일반적인 조건	완전건조	습 함	젖음 (간헐적 용출)	물방울이 떨어짐	용출이 심함		
	점 수		15	10	7	4	0		

절리방향에 따른 평점 보정점수

절리 주향/경사		아주 유리함	유 리 함	양 호 함	불 리 함	아주 불리함
6	터 널	0	–2	–5	–10	–12
	기 초	0	–2	–7	–15	–25
	사 면	0	–5	–25	–50	–60

RMR의 구분 및 이용방법

- 6개 항목(1~6) 합산 = RMR : 지반등급의 평가
- 5개 항목(1+2+3+4+6)+15점 = RMR^{89}(Dry 상태에서의 RMR) : GSI 추정에 이용
- 1+2+3+4 = RMR' : 변형계수 산정시 김교원(1993) 식에 사용
- 2+3+4+5 = RCR(Rock Condition Rating) : Q-System에서 SRF 1로 둔 Q값과의 상관관계

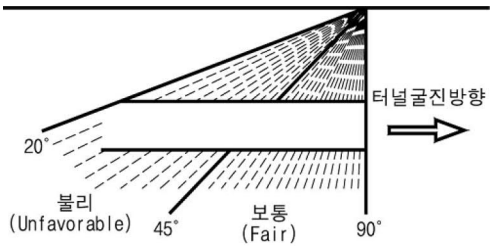
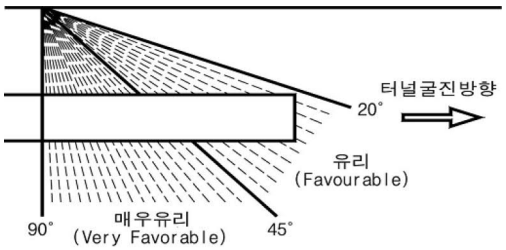
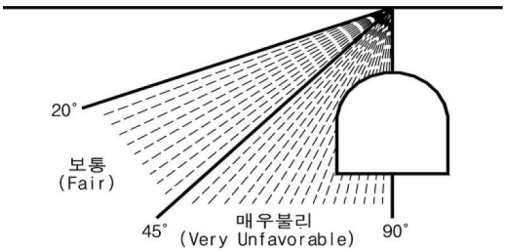
■ RMR 평점합계에 의한 암반등급의 평가

평점합계	81~100	61~80	41~60	21~40	20 이하
등 급	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
평 가	매우 양호 (Very Good)	양 호 (Good)	보 통 (Fair)	불 량 (Poor)	매우 불량 (Very Poor)

■ RMR 암반등급의 공학적 의미

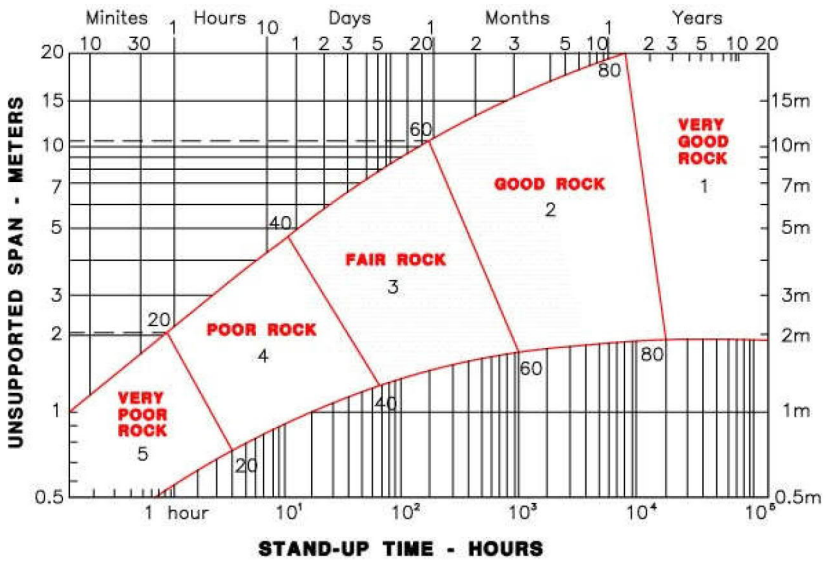
구 분	Ⅰ등급	Ⅱ등급	Ⅲ등급	Ⅳ등급	Ⅴ등급
평점합계	81~100	61~80	41~60	21~40	20 이하
평 가	매우 양호 (Very Good)	양 호 (Good)	보 통 (Fair)	불 량 (Poor)	매우 불량 (Very Poor)
점착력(kPa)	400 이상	300~400	200~300	100~200	100 이하
마 찰 각(°)	45 이상	35~45	25~35	15~25	15 이하

■ 불연속면의 방향과 경사에 따른 터널평가기준

불연속면 방향	불연속면 경사		평 가	
터널축과 직교	역경사	20~45°	불리 (Unfavorable)	
		45~90°	보통 (Fair)	
	순경사	20~45°	양호 (Favorable)	
		45~90°	매우 양호 (Very Favorable)	
터널축과 평행	20~45°		보통 (Fair)	
	45~90°		매우 불리 (Very Unfavorable)	
터널축과 무관	0~20°		보통 (Fair)	

■ 암반 등급별 무지보폭과 최대 안정폭의 상관관계(Bieniawski, 1976)

등 급	I	II	III	IV	V
평균 무지보 자립시간	15m 경간으로 20년	10m 경간으로 1년	5m 경간으로 1주일	2.5m 경간으로 10시간	1.0m 경간으로 30일



○ Q-System에 의한 암반분류

■ Q-Sysyem의 개요

개 요	•1974년 NGI의 Barton등에 의해 제안 •200여개의 기 시공된 터널의 보강실적을 통계하여 암반상태와 보강량의 관계 분석 •1993년 지보패턴을 기존 38개 항에서 강섬유보강 숏크리트를 사용하는 9개항 수정 (Grimstad and Barton)
평 가	•Q 값은 최소 0.001(극히 불량)에서 1,000(극히 양호, 절리가 거의 없음)의 범위
산 정 법	• $Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$ RQD : 10cm 이상 코어의 백분율, J_n : 절리군 수 ⇒ RQD/J_n : 암괴크기의 척도 J_r : 절리면 거칠기, J_a : 절리면 변질정도 ⇒ J_r/J_a : 암괴사이의 마찰각 척도 J_w : 절리내 지하수 저감계수, SRF : 응력 저감계수 ⇒ J_w/SRF : 작용응력 척도
특 징	•암반의 전단강도에 주안점을 둔 암반분류로 지중응력(심도)을 고려 •터널의 방향과 절리방향과의 관계는 영향이 적다고 판단 •터널의 지하공동의 크기 및 형태에 구애받지 않고 적용 •압출(Squeezing)이나 팽창(Swelling)성 암반에도 적용 •터널 갱구부 또는 터널 사이의 접속부에 대한 암반평가 및 지보량 산정 기준 제시 •터널의 전단(Arch)부와 벽면(Wall)부를 구분하여 지보량 산정 •변수들을 막장에서 비교적 정확히 구별할 수 있음 •조사자의 정밀성과 숙련성(지질공학적/암반공학적 경험)이 요구

▮ Q-System의 항목 및 평점 기준

A. RQD (암질지수)	
매우 불량	0~25%
불 량	25~50%
보 통	50~75%
양 호	75~90%
매우 양호	90~100%

Notes :
① RQD의 값이 10이하 일 때에는 10으로 하여 계산
② RQD의 값은 100, 95, 90등과 같이 5의 간격 값을 사용

B. J_n (절리군의 수)	
괴상으로 절리가 없거나 약간의 절리	J_n = 0.5~1
1방향의 절리군	2
1방향의 절리군과 산발적인 절리	3
2방향의 절리군	4
2방향의 절리군과 산발적인 절리	6
3방향의 절리군	9
3방향의 절리군과 산발적인 절리	12
4개 혹은 그 이상의 절리군, 심하게 절리가 발달된 상태	15
토사 상태로 파손된 암반	20

Notes : ① 갱도교차부 → $3.0 \times J_n$, ② 갱구 → $2.0 \times J_n$

C. J_r (절리 거칠기 계수)

a) 절리면이 접촉하고 있는 상태
b) 전단변위가 10cm이하에서 절리면접촉

불연속성 절리	J_r = 4
거칠거나, 불규칙하고 파동형	3
완만하고 파동형	2
매끄럽고 파동형	1.5
거칠고 불규칙적이며 평탄함	1.5
완만하고 평탄함	1.0
매끄럽고 평탄함	0.5

Notes :
① 작은 규모와 중간규모의 순으로 기술

c) 전단시 절리면의 접촉이 생기지 않는 경우

절리면 접촉을 막을 정도의 두께로 절리에 점토광물이 포함되어 있을 경우	1.0
절리면의 접촉을 막을 정도로 모래, 자갈 또는 파쇄대가 존재할 경우	1.0

Notes :
① 절리군의 평균간격이 3m이상이면 1.0 가산
② 선상구조(Lineation)가 최소 강도방향으로 배열하고 있거나 선상구조를 갖는 평탄하고 미끄러운 절리에 대해서는 $J_r = 0.5$

D. J_a (절리 변질 계수)

절리면의 특성			조 건	접촉 절리
절리면이 접촉된 경우	깨끗한 절리	밀착 혹은 접합 절리	석영, Epidote 등의 충진	J_a = 0.75
		신선한 절리면	피복이나 충진이 없으며 얼룩이나 녹이 존재	1
		약간 변질된 절리면	비연화 광물이나 점토가 포함 안된 입자 피복	2
	피복 혹은 얇은 두께로 충진된 절리	마찰력이 있는 충진물	모래, 실트질 방해석(비연화)	3
		점착력이 있는 충진물	점토, 녹니석, 활석 등	4

절리면 접촉이 약간 혹은 거의 안된 경우	충진물의 종류	충 진 물	약간의 접촉	접촉 없음
			5mm이하 충진	5mm이상 충진
	마찰력이 있는 충진물	모래, 실트질 방해석 등(비연화)	J_a = 4	8
	강한 점착력의 충진물	점토, 녹니석, 활석 등이 치밀한 충진	6	5~10
	약한 점착력의 충진물	점토/녹니석/활석 등이 중간~낮은 정도의 치밀성을 보임	8	12
	팽창성 점토 물질	팽창 물성을 나타내는 광물의 충진	8~12	13~20

E. J_w (절리 사이의 물에 의한 감소계수)		
건조상태로 굴착 또는 소량의 용수 국부적으로 5L/min미만	수압P_w < 0.1MPa	J_w = 1.0
적당한 양의 용수와 수압, 가끔 절리 충전물이 유출	1.0~2.5	0.66
충전물 없는 절리를 갖는 암반내에서 다량의 용수와 높은 수압을 가짐	2.5~10.0	0.5
다량의 용수와 높은 수압 충전물의 상당량이 유출		0.3
발파시 다량의 용수 또는 높은 수압, 시간에 따라 감소	>10.0	0.2~0.1
다량의 용수 또는 높은 수압, 시간에 따라 용수량과 수압이 감소하지 않음		0.1~0.05

Notes : ① 마지막 4개는 개략치임, 배수시설을 설치한 경우 J_w값을 증가시킴
② 동결로 인한 특수 문제는 고려되지 않았음

F. SRF (응력저감계수)		
연약대 터널을 교차할 경 우	점토나 화학분해된 암석을 포함하는 연약층 다수존재, 주변암반이 매우 이완됨 (굴착심도와 무관)	SRF = 10
	점토나 화학적으로 풍화된 암석을 포함하는 연약층이 단 1개 일 때(굴착심도 50m미만)	5
	점토나 화학적으로 풍화된 암석을 포함하는 연약층이 단 1개 일 때(굴착심도 50m이상)	2.5
	견고한 암반에 다수의 전단대(점토 없음), 주변 암반 이완됨(굴착심도와 관계없음)	7.5
	견고한 암반내에 전단대가 1개일 때(점토 없음, 굴착심도 50m미만)	5
	견고한 암반내에 전단대가 1개일 때(점토 없음, 굴착심도 50m이상)	2.5
	이완되고 열린 절리, 절리가 심하게 발달됨(심도와 관계없음)	5

Notes : ① 문제되는 전단대가 터널과 교차하지 않고 영향만을 미치는 경우 SRF를 25~50% 감소

		σ_c/σ_1	σ_θ/σ_1	SRF
견고한 암반의 응력이 문제가 되 는 경 우	지표 부근, 낮은 응력, 절리가 열려 있음	>200	<0.01	2.5
	중간 응력, 적당한 응력 조건	200~10	0.01~0.3	1
	높은 응력에서 대단히 견고한 구조(벽면 제외하고 안정에 유리)	10~5	0.3~0.5	0.5~2
	괴상암반에서 1시간 후에 약간의 Slabbing 발생	5~3	0.5~0.65	5~50
	괴상암반에서 몇 분후에 Slabbing과 암파열(Rock Burst) 발생	3~2	0.65~1	50~200
	괴상암반에서 격렬한 암파열(Rock Burst)과 급격한 변위 발생	<2	>1	200~400

Notes : ② 이방성이 심한 초기응력 조건 : $5 \le \sigma_1/\sigma_3 \le 10$일 때는 σ_c를 $0.75\sigma_c$로, $\sigma_2/\sigma_3 > 10$일 때는 σ_c를 $0.6\ \sigma_c$로 감소
③ 지표에서 터널 천단부까지의 심도가 터널폭 보다 적을 때는 SRF 2.5에서 5까지 증가

제 2 장 현장조사 및 시험

2.1 물리탐사

2.1.1 굴절법탄성파탐사

기본방향	•탄성파속도 분포로부터 개략적인 지층의 연속적인 분포상태와 파쇄대와 같은 저속도 이상대 유무 파악 •지표지질조사 및 시추조사 결과와 연계하여 미시추구간의 지층 경계 파악

○ 탐사원리 및 방법

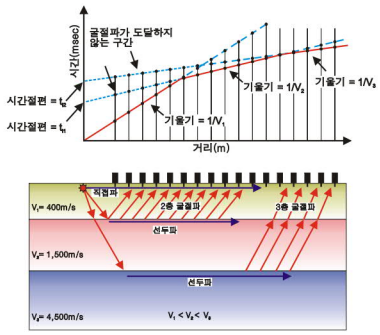
•지표에서 인공적으로 발생된 탄성파 신호를 지표의 측선상에 등간격으로 설치한 지오폰을 이용하여 수진
•각 수진점에 도달하는 직접파와 선두파의 초동주시를 읽어 주시곡선을 작성
•주시곡선 상에 나타나는 각 직선들의 기울기로부터 지층의 속도를 산정하여 각 지층경계면까지 깊이를 계산

탐 사 방 법

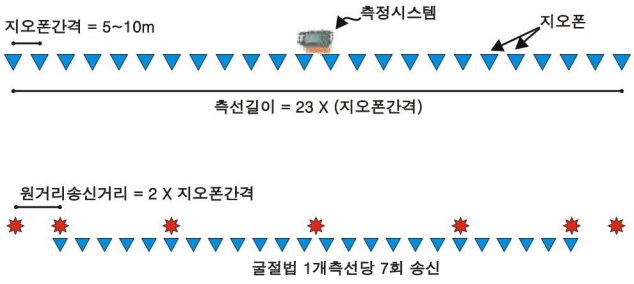
•탄성파의 발생원으로는 발파 또는 Sludge Hammer를 지표에 고정된 플레이트에 수직 가격하여 종파를 발생시키며, 양단 원/근거리 발파와 중앙발파를 수행
•탐사목적과 가탐심도에 따라 Geophone 간격을 배열한 후 구간분할 및 중복측정
•기록된 자료를 자료변환, 트레이스 정리, 필터링등의 전처리 과정을 수행한 후, 초동주시를 취합하여 역산과정을 거쳐 속도분포 및 속도 토모그램 작성

탄성파 탐사장비

주시곡선 개념도



탄성파탐사 모식도



○ 적용현황

구 분	생태터널	성라터널
수 량(m)	120	680

결과활용	•직접적인 지층 구조를 파악하기 위하여 수행하며, 시추조사 위치 선정에 활용 •전기비저항탐사, 시추성과 및 시료분석등과 병행하여 단층대 및 지질 이상대의 위치규명에 활용 •탐사구간의 탄성파속도 분포로부터 터널 입·출구부, 비탈면구간의 미시추구간에 대한 지층분포 규명

2.1.2 전기비저항탐사

기본방향	•모델링된 단면을 통해 단층 또는 지질구조대로 파악되는 저비저항 이상대 확인 및 개략적인 지층 현황을 파악 •터널 예정구간의 단층, 파쇄대 및 각종 연약대 분포 양상 파악 •시추위치 선정 및 미시추구간의 지층 구조 파악

○ 탐사원리 및 방법

•암석의 전기비저항은 공극율(Porosity), 공극수의 성질, 유체포화도, 조암광물의 종류, 점토광물의 존재여부 및 단층, 파쇄대 등의 요인에 의해서 변화
•지하매질의 전기비저항 차이에 의한 전위차를 측정하여 지층의 구조, 암석의 분포 상태 등을 규명
•이상대에 의한 등전위선의 왜곡을 측정하여 지하구조를 해석

구 분	구 성 장 치
Model	Syscal PRO SWITCH 48
제조사	IRIS(FRANCE)
사 양	자동측정
	25μV 해상도
	1조 48개, 1회 측선 전개로 48채널 측정
해 석	DiproWin Ver.4.01

전기비저항 탐사장비

탐 사 방 법

•한 쌍의 전류전극(Current Electrode)을 통하여, 직류 전류를 지하에 흘려보내 다른 한 쌍의 전위전극(Potential Electrode)에서 전위차를 측정하여 지하지질구조, 단층, 파쇄대, 지하수 등의 분포를 확인하는 물리탐사법
•전기비저항 탐사는 전극 배열 방법에 따라 웨너 배열, 슐럼버저 배열, 쌍극자 배열, 단극자 배열 등을 이용한 탐사방법으로 구분됨
•본 탐사에서는 단위전극간격을 10m, 쌍극자 배열법을 이용하여 탐사 실시

○ 적용현황

구 분	성라터널	
	서울방향(R-1)	문산방향(R-2)
수 량(m)	340	340

결과활용	•이상구조대, 연약대, 파쇄대 위치 및 분포 양상을 파악하여 구조물에 대한 영향 검토를 위한 추가정밀조사의 기초 자료로 활용 •지층별 전기비저항치와 시추조사로부터 산정된 RMR값, Q값 등과 상관관계 분석을 통해 미시추구간에 대하여 전기비저항값에 의한 암반등급을 평가 •기타 조사결과와 비교·분석하여 암반등급 결정 및 터널 지보패턴 결정에 활용

2.2 현장조사

2.2.1 시추조사

기본방향	•지반의 성상을 조사하고, 조사와 병행하여 시료 채취 및 각종 원위치 공내시험 수행으로 설계에 필요한 제반 자료 제공 –지반의 수직적 분포상태, 파쇄대 및 단층대 확인, 지반 공학적 특성 파악 및 시료 채취 –암질상태, 균열상태, 파쇄구간의 분포 및 암석의 강도정수 산정을 위한 Core 채취

○ 조사방법

- 시추작업과 병행하여 지층의 상대밀도와 구성성분을 파악하기 위하여 표준관입시험 병행 실시
- 코어회수율을 높여 정확한 암질상태를 파악하기 위하여 D–3 Core Barrel 및 Diamond Bit 사용
- 채취된 암석 Core는 육안관찰에 의하여 암석 내에 분포된 절리와 절리면의 충전물 등을 파악하고, 절리의 분포상태, TCR, RQD 등의 암반특성을 평가할 수 있는 자료를 조사하여 시추주상도에 기재
- 지하수위의 측정은 지하수체(Groundwater) 상면의 위치 또는 시추공에 나타나는 정수면의 위치를 지표면과 일정한 기준면으로부터의 수직거리로 구함(시추종료 24시간 경과 후)

시 추 작 업 전 경 (TB–3)

시 추 작 업 전 경 (HTB–1)

○ 적용현황

구 분	성라터널	생태터널	휴게소 부지	합 계
수 량(회)	7	1	3	11

결과활용	•지층상태 및 지지층 확인, 암반분류, 현장시험 및 채취된 시료를 이용하여 실내 토질 및 암석시험 실시 •작성된 주상도는 암반분류 및 지보패턴 설계에 활용 •작성된 지층단면도는 비탈면 설계에 활용

2.2.2 시험굴조사 및 현장밀도시험

○ 시험굴조사

기본방향	•비탈면 및 터널 입·출구부의 지층 구성 상태와 쌓기재료의 다짐특성 파악 •노상재료로서 적합성 여부 판단 및 토공량 산출을 위한 토량 환산계수 산정

시험 방법	시험전경(원지반 상태)
•시험전 표준사 단위중량을 측정 •시험장소의 지표면을 정리 후 준비된 굴착도구로 흙을 채취 후 '시험기+모래' 무게를 측정, 시험기를 밑판 위에 밀착시킨 후 밸브를 열어 모래를 자유낙하 시킴 •모래의 흐름이 멈추면 밸브를 닫고 시험기를 들어내고, 밑판 위의 모래를 쓸어 모아 시험기에 담음 •채취된 습윤토 무게와 '시험기+남은 모래' 무게 측정 •급속 건조기로 파낸 흙의 함수비를 측정	

결과활용	•현장조사 및 실내시험에 의한 토사층의 품질, 다짐특성, 노상지지력비 산정 •쌓기재료로서의 적합성 판정 및 경제성을 고려한 쌓기재 및 노상재료로서의 유용가능성 파악 •자연상태의 현장단위중량을 구하여 비탈면 해석시 적용

○ 현장밀도시험

기본방향	•토사층을 대상으로 자연상태 및 흐트러진 상태의 단위중량 측정 •한국공업규격에 의거 현장밀도시험(KS F 2311) 실시

▮ 시험 방법(모래치환법)

•시험 장소의 지표면을 수평으로 고름
•지표면에 밑판을 밀착 후 내측의 흙을 팜
•파낸 흙의 전체중량을 측정함
•밑판구멍에 깔때기를 맞추어 측정기를 세움
•밸브를 열고 병 속의 표준사 이동이 멎는 것을 확인한 후 밸브를 잠금
•측정기와 남은 모래의 중량을 재고 시험 구멍 및 깔때기를 채우는데 필요한 모래의 중량을 구함
•깔대기를 채우는 데 필요한 모래의 중량을 구하고 시험 구멍의 체적을 구함

○ 적용현황

구 분	성라터널	생태터널	휴게소 부지	합 계
수 량(회)	2	–	–	2

결과활용	•다짐특성을 고려한 시공단계에서 흙쌓기 다짐관리시 활용 •토사층의 단위중량 파악 •토량 환산계수 산정

2.3 현장시험

2.3.1 표준관입시험

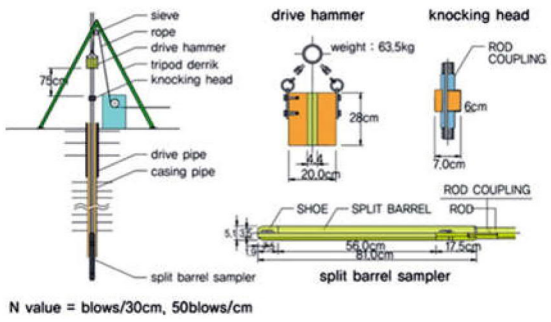
기본방향	•표준관입시험기를 이용하여 1.0m 간격을 전 시추공에서 수행하고, Split Spoon Sampler로 채취한 불교란 시료는 육안관찰 및 실내시험 수행

○ 시험방법

- 한국산업규격(KS F-2318)에 의거 토사 및 풍화대에서 1.0m마다 또는, 지층변화 지점에서 수행
- Sampler를 Rod의 하단에 연결, 표준해머(63.5kg)를 76cm 높이에서 자유낙하시켜 관입 깊이를 측정
- 15cm씩 3단계로 시행, Sampler를 30cm 관입하는데 필요한 타격횟수를 N값으로 측정(예, 10회/30cm)
- 지층이 조밀, 견고하여 30cm 관입이 곤란할 경우, 50회 타격한 관입량을 기록(예, 50회/5cm)

○ 시험모식도 및 시험전경

표준관입시험 모식도



시 험 전 경

결과활용	•N치로부터 지층의 조밀도 및 연경도 확인하고, 교란시료를 채취하여 육안판별 및 물성시험 시료로 이용, 지반 강도특성 및 변형특성 파악을 위한 자료로 활용

2.3.2 지하수위 측정

기본방향	•지속적인 시추공 지하수위를 측정하여 안정된 지하수위 분포현황 파악

- 시추작업 완료 직후 1차 측정
- 지하수위 측정은 지하수체(Groundwater) 상면의 위치 또는, 시추공에 나타나는 정수면 (Piezometric Surface)의 위치를 지표면이나 일정한 기준면부터의 심도를 측정
- 각 시추공별 지하수위 측정은 24시간 경과 후에 2차로 측정하며, 공내 지속측정이 가능한 시추공은 지하수위를 장기간에 걸쳐 측정하여 부록의 시추주상도에 기록

지하수위 측정

결과활용	•공내 안정수위 분포로 지하수위 분포 현황을 파악하고 암반분류(RMR 분류)시 지하수위 조건에 따라 평가항목의 지하수 상태 활용

2.3.3 공내재하시험

기본방향	•터널구간의 풍화암 및 기반암에서 수행하여 변형특성 (탄성계수 및 변형계수) 파악

○ 시험방법

•가압성능 및 시험의 신뢰성을 고려하여 지반조건에 따라 시험법을 달리함
토사층은 LLT(등분포재하법), 풍화대~연암층 이하는 Elastmeter-Ⅱ(등분포재하법), 연암층 이상은 Goodman Jack (등변위재하법)을 적용
•등변위재하법은 Probe를 시험공 공내에 삽입하고 유압 Jack으로 공벽에 하중을 가하는 방식
•불균질 지반이나 이방성 지반의 경우에는 재하방법에 따라 시험치가 다르게 될 경우도 있기 때문에 재하방향을 명확히 할 필요가 있음

○ 시험모식도 및 제원

시 험 장 비

시 험 전 경(BH-9)

구 분	LLT	PMT(Elastmeter-II)	Goodman Jack Test
가압력 제어	가스압력에 의한 밸브조작	자동 레규레타	핸드펌프에 의한 밸브조작
공벽변위량 측정방법	고무튜브내 주입수량에 산출	고무튜브내 주입수량에 산출	LVDT 공직경의 변화량 측정
재하판의 외경(mm)	60~80	60~80	40~85
재하판의 강성(표준)	유(고무튜브)	유(고무튜브)	강(금속판)
재하 방식	등분포하중	등분포하중	등변위

○ 적용현황

구 분	성라터널	생태터널	휴게소 부지	합 계
수 량(회)	4	-		4

결과활용	•터널구간 암반 등급별 변형계수를 결정하여 터널단면 수치 해석시 활용 •기초의 허용지지력 추정 및 변형특성 분석 자료로 활용

2.3.4 공내전단시험

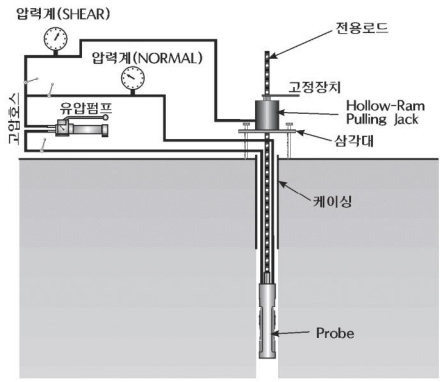
기본방향	•터널 입 · 출구부의 풍화토, 풍화암에 시행 •기초의 안정성 및 설계를 위한 중요 인자인 지반의 점착력(Cohesion) 및 내부마찰각(Friction Angle)을 산정하기 위해 현장 시추공내에서 실시하는 직접전단시험 •풍화대는 불교란 시료 채취가 어려워 실내시험을 통한 강도정수 산정이 곤란하므로 시추공 내에서 직접전단시험으로 풍화토 및 풍화암의 강도정수를 산출함으로서 신뢰성 높은 지반물성값 획득

○ 시험 방법

•시험시추공에 전단부를 삽입
•시추공 상부 주변 지표면에 인발장치(Pulling Device) 저판을 거치
•전단부(Shear Head)가 연결된 강봉을 인발장치(Pulling Device)에 장착 고정하여 전단부와 인발장치를 연결
•인발장치에 장착된 인발회전장치(Screw Arrangment)를 2회/sec의 속도로 회전시켜 전단부를 상향으로 인발(전단) 실시, 이때 인발장치상에 부착된 유압게이지를 통해 나타나는 전단응력의 관찰 최대값을 측정
•이상의 과정을 반복하여 시험을 실시하여 완료 후 측정된 수직응력(Normal Stress), 전단응력(Shear Stress)값을 선형회귀분석을 실시하여 직선의 파괴포락선(Failure Envelope) 작도 및 시험지층에 대한 점착력(Cohesion)과 내부마찰각(Friction Angle)값을 도출

○ 시험모식도 및 시험전경

공내전단시험 모식도



시 험 전 경

○ 적용현황

구 분	성라터널	생태터널	휴게소 부지	합 계
수 량(회)	2	-	-	4

결과활용	•풍화대 강도정수 산정시 우선적으로 반영 •구조물 안정검토 등 각종 안정성 검토시 입력 자료로 활용

2.3.5 투수시험

기본방향	•사업구간내 분포하는 토층 지반의 투수성 확인 •터널구간의 토사 및 풍화대층의 투수계수 파악

○ 시험 방법

- 투수시험은 흙을 통해 물이 빠져나가는 것을 수량적으로 표시하여 투수계수 결정하는 시험
- 사업구간에 분포하고 있는 지반의 투수성을 파악하기 위해 시추공내에서 수위 하강법(Falling Head Method) 적용
- 모래 : 1.0×10^{-3}cm/s
- 실트질 모래 : 1.0×10^{-3}~1.0×10^{-6}cm/s
- 실트질 점토 : 1.0×10^{-4}~1.0×10^{-6}cm/sec, 점토 : 1.0×10^{-6}~1.0×10^{-8}cm/s
- 1.0×10^{-6} 이하에서는 거의 투수가 되지 않는다고 보아도 됨
- 시험구간이 지하수면 하부에 위치하는 경우

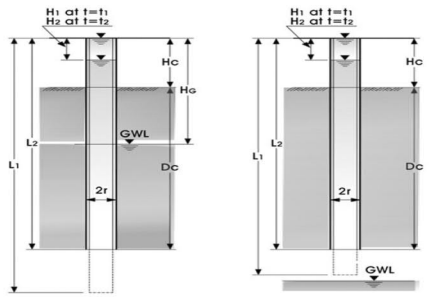
$$k=\frac{r^2}{2(L_1-L_2)(t_2-t_1)}\mathrm{Ln}\left(\frac{L_1-L_2}{r}\right)\mathrm{Ln}\left(\frac{(H_c+D_c)-H_1}{(H_c+D_c)-H_2}\right)$$

- 시험구간이 지하수면 상부에 위치하는 경우

$$k=\frac{r^2}{2(L_1-L_2)(t_2-t_1)}\mathrm{Ln}\left(\frac{L_1-L_2}{r}\right)\mathrm{Ln}\left(\frac{(H_1+H_G)}{(H_2+H_G)}\right)$$

k : 투수계수 (cm/s) r : 케이싱반경 (cm)
L_1 : 케이싱 상단에서 굴착깊이 까지 거리 (cm)
L_2 : 케이싱 상단에서 케이싱 하단까지 거리 (cm)
t_1, t_2 : 경과시간 (s)
H_1, H_2 : 경과시간에 따른 수위저하 거리 (cm)
H_C : 지상에 노출된 케이싱 길이 (cm)
D_C : 지중에 삽입된 케이싱 길이 (cm)
H_G : 케이싱 상단에서 지하수위까지 거리 (cm)

모식도



시 험 전 경

○ 적용현황

구 분	성라터널	생태터널	휴게소 부지	합 계
수 량(회)	4	–	–	4

결과활용	•토사지반의 투수계수 k값 산정 및 수치해석에 의한 침투류 해석시 입력 자료로 적용

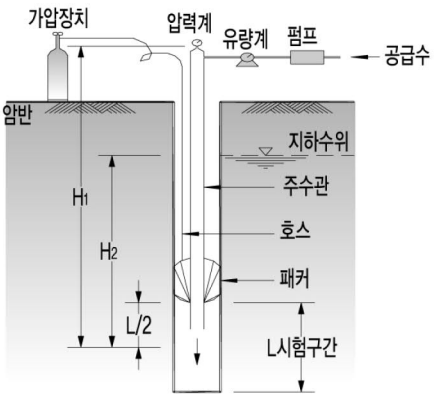
2.3.6 수압시험

기본방향	•터널구간 기반암의 투수성 파악 •터널 굴착에 따른 지하수 거동분석, 그라우팅 보강 효과 예측 등을 수행하기 위하여 실시 •지층별 투수계수와 Lugeon값을 산출하여 수리지질 특성을 평가할 목적으로 시행

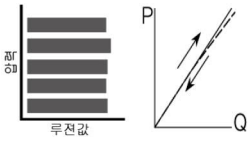
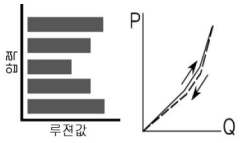
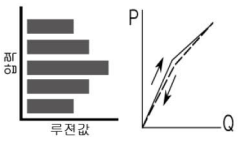
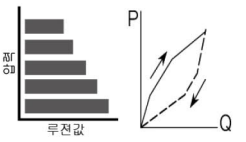
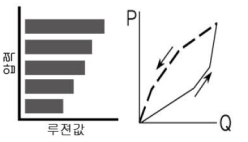
○ 시험원리 및 방법

•수압을 이용하여 불연속면을 포함한 암반의 투수성을 시험
•공경 76mm의 시추공에 압력 10kgf/cm^{2}로 주수한 경우 주입 길이 1m당 주입량을 리터단위로 나타낸 것이 루전(Lugeon)값임
•수압을 이용하여 불연속면을 포함한 암반의 투수성을 시험
•시험방법은 Single Packer를 사용 하였으며, 압력의 증감은 5~9단계로 실시하였고 각 단계에서 주입압력별로 약 10분간의 가압시간을 유지하여 정확한 주입수량 측정

모식도



시 험 전 경

층류 (Laminar)	난류 (Turbulent)	팽창 (Dilation)	유실 (Wash-out)	공극충진 (Void Filling)
				

○ 적용현황

구 분	성라터널	생태터널	휴게소 부지	합 계
수 량(회)	3	1	-	4

결과활용	•기반암의 투수계수와 Lugeon값 산출로 침투류 해석 및 차수보강 설계에 활용 •그라우팅 보강설계시 기초자료로 활용

2.3.7 공내영상촬영

기본방향	•공내영상촬영을 통해 암반내 파쇄대 및 불연속면의 분포 및 발달상태(경사방향, 경사, 틈새)등 지반 불연속면 특성 파악 •분석된 불연속면 분포 및 발달 상태에 대한 분석 자료는 터널부 수치해석, 갱구부의 비탈면 안정성 해석에 필요한 설계 자료 제공

시험원리 및 방법

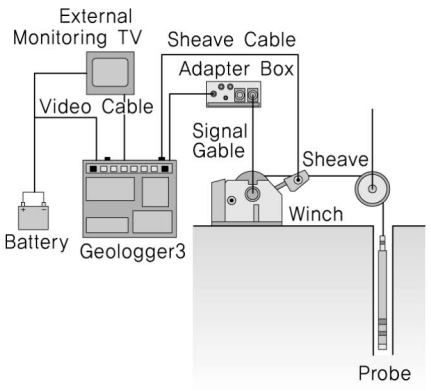
•시험대상 시추공 선정후 센서(Probe)를 시험공내에 삽입
•센서(Probe)를 삽입한 후 윈치에 부착되어 있는 속도조절기를 이용하여 0.5m/min정도의 속도로 내리거나 올리면서 심도에 따라 시추공벽을 연속적으로 360°촬영한 다음 이를 분석하여 지층에 대한 원위치 정보를 얻음
•입력된 정보를 심도별 및 불연속면의 특성별로 정렬 후 로즈다이어그램 및 스트레오넷을 이용하여 불연속면, 파쇄대, 단층대 등에 대한 각종 정보를 추정·해석
•모식도는 공내영상촬영을 이용한 불연속면의 원리를 보여주고 있는데 경사진 불연속면이 존재할 경우 sine 곡선의 형태를 띠게 되며 이때 sine 곡선의 진폭은 경사를, 최대 혹은 최소값의 위치는 주향을 나타냄
•불연속면 주향, 경사는 불연속면을 Pointing하여 나타나는 Sine Curve에 대해 다음 식으로 계산

– 경사각(Dip Angle) = $\tan^{-1}\left(\frac{H}{2r}\right)$

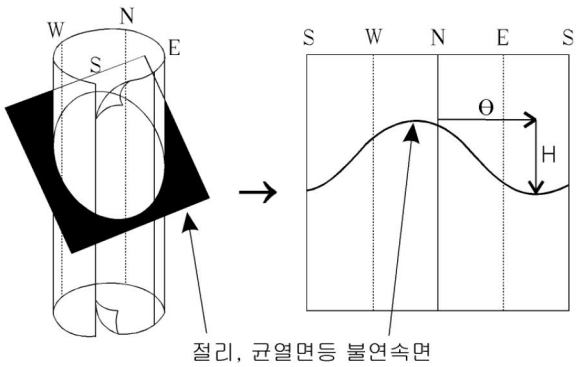
– 경사방향(Dip Direction) = θ

•불연속면들의 주향 및 경사각들에 대한 통계적 분석 및 분류 수행

시험 모식도



경사방향 결정 모식도



적용현황

구 분	성라터널	생태터널	휴게소 부지	합 계
수 량(회)	4	–	–	4

결과활용	•정밀지표지질조사 결과 및 Scanline 분석 결과와 연계하여 암반비탈면 안정해석에 활용 •불연속면의 발생빈도를 분석하여 확률 절리망 작성, 터널 굴진방향 검토, 암반분류시 활용

2.3.8 하향식탄성파탐사

기본방향	•시추공내 지반의 심도별 탄성파속도(V_p, V_s)산출 및 파쇄대 파악 •측정 전단파속도(V_s)를 이용하여 지반 동적특성치(G_d, E_d, K_d) 산정

탐사원리 및 방법

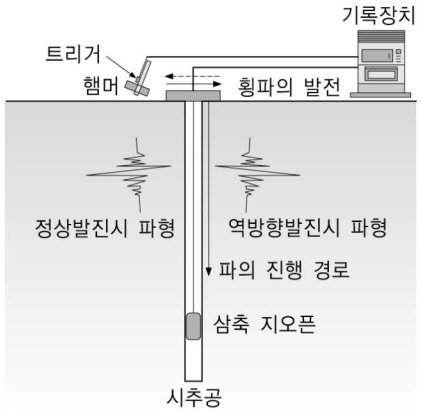
•시추공 지표에 발진을 위한 구덩이나 블록 제작
•하향파를 분별하여 수진하기 위해서 3성분 수진기를 공내에 설치(Triaxial Geophone)
•표석물의 양 측면을 Sludge Hammer로 가격
•시추공내에 설치한 삼축 수진기를 통해 자료획득
•종파 및 횡파자료에서 초동 주시 발췌 시추공–송신점간 이격거리에 따른 주시지연 보정 후 주시곡선을 작성
•주시곡선으로부터 심도간 구간속도를 계산
•측정된 탄성파 속도를 토대로 각 구간의 동적특성(G_d, E_d, K_d) 산정
•동계수 산정에 필요한 포아송비는 다음 식에 의해 산정(적용단위 중량값은 실내시험 값 적용)

$$\upsilon = \frac{(V_p^2 - 2V_s^2)}{2(V_p^2 - V_s^2)}$$

여기서, V_p, V_s : 압축파 및 전단파 속도

탐사장비 및 전경

탐 사 장 비



시 험 전 경

적용현황

구 분	성라터널	생태터널	휴게소 부지	합 계
수 량(회)	2	–	–	2

결과활용	•탄성파속도 분포로부터 지반의 동적물성치(동포아송비, 동전단계수, 동탄성계수, 동체적계수)를 산출하여 내진해석에 입력변수로 활용 •동적지반정수를 산출하여 내진설계 및 갱구부 안정성 해석에 활용

제 3 장 실내시험

3.1 실내토질시험

3.1.1 물성시험

기본방향	•시추조사와 병행하여 실시한 표준관입시험, 시험굴조사 및 불교란시료 채취시 얻어진 시료 중 대표적인 시료를 선별하여 흙의 물리적, 역학적 특성을 파악, 시험방법은 한국산업규격(KS F) 준수

○ 시험장비

비중시험

액성한계

토질물성시험

소성한계

체분석

○ 결과활용

시험 명칭	시험 결과	시험결과의 이용	표준방법
함 수 비 시 험	함수비	지반의 함수상태 파악	KS F 2306
비 중 시 험	비 중	지반의 단위중량 추정	KS F 2308
체 분 석 시 험	입도분포곡선	지반의 입도 조성 파악	KS F 2309
입 도 분 석 시 험			KS F 2302
액 성 한 계 시 험	액성한계	흙의 분류와 공학적 성질 추정	KS F 2303
소 성 한 계 시 험	소성한계		KS F 2304

○ 적용현황

구 분	성라터널	생태터널	휴게소 부지	합 계
수 량(회)	9	1	3	13

결과활용	•지반의 공학적 분류와 기본 물성치 산정에 반영

3.1.2 다짐 및 CBR시험

기본방향	•시료의 최대 건조단위중량(γ_{dmax})과 최적 함수비를 구하여 다짐특성 파악 •시료의 관입량에 따른 하중강도를 측정하여 시료의 지지력 판정

◎ 시험 방법

•다짐시험
- 건조법, 습윤법, 반복법, 비반복법을 이용하여 시료를 준비
- 몰드와 램머 검정 후 다짐시험을 실시함
- 최적함수비를 전, 후로 6~8개의 함수비를 구할 때까지 다짐시험을 반복함
- 함수비–건조단위중량 관계곡선을 구해 최대 건조단위중량 γ_{max}와 이에 대응하는 최적함수비 W_{opt}를 구함

•CBR시험
- 시료준비
  ① 시료의 최대허용입경에 따라 다짐방법 A 또는 D로 결정
  ② 다짐곡선을 작도하여 γ_{max}와 최적함수비 W_{opt}를 구함
  ③ 조제된 시료를 10kg씩 3개 준비하여 밀폐된 그릇에 담아 둠
  ④ 준비된 시료로 타격수 10, 25, 55회로 다짐을 실시함
- 흡수팽창시험
  : 4일 동안 물속에 침수시키고 1, 2, 4, 8, 24, 48, 72, 96의 각 시간에 팽창량 계측
- 관입시험
  ① 공시체 위에 5kg 하중을 얹음
  ② 재하 장치에 공시체를 장치하고 관입피스톤을 부착시킴
  ③ 피스톤을 1분 동안 1mm의 속도로 공시체에 관입하여, 관입량과 하중 값을 계측

시험명칭	시험결과치	시험결과의 이용	표준방법
다짐시험	최대건조밀도, 최적함수비, 다짐곡선	재료선정 및 흙의 다짐관리	KS F 2312
CBR시험	설계 CBR값	도로의 포장두께 결정	KS F 2320

◎ 설계 CBR 산정

•시방서에서 95% 건조단위중량을 요구한다면 최대 건조단위중량 γ_{max}의 95% 되는 단위중량에서 수평선을 긋고, 건조단위중량과 CBR 값이 만나는 점을 구하여 그 교점으로부터 수선을 내리면 가로축과 만나는 점이 구하고자 하는 CBR 0.95임

•설계 CBR의 산정
- 최대치가 극단적으로 클 경우

$$\gamma = \frac{X_n - X_{n-1}}{X_n - X_1}$$

- 최대치가 극단적으로 작을 경우

$$\gamma = \frac{X_2 - X_1}{X_n - X_1}$$

여기서, X_n : 최대성과치, X_{n-1} : 2번째 성과치 X_1 : 최소성과치, X_2 : 2번째 최소성과치

◎ 적용현황

구 분	성라터널	생태터널	휴게소 부지	합 계
수 량(회)	2/1	2/1	–	4/2

결과활용	•쌓기재의 토량변화율 산정 및 노상재료로서의 유용성 파악

3.2 실내암석시험

3.2.1 물성시험

기본방향

•암석의 공학적 특성을 규명하기 위하여 시추조사시 채취된 암석 시료에 대해 대표적인 시료를 선별하여 암석의 물리적, 역학적 특성을 파악하기 위하여 실내시험 수행

시험명칭	시험결과치	시험결과의 이용	표 준 방 법		
			KS F	ISRM	ASTM
비중시험	비 중	비중, 흡수율, 함수비, 포화도, 간극비	2518	○	
밀도시험	건조밀도, 습윤밀도	지반내의 응력산정, 지압발생 예측지표	2518	○	
흡수율시험	공극율, 흡수율	암석의 투수성	–	○	
탄성파속도시험	탄성파전파속도, 동적 탄성상수	암반의 균열도 파악, 암반분류	–	○	D2845
일축압축시험	압축강도, 탄성계수, 포아송비	암석의 역학적 특성, 암반분류	2519	○	D2938 D3148

○ 일축압축강도

•공시체에 구속압을 가하지 않은 상태에서 축방향으로 압축력을 가하여 파괴시의 축방향 하중을 측정
•일축압축강도(MPa) = 파괴시의 하중(kgf) /시험편의 단면적(cm^2)

○ 비중 및 흡수율

•겉보기 비중 = 시험편의 완전건조 비중/공극을 포함하는 단위외형체적
•흡수율(%) = (침수된 시험편의 중량–건조된 시험편의 중량)/시험편의 비중

○ 탄성파속도 측정

•시험편의 탄성파속도를 측정하기 위하여 Sonic Viewer Model을 사용, 측정방법은 시험편의 양면에 Transducer를 접촉시키고 Pulse를 발생시켜 Compressional Wave(P파) 및 Shear Wave(S파)의 전파시간을 측정하여 다음 식에 의하여 속도를 산출

$V_p = L/T_p$, $V_s = L/T_s$

여기서, V_p : P파 속도, T_p : P파 전파시간, V_s : S파 속도
T_s : S파 전파시간, L : 시험편의 길이

○ 적용현황

구 분	성라터널	생태터널	휴게소 부지	합 계
수 량(회)	7	1	–	8

결과활용

•기본물성의 시험결과로 암석의 암질을 분류하고 암반분류 기준의 암석강도 적용
•암석의 역학적 특성을 파악하여 암반분류 및 설계지반정수 산정시 활용

3.2.2 점하중시험

기본방향 •암석 시편의 인장력을 이용한 점하중 지수값을 산정

○ 시험원리 및 방법

•기반암 판정을 쉽고 빠르게 현장에서 수행할 수 있도록 일축압축강도를 비교적 정확하게 추정할 수 있는 시험
•시험결과치는 시료의 크기와 형태에 따라서 변화가 크기 때문에 시료크기와 형태에 따른 보정계수(ISRM, 1985)를 이용하여 보정치 사용
•Point Load Index Is_{50}은 다음과 같은 식을 이용하여 구함

$$Is_{50} = F \cdot Is$$

여기서, Is_{50} : 보정한 Point Load Index Is_{50}(MPa) F : 보정 계수 Is : 보정전의 Point Load Index (MPa)

•일축압축강도는 점하중 강도($Is_{(50)}$)에 상수 20~24를 곱하여 추정하며, 충분한 일축압축강도시험 결과가 있을 때에는 상관관계식을 이용하여 일축압축강도 변환상수를 결정
•점하중 지수는 그 자체로도 암석을 정량적으로 판단하는데 유용하게 사용되지만 일반적으로 일축압축강도 추정에 사용

○ 적용현황

구 분	성라터널	생태터널	휴게소 부지	합 계
수 량(회)	7	1	–	8

결과활용 •점하중강도 Is_{50}을 통해 시료성형이 어려운 시편의 일축압축강도 값 추정에 활용
•실내시험결과를 통해 얻어진 일축압축강도와의 상호비교를 통해 암반분류시 강도자료로 활용

3.2.3 절리면 전단시험

기본방향 •터널 및 비탈면 구간 암석 절리면의 건조/포화시 최대, 잔류전단강도 등의 절리특성 값 산정
•JCS, JRC, K_s, K_n 측정

○ 시험 방법

•암석의 전단면이 절리면과 일치하도록 하여 장축방향으로 시험을 실시
•시험시 전단변위의 속도는 10분 동안 0.1mm/min보다 작아야 한다.
•전단시에는 0.5~6.0mm 변위마다 측정 실시
•변위의 측정값들은 평균전단변위(Δs)와 평균수직변위(Δn)는 평균값을 계산
•시험편이 일정한 수직응력하에서 전단되고 1cm의 전단변위에 대해 5% 이하의 전단응력의 변화를 보이는 측정값이 나타나면 잔류강도값 측정
•전단응력 : $\tau = \frac{P_s}{A}$, 수직응력 : $\delta_n = \frac{P_n}{A}$

여기서, P_s : 전체 전단하중(kgf) , P_n : 전체 연직하중(kgf) , A : 전단면적(kgf)

○ 적용현황

구 분	성라터널	생태터널	휴게소 부지	합 계
수 량(회)	2	–	–	2

결과활용 •최대잔류강도와 수직응력의 관계로부터 절리면 점착력과 내부마찰각을 측정
•JCS와 JRC등의 절리 강도값을 분석하여 설계 입력자료로 활용

3.2.4 암유용성시험

기본방향	•터널내 암버력 및 입·출구부 굴착시 발생하는 암석의 유용성 결과 파악 •시공시 발생되는 발파암에 대하여 쌓기 재료와 구조물 및 포장용 골재로서의 사용 가능성 여부를 검토하여 경제적인 시공에 반영

○ 시험 기준

구 분	시 험 기 준	구 분	시 험 기 준
비중 및 흡수율	KS F2503	안정성 시험	KS F2507
마 모 시 험	KS F2508	–	–

○ 시방기준

시험 종목	골재구분	품질기준		비고
		콘크리트용	포장용	
비중	조골재	2.5 이상	2.5 이상	–
	세골재	2.5 이상	–	–
흡수율	조골재	3.0 이하	3.0 이하	–
	세골재	3.0 이하	–	–
마모율(%)	조골재	40 이하	40이하 35이하 25이하	기층(빈배합 콘크리트 기층) 표층(아스팔트 콘크리트포장) 표층(시멘트 콘크리트포장)
안정성(%)	조골재	12.0 이하	12.0 이하	황산나트륨 사용
	세골재	10.0 이하	–	

○ 적용현황

구 분	성라터널	생태터널	휴게소 부지	합 계
수 량(회)	2	–	–	2

결과활용	•터널 굴착으로 발생하는 암의 유용성 여부 판단시 활용 •쌓기재, 포장재, 콘크리트 골재로서 사용 가능성 여부 판단시 활용

제3편 지반조사 결과

제1장 지형 및 지질

제2장 구간별 지층현황

제3장 물리탐사

제4장 현장조사 및 시험

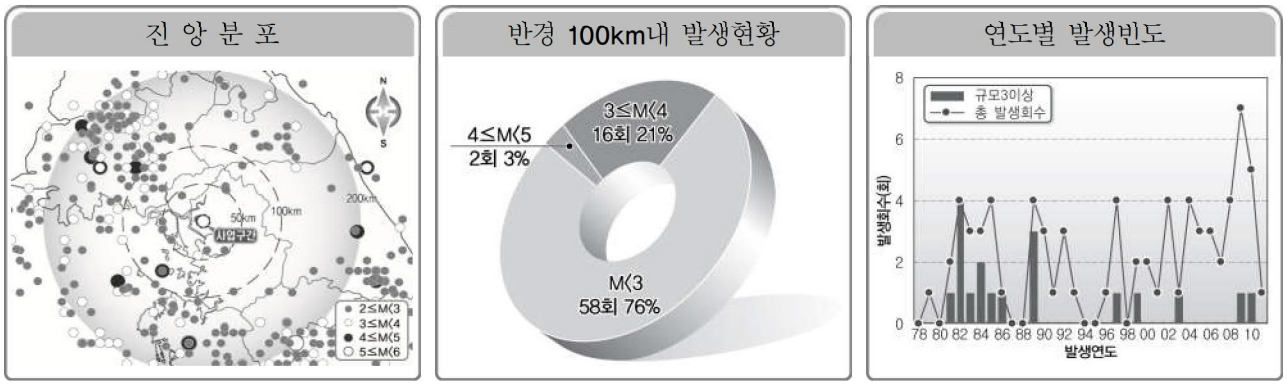
제 1 장 지형 및 지질

1.1 주변 환경 조사 및 분석

1.1.1 지진이력 조사

기본방향	•지진의 발생빈도 및 규모와 과거의 통계분석을 통한 지반 공학적 위험요소 파악 •지진재해에 취약한 구조물 등에 대한 상대적인 지진위험도 저감 효과와 장기적 안전성 확보

○ 지진이력 현황



○ 사업구간 주변지역(서울・경기)에서 발생한 대표 지진이력

발 생 일 시	규 모(M)	발 생 위 치		진 앙 지
		위 도	경 도	
1984.06.25	2.2	37.00 N	126.80 E	경기도 남부 아산만 지역
1985.01.22	2.1	37.70 N	127.00 E	서울 북방 약 85km 지역
1986.08.11	3.5	37.10 N	126.00 E	경기도 덕적도 남서 해역
1990.06.14	2.3	37.50 N	127.10 E	서울 동부 지역
1992.09.05	2.7	37.00 N	126.80 E	경기도 평택시 서부해안 지역
1992.11.25	2.6	37.70 N	126.40 E	경기도 강화도 중부 지역
1993.03.11	2.8	37.50 N	124.80 E	경기도 옹진군 소청도 해역
1993.06.12	2.7	37.50 N	125.50 E	경기도 소연평도 남서쪽 25km 해역
1997.11.09	2.5	37.80 N	126.80 E	경기도 파주 북쪽 약 5km 지역
1999.06.09	2.6	37.70 N	125.80 E	경기 대연평도 북동쪽 약 10km 해역
2000.10.28	2.7	37.10 N	126.70 E	경기도 수원 남서쪽 약 30km 해역
2001.02.10	2.0	37.10 N	127.60 E	경기 여주 남쪽 약 20km 지역
2002.03.25	2.4	37.10 N	127.20 E	경기 용인 남쪽 약 10km 지역
2004.09.15	2.5	37.50 N	126.90 E	경기 광명시 북동쪽 약 5km 지역
2008.03.15	2.0	38.11 N	127.10 E	경기 연천군 북동쪽 3km 지역
2008.09.11	2.4	38.08 N	127.12 E	경기 연천군 동남동쪽 4km 지역
2008.10.08	2.1	38.12 N	127.11 E	경기 연천군 북동쪽 4km 지역
2009.03.26	2.7	38.09 N	127.11 E	경기 연천군 동쪽 3km 지역
2010.02.09	3.0	37.45 N	126.80 E	경기 시흥시 북쪽 8km 지역

분석결과	•사업구간 주변(100km이내)에 발생한 지진은 총 76회이며 연평균 2.2회 발생 •지진발생빈도는 시간에 따라 점차 증가하는 경향을 보임

1.1.2 지형특성 분석

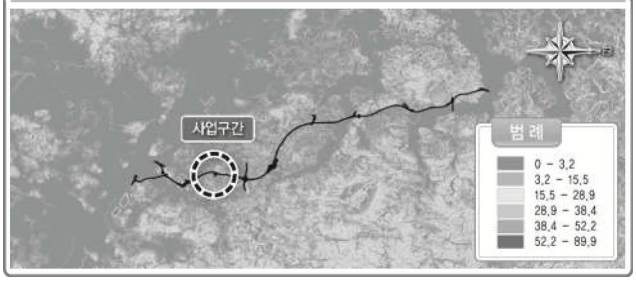
기본방향	•사업구간 노선 선정시 주요 구간에 대한 토질 및 지질공학적인 자료 획득 •산계 및 수계 등 지형특성에 따른 분포 암종 및 지질구조를 파악하는 1차적 자료로 활용

○ 산계 및 수계 분석

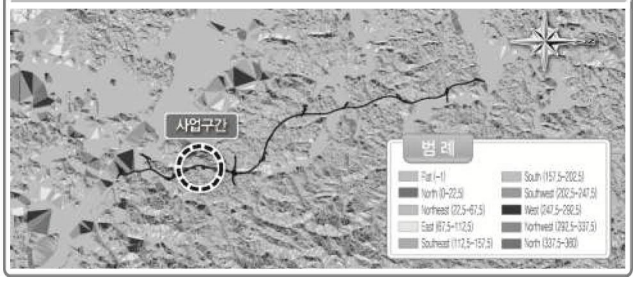
산 계	•사업노선이 통과하는 지역은 영주산–고봉산–왕룡산–월롱산을 잇는 북북서방향의 산능 발달 •공릉천을 경계로 남측은 구릉지성 저산능이 발달하고, 북측은 월롱산등 비교적 고산능 발달
수 계	•사업 시점부의 한강과 사업 종점부의 임진강이 있으며, 1차 지류로는 창릉천, 공릉천, 문산천이 분포 •창릉천과 공릉천은 직선상의 유로를 형성하여 한강에 유입되고, 문산천은 직선~곡류형 유로를 형성하여 임진강에 유입 •사업구간이 통과하는 구간은 대부분 저산능 지역으로 수지상 수계로, 공릉천과 문산천에 유입

○ 지형 분석

경사도 분석



경사방향 분석



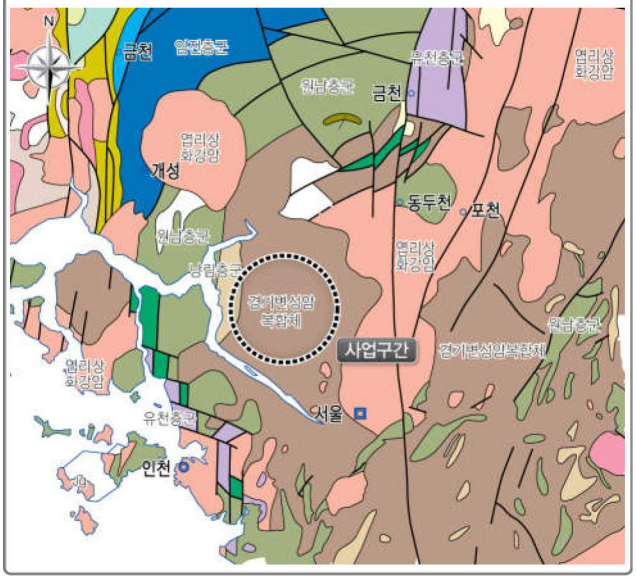
경사도(°)		경사방향	
0.0~3.2	65.9%	0.0~22.5	39.1%
3.2~9.2	19.2%	22.5~67.5	6.6%
9.2~15.5	9.6%	67.5~112.5	7.5%
15.5~21.8	2.9%	112.5~157.5	7.4%
21.8~28.9	0.9%	157.5~202.5	7.4%

분석결과	•사업구간의 경사도는 15°이하의 경사가 90% 이상 분포하고 경사방향은 0.0~22.5°의 방향이 주를 이루고 있음

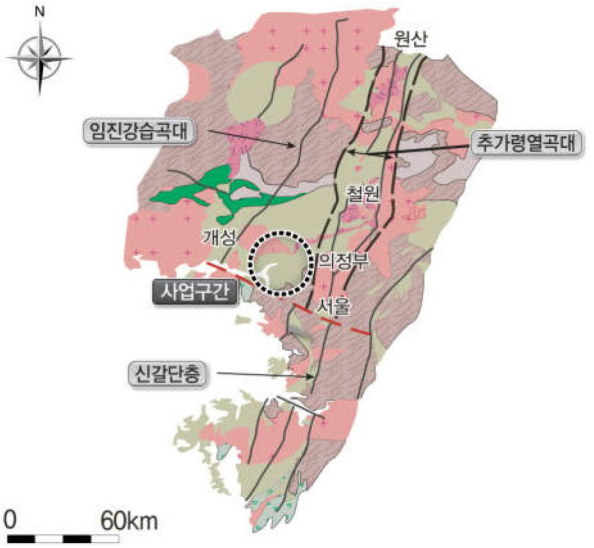
1.1.3 광역지질특성 분석

○ 광역지질분포 및 지체구조 특성 분석

광역지질분포 특성



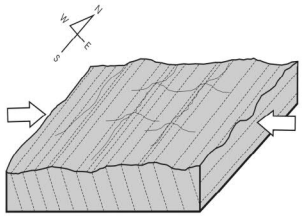
지체구조 분석



- 사업구간의 광역지질은 대부분 경기변성암복합체(편마암, 편암 등으로 구성)로 분포하며, 주변으로 김포 부근의 원생대 원남층군과 동두천, 포천 부근 중생대 엽리상화강암이 분포
- 사업구간은 원산에서 서울까지 이어지는 북북동 방향의 추가령 열곡대 서측에 위치하고, 지체구조상 안정된 경기육괴에 해당되며 지질구조대(대규모 단층, 파쇄대 등)의 영향이 적은 위치에 해당

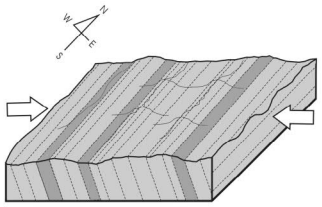
○ 지질변천사

1단계



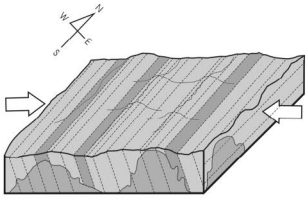
- 변형작용 및 변성작용에 의해 흑운모편마암 형성

2단계



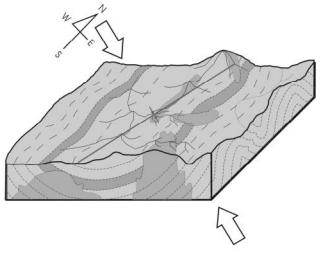
- 변성작용 동안 열수순환작용이 활발하여 석회규산염암 분포

3단계



- 심성암 관입 후 변성작용으로 우백질화강편마암 형성

4단계

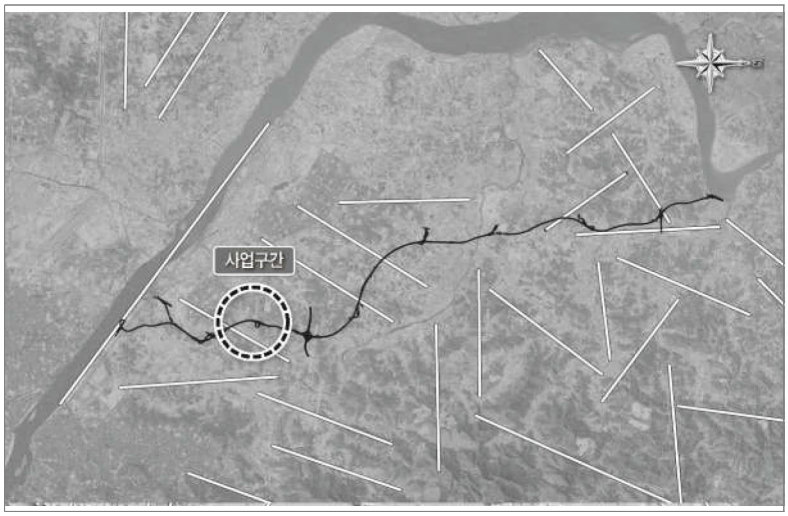


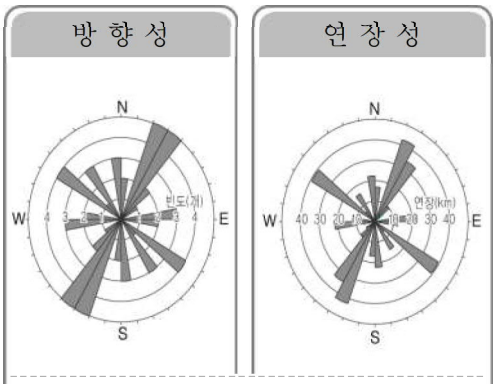
- 동-서방향의 응력에 의해 NE방향의 습곡 발달

1.1.4 선구조 분석

기본방향	•광역 선구조 분석을 통해 사업구간에 발달하는 선구조의 방향성 및 특성 파악 •단층 파쇄대의 특성과 위험요인을 예측하고 지반공학적 자료 습득 •지표지질조사 계획수립을 위한 자료로 활용

○ 위성영상 분석



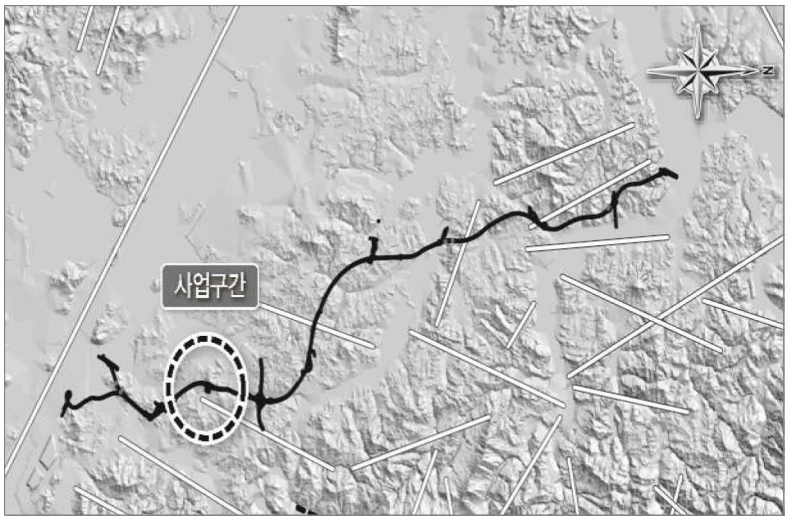


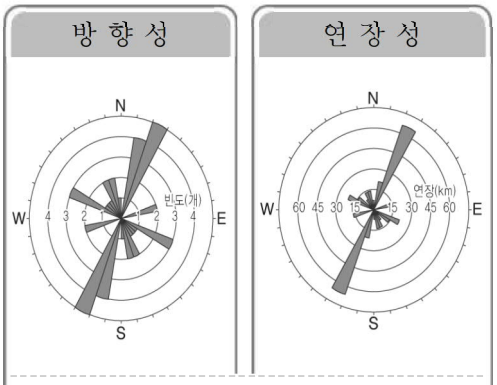
•Set 1 : N20~40E •Set 2 : N50~60W
•Set 3 : N10~20W •Set 4 : N30~40W

분석결과	•한강을 따라 N30E방향의 선구조 발달 및 연장성 크게 나타남 •주요 선구조는 N20~40E로 나타나며, N50~60W, N10~20W 및 N30~40W 선구조 발달

○ 음영기복도 분석

•위성영상에서 분광특성을 이용하여 선구조 판독이 용이하기도 하지만 광선방향에 따른 영향과 지표물질에 의한 영향으로 인해 선구조 판독에 불리한 경우가 발생할 수 있음
➜이를 극복하기 위해 음영기복도를 작성하여 선구조 판독에 활용



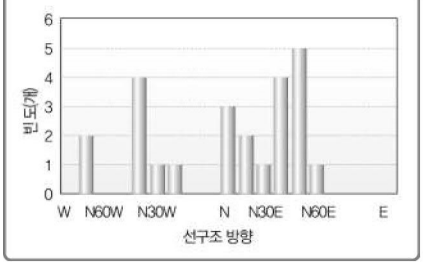


•Set 1 : N10~30E
•Set 2 : N60~70W
•Set 3 : N10~40W

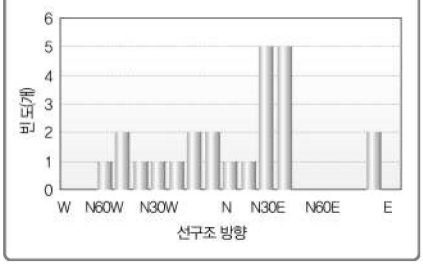
분석결과	•한강을 따라 발달하는 N20E 방향의 선구조와 이와 직각방향으로 발달하는 N60W방향 선구조 발달 •선구조의 연장성을 고려한 방향은 N20~30E방향의 선구조가 빈도가 높게 나타남

◯ 선구조 빈도 및 연장성 분석

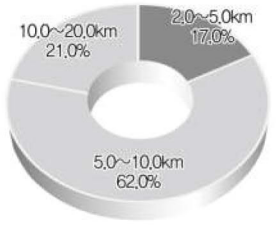
선구조 방향(위성영상)



선구조 방향(음영기복도)



선구조 연장 분포 비율

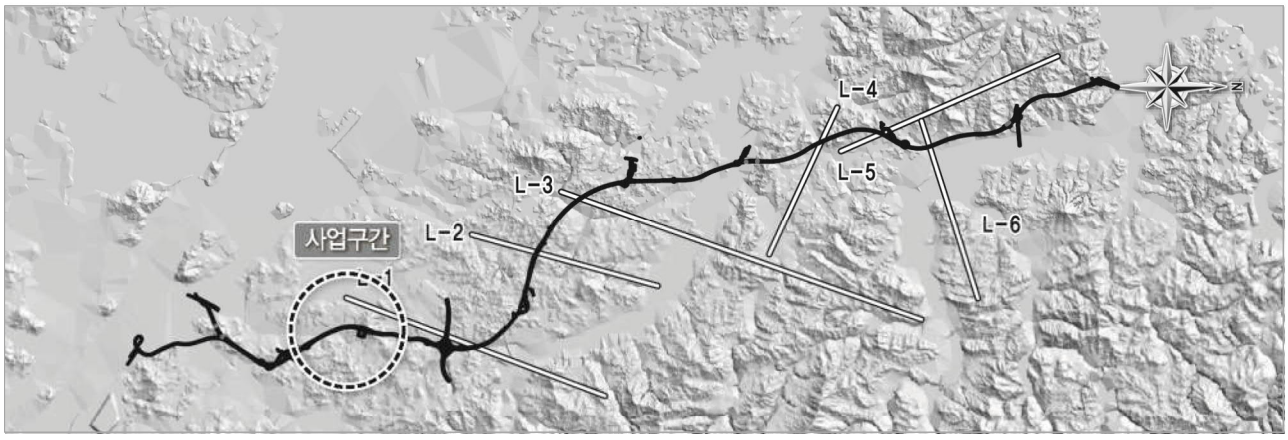


분석결과

- 위성영상과 음영기복도에서 관찰되는 선구조 방향은 유사하게 나타나며, N20~30E방향이 우세함
- 선구조의 연장은 5~10km가 62%로 가장 우세하고, 2~5km 17%, 10~20km 21%로 나타남

◯ 노선과 교차하는 선형구조 분석

- 지질도, 위성영상, 음영기복도를 종합 분석하여 사업구간에 형성된 선구조의 분포 특성 및 경향 분석
  ➜ 지반조사 계획 설정의 기초 자료로 활용
- 예비조사 단계에서 각종 정밀지반조사 지역 설정 및 노선결정의 보조수단으로 활용



◯ 노선과 교차하는 선형구조 특성

구 분	교차위치(STA)	방 향	교차각(°)	해당 구조물	비 고
L – 1	6+300	N20E	12	깎기부	
L – 2	13+200	N14E	87	쌓기부	
L – 3	15+130	N18E	66	쌓기부	
L – 4	21+640	N64W	66	금촌터널(종점부)	
L – 5	25+850	N22W	62	쌓기부	
L – 6	26+370	N82E	42	쌓기부	

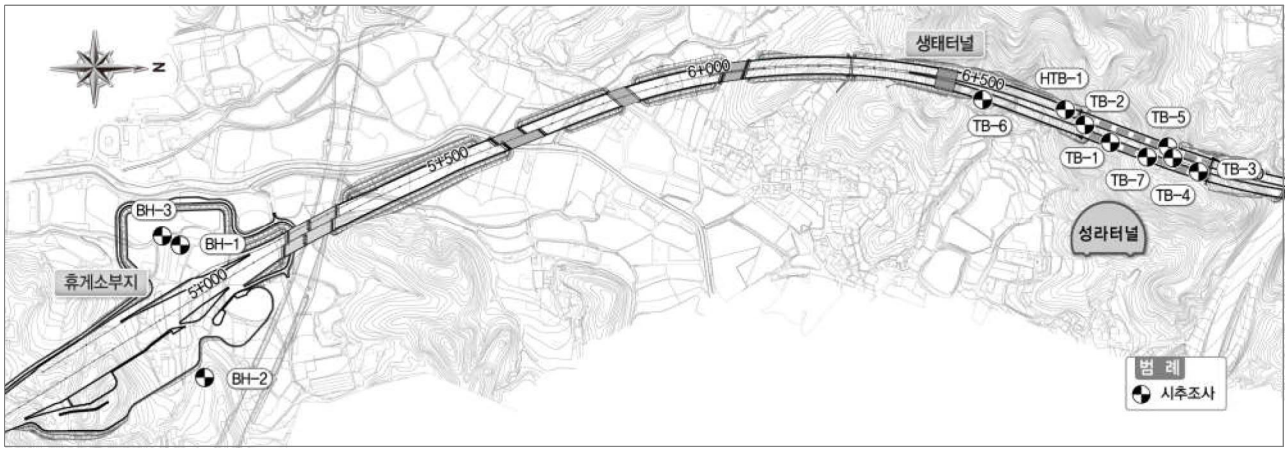
분석결과

- 사업노선과 교차하는 선형구조는 총 6개로 관측되며, 시점~공릉천 구간은 N14~20E방향으로 서로 평행하게 분포하고, 공릉천~종점구간은 N22~64W 및 N82E 방향의 선형구조가 나타남
- 교차 선형구조는 깎기 및 쌓기구간에 위치하여 터널이나 교량 등의 구조물에는 영향이 없을 것으로 분석됨

제 2 장 구간별 지층현황

2.1 시추조사

2.1.1 시추조사 위치



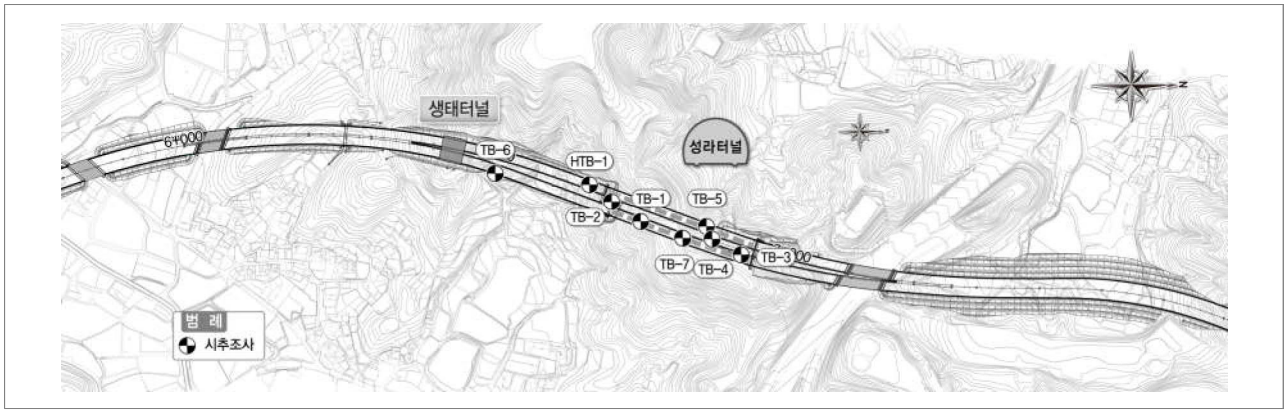
구분	공번	좌표		표고
		X	Y	(EL.m)
성라터널	TB-1	560,762.00	186,566.00	73.9
	TB-2	560,715.69	186,535.40	66.7
	TB-3	560,921.00	186,619.00	76.0
	TB-4	560,874.57	186,593.93	73.5
	TB-5	560,867.00	186,574.00	67.0
	TB-7	560,829.00	186,592.00	76.0

구분	공번	좌표		표고
		X	Y	(EL.m)
성라터널	HTB-1	560,680.36	186,507.74	52.5
생태터널	TB-6	560,530.00	186,488.00	47.1
휴게소부지	BH-1	559070.96	186753.06	16.4
	BH-2	559115.20	186992.49	23.8
	BH-3	559038.13	186737.77	16.3
	-	-	-	-

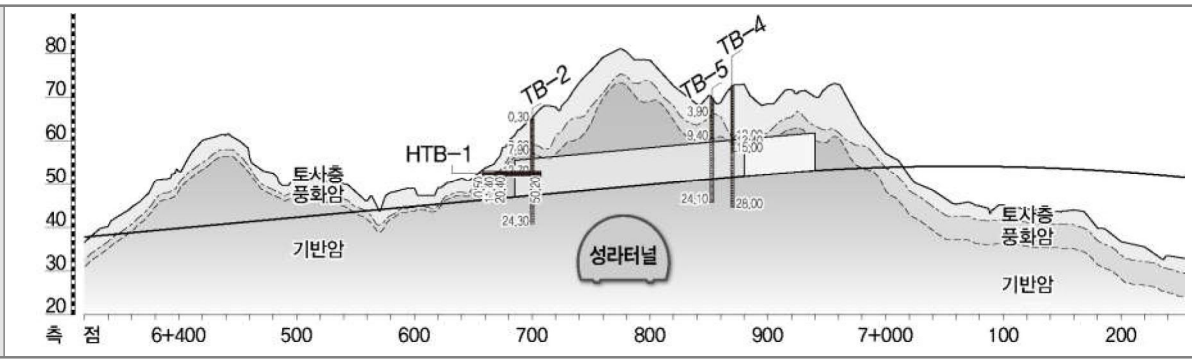
2.1.2 지층분포 현황

○ 성라터널 및 생태터널

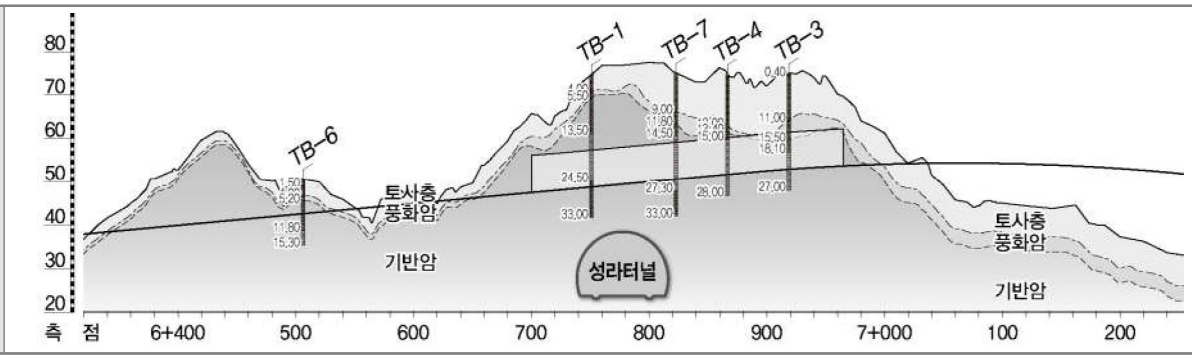
▮ 조사위치 및 지층단면도



상행



하행



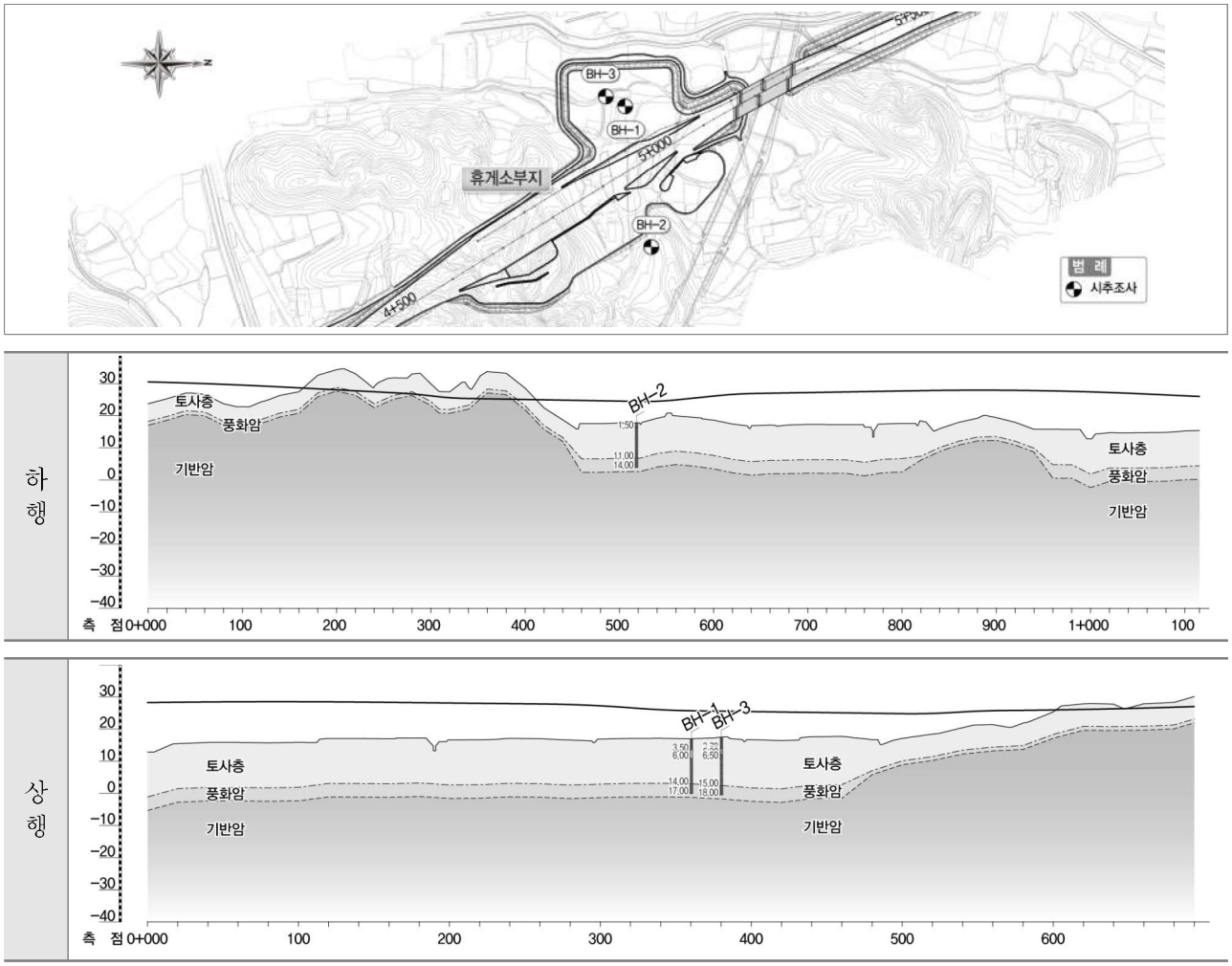
■ 지층상태

구 분	출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
붕적층	0.0	0.3~1.5	실트질 모래	13/30
풍화토	0.0~1.5	2.5~12.0	실트질 모래	9/30~50/9
풍화암	4.0~12.0	0.6~4.5	암편 및 실트질 모래	50/10~50/3
연 암	3.9~24.5	1.6~16.5	화강편마암	17~100%/0~61%
경 암	9.4~20.4	3.5~29.8	화강편마암	97~100%/50~100%

구 분	지 층 개 요
붕적층	•TB-2, TB-3, TB-6, HTB-1 시추공에서 확인된 최상부층으로 0.3~1.5m 층후로 분포 •암갈색, 적갈색의 실트질 모래로 구성되며 자갈이 포함되기도 함 •습윤한 상태이며, 보통조밀한 상대밀도로 분포
풍화토	•지표하 0.0~1.5m에서 2.5~12.0m 층후로 분포 •암갈색, 황갈색의 편마암의 상부풍화대로 실트질 모래로 구성 •습윤한 상태이며, 느슨~매우조밀한 상대밀도
풍화암	•TB-5를 제외한 시추공에서 확인되며, 지표하 4.0~12.0m에서 0.6~4.5m 층후로 분포 •편마암의 하부 풍화대로 굴진시 암편 및 실트질 모래로 분해 •습윤한 상태이며, 매우조밀한 상대밀도를 보임
연 암	•지표하 3.9~24.5m에서 1.6~16.5m 이상 층후로 분포 •암갈색, 담회색, 암회색, 갈색, 담회색의 화강편마암으로 구성 •TCR/RQD는 17~100%/0~61%로 매우불량~양호한 암질 상태 •심한풍화~약간풍화, 강함~약함, 매우심한균열~보통균열의 상태
경 암	•지표하 9.4~20.4m에서 3.5~29.8m이상 층후로 분포 •담회색, 암회색, 암흑색의 화강편마암으로 구성 •TCR/RQD는 97~100%/50~100%로 보통~매우양호한 암질 상태 •보통풍화~신선, 보통강함~매우강함, 심한균열~보통균열의 상태

◯ 휴게소 부지

▌조사위치 및 지층단면도



▌지층상태

구 분		출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값 및 TCR/RQD
매립층		0.0	3.5~3.7	실트질 자갈	4/30~9/30
붕적층	점토	3.5	2.5	저소성 점토	13/30
	모래	0.0	1.5	실트질 모래	4/30
퇴적층	점토	4.8	0.5	저소성 점토	4/30
	모래	3.7	1.1	빈입도 모래	5/30
	자갈	5.3	1.2	실트질 자갈	10/30
풍화토		1.5~6.5	8.0~9.5	실트질 모래, 모래섞인 실트	12/30~50/13
풍화암		11.0~15.0	3.0	암편 및 실트질 모래	50/9~50/2

구 분		지 층 개 요
매립층	모래	•BH-1, BH-3 시추공에서 확인된 최상부층으로, 층후는 3.5~3.7m를 보임 •암갈색의 실트질 자갈로 구성
붕적층	점토	•BH-1 시추공에서 확인되었으며, 지표하 3.5m에서 2.5m 층후로 분포 •적갈색의 저소성 점토로 구성, 견고한 연경도를 보임
	모래	•BH-2 시추공에서 확인된 최상부층으로 1.5m의 층후로 분포 •적갈색의 실트질 모래로 구성되며, 느슨한 상대밀도
퇴적층	점토	•BH-3 시추공에서 확인되었으며, 지표하 4.8m에서 0.5m 층후로 분포, 암회색의 저소성 점토로 구성 •습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 연약한 연경도를 보임
	모래	•BH-3 시추공에서 확인되었으며, 지표하 3.7m에서 1.1m 층후로 분포, 암회색의 빈입도 모래로 구성 •습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 느슨한 상대밀도
	자갈	•BH-3 시추공에서 확인되었으며, 지표하 5.3m에서 1.2m 층후로 분포, 갈색의 실트질 자갈로 구성 •습윤한 상태이며, 표준관입시험 결과 보통조밀한 상대밀도
풍화토		•지표하 1.5~6.5m에서 8.0~9.5m 층후로 분포, 편마암의 상부 풍화대로 실트질 모래, 모래섞인 실트로 구성 •습윤한 상태이며 표준관입시험 결과 보통조밀~매우조밀한 상대밀도
풍화암		• 지표하 11.0~15.0m에서 3.0m 이상 층후로 분포, • 편마암의 하부풍화대로 굴진시 암편 및 실트질 모래로 분해

2.2 시험굴조사 및 현장밀도시험

개 요	• 지층의 구성 상태 및 성토 재료로서의 적합 여부와 다짐 특성 파악

구 분	공 번	심 도(GL. -m)	지층명	구성성분	U.S.C.S	비고
성라터널	TP-1	0.0~0.3	붕적층	실트질 모래	SM	
		0.3~2.0	풍화토	실트질 모래	SM	
	TP-2	0.0~0.4	붕적층	실트질 모래	SM	
		0.4~2.0	풍화토	실트질 모래	SM	

○ 현장밀도시험 결과

구 분	공 번	심 도 (GL. -m)	구성성분	불교란상태		교란상태		L값
				습윤단위중량 (kN/m³)	건조단위중량 (kN/m³)	습윤단위중량 (kN/m³)	건조단위중량 (kN/m³)	
성라터널	TP-1	2.0	풍화토	17.81	15.42	14.18	12.28	1.256
	TP-2	1.5	풍화토	17.35	15.31	13.62	12.02	1.274

분석결과	•불교란시료의 습윤단위중량 : 17.35~17.81kN/m³, 건조단위중량 : 15.31~15.42kN/m³ •L값 : 1.256~1.274의 범위로 나타남

2.3 표준관입시험

개 요	•시추작업과 병행하여 지층의 교란시료를 채취하여 육안분류로 토질을 분류하고, 지층의 상대밀도와 연경도 파악으로 지층을 분류함

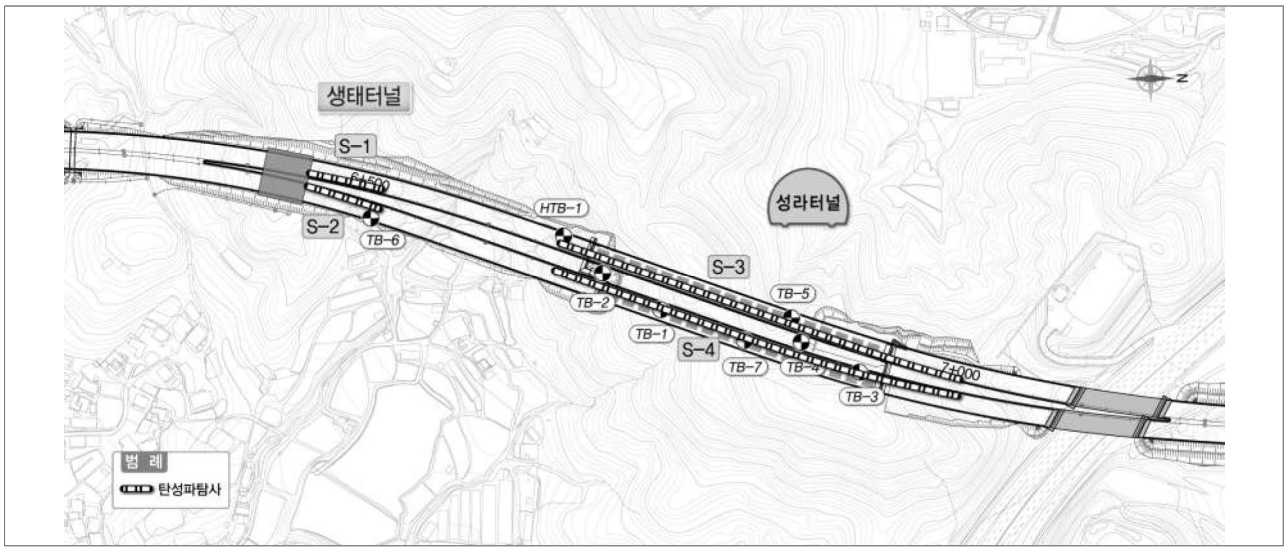
구 분	지 층		N값	상대밀도	U.S.C.S
터널구간	붕적층		13/60	보통조밀	SM
	풍화토		9/30~50/9	느슨~매우조밀	SM
	풍화암		50/10~50/3	매우조밀	-
휴게소부지	붕적층	점토	13/30	보통견고	CL
		모래	4/30	느슨	SM
	퇴적층	점토	4/30	연약	CL
		모래	5/30	느슨	SP
		자갈	10/30	느슨	GM
	풍화토		12/30~50/13	보통조밀~매우조밀	SM
	풍화암		50/9~50/2	매우조밀	SM

분석결과	•토사구간은 붕적층(점토, 모래), 퇴적층(점토, 모래, 자갈), 풍화토, 풍화암의 지층으로 분포 •붕적층은 N값 4/30~13/30회/cm, 퇴적층은 N값 4/30~10/30의 분포를 보임

제 3 장 물리탐사

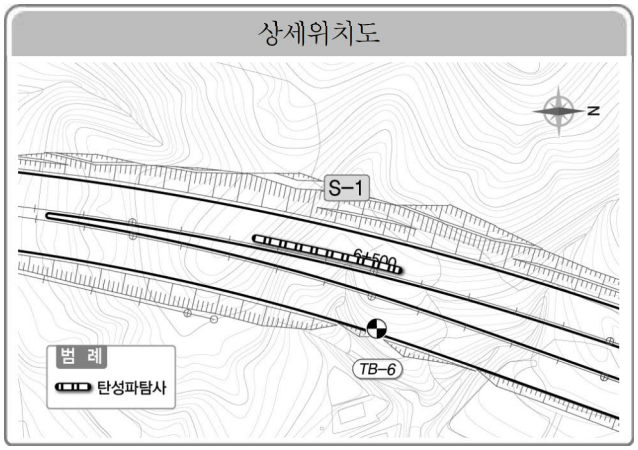
3.1 굴절법탄성파탐사

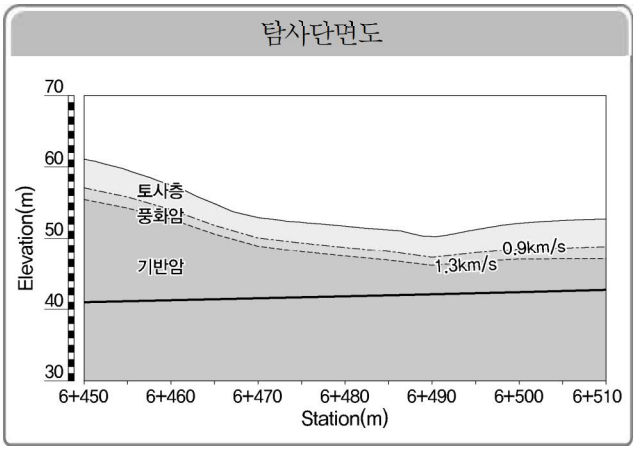
◯ 탐사 위치도



◯ 탐사 결과

■ S-1

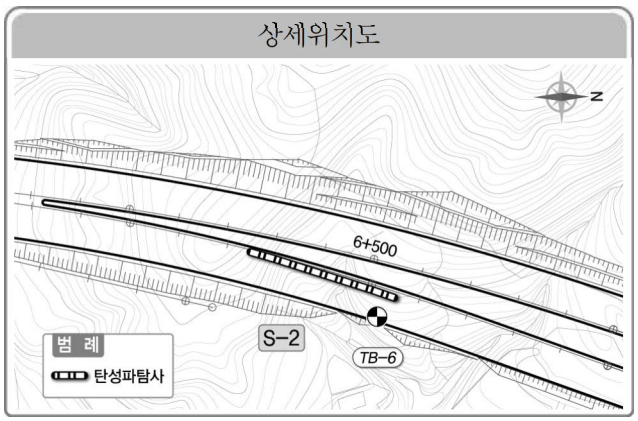


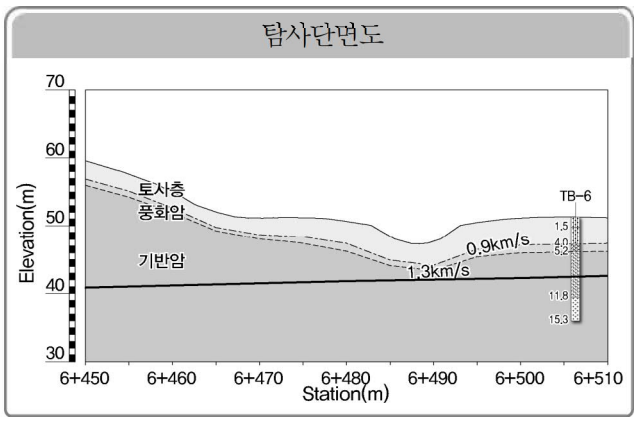


구 분	제1층(토사)	제2층(풍화암)	제3층(기반암)
탄성파속도(km/s)	0.9 이하	0.9~1.3	1.3 이상
평균두께 및 출현심도(m)	3.35	1.36	GL.-4.71 출현

- 본 탐사결과, 토사층의 두께는 2.87~3.99m, 풍화암층의 두께는 1.13~1.68m, 기반암층의 출현심도는 지표하 4.03~5.61m 하부에서 나타남
- S-1 측선의 토사층의 평균 두께는 3.35m, 풍화암층의 평균 두께는 1.36m, 기반암층의 평균 출현심도는 GL.-4.71m로 분석되었음

S-2

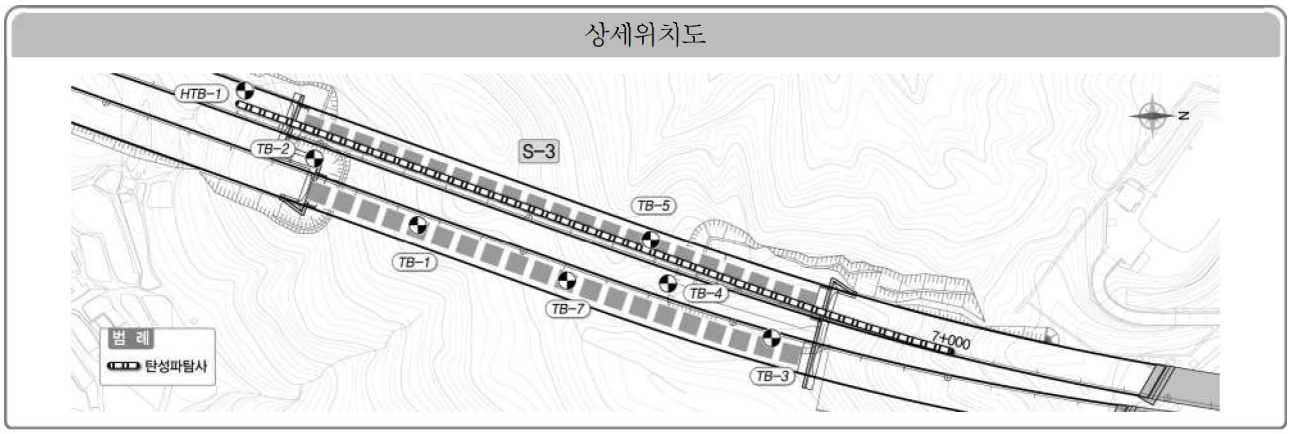


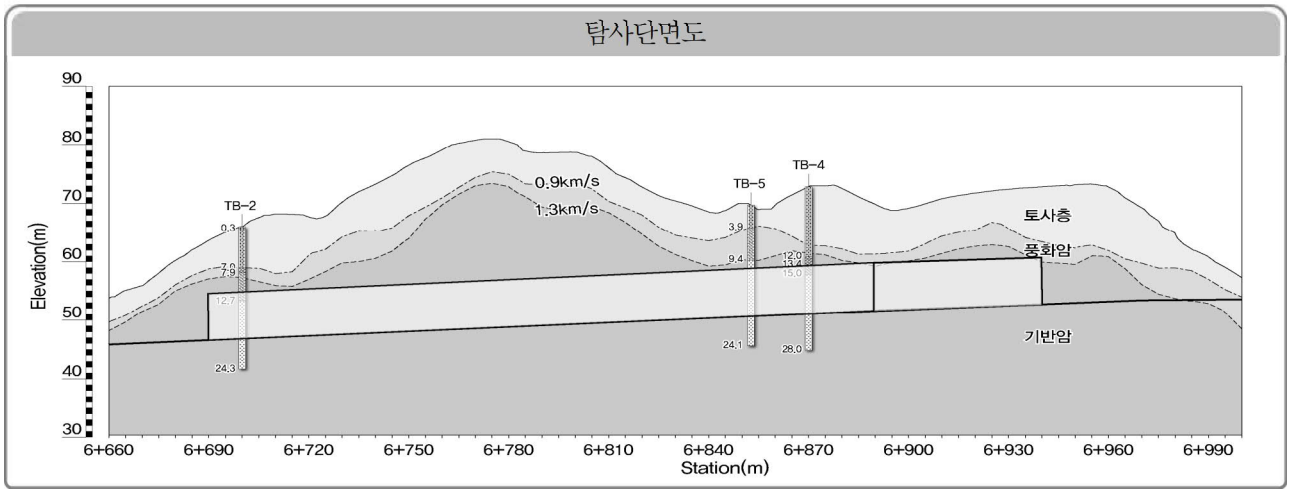


구 분	제1층(토사)	제2층(풍화암)	제3층(기반암)
탄성파속도(km/s)	0.9 이하	0.9~1.3	1.3 이상
평균두께 및 출현심도(m)	3.16	0.92	GL.-4.09 출현

- 본 탐사결과, 토사층의 두께는 2.29~4.03m, 풍화암층의 두께는 0.52~1.20m, 기반암층의 출현심도는 지표하 2.81~5.21m 하부에서 나타남
- S-2 측선의 토사층의 평균 두께는 3.16m, 풍화암층의 평균 두께는 0.92m, 기반암층의 평균 출현심도는 GL.-4.09m로 분석되었음

S-3



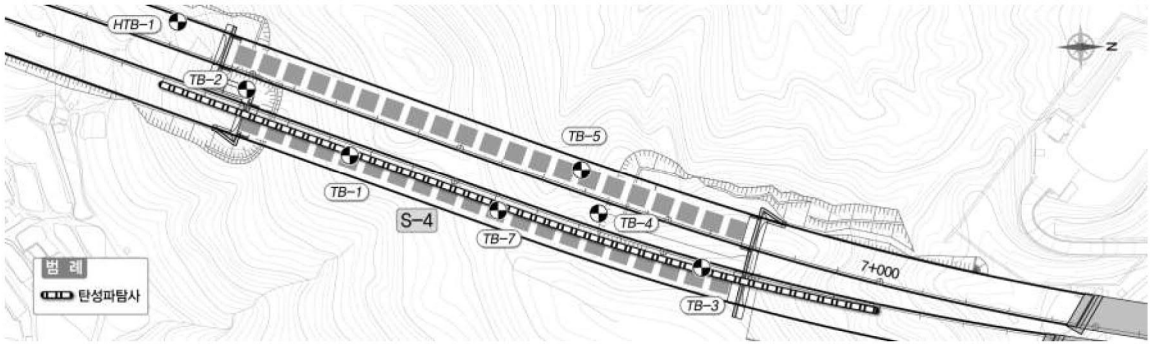


구 분	제1층(토사)	제2층(풍화암)	제3층(기반암)
탄성파속도(km/s)	0.9 이하	0.9~1.3	1.3 이상
평균두께 및 출현심도(m)	6.67	2.93	GL.-9.60 출현

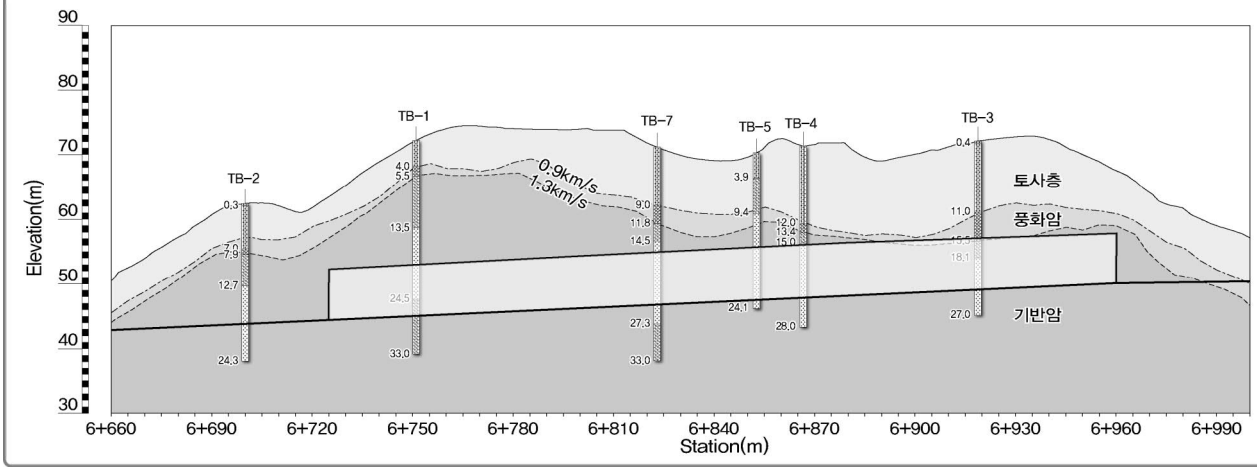
- 본 탐사결과, 토사층의 두께는 2.78~10.86m, 풍화암층의 두께는 0.95~5.92m, 기반암층의 출현심도는 지표하 4.45~13.60m 하부에서 나타남
- S-3 측선의 토사층의 평균 두께는 6.67m, 풍화암층의 평균 두께는 2.93m, 기반암층의 평균 출현심도는 GL.-9.60m로 분석되었음

S-4

상세위치도



탐사단면도



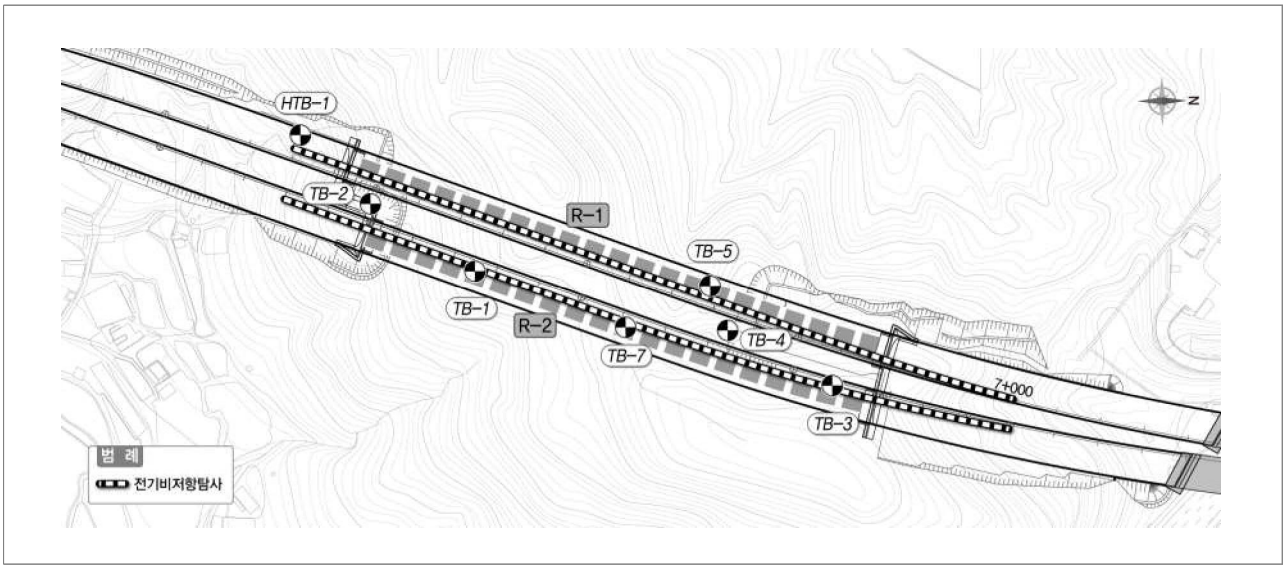
구 분	제1층(토사)	제2층(풍화암)	제3층(기반암)
탄성파속도(km/s)	0.9 이하	0.9~1.3	1.3 이상
평균두께 및 출현심도(m)	7.80	2.32	GL.-10.11 출현

- 본 탐사결과, 토사층의 두께는 2.98~13.49m, 풍화암층의 두께는 0.61~5.28m, 기반암층의 출현심도는 지표하 5.64~15.54m 하부에서 나타남
- S-4 측선의 토사층의 평균 두께는 7.80m, 풍화암층의 평균 두께는 2.32m, 기반암층의 평균 출현심도는 GL.-10.11m로 분석되었음

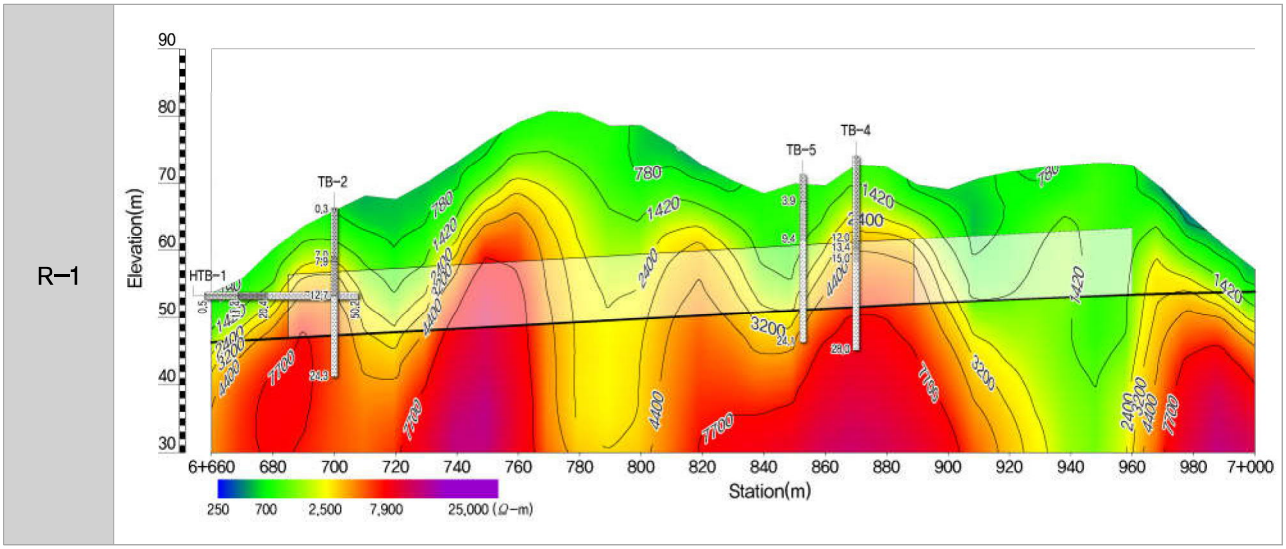
3.2 전기비저항탐사

○ 성라터널 서울방향

■ 탐사위치도



■ 탐사결과

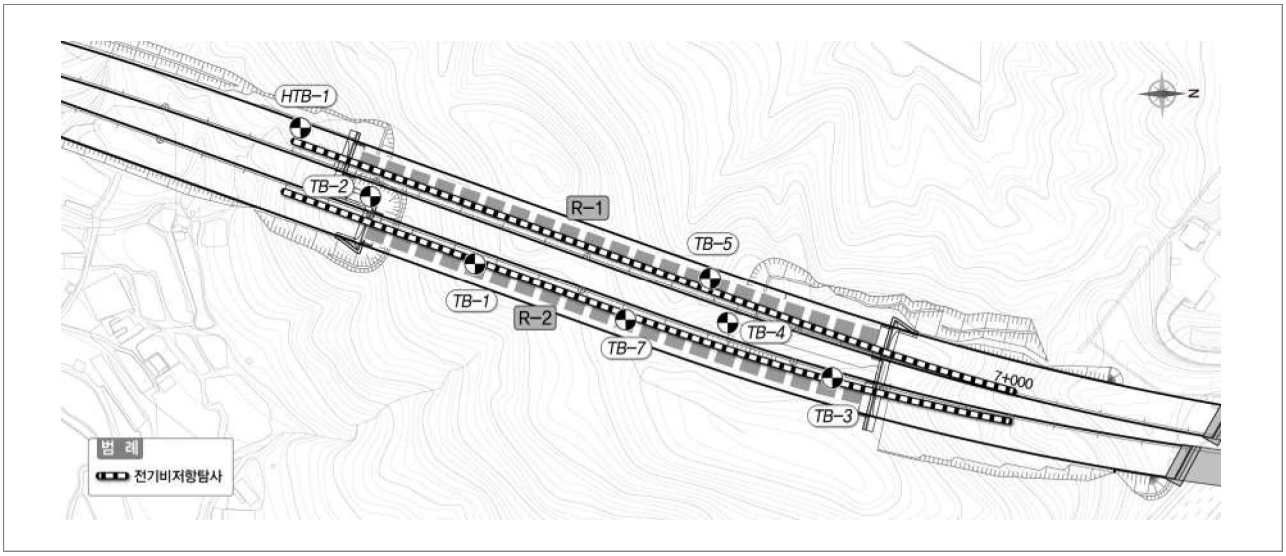


■ 분석결과

- 본 탐사는 성라터널(서울방향)에서 수행하였으며, STA. 6+660~7+000 구간에서 전극간격 10m로 하여 전기비저항 탐사를 수행함
- 탐사구간의 전반적인 전기비저항값은 200~20,000Ω-m의 범위로 나타나고 있음
- 탐사결과 터널 계획고 부근 STA.6+710~6+730, STA.6+840~6+850구간에서 1,400Ω-m이하의 상대적으로 낮은 저비저항 이상대가 나타나고 있어 파쇄대로 의심되는 구간임
- STA.6+910~6+960 구간에서 터널 계획고 하부까지 상대적으로 낮은 전기비저항 분포를 보이는데, 이는 암반의 지질구조 변화에 의한 소규모 파쇄대의 영향으로 분석됨

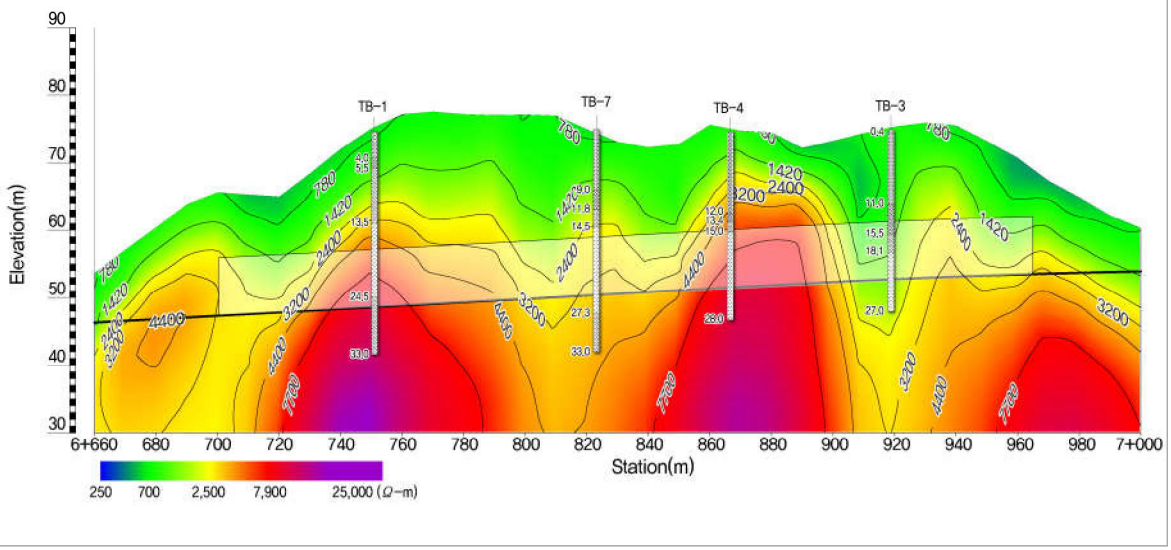
○ 성라터널 문산방향

▮ 탐사위치도



▮ 탐사결과

R-2



▮ 분석결과

- 본 탐사는 성라터널(문산방향)에서 수행하였으며, STA. 6+660~7+000 구간에서 전극간격 10m로 하여 전기비저항 탐사를 수행함
- 탐사구간의 전반적인 전기비저항값은 250~23,000Ω-m의 범위로 나타나고 있음
- 터널 시점부인 STA. 6+720~6+730 구간에서 터널 종점부인 STA. 6+950~6+970 구간에서 상대적으로 낮은 1,400Ω-m 이하의 전기비저항 분포를 보이고 있음
- STA. 6+900~6+920 구간의 터널 계획고 상부에서 주변부 보다 낮은 전기비저항 분포를 보이나, TB-3 시추공의 결과를 보아 암질 상태는 양호할 것으로 분석됨

제 4 장 현장조사 및 시험

4.1 강도 및 변형특성 분석

4.1.1 공내재하시험

개 요

- 지층별 변형계수 및 탄성계수를 측정하여 기초 지지력, 침하검토 및 안정 해석시 입력 자료로 활용
- 점성토 : LLT, 풍화암 및 연암 : Elastmeter-Ⅱ, 연암~경암 : Goodman Jack 시험기로 수행

○ 시험결과

구 분	공 번	시험심도 (GL.-m)	지 층	암 종	변형계수 (D, MPa)	탄성계수 (E, MPa)
성라터널	TB-2	2.0	풍화토	-	96.3	111.9
	TB-2	11.0	연 암	화강편마암	980.3	1,166.2
	TB-3	13.0	풍화암	-	156.1	231.1
	TB-3	17.0	연 암	화강편마암	598.9	908.3

○ 결과분석

구분	변형계수(D,MPa)			탄성계수(E,MPa)		
	풍화토	풍화암	연 암	풍화토	풍화암	연 암
성라터널	96.3	156.1	598.9~980.3	111.9	231.1	908.3~1,166.2

분석결과

- 풍화토의 변형계수는 96.3MPa, 풍화암은 156.1MPa,연암은 598.9~980.3MPa에 해당하나 암질상태에 따라 편차가 큼

4.1.2 공내전단시험

개 요

- 풍화대층에 대한 비탈면의 안정성 해석을 위한 설계지반정수 자료로 활용
  ➜ 풍화대의 원지반 점착력(C)과 내부마찰각(∅) 측정

○ 시험결과

구 분	공 번	심 도(GL.-m)	대상지층	점착력(kPa)	내부마찰각(°)
성라터널	TB-2	3.0	풍화토	22.5	28.1
	TB-3	12.0	풍화암	31.1	31.4

○ 결과분석

구분	점착력(c, kPa)		마찰각(∅, °)	
	풍화토	풍화암	풍화토	풍화암
성라터널	22.5	31.1	28.1	31.4

분석결과

- 시험결과 점착력(c)는 풍화토 22.5kPa, 풍화암 31.1kPa로 산정되며, 마찰각(∅)은 풍화토 28.1°, 풍화암 31.4°로 나타남

4.2 수리 및 투수특성 분석

4.2.1 지하수위 분포

개 요	•사업구간내 시추공에 대한 지하수위 분포현황을 파악하기 위해 지하수위 측정 •시추조사 완료후 1일이 경과한 후 수위를 측정하여 안정수위를 주상도에 기재

○ 터널구간

공 번	지 하 수 위		공 번	지 하 수 위		공 번	지 하 수 위	
	GL.-m	EL.+m		GL.-m	EL.+m		GL.-m	EL.+m
TB-1	7.4	66.5	TB-4	15.5	58.0	TB-7	17.6	58.4
TB-2	6.1	60.6	TB-5	6.8	60.2	-	-	-
TB-3	17.0	59.0	TB-6	3.6	43.5	-	-	-

○ 기타구간(휴게소 부지)

공 번	지 하 수 위		공 번	지 하 수 위		공 번	지 하 수 위	
	GL.-m	EL.+m		GL.-m	EL.+m		GL.-m	EL.+m
BH-1	3.2	13.2	BH-2	6.6	17.2	BH-3	3.5	12.8

○ 결과분석

구 분	지하수위	
	GL.-m	EL.+m
터널구간	3.6~17.6	43.5~66.5
기타구간 (휴게소 부지)	3.2~6.6	12.8~17.2

분석결과	•지하수위 측정결과 터널구간 GL.- 3.5~17.6m, 기타구간 : GL.- 3.2~6.6m 범위로 분포

4.2.2 투수시험

개 요	•조사구간내 풍화대의 투수성 파악하기 위하여 4회 수행 •지반의 투수성을 파악하기 위해 변수위 투수법을 적용하여 투수시험 수행

○ 시험결과

구 분	공 번	시험구간 (GL.-m)	지 층	통일분류	투수계수 k(cm/s)	지하수위 (GL.-m)
성라터널	TB-1	2.0 ~ 3.0	풍화토	SM	1.95×10^{-4}	7.4
	TB-2	2.0 ~ 3.0	풍화토	SM	3.08×10^{-4}	6.1
	TB-3	12.0 ~ 13.0	풍화암	-	4.53×10^{-5}	17.0
	TB-4	8.0 ~ 9.0	풍화토	SM	2.07×10^{-4}	15.5

○ 결과분석

구 분	풍 화 토	풍 화 암
성라터널	1.96×10^{-4} ~ 3.08×10^{-4}cm/s	4.53×10^{-5}cm/s

4.2.3 수압시험

개 요	•터널구간에 분포하는 기반암의 투수특성 및 Lugeon 패턴을 파악하기 위해 시추조사와 병행하여 실시

○ 시험결과

구 분	공 번	심 도(GL.-m)	대상암반	투수계수 (k, cm/s)	Lugeon 값	Flow type
성라터널	TB - 1	7.0 ~ 12.0	연 암	3.06×10^{-6}	0.11	Dilation
	TB - 2	16.0 ~ 21.0	경 암	1.28×10^{-6}	0.08	Dilation
	TB - 3	20.0 ~ 25.0	경 암	2.49×10^{-6}	0.04	Dilation
	TB - 6	6.0 ~ 11.0	연 암	4.76×10^{-6}	0.14	Dilation

○ 결과분석

구 분	투수계수(cm/s)		평균 Lugeon	
	연 암	경 암	연 암	0경 암
성라터널	$3.06X10^{-6}$~$4.76X10^{-6}$	$1.28X10^{-6}$~$2.49X10^{-6}$	0.11~0.14	0.04~0.08

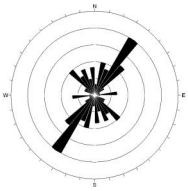
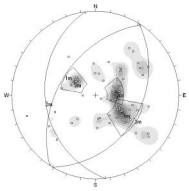
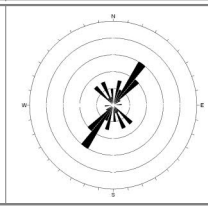
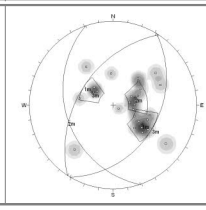
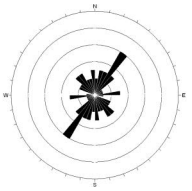
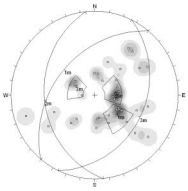
4.3 불연속면특성 분석

4.3.1 공내영상촬영

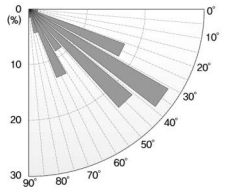
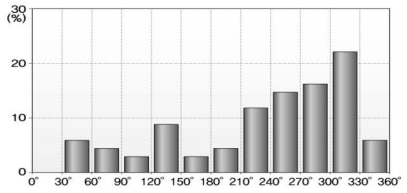
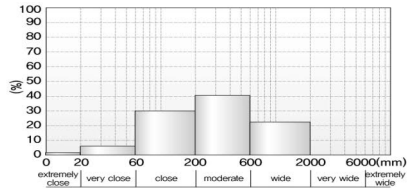
개 요	•암반내 파쇄대 및 불연속면의 분포 및 발달상태(경사방향, 경사, 틈새)등 지반 불연속면 특성 파악 •불연속면 분포 및 발달 상태에 대한 분석 자료는 터널부 수치해석, 갱구부의 비탈면 안정성 해석에 필요한 설계 자료로 활용

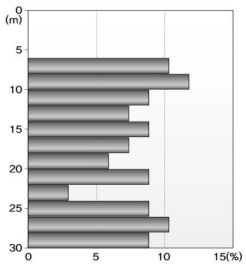
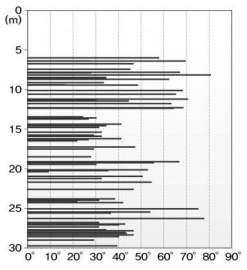
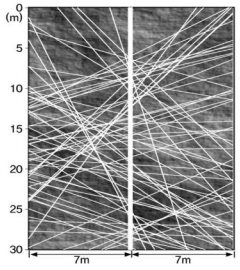
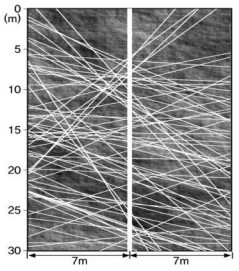
○ 시험결과

■ TB-1

전체절리면		파쇄절리면		미세절리면	
Rose Diagram	Pole Diagram	Rose Diagram	Pole Diagram	Rose Diagram	Pole Diagram
					

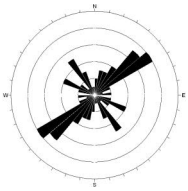
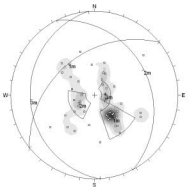
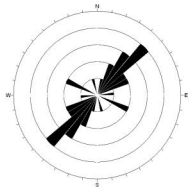
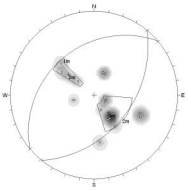
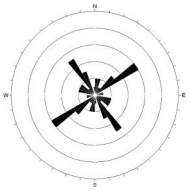
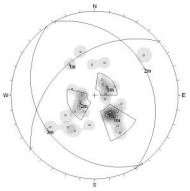
공 번	불연속면	J1(Fisher's K)	J2(Fisher's K)	J3(Fisher's K)	갯 수
TB-1	전체절리	43/303(59.55)	28/263(85.24)	33/121(94.80)	68
	파쇄절리	45/303(61.08)	31/251(39.28)	33/121(53.08)	27
	미세절리	39/310(63.64)	28/264(71.60)	28/116(58.46)	41

경사 분석	경사방향 분석	간격 분석
		
•30~40˚경사의 절리 우세	•300~330˚방향성 우세	•200~600mm의 간격 우세(Moderate)

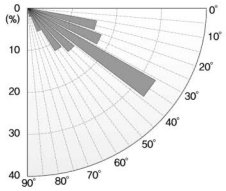
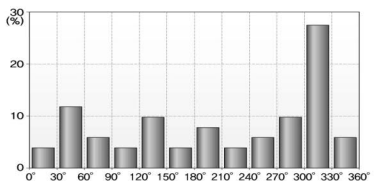
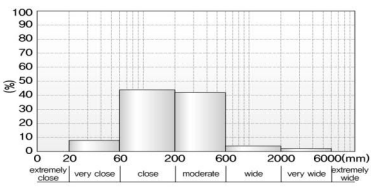
절리빈도분포도	절리경사분포도	절리전개도(직교)	절리전개도(평행)
			

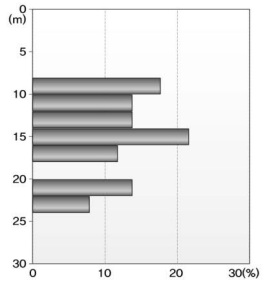
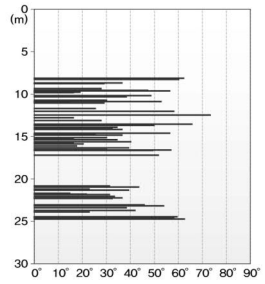
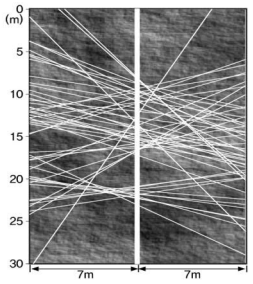
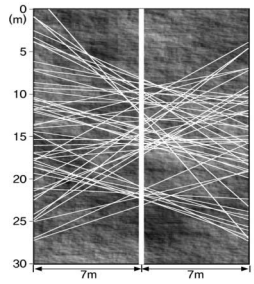
•6.0~29.5m : 다수의 파쇄절리(Open Joint)와 미세절리(Hair or Close crack)들이 분포함
•절리빈도분포도 결과, 탐사 전 구간에서 절리들이 고루 분포함
•절리경사분포도 결과, 30~40˚의 우세 경사각이 탐사 구간에 고루 분포함
•29.1m 이후 구간은 아크릴관 밖에 슬러지(Sludge)가 쌓여 공벽 파악이 불가함
•절리면 전개도(직교)의 투영방향은 진북방향과 0˚의 교차각을 이루고 있으며, 절리면 전개도(평행)의 투영방향은 270˚의 교차각을 이루고 있음

TB-2

전체절리면		파쇄절리면		미세절리면	
Rose Diagram	Pole Diagram	Rose Diagram	Pole Diagram	Rose Diagram	Pole Diagram
					

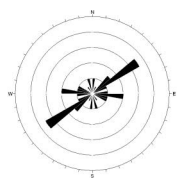
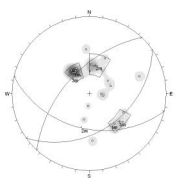
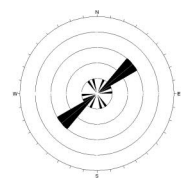
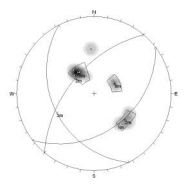
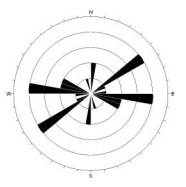
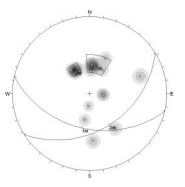
공 번	불연속면	J1(Fisher's K)	J2(Fisher's K)	J3(Fisher's K)	갯 수
TB-2	전체절리	38/321(77.54)	23/63(56.42)	15/266(79.84)	51
	파쇄절리	30/320(38.49)	43/129(38.81)	–	18
	미세절리	38/320(58.01)	22/61(51.90)	20/235(72.36)	33

경사 분석	경사방향 분석	간격 분석
		
•30~40˚경사의 절리 우세	•300~330˚방향성 우세	•60~200mm의 간격 우세(Close)

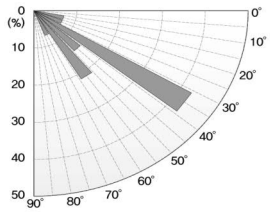
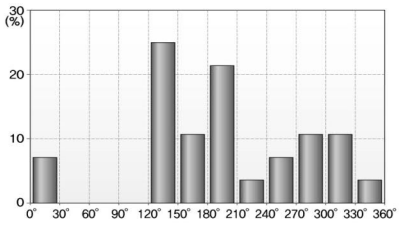
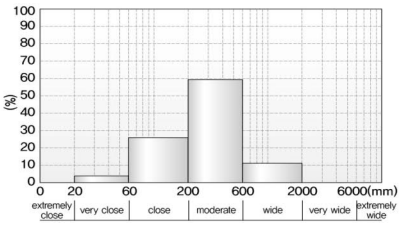
절리빈도분포도	절리경사분포도	절리전개도(직교)	절리전개도(평행)
			

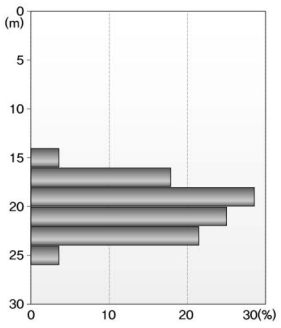
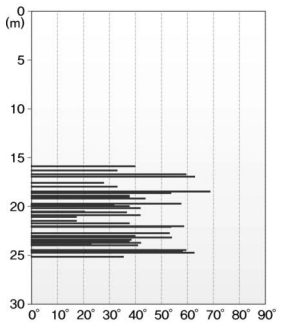
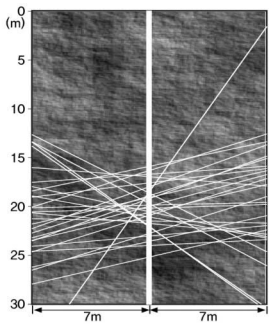
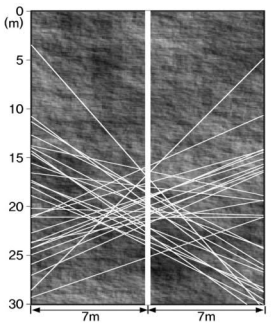
•8.1~23.0m : 다수의 파쇄절리(Open Joint)와 미세절리(Hair or Close crack)들이 분포함
•절리빈도분포도 결과, 8.1~16.6m 구간에서 약 78%로 우세하게 나타남
•절리경사분포도 결과, 30~40˚의 우세 경사각이 탐사 구간에 고루 분포함
•절리면 전개도(직교)의 투영방향은 진북방향과 0˚의 교차각을 이루고 있으며, 절리면 전개도(평행)의 투영방향은 270˚의 교차각을 이루고 있음

TB-3

전체절리면		파쇄절리면		미세절리면	
Rose Diagram	Pole Diagram	Rose Diagram	Pole Diagram	Rose Diagram	Pole Diagram
					

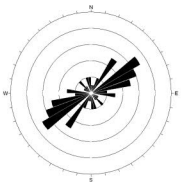
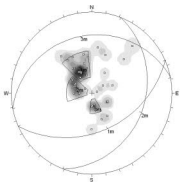
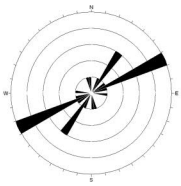
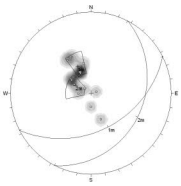
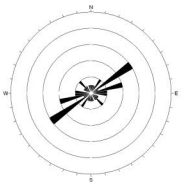
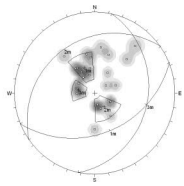
공 번	불연속면	J1(Fisher's K)	J2(Fisher's K)	J3(Fisher's K)	갯 수
TB-3	전체절리	38/145(176.3)	41/193(80.35)	56/313(71.51)	28
	파쇄절리	37/143(119.93)	55/310(55.92)	33/243(173.7)	11
	미세절리	41/193(64.42)	39/148(419.8)	–	17

경사 분석	경사방향 분석	간격 분석
		
•30~40°경사의 절리 우세	•120~150°방향성 우세	•200~600mm의 간격 우세(Moderate)

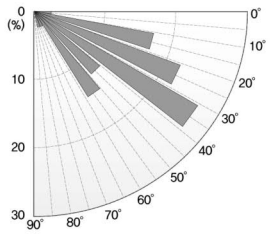
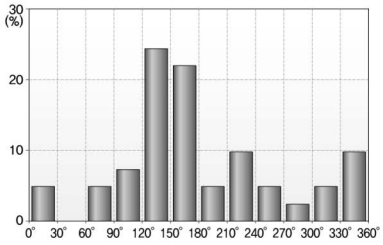
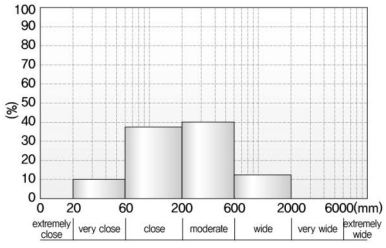
절리빈도분포도	절리경사분포도	절리전개도(직교)	절리전개도(평행)
			

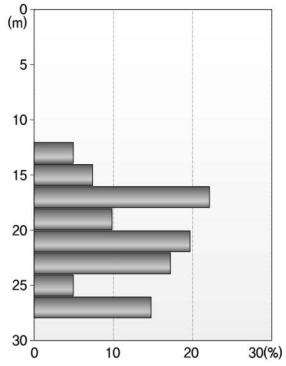
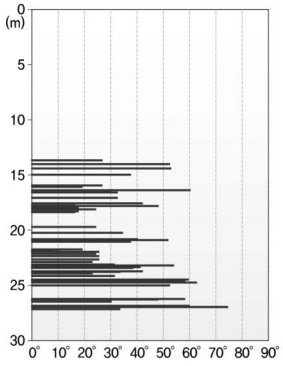
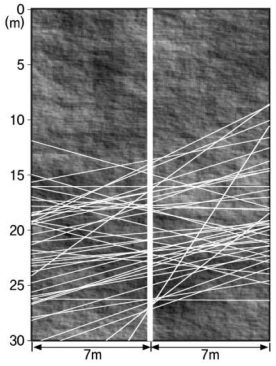
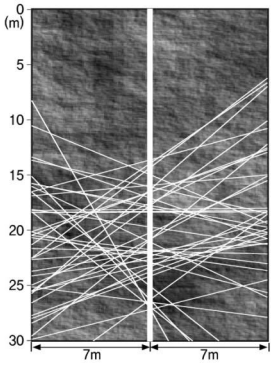
- 15.8~25.1m : 소수의 파쇄절리(Open Joint)와 미세절리(Hair or Close crack)들이 분포함
- 절리빈도분포도 결과, 기반암 구간인 15.5~26m에서 고루 분포함
- 절리경사분포도 결과, 30~40°의 우세 경사각이 탐사 구간에 고루 분포함
- 절리면 전개도(직교)의 투영방향은 진북방향과 0°의 교차각을 이루고 있으며, 절리면 전개도(평행)의 투영방향은 270°의 교차각을 이루고 있음

TB-4

전체절리면		파쇄절리면		미세절리면	
Rose Diagram	Pole Diagram	Rose Diagram	Pole Diagram	Rose Diagram	Pole Diagram
					

공 번	불연속면	J1(Fisher's K)	J2(Fisher's K)	J3(Fisher's K)	갯 수
TB-4	전체절리	39/156(48.01)	23/111(69.14)	19/349(359.3)	41
	파쇄절리	40/153(50.83)	24/117(52.12)	–	14
	미세절리	37/158(42.76)	23/325(46.83)	23/102(111.7)	27

경사 분석	경사방향 분석	간격 분석
		
•30~40˚경사의 절리 우세	•120~180˚방향성 우세	•200~600mm의 간격 우세(Moderate)

절리빈도분포도	절리경사분포도	절리전개도(직교)	절리전개도(평행)
			

•13.5~27.1m : 소수의 파쇄절리(Open Joint)와 미세절리(Hair or Close crack)들이 분포함
•절리빈도분포도 결과, 기반암 구간인 13.5~27.0m에서 고루 분포함
•절리경사분포도 결과, 30~40˚의 우세 경사각이 탐사 구간에 고루 분포함
•절리면 전개도(직교)의 투영방향은 진북방향과 0˚의 교차각을 이루고 있으며, 절리면 전개도(평행)의 투영방향은 270˚의 교차각을 이루고 있음

4.3.2 절리면전단시험

개 요 •기반암에 발달된 자연절리면의 전단특성을 파악하고, 불연속체의 전단강성과 수직강성 점착력과 마찰각 산정 ➔ 불연속체 해석물성치 산정시 기초 자료로 활용

○ 시험결과

구 분	공 번	심도(m)	점착력(kPa)		마찰각(°)		JRC	JCS (MPa)	Ks (Mpa/mm)	Kn (Mpa/mm)
			최대	잔류	최대	잔류				
성라터널	TB-3	22.9~23.3	132.0	47.0	44.0	39.1	18~20	92.0	2.824	4.151
	TB-5	14.6~15.0	96.0	59.0	40.3	34.7	14~16	84.0	2.351	3.993

분석결과 •터널구간 절리면의 잔류마찰각은 34.7~39.1˚, 최대 마찰각은 40.3~44.0˚

4.4 동적특성 분석

4.4.1 하향식탄성파탐사

개 요	•측정 전단파속도(V_s)를 이용하여 지반 동적특성치(G_d, E_d, K_d)산정 •동포아송비 및 동탄성계수를 산출하여 주요구조물의 내진설계에 반영

○ 시험결과

■ TB-2

지 층	심 도(m)	V_p (m/s)	V_s (m/s)	동포와송비 υ	동적물성치 (MPa)			적용밀도 (kN/m³)
					G_d	E_d	K_d	
풍화토	0.3~7.0	919	375	0.400	2.78E+02	7.78E+02	1.29E+03	19.0
풍화암	7.0~7.9	1,103	511	0.363	5.33E+02	1.45E+03	1.77E+03	20.0
연 암	7.9~12.7	1,881	980	0.314	2.28E+03	5.98E+03	5.33E+03	23.0
경 암	12.7~24.3	2,323	1,277	0.284	4.16E+03	1.07E+04	8.23E+03	25.0

■ TB-3

지 층	심 도(m)	V_p (m/s)	V_s (m/s)	동포와송비 υ	동적물성치 (MPa)			적용밀도 (kN/m³)
					G_d	E_d	K_d	
풍화토	0.4~11.0	984	408	0.397	3.30E+02	9.20E+02	1.47E+03	19.0
풍화암	11.0~15.5	1,185	577	0.345	6.86E+02	1.84E+03	1.98E+03	20.0
연 암	15.5~18.1	1,786	927	0.316	2.04E+03	5.37E+03	4.84E+03	23.0
경 암	18.1~27.0	2,168	1,192	0.283	3.63E+03	9.31E+03	7.16E+03	25.0

○ 전단파속도와 지반분류

공 번	시험방법	시험 심도 (GL.-m)	EL.(m)	지표하 30.0m 구간 평균 전단파 속도 (설계적용 V_s, m/s)	지반분류
TB-2	D.H.T	1.0~24.0	66.7	761	S_B
TB-3	D.H.T	1.0~27.0	76.0	634	S_C

•본 탐사는 성라터널(문산방향)에서 입구부 및 출구부에서 각각 한공씩 수행되었음
•기반암의 출현심도는 GL.-7.9~15.5m이고 전단파속도는 풍화토에서 375~408m/s, 풍화암 511~577m/s, 연암 927~980m/s, 경암 1,192~1,277m/s의 분포를 보임
•GL.-30m 구간의 전단파속도는 634~761m/s로 건축구조설계기준에 의한 지반분류는 S_B와 S_C에 해당하며, 연암지반~보통암 지반으로 분류됨

4.5 실내토질시험

4.5.1 기본물성시험

개 요	•시추조사와 병행하여 실시한 표준관입시험 및 불교란시료에 대하여 입도분석 및 물성시험 수행 •지층별 대표시료를 선정하여 흙의 물리적 특성 파악 및 지층 분류시 활용

○ 시험결과

구 분	공 번	심 도 (m)	지 층	함수비 (%)	비 중	Atterberg Limits(%)		통과중량 백분율(%)				USCS
						LL	PI	No.4	No.10	No.200	0.005mm	
터널 구간	TB-1	2.0	풍화토	12.5	2.61	N P	N P	87.7	66.7	24.5	-	SM
	TB-2	4.0	풍화토	13.5	2.63	N P	N P	95.7	78.6	26.2	-	SM
	TB-3	6.0	풍화토	10.5	2.65	N P	N P	96.6	84.2	17.1	-	SM
	TB-4	5.0	풍화토	9.9	2.67	N P	N P	96.6	78.9	30.5	-	SM
	TB-5	2.0	풍화토	13.2	2.61	N P	N P	97.5	79.1	23.6	-	SM
	TB-6	1.0	붕적층	19.7	2.60	N P	N P	100	92.6	45.9	5.7	SM
	TB-7	7.0	풍화토	10.5	2.65	N P	N P	98.2	87.0	16.0	-	SM
	HTB-1	1.0	풍화토	14.9	2.68	N P	N P	96.8	87.4	32.5	-	SM
	TP-1	2.0	풍화토	15.5	2.60	N P	N P	84.1	72.7	17.1	-	SM
	TP-2	2.0	풍화토	13.3	2.67	N P	N P	77.3	66.1	20.9	-	SM
기타 구간 (휴게소)	BH-1	4.0	붕적층	27.5	2.67	44.8	21.7	100.0	100.0	85.9	19.0	CL
	BH-2	3.0	풍화토	24.3	2.64	31.3	8.1	100.0	100.0	76.8	15.6	ML
	BH-3	5.0	퇴적층	34.7	2.65	36.6	14.9	100.0	100.0	97.9	24.4	CL

분석결과	•실내시험결과, 풍화토 ML, SM, 붕적층에서 CL, SM, 퇴적층 CL로 분류됨 •함수비: 9.9~34.7%, 비중: 2.60~2.68, #200통과중량 백분율: 16.0~97.9%

4.5.2 다짐 및 CBR시험

개 요	•쌓기재료로 사용되는 재료에 대하여 다짐 및 실내CBR시험을 수행하여 다짐특성 파악 •쌓기재료에 대한 밀도, 입도 및 다짐특성에 따른 쌓기재료 유용성 평가시 활용

○ 실시설계 시험결과

공 번		심 도 (m)	지 층	A다짐		D다짐		CBR(%)	USCS
				건조단위중량 (kN/m³)	OMC(%)	건조단위중량 (kN/m³)	OMC(%)		
터널 구간	TP-1	1.0	풍화토	17.45	16.7	18.26	14.3	12.8	SM
	TP-2	1.0	풍화토	17.37	17.6	18.40	15.2	12.0	SM

분석결과	•건조단위중량은 A다짐:17.37~17.45kN/m³, D다짐:17.37~18.40kN/m³로 분석됨 •CBR는 12.0~12.8%(평균 12.4%)의 범위에 해당

4.6 실내암석시험

4.6.1 암석기본물성 및 일축압축시험

개 요
- 시추조사시 채취된 대표적 시료에 대하여 암석의 물리적 성질과 일축압축강도 측정
- 지층 및 암종별로 물리·역학적 특성을 규명하고 안정성검토 및 설계지반정수 산정시 활용

○ 시험결과

구 분	공 번	심 도 (m)	지 층	단위중량 (kN/m³)	탄성파속도(m/s)		일축강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)	포아송비
					P파	S파			
터널 구간	HTB-1	16.3~16.4	연암	26.65	2,832	1,511	47.10	50,759	0.19
	TB-1	23.2~23.4	경암	27.32	3,215	1,802	42.24	53,119	0.21
	TB-2	13.1~13.3	경암	27.44	3,012	1,495	73.50	70,884	0.18
	TB-3	21.6~21.8	경암	28.93	3,067	1,732	73.46	68,416	0.18
	TB-4	20.9~21.1	경암	27.08	3,831	1,855	100.39	79,951	0.16
	TB-5	18.8~19.0	경암	27.08	2,724	1,256	69.82	63,800	0.19
	TB-6	8.8~9.0	연암	26.90	2,688	1,305	97.85	82,344	0.16
	TB-7	21.2~21.4	경암	27.14	3,412	1,631	57.39	52,647	0.21

○ 지층별 결과분석

구 분	단위중량 (kN/m³)	탄성파속도(m/s)		일축강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)	포아송비
		P파	S파			
연 암	26.65~22690	2,688~2,832	1,511~1,305	47.10~97.85	50,759~ 82,344	0.16~0.19
경 암	27.08~28.93	2,688~3,831	1,495~1,802	40.40~100.39	52,647~ 41,722	0.16~0.21

분석결과
- 연 암 → 일축압축강도: 47.10~97.85MPa, 포아송비: 0.16~0.19
- 경 암 → 일축압축강도: 42.24~100.39MPa, 포아송비: 0.16~0.21

4.6.2 점하중강도시험

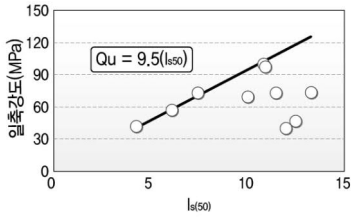
개 요
- 암석 시편의 인장력에 의한 파괴하중을 이용하여 Point load index Is_{50}값을 산정

○ 시험결과

구 분	공 번	심 도 (m)	지 층	$Is_{(50)}$ (MPa)	q_u (MPa)	구 분	공 번	심 도 (m)	지 층	$Is_{(50)}$ (MPa)	q_u (MPa)
터널 구간	TB-1	28.4~28.5	연암	4.3	40.4	터널 구간	TB-5	19.0~19.2	경암	10.0	95.1
	TB-2	13.4~13.5	경암	7.4	70.6		TB-6	10.0~10.2	연암	10.9	103.7
	TB-3	21.8~22.0	경암	11.5	108.9		TB-7	25.2~25.3	경암	6.1	57.9
	TB-4	21.1~21.4	경암	10.8	102.8		HTB-1	20.5~20.6	경암	12.5	118.5

○ 지층별 결과분석

구 분	연암		경암	
	범위	평균	범위	평균
$Is_{(50)}$(MPa)	4.3~13.3	9.5	6.1~11.5	10.0
q_u(MPa)	40.4~126.1	90.0	57.9~118.5	95.3



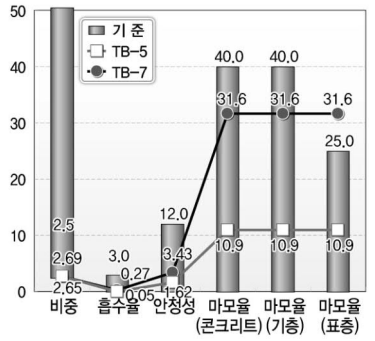
•과업구간의 점하중강도시험의 강도지수와 실내시험 일축압축시험을 비교한 결과 상관성은 q_u=9.5(Is_{50})의 결과로 분석되며, 지수 9.5를 적용한 강도 값은 연암에서 40.4~126.1MPa, 경암에서 57.9~118.5MPa로 분석됨

4.6.3 본선발생암 유용성 검토

○ 시험결과 및 적용성 검토

시험종목	구분	기준	본선암	
			TB-5	TB-7
비중	콘크리트/포장	2.5이상	2.69	2.62
흡수율(%)	콘크리트/포장	3.0이하	0.05	0.27
안정성(%)	콘크리트/포장	12이하	1.62	3.43
마모율(%)	콘크리트	40이하	10.9	31.6
	포장용 기층/표층	40/25(이하)		

적용성 검토



•본선암 조골재 적용성 검토 결과, 콘크리트 및 포장용 기준에 대부분 만족하는 것으로 나타남

•TB-7 시험결과, 포장용 표층재료 기준에 마모율이 부적합하므로 시공시 선별·사용하여야 함

제4편 성과분석 및 설계지반정수

제1장 구간별 성과분석

제2장 설계지반정수 산정

제 1 장 구간별 성과분석

1.1 터널구간 성과분석

1.1.1 터널구간 암반분류

○ RMR에 의한 암반분류

구성요소	산정식	범위	지반등급	Output
•점하중지수 (Is_{50}) •RQD •불연속면의 간격 (J_s) •불연속면의 상태 (J_c) •지하수 조건 (J_w) •불연속면의 방향 (J_o)	•6가지 변수의 합계 점수 (Is_{50} + RQD + J_s + J_c + J_w + J_o)	0~100	Very Poor ~Very Good	•지보하중 (P) = (100−RMR)/100×γB •현지변형계수(Em) = 2×RMR−100 •점착력, 내부마찰각 •터널폭에 따른 자립시간

■ 암반등급기준

평점합계	81~100	61~80	41~60	21~40	20 이하
등급/평가	Ⅰ/매우양호	Ⅱ/양호	Ⅲ/보통	Ⅳ/불량	Ⅴ/매우불량

■ 분류결과

공 번		구 분	분류구간 (GL.−m)	일축강도 (MPa)	RQD(%)	절리간격 (cm)	불연속면 상태	지하수 상태	절리방향	총점 / 등급
성라터널(서울방향)	TB−2	상부1D	7.9~9.2	40	10	〈 6	16	Wet	보통	30
				4	3	5		7	−5	Ⅳ
		통과구간	9.2~17.8	40~74	11~98	6~60	16~26	Wet	보통	33~64
				4~7	3~20	8~10		7	−5	Ⅱ~Ⅳ
		하부1D	17.8~24.3	70	80~99	6~60	26	Wet	보통	60~65
				7	17~20	8~10		7	−5	Ⅱ~Ⅲ
	TB−4	통과구간	13.4~21.0	40~70	70~76	6~20	23	Wet	보통	50~57
				4~7	13~17	8		7	−5	Ⅲ
		하부1D	21.0~28.0	70	66~100	6~60	23	Wet	보통	53~62
				7	13~20	8~10		7	−5	Ⅱ~Ⅲ
	TB−5	상부1D	3.9~10.1	40~70	15~98	6~20	14~27	Wet~Damp	보통	31~64
				4~7	3~20	8		7~10	−5	Ⅱ~Ⅳ
		통과구간	10.1~18.7	70	92~98	20~60	24~28	Wet	보통	63~67
				7	20	10		7	−5	Ⅱ
		하부1D	18.7~24.1	70	85~92	6~60	23~28	Wet	보통	57~67
				7	17~20	8~10		7	−5	Ⅱ~Ⅲ
	HTB−1	통과구간	27.3~50.2	70	50~100	6~60	23~28	Wet	보통	52~67
				7	8~20	8~10		7	−5	Ⅱ~Ⅲ

(계속)

공 번		구 분	분류구간 (GL.-m)	일축강도 (MPa)	RQD(%)	절리간격 (cm)	불연속면 상태	지하수 상태	절리방향	총점 등급
성라터널(문산방향)	TB-1	상부1D	8.8~17.4	40~70	0~75	6이하~60	18~23	Wet	보통	32~55
				4~7	3~13	5~10		7	-5	Ⅲ~Ⅳ
		통과구간	17.4~26.0	42.2~70	19~82	6~20	20~25	Wet	보통	37~59
				4~7	3~17	8		7	-5	Ⅲ~Ⅳ
		하부1D	26.0~33.0	40	9~61	6이하~60	20	Wet	보통	34~47
				4	3~13	5~8		7	-5	Ⅲ~Ⅳ
	TB-3	통과구간	15.5~22.1	40~70	19~93	6~60	7~10	Wet~Damp	보통	36~65
				4~7	3~20	8~10		7~10	-5	Ⅱ~Ⅲ
		하부1D	22.1~27.0	70~73.5	79~94	20~60	22	Wet	보통	58~61
				7	17~20	10		7	-5	Ⅱ~Ⅲ
	TB-4	상부1D	13.4~14.5	40	25	6~20	20	Damp	보통	45
				4	8	8		10	-5	Ⅲ
		통과구간	14.5~23.1	40~70	70~76	6~20	23	Wet	보통	50~57
				4~7	13~17	8		7	-5	Ⅲ
		하부1D	23.1~28.0	70	66~100	6~60	23	Wet	보통	53~62
				7	13~20	8~10		7	-5	Ⅱ~Ⅲ
	TB-7	상부1D	11.8~16.0	40~70	0~87	6이하~60	16~25	Damp	보통	33~64
				4~7	3~17	5~10		10	-5	Ⅱ~Ⅲ
		통과구간	16.0~24.5	57.4~70	55~96	6~60	21~22	Wet~Damp	보통	52~61
				7	13~20	8~10		7~10	-5	Ⅱ~Ⅲ
		하부1D	24.5~33.0	40~70	18~75	6~20	16~21	Wet	보통	37~51
				4~7	3~13	8		7	-5	Ⅲ~Ⅳ

Q-System에 의한 암반분류

개요	평가	산정방법
•1974년 NGI의 Barton등에 의해 제안 •200여개의 기 시공된 터널의 보강실적을 통계하여 암반상태와 보강량의 관계분석 •1993년 지보패턴을 기존 38개항에서 강섬유보강 숏크리트를 사용하는 9개항 수정(Grimstad and Barton)	0.001 ~1,000	$Q=\frac{RQD}{J_n}\times\frac{J_r}{J_a}\times\frac{J_w}{SRF}$ •RQD/J_n : 암괴크기의 척도 •J_r/J_a : 암괴사이의 마찰각 척도 •J_w/SRF : 작용응력 척도

분류항목	지반조사 활용	분류항목	지반조사 활용
RQD	•시추코아측정, 공내영상촬영 등을 통한 코아의 손상여부 판단	J_a	•시추코아, 공내영상촬영 등을 통한 자료획득
J_n	•시추코아, 공내영상촬영 등의 자료검색을 통한 자료 획득	J_a	•수압시험에 의한 투수계수 등 자료 활용
J_r	•시추코아, 실내시험결과(JRC)참조	J_a	•시추코아의 암반상태 •암석시험 결과

■ Q-System에 의한 일반적인 지반등급산정 기준

Q값의 범 위	1000 ~400	400 ~100	100 ~40	40 ~10	10 ~4	4 ~1	1 ~0.1	0.1 ~0.01	0.01 ~0.001
암반등급	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ	Ⅵ	Ⅶ	Ⅷ	Ⅸ
암질	지극히 양호	극히 양호	매우 양호	양호	보통	불량	매우 불량	극히 불량	지극히 불량

■ 사업구간 Q값 적용 범위

암반등급	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ	Ⅴ
암질	매우 양호	양호	보통	불량	매우 불량
Q값의 범위	40.0 이상	10.0~40.0	4.0~10.0	1.0~4.0	1.0 이하

■ 분류결과

공 번		구 분	분류구간 (G.L(-)m)	Q-System						Q-Value	등급
				RQD(%)	J_n	J_r	J_a	J_w	SRF		
성라터널(서울방향)	TB-2	상부1D	7.9~9.2	10	4~6	2	2.0	0.5	2.5	0.333~0.550	Ⅴ
		통과구간	9.2~17.8	11~98	4	2	0.75~6.0	0.5	2.5	1.267~13.067	Ⅱ~Ⅴ
		하부1D	17.8~24.3	80~99	4	2	0.75	0.5	2.5	10.667~13.200	Ⅱ
	TB-4	통과구간	13.4~21.0	70~76	4~6	2~3	0.75~6.0	0.5~0.66	2.5	1.167~4.40	Ⅲ~Ⅳ
		하부1D	21.0~28.0	66~100	4	3	6.0	0.5	2.5	1.650~2.5	Ⅳ
	TB-5	상부1D	3.9~10.1	15~98	2~6	2~3	0.75~6.0	0.5~0.66	2.5	0.167~39.2	Ⅱ~Ⅳ
		통과구간	10.1~18.7	92~98	4~6	3	0.75~6.0	0.5	2.5	2.300~19.6	Ⅱ~Ⅳ
		하부1D	18.7~24.1	85~92	4	3	0.75~6.0	0.5	2.5	2.125~18.40	Ⅱ~Ⅳ
	HTB-1	통과구간	27.3~50.2	50~100	4~9	3	0.75~6.0	0.5	2.5	1.250~20.0	Ⅱ~Ⅳ
성라터널(문산방향)	TB-1	상부1D	8.8~17.4	0~75	4~6	2~3	0.75	0.5	2.5	0.889~10.0	Ⅲ~Ⅴ
		통과구간	17.4~26.0	19~82	4~12	2	0.75	0.5	2.5	0.844~10.933	Ⅱ~Ⅴ
		하부1D	26.0~33.0	9~61	6~9	2	0.75	0.5	2.5	0.889~5.422	Ⅲ~Ⅴ
	TB-3	통과구간	15.5~22.1	19~93	4~6	2	0.75~2.0	0.5~0.66	2.5	0.836~12.4	Ⅱ~Ⅴ
		하부1D	22.1~27.0	79~94	4	2	6.0	0.5	2.5	1.317~1.567	Ⅳ
	TB-4	상부1D	13.4~14.5	25	4	2	0.75	0.66	2.5	4.400	Ⅲ
		통과구간	14.5~23.1	70~76	4~6	3	6.0	0.5	2.5	1.167~2.0	Ⅳ
		하부1D	23.1~28.0	66~100	4	3	6.0	0.5	2.5	1.650~2.5	Ⅳ
	TB-7	상부1D	11.8~16.0	0~87	4~9	2	0.75~2.0	0.66	2.5	0.293~15.312	Ⅱ~Ⅴ
		통과구간	16.0~24.5	55~96	6	2	6.0	0.5~0.66	2.5	0.611~1.217	Ⅳ~Ⅴ
		하부1D	24.5~33.0	18~75	6	2	0.75~6.0	0.5	2.5	0.50~1.867	Ⅳ~Ⅴ

1.1.2 미시추구간 지질정보 분석

기본방향	•터널 설계 기준에 의거하여 지반조사를 수행한 구간을 제외한 모든 지역(민원 및 진입로 개설 불가 구간, 시추공과 시추공 사이 등)을 미시추 구간으로 분류 •시추조사, 현장시험 및 물리탐사(전기비저항탐사)를 수행하고 각 조사 자료의 상관관계를 분석하여 미시추 구간에 대해 신뢰성 있는 자료를 획득하는데 목적이 있음

○ 수행흐름

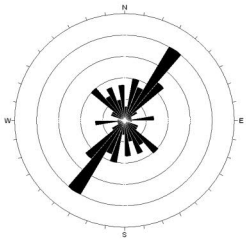
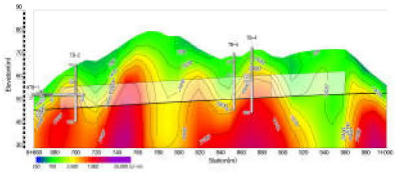
기존자료 분석 ▶ 지표지질조사 ▶ 물리탐사

- 주요 구조대 추정/확인
- 단층, 절리, 층리, 파쇄대의 방향/성상/위치 현황 및 암종 분포 현황 파악
- 물리탐사 결과 분석 ➜ 기반암 심도, 지질 연약대 및 함수대 추정

▼

시추조사 ▶ 시추공내 현장시험 ▶ 실내시험

- 시추주상도 작성, 시추 Core에 대한 암반분류(RMR & Q-System) 수행
- 심도별 역학적/수리적 특성 파악
- 공내영상촬영, 시추 Core 절리 Mapping을 통해 터널 심도 구간의 주절리군의 방향성/특성 파악

시추조사	시추공내 현장시험	물리탐사
		

▼

종 합 분 석

- 지반등급 분류 기준 마련
  - –RMR값 “20이하 : 21~40 : 41~60 : 61~80 : 81이상” 을 기준으로 5개 등급 산정
  - –Q 값 “0.016이하 : 0.16~0.25 : 0.25~3.9 : 3.9~63.0 : 63.0이상“ 을 기준으로 5개 등급 산정
- 탄성파속도(V_P)와 Q값과의 상관관계 분석 ➜ RMR = 4.7419 Ln(Q)+39.487
- 전기비저항치(R)와 암반분류 값(RMR)과의 관계 설정 ➜ 전기비저항치 $=296.9\times e^{(0.0547\times RMR)}$
- 단층대/지질연약대/함수대 확정

▼

지반등급 결정과 지보패턴 부여

◯ 암반분류 시스템 사이의 상관관계 분석

▮ RMR과 Q-System의 비교

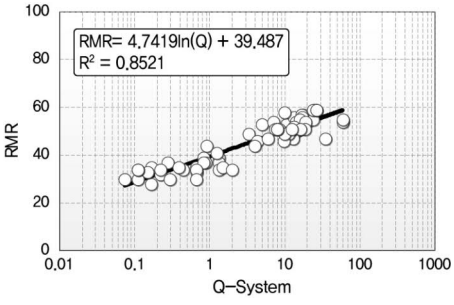
암반분류법	RMR	Q-SYSTEM	공통
구성 요소	•일축압축강도(σ_c) •연속면의 간격 (J_s) •연속면의 상태 (J_c) •불연속면의 방향 (J_o)	•불연속면의 군수 (J_n) •불연속면의 거칠기(J_r) •불연속면의 변질 정도(J_a) •응력감소계수(SRF)	•Rock Quality Designation (RQD) •지하수 조건(J_w)
산 정 식	RMR = σ_c+RQD+J_s+J_c+J_w+J_o	Q = RQD/J_n×J_r/J_a×J_w/SRF	
범 위	0~100	0.001~1,000	
암 반 등 급	Very Poor(Ⅴ)~Very Good(Ⅰ)	Exc. Poor(Ⅸ)~Exc. Good(Ⅰ)	
Output	•지보하중 P = (100-RMR)/100×γB •현지변형계수 Em = 2×RMR-100 •점착력, 내부마찰각 •터널폭에 따른 자립시간	•지보압 Proof = 2/Jr×Q-1/3 •무지보폭 계산 •Support Category	

▮ RMR, Q-System, RQD, GIS 상호간의 상관관계 비교

-암반분류 시스템 간의 상관관계 고찰

•RMR과 Q-System 의 상관관계식을 이용하여 각 System에서의 지반등급 경계를 설정
•RMR과 RQD의 상관관계식은 등급별 설계정수 결정시 RQD에 의한 방법에 적용
•RMR과 GSI의 상관관계식은 GSI를 이용하여 등급별 설계정수 결정시 반영

-RMR과 Q-System의 상관관계

제안자	상관식	본 사업구간의 상관관계
Bieniawski(1976)	RMR = 9 LnQ + 44 (r^2=0.77)	•상관관계(R^2)는 RMR=4.7419×ln(Q)+39.487로서 정확한 상관관계의 정립은 어렵지만 일반적으로 알려진 Bieniawisk의 식의 R^2이 0.77로서 본 사업구간에서의 상관관계와 매우 유사함으로 결과를 상호 보완할 수 있는 자료로 활용 가능성이 큼
Rutledge(1978)	RMR = 5.9 LnQ + 43 (r^2=0.85)	
Moreno(1980)	RMR = 5.4 LnQ + 55.2 (r^2=0.55)	
Clarke(1981)	RMR = 5.0 LnQ + 60.8 (for, Tunnal Heading)	
	RMR = 4.6 LnQ + 55.5 (for, Boring Core)	
Budavari(1981)	RMR = 10.5 LnQ + 41.8 (r^2=0.66)	
Barton(1995)	RMR = 15.0 LogQ + 50	
구 호 본(1994)	RMR = 13.0 LnQ + 60	
R.K.Goel (1995)	RMRmod = 8 LnQ + 30 (r^2=0.92)	
건설기술연구원(1992)	RMR = 59.597+13.234*log(Q) (r^2=0.566)	

주) RMRmod : 일축압축강도와 절리방향에 대한 배점, N : Q-System에서 SRF를 1로 둔 값

○ 암반분류 결과와 전기비저항값의 상관관계 분석

▌개요

- 전기비저항탐사는 넓은 영역과 깊은 심도까지 비교적 정확도를 가지고 손쉽게 지반정보를 파악할 수 있는 물리탐사 기법
- 암반분류를 위한 현장의 전기비저항치의 정확한 해석을 위해서는 암석의 전기비저항치에 영향을 미치는 다양한 물리·환경적 요인을 파악해야 함

▌전기비저항에 영향을 미치는 요인(C.S.Gokhale와 J.M.Katae의 연구결과)

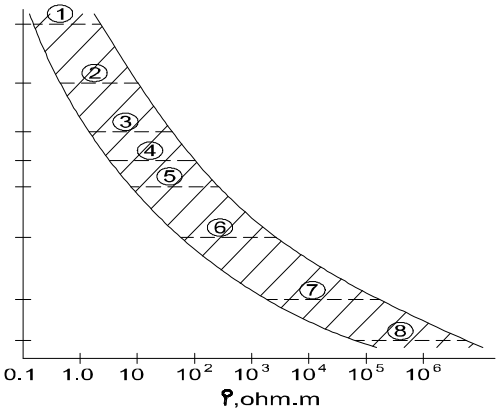
- 관련 문헌 : Tunnelling Asia '97 Proceeding (p.11~22)
- 연구개요 : 전기비저항치에 영향을 미치는 물리적/환경적 요인들에 대한 연구 결과들을 분석하여 주요한 영향인자 도출
- 연구결과
  - –전기비저항치에 영향을 미치는 물성 : 공극률, 비중, 함수비, 포화도, 투수계수, 암석의 종류, 온도 등
  - –전기비저항치는 암반의 강도 및 변형 특성(일축압축강도, 탄성계수 등)과 관계가 있음
  - –암반 층후에 해당하는 응력이 작용하는 지점에서의 전기비저항치(가비저항)는 진비저항치(Overburden 이 "0"인 경우의 전기비저항치)로 환산하여 분석하여야 함 : 암반응력에 대한 보정 실시
  - –암석 종류, 즉 광물 조성, 구성 조직등에 따라 비저항치는 차이가 남
  - –Overburden의 증가에 따른 비저항치 증가 관계는 Curvilinear로 초기에는 급속히 증가하다가 증가율이 감소 : 공극과 균열의 닫힘 영향

▌암석의 종류에 따른 전기비저항 값의 범위

– Telford의 연구 결과(1976)

구 분	암석종류	전기비저항값 범위(Ω·m)
화성암	화강암(Granite)	300~1,000,000
	섬장암(Syenite)	100~1,000,000
	섬록암(Diorite)	10,000~100,000
	반암(여러종류)(Porphyry)	60~10,000
변성암	편암(석회질 및 운모)(Schists)	20~10,000
	편마암(여러종류)(Gneiss)	68,000(습윤시)~3,000,000(건조시)
	규암(여러 종류)(Quartzites)	10~200,000,000
퇴적암	셰일(응고)(Consolidated Shales)	20~2,000
	역암(Conglomerates)	2,000~10,000
	사암(Sandstones)	1~640,000,000
	석회암(Limestones)	50~10,000,000
	점토(Clays)	1~100

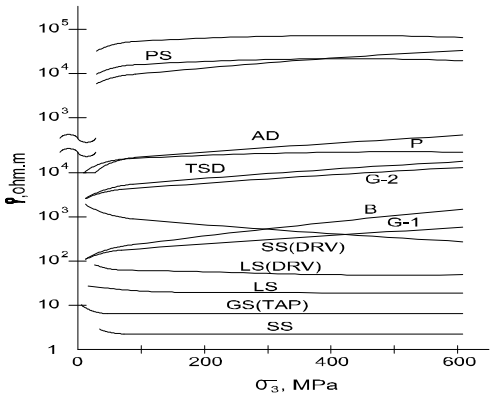
– Whiteley의 연구 결과(1983)

암 석 종 류	Graph
① Metal Sulphide Ores ② Clay, Graphitic shale, Soft shale, Sandstone saturated with salt water ③ Hard shale ④ Sand and gravel saturated with fresh water ⑤ Hard sandstone ⑥ Soft limestone, Fresh coal ⑦ Dolomite, dense limestone and fresh igneous and metamorphic rocks ⑧ Dry quartzites	

- 상기 연구 결과 암석에 따른 전기비저항치 범위는 광물 성분의 포함정도, 구성조직의 치밀도, 미세균열의 발달 정도 등에 따라 차이가 남
- 보편적으로 퇴적암이 가장 낮은 범위를 보이고, 변성암 및 화성암은 같은 분포 범위를 보임
- 본 사업구간에 분포하는 암종은 대부분 편마암에 해당하여 전기비저항치의 분포 범위가 차이가 나지 않을 것으로 판단됨
- 따라서 본 사업에서는 전기비저항치에 미치는 영향을 암종의 영향보다는 심도 영향을 중점적으로 검토

▮ 암석의 종류에 따른 전기비저항 값의 범위

– Stesky 등의 연구결과(1973)

암 석 종 류	Graph
PS = Serpentinized peridotite AD = Dunite P = Peridotite TSD = Dunite G–2 = Gabbro B = Basalts G–1 = Gabbro SS = Serpentinite LS = Serpentinized Lherzolite GS = Gabbro	

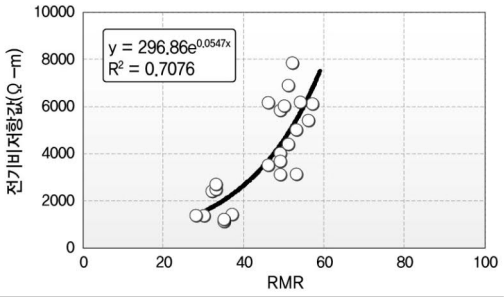
- 일반적으로 봉압(암반응력)이 증가할수록 전기비저항치는 증가
- 40MPa(약 1,500m 심도에 해당하는 응력) 이내의 봉압조건에서는 급격한 증가 양상을 보이다가 이후에는 증가율이 저하
- 화강암과 석회암을 대상으로 하는 시험 결과는 제시되지 않았으나 일반적인 경향을 보일 것으로 예상됨
- Serpentite 등 광물을 함유한 암석이나 건조한 상태의 시험조건에서는 봉압이 증가할수록 전기비저항치는 감소하는 양상을 보임
- 따라서 심도 50m 내외인 본 사업구간에서는 심도에 따른 전기비저항치 변화 양상은 없는 것으로 보며 일반적인 분석방향을 적용하기로 함

2차적 암반분류

•RMR과 전기비저항값과의 상관성을 분석 후 비저항치 및 암반등급 산정에 반영

전기비저항치를 이용한 암반분류

RMR-전기비저항 상관성 분석



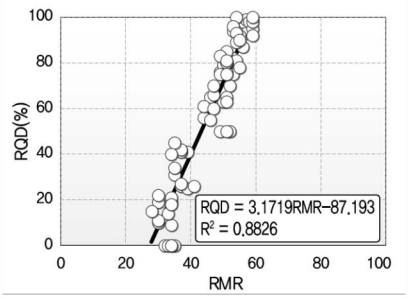
• Resistivity=296.9×e^(0.0547×RMR)

구분	적용 RMR범위	비저항값(Ωm)
Ⅰ등급	81이상	23,554 이상
Ⅱ등급	61~80	7,999~23,554
Ⅲ등급	41~60	2,716~7,999
Ⅳ등급	21~40	922~2,716
Ⅴ등급	20 이하	922 이하

암반분류의 상관성 분석

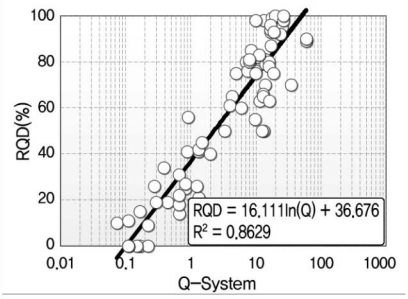
•RMR, Q분류 등 암반분류의 공학적 활용성을 높이기 위하여 상관성 분석 실시
➜결과값이 상관식과 비교하여 상이한 지점에 대해 재검토를 수행하여 오류를 최소화 함

RMR-RQD 상관관계



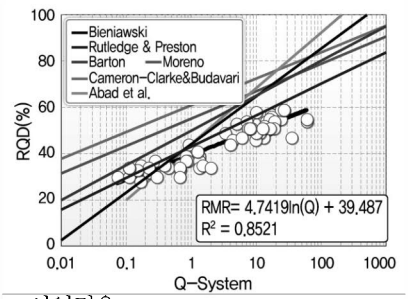
•RQD=3.172×RMR-87.193

Q-RQD의 상관관계



•RQD=16.111×ln(Q)+36.676

RMR-Q 상관관계



• 사업적용
➜RMR=4.7419×ln(Q)+39.487

암반등급 적용기준

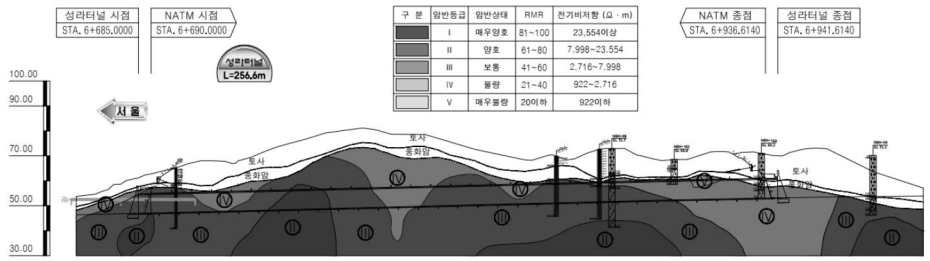
구분	Ⅰ등급	Ⅱ등급	Ⅲ등급	Ⅳ등급	Ⅴ등급
RMR	81이상	61~80	41~60	21~40	20 이하
Q-System	40.0 이상	10.0~40.0	4.0~10.0	1.0~4.0	1.0 이하
전기비저항(Ωm)	23,554 이상	7,999~23,554	2,716~7,999	922~2,716	922 이하

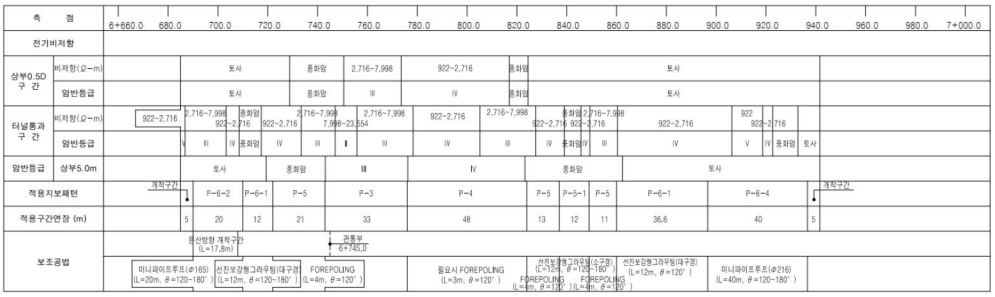
분석결과

•암반등급 분류기준은 RMR, 각 인자의 상관식, 암반등급별 분포범위를 고려하여 산정
•전기비저항 값과 RMR 상관성 분석결과 Resistivity=296.9×e^(0.0547×RMR)로 지수함수적 증가

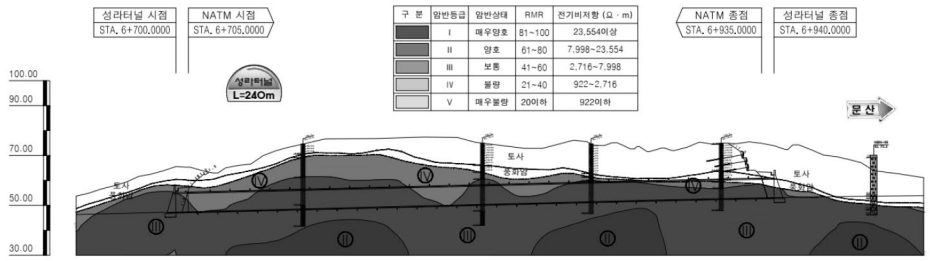
1.1.3 암반등급도

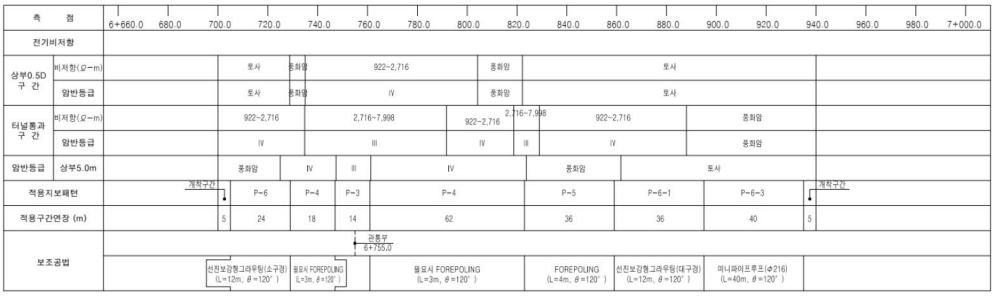
서울방향



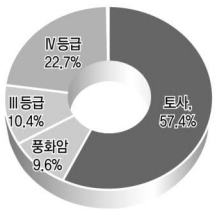


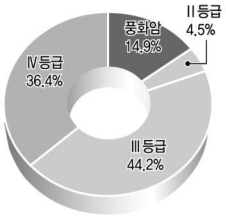
문산방향

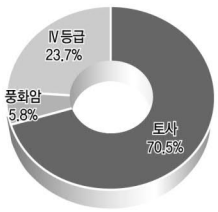


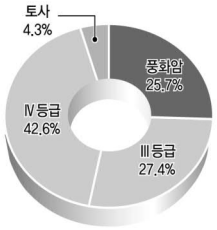


서울방향		문산방향	
1.0D	통과구간	1.0D	통과구간









- 서울 및 문산방향의 1.0D구간은 토사층(57.4~70.5%)이 우세하게 분포하여 매우불량한 암질상태를 보임
- 서울 및 문산방향의 통과구간은 Ⅳ~Ⅲ등급(70.0~80.6%)이 우세하게 분포하여 보통~불량한 암질상태를 보임

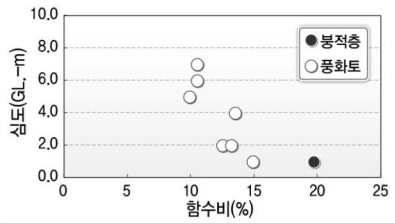
1.1.4 공학적 특성 분석

○ 토사 및 풍화대 특성분석

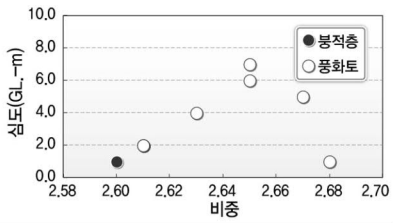
▮ 물리적 특성

구 분	함수비(%)	비 중	Atterberg Limits(%)		통과중량 백분율(%)		USCS
			LL	PI	No.4	No.200	
붕적층	19.7	2.60	N P	N P	100.0	45.9	SM
풍화토	9.9~14.9	2.61~2.68	N P	N P	87.7~98.2	16.0~32.5	SM

함수비



비중



분석결과

- 함수비/비중 범위
  - 붕적층: 19.7%/2.60
  - 풍화토 : 9.9~14.9%/2.61~2.68

▮ 강도특성

– 공내전단시험

구분	N값	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	비고
풍화토	31/30	22.5	28.1	–
풍화암	50/10	31.1	31.4	–

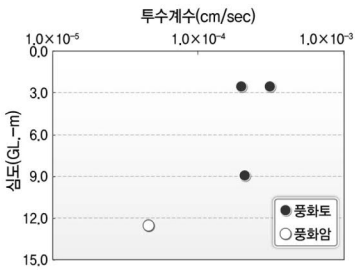
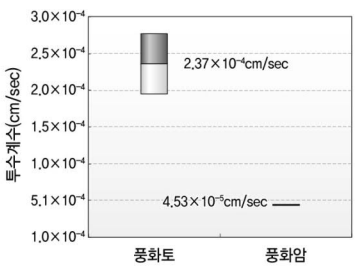
▮ 변형특성

– 공내재하시험

구분	N값	변형계수(MPa)	탄성계수(MPa)	비고
풍화토	27/30	96.3	111.9	–
풍화암	50/10	156.1	123.1	–

▮ 수리특성

– 투수시험

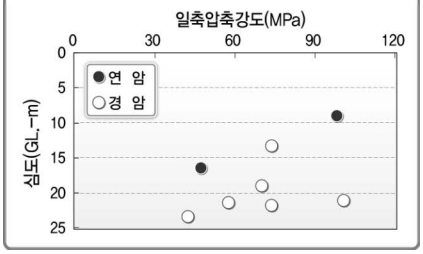
지층	평균 k, cm/s	심도별 투수계수	지층별 투수계수
풍화토	2.37×10^{-4}		
풍화암	4.53×10^{-5}		

◯ 기반암의 특성분석

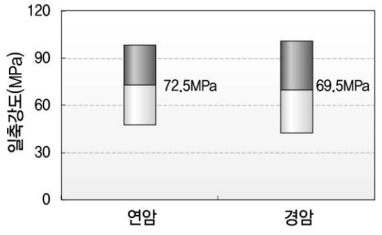
▮ 강도특성

지층	단위중량 (kN/m³)	탄성파속도(m/s)		일축강도 (MPa)	탄성계수 (GPa)	포아송비
		P파	S파			
연 암	26.65~26.90	2,688~2,832	1,305~1,511	47.1~97.9	50.8~82.3	0.16~0.19
경 암	27.08~28.93	2,724~3,831	1,256~1,855	42.2~100.4	52.6~80.0	0.16~0.21

심도별 일축압축강도



지층별 일축압축강도



분석결과

- 일축압축강도(MPa)/평균(MPa)
  - –연 암 : 347.1~97.9/72.5
  - –경 암 : 47.1~97.90/69.5

▮ 변형특성

– 공내재하시험

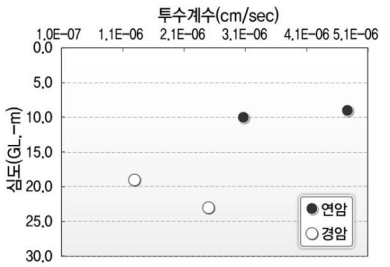
구분	RQD(%)	변형계수(MPa)	탄성계수(MPa)	비고
연 암	11~31	598.9~980.3	908.3~1,166.2	

▮ 수리 및 내진특성

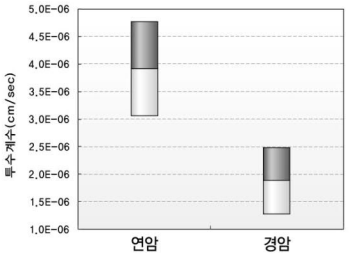
– 수압시험

지층	평균 k, cm/s
연 암	3.91×10^{-6}
경 암	1.89×10^{-6}

심도별 투수계수



지층별 투수계수



▮ 동적지반특성분석

구 분	밀도 (kN/m³)	탄성파속도		동적특성치			
		V_p(m/s)	V_s(m/s)	동포아송비	동전단계수(MPa)	동탄성계수(MPa)	동체적계수(MPa)
풍화토	19.0	919~984	375~408	0.397~0.400	278~330	778~920	1,290~1,470
풍화암	20.0	1,103~1,185	511~577	0.345~0.363	533~686	1,450~1,840	1,770~1,980
연 암	23.0	1,786~1,881	927~980	0.314~0.316	2,204~2,280	5,370~5,980	4,840~5,330
보통암	25.0	2,168~2,323	1,192~1,277	0.283~0.284	3,630~4,160	7,160~8,230	7,160~8,230

1.1.5 쌓기재 특성분석

○ 쌓기재료의 품질기준

구 분	노 상		노 체	비고
	상부노상	하부노상		
최대치수(mm)	100 이하	150 이하	300 이하	–
수정 CBR	10 이상	5 이상	2.5 이상	KS F 2320
No.4체 통과량(%)	25~100	–	–	–
No.200체 통과분(%)	0~25	50 이하	–	KS F 2301, KS F 2309
소 성 지 수	10 이하	30 이하	–	KS F 2303

○ 쌓기재료의 다짐 특성 및 품질평가

구 분		수정 CBR (%)	#4체통과량 (%)	#200체통과량 (%)	소성지수 (%)	쌓기재 적부 판정		
						상부노상	하부노상	노체
성라 터널	TP-1	12.8	84.1	17.1	N P	적합	적합	적합
	TP-2	12.0	77.3	20.9	N P	적합	적합	적합

분석결과
- 검토결과 모든 기준에 만족한 것으로 판단
- 제한된 시료에 의하여 실시되었으므로 실제 토공 작업시 다소 차이가 있을 것으로 판단

○ 토량변화율 산정결과

구 분		자연상태		다짐특성						흐트러진 상태	
		함수비 (%)	건조밀도 (kN/m^3)	A다짐(90%)			D다짐(95%)			건조밀도 (kN/m^3)	L
				γ_{dmax} (kN/m^3)	OMC (%)	C	γ_{dmax} (kN/m^3)	OMC (%)	C		
성라 터널	TP-1	15.5	15.42	15.41	16.7	0.982	17.02	14.3	0.889	12.28	1.256
	TP-2	13.3	15.31	15.34	17.6	0.979	17.15	15.3	0.875	12.02	1.274

제 2 장 설계지반정수 산정

2.1 개요

개 요	•문헌자료, 인근지역 분석 자료에 대한 분석을 수행하고, 각종 경험식 및 현장시험 값을 고려한 설계지반정수 산정

2.1.1 기본방향

기존자료 및 현장시험에 따른 결과분석에 의한 설계지반정수 산정

문헌자료 분석
인근조사자료 분석
기존자료 분석
→ 경험식 적용 설계지반정수 도출
현장시험 결과 적용
→ 암질 및 터널등급별
설계지반정수 산정

2.1.2 설계지반정수 산정방법

○ 토사층 설계지반정수 산정방법

구 분	주 요 정 수	산 정 방 법
기본물성	단위중량(γ_t)	•문헌 (한국도로공사, 도로설계요령) •인근지역 조사자료 및 기존자료 비교·분석
	포아송비(ν)	•실내 일축압축강도시험의 결과 값과 기존문헌자료, 토질종류에 따른 일반적인 범위 값 비교 추정(Roy E. Hunt, 1984, Braja M. Das, 1995)
강도특성	점착력(c)	•공내전단시험 •기존 자료 및 인근조사자료, 기존자료 비교 분석
	내부마찰각(ϕ)	•공내전단시험 •인근조사자료, 기존자료 비교·분석 •문헌식 검토 – 한국도로공사, 도로설계요령
변형특성	변형계수(E)	•공내재하시험 결과 •문헌자료(Braja M. Das, Hunt)에 의한 산정
동적특성	전단파속도(V_s) 동적물성값(K_d, E_d, G_d, V_d)	•하향식탄성파탐사 및 인근지역 조사자료 비교·분석에 의한 산정

○ 기반암 설계지반정수 산정방법

구 분	주 요 정 수	산 정 방 법
기본물성	단위중량(γ_t)	•실내암석시험결과 및 기존자료 분석
	포아송비(ν)	•실내암석시험결과 및 기존자료 분석
강도특성	점착력(c)	•공내전단시험 •실내암석시험 결과에 의한 산정
	내부마찰각(ϕ)	•공내전단시험 •실내암석시험 결과에 의한 산정
변형특성	변형계수(E)	•공내재하시험 및 기존자료 결과에 의한 산정
동적특성	전단파속도(V_s) 동적물성값(K_d, E_d, G_d, V_d)	•하향식탄성파탐사 및 인근지역 조사자료 비교

2.2 토사층의 설계지반정수 산정

기본방향	•본 과업구간은 매립층, 퇴적, 풍화토, 풍화암 및 연·경암으로 분포 •설계지반정수 산정은 현장시험결과 및 N치에 의한 관계식과 문헌에서의 제시값을 종합적으로 비교·분석하여 가장 합리적인 강도정수 값을 산정

2.2.1 지층별 설계적용 대표 N값

구 분	매 립 층	퇴 적 층			풍 화 토
	자 갈(GM)	점성토(CL)	모 래(SM, SP)	자 갈(GM)	사 질 토(SM)
N값 범위	4/30~9/30	4/30~13/30	4/30~13/30	10/30	9/30~50이상
적용 N값	7/30	10/30	7/30	10/30	38/30

2.2.2 단위중량 및 강도정수 산정

1) 문헌자료

○ 토공재료의 개략적인 토질정수 (도로설계요령, 제2권 토공 및 배수)

종 류		재료의 상태	단위체적중량 (kN/m^3)	점착력 (KPa)	내부마찰각 (°)	통일 분류
자연시료	자 갈	밀실한 것, 입도가 좋은 것	20.0	40.0	0.0	GW, GP
		밀실하지 않은 것, 입도가 나쁜 것	18.0	35.0	0.0	
	자갈섞인 모 래	밀실한 것	21.0	40.0	0.0	GW, GP
		밀실하지 않은 것	19.0	35.0	0.0	
	모 래	밀실한 것, 입도가 좋은 것	20.0	35.0	0.0	SW, SP
		밀실하지 않은 것, 입도가 나쁜 것	18.0	30.0	0.0	
	사 질 토	밀실한 것	19.0	30.0	30.0 이하	SM, SC
		밀실하지 않은 것	17.0	25.0	0.0	
	점 성 토	단단한 것 (손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감)	18.0	25.0	50.0 이하	ML, CL
		약간 연한 것 (손가락으로 중간 정도의 힘으로 들어감)	17.0	20.0	30.0 이하	
		연한 것 (손가락이 쉽게 눌러 들어감)	17.0	20.0	15.0 이하	
	점토 및 실 트	단단한 것 (손가락이 세게 눌러 조금 들어감)	17.0	20.0	50.0 이하	OH, MH ML
		약간 연한 것 (손가락으로 중간정도의 힘으로 들어감)	16.0	15.0	30.0 이하	
		연한 것 (손가락이 쉽게 눌러 들어감)	14.0	15.0	15.0 이하	

○ Cohesionless soils(Pile Design and Construction Practice(M.J. Tomlinson, 1993))

Soil type, compactness & consistency	γ_t (kN/m^3)	γ_{sub}(kN/m^3)	Φ(°)
Loose gravel with low sand content	16.0 ~ 19.0	9.0	28.0~30.0
Medium dense gravel with low sand content	18.0 ~ 20.0	10.0	30.0~36.0
Dense to very dense gravel with low sand content	19.0 ~ 21.0	11.0	36.0~46.0
Loose well-graded sandy gravel	20.0 ~ 20.0	10.0	28.0~30.0
Medium-dense well-graded sandy gravel	19.0 ~ 21.0	11.0	30.0~36.0
Dense well graded sandy gravel	20.0 ~ 22.0	12.0	36.0~45.0
Loose clayey sandy gravel	18.0 ~ 20.0	10.0	28.0~30.0
Medium-dense clayey sandy gravel	19.0 ~ 21.0	11.0	30.0~35.0
Dense to very dense clayey sandy gravel	21.0 ~ 22.0	12.0	35.0~40.0
Loose coarse to fine sand	17.0 ~ 20.0	10.0	28.0~30.0
Medium-dense coarse to fine sand	20.0 ~ 21.0	11.0	30.0~35.0
Dense to very dense coarse to fine sand	21.0 ~ 22.0	12.0	35.0~40.0
Loose fine and silgy sand	15.0 ~ 17.0	7.0	28.0~30.0
Medium-dense fine and silty sand	17.0 ~ 19.0	9.0	30.0~35.0
Dense to very dense fine and silty sand	19.0 ~ 21.0	11.0	35.0~40.0

○ 지반조사편람 (서울특별시)

지 반 명	γ(kN/m^3)	c(kN/m^2)	Φ(°)	변형계수(MPa)	포아송비
풍 화 토	17.0 ~ 20.0	0.00 ~ 100.0	25 ~ 30	20.0 ~ 40.0	0.5
풍 화 암	20 .0~ 22.0	100.0 ~ 300.0	30 ~ 35	100.0 ~ 200.0	0.3 ~ 0.4

○ 도로교시방서 (대한토목학회, 2000)

■ 흙의 단위중량(kN/m^3)

지 반	토 질	느슨한 것	조밀한 것
자연지반	모래 및 자갈	18.0	20.0
	사 질 토	17.0	19.0
	점 성 토	14.0	18.0

■ N값과 단위중량(kN/m^3)

토 질	N 값	단위체적중량	
		일 반	수 중
사질토	50 이상	20.0	10.0
	30~50	19.0	9.0
	10~30	18.0	8.0
	10 미만	17.0	7.0
점성토	19.0	–	–
	17.0		
	15.0~17.0		
	14.0~16.0		

2) 경험식에 의한 강도정수 산정(N값 이용)

•점착력 산정식(kN/m²)

$\phi = 0$, $c = \frac{q_u}{2}$

- Dunham $q_u = \frac{N}{0.077}$
- Terzaghi-Peck $q_u = \frac{N}{0.082}$
- Ohsaki $q_u = 40 + \frac{N}{0.2}$

•내부마찰각 산정식

- Dunham $\phi = \sqrt{12N} + 15$
- Meyerhof $\phi = 0.25N + 32.5$
- Peck $\phi = 0.3N + 27$
- Ohsaki $\phi = \sqrt{20N} + 15$
- 도로교시방서 $\phi = \sqrt{15N} + 15$

○ N값을 이용한 점착력(kPa) 산정

지 층		대표 N값	Peck	Dunham	Ohsaki	범 위
퇴 적 층	점성토	10	61.0	64.9	45.0	45.0~64.9

○ N값을 이용한 내부마찰각(°) 산정

지 층		대표 N값	도로교	Peck	Dunham	Ohsaki	범 위
매 립 층	자 갈	7	25.2	29.1	24.2	26.8	24.2~29.1
퇴 적 층	모 래	7	25.2	29.1	24.2	26.8	24.2~29.1
	자 갈	10	27.2	30.0	26.0	29.1	26.0~30.0
풍 화 토	모 래	38	38.9	38.4	36.4	42.6	36.4~42.6

3) 현장시험 결과

○ 현장밀도 시험결과

공 번	지 층	심도 (m)	함수비 (%)	자연상태 단위중량(kN/m³)	
				습윤	건조
TP-1	풍화토	2.0	15.5	17.81	15.42
TP-2	풍화토	1.5	13.3	17.35	15.31

○ 시추공 전단시험

공 번	심 도(GL.-m)	대상지층	점착력(kPa)	내부마찰각(°)
TB-2	3.0	풍화토	22.5	28.1

4) 기존 적용사례

지 층	토 질 구 성	단위중량 (kN/m³)	점착력 (kPa)	내부마찰각 (°)	변형계수 (MPa)	포아송비 (ν)
매립층	사질토	18~20	0~5	28~33	10~80	0.33~0.35
	자갈층	19~20	0~17	25~39	15~35	0.3
붕적층	사질토	17~19	0~30	25~32	10~32	0.35
	점성토	18	0~20	–	–	–
	자갈층	20	0~50	39	35	0.30
충적층	사질토	17~20	0~10	25~33	15~80	0.35
	점성토	17~18	10~30	–	5~10	0.50
	자갈층	18~20	0~20	35~39	35	0.30
풍화토		18~19	15~200	25~30	35~50	0.30~0.33

•인근지역 적용사례는 서울문산 고속도로 민간투자, 월드컵대교 건설공사, 인천국제공항 철도 등 9개소 지역의 설계적용사례를 참고하였음

5) 단위중량 및 강도정수 산정 결과

구 분			경험식	문헌자료	적용사례	시험결과	설계적용
매립층	자 갈	단위중량(kN/m³)	–	18.0	19.0~20.0	–	19.0
		점착력(kPa)	–	0.0	0.0~17.0	–	0.0
		내부마찰각(°)	24.2~29.1	35.0	25.0~39.0	–	35.0
퇴적층	점성토	단위중량(kN/m³)	–	17.0	17.0~18.0	–	17.0
		점착력(kPa)	45.0~64.9	30.0이하	0.0~30.0	–	15.0
		내부마찰각(°)	–	20.0	–	–	0.0
	모 래	단위중량(kN/m³)	–	18.0	17.0~19.0	–	18.0
		점착력(kPa)	–	0.0	0.0~30.0	–	0.0
		내부마찰각(°)	24.2~29.1	30.0	25.0~33.0	–	30.0
	자 갈	단위중량(kN/m³)	–	18.0~19.0	18.0~20.0	–	19.0
		점착력(kPa)	–	0.0	0.0~50.0	–	0.0
		내부마찰각(°)	26.0~30.0	35.0~40.0	35.0~39.0	–	35.0
풍화토		단위중량(kN/m³)	–	17.0~19.0	18.0~19.0	17.35~17.81	17.5
		점착력(kPa)	–	0.0~30.0	15.0~200.0	22.5	22.0
		내부마찰각(°)	36.4~42.6	0.0	25.0~30.0	28.1	28.0

•시험값을 우선으로 적용하고 적용사례값을 차선으로 적용, 퇴적층 자갈 내부마찰각은 느슨한 자갈층으로 적용사례의 최소값 적용

2.2.3 변형계수 및 포아송비 산정

1) 관련 문헌자료

구 분	Braja, M. Das (Principle of Foundation Engineering)		Joseph E. Bowels (1996)	
	변형계수(MPa)	포아송비(υ)	변형계수(MPa)	포아송비(υ)
느슨한 모래	10.4~24.2	0.20~0.40	10.0~25.0	0.20~0.35
보통굳기 모래	17.3~27.6	0.25~0.40	–	–
조밀한 모래	34.5~55.2	0.30~0.45	50.0~81.0	0.30~0.40
실트질 모래	10.4~17.3	0.20~0.40	5.0~20.0	–
연약한 점토	4.1~20.7	0.20~0.50	2.0~25.0	0.40~0.50
중간 점토	20.7~41.4		15.0~50.0	
견고한 점토	41.4~96.6		50.0~100	
느슨한 모래섞인 자갈	69.0~173	0.15~0.35	50.0~150	0.30~0.40
조밀한 모래섞인 자갈			100~200	

○ 토층의 변형계수 및 포아송비의 범위(Hunt, 1984)

토층 상태		변형계수(MPa)	포아송비
황 토(Loess)		15 ~ 60	0.1~0.3
실 트		2 ~ 20	0.3~0.35
세립 모래	느 슨	8 ~ 12	0.25
	중간 조밀	12 ~ 20	
	조 밀	20 ~ 30	
모 래	느 슨	10 ~ 30	0.2~0.35
	중간 조밀	30 ~ 50	
	조 밀	50 ~ 80	
자 갈	느 슨	30 ~ 80	0.3~0.4
	중간 조밀	80 ~ 100	
	조 밀	100 ~ 200	

2) 경험식에 의한 산정

•Schmertmann(1978) : E = αN
여기서, E : 변형계수(×0.1 MPa), α : 변수, N : N값

구 분	실트 또는 모래질 실트	세립 또는 중립모래	조립모래	자갈질모래 또는 자갈
α	4	7	10	12~15

•Hisatake : E = 5 N + 70 (×0.1 MPa)
•Bowles : E = 50 (N+15) (×0.1 MPa)–모래, E = 32 (N+15) (×0.1 MPa)–점토질 모래
E = 30 (N+6) (×0.1 MPa)–실트질 모래 E = 120 (N+6) (×0.1 MPa)–자갈질 모래

○ N값을 이용한 변형계수(MPa)

지 층		대표 N값	Schmertmann	Hisatake	Bowles	범 위(평균)
매 립 층	자 갈	7	8.4	10.5	15.6	8.4~15.6(11.5)
퇴 적 층	점성토	10	4.0	12.0	4.8	4.0~12.0(6.9)
	모 래	7	4.9	10.5	11.0	4.9~11.0(8.8)
	자 갈	10	12.0	12.0	19.2	12.0~19.2(14.4)
풍 화 토	모 래	38	57.0	26.0	52.8	26.0~57.0(45.3)

3) 기존 적용사례

지 층	토 질 구 성	단위중량 (kN/m³)	점착력 (kPa)	내부마찰각 (°)	변형계수 (MPa)	포아송비 (ν)
매립층	사질토	18~20	0~5	28~33	10~80	0.33~0.35
	자갈층	19~20	0~17	25~39	15~35	0.3
붕적층	사질토	17~19	0~30	25~32	10~32	0.35
	점성토	18	0~20	–	–	–
	자갈층	20	0~50	39	35	0.30
충적층	사질토	17~20	0~10	25~33	15~80	0.35
	점성토	17~18	10~30	–	5~10	0.50
	자갈층	18~20	0~20	35~39	35	0.30
풍화토		18~19	15~200	25~30	35~50	0.30~0.33

•인근지역 적용사례는 서울문산 고속도로 민간투자, 월드컵대교 건설공사, 인천국제공항 철도 등 9개소 지역의 설계적용사례를 참고하였음

4) 공내재하시험 결과

구 분	공 번	시험심도 (GL.–m)	지 층	암 종	변형계수 (D, MPa)	탄성계수 (E, MPa)
성라터널	TB–2	2.0	풍화토	–	96.3	111.9

5) 변형계수 및 포아송비 산정 결과

구 분			경험식	기존사례	문헌자료	시험결과	설계적용
매립층	자 갈	변형계수(MPa)	8.4~15.6(11.5)	10~80	50.0~150.0	–	11.0
		포아송비	–	0.33~0.35	0.15~0.40	–	0.33
퇴적층	점성토	변형계수(MPa)	4.0~12.0(6.9)	5~10	15.0~50.0	–	6.0
		포아송비	–	0.50	0.20~0.50	–	0.50
	모 래	변형계수(MPa)	4.9~11.0(8.8)	10~80	17.3~27.6	–	10.0
		포아송비	–	0.35	0.25~0.40	–	0.35
	자 갈	변형계수(MPa)	12.0~19.2(14.4)	35	50.0~150.0	–	14.0
		포아송비	–	0.30	0.15~0.40	–	0.32
풍화토		변형계수(MPa)	26.0~57.0(45.3)	35~50	5.0~20.0	96.3	45.0
		포아송비	–	0.30~0.33	0.20~0.40	–	0.33

•지층별 변형계수는 현장시험값이 너무 크므로 기존사례 및 문헌자료와 기존사례의 범위값 내에서 경험식의 평균값을 적용하고 지층별 포아송비는 기존사례 값을 적용

2.2.4 쌓기재 설계지반정수 산정

기본방향

•쌓기재는 터널갱구 및 깎기구간에서 발생하는 토사 등을 사용
•설계지반정수 산정의 신뢰성 향상을 위해 실내시험 분석 결과 및 문헌 자료 등을 비교·검토

○ 문헌자료

■ 쌓기재 강도정수기준(도로설계요령, 2001)

흙의 종류 (통일분류법)	재료의 상태	단위중량 (kN/m³)	점착력 (kPa)	내 부 마찰각 (°)
GW, GP	다진것	20	0.0	40
SW, SP	입도가 좋은 것	20	0.0	35
	입도가 나쁜 것	19	0.0	30
SM, SC	다진것	19	30 이하	25
ML, MH, CL, CH	다진것	18	50 이하	15

■ 다짐토의 특성 NAVFAC(DM 7.2~3.9)

구 분	최대건조 단위중량 (kN/m³)	최적 함수비 (%)	점착력(kPa) 다짐 상태	점착력(kPa) 포화 상태	내 부 마찰각 (°)	CBR
GM	19~22	8~12	–	–	〉34	20~60
GC	18~21	9~14	–	–	〉31	20~40
SM	18~20	11~16	51	21	34	10~40
SM-SC	18~21	11~15	51	15	33	–
SC	17~20	11~19	76	11	31	5~20
ML	15~19	12~24	68	09	32	〈15
ML-CL	16~19	12~22	66	22	32	–

■ 다짐토사의 평균 전단강도 Huang(1983)

구 분	최대건조 단위중량 (kN/m³)	최적 함수비 (%)	점착력(kPa) 다짐 상태	점착력(kPa) 포화 상태	내 부 마찰각 (°)
GW	〉19.1	〈 13.3	–	–	〉38
GP	〉17.6	〈 12.4	–	–	〉37
GM	〉18.3	〈 14.5	–	–	〉34
GC	〉18.4	〈 14.7	–	–	〉31
SW	19.1±00.8	13.3±2.5	44±4	–	38±1
SP	17.6±00.3	12.4±1.0	26±6	–	37±1
SM	18.3±00.2	14.5±0.4	57±6	23±8	34±1
SM-SC	19.1±00.2	12.8±0.5	23±8	16±6	33±3

구 분	최대건조 단위중량 (kN/m³)	최적 함수비 (%)	점착력(kPa) 다짐 상태	점착력(kPa) 포화 상태	내 부 마찰각 (°)
SC	18.4±0.2	14.7±0.4	84±17	13±6	31±3
ML	16.5±0.2	19.2±0.7	75±11	10±	32±2
ML-CL	17.5±0.3	16.8±0.7	71±19	25±	32±2
CL	17.3±0.2	17.3±3.0	98±12	15±2	28±2
OL	–	–	–	–	–
MH	13.1±6	36.3±3.2	82±33	23±10	25±3
CH	15.1±3	25.2±1.2	115±38	13±06	19±5
OH	–	–	–	–	–

○ 쌓기재 설계지반정수 산정결과

구 분		단위중량(kN/m³)	점착력(kPa)	내부마찰각 (°)	비 고
관련 문헌	도로설계기준	19~20	0.0~30.0	30~40	SM~GP
	NAVFAC DM72	18~22	0.0~21.0	33 이상	SM~GM
	Huang	18 이상	19.0~31.0	33 이상	SM~GP
적용사례		18~20	15.0~20.0	28~40	SM~GP
설계 적용(토사)		18.0	15.0	28.0	–

구 분	γ_t (kN/m³)	c (kPa)	ϕ (°)
쌓기재(토사)	18.0	15.0	28.0

•쌓기재의 지반정수는 기존 보고서 설계적용 값 적용

2.3 풍화암 설계지반정수 산정

기본방향 •사업구간내 풍화암은 기반암의 풍화가 진행되는 상태로 표준관입시험 또는 광역적 지질에 대해 특이한 차이가 없음에 따라 공통적으로 적용하여 산정

2.3.1 문헌 및 기존 설계자료

○ 서울시 지반분류(1996)

지 층	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)	단위중량(kN/m³)	포아송비
풍화암	10~30/100~300	30~35	100~200	20.0~22.0	0.30~0.35

○ 도로설계실무편람(한국도로공사, 1996)

구 분	암반파쇄상태 TCR(%)	암반파쇄상태 RQD(%)	전단강도 점착력(kPa)	전단강도 내부마찰각(°)	비 고
풍화암 또는 연·경암으로 파쇄가 극심한 기반암 경우	20% 이하	10% 이하	100	30	암반의 파쇄상태에 따른 전단강도 제안

○ 한국지반공학회 학술발표회 자료

구 분		단위중량(kN/m³)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	비 고
사면안정 학술발표회	1996	21	30	35	–
	2001	20	30	35	–
	2003	19.5	20	36	사암, 세일 등
		20	10	30	편 암
학술발표회	2003	21	30	35	편마암
범 위		19.5~21	10~30	30~36	–

○ 기존 적용사례

구 분	단위중량(kN/m³)	점 착 력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)	포아송비
풍화암	20~22	28~50	30~33	50~350	0.30~0.31

•인근지역 적용사례는 서울문산 고속도로 민간투자, 월드컵대교 건설공사, 인천국제공항 철도 등 9개소 지역의 설계적용사례를 참고하였음

○ 현장시험결과

공 번	점 착 력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)
TB-3	31.1	31.4	156.1

2.3.2 풍화암 설계지반정수 산정

○ 단위중량 및 포아송비

구 분	경험식	문헌자료	적용사례	시험 결과	설계적용
단위중량(kN/m³)	–	19.5~22.0	20.0~22.0	–	20.0
포아송비(ν)	–	0.20~0.45	0.30~0.31	–	0.30

○ 전단강도 및 변형계수

구 분	경험식	문헌자료	적용사례	시험 결과	설계적용
점착력(kPa)	–	10.0~300	20~50	31.1	30.0
내부마찰각 (°)	〉 39.5	30.0~36.0	30~33	31.4	31.0
변형계수(MPa)	–	200	50.0~350.0	156.1	150.0

•풍화암의 단위중량 및 포아송비는 문헌자료 및 기존사례의 평균값 적용
•풍화암의 강도정수는 시추공 전단시험 값, 변형계수는 공내재하시험 값 적용

2.4 기반암 설계지반정수 산정

기본방향	•기반암의 설계지반정수는 지표지질조사시 선정된 구조구 및 구조물 위치에 대한 특성을 고려하여 산정 •전 구간에 분포하는 암종이 편마암류로 분류되어 지반특성에 따른 구조물별로 선정

2.4.1 문헌 및 기존자료 분석

1) 관련문헌자료

○ 도로설계 실무편람에 제시된 강도정수

암 석 종 류 (강도)	암 반 파 쇄 상 태 (NX 규격 시추조사시)		암반의 강도정수	
	T.C.R(%)	R.Q.D(%)	ϕ (°)	C (kPa)
풍화암 또는 연·경암으로 파쇄가 극심한 경우	20% 이하	10% 이하	30°	100
강한 풍화암으로서 파쇄가 거의 없는 경우와 대부분의 연·경암	20~30%	10~25%	33°	130
	40~50%	25~35%	35°	150
	70% 이상	40~50%	40°	200

○ 서울시 기준에 의한 지반정수 산정

지반명	단위중량 γ_t (kN/m^3)	내부마찰각 ϕ (°)	변형계수 E_s (MPa)	포아송비 υ
연 암	23~25	30~40	200~400	0.25~0.30
보통암	24~26	35~40	400~1,000	0.25
경 암	25~27	35~45	1,000~4,000	0.20

2) 기존 적용사례

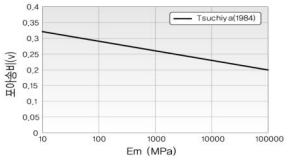
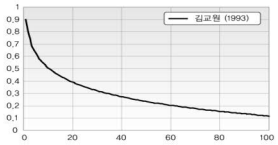
구 분		단위중량(kN/m^3)	점 착 력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)	포아송비
터널 구간	Ⅰ등급	27	4,200	44~45	18,000	0.21
	Ⅱ등급	26	3,500	41~42	13,000~15,000	0.22
	Ⅲ등급	25	2,000~2,200	37	4,000~6,000	0.24
	Ⅳ등급	24	800~900	34	1,000	0.25
	Ⅴ등급	23	400	33	500	0.26

•인근지역 적용사례는 서울문산 고속도로 민간투자, 월드컵대교 건설공사, 인천국제공항 철도 등 9개소 지역의 설계적용사례를 참고하였음

2.4.2 경험식에 의한 검토

○ 제안자별 경험식

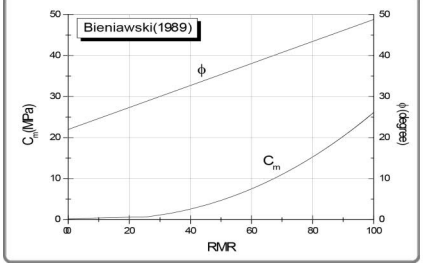
▮ 단위중량 및 포아송비

구 분	Tsuchiya (1984)	김교원 (1993)
산정방법	•추정식, 기존사례 등을 이용하여 단위중량과 포아송비를 산정	
산 정 식	γ_t (kN/m^3) = [2.0+(Y-1.28)/14.3] × 10 υ = 0.3 − (Y−1.28)/95 여기서, Y = (log E(kgf/cm^2) − 2.25)/0.35 	υ = −0.17 Ln(RMR')+0.9 

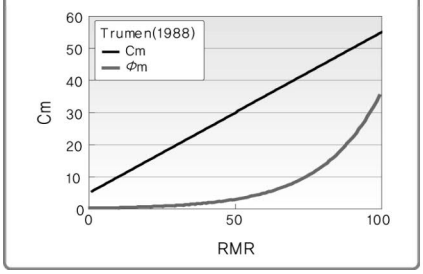
▮ 점착력 및 내부마찰각

점착력 경험식	관 계 경 험 식
•Bieniawski (1989)	•C_m = −0.051 + 0.008R − 3.346 × 10^{-5}RMR^2 •ϕ_m = −0.086 + 0.7891RMR − 0.0031 RMR^2
•Trueman (1988)	•C_m = 0.25 e$^{0.05\ RMR}$ (Mpa) •ϕ_m = 0.5RMR + 5
•김교원 (1993)	•C_m = 2 e$^{0.08\ RMR^*}$ (MPa) •ϕ_m = 0.25(RMR*) + 27.5

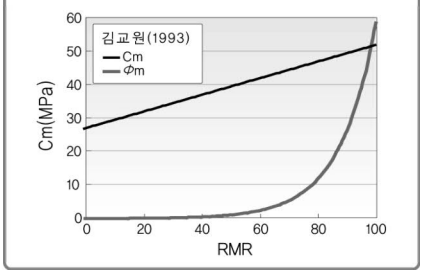
Bieniawski(1989)



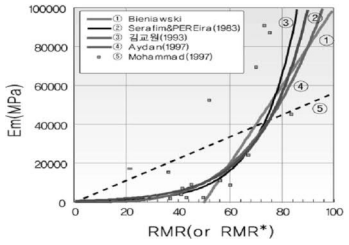
Trueman (1988)



김교원(1993)



▮ 변형계수

변형계수 경험식	관 계 경 험 식	적 용 내 용
•Bieniawski (1978)	E_m = 2RMR−100(GPa) ; RMR > 57	•경계 RMR=57에 대하여 Bieniawski과 Serafim & Pereira 경험식의 교점을 기준으로 적용
•Serafim & Pereira (1983)	$E_m = 10^{(RMR-10)/40}$(GPa) ; RMR ≤ 57	
•김교원 (1993)	E_m = 3 e$^{0.07RMR^*}$(GPa) − RMR* : 총RMR에서 지하수 상태 및 절리방향 보정을 제외	
•Aydan (1997)	$E_m = 0.0097\,RMR^{3.54}$(MPa)	
•Mohammad (1997)	$E_m = 0.562\,RMR + 0.183$ (GPa)	

○ 경험식에 의한 산정결과

■ 단위중량 및 포아송비

구 분		대표RMR	단위중량(kN/m³)		포아송비(ν)	
			Tsuchiya (1984)	김교원 (1993)	Tsuchiya (1984)	김교원 (1993)
터널 구간	Ⅰ등급	81	26.3	–	0.21	0.15
	Ⅱ등급	64	25.5	–	0.22	0.19
	Ⅲ등급	53	24.8	–	0.23	0.22
	Ⅳ등급	36	23.8	–	0.24	0.29
	Ⅴ등급	10	22.1	–	0.27	0.49

■ 점착력 및 내부마찰각

구 분		대표RMR	점착력(kPa)			내부마찰각(φ)		
			Bieniawski (1989)	Truman (1988)	김교원 (1993)	Bieniawski (1989)	Truman (1988)	김교원 (1993)
터널 구간	Ⅰ등급	81	377	14,349	14,098	43	46	48
	Ⅱ등급	64	324	6,133	3,618	38	37	44
	Ⅲ등급	53	279	3,539	1,501	33	32	41
	Ⅳ등급	36	194	1,512	385	24	23	37
	Ⅴ등급	10	26	412	48	7	10	30

■ 변형계수

구 분		대표RMR	변형계수(MPa)		
			Bieniawski(1978) & Sarafim & Pereira(1983)	김교원(1993)	Aydan(1977)
터널 구간	Ⅰ등급	81	65,000	93,300	55,300
	Ⅱ등급	64	28,000	28,300	24,000
	Ⅲ등급	53	11,800	13,100	12,300
	Ⅳ등급	36	4,400	3,900	3,100
	Ⅴ등급	10	1,000	600	–

2.4.3 현장 및 실내시험 결과 검토

○ 공내재하시험 결과

구 분	공 번	시험심도 (GL.-m)	지 층	암 종	RMR	변형계수 (D, MPa)	탄성계수 (E, MPa)
터널구간	TB-2	11.0	연 암	화강암질 편마암	Ⅳ	980.3	1,166.2
	TB-3	17.0	연 암	화강암질 편마암	Ⅳ	598.9	908.3

○ 실내시험 결과

구 분	공 번	심 도 (m)	지 층	RMR	단위중량 (kN/m³)	탄성파속도(m/s)		일축강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)	포아송비
						P파	S파			
터널 구간	HTB-1	16.3~16.4	연암	Ⅳ	26.65	2,832	1,511	47.10	50,759	0.19
	TB-1	23.2~23.4	경암	Ⅲ	27.32	3,215	1,802	42.24	53,119	0.21
	TB-2	13.1~13.3	경암	Ⅲ	27.44	3,012	1,495	73.50	70,884	0.18
	TB-3	21.6~21.8	경암	Ⅲ	28.93	3,067	1,732	73.46	68,416	0.18
	TB-4	20.9~21.1	경암	Ⅲ	27.08	3,831	1,855	100.39	79,951	0.16
	TB-5	18.8~19.0	경암	Ⅲ	27.08	2,724	1,256	69.82	63,800	0.19
	TB-6	8.8~9.0	연암	Ⅳ	26.90	2,688	1,305	97.85	82,344	0.16
	TB-7	21.2~21.4	경암	Ⅲ	27.14	3,412	1,631	57.39	52,647	0.21

2.4.4 설계지반정수 산정결과

○ 단위중량 및 포아송비

구 분	지 층	단위중량(kN/m³)				포아송비(ν)			
		적용사례	경험식	시험결과	적 용	적용사례	경험식	시험결과	적 용
터널구간	Ⅰ등급	27	26.3	–	27.0	0.21	0.15~0.21	–	0.21
	Ⅱ등급	26	25.5	–	26.0	0.22	0.19~0.22	–	0.22
	Ⅲ등급	25	24.8	26.65~26.90	25.0	0.24	0.22~0.23	0.16~0.19	0.24
	Ⅳ등급	24	23.8	27.08~28.93	24.0	0.25	0.24~0.29	0.16~0.21	0.25
	Ⅴ등급	23	22.1	–	23.0	0.26	0.27~0.49	–	0.26

- 단위중량 시험값은 편차가 크므로 적용사례값을 적용
- 포아송비 경험식은 편차가 크고 실내시험값은 과대평가된 경향으로 보이므로 적용사례의 최소값을 안전측으로 적용

○ 점착력 및 내부마찰각

구 분	지 층	점착력(kPa)			내부마찰각(ϕ)		
		적용사례	경험식	적 용	적용사례	경험식	적 용
터널구간	Ⅰ등급	4,200	375~14,349	4,200	44~45	43~48	44
	Ⅱ등급	3,500	324~6,133	3,500	41~42	37~44	41
	Ⅲ등급	2,000~2,200	279~3,539	2,000	37	32~41	37
	Ⅳ등급	800~900	194~1,512	800	34	23~37	34
	Ⅴ등급	400	26~412	400	33	7~30	33

- 경험식에 의한 강도정수 값은 편차가 크므로, 안전측으로 적용사례의 최소값을 적용

◎ 변형계수

구 분	지 층	변형계수(MPa)			
		적용사례	경험식	시험결과	적 용
터널구간	Ⅰ등급	18,000	55,300~93,300	-	18,000
	Ⅱ등급	13,000~15,000	24,000~28,300	-	13,000
	Ⅲ등급	4,000~6,000	11,800~13,100	-	4,000
	Ⅳ등급	1,000	3,100~4,400	599~980	1,000
	Ⅴ등급	500	600~1,000	-	500

•변형계수는 경험식의 편차가 크므로 시험값의 평균값 또는 적용사례의 최소값을 안전측으로 적용

2.5 불연속체 설계지반정수 산정

•암반비탈면은 주로 불연속면을 따라 거동하게 되는데 이러한 불연속면의 전단강도는 암반의 전단강도와는 달리 대상 비탈면의 불연속면 형상, 거칠기(Roughness), 충전물(Filling material), 연장성(Persistency) 등에 의해 좌우됨
•설계강도정수 산정은 시추코아에 대한 절리면 전단시험 및 암석시험, 지표지질조사(암반의 불연속면 특성) 및 기존문헌자료 등을 비교 검토하여 암반 절리면에 대한 강도정수 산정

2.5.1 문헌자료

◎ 여러 암석에 대한 기본마찰각 (Barton, 1973)

암 석 명	기본마찰각(ϕ_b)	암 석 명	기본마찰각(ϕ_b)
각 섬 암	32	화강암 (조립질)	31~35
현 무 암	31~38	석 회 암	33~40
역 암	35	반 암	31
백 악	30	사 암	25~35
백 운 암	27~31	셰 일	27
편마암 (편암질)	23~29	미 사 암	27~31
화강암 (세립질)	29~35	점 판 암	25~30

주) 작은 값은 일반적으로 젖은 암석표면에 대해 시험하여 얻은 것임

◎ Rock Slope Engineering, E.Hoek & j.w.Bray

암 석 명			내부마찰각(°)	점착력(MPa)	비 고
점착력이 없는 물질	발파/파쇄 암석	현 무 암	40.0 ~ 50.0	-	-
		백 악	30.0 ~ 40.0		
		화 강 암	45.0 ~ 50.0		
		석 회 암	35.0 ~ 40.0		
		사 암	35.0 ~ 45.0		
		셰 일	30.0 ~ 35.0		
점착력이 있는 물질	암 석	견고한 화성암	35.0 ~ 45.0	35.7 ~ 56.1	(화강암, 현무암, 반암)
		변 성 암	30.0 ~ 40.0	20.4 ~ 40.8	(규암, 편마암, 점판암)
		견고한 퇴적암	35.0 ~ 45.0	10.2 ~ 30.6	(석회암, 백운석, 사암)
		연약한 퇴적암	25.0 ~ 35.0	1.0 ~ 20.4	(사암, 석탄, 백악, 세일)

○ 충전물을 포함하고 있는 불연속면의 전단강도

암 석 명	설 명	최대강도		잔류강도		시 험 자
		c'(kPa)	ϕ (°)	c'(kPa)	ϕ (°)	
현무암	점토화된 현무암질 각력암. 점토에서 현무암까지의 함유량 변화가 큼	240.0	42.0	–	–	Ruiz, Camargo, Midea &Nieble [109]
벤토나이트	백악내의 벤토나이트층 얇은 층상 삼축시험	15.0 90.0~120.0 60.0~100.0	7.5 12.0~17.0 9.0~13.0	–	–	Link[110] Sinclair & Brooker[111]
벤토나이트질 세일	삼축시험 직접전단시험	0.0–270.0	8.5~29.0	30.0	8.5	Sinclair & Brooker[111]
점토	과압밀, 미끄러짐면, 절리 및 소규모 전단면	0.0~180.0	12.0~18.5	0.0~3.0	10.5~16.0	Skempton & Petley[112]
점토세일	삼축시험	60.0	32.0	–	–	Sinclair & Brooker[111]
점토세일	성층면	–	–	0.0	19.0~25.0	Leussink & Muller–Kirchenbauer[113]
협탄층암석	점토 분쇄암층, 두께 1.0~2.5cm	11.0~13.0	16.0	0.0	11.0–11.5	Stimpson & Walton[114]
백운석	변질된 세일층, 두께 약 15cm	41.0	14.5	22.0	17.0	Pigot & Mackenzie[115]
섬록암, 화강섬록암 및 반암	점토 충진물(점토 2% PI=17%)	0.0	26.5	–	–	Brawner[116]
화강암 /편마암	점토 충전물이 있는 단층. 사질양토로 된 단층 충전물과 함께 약화됨. 구조적 전단대, 편암질 및 파쇄된 화강암, 풍화된 암석 및 충전물	0.0~100.0 50.0~242.0	24.0~25.0 40.0~42.0	–	–	Rocha[105] Nose[117] Evdokimov & Sapegin[118]
경사암	층리면내 1~2mm의 점토	–	–	0.0	21.0	Drozd[119]
석회암	6mm의 점토층 1~2mm의 점토 충전물 1mm이하의 점토 충전물	100.0 50.0~200.0	13.0~14.0 17.0~21.0	0.0	13.0	Krsmanovic등 [120], Krsmanovic & Popovic[121]
석회암, 이회암 및 갈탄	층상의 갈탄층 갈탄~이회암 접촉면	80.0 100.0	38.0 10.0	–	–	Salas & Uriel[122]
석회암	이회질 절리, 두께 2cm	0.0	25.0	0.0	15.0~24.0	Bernaix[123]
갈탄	갈탄과 그 하부에 있는 점토사이의 층	14.0~30.0	15.0~17.5	–	–	Schultze[124]
몬모릴로나이트 점토	백악내에 있는 8cm의 벤토나이트 (몬모릴로나이트)점토 사이의 층	360.0 16.0~20.0	14.0 7.5~11.5	80.0	11.0	Eurenius[125] Underwood[126
편암, 규암 및 규산질편암	10~15cm 두께의 점토충전물 얇은 점토를 가진 성층구조 두꺼운 점토를 가진 성층구조	30.0~80.0 610.0~740.0 380.0	32.0 41.0 31.0	–	–	Serafim & Guerreiro[127]
점판암	세밀한 판상 및 변질상태	50.0	33.0	–	–	Goates, Mcrorie &Stubbins[128]
석영/고령토/연 망 간 석	혼합시료에 대한 삼축시험	42.0~90.0	36.0~38.0	–	–	

○ 암종별 Basic Friction Angle ϕ (Barton, 1982)

구 분	현무암	역 암	편마암	화강암	사 암	셰 일
마찰각(°)	31.0 ~ 38.0	35.0	23.0 ~ 29.0	29.0 ~ 35.0	25.0 ~ 35.0	27.0

○ 불연속면을 고려한 암반의 전단강도정수(D.C. Wyllie, 1992)

구 분	암 종	내부마찰각(°)	비 고
Low-friction Rocks	편암(백운모 함유), 셰일, 대리석	20.0 ~ 27.0	-
Medium-friction Rocks	27.0 ~ 34.0	-	-
사암, 백악, 편마암, 슬레이트	-	-	-

2.5.2 시험결과 분석

○ 절리면 전단시험 결과

구 분	공 번	심도(m)	점착력(kPa)		마찰각(°)		JRC	JCS (MPa)	Ks (Mpa/mm)	Kn (Mpa/mm)
			최대	잔류	최대	잔류				
성라터널	TB-3	22.9~23.3	132.0	47.0	44.0	39.1	18~20	92.0	2.824	4.151
	TB-5	14.6~15.0	96.0	59.0	40.3	34.7	14~16	84.0	2.351	3.993

2.5.3 불연속체 설계지반정수 산정

암 종	점착력(kPa)			내부마찰각(°)		
	기존문헌	실내시험	설계적용	기존문헌	실내시험	설계적용
편마암	-	47.0~59.0	47.0	-	34.7~39.1	34.0

•불연속면의 강도정수는 절리면 전단시험 결과의 잔류강도(c, ϕ)최소값을 적용

2.6 기타 설계지반정수 산정

2.6.1 동적 지반특성 분석

개 요	•하향식탄성파탐사를 통한 지층별 탄성파속도를 분석 •시험결과로 계산된 동적물성치를 상관분석 및 경험식과 비교·분석하여 적용값 산정

○ 전단파 속도(V_s) 경험적 산정방법

N값에 의한 전단파속도 경험 추정식

•표준관입시험치(N)와의 관계로 제안된 대표적 전단파속도(V_s) 경험적 추정식은 다음과 같음

•Imai, Yoshimura(1970) $V_s = 76 \times N^{0.33}$ • Imai(1982) $V_s = 97.0 \times N^{0.314}$

•Okamoto(1989) $V_s = 125 \times N^{0.3}$ • Oba, Toriumi(1990) $V_s = 84 \times N^{0.31}$

- 동전단계수 : $G_d = \rho \cdot V_s^2$
- 동탄성계수 : $E_d = 2G_d \cdot (1 + \nu_d)$
- 동체적계수 : $K_d = E_d / 3(1-2\nu_d)$

여기서, $\rho = \gamma_t/g$, γ_t=단위중량, g=9.81 m/sec

○ 시험결과 및 상관분석

구 분		하향식탄성파		경험식	적용	비 고
		V_p(m/s)	V_s(m/s)	V_s(m/s)	V_s(m/s)	
매립층		–	–	144.4~224.1	180	–
퇴적층	점토	–	–	162.5~249.4	200	–
	모래	–	–	144.4~224.1	170	–
	자갈	–	–	162.5~249.4	190	–
풍화토		919~984	375~408	252.4~372.3	392	–
풍화암		1,103~1,185	511~577	276.4~404.2	544	–
연 암		1,786~1,881	927~980	–	954	4등급
경 암		2,168~2,323	1,192~1,277	–	1,235	3등급

○ 설계지반정수 산정

구 분		V_p (m/s)	V_s (m/s)	G_d (MPa)	E_d (MPa)	K_d (MPa)	υ_d
매립층		498	180	62	164	161	0.33
퇴적층	점토	645	200	68	190	317	0.40
	모래	480	170	52	140	156	0.35
	자갈	514	190	69	181	168	0.32
풍화토		952	392	268	713	699	0.33
풍화암		1,144	544	592	1,539	1,282	0.30
연 암		1,834	954	2,184	5,504	3,822	0.26
경 암		2,246	1,235	3,813	9,456	6,062	0.24

분석결과	•내진해석 설계지반정수는 대표 시추공에서 수행한 DHT 결과의 평균값을 준용하여 적용

2.6.2 수리 지반특성 분석

개 요	•문헌 및 기존사례에 의한 투수계수의 범위를 분석하고, 현장시험을 통한 투수계수 산정

○ 문헌자료

토 질	투수계수(cm/s)
GW	1.0×10^{-2} 이하
GP	1.0×10^{-2} 이하
GM	1.0×10^{-6}~1.0×10^{-3}
GC	1.0×10^{-8}~1.0×10^{-6}
SW	1.0×10^{-3} 이하
SP	1.0×10^{-3} 이하
SM	1.0×10^{-5}~1.0×10^{-2}

토 질	투수계수(cm/s)
SC	1.0×10^{-8} ~1.0×10^{-6}
ML	1.0×10^{-6}~1.0×10^{-3}
CL	1.0×10^{-8}~1.0×10^{-6}
OL	1.0×10^{-8}~1.0×10^{-4}
MH	1.0×10^{-8}~1.0×10^{-4}
CH	1.0×10^{-8}~1.0×10^{-6}
OH	1.0×10^{-6}~1.0×10^{-6}

암반의 상태	특 징	투수계수(cm/s)
균열 간격이 매우 좁은 상태	높은 투수성 암반	1.0×10^{-2}~1.0×10^{2}
균열 간격이 보통인 상태	보통 투수성 암반	1.0×10^{-5}~1.0×10^{-2}
균열 간격이 매우 넓은 상태	약간 투수성 암반	1.0×10^{-9}~1.0×10^{-5}
균열 간격이 없을때	불투수성 암반	1.0×10^{-9} 이상

○ 현장시험에 의한 투수계수(cm/s) 산정 결과

구 분		문헌자료	시험결과	적 용
매립층		1.0×10^{-5} ~1.0×10^{-2}	–	5.4×10^{-4}
퇴적층	점토	1.0×10^{-8}~1.0×10^{-6}	-	1.2×10^{-7}
	모래	1.0×10^{-5}~1.0×10^{-2}	–	6.6×10^{-4}
	자갈	1.0×10^{-2} 이하	–	5.9×10^{-3}
풍화토		1.0×10^{-5}~1.0×10^{-2}	$1.96X10^{-4}$~$3.08X10^{-4}$	2.4×10^{-4}
풍화암		1.0×10^{-5}~1.0×10^{-2}	4.53×10^{-5}	4.5×10^{-5}
연 암		1.0×10^{-5}~1.0×10^{-2}	$3.06X10^{-6}$~$4.76X10^{-6}$	3.9×10^{-6}
경 암		1.0×10^{-9}~1.0×10^{-5}	$1.28X10^{-6}$~$2.49X10^{-6}$	1.9×10^{-6}
Ⅰ등급		1.0×10^{-9}~1.0×10^{-5}	–	5.0×10^{-7}
Ⅱ등급		1.0×10^{-9}~1.0×10^{-5}	–	5.4×10^{-6}
Ⅲ등급		1.0×10^{-9}~1.0×10^{-5}	1.28×10^{-6}~2.49×10^{-6}	1.9×10^{-6}
Ⅳ등급		1.0×10^{-5}~1.0×10^{-2}	3.06×10^{-6}~4.76×10^{-6}	3.9×10^{-6}
Ⅴ등급		1.0×10^{-5}~1.0×10^{-2}	–	6.4×10^{-5}

2.7 설계지반정수 요약

2.7.1 토사 및 기반암의 설계지반정수

구 분		단위중량 (kN/m³)	점착력 (kPa)	내부마찰각 (°)	변형계수 (MPa)	포아송비 (ν)	k(cm/s)
쌓기재	토 사	18.0	15.0	28.0	–	–	–
	암버력	20.0	0.0	35.0	–	–	–
매립층	자 갈	19.0	0.0	35.0	11.0	0.33	5.4×10^{-4}
퇴적층	점성토	17.0	15.0	0.0	6.0	0.50	1.2×10^{-7}
	모 래	18.0	0.0	30.0	10.0	0.35	6.6×10^{-4}
	자 갈	19.0	0.0	35.0	14.0	0.32	5.9×10^{-3}
풍화토		17.5	22.0	28.0	45.0	0.33	2.4×10^{-4}
풍화암		20.0	30.0	31.0	150.0	0.30	4.5×10^{-5}

2.7.2 터널구간 암반등급별 설계지반정수

구 분	단위중량 (kN/m³)	점착력 (kPa)	내부마찰각 (°)	변형계수 (MPa)	포아송비 (ν)	k(cm/s)
Ⅰ등급	27.0	4,200	44	18,000	0.21	5.0×10^{-7}
Ⅱ등급	26.0	3,500	41	13,000	0.22	5.4×10^{-6}
Ⅲ등급	25.0	2,000	37	4,000	0.24	1.9×10^{-6}
Ⅳ등급	24.0	800	34	1,000	0.25	3.9×10^{-6}
Ⅴ등급	23.0	400	33	500	0.26	6.4×10^{-5}

2.7.3 불연속체 설계지반정수

암 종	점착력(kPa)	내부마찰각(°)
편마암	47.0	34.0

2.7.4 기타 설계지반정수

구 분		V_p (m/s)	V_s (m/s)	G_d (MPa)	E_d (MPa)	K_d (MPa)	υ_d
매립층		498	180	62	164	161	0.33
퇴적층	점토	645	200	68	190	317	0.40
	모래	480	170	52	140	156	0.35
	자갈	514	190	69	181	168	0.32
풍화토		952	392	268	713	699	0.33
풍화암		1,144	544	592	1,539	1,282	0.30
연 암		1,834	954	2,184	5,504	3,822	0.26
경 암		2,246	1,235	3,813	9,456	6,062	0.24

제5편 교량기초 설계

제1장 교량기초 설계개요

제2장 기초형식 선정

제3장 교량기초 설계정수

제4장 교량기초 안정성 검토

제5장 교량기초 시공방안 검토

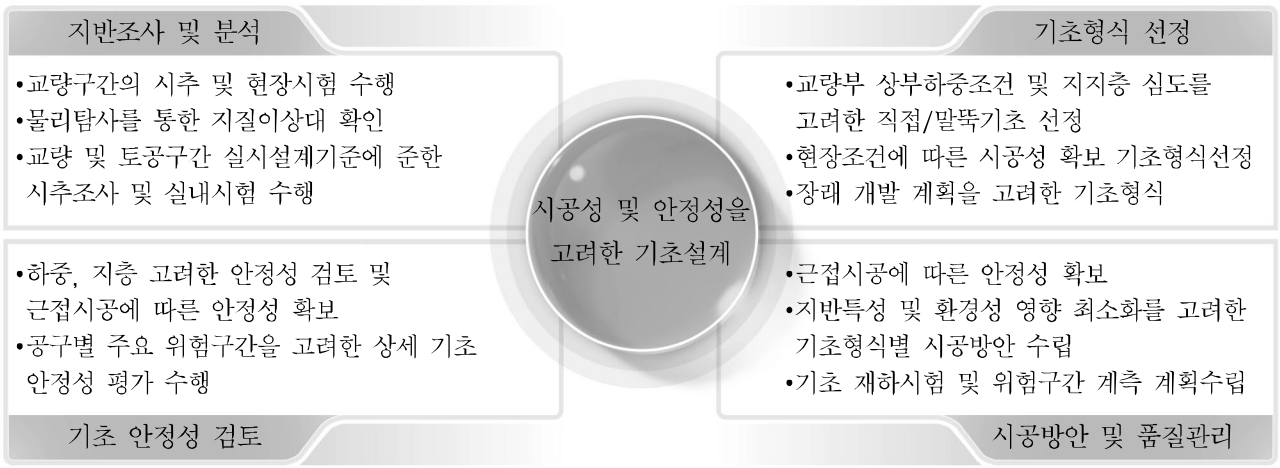
제6장 기초의 품질 및 유지관리 계획

제 1 장 교량기초 설계개요

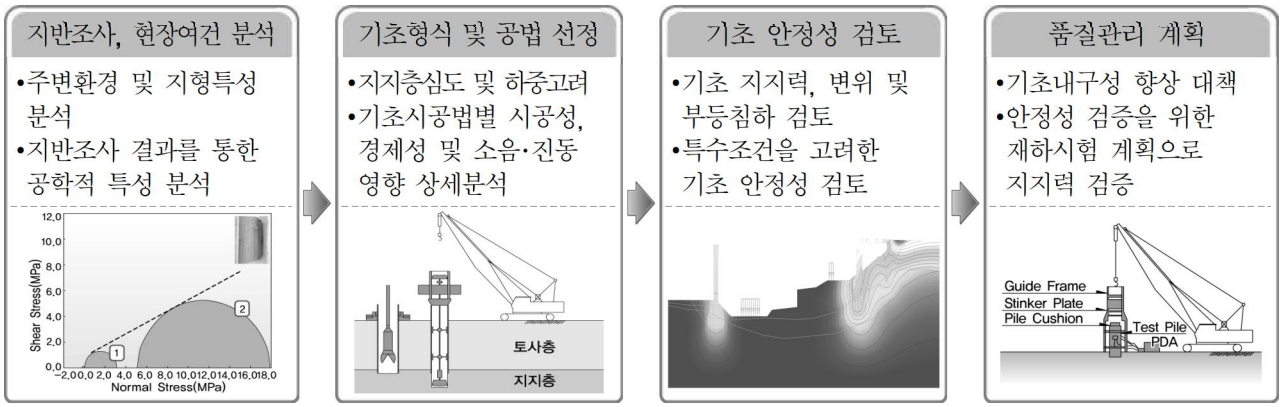
1.1 설계개요

기본방향	•지층분포, 시공조건, 교량 상부구조 형식 및 환경성을 고려한 최적의 기초형식 선정 •구조물인접 시공구간, 고성토부 교대 등 주요 구간의 기초안정성 검토 •선정된 기초형식의 안정성 확보를 위한 재하시험 및 시공 중 품질관리 계획 수립

1.1.1 기본방향



◯ 교량기초 설계흐름



◯ 지반조사 설계활용

조사항목		조 사 내 용	설 계 활 용
지표지질조사		•교량구간의 지형 및 지질특성 파악 •사업구간의 노두조사로 암종분포 특성 파악	•교량위치 선정 및 지층특성 파악 •암반 절리파악에 의한 기초 안정성 검토
시 추 조 사		•교량구간의 지층분포 및 기반암 심도 확인 •기반암 상태조사 및 연경도 파악(SPT 수행)	•지지층확인을 통한 기초형식 선정에 활용 •설계 지지력 검토 시 문헌치 판단에 활용
공내재하시험		•기반암의 하중에 대한 변형특성 파악	•변형계수(E_d) 및 탄성계수(E_s)
DHT 시험		•구조물 내진해석을 위한 동적지반정수 산정	•인공지진파 산정 후 구조물 내진해석 수행
실내 시험	토질	•비중, 함수비, 액·소성한계 등	•흙의 분류 및 지반특성 파악
	암석	•일축압축강도, 점하중강도 등	•암반 지지기초의 안정성 검토

1.1.2 교량현황

○ 1공구 교량 현황 (STA. 4+380 ~ 7+260)

교 량 명	위치(STA.)	교량형식	경간/연장	지 지 층	기초형식
원흥2교	5+171.000~5+271.505	Steel Box교	2경간 / 101.505m	풍화암	강관말뚝기초
성사6교	7+092.000~7+162.000	Steel Box교	단경간 / 70.0m	풍화암	직접/강관말뚝기초

1.2 교량기초 주요검토사항

기본방향	•교량기초 설계에 있어 시추조사와 현장 및 실내시험 결과를 종합적으로 분석 •교량기초 설계 시 상부구조물, 하중조건, 지반특성 및 현장여건을 고려한 주요 검토사항을 분석하여 최적의 설계수행

1.2.1 주요 설계 검토사항

검 토 사 항		검 토 내 용
기초형식 적정성		•기초형식검토 : 지형 및 지질, 구조물의 특성 및 기타 시공조건 등을 고려 •기초형식선정 : 경제성, 시공성 및 환경영향을 고려한 최적의 기초형식 선정
설 계 안정성	지지력 및 변위	•얕은 기초의 안정성 : 연직지지력, 변위 •깊은 기초의 안정성 : 연직 및 수평지지력, 변위, 군말뚝효과를 고려한 말뚝해석 •부등침하에 대한 안정성 검토
	현장여건을 고려한 안정검토	•쌓기 교대부 안정성 검토 및 고성토 구간 측방유동 검토 •지선부 현장타설말뚝 안정해석 검토 •지지층 및 기초형식 상이구간 기초의 안정성 검토 •근접시공에 따른 인접구조물의 안정성 검토
기초 시공방안		•얕은 기초의 시공성 검토 •가시설 공법 안정성 검토 •환경성 평가를 통한(소음진동) 기초시공법 선정(매입말뚝선정)
유지관리 및 품질관리계획		•깊은 기초의 재하시험 계획 및 얕은 기초의 평판재하시험 계획 •강관/현장타설 말뚝기초 품질관리 및 계측계획 수립

1.2.2 적용 프로그램

분 야	프로그램명	내 용	설 계 적 용
수치해석	Midas GTS	연속체 해석을 통한 지반거동분석	•상이 기초형식 및 지층변화구간의 부등침하 검토 •시공단계를 고려한 고성토 교대부 안정성 검토 •현장타설 말뚝기초 안정성 검증 •근접시공에 따른 안정성 검토
	SLOPILE	2차원적 거동분석	•교대부 고성토구간 측방유동 안정성 검토
말뚝검토	GROUP 6.0	군말뚝의 수평력 해석	• p-y곡선을 이용한 군말뚝의 수평 거동 검토
기타검토	Tarlen97, SLOPE/W	임시 비탈면 안정검토	•얕은 기초 터파기시 임시 비탈면에 대한 검토
	SEEP/W	침투류 해석	•기초 터파기 지하수 유입량 검토
	Midas GEOX	가시설 해석	•가시설의 안정성 해석

제 2 장 기초형식 선정

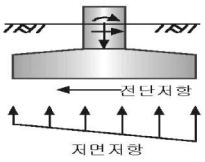
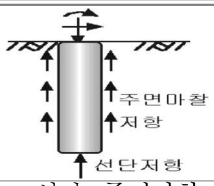
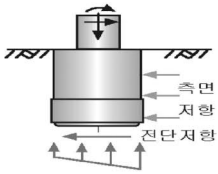
2.1 기초형식 검토

기본방향	•지층구성 및 특성파악으로 지지층심도와 주변 환경영향을 고려한 합리적인 기초형식 도출 •직접기초 적용 가능성을 우선 검토한 후 안정성, 시공성 및 경제성에 따라 깊은기초 적용 •기초형식은 내적(구조물 특성, 지반조건) 및 외적(현장조건, 시공성)요인에 의해 선정

2.1.1 기초형식 선정 시 고려사항

환경 영향	•시공중 환경오염 및 소음 · 진동에 의한 주민 생활 불편을 최소화 할 수 있는 기초형식 선정
지반 조건	•지층 분포현황 및 지반의 공학적 특성을 고려한 기초형식 선정
안 정 성	•상부 구조형식에 의한 작용하중을 원활히 지지하여 구조물 기능을 유지할 수 있는 기초형식 선정
경 제 성	•지반상태 변화에 대한 능동적 대처 및 장비 접근성 등이 고려된 경제적인 기초형식 선정

2.1.2 기초형식 선정기준

기초 형식	직접기초	깊은기초	
		말뚝기초	우물통기초
개요도			
	•연직력 : 저면반력 •수평력 : 기초저면의 전단저항 (마찰저항)	•연직력 : 선단, 주면마찰저항 •수평력 : 말뚝 휨강성, 주변지반 수동저항	•연직력 : 저면반력 •수평력 : 측면반력 및 전단저항 (마찰저항)
적용기준	•기초심도 : 5.0~8.0m 내외 •시공성, 경제성을 고려하여 선정 •터파기내 장애물이 없고 시공중 배수처리가 곤란하지 않을 것	•기초심도 : 5.0~60.0m •현장조건 및 하중조건에 따라 기성말뚝과 현장타설 말뚝으로 나누어 적용	•기초심도 : 5.0~30.0m •연직하중이 큰 구조물 •하상, 수상 등 말뚝기초형식 적용이 곤란한 지역

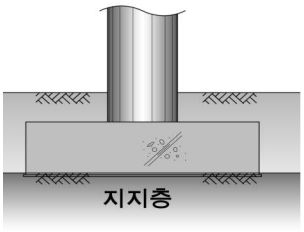
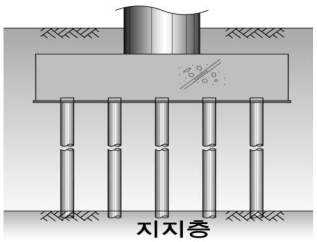
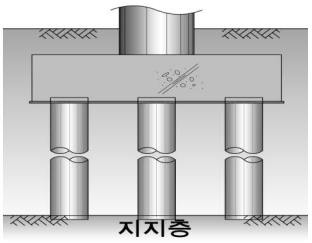
○ 기초형식 설계기준

구 분	선 정 기 준 (D_f : 근입깊이, B : 기초 최소폭)
도로설계요령(2009)	•지지층 : 사질토 N>30, 점성토 N>20 •직접기초 : 지지층 5~10m 이내, 말뚝기초 : 지지층 5~10m 이상
구조물기초 설계기준(2008)	•직접기초 : $D_f/B=1.0$ 이하, 말뚝기초 : $D_f/B=1.0$ 이상
도로교 설계기준 해설(2008)	•직접기초 : $D_f/B=1/2$ 이하
깊은기초(지반공학시리즈)	•직접기초 : $D_f/B=1.0$ 이하, 말뚝기초 : $D_f/B=1.0$ 이상

○ 기초형식 선정기준

기초 형식	지지층 (풍화암 이상) 심도
직접 기초	•심도 5.0m~8.0m 이내 (Mass Con'c 3m 이하 타설), 기초저판은 동결심도 이상 근입
말뚝 기초	•심도 8.0m이상 지지층의 확실한 근입을 위해 풍화암층은 2.0D이상 및 연·경암은 1.0D이상 근입

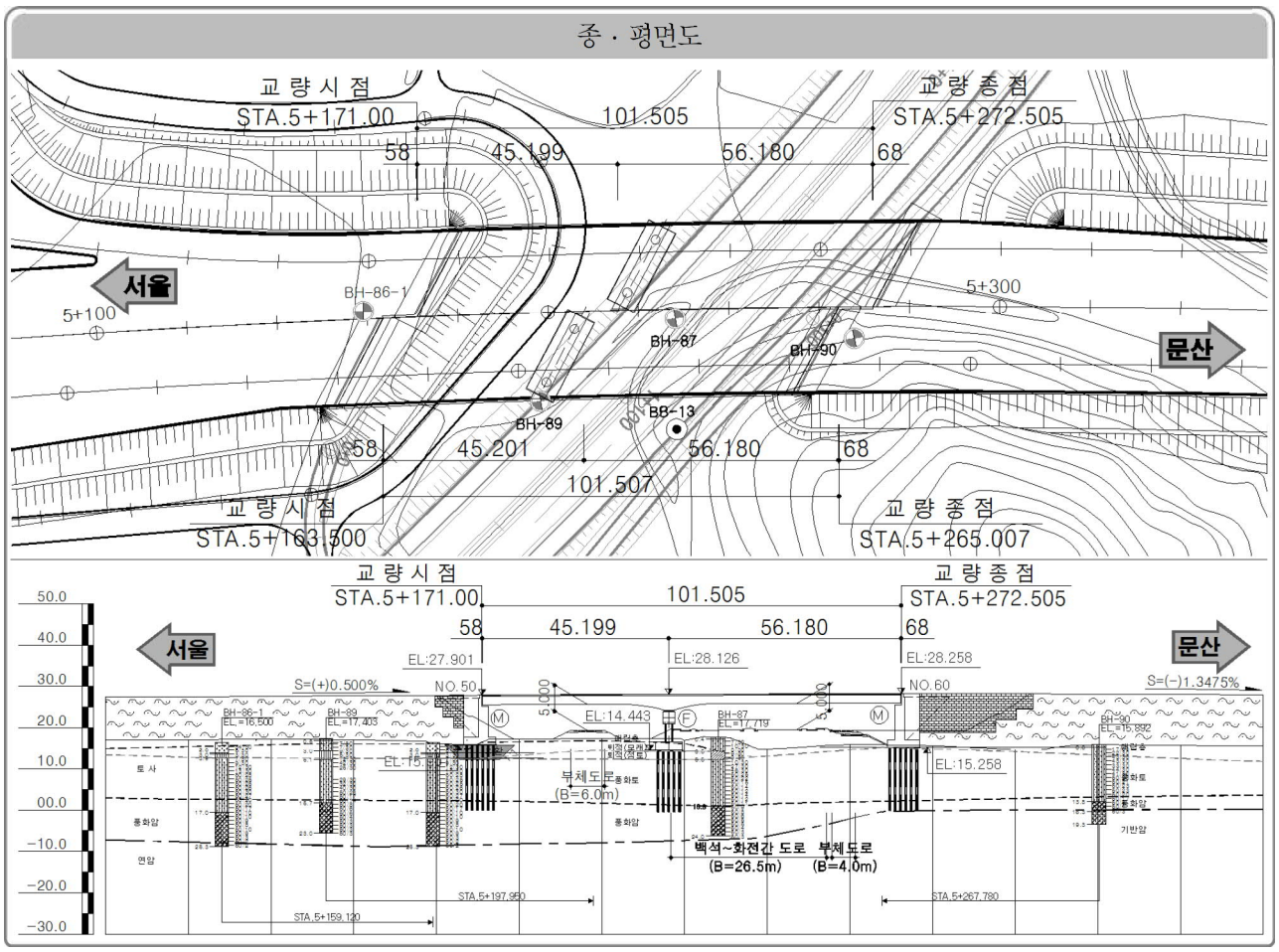
2.1.3 기초형식 검토

기초형식	얕은기초	깊은기초	
	직접기초	강관말뚝기초	현장타설말뚝기초
개요도			
공법개요	•소요 지지력을 갖는 지반까지 굴착하여 기초를 직접 설치	•항타기를 이용 직접 항타, 천공 후 항타 적용 •중굴말뚝 시공 시 시멘트풀 주입 불필요 •매입말뚝적용 시 시멘트풀 주입	•정수압에 의하여 공벽을 안정 •특수 비트에 의해 굴착 •공내수는 침전지와 순환 재활용 •철근망 근입 및 콘크리트 타설
공법구별	•독립기초 •줄기초 •복합기초 •전면(Mat)기초	•강관 및 기성(PHC) 항타 말뚝 •매입 말뚝	•단일 현장타설 말뚝 •대구경 현장타설 말뚝
특징	•지지층 확인 가능 •양호한 품질유지, 공사비 저렴 •굴착심도가 깊은 경우 별도의 가설공사 필요	•깊은 굴착이 가능 •수직도 유지 용이 •자갈, 전석층인 경우 항타 시공 곤란	•깊은 굴착이 가능 •지지층에 관계없이 시공 •양호한 품질관리 곤란
적용기준	•기초심도 5.0~8.0m 이내 •시공성, 경제성 고려 •연직하중은 침하영향내로 검토 •터파기 영향권 내 장애물이 없고 배수처리가 양호한 지역	•관입성 및 시공성 검토 •연직하중 100~200ton •상부에 비교적 연약 토사층 및 퇴적층 등이 분포하는 지역	•지지층 10m 이상 •호박돌, 전석에 유리 •연직하중 100~200ton •지지층이 상당히 깊고 기초에 대규모 하중 작용 시
적용구간	기초심도 5.0~8.0m 이내 구간	기초심도 5.0~8.0m 이상 구간	-
검토결과	지반조건	•지층현황 분석시 지지층 심도가 깊어 직접기초 형식 구간이 많지 않은 것으로 분석 •전반적으로 지지층심도가 깊어 연직 및 수평력 확보에 우수한 기초 선정 •지층 구성상태, 현장여건 및 상부하중규모에 따라 직접기초 및 깊은기초로 선정	
	시공조건	•깊은 기초 시공법 비교 검토에 의한 강관말뚝공법 시공법 선정 •시공 시 소음에 의한 민원예상구간 및 항타 시공이 어려운 자갈, 전석층에 매입말뚝 선정	

2.1.4 기초형식 선정

○1 공구 본선 기초형식 선정

■ 원흥2교 (STA. 5+171.000 ~ 5+271.816)

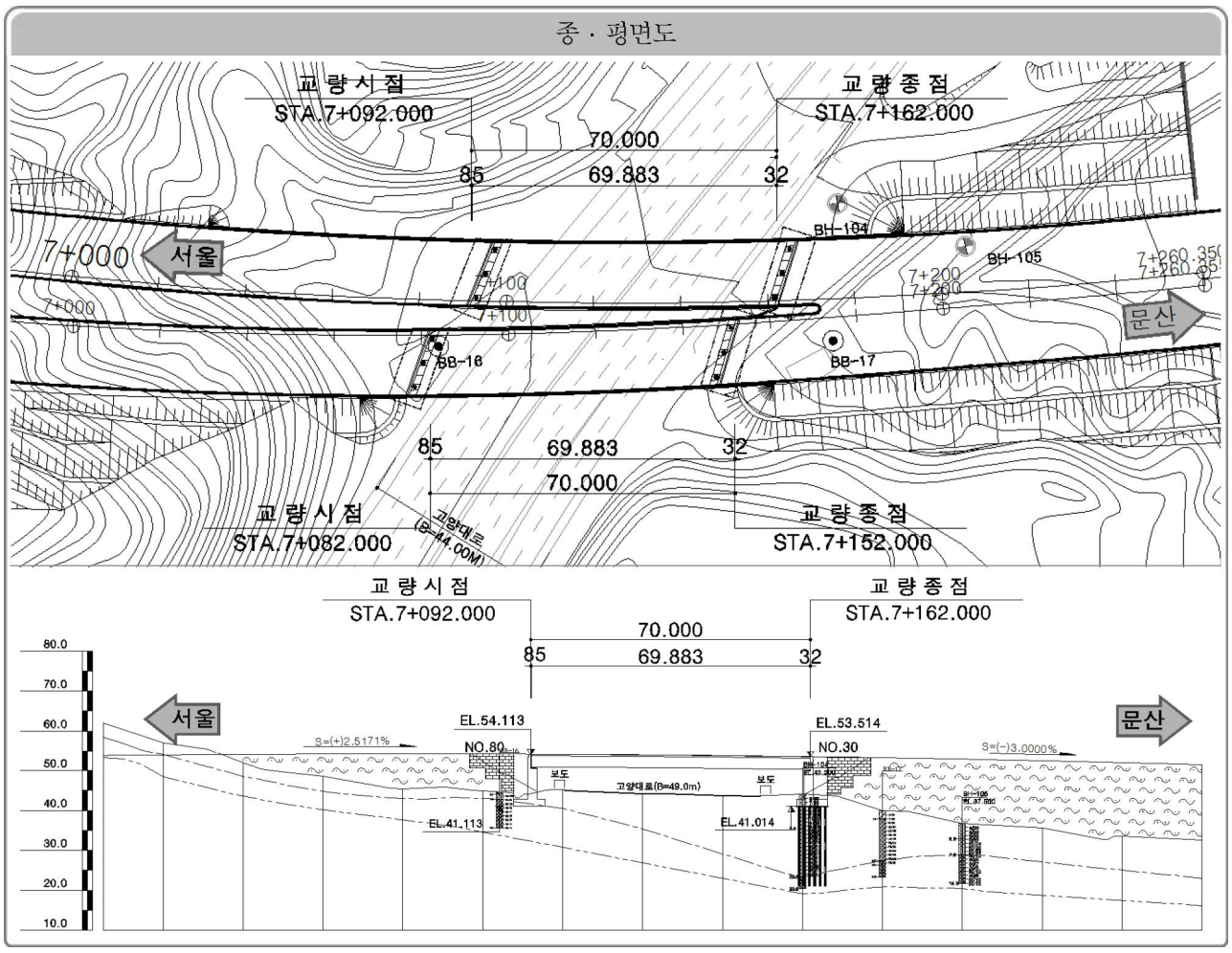


교량형식	•상부구조 형식 : Steel Box교 •2경간 : L = 101.505m
지 층 분 석	•상부 매립층 및 퇴적층이 3.9~5.5m 층후로 분포하며 하부 풍화토층이 13.8~17.0m까지 분포 •지지층인 풍화암층이 G.L(-)13.8~17.0m에서 출현

기초 형식 선정

위 치		시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
A1	서울	BH-86-1	G.L-17.0m	풍화암	강관말뚝기초	보안물건인접 매입공법
	문산	BH-86-1	G.L-17.0m	풍화암	강관말뚝기초	
P1	서울	BH-87	G.L-16.8m	풍화암	강관말뚝기초	
	문산	BH-89	G.L-15.7m	풍화암	강관말뚝기초	
A2	서울	BH-90	G.L-13.8m	풍화암	강관말뚝기초	
	문산	BH-90	G.L-13.8m	풍화암	강관말뚝기초	
선 정 사 유		•지지층인 풍화암층이 GL(-)13.8m 이상 심도에 분포하여 수평력이 크게 작용하는 교대 및 교각은 강관말뚝기초 선정				

▮ 성사6교 (STA. 7+092.000 ~ 7+162.000)



교량형식	•상부구조 형식 : Steel Box교 •단경간 : L = 70.0m
지 층 분 석	•상부 매립층 및 퇴적층이 1.8~8.5m 층후로 분포하며 하부 풍화토층이 1.8~20.6m까지 분포 •지지층인 풍화암층이 G.L(-)1.8~20.6m 에서 출현

기초 형식 선정

위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
A1	BB-16	G.L-1.8m	풍화암	직접기초	보안물건인접 매입공법 Open Cut 공법
A2	BH-104	G.L-20.6m	풍화암	강관말뚝기초	
선 정 사 유	•지지층인 풍화암층이 GL(-)1.8m 분포하는 A1은 직접기초, GL(-)20.6m 이상 심도에 분포하는 A2는 강관말뚝기초 선정				

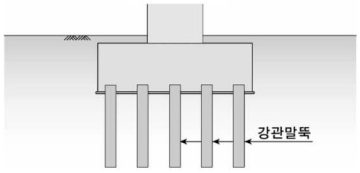
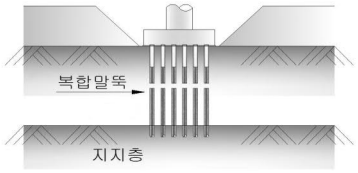
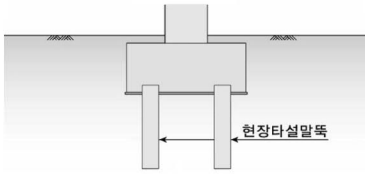
2.2 교량기초 시공법 선정

기본방향	•육상부 깊은기초로 계획된 교대 및 교각에 대하여 적용 가능한 말뚝재료와 시공법을 비교 검토한 후 최적의 재료와 시공법을 선정

2.2.1 말뚝기초 시공성 검토

기준 설정	환경조건 검토	시공법 선정	적용시공법 검토		선정
말뚝재료 선정	소음 · 진동 영향 반경 및 항타분석	타입공법 매입공법	•항타공법 •진동압입, 매입공법	•선굴착공법 •속파기 공법	

○ 말뚝재료 비교 검토

구 분	강 관 말 뚝	복 합 말 뚝	현 장 타 설 말 뚝
개요도			
설계시 검토내용	•N값 50까지도 항타가능 하므로 다양한 토질에 가능 •자갈, 전석층의 경우 항타곤란 •허용 휨압축응력이 크고 전단력 및 모멘트에 대한 저항력이 큼	•주면고정을 위한 주면고정액 선별적 필요 •자갈, 전석층은 항타곤란 •허용 휨 압축응력, 모멘트 및 인장력 저항성 깊이 산정	•일반토사 및 자갈전석, 호박돌층에도 적용 가능 •허용 휨 압축응력(9MPa)이 작음 •모멘트에 대한 저항력이 작음
시공시 검토내용	•이음, 절단, 운반이 용이하고 말뚝길이에 대한 제한이 없음 •단면적이 작아 타입시 배토량이 적어 타입능률 양호 •용접이음부 연결이 확실하여 본체와 동등한 강도발휘	•상부지반 조건이 말뚝거동에 영향을 크게 주므로 지반조건의 충분한 확인 필요 •15m이상의 지지층에 양호 •연직하중:100tonf/EA 내외	•장비규모가 크고 시공속도 느림 •지층에 상관없이 굴착가능 •수질오염과 콘크리트 품질관리 곤란 •굴착 후 철근망을 삽입, 트레미 파이프를 이용하여 콘크리트타설
재료특성	•부식하기 쉬워 부식방지 대책 수립(설계시 2mm의 부식두께 고려) •중량이 P.H.C의 1/3정도로 운반, 취급이 용이	•항타 에너지가 클 경우 균열발생으로 인한 강도저하 •중량물이므로 운반시 편하중에 의한 파단과 취급주의	•품질관리에 따라서 내구성이 좌우되므로 품질관리를 철저히 하여야 함 •현장타설로 문제점 없음
적 용	교대부 깊은 기초구간 적용	–	–

검토결과	•사업구간은 대부분 단교량으로 상부하중이 크지 않고, 지지층 심도가 깊어 교대부 및 교각부에 수평저항력이 크고 안정성 및 시공성이 우수한 강관말뚝 선정 •말뚝강성이 충분한 재료가 요구되므로 경제성을 고려하여 강관말뚝 적용

2.2.2 소음-진동 환경 영향원 분석

○ 강관말뚝기초 항타 가능성 검토

- 국내외의 소음·진동 규제기준 상향 조정에 대한 종합적인 검토를 통한 합리적인 적용기준 선정
- 구조물별 말뚝항타시 소음, 진동값을 인근에 있는 정온시설물 등의 이격거리별로 예측하고, 예측된 소음, 진동값이 각종 규제기준값의 허용값 이내에 포함되는지 검토
- 말뚝기초 시공지역에 대한 지층현황 파악 및 항타공법 적용시 항타시공 가능성 판단

기준설정	현장 환경 조건	항타가능성 검토	시공법 선정
•말뚝재료 선정 •지층 및 주변 여건분석 •항타장비 선정	•소음·진동기준 및 영향범위 결정 •항타 공해 검토	•관입지층 평가 •항타관입성 평가 •말뚝허용응력 검토	항타 공법 또는 매입 공법

○ 소음 영향검토 (2010년 7월1일부터 규제강화)

■ 생활소음 규제기준(소음진동규제법 시행규칙 제20조 2 제3항 관련 별표8)(단위 : dB(A))

대 상 지 역	시 간 대 별 대 상 소 음		아침,저녁 (05:00~07:00) (18:00~22:00)	주 간 (07:00~18:00)	야 간 (22:00~05:00)
주거지역, 녹지지역, 준도시지역 중 취락지구 및 운동 휴양지구, 자연환경보전지역, 기타 지역안에 소재한 학교, 병원, 공공도서관 등	확성기	옥외설치	60이하	65이하	60이하
		옥내에서 옥외로 소음이 나오는경우	50이하	55이하	45이하
	공장, 사업장		50이하	55이하	45이하
	공 사 장		60이하	65이하	50이하
기 타 지 역	확성기	옥외설치	65이하	70이하	60이하
		옥내에서 옥외로 소음이 나오는 경우	60이하	65이하	55이하
	공장, ·사업장		60이하	65이하	55이하
	공 사 장		65이하	70이하	50이하

○ 교통 소음의 한도(소음진동규제법 시행규칙 제37조관련 별표10) (단위 : dB(A), dB(V))

대 상 지 역	구 분	한 도	
		주 간 (06:00~22:00)	야 간 (22:00~06:00)
주거지역, 녹지지역, 준도시지역 중 취락지구 및 운동·휴양지구, 자연환경보전지역, 학교, 병원, 공공도서관의 부지경계선으로 부터 50m이내 지역	소 음	68	58
상업지역, 공업지역, 농림지역, 준농림지역 및 준도시지역 중 취락지구 및 운동 · 휴양지구 외의 지역, 미고시 지역	소 음	73	63

○ 강관말뚝 항타시 소음영향 검토 (건설기계 중 고소음 발생장비의 소음도 측정 예 (환경연구원))

공 정	기계명		작동원리	O.A 소음도(dB(A))				측정 대수	비 고
				이격거리 7m		이격거리 15m			
				범위	평균	범위	평균		
기초 공사	항타 기계	항타기	드롭식	93~95	94	88~90	89	4	Con-Pile
		항타기	디젤식	99~110	103	96~101	99	8	Con-Pile
		항타기	디젤식	106~108	107	100~103	102	3	천공후 H-Beam
		항타기	유압식	101~104	103	92~93	93	2	Con-Pile
		항타기	유압식	89~92	91	83~85	84	2	Con-Pile
		항타기	유압식	96~99	97	90~92	91	4	보조강판
		항타항발기	진동식	80~91	85	75~86	80	3	H-Beam 항타
		드릴마스터	공압식	103~107	105	100	100	2	강 관 타 입

•이격거리별 예측 소음 및 진동도 산정 : 음원의 전파(거리감쇠공식)

$$SPL_{\gamma} = SPL_0\ (SPL_T) - 20\log(\gamma/\gamma_0)$$

여기서, SPL_{γ} : 수음점까지의 거리가 γ지점에서 개별투입장비의 발생소음도(dB(A)

$SPL_0\ (SPL_T)$: 소음원으로부터 γ_0지점에서 장비합성소음도 (dB(A))

γ : 소음원으로부터 예측점까지의 거리(m)

γ_0 : 소음원으로부터 기준점까지의 거리 (m, =15m)

■ 항타작업시 이격거리별 예측소음도(점음원 감쇄공식 적용) (단위 : dB(A))

항 목/ 장 비	기준소음도 (15m)	이 격 거 리							
		50m	100m	150m	200m	250m	300m	400m	500m
디젤해머	99	88.5	82.5	79.0	76.5	74.6	73.0	70.5	68.5
유압해머	89.2	78.7	72.7	69.2	66.7	64.8	63.2	60.7	58.7
진동해머	80	69.5	63.5	60.0	57.5	55.6	54.0	51.5	49.5
드롭해머	89	78.5	72.5	69.0	66.5	64.6	63.0	60.5	58.5

■ 항타소음의 전달 및 감쇄특성에 관한 연구결과 (대한건축학회논문집, 1999.12)

•공회전시 발생되는 소음은 항타소음에 비해 거리가 멀어져도 큰 감쇄가 발생되지 않으므로 항타소음과 함께 이에 대한 검토가 필요

•유압식 항타공법 적용 시 발생되는 소음을 항타시와 공회전시로 구분하여 소음레벨의 변화 및 감쇄특성을 파악 (거리에 따른 소음레벨의 예측상관식 제시)

•말뚝항타 시공시 이격거리별 소음정도를 예측한 결과 디젤해머 항타시 400m, 유압해머 항타시 250m 이상일 경우 허용소음값 이내인 것으로 판정 (장비의 공회전시 발생되는 소음을 포함한 검토결과)

○ 진동 영향검토

▌우리나라의 허용 진동기준

- 국가 또는 지방자치단체에서 설정한 진동허용기준에 대한 구체적인 규제조항 없음
- 외국의 자료를 참고로 하여 서울지하철 2, 3호선 건설당시 설정한 기준과 부산지하철의 기준은 독일의 기준과 동일하게 적용함
- 기타의 경우에는 조건에 따라 미광무국 등의 외국 사례를 근거로 하여 설계 기준을 마련하고 있으며 대체로 안전률을 높여 엄격하게 적용하고 있는 편임

▌진동규제기준 허용값 선정

- 시공시 진동의 영향을 받을 수 있는 대상은 주거지이므로 인체에 대한 허용 진동규제기준을 우리나라에서 적용하는 재래주택 최소기준값 0.3Kine이나 "환경영향 평가서를 참조"하여 시설물(가옥) 및 문화재 진동규제기준 0.2Kine을 기준하여 말뚝 시공시 진동으로 인한 피해를 최소로 적용

▌이격거리별 항타진동속도 검토

•Attewell과 Farmer는 많은 현장에서의 실측과 결과값의 회귀분석에 의하여 다음과 같이 말뚝의 항타에 의한 진동속도 추정식을 제안

$$V = 32.36\left(\frac{\sqrt{W}}{R}\right)^{1.61}$$

여기서, V : 최대진동속도(mm/sec)　W : 해머에너지 (KN-m)　R : 수평거리 (m)

•항타장비 (HH-7,유압해머)

- Ram 중량 : 7ton, 7×9.81 = 68.67KN
- Stoke : 1.2m
- 항타효율 : 0.9
- Energy : 74.16KN·m (= 68.67×1.2×0.9)

▌이격 거리별 예측 진동속도(Attewell & Farmer 제안식 적용)

이 격 거 리 (m)	30	50	70	100	120	140
진동 속도 (cm/sec)	0.43	0.19	0.11	0.06	0.05	0.04

▌진동에 대한 영향 검토결과

•유압해머로 말뚝항타시 발생되는 진동속도를 Attewell과 Farmer의 제안식에 의해 이격거리별 진동 속도를 산정하여 말뚝 항타시 진동에 관한 영향원 반경을 50m로 결정

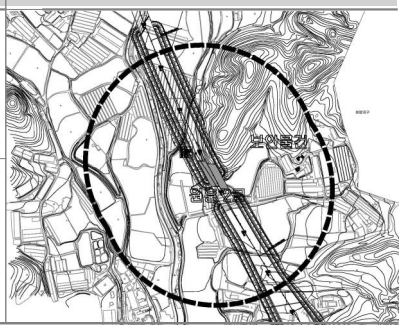
○ 항타공법 적용시 소음 및 진동에 관한 규제 기준

▌소음 및 진동에 대한 허용기준값

구 분	규 제 기 준	영향원 반경	비 고
소 음	65dB(소음진동규제법)	250m	•점음원 감쇄공식
진 동	0.2㎝/sec(국내외 기준참고)	50m	•Attewell & Farmer 제안식

2.2.3 환경성 평가 분석

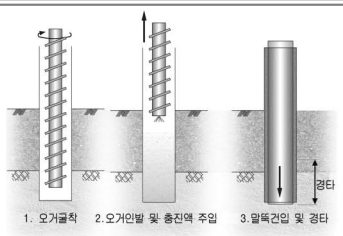
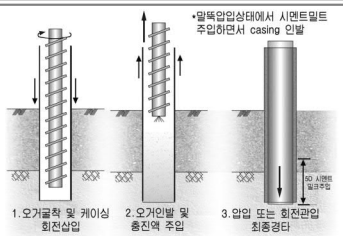
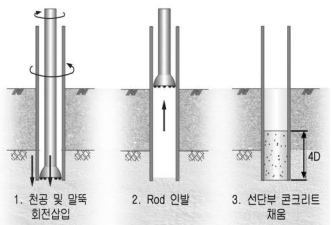
○1공구 : 환경성 평가에 의한 항타가능성 판정

교량명		환경성평가	항타판정	원흥2교 환경영향권 분석
1공구 본선	원흥 2교	보안물건 : 민가 153.0m 이격	x	
	성사 6교	보안물건 : 민가 86.0m 이격	x	

검토결과	•1공구 환경 영향권 분석 시 소음진동 기준에 의한 인근보안물건 인접으로 교량 기초 시공법 선정 시 매입공법으로 적용

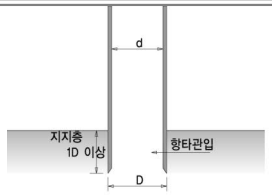
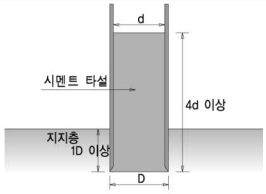
2.2.4 강관말뚝 기초 시공법 검토

•지층조건, 환경영향 및 항타가능성 분석결과를 토대로 최적의 매입말뚝 공법 선정
•매입말뚝공법은 일반적으로 선굴착공법과 매입공법으로 분류할 수 있으며, 현장에 적용 가능한 SIP, SDA, PRD공법에 대하여 검토

구 분	SIP 공법	SDA 공법	PRD 공법
공법 개요도			
계획성	•공벽유지가 가능 지층에 적합 •하상부지 외 지역에 적합	•모든 토층에 적용 가능 •공벽유지가 필요한 지층에 적합	•자갈, 전석층이 두꺼운 경우 적합 •공벽유지가 필요한 지층에 적합
시공성	•굴착배토시 지반응력 이완 •자갈층 분포시 붕괴가능성 높음 •SDA시공 개념과 동일, 공벽유지 가능 구간 케이싱제외	•굴착배토시 지반응력 이완 •올케이싱공법이므로 공벽붕괴 방지 •외측 케이싱과 말뚝 사용	•굴착속도 빠름 •상대적으로 장비설치시간 김
환경성	•저소음·저진동공법 •안정액 미사용으로 환경오염방지	•저소음·저진동공법 •안정액 미사용으로 환경오염방지	•저소음·저진동 공법 •안정액 미사용으로 환경오염방지
선 정	–	◉	–

선정사유	•지하수위가 높고 N값이 낮아 공벽유지가 어려운 지층은 케이싱에 의한 공벽유지 및 선단지지력이 우수한 SDA공법 선정

○ 매입말뚝의 선단처리방법 검토(도로교 설계기준, 2001)

구 분	최종타격방식	시멘트밀크 속채움
개 요 도		
선 정	◉	◉

선정사유

- 시멘트 밀크를 분사, 선단지반과 흙과 혼합된 흙-시멘트 기초를 형성하는 방법은 사질토 지반에만 적용가능
- 강관의 폐합효과로 확실한 선단지지력 확보를 위하여 최종 타격방식과 시멘트 밀크 속채움 방식을 적용 (강관의 폐합효과를 고려하여 4D이상 타설)

○ 1 공구 매입말뚝공법 선정결과

교 량 명	말뚝길이 (m)	말뚝형식	지하수위 GL(-) m	시공법	선정사유 (N값, 지반조건)
원흥 2교	15.0~16.0	강관	2.5~4.8	SDA	상부 N값 : 3~9, 하부 풍화토층으로 분포
성사 6교	19.0~20.0	강관	7.9	SDA	상부 N값 : 4~9, 하부 풍화토층으로 분포

제 3 장 교량기초 설계정수

3.1 교량구간 설계지반정수 산정

기본방향	•기존 설계정수 산정의 문제점을 분석하고 대표값 산정시 신뢰도 향상을 위해 통계처리기법 (Monte Carlo Simulation, Bayesian Approach)을 적용하여 설계지반정수 산정 •인근 설계자료와 기존문헌자료를 분석하여 통계처리의 초기추정치(Prior)로 적용, 현장조사 및 실내시험 값을 최대우도치(Likelihood)로 선정하여 Bayesian 통계처리를 통한 설계정수 도출

3.1.1 설계지반정수 산정개요

토 사 풍화암	•현장 및 실내시험 결과를 우선적으로 고려, 문헌자료와 경험식을 비교 · 분석하여 산정 •토질분류를 실시하여 경향을 파악하고 토질 특성에 맞는 정수 산정
기반암 (연속체)	•동일지반에서 비탈면과 교량기초의 암반 지반정수는 하중규모, 굴착방법, 응력이완 및 풍화진행에 따라 다르므로, 이러한 조건을 고려하여 강도정수 산정 •암반분류(GSI, RMR) 특성을 감안한 대표성을 가진 지반정수 산정
기반암 (불연속체)	•암반불연속면 특성을 고려한 전단시험 및 Barton & Bandis 경험식을 이용한 강도정수 산정 •지표지질조사 및 암석코아에 대한 (JRC, JCS) 등을 비교 · 분석하여 강도정수 산정

3.1.2 설계지반정수 산정결과

○ 1공구 (STA. 4+380~7+260)　　※ 기존 보고서 교량구간 지반정수 참고

구 분	지층	토성별	γ_t(kN/m³)	c(kPa)	Φ	E(MPa)	ν	V_s(m/s)	G_d(MPa)	K(cm/s)
교 량 구 간	매립층	모래	19	3	28	15	0.35	180	50	7.0×10^{-4}
		점토	17	5	–	5	0.40	170	40	1.2×10^{-7}
	붕적층	모래	18	5	28	10	0.35	190	60	5.4×10^{-4}
	퇴적층	점토(N>6)	18	30	–	5	0.40	200	60	1.2×10^{-7}
		실트	18	30	–	5	0.38	220	80	1.3×10^{-7}
		모래(N≤10)	18	–	27	10	0.35	240	100	5.8×10^{-4}
		모래(N>10)	18	–	30	18	0.35	260	120	6.6×10^{-4}
		자갈	20	–	32	50	0.32	290	150	5.9×10^{-3}
	풍화토		19	17	29	50	0.33	310	180	2.6×10^{-4}
	풍화암		21	28	31	280	0.30	450	420	5.8×10^{-5}
	연 암		23	500	33	660	0.26	700	1,120	3.3×10^{-5}
	보통암		25	2,500	36	4,000	0.24	850	1,730	1.6×10^{-5}
	경 암		26	3,200	40	10,000	0.22	1,350	4,730	4.9×10^{-6}

검토결과	•금회 조사시 교량구간 미시추로 기존보고서 교량구간 지반정수를 참고 •구간별, 지층별 대표 N값 선정하여 적합한 물성값 도출 •사업구간은 동일암종이 광역적인 분포를 나타내며, 한강구간의 기반암 상세 분석

제 4 장 교량기초 안정성 검토

4.1 직접기초의 안정성 검토

기본방향	•기초에 작용하는 지반반력에 대하여 지지층의 허용지지력 평가(안전율 : 상시 3.0, 지진시 2.0) •지지층의 변형특성을 고려한 작용반력에 대한 침하량 산정 (허용침하량 : 25.4mm)

4.1.1 직접기초 현황

교 량 명		위 치	시추공번	지지층심도	지지층	기초제원(B×L)
1공구	성사 6교(서울)	A1	BB-16	GL(-) 1.8m	풍화암	7.8 × 19.0m
	성사 6교(문산)	A1	BB-16	GL(-) 1.8m	풍화암	7.8 × 19.0m

4.1.2 연직지지력에 대한 안정성 검토

○ 허용지지력 산정방법(풍화암지지)

구 분		적 용 식	비 고
정역학적 공식	Terzaghi 제안식	$q_a = \frac{1}{F_s}(\alpha \cdot c \cdot N_c + \beta \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_r + \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q)$ 여기서, N_c, N_r, N_q : Terzaghi의 지지력 계수	•풍화암의 강도정수값에 따른 지지력 영향 큼
	Meyerhof 제안식	$q_{ult} = c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c + \gamma_1 \cdot B \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_r \cdot s_r \cdot d_r \cdot i_r$ 여기서, N_c, N_q, N_γ : 지지력계수, s_c, s_q, s_γ : 기초의 형상계수, i_c, i_q, i_γ : 하중의 경사계수 d_c, d_q, d_γ : 기초의 근입깊이계수	•풍화암의 강도정수값에 따른 지지력 영향 큼 •Terzaghi 공식에 비해 지지력이 크게 산정됨
	Hasen 제안식	$q_a = \frac{1}{F_s}(c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot g_c \cdot b_c + \gamma_2 \cdot D_f \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot g_q \cdot b_q + \frac{1}{2} \cdot \gamma_1 \cdot B \cdot N_r \cdot s_r \cdot d_r \cdot i_r \cdot g_r \cdot b_r)$ N_c, N_q, N_γ : 지지력계수, s_c, s_q, s_γ : 기초의 형상계수 d_c, d_q, d_γ: 기초 근입깊이계수, i_c, i_q, i_γ: 하중 경사계수 g_c, g_q, g_γ : 지반계수, b_c, b_q, b_γ : 기초저면 경사계수	•풍화암 강도정수값에 따른 지지력 영향 큼
시험값	수정 Meyerhof 제안식	$q_a = \frac{N}{F_1}$ (B≤F_4), $q_a = \frac{N}{F_2}(B+F_3)^2 K_d$ (B > F_4) 여기서, K_d = 1+0.33D_f/B ≤1.33 F_1 = 0.05m, F_2 = 0.08m, F_3 = 0.30m, F_4 = 1.20m	•N값을 이용한 경험식에 의한 방법
관련문헌	도로교 설계기준	•기초폭에 비례하여 증가하는 침하량을 고려 과도한 침하방지 목적의 경험적 상한치 고려	
	구조물기초설계기준	•확대기초의 지지력 경험치 제안 (U.S Dept. of the Navy, 1982)	

○ 허용지지력 산정방법(연경암지지)

구 분		적 용 식	비 고
정역학적 공식	Bell 제안식	• $q_{ult} = C_{f1} \cdot c \cdot N_c + q \cdot N_q + C_{f2} \cdot 0.5 \cdot \gamma \cdot B \cdot N_\gamma$	•절리가 발달되고, 절리간격이 좁은 암반에서의 극한지지력 산정
	Hoek & Brown 제안식	• $q_{ult} = C_{f1} \cdot s^{0.5} \cdot \sigma_{u(r)} \cdot [1 + (m \cdot s^{-0.5} + 1)^{0.5}]$	•Hoek & Brown이 제안한 암의 풍화정도에 따른 상수 사용
	구조물기초 설계기준	• $q_a = K_{sp} \cdot q_{u(core)}$	•불연속면 간격이 0.3m 이상이고 틈새가 5mm 이내이며, 기초폭이 0.3m 이상일 때 적용

경험식	경험적 제안값 (RQD)	암 질	매우양호	양 호	보 통	불 량	매우불량
		RQD(%)	90~100	75~90	50~75	25~50	0~25
		허용지지력(MPa)	20~30	12~20	6.5~12	3~6.5	1~3

○ 풍화암지지 직접기초 허용지지력

교 량 명		기초 위치	지지력 산정식(kPa)				도로교 설계기준 (kPa)	허용지지력 (kPa)	설계반력 (kPa)	판 정
			Terzaghi	Meyerhof	Hansen	수정 Meyerhof				
1공구	성사 6교(서울)	A1	1105.6	870.9	1104.6	605.1	600.0	600.0	512.6	O.K
	성사 6교(문산)	A1	1040.1	818.1	1007.5	590.1	600.0	590.1	548.7	O.K
검토 결과			•허용지지력 산정결과 설계반력은 허용치 이하로 검토되어 안정한 것으로 판정							

4.1.3 연직변위(침하량)에 대한 안정성 검토

•구조물의 허용침하량은 구조적 안정성과 사용상의 기능유지로부터 결정되는 사항으로 국내 설계기준 에서는 허용침하기준을 명확히 제시하지 않음 ➡ 문헌 및 국내 설계사례를 검토하여 설계기준 결정
•직접기초의 침하량은 기초 설치위치의 지형 및 지반특성을 고려하여 탄성침하에 의한 안정성 검토

○ 허용침하량 설계기준

■ 국도건설공사 설계실무 요령(국토교통부, 2013)

침하형태	지 지 층	최대침하량(mm)	침하형태	구조물의 종류	부등침하량(mm)
균등침하	모래지반	25	부등침하	모래지반	20
	점토지반	50		점토지반	20
	복합지반	30		복합지반	20

■ 설계적용 허용침하량

•허용침하량은 상부구조의 구조형식, 사용재료, 용도, 중요성 및 침하의 성격 등에 의하여 결정되며, 상부구조에서 결정되는 허용침하량 이하여야함
•허용침하량 : 25.4mm 적용

○ 침하량 산정방법

구 분		적 용 식	비 고
이론식	Hooke 제안식	• $S_i = I_s \cdot \frac{1-\upsilon^2}{E_S} \cdot q \cdot B$	•풍화암의 변형계수(E_s)산정 필요
	Harr 제안식	• $S_i = \alpha_r \cdot q \cdot B \cdot \frac{1-\upsilon^2}{E_S}$	•탄성이론식 중 침하량이 가장 크게 산정
	Vesic 제안식	• $S_i = \frac{1}{Ks} \cdot q$, $Ks = \frac{E_S}{B(1-\upsilon^2)}$	•지반변형계수(E_s)를 이용하여 침하량 산정
경험식	Meyerhof 제안식	• $S_i = \frac{1}{192 \cdot N} \times \left(\frac{2B}{B+0.3}\right)^2 \times q$	•표준관입시험 N값를 이용한 경험식에 의한 산정
	Kulhawy	• $S = \frac{0.9P}{Es \cdot A^{0.5}}$ • $S = \frac{0.7P}{Es \cdot A^{0.5}}$	•지반변형계수(E_s)를 이용하여 침하량 산정

○ 풍화암 지지 침하량 검토 결과

교 량 명		침하량 산정식 (mm)			발생침하량 (mm)	허용침하량 (mm)	판 정
		Hooke	Harr	Meyerhof			
1공구	성사6교(서울)	11.6	18.3	15.6	18.3	25.4	O.K
	성사6교(문산)	12.4	19.6	17.1	19.6	25.4	O.K

검토결과 •침하량 검토 결과 최대 발생침하량은 허용침하량 이내로 연직침하에 대해서 안정한 것으로 판정

4.2 말뚝기초의 안정성 검토

기본방향
- •말뚝기초의 연직 및 수평방향 허용지지력, 침하량, 수평변위량 등에 대한 검토를 수행
- •지층특성과 상부구조물의 하중조건 및 주변환경 등을 고려한 기초안정성 검토
- •다양한 산정공식 및 해석기법의 결과를 수치해석과 비교, 분석하여 안정성의 신뢰성 검증

4.2.1 말뚝기초 현황

○ 말뚝기초 현황

교 량 명		위 치	지지층	말뚝재료	말뚝제원	말뚝길이(m)
1공구	원흥2교(서울)	A1	풍화암	강관	Φ508mm×t12mm	16.0
		P1	풍화암	강관	Φ508mm×t9mm	15.0
		A2	풍화암	강관	Φ508mm×t12mm	15.5
	원흥2교(문산)	A1	풍화암	강관	Φ508mm×t12mm	16.0
		P1	풍화암	강관	Φ508mm×t9mm	15.0
		A2	풍화암	강관	Φ508mm×t12mm	15.5
	성사6교(서울)	A2	풍화암	강관	Φ508mm×t12mm	20.0
	성사6교(문산)	A2	풍화암	강관	Φ508mm×t12mm	19.0

◎ 말뚝기초 설계기준

구 분	도로교설계기준	도로설계요령	한국도로공사	설 계 적 용
말뚝최소 중심간격	•2.5D~3.0D	•2.5D이상	–	•강관말뚝 : 2.5D
연 직 침 하 량	•25.0mm	•25.0~50.0mm	–	•25.4mm
수 평 변 위	•Φ1,500mm 이하 15.0mm	•말뚝직경 1%	–	•강관말뚝 : 15mm (φ508)
부 등 침 하 량	–	–	•다경간 0.004 rad, •단경간 0.005 rad	•0.004 rad

구 분		콘크리트 설계기준	구조물기초설계기준	설 계 적 용
염 해 방 지 내구성 기 준	콘크리트	•25MPa 이상	–	•설계강도 : 27MPa •호칭강도 : 35MPa
	강관	–	•부식두께 2.0~3.0mm	•부식두께 : 2.0mm

◎ 검토방법

구 분		단 말 뚝	군 말 뚝
연 직 방 향	지지력	•매입말뚝 및 현장타설말뚝 고려 •말뚝재료의 허용압축응력 검토 •설계하중 < 허용지지력	•말뚝간격에 따른 군말뚝 효과 적용 •총 설계하중 < 군말뚝지지력 •군말뚝 침하량 < 허용침하량
	변 위	•기초침하량 < 허용침하량 •부등침하량 < 허용부등침하량	

구 분		단 말 뚝	군 말 뚝
수 평 방 향	지지력	•지반반력계수 결정 •극한지반반력법, 탄성지반반력법	•말뚝간격에 따른 군말뚝 효과 적용 •총 설계하중 < 군말뚝지지력 •군말뚝 침하량 < 허용침하량
	변 위	•수평변위 < 허용수평변위 •p-y 곡선 비선형 해석방법	

4.2.2 강관말뚝기초 연직 지지력에 대한 안정성 검토

◎ 강관말뚝의 연직지지력 검토 방법

•강관말뚝기초는 풍화암층 이상 지지층으로 계획하며, 암반층에 설치된 말뚝기초에 대해서 경험식과 일축압축강도, 점하중강도, 절리상태에 따른 시험 결과치 및 관련시방기준을 근거하여 허용지지력을 산정

■ 말뚝재료의 허용지지력(도로교 설계기준, 2009)

$$Q_{as} = \left(1 - \frac{\mu_1 + \mu_2}{100}\right) f_{sa} \cdot A$$

여기서, Q_{as} : 말뚝본체의 허용지지력(kN/ea), μ_1 : 세장비에 의한 저감율, μ_2 : 이음에 대한 저감율, f_{sa} : 재료의 장기허용압축응력(kPa), A : 말뚝의 단면적 (m^2)

■ 풍화암지지 허용지지력 산정식

$$Q_a = (q_p \cdot A_p + U \cdot \sum \ell \cdot f_i)/Fs$$

q_p : 단위면적당 선단지지력(KPa) A_p : 말뚝 선단면적(m^2) U : 말뚝의 둘레길이 (m)
ℓ : 주면마찰력을 고려하는 층두께(m), fi : 최대주면마찰력(KPa) – 아래표 참조
N : 말뚝선단에서 위로 1D, 아래로 4D 평균값, Fs : 안전율 (상시 = 3.0, 지진시 = 2.0)

■ 주면마찰력 산정식(구조물기초 설계기준 해설, 2009)

구 분	타 입 공 법	현장타설말뚝공법	매 입 말 뚝	단 위
사 질 토	0.2N(≤10)	0.5N(≤20)	0.2N(≤50)	kN
점 성 토	c* 또는 N(≤15)	c* 또는 N(≤15)	0.8c* 또는 0.8N(≤10)	

■ 풍화암지지 말뚝기초의 허용지지력 검토결과

교 량 명				지지력 산정식(kN/EA)		허용지지력(kN/EA)		설계반력(kN/EA)		판 정
				재료의 허용응력	도로교 표준시방서	상시	지진시	상시	지진시	
1공구	원흥 2교	서울	A1	2064.1	1177.7	1177.7	1766.6	623.7	935.6	O.K
			P1	1453.6	1213.2	1213.2	1819.7	626.9	940.3	O.K
			A2	2064.1	1324.7	1324.7	1987.0	743.3	1115.0	O.K
		문산	A1	2064.1	1185.2	1185.2	1777.8	664.0	996.1	O.K
			P1	1453.6	1232.9	1232.9	1849.4	582.3	873.5	O.K
			P2	2064.1	1324.7	1324.7	1987.0	753.1	1129.6	O.K
	성사 6교	서울	A2	2064.1	1323.1	1323.1	1984.6	704.2	1126.4	O.K
		문산	A2	2064.1	1280.5	1280.5	1920.8	708.3	1105.9	O.K

검토결과

- 지지력 공식에 의한 허용지지력과 말뚝 본체의 허용압축하중을 비교하여 허용지지력을 산정하여 안정 판정
- 강관말뚝기초의 허용지지력 산정결과 설계반력은 허용지지력 이하로 검토되어, 안정한 것으로 판정

4.2.3 연직변위(침하량)에 대한 안정성 검토

○ 침하량 산정방법

▮ 도로교 설계기준(2009)

구 분	침하량 산정식	비 고
도 로 교 설계기준	$S_t = Q[(\frac{I_{ps}}{D_r E_m}) + (\frac{L_r}{AE_c})]$	•Q : 말뚝머리 축방향 압축하중(kN) •I_{ps} : 암반소켓부 변위 영향계수 •D_r, L_r : 암반 및 흙지반 관입 길이(m) •E_m, E_c : 암반 및 콘크리트 탄성계수(kPa)

▮ 구조물기초 설계기준(2009)

침하량 산정식	S_s	S_p	S_{ps}
$S_t = S_s + S_p + S_{ps}$	$S_s = (Q_{pa} + \alpha_s \times Q_{fa}) \times \frac{L}{A \times E_p}$	$S_p = \frac{C_p \times Q_{pa}}{B \times q_b}$	$S_{ps} = \frac{C_s \times Q_{fa}}{L_b \times q_p}$
•S_s : 말뚝자체의 길이방향 변형 •S_p : 말뚝선단부에 가해지는 하중으로 인한 침하량 •S_{ps}: 주면마찰력에 의해 지반에 전달된 하중에 의한 침하량	여기서, Q_{pa} : 말뚝선단부 전달하중 Q_{fa} : 말뚝주면부 전달하중 L : 말뚝길이, A : 말뚝 단면적 E_p : 말뚝의 탄성계수 α_s : 주면마찰력 분포 계수	여기서, B : 말뚝직경 q_b : 단위면적당 극한 선단 지지력 C_p : 흙의 종류와 말뚝시공	여기서, L_b : 땅속에 묻힌 말뚝길이 C_s : $(0.93 + 0.16\sqrt{\frac{L_b}{B}} \times C_p)$

▮ 말뚝기초의 연직침하량 검토결과

교 량 명			위 치	지 지 층	발생침하량(㎜)	허용침하량(㎜)	판 정
1공구	원흥 2교	서울	A1	풍화암	9.211	25.40	O.K
			P1	풍화암	9.979	25.40	O.K
			A2	풍화암	10.034	25.40	O.K
		문산	A1	풍화암	9.762	25.40	O.K
			P1	풍화암	9.173	25.40	O.K
			A2	풍화암	10.166	25.40	O.K
	성사 6교	서울	A2	풍화암	10.29	25.40	O.K
		문산	A2	풍화암	10.40	25.40	O.K

검토결과

•말뚝기초에 대한 풍화암 및 연암지지 침하량 검토결과 발생침하량이 허용침하량 25.40mm 이내로 안정한 것으로 판정

4.2.4 수평변위에 대한 안정성 검토

- 말뚝에 수평하중 작용시 발생하는 말뚝머리부 수평반력은 말뚝의 허용수평지지력을 초과해서는 안되며, 수평변위량은 허용수평변위를 초과하지 않도록 설계
- 최대수평하중 < 수평허용지지력, 말뚝머리 수평변위 < 허용수평변위
- 말뚝의 수평허용변위 : B < 1,500mm 이면 1.5cm(상시), 2.25cm(지진시)
  B > 1,500mm 이면, 기초폭의 1% (단, < 5cm)

○ 검토방법

검 토 방 법			검 토 내 용
해석적 방 법	지지력	극한평형법 (Broms법)	•말뚝에 작용하는 본당 최대 수평반력에 대한 지반의 반력 특성 및 말뚝의 강성에 의한 지지력 산정
		탄성지반반력법 (Chang법)	•탄성지반위의 보이론을 적용 •허용수평변위량을 적용하여 말뚝두부의 수평방향지지력 산정
	변 위	탄성지반반력법 (Chang법)	•기초저면으로부터 1/β심도까지의 평균 수평지반반력계수를 적용하여 말뚝두부에 작용하는 하중에 의한 탄성변위 산정
		비선형해석 (GROUP)	•다층지반에 대하여 각층의 응력–변형특성을 고려한 p–y곡선을 적용하여 말뚝머리에 작용하는 하중에 의한 탄소성변위 산정

○ 수평지반반력계수(k_h) 산정

■ 수평지반반력계수(k_h) 산정 방법

- 말뚝의 지지력 및 변위량 산정시 주요변수가 되는 지반반력계수에 대한 산정방법별 결과를 비교하고, 지층 및 말뚝특성별로 가장 적합한 지반반력계수 산정을 위해 검토를 수행

■ 도로교 설계기준(2009)

- $k_h = k_{ho}\left(\frac{B_H}{30}\right)^{-\frac{3}{4}}$, $k_{ho} = \frac{1}{30}\alpha E_o$ ➡ $k_h = 0.34(\alpha E_o)^{1.1} d^{-0.31}(EI)^{-0.1}$

여기서, k_h : 30cm의 강체원판에 의한 평판재하시험 결과에 상당하는 수평방향 지반반력 계수(kN/m^3)

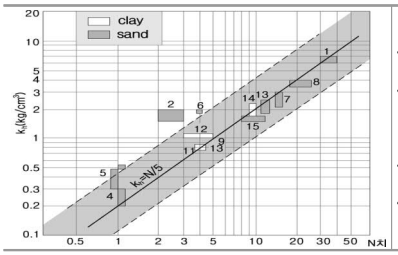
B_H : 하중작용방향에 직교하는 기초의 환산재하폭(cm) $=(D/\beta)^{1/2}$

α, E_o : 지반반력계계수 추정에 쓰이는 계수 및 지반변형계수(kN/m^2)

■ Hukuoka 공식

- $k_h = 0.691 \times 10^4 \times N^{0.406}$(kN/m^3) 여기서, N : 표준관입 시험값

■ 한국지반공학회 "깊은기초" k_h–N관계 분석

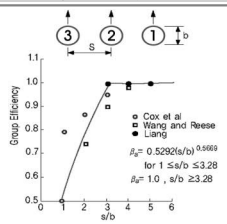
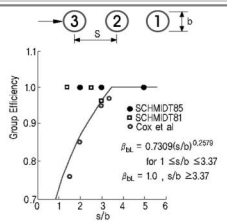
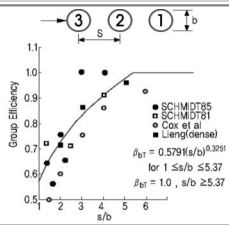


- 수평지반반력계수 k_h는 말뚝 수평거동의 지배구간인 1/β 심도 이내에서 산정
- 수평재하시험에 의한 k_h–N 과의 관계 도표 '지반공학회, 깊은기초'와 도로교 설계기준 추천방법 E_o–N과의 관계식 및 Hukuoka 제안식을 비교·분석하여 결정
- 일반 토사 구간에 적용 가능한 E_o–N 관계 도출
- 사질토 구간 적용 범위 중 E_o=1.0N(MPa) 적용

○ 군말뚝 감소계수 산정

- 말뚝기초에서 말뚝간의 간격이 충분히 이격되어 있지 않으면 하중재하시 간섭효과가 발생하여 단말뚝의 경우보다 지지력이 저하되는데 이것을 군말뚝효과라 함
- 본 설계에서는 말뚝의 수평 안정성에 대한 군말뚝효과를 고려하기 위하여 기존방법을 비교·검토하고 실험을 통하여 검증된 최신의 군말뚝효과에 대한 연구 성과를 설계에 반영

▌군말뚝 고려방법에 대한 검토

<table>
<tr><th>구 분</th><th>군말뚝효과 고려 방법</th></tr>
<tr><td>도 로 교
설계기준해설(2001)</td><td>
•말뚝 중심 간격이 2.5D 이상이라면 단말뚝의 수평방향 지반반력계수 사용
•말뚝 중심 간격이 2.5D 이하인 경우 수평방향 지반반력계수에 다음의 감소계수를 적용
•μ= 1−0.2(2.5−L/D), (L<2.5D) 여기서, L : 말뚝 중심간격(m), D : 말뚝지름(m)
</td></tr>
<tr><td>구조물기초
설 계 기 준
(2003)</td><td>
•하중작용 직각방향에 대해서는 말뚝간격이 2.5D이상이면 군말뚝에 대한 효과를 고려하지 않음
•하중이 작용하는 방향의 말뚝중심간의 거리가 말뚝직경의 8배 이하일 경우 수평방향 지반반력계수 감소계수를 적용하는 방법으로 군말뚝 영향 고려
<table>
<tr><th>말뚝간격</th><th>8D</th><th>6D</th><th>4D</th><th>3D</th></tr>
<tr><td>감소계수</td><td>1.00</td><td>0.70</td><td>0.40</td><td>0.25</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>FHWA
Federal Highway
Administraion</td><td>
•미연방도로국(FHWA) 설계지침서에서는 Brown(1988)과 McVay(1995)에 의하여 시행된 현장시험과 원심모형시험 시험결과로부터 분석한 군말뚝효과를 다음과 같이 제시
<table>
<tr><th rowspan="2">지반종류</th><th rowspan="2">시행시험</th><th rowspan="2">말 뚝
중심간격</th><th colspan="3">말뚝열에 따른 감소계수(Pm)</th><th rowspan="2">전 체
감소계수</th></tr>
<tr><th>1열</th><th>2열</th><th>3열이후</th></tr>
<tr><td>매우조밀한 모래</td><td>현장시험</td><td>3D</td><td>0.8</td><td>0.4</td><td>0.3</td><td>75%</td></tr>
<tr><td rowspan="2">보통조밀한 모래</td><td rowspan="2">원심모형실험</td><td>3D</td><td>0.8</td><td>0.4</td><td>0.3</td><td>74%</td></tr>
<tr><td>5D</td><td>1.0</td><td>0.85</td><td>0.7</td><td>95%</td></tr>
<tr><td rowspan="2">느슨한 모래</td><td rowspan="2">원심모형실험</td><td>3D</td><td>0.65</td><td>0.45</td><td>0.35</td><td>73%</td></tr>
<tr><td>5D</td><td>1.0</td><td>0.85</td><td>0.7</td><td>92%</td></tr>
</table>
</td></tr>
<tr><td>Lymon C. Reese
(1996)</td><td>
•하중작용방향과 하중직각방향 말뚝간격과 군말뚝효과의 관계를 시험결과로부터 그래프와 관계식으로 제시하였으며, 군말뚝효과는 고려하지 않아도 되는 말뚝간격은 다음과 같음
<table>
<tr><th>하중직각방향
말뚝간격의 영향</th><th colspan="2">하중작용방향 말뚝간격의 영향</th></tr>
<tr><th></th><th>첫번째열</th><th>뒷 열</th></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>3.1 D</td><td>3.37 D</td><td>5.37 D</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

검토결과

- 내부마찰각이 40°미만인 사질토지반에서는 단말뚝 지지력의 합보다 군말뚝 지지력이 크게 발휘됨
- 말뚝의 중심간격이 말뚝지름의 2.5배 이상인 경우, 군말뚝의 영향은 무시하는 것이 타당함
- 본 사업의 경우 풍화암지지 말뚝기초의 중심간격은 말뚝지름의 2.5배 이상으로, 연직방향 하중에 대한 군말뚝 효과는 고려하지 않음(구조물기초 설계기준, 2009)

■ 군말뚝 감소계수 적용

말뚝종류	교량명	말뚝 간격	군말뚝 효율	비 고
강관말뚝 (Φ508, 9t, 12t)	원흥2교, 성사6교	2.5D 이상	1.0	교대 / 교각

○ 1 공구 수평지반반력계수(k_h) 산정 결과

구 분			위치	평균 N 값	E_0/N	지층	수평지반반력계수(kg/cm³)		말뚝 간격	적 용
							도로교설계기준	후쿠오카공식		
1 공구	원흥 2교	서울	A1	15	7	모래층	1.337	2.075	2.5D 이상	1.337
			P1	9	7	모래층	0.789	1.686	2.5D 이상	0.789
			A2	27	7	모래층	2.553	2.634	2.5D 이상	2.553
		문산	A1	15	7	모래층	1.337	2.075	2.5D 이상	1.337
			P1	9	7	모래층	0.789	1.686	2.5D 이상	0.789
			A2	27	7	모래층	2.553	2.634	2.5D 이상	2.553
	성사 6교	서울	A2	11	7	모래층	0.951	1.829	2.5D 이상	0.951
		문산	A2	11	7	모래층	0.951	1.829	2.5D 이상	0.951

○ 수평방향 허용지지력 산정 방법

■ 극한평형법(Broms의 해석법)

•Broms는 수평력을 받고 있는 말뚝과 지반의 파괴형태를 고찰한 결과 말뚝의 휨강성과 묻힘깊이 및 지반강성에 의해 말뚝을 분류하고 점성토와 사질토에서의 말뚝의 수평지지력을 구하는 방법을 제안

•사질토 지반의 극한 수평지지력(Broms 방법, 두부고정)

짧은 말뚝($\eta L < 2$)	중간 말뚝($2 \le \eta L < 4$)	긴 말뚝($\eta L > 4$)
$Q_u = 1.5L^2\gamma' dK_p$	$\left(\frac{Q_u}{K_p d^3\gamma'}\right)\cdot\left(\frac{L}{d}\right) - \frac{1}{2}\left(\frac{L}{d}\right)^3 = \frac{M_y}{K_p d^4\gamma'}$	$\frac{Q_u}{K_p d^3\gamma} = 2.38\left(\frac{M_y}{K_p d^3\gamma}\right)^{2/3}$

•점성토 지반의 극한 수평지지력(Broms 방법, 두부고정)

짧은 말뚝 ($\beta L < 2.25$)	중간 말뚝	긴 말뚝 ($\beta L > 2.25$)
$Q_u = 9c_u d^2\left(\frac{L}{d} - 1.5\right)$	$\left(\frac{Q_u}{c_u d^2}\right)^2 + \left(27 + 18\frac{L}{d}\right)\left(\frac{Q_u}{c_u d^2}\right) - 81\left(\frac{L}{d} - 1.5\right)^2 = 36\left(\frac{M_y}{c_u d^3}\right)$	$\left(\frac{Q_u}{c_u d^2}\right)^2 + 27\left(\frac{Q_u}{c_u d^2}\right) = 36\left(\frac{M_y}{c_u d^3}\right)$

■ 탄성지반반력법(Chang, 1985)

$$H_a = k_h \cdot \frac{D}{\beta} \cdot y$$

여기서, H_a : 허용수평지지력(kgf) k_h : 수평지반반력계수(kN/cm³)
D : 말뚝 직경(cm) y : 기준변위량(상시 1.5cm, 지진시 2.25cm)
β : $\left(\frac{k_h D}{4EI}\right)^{1/4}$(cm⁻¹)

■ 말뚝기초의 수평방향 허용지지력 검토결과

구 분			위치	지지력 산정식(kN/EA) 상 시 Broms법	지지력 산정식(kN/EA) 상 시 Chang법	지지력 산정식(kN/EA) 지진시 Broms법	지지력 산정식(kN/EA) 지진시 Chang법	수평방향 허용지지력(kN/EA) 상 시	수평방향 허용지지력(kN/EA) 지진시	수평방향 설계반력 (kN/EA) 상 시	수평방향 설계반력 (kN/EA) 지진시	판 정
1공구	원흥2교	서울	A1	126.5	279.6	189.7	744.5	126.5	189.7	110.4	165.3	O.K
			P1	95.0	173.0	142.6	460.5	95.0	142.6	5.0	108.3	O.K
			A2	123.2	454.2	184.8	1209.3	123.2	184.8	115.1	174.5	O.K
		문산	A1	125.4	279.6	188.1	744.5	125.4	188.1	101.1	153.0	O.K
			P1	96.4	173.0	144.7	460.5	96.4	144.7	12.0	109.2	O.K
			A2	122.9	454.2	184.4	1209.3	122.9	184.4	117.9	180.4	O.K
	성사6교	서울	A2	124.3	216.6	186.4	576.5	124.3	186.4	92.4	160.7	O.K
		문산	A2	124.2	216.6	124.2	186.2	124.2	186.2	94.2	154.8	O.K

검토결과

- 극한평형법(Broms방법)과 탄성지반반력법(Chang방법)으로 수평방향 허용지지력 산정
- 말뚝기초의 횡방향 안정성 검토결과 안정한 것으로 검토됨

4.3 주요구간 안정성 검토

4.3.1 고성토부 교대 안정성 검토

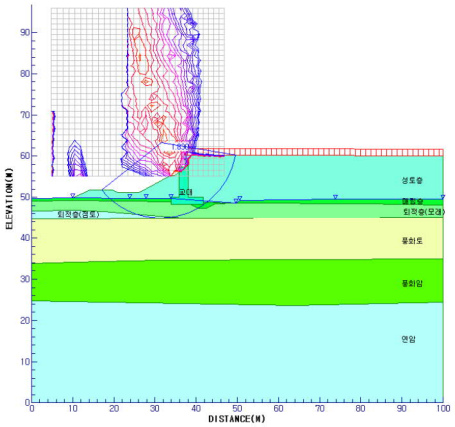
- 공구별 고성토부에 위치하는 대표 교대에 대한 측방유동 발생 가능성 검토
- 말뚝의 휨응력을 고려한 한계평형해석을 통한 상세 안정성 검토 수행

○ 공구별 고성토 교대부 검토 구간 선정

공구	교량명	성토고	지층 현황
1공구	원흥2교 A1	H=10.5m	하부 퇴적층(점토 및 모래층) 이 3.9m~5.5m로 분포(N값 3~10)

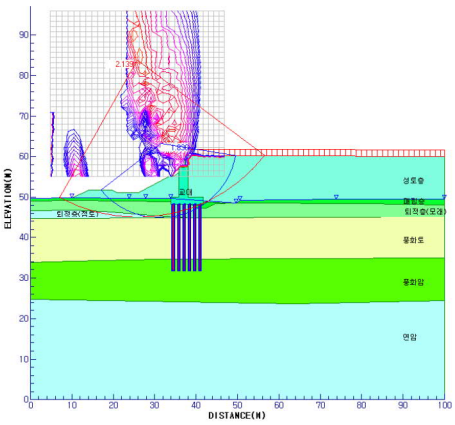
○ 원흥2교 A1 (원지반)

말뚝 미고려시



Fs = 1.83 > 1.5 ∴ O.K

말뚝 고려시



Fs = 2.13 > 1.8 ∴ O.K

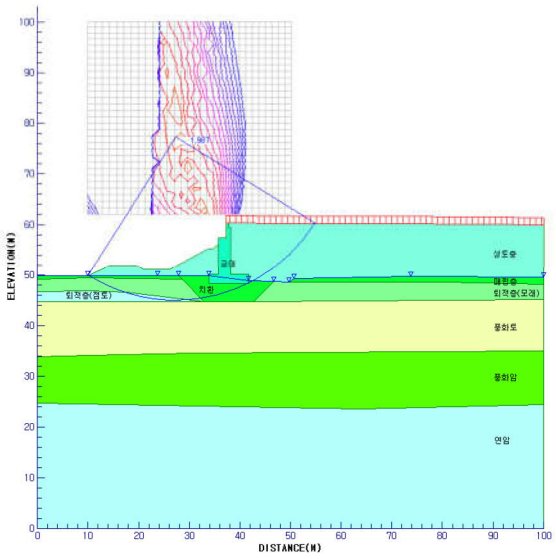
◯원지반 측방 유동 검토 결과

공구	교량명	성토고 (m)	원지반		검토 결과	대책 공법
			말뚝 고려	말뚝 미고려		
1공구	원흥2교 A1	10.5	2.13	1.83	OK	-

검토결과	•고성토 교대 구간 측방유동 안정성 검토 결과 원흥2교 A1에서 기준안전율 이상으로 검토 되었으나, 하부 연약지반이 일부 분포하여 측방유동 대책공법 적용이 필요한 것으로 판단됨

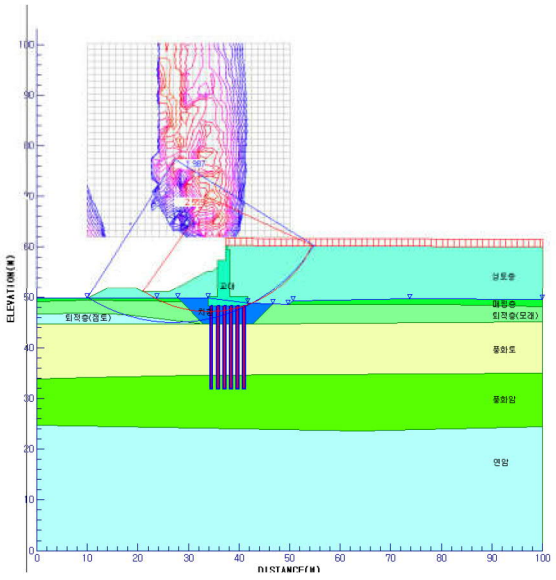
◯ 원흥2교 A1(굴착치환)

말뚝 미고려시



Fs = 1.98 > 1.5 ∴ O.K

말뚝 고려시



Fs = 2.55 > 1.8 ∴ O.K

검 토 위 치	검토결과		비 고
	말뚝 미고려시	말뚝 고려시	
원흥2교 A1	1.98 > 1.5	2.55 > 1.8	교대하부 폭 9.8m / 기초하부 심도 3.5m 굴착치환 적용

검토결과	•원흥2교 A1구간에 대하여 하부지반에 대한 굴착치환 공법 적용시 안정성 확보

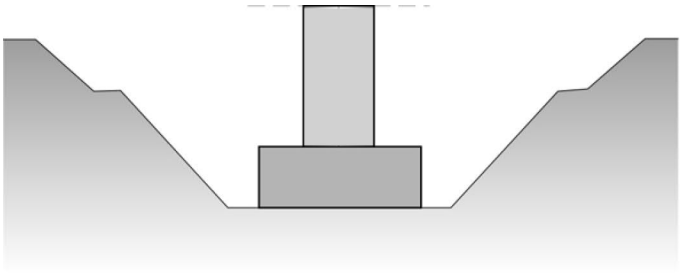
제 5 장 교량기초 시공방안 검토

5.1 직접기초 시공방안 검토

기본방향	•굴착심도, 지하수위, 지반조건, 인접구조물의 간섭 등을 고려한 굴착공법 선정 •터파기 심도보다 지하수위가 높은 구간은 침투해석을 수행하여 양수대책 수립 •기초저면에서 하중이 지반에 직접 전달되므로 기초저면의 처리지침을 준수 •상부하중을 지반에 균등하게 전달하여 상부구조물 안정성 도모

5.1.1 기초터파기 굴착공법 검토

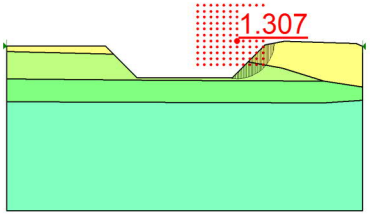
○ 기초터파기 굴착공법 검토

구 분	자연비탈면 굴착(Open Cut)
공 법 특 징	
공 법 특 징	•안전한 비탈면을 형성하면서 필요한 심도까지 굴착하는 공법으로 공간 확보가 가능 •지반이 좋고 굴착심도가 낮을 경우에 유리
장·단점	•공사비 저렴하고 공기가 빠름 •지하수위 높은 사질토지반 및 연약지반 곤란
적용구간	원흥2교, 성사6교
선정사유	•기초터파기 시공 시 굴착심도 및 공간제약을 받지 않는 구간에 Open Cut 공법 적용

5.1.2 기초터파기시 안정성 검토

○ 기초터파기 비탈면 안정성 검토

•대표단면에 대한 기초 터파기 임시비탈면의 안전율은 1.1로 적용 (건교부 및 도로공사기준 1.1~1.2)
•임시비탈면 기울기는 토사 : 1 : 1.0~1.2 적용

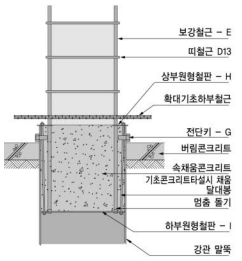
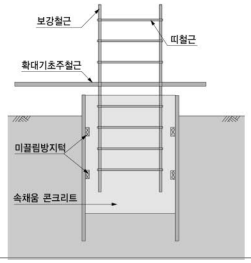
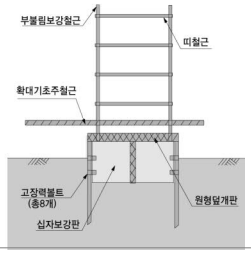
원흥2교 P1	검 토 방 법
	•검토구간 : 원흥2교 P1 임시터파기 구간 •임시 터파기 비탈면 기울기 : 1 : 1.0 적용 검토 후 완화경사 적용 •Fs = 1.307 > 1.1 ∴ O.K

검토결과	•1 : 1.0 기울기 적용시 기준 안전율을 만족 → 안정

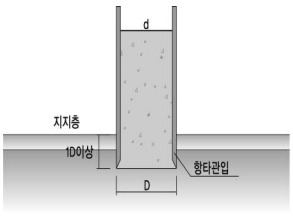
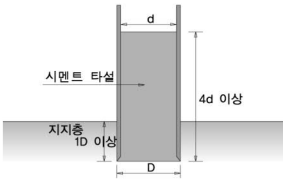
제 6 장 기초의 품질 및 유지관리 계획

6.1 말뚝기초 품질관리 계획

6.1.1 말뚝머리결합 방안

구 분	합성형 두부보강	콘크리트 속채움	볼트식 두부보강
개요도			
공법개요	•속채움이 가능한 강재결합구와 강판을 결합식으로 연결하므로 속채움방식의 단점인 시공성을 개선하고 볼트식 방식의 허용내력 한계를 개선한 공법	•보강철근망과 하부띠철근을 조립하여 확대기초의 주철근과 상부띠철근을 배근한 후, 확대 기초와 강관의 속채움 콘크리트 를 동시에 타설하는 공법	•콘크리트 속채움 방식의 시공성을 개선하기 위해 공장 제작된 십자 보강판을 볼트에 의해 강관과 연결하고 확대기초의 주철근과 띠철근에 연결하는 공법
적용성	•시공이 빠르고 간편하며 지압응력의 분포가 일정하고 수평력에 대한 저항력이 우수함	•수평력에 대한 저항력이 우수 하나 철근간섭에 의해 시공성이 저하, 강관말뚝 내부 용접시 용접불량이 발생할 수 있음	•시공이 빠르고 간편하지만 말뚝내부가 중공이므로 속채움 방식에 비해 수평력에 대한 저항력이 작음
경제성	공사비 저렴	공사비 다소고가	공사비 보통
선 정	◉	–	–
선정사유	•콘크리트 속채움공법은 철근간섭에 의한 시공성 저하가 크며, 볼트식 머리보강공법은 국부변형에 대하여 취약하고 말뚝내부가 중공이므로 수평력에 대한 저항력이 작음 •시공이 단순하며 지압응력의 분포가 일정하고 수평력에 대한 저항력이 우수한 합성형 두부보강 방법 선정		

6.1.2 말뚝선단처리 계획

구분	최 종 경 타	시멘트밀크 속채움
개요도		
특징	•타입공법에 비해 타격 회수 및 시간이 적음 •최종 경타 시 단시간 이지만 소음 · 진동발생 •타공법에 비해 지지력이 큼	•말뚝의 연직하중을 기반암까지 전달가능 •말뚝 속채움에 의한 폐색효과 발휘
적 용	◉	◉

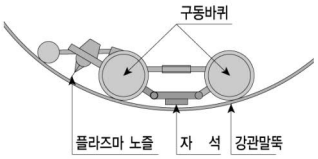
6.1.3 말뚝 품질관리 방안

○ 강관말뚝절단공법

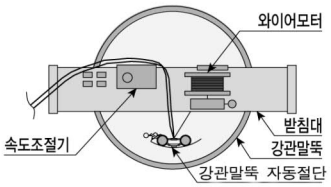
•지표면에서 말뚝 시공후 확대기초 저면위치까지 굴착하는 종전의 방법은 산소 토치(Torch)를 이용하여 노출된 말뚝두부절단 ➡ 말뚝사이 굴착 ➡ 노출된 말뚝두부절단의 단계를 거쳐 굴착하였으나, 시공이 번거롭고 경제성면에서도 불리하여 간편하고 경제적인 강관말뚝 자동절단

•강관파일을 항타한 후 요구되는 소요깊이에 자기력 발생수단과 구동수단 및 토치를 탑재한 절단기를 삽입 후 강관 말뚝 내부면을 따라 회전하면서 고온의 플라즈마를 이용하여 강관말뚝을 절단하는 공법
•절단에 사용되는 절단기는 경량이고 소형이어서 말뚝이 시공된 주변 환경에 적용성이 뛰어나고 말뚝직경 및 절단 깊이에 상관없이 단 1회에 절단을 완료하는 공법

강관파일 자동절단



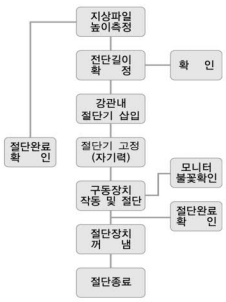
조절장치가 부착된 받침대



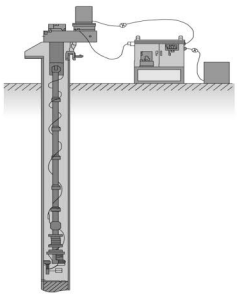
공 법 개 요

•강관말뚝 시공 후 소요 깊이에 자기력 발생 수단과 구동수단, 토치를 탑재한 기계를 삽입 고온의 플라즈마를 이용하여 강관말뚝을 절단하는 공법
•절단기의 무게가 작고 소형으로 파일 주변 영향을 받지 않고, 절단 깊이 조정이 가능
•절단면이 매끈하고 재래식 산소 절단 방식 등에 비해 경제적이고 시공성 우수

시공순서도



장 치 도



장점 및 단점

•장비 제작비용이 저렴하며, 말뚝 시공 후 후속 굴착작업 없이 절단 작업 진행, 공정의 단순화로 공기 단축이 가능함
•부대공종의 축소, 절단된 말뚝의 재사용으로 공사비가 절감되고, 작업조건의 향상으로 안전사고 예방효과 증대
•절단깊이, 말뚝직경, 경사도에 관계없이 절단가능
•강관말뚝 이외에는 적용 불가
•말뚝 내부에 물이나 흙이 차 있을 경우 작업이 불가능하므로 이를 제거하여야 작업 가능

○ 강관말뚝 수직도 관리방안

•기초 시공 시 굴착장비(Auger에 계측기 설치) 수직도 관리방안 설치
•광파 측량기를 이용한 수직도 (1/300) 유지

○ 강관말뚝 부식두께 검토

•강관말뚝은 부식에 의한 단면적의 축소 등으로 내구성이 저하되므로 이에 대한 대책방안 필요
•지층에서 강재의 부식은 토질, 수질 및 전기적 상태, 강재의 성질, 지층의 박테리아 등에 따라 상이

부 식 환 경(구조물기초 설계기준 2003)		부식속도(mm/년)
해상측	H.W.L 이상	0.3
	H.W.L~L.W.L(−)1m까지	0.1 ~ 0.3
	L.W.L(−)1m까지~해저부까지	0.1 ~ 0.2
	해저 이토층중	0.03
육상측	육상 대기중	0.1
	토중(잔류수위 이상)	0.03
	토중(잔류수위 이하)	0.02

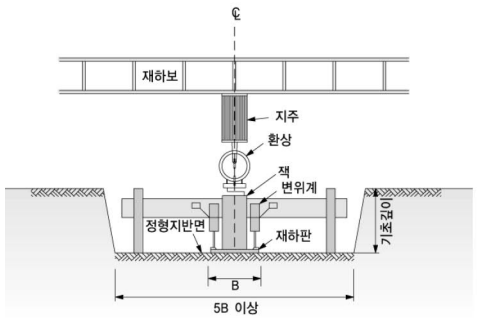
검 토 결 과

•강관말뚝은 해수나 공장폐수의 오염물에 영향을 받는 특수한 조건이 아니며 주기적으로 물에 잠길 우려가 없는 지하수위 이하에 위치
•부식두께는 교량의 내구연한(100년)을 감안하여 강관말뚝의 전체두께에서 2mm를 공제한 단면을 설계에 반영하였으며, 부식두께 고려시 강관말뚝의 구조적 영향 없음

6.2 교량기초 재하시험 및 계측계획

기본방향	•설계시 산정한 기초의 지지력은 경험식이나 이론식에 의한 것으로 시공시 기초지반에 대한 현장시험을 통하여 확인 •기초의 재하시험은 기초를 설계함에 있어 필요한 설계정수 등을 얻거나 설계지지력의 결정 또는 기 시공된 말뚝의 지지력을 확인하는데 목적이 있음

6.2.1 직접기초 재하시험

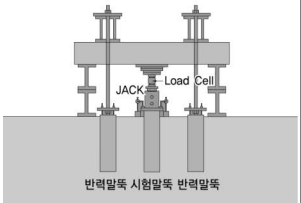
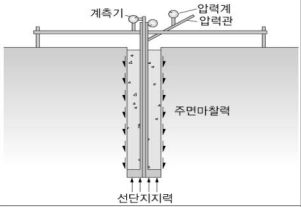
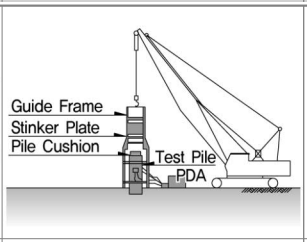
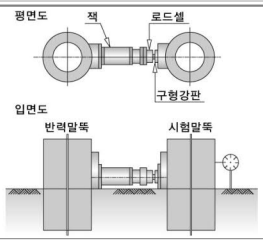


평판재하시험의 개요

- 평판재하시험의 시점은 얕은기초 시공전(굴착터파기 후)에 기초바닥면을 대상으로 시행하여야 하며, 시험방법은 KS F 2444-95, ASTM D1194-87 규정에 근거하여 시행
- 현장의 시험위치에 설치한 강성재하판에 단계적 하중을 가해서 침하량을 측정하고 측정된 침하 자료에서 지반의 전단 파괴유형, 극한 및 항복지지력, 지반반력계수, 변형계수 등을 산정
- 최대시험 하중 : 설계하중의 2~3배
- 적용 : 풍화암지지 얕은 기초의 지지력 확인

6.2.2 말뚝기초 재하시험

구 분		시험 횟수	시험 말뚝위치
동재하시험 (국도건설공사 설계 실무요령, 2013)	•구조물별 말뚝수 1~80본 까지	2 회	대각선상이나 감독자가 원하는 위치의 시험말뚝
	•구조물별 말뚝수 1~160본 까지	3 회	
	•구조물별 말뚝수 160본 이상	4 회	
정재하시험	•말뚝 250개당 또는 구조물별	1 회	
수평재하시험	•국내에는 별도 제시된 기준이 없어, 수평하중이 큰 교대에 실시하는 것으로 계획		
평판재하시험	•풍화암지지 직접기초에 대하여 재하시험 시행		
건전도시험	•국내에는 별도 제시된 기준이 없어, 현장타설말뚝 기초 교각당 1개소 이상 계획		

구 분	정재하시험		동재하시험	수평재하시험
	반력말뚝법	양방향 재하시험		
개념도				
하중 전달	•시험말뚝 주위의 말뚝 반력(마찰 및 자중) 이용 재하	•양방향 재하시험에 의한 주면마찰력과 선단지지력 을 상호반력으로 이용 재하	•램 또는 해머에 의한 동적 충격하중	•고정하중, 주변말뚝
관련 기준	•KS F 2445 •ASTM D 1143		•ASTM D 4945	•ASTM D 3936
적용	•현장타설말뚝기초의 경우 작용 하중이 커서 사하중 제작 및 재하의 어려움으로 원지반을 반력으로 사용하는 양방향 재하시험 적용 •말뚝기초의 정재하시험은 기 시공된 말뚝을 이용하여 경제적이고, 수평재하시험이 용이한 반력 말뚝법을 적용 •동재하시험은 (국도건설공사 설계실무요령, 2013)에 따라 실시하며, 정재하시험 값과 비교하여 적정성 검증			

6.2.3 교량기초 계측계획

•계측관리를 통해 계획시의 불확실한 조건에 대한 보완 및 시공 중 거동 예측 및 안정성 판단
•계측기 위치는 지반여건과 시공여건을 고려하여 계측항목별 기능과 목적이 최대한 발휘되도록 선정
•계측결과를 검토 분석하여 현장 시공상황과 여건변화를 종합적으로 판단·예측할 수 있는 위치 선정

○ 계측 선정 요인

계측항목	선 정 요 인
지 반 조 건	•지반특성 및 지하수 조건, 주변환경 고려 •설계, 시공방법의 불확실성을 고려
구조물 안정성	•침하 영향권 검토 및 인접구조물의 건전도 평가
계측방법과 기기특성	•작동원리의 안정성과 신뢰성 •측정조작 용이성과 내구성, 계기간의 상호 호환성

■ 계측 항목 및 용도

계측항목	계 측 기	계측빈도	계 측 내 용
수평변위	지중경사계	1회/1주	•편재하중에 의해 발생되는 지반의 수평변위 측정
변 위	구조물경사계	1회/1주	•편재하중에 의한 교대 기울어짐 측정

○ 계측 활용 계획

구 분	내 용	비 고
계측관리기준 설 정	•응력의 절대관리, 예측관리 및 계측값의 변화율 관리 •기존 구조물 실적 관리	시공초기, 계측데이터 수집
계측관리기준 재 설 정	•계측데이터, 응력변화 관계 회귀분석 및 구조물 안정성 평가	현장에 부합한 관리기준 설정
시공관리 및 대책	•계측결과에 따른 현장관리 등급 설정 •관리등급별로 발생 가능한 상황에 대해 대처방안 수립	Feed Back

○ 계측항목 및 측정계획

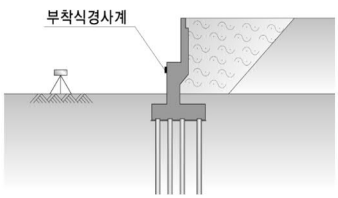
•설계시 지반상태를 시공시 재확인하고 문제발생시 보완대책(Feed Back)을 수립하기 위하여 다음과 같은 항목에 대하여 계측수행을 계획

■ 계측기 설치계획

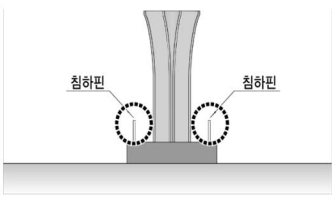
계측기 위치 선정시 고려사항

•지반조건 및 구조물 대표구간
•계측기 설치와 측정이 용이한 곳
•하중 및 변형이 집중 예상되는 곳

고성토 교대배면 수평변위측정



기초침하 측정(침하핀 설치)



제6편 비탈면 설계

제1장 비탈면 설계개요

제2장 비탈면 안정성 검토

제3장 비탈면 보호공법 선정

제4장 비탈면 시공 및 유지관리

제 1 장 비탈면 설계개요

1.1 설계개요

기본방향	•주변 환경을 고려하여 합리적, 경제적, 환경친화적 비탈면 설계 •현장조건을 반영한 여러 분석기법들(한계평형, 수치해석, 파괴확률 등)의 비교를 통한 최적 설계 •비탈면 보호공법 및 유지관리 계획으로 시공 중·후 및 장기적인 비탈면의 안정성 확보

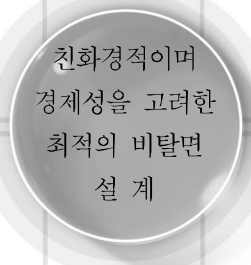
1.1.1 기본방향

지반조사 및 분석

•시추조사 및 시험결과의 상세 분석을 통한 합리적인 설계정수 산정
•시추공영상촬영, DHT등 각종 현장시험수행
•시추불가지역 탄성파탐사 수행

위험구간 선정 및 기준

•최근 강화된 설계기준과 국내외 기준을 비교 검토하여 안전측 설계 적용
•비탈면높이 및 지질특성을 고려한 대표단면 설정
•안정성·경제성을 고려한 보강 공법 선정



비탈면 안정성 검토

•Domain별 절리특성을 고려한 평사투영해석
•지반특성을 고려한 한계평형해석
•안정해석을 통한 최적 기울기 선정
•동적특성을 고려한 유사정적해석 수행

비탈면 안정대책

•낙석해석을 통한 낙석방지책 설치구간선정
•친환경적인 비탈면 보강, 보호공 선정
•Face Mapping에 의한 비탈면 관리 및 계측을 통한 유지관리 계획 수립

1.1.2 주요 검토사항

예비 및 상세조사	•인접 비탈면 설계 조사 분석 •현장조사, 지표지질조사분석을 통한 설계 자료 활용 •시추조사, 물리탐사, 각종 실내시험으로 해석에 필요한 기초자료 제공
지반정수 산정	•지반조사 결과분석 및 상관성 분석에 의한 설계 지반정수 도출 •연속체, 불연속체 지반정수의 체계적인 분석 및 결정
비탈면 안정검토	•다양한 분석기법의 도입으로 인한 해석결과의 비교, 분석으로 적정성 검증 •사업구간의 절리특성을 반영한 확률 절리망 구성 및 불연속체 정밀해석 수행 •불안정 비탈면에 대하여 여러 공법의 비교·분석을 통한 최적의 보강 · 보호공 선정
비탈면 내진설계	•유사정적해석 : 지진파별 지진응답해석을 통해 얻어진 지표면 최대가속도 적용
낙석, 낙반 분석	•낙석의 운동 역학적 에너지 개념도입으로 인한 낙석 · 낙반 분석 •낙석 이동거리 및 충격 에너지검토를 통한 낙석방지울타리의 설치여부 검토
비탈면 유지관리계획	•계측계획 수립, 시공 중 및 시공 후 유지관리 계획 제시

1.2 비탈면 현황 분석

기본방향	•지반조사 성과를 바탕으로 지질특성, 풍화도를 고려하여 안정성 검토 및 비탈면 경사 결정 •깎기 및 쌓기구간에 대한 안정성 검토 후, 보강공법 선정과 비탈면 경사를 결정하여 안정성 및 경제성을 고려한 비탈면 설계 수행 •대규모 깎기 발생 구간의 비탈면 최적 경사를 제시하여 산림훼손 최소화 방안 강구 •환경친화성을 고려하여 자연적인 식생이 가능한 비탈면 보호공법 선정

1.2.1 쌓기비탈면 지반특성 및 현황

◎ 쌓기비탈면 지반특성

•구조물구간 시추조사 결과, 쌓기구간의 원지반은 대부분 충적층 및 풍화토층으로 구성
•쌓기고 10.0m 이상인 구간은 제체내 또는 원지반 중 N값이 작은 토사층에서 파괴가 날 수 있으므로 공구별로 구분 대표단면을 선정하여 안정성 검토를 수행함
•대표구간 선정 시 연약지반 구간은 연약지반 쌓기 안정성 검토에 반영

◉ 쌓기비탈면 현황

구 분			측점 (STA.)			최대높이(m)	대표단면 (STA.)	비고
본선	쌓기1구간	문산	4+380	~	4+650	12.7	4+400	
	쌓기2구간	서울	5+248	~	5+520	14.3	5+340	
	쌓기3구간	서울	6+058	~	6+330	9.3	6+200	10m 이하
	쌓기4구간	문산	6+080	~	6+330	9.4	6+080	10m 이하
	쌓기5구간	서울	7+010	~	7+098	6.0	7+080	10m 이하
	쌓기6구간	문산	7+050	~	7+076	8.9	7+080	10m 이하
	쌓기7구간	문산	7+145		7+260.3	11.7	7+260.3	
	쌓기8구간	서울	7+175	~	7+260.3	18.5	7+260.3	
휴게소	쌓기9구간	서울	0+200	~	0+600	12.9	0+440	
	쌓기10구간	문산	0+370	~	0+785	10.3	0+620	

1.2.2 깎기비탈면 지반특성 및 현황

○ 깎기비탈면 지반특성

- 깎기비탈면 토사층은 시추조사결과 풍화토(SM), 풍화암으로 구성되어 있고, 대체적으로 풍화대가 두텁게 분포하며, 기반암의 암종은 흑운모편마암이 주로 분포함
- 깎기고 20m 이상인 구간과 토사층이 깊은 구간에 대하여 대표단면을 선정하여 안정성 검토를 수행함

▌본선 깎기비탈면 현황

구 분			측점 (STA.)	비탈면 유형		최대높이 (m)	검토단면 (STA.)	비고
휴게소	깎기1구간	서울방향	0+610 ~ 0+693	토사	좌측	3.7	0+693	10m 이하
	깎기2구간	문산방향	0+170 ~ 0+370	토사	우측	8.8	0+321	10m 이하
				암반	우측	2.5		10m 이하
본선	깎기3구간	서울방향	6+330 ~ 6+685	토사	좌측	13.7	6+660	
				암반	좌측	18.8	6+460	
	깎기4구간	문산방향	6+330 ~ 6+550	토사	우측	3.6	6+360	10m 이하
				암반	우측	14.1	6+440	
	깎기5구간	문산방향	6+650 ~ 6+700	토사	좌측	6.5	6+695	10m 이하
				암반	좌측	10.7	6+695	
	깎기6구간	서울방향	6+890 ~ 6+940	토사	우측	21.2	6+935	
				암반	우측	12.9	6+920	
	깎기7구간	서울방향	6+940 ~ 7+010	토사	우측	18.4	6+960	
				암반	우측	8.4	6+960	10m 이하
	깎기8구간	문산방향	6+965 ~ 7+050	토사	우측	17.0	6+980	
				암반	우측	5.6		10m 이하

▌갱구부 비탈면 검토구간

구 분			측점	비탈면 유형	최대높이 (m)	대표단면 (STA.)	비고
성라터널	시점부	서울방향	좌측	토사/암반	25.9	6+690	
			배면	토사/암반	20.6		
		문산방향	좌측	토사/암반	21.5	6+705	
			우측	토사/암반	12.3		
			배면	토사/암반	16.0		
	종점부	서울방향	좌측	토사/암반	14.2	6+890	
			우측	토사/암반	29.9		
			배면	토사/암반	20.8		
		문산방향	우측	토사/암반	27.8	6+965	
			배면	토사/암반	19.5		

1.3 비탈면 설계기준

1.3.1 비탈면 기울기 기준

○ 쌓기 비탈면 기울기 기준 검토

- 쌓기 비탈면의 표준기울기는 비탈면의 안정성 확보에 필요한 최소 기울기를 나타내는 것으로 쌓기재의 토질조건, 쌓기 높이, 쌓기 재료의 다짐특성을 고려하여 계획
- 국토교통부, 한국도로공사, 한국토지공사, 한국주택공사의 설계기준을 비교 검토

■ 국내 여러 기관의 쌓기 비탈면 표준기울기

토 질 조 건	비탈면높이	경사기준			
		국토교통부	한국도로공사	한국토지공사	한국주택공사
토사	6m이상	–	1 : 1.8	–	–
	0~6m	–	1 : 1.5	–	–
	5m이상	1 : 1.8	–	1 : 2.0	–
	0~5m	1 : 1.5	–	1 : 1.5	–
입도분포가 좋은 모래 및 자갈 섞인 모래, 사질토 및 굵은 모래	6m이상	–	–	–	1 : 2.0
	3~6m	–	–	–	1 : 1.8
	0~3m	–	–	–	1 : 1.5
입도분포가 나쁜 모래, 연약한 점성토	6m이상	–	–	–	별도적용
	3~6m	–	–	–	1 : 2.0
	0~3m	–	–	–	1 : 1.8

■ 한국도로공사(도로설계요령, 2009)

쌓기 재료	쌓기 높이(m)	기 울 기	흙의 분류
입도분포가 좋은 모래	0~6	1:1.5	GW, GP, SW, GM, GC
자갈 및 자갈 섞인 모래	6~15	1:1.8	
입도분포가 나쁜 모래	0~10	1:1.8	SP
암괴, 암버력	0~6 6이상	1:1.5 1:1.8	SW, GP, GM
사질토, 굳은 점질토, 굳은점토 (홍적층, 점성토, 점토 등)	0~6 6이상	1:1.5 1:1.8	SM, SC, CL
연약한 점성토	0~6	1:1.8	CH, OH, ML, MH

■ 쌓기비탈면 기울기의 설계기준 결정

흙쌓기 높이	적용경사	소단설치	적 용 기 준
0~5m	1:1.5	H=5m마다 1m의 소단설치	•국토교통부 및 한국도로공사 표준경사 적용 •안정검토 후 최종 경사 결정
5m 이상	1:1.8		

○ 깎기 비탈면 기울기 기준 검토

•깎기대상비탈면 원지반의 물성, 지질구조 및 깎기시 발생하는 발파진동, 응력해방, 장기간의 노출에 의한 풍화 등을 고려하여 깎기비탈면의 경사를 결정하는 것이 중요하며, 일반적으로 적용되는 설계기준은 다음과 같음

▌암반의 특성에 따른 표준비탈면(한국도로공사, 도로설계요령(2009))

암 석 종 류 (강도)	암반 파쇄상태(NX (BX))		굴착 난이도	기울기	소단 설치	비 고
	TCR(%)	RQD(%)				
풍화암 또는 연 · 경암으로 파쇄가 극심한 경우	20% 이하 (5% 이하)	10% 이하 (0%)	리핑암	1:1.0~1.2	H=5m마다 1m 폭	•최하단 기준 매 20m마다 3m 소단 설치 •발파암과 리핑암 사이에는 소단을 설치하지 않음 •소단사이에 토사와 리핑 구분선이 발생 시 많은 쪽 비탈면 경사를 적용
강한 풍화암으로 파쇄가 거의 없는 경우와 대부분의 연·경암	20~40% (10~30%)	10~25% (0~10%)	발파암 (연암)	1:0.8~1.0	H=10m마다 1~2m 폭	
	40~60% (30~50%)	25~50% (10~40%이상)	발파암 (보통암)	1:0.7		
	60% 이상 (50% 이상)	50% 이상 (40% 이상)	발파암 (경암)	1:0.5	H=20m마다3m 폭	

▌국내 여러 기관의 깎기비탈면 표준경사

토 질 조 건		비탈면 높이	비탈면경사 기준			
			국토교통부	한국도로공사	한국토지공사	한국주택공사
토 사 (사질토, 점성토)		5m 이상	1:1.5	1:1.5	1:1.5	1:1.5
		0~5m	1:1.2	1:1.2	1:1.2	1:1.2
리핑암 (풍화암)		5m 이상	1:1.0	1:1.0	1:1.0	1:1.2
		0~5m				1:1.0
발 파 암	연 암	5m 이상	1:0.5	1:0.5~0.8	1:0.5	1:1.0
		0~5m				1:0.8
	경 암	5m 이상				1:0.8
		0~5m				1:0.5

▌깎기비탈면 경사의 설계기준 결정

•연암층과 경암층을 구분하여 발파암의 경사를 결정할 경우, 현장 시공시 연 · 경암을 판단하는 것이 현실적으로 어렵기 때문에, 본 설계에서는 연 · 경암의 구분 없이 발파암의 경사를 일률적으로 적용
•따라서, 암반층의 경사는 1:0.7로 적용하는 것을 기준으로 하며, 암반비탈면의 안정검토를 실시한 후 최종적으로 비탈면의 경사를 결정

구분	설계적용 비탈면경사	적 용 기 준
토 사	1 : 1.2~1.5	•토사, 리핑암은 국토교통부 및 한국도로공사 표준경사 적용
리 핑 암	1 : 1.0	
발 파 암	1 : 0.7	•발파암은 안정검토 후 최종 경사 결정

설계적용 비탈면 표준기울기

- 지반조사 결과를 바탕을 토질 및 암질상태를 평가하여 설계 표준기울기 결정 자료로 활용
- 설계적용 기준은 최근 발간된 국토교통부의 "건설공사 비탈면 설계기준" (2011)를 적용

구분		비탈면 높이	설계적용		적 용 기 준
			영구비탈면	임시비탈면	
쌓기비탈면		0~5m	1:1.5		• 용지폭원을 벗어나지 않는 범위내에서 적용 • 표준기울기 적용시 비탈면이 용지 폭원을 벗어나는 경우, 구간별 경사를 구분하여 적용
		5m 이상	1:1.8		
깎기 비탈면	붕적층	–	1:1.2~1.8	1:1.0	
	토사	0~5m	1:1.2		
		5m 이상	1:1.5		
	리핑암	–	1:1.0	1:0.5	
	발파암	–	1:0.7	1:0.3	

1.3.2 비탈면 소단 설치기준

- 소단의 폭은 1m 이상을 표준으로 하고 있으나, 강우에 의해 침식되기 쉬운 토질에서는 토사가 소단상에 쌓일 우려가 있으므로 안정검토 결과에 따라 확폭을 적용함
- 소단에 배수설비 설치시 산측으로 5~10%의 횡단경사를 주고, 배수설비가 필요하지 않은 경우에는 본선측으로 0~5%의 횡단경사 적용
- 현장 상황에 따라 소단 설치 폭 변경 가능

기관별 소단 설치기준

기관 및 규정명		비 고
국토교통부 도로시설 기준		• H = 5 ~ 10m마다 소단 1.0 ~ 1.5m
국토교통부 건설공사 비탈면설계기준 (2011)	쌓기	• H = 5m마다 소단 1m
국토교통부 국도건설공사 설계실무요령 (2008)	깎기	• 토사, 리핑암 H = 5m마다 소단 1m • 발파암 H = 20m 마다 소단 3m
토지공사 공사비 적산기준		• H = 6m마다 소단 1m

설계적용소단 설치기준

기관 및 규정명		설계적용	비고
쌓기 비탈면	5m 이하	5m 마다 1m 소단	• 국토교통부 건설공사 비탈면 설계기준(2011) 적용
	5m 이상		
깎기 비탈면	토사	5m 마다 1m 소단	
	리핑암		
	발파암	20m 마다 3m 소단	

1.3.3 허용안전율 기준

•안전율 F.S ≥ 1.0 일 경우에 이론적으로 안전한 것으로 해석할 수 있으나 설계시 비탈면의 불확실성으로 인한 여건을 감안하여 허용안전율을 설계에 적용
•입지조건과 공사내용, 비탈면의 중요도, 비탈면 파괴시 주변에 미치는 영향 및 경제성과 시공성에 따라 비탈면의 허용안전율 결정

○ 쌓기 비탈면 안전율 적용 기준

■ 한국도로공사 (도로설계요령, 2009)

구분	기준 안전율	참 조
건기시	Fs > 1.5	•지하수가 없는 것으로 해석하는 경우
우기시	Fs > 1.3	•일반적인 쌓기 비탈면은 별도의 지하수위 조건 없음. •한쪽 쌓기, 한쪽 깎기 비탈면에서는 측정한 지하수위 또는 침투해석을 통한 지하수위를 이용하여 해석 •쌓기 표면에 강우침투가 발생하는 경우에는 강우침투를 고려한 해석 실시
지진시	Fs > 1.1	•지진관성력은 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용시킴 •지하수위는 실제측정 또는 침투해석을 수행한 지하수위
단 기	Fs > 1.0~1.1	•1년 미만의 단기적인 비탈면의 안정성

■ 국토교통부 (건설공사 비탈면 설계기준, 2011)

구분	기준 안전율	참 조
건기시	Fs > 1.5	•쌓기체 내에 지하수가 없는 것으로 해석
우기시	Fs > 1.3	•지하수 조건은 지반조사 결과, 지형조건 및 배수 조건 등을 종합적으로 판단하여 안정성에 가장 불리한 상태가 발생하는 조건에 대하여 수행 •한쪽쌓기, 한쪽깎기 비탈면에서는 상기조건에 따라 산정한 지하수위 또는 침투해석을 통한 지하수위를 이용하여 해석 •쌓기 표면에 강우강도, 강우지속시간 등을 고려하여 강우침투를 고려한 해석 실시
지진시	Fs > 1.1	•지진관성력은 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용시킴 •지하수위는 우기시 조건과 동일하게 적용
단 기	Fs > 1.0~1.1	•1년 미만의 단기적인 비탈면의 안정성(시공중 포함) •지하수 조건은 장기안정성 검토의 우기시 조건과 동일하게 적용

◎ 깎기 비탈면 안전율 적용 기준

■ 한국도로공사 (도로설계요령, 2009)

구분	기준 안전율	참 조
건기시	Fs > 1.5	•지하수가 없는 것으로 해석하는 경우
우기시	Fs > 1.2 또는 Fs > 1.3	•암반비탈면은 인장균열의 1/2심도까지 지하수를 위치시키고 해석 수행, 토층 및 풍화암은 지표면에 지하수를 위치시키고 해석 수행(Fs=1.2 적용) •강우의 침투를 고려한 해석을 실시하는 경우(Fs=1.3 적용) •위 두 가지 조건 중 선택적으로 1가지 조건을 만족시켜야 함
지진시	Fs > 1.1	•지진관성력은 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용시킴 •지하수위는 실제측정 또는 평상시 지하수위 측정
단 기	Fs > 1.0	•1년 미만의 단기간의 안정성 검토시

■ 국토교통부 (건설공사 비탈면 설계기준, 2011)

구분	기준 안전율	참 조
건기시	Fs > 1.5	•지하수가 없는 것으로 해석
우기시	Fs > 1.2 또는 Fs > 1.3	•연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 1/2심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 Fs=1.2를 적용 •토층 및 풍화암으로 구성된 비탈면의 안정해석은 지하수위를 결정하여 해석하는 방법 또는 강우의 침투를 고려한 방법 사용 가능 •지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정하는 근거를 명확히 기술(Fs=1.2 적용) •강우의 침투를 고려한 안정해석을 실시하는 경우에는 현장지반조사 결과, 지형조건, 배수조건과 설계계획빈도에 따른 해당지역의 강우강도, 강우지속시간 등을 고려하여 안정해석을 실시하며, 해석시 적용한 설계정수와 해석방법을 명확히 기술(Fs=1.3적용)
지진시	Fs > 1.1	•지진관성력은 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용 •지하수위는 우기시 조건과 동일하게 적용
내진설계 지진시	Fs > 1.1	•지진관성력은 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용 •지하수위는 실제 측정 또는 평상시의 지하수위 적용
단 기	Fs > 1.0	•1년 미만의 단기간의 안정성 검토시 •지하수 조건은 장기안정성 검토의 우기시 조건과 동일하게 적용

◎ 설계적용 안전율

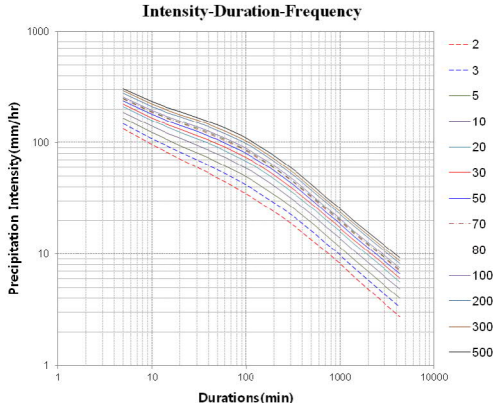
구분	쌓기 비탈면	깎기 비탈면	참 조
평 상 시	Fs > 1.5	Fs > 1.5	•한국도로공사 도로설계요령 (2009), •국토교통부 (건설공사 비탈면 설계기준, 2011) •장기적인 비탈면 안정 등을 고려하여 최근 고속도로 설계시 적용되고 있는 기준 적용
우 기 시	Fs > 1.3	Fs > 1.2	
지 진 시	Fs > 1.1		

1.3.4 지하수위 적용기준

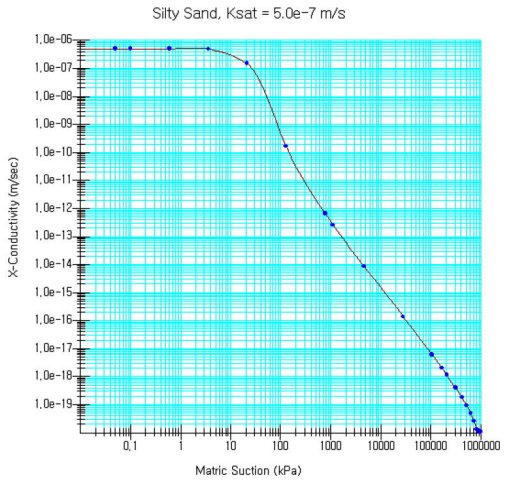
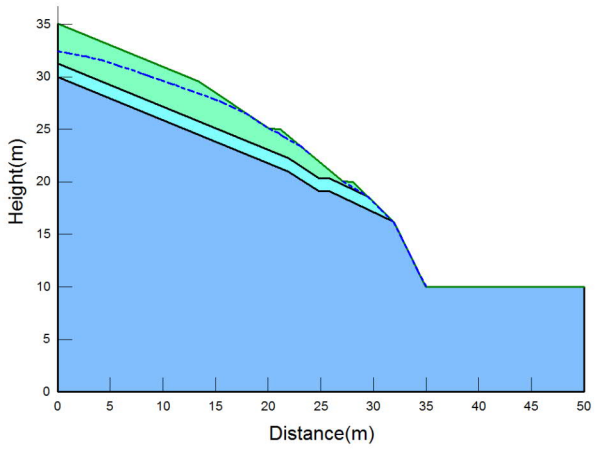
•쌓기비탈면의 경우에는 인공적으로 조성하는 비탈면이므로 설계에 반영된 각종 배수시설과 우수의 표면침투 방지시설을 고려하여 지하수위를 원지반까지 수위로 설정

•깎기비탈면의 경우에는 건설공사 비탈면 설계기준(2011)에"현장지반조사결과, 지형조건, 배수조건과 설계계획빈도에 따른 해당지역의 강우강도, 강우지속시간 등을 고려하여 안정해석을 실시하며, 해석시 적용한 설계정수와 해석방법을 명확히 기술"을 제시하고 있으므로 이를 근거로 검토 조건 및 방법을 수립

○ 침투해석 방법(침투류 해석에 이용된 강우강도 및 해석조건)

서울지역 확률강우량도 (국토교통부)	해 석 조 건
	• 투수계수 : 해당지층의 투수계수 이용 • 강우강도 : 100년 빈도, 지속시간 24시간 적용하여 지하수위 상승고를 검토(15.9mm/hr) • 지하수위 : 시추조사에서 확인된 지하수위, 암경계면

○ 함수특성곡선(비정상류 침투류 해석에 이용된 함수특성곡선 및 해석결과)

Conductivity-Suction 관계	대표단면 침투류 해석결과
	

•대표단면에 강우의 침투를 고려한 안정해석을 실시한 결과, 지하수위 포화심도가 지표면 포화와 큰 차이가 없으므로 안정성을 고려하여 지하수위는 지표면 포화하는 것으로 적용

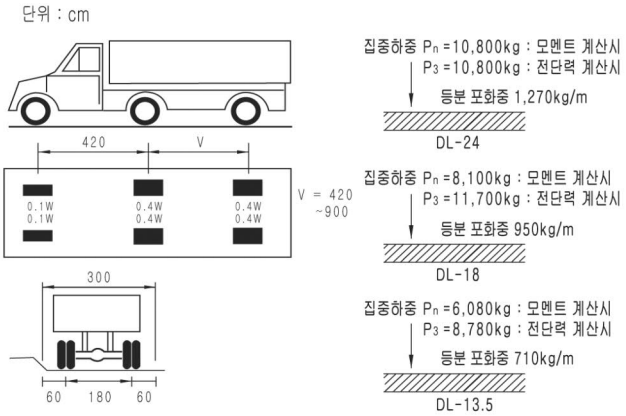
1.3.5 설계 하중

•구조물이 존재하는 경우 실제 작용 접지압을 적용하였으며 도로부 상단의 교통하중은 도로교시방서에 기준하여 상재하중 q=13kN/m으로 고려

○ 적용 기준

구 분	적 용 값	비 고	적 용 기 준
구조물하중	실제접지압	•구조물로 인해 발생되는 하중	
교통하중	13kN/m	•차량통행에 따른 차량하중(DB-24)	

•비탈면 상단에 구조물이 존재하는 경우 실제 기초면에 작용하는 접지압 적용
•비탈면에 작용하는 하중에는 구조물로 인한 하중과 차량주행에 따른 교통하중으로 구분되며 쌓기 비탈면인 경우에는 쌓기 높이를 고려하여 쌓기체 상단에 상재하중 적용



○ 지진하중

•지진응답해석을 수행하여 얻어진 지진하중을 고려하여 비탈면 해석
•설계지진하중 산정 : $F_h = 0.5 \times K_H \times W$
•설계지진하중은 비탈면의 수평변위를 일부 허용하는 개념을 도입하여 지표면 최대지진 가속도의 50% 고려

○ 지진구역에 따른 설계 지반운동 수준(국토해양부, 도로교설계기준, 2010)

•내진설계기준은 1등급 붕괴방지수준이며, 사업구간은 지진구역 Ⅰ(경기북부)에 해당되므로 본 설계적용 지반운동수준은 다음과 같음

내진등급	재현주기	구역 가속도	위험도 계수	설계지반운동수준
1등급	1000년	0.11g	1.4	0.154g

1.4 설계지반정수 산정

기본방향	•설계지반정수는 현장조사의 성과분석 결과에서 도출된 값을 우선하여 적용하되 기존 경험식, 문헌, 적용사례 등과 비교·검토 후 최종 선정

1.4.1 연속체 설계지반정수

구 분		r_t(kN/m³)	c(kPa)	Φ	E(MPa)	ν	V_s(m/s)	G_d(MPa)	K(cm/s)
매립층	자 갈	19	0	35	11	0.33	180	62	5.4×10^{-4}
퇴적층	점성토	17	15	0	6	0.50	200	68	1.2×10^{-7}
	모 래	18	0	30	10	0.35	170	52	6.6×10^{-4}
	자 갈	19	0	35	14	0.32	190	69	5.9×10^{-3}
풍화대	풍화토	17.5	22	28.5	45	0.33	392	268	2.4×10^{-4}
	풍화암	20	30.0	31	150	0.30	544	592	4.5×10^{-5}
기반암	연 암	24	800	34	700	0.26	954	2,184	3.9×10^{-6}
	경 암	25	2,000	36	4,000	0.24	1,235	3,813	1.9×10^{-6}

구 분	r_t(kN/m³)	c(kPa)	Φ	비고
쌓기재(토사)	18.0	15.0	28.0	

1.4.2 불연속체 설계지반정수

•충분한 절리특성시험 수행 및 시추코아 전체에 대한 공학적 특성 분석

○ 불연속체 설계지반정수

암 종	c(kPa)	Φ	비고
편마암	47.0	34.0	

제 2 장 비탈면 안정성 검토

2.1 설계개요

기본방향	•쌓기 비탈면 중 쌓기고가 10.0m인 이상인 구간에 대하여 안정성 검토 •깎기 비탈면 중 토사층이 깊고 지층변화가 심한 구간에 대하여 대표단면 선정 •비탈면 한계평형해석 검토 후 확률분포 및 수치해석을 수행하여 해석의 신뢰도 검증

2.1.1 토사 및 풍화암 비탈면 안정해석

•한계평형해석 및 수치해석 그리고 통계기법을 이용한 토사비탈면 안정해석 수행
•토사비탈면 상세해석을 위한 응력–변형해석 병행
•해석결과 비교 검토 및 비탈면의 전체적인 안정성 확인

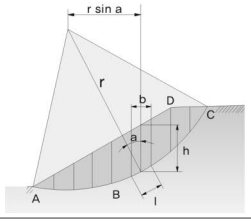
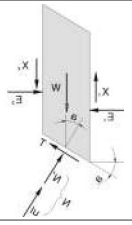
○ 개 요

•일반적으로 적용되는 한계평형해석 및 지하수 모델의 불합리성을 극복하기 위해 한계평형해석과 유한요소해석간의 연계해석을 수행
•강도감소법을 이용하여 지반내 응력 상태를 재현, 보다 실제에 가까운 파괴 활동 및 지반내 응력변화, 비탈면에서의 전단파괴 영역 및 소성범위를 확인
•지반의 불확실성을 고려하기 위한 통계적 기법을 이용한 분석

○ 한계평형 해석 (Limit Equilibrium Analysis)

▮ 이론적 배경

•비탈면의 안정성 해석시 널리 사용되는 해석방법들은 한계평형 이론을 적용하고 있으며, 산정한 안전율이 허용안전율 이상이 되면 비탈면은 파괴에 대해 안정한 것으로 판단
•한계평형이론에 의한 비탈면안정 해석방법은 여러 가지가 있으며 그 정확성은 강도정수의 결정과 지반의 파괴형태를 의미하는 파괴모드의 가정방식에 의해 좌우됨
•파괴모드는 토사비탈면의 경우 지층구성에 의해 원호, 평면 혹은 복합활동파괴 등으로 구분
•토사비탈면의 파괴모드는 곡면형태의 함수(원호 혹은 대수나선 등)로 가정하여 해석을 수행

가상파괴면	n번째 절편에 작용하는 힘
	

• $Fs = \frac{1}{\sum W_n \sin\alpha} \sum (cb_n + W_n \tan\phi + \Delta T \tan\phi) \frac{1}{m_{\alpha(n)}}$ ⋯ ⑥ • $m_{a(n)} = \cos\alpha_n + \frac{\tan\phi \times \sin\alpha_n}{F_s}$ ⋯ ⑦

여기서, Wn : n번째 절편에 흙의 중량(= γ×b×h)(K/m)
α : 경사각(°) c : 흙의 점착력 (MPa)
bn : n번째 절편의 폭(m) φ ⋯ ⑥ : 흙의 내부 마찰각(°)
ΔT : $T_n = T_{n+1}$ ⋯ ⑥ n : n 절편의 측면에 작용하는 수평력

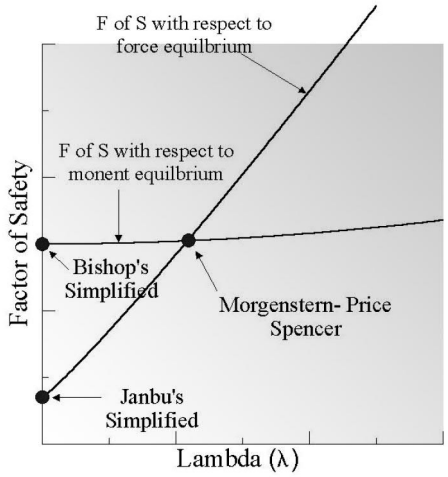
한계평형방법비교 (지반공학 시리즈5, 비탈면안정)

- 모든 평형조건을 만족시키는 비탈면안정 해석법으로 구한 안전율은 정해와 약 ±5% 이내의 오차 보임
- Bishop의 간편법은 정해로 볼 수 있음(비탈면 선단부에서 활동면의 경사가 대단히 급할 때에는 예외)
- Fellenius 방법은 안전율을 과소평가함
- 전응력 해석법(ru=0)은 실용상 허용범위 내에 있지만, 유효응력 해석법은 간극수압비가 큰 경우 큰 오차를 유발하므로 Fellenius 방법은 전응력 해석법에 적용, 유효응력 해석법에는 부적합
- 전응력 해석방법에서 원호 활동면에 대해 모멘트 평형을 만족시키는 방법은 모두 정해를 산정

한계평형방법의 선정

- 여러 한계평형방법들과 그 방법들이 제안한 가정에 의해서 결과값이 조금씩 상이함
- 전단 및 수직 절편력과의 관계를 표현하는 λ값과 안전율과의 그래프를 통해 적용방법의 적정성을 판단
- 모멘트 평형에만 근거를 둔 방법은 비교적 절편력의 영향을 적게 받는 반면, 힘 평형에만 근거를 둔 방법은 절편력의 영향을 많이 받음
- 집중하중이나 앵커하중이 작용하는 경우와 같이 모멘트 평형에만 근거를 둔 방법이 절편력에 크게 영향을 받는 경우도 존재
  - 모멘트와 힘을 동시에 고려한 방법이 절편력에 영향을 적게 받음
  - 본 사업의 한계평형분석 방법은 모멘트와 힘을 동시에 고려한 방법 중 Bishop방법으로 선정함

모멘트, 힘평형조건의 안전율 변화 추이



해석 Program 비교

Program	개 발 자	해 석 방 법	활동면 형 상	활동면 추정 여부	외부 하중 적용	간극수압		비 고
						정수압	간극수 압계수	
PC STABLE5 PC STABLE6	Carpenter (1985)	Bishop, Janbu, Spencer	원호, 비원호 블록	○	○	○	○	
STABR	Lefevre (1971)	Bishop, Fellenius	원호	○	×	○	×	
SLOPER	Wright and Duncan (1986)	Spencer	비원호	×	×	○	×	
SLOPE/W	Fredlund (Geo-Slope)	Fellenius, Bishop, Janbu, Spencer Morgenstern-Price	원호, 비원호 블록	○	○	○	○	
TALREN	Terrasol	Fellenius, Bishop Janbu, Spencer, Morgenstern-Price	원호, 비원호 블록	○	○	○	○	

2.1.2 암반 비탈면 안정해석

- 현장조사결과를 반영한 평사투영해석, SMR평가 등을 통하여 암반비탈면 안정성 예비평가
- 잠재적인 파괴가능성을 내포한 비탈면에 대해 한계평형해석 및 수치해석 수행
- 암반 절리특성의 불확실성을 고려한 암반비탈면의 파괴확률 산정

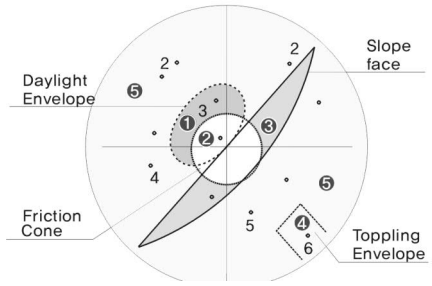
○ 개 요

- 현장 지질조사를 통하여 조사된 불연속면의 절리방향과 내부마찰각을 평사투영하여 암반 비탈면 붕괴유형별 안정성 평가(DIPS)
- 절리면을 따라 암괴에 미치는 응력분포와 절리면의 전단저항특성, 지하수 조건 등을 고려한 한계평형식을 적용하여 비탈면 안정해석 수행(SWEDGE, ROCPLANE)

○ 평사투영해석 (Stereographic Projection Method)

- 평사투영법은 대원(Great Circle, 쐐기파괴의 가능성 예측)과 극점(Pole, 평면 및 전도파괴의 가능성 예측)으로 해석하는 두 가지 방법으로 대별
- 불연속면의 긴 연장선 외에 충진물 협재, 지하수 유동 등 위험요소를 내포한 절리와 단층과 같은 불연속면은 평사투영 해석시 방향성이 우세하게 나타나지 않아도 중요 위험불연속면으로 고려하여 해석

▮ 검토 방법

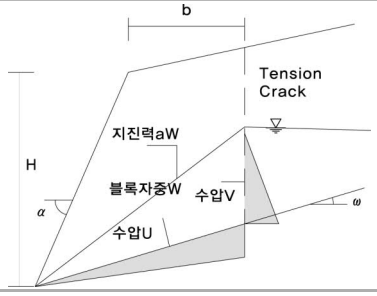


❶ 지역 : 불연속면의 경사가 마찰각보다 큰 Daylight로서 불안정한 지역
❷ 지역 : 불연속면의 경사가 마찰각보다 작은 Daylight로서 안정한 지역
❸ 지역 : 불연속면의 경사가 마찰각보다 작으며, Daylight도 아닌 안정한 지역
❹ 지역 : Toppling 붕괴의 위험성이 잠재된 불안정한 지역
❺ 지역 : 불연속면의 경사가 마찰각보다 크더라도 Daylight나 Toppling Envelope이 아니므로 안정한 지역

○ 한계평형해석 (Limit Equilibrium Analysis)

- 한계평형해석은 암반블록의 자중, 절리면의 마찰각 및 점착력, 암반간극수압 등을 고려하여 암반블록에 대한 비탈면 안정계수(Safety Factor)로 나타내는 방법

▮ 평면파괴해석 (Plane Failure)



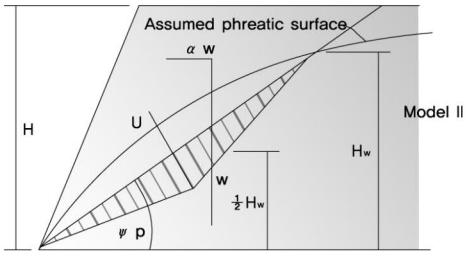
- 단위두께의 절편으로 생각, 파괴블록의 양측면은 미끄럼 저항이 없는 자유면으로 간주
- 미끄럼 인장균열은 비탈면에 평행(비탈면의 주향과 인장균열의 주향이 같음)
- 파괴면의 자중, 수압에 의한 양압력 및 수압 등은 블록의 중심을 통하여 작용 $b/H = \sqrt{\cot\alpha\cot\omega - \cot\alpha}$
  ω : 불연속면의 경사 α : 비탈면의 경사

인장균열을 고려하지 않는 경우의 평면파괴 한계평형해석	
평상/우기시의 경우	$F=\frac{c\cdot A+[W\cos\Psi_p-U]\tan\phi}{W\sin\Psi_p}$
지진시의 경우	$F=\frac{c\cdot A+W(\cos\Psi_p-\alpha\sin\Psi_p)\tan\phi}{W(\sin\Psi_p+\alpha\cos\Psi_p)}$

A : 파괴면의 면적 W : 암괴의 중량 H : 비탈면의 높이 Hw : 지하수로 포화된 비탈면의 높이
Ψ_p : 파괴면의 경사 α : 지진가속도 ϕ : 절리면의 내부 마찰각 U : 파괴면상의 수압에 의한 양압력

- $A=H_w\,\mathrm{cosec}\,\Psi_p$
- $U=\frac{\gamma_w(H_w)^2\,\mathrm{cosec}\,\Psi_p}{4}$

인장균열이 없는 경우



인장균열을 고려하는 경우의 평면파괴 한계평형해석

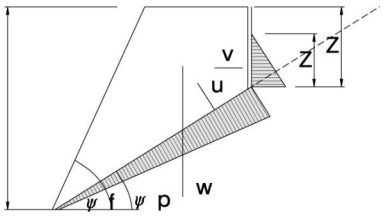
$$F=\frac{C\cdot A+(W\cos\Psi_p-U-V\cdot\sin\Psi_p)\tan\varnothing}{W\cdot\sin\Psi_p+V\cdot\cos\Psi_p}$$

$$A=(H-Z)\,\mathrm{cosec}\,\Psi_p,\quad V=\frac{\gamma_w Z_w^2}{2}$$

$$U=\frac{\gamma_w Z_w(H-Z)\,\mathrm{cosec}\,\Psi_p}{2}$$

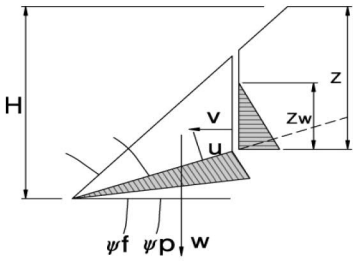
A : 파괴면의 면적 H : 비탈면의 높이
Z : 인장균열 깊이 W : 암괴의 중량
Ψ_p : 파괴면의 경사
U : 파괴면에 작용하는 수압에 의한 양압력
V : 인장균열속의 수압에 의한 힘 ϕ

상부비탈면에 인장균열이 있는 경우



$$W=\frac{\gamma^2H^2((1-(Z/H)^2)\cot\Psi_p-\cot\Psi_f)}{2}$$

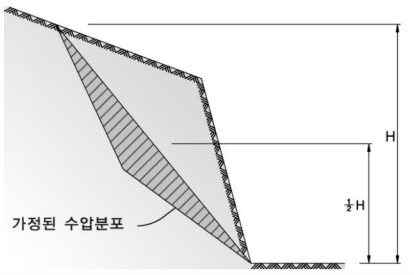
비탈면내에 인장균열이 있는 경우



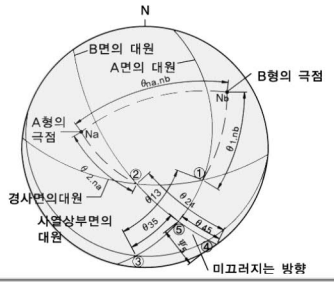
$$W=\frac{\gamma^2H^2((1-(Z/H))^2\cot\Psi_p(\cot\Psi_p\tan\Psi_f-1)}{2}$$

쐐기파괴 해석 (Wedge Failure)

해석을 위한 쐐기파괴 모식도



평사투영망에서의 해석



프 로 그 램 개 요

- 쐐기파괴의 미끄러짐은 두 절리군의 교선을 따라 발생한다는 가정하에 Mohr-Coulomb 파괴기준을 이용하여 안전율을 계산
- 해석프로그램(SWEDGE) : 비탈면내 두 절리의 교차로 인하여 쐐기파괴의 발생가능성과 안정성 분석을 위한 프로그램으로서 캐나다 Toronto 대학의 Rock Engineering Group에서 개발
- 파괴조건 및 원리는 Hoek의 이론에 바탕을 두었으며, 다음과 같은 특징이 있음
  - 쐐기파괴에 대한 안전율 계산 및 쐐기에 대한 록볼트 보강 후의 안전율 계산
  - 쐐기파괴의 평사투영도 및 3차원 단면도 제시

기 본 이 론

- 쐐기파괴를 이루는 두 불연속면을 각각 A, B(A가 B보다 완만한 경사)

$$F=\frac{3}{\gamma H}(C_A X+C_B Y)+(A-\frac{\gamma_w}{2\gamma}X)\tan\phi_A+(B-\frac{\gamma_w}{2\gamma}Y)\tan\phi_B$$

C_A, C_B : A면과 B면의 점착강도 ϕ_A, ϕ_B : A면과 B면에서의 마찰각

γ : 암석의 단위중량 γ_w : 물의 단위중량 H : 쐐기의 전체높이

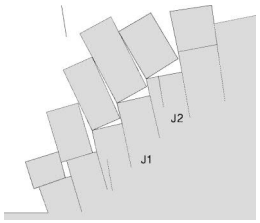
여기서, X, Y, A, B 는 쐐기의 기하형상에 좌우되는 무차원 요소

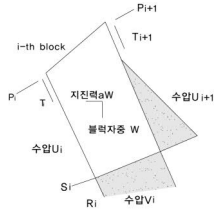
$$X=\frac{\sin\Theta_{24}}{\sin\Theta_{45}\cos\Theta_{2na}} \qquad Y=\frac{\sin\Theta_{13}}{\sin\Theta_{35}\cos\Theta_{1nb}}$$

$$A=\frac{\cos\Psi_a-\cos\Psi_b\cos\Theta_{na-nb}}{\sin\Psi_5\sin^2\Theta_{na-nb}} \qquad B=\frac{\cos\Psi_b-\cos\Psi_a\cos\Theta_{na-nb}}{\sin\Psi_5\sin^2\Theta_{na-nb}}$$

ϕ_a와 ϕ_b는 각각 A, B면의 경사, ϕ_5는 교선의 경사

전도파괴해석 (Toppling Failure)





- 파괴조건 : 경사방향이 비탈면과 반대방향이며 경사각이 급한 불연속면(J_{1})이 높은 빈도로 발달하고 비탈면보다 경사각이 작은 불연속면(J_{2})이 존재하는 경우에 전도파괴의 가능성이 있으며, 이때 불연속면(J_{1})의 반복적인 발달로 형성된 무게중심이 비탈면 저면부보다 외부로 치우쳐야함
- 한계평형해석법
  - 암반절편의 회전에 의한 전도하중이 인접한 암반절편에 전달
  - 암반절편에 작용하는 자중(W), 수압(U, V), 수평지지력(aW), 절편간에 전달되는 법선력(P_{i}, P_{i+1}, N_{i}), 전단력(T_{i}, T_{i+1}, R_{i})을 이용하여 힘의 평형식, 모멘트 평형식을 수립 ➡ 전달되는 전도하중 산정
  - 비탈면 상부로부터 하부 마지막 절편으로 전달된 전도하중(P_{1})이 0보다 큰 경우 전도파괴 발생

2.2 쌓기 비탈면 안정성 검토

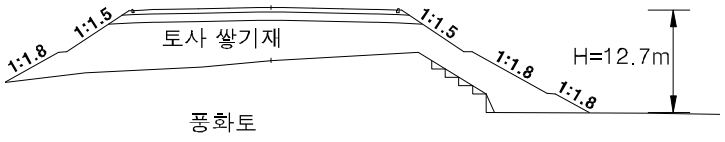
기본방향	•시공 후 차량의 하중을 고려하여 교통하중(13kN/㎡) 적용 •쌓기고 10.0m이상구간과 지하수위가 원지반고 이상 상승하지 않는 것으로 가정하여 검토수행

2.2.1 쌓기 비탈면 안정성 검토

○ 쌓기부 검토 현황

구 분			측점 (STA.)			최대높이(m)	대표단면 (STA.)	비고
본선	쌓기1구간	문산	4+380	~	4+650	12.7	4+400	
	쌓기2구간	서울	5+248	~	5+520	14.3	5+340	
	쌓기3구간	서울	6+058	~	6+330	9.3	6+200	10m 이하
	쌓기4구간	문산	6+080	~	6+330	9.4	6+080	10m 이하
	쌓기5구간	서울	7+010	~	7+098	6.0	7+080	10m 이하
	쌓기6구간	문산	7+050	~	7+076	8.9	7+080	10m 이하
	쌓기7구간	문산	7+145		7+260.3	11.7	7+260.3	
	쌓기8구간	서울	7+175	~	7+260.3	18.5	7+260.3	
휴게소	쌓기9구간	서울	0+200	~	0+600	12.9	0+440	
	쌓기10구간	문산	0+370	~	0+785	10.3	0+620	

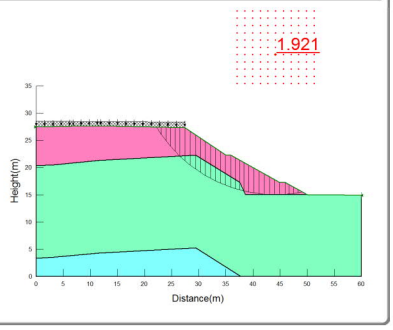
○ 쌓기 1구간 STA. 4+400 (표준 경사 쌓기재 1 : 1.5 ~ 1.8 적용)

검 토 단 면


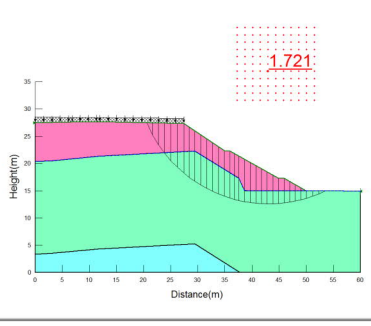
쌓기고(m)	퇴적층(m)	풍화토(m)	풍화암(m)
12.7	–	5.0 이상	–

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	1.921	O.K
우기시	1.30	1.721	O.K
지진시	1.10	1.457	O.K

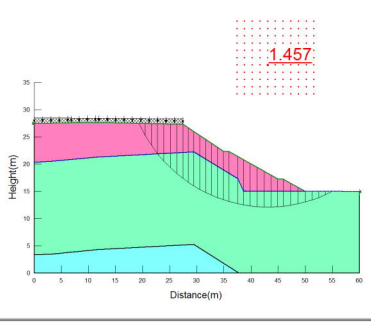
건기시



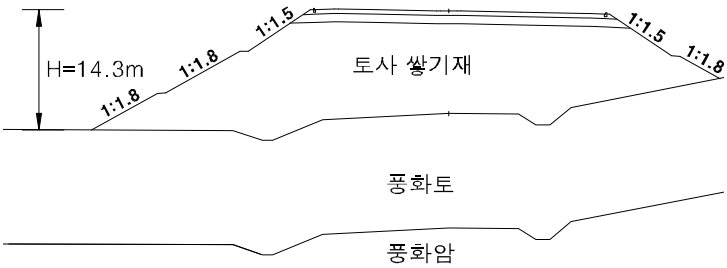
우기시



지진시



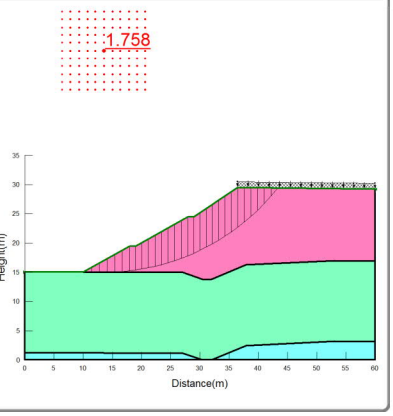
○ 쌓기 2구간 STA. 5+340 (표준 경사 쌓기재 1 : 1.5 ~ 1.8 적용)

검 토 단 면


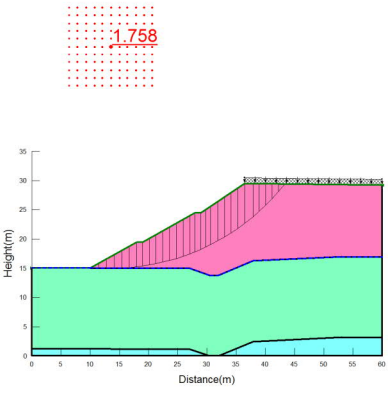
쌓기고(m)	퇴적층(m)	풍화토(m)	풍화암(m)
14.3	–	13.8	5.0 이상

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	1.758	O.K
우기시	1.30	1.758	O.K
지진시	1.10	1.493	O.K

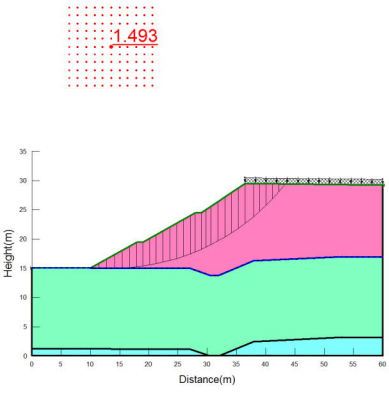
건기시



우기시

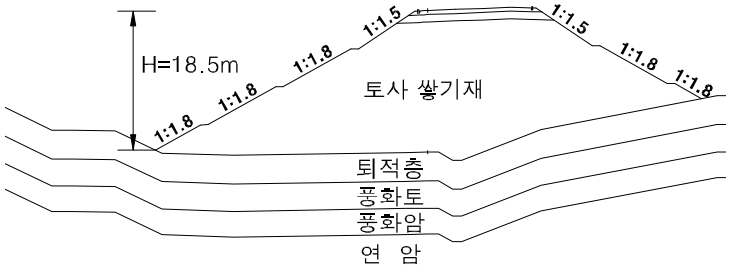


지진시



◎ 쌓기 7구간 STA. 7+260.3 (표준 경사 쌓기재 1 : 1.5 ~ 1.8 적용)

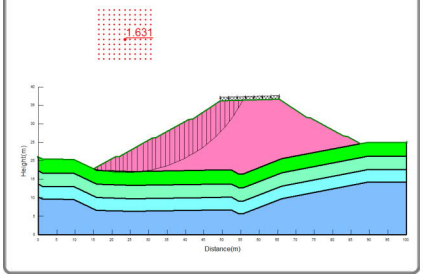
검 토 단 면



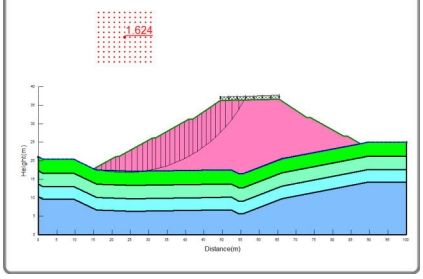
쌓기고(m)	퇴적층(m)	풍화토(m)	풍화암(m)
18.5	3.8	3.6	3.4

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	1.631	O.K
우기시	1.30	1.624	O.K
지진시	1.10	1.377	O.K

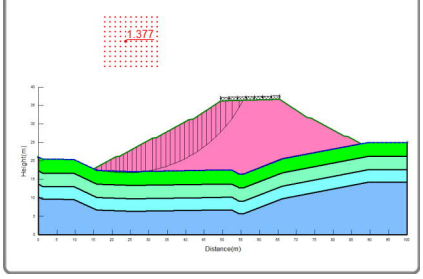
건기시



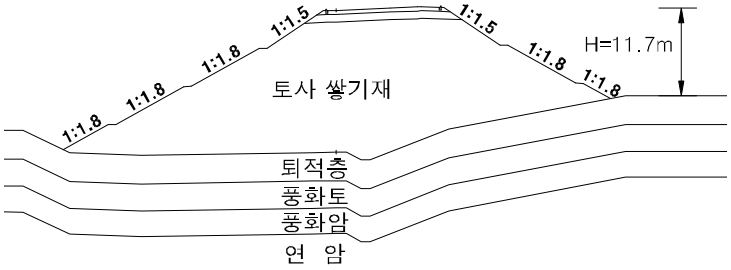
우기시



지진시

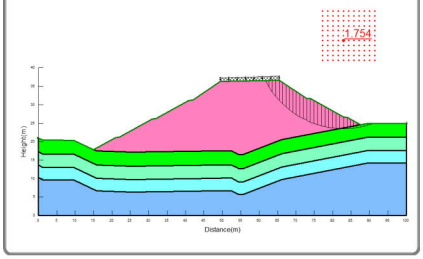
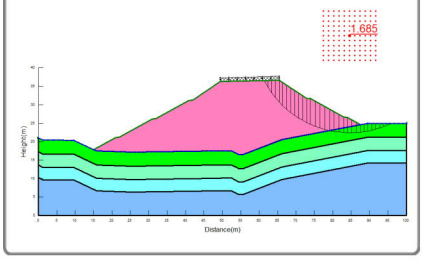
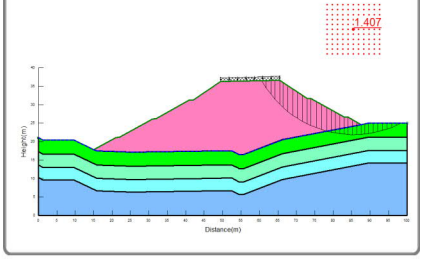


◎ 쌓기 8구간 STA. 7+260.3 (표준 경사 쌓기재 1 : 1.5 ~ 1.8 적용)

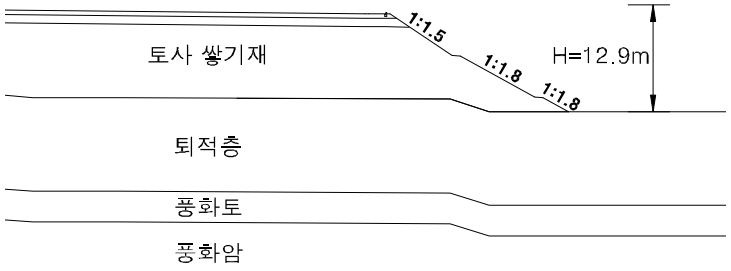
검 토 단 면


쌓기고(m)	퇴적층(m)	풍화토(m)	풍화암(m)
11.7	3.8	3.6	3.4

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	1.754	O.K
우기시	1.30	1.685	O.K
지진시	1.10	1.407	O.K

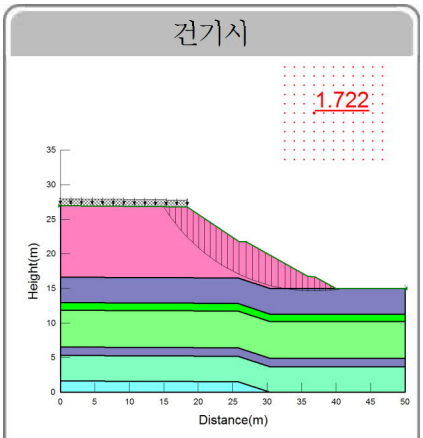
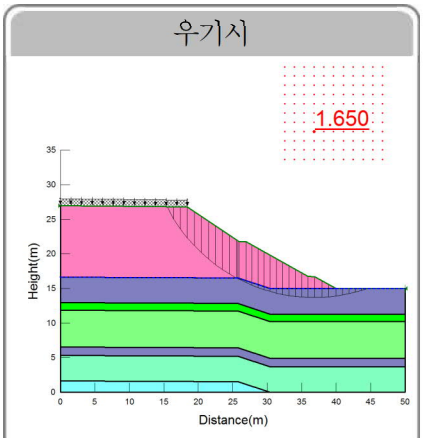
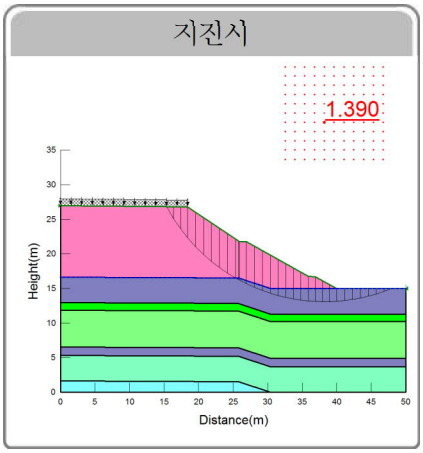
건기시	우기시	지진시
		

◎ 쌓기 9구간 STA. 0+440 (표준 경사 쌓기재 1 : 1.5 ~ 1.8 적용)

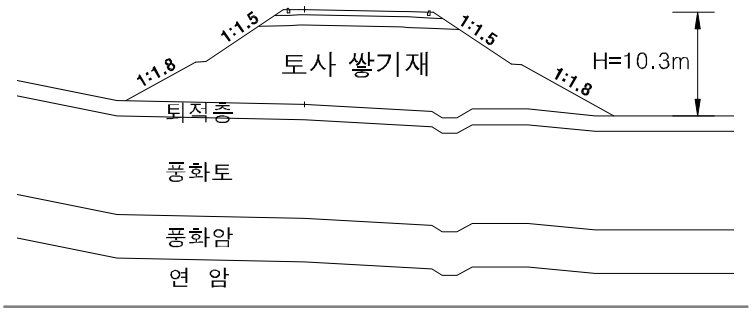
검 토 단 면


쌓기고(m)	퇴적층(m)	풍화토(m)	풍화암(m)
12.9	11.3	3.7	5.0 이상

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	1.722	O.K
우기시	1.30	1.650	O.K
지진시	1.10	1.390	O.K

건기시	우기시	지진시
		

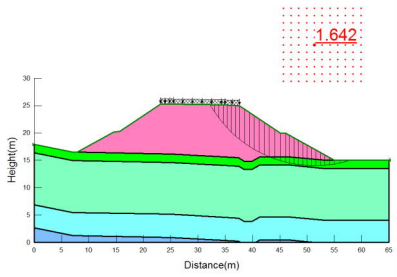
◎ 쌓기 10구간 STA. 0+620 (표준 경사 쌓기재 1 : 1.5 ~ 1.8 적용)

검 토 단 면


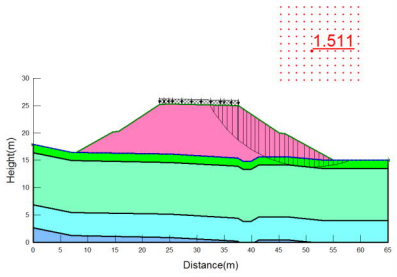
쌓기고(m)	퇴적층(m)	풍화토(m)	풍화암(m)
10.3	1.5	9.2	4.2

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	1.642	O.K
우기시	1.30	1.511	O.K
지진시	1.10	1.274	O.K

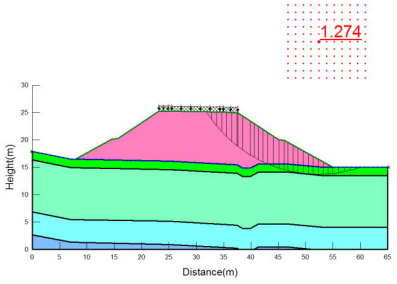
건기시



우기시



지진시



◎ 쌓기부 검토 결과

구 분			측점 (STA.)	대표단면 (STA.)	안전율			비고
					건기시 (>1.50)	우기시 (>1.30)	지진시 (>1.10)	
본선	쌓기1구간	문산방향	4+380 ~ 4+650	4+400	1.921	1.721	1.457	표준경사적용
	쌓기2구간	서울방향	5+248 ~ 5+520	5+340	1.758	1.758	1.493	표준경사적용
	쌓기7구간	문산방향	7+145 ~ 7+260.3	7+260.3	1.631	1.624	1.377	표준경사적용
	쌓기8구간	서울방향	7+175 ~ 7+260.3	7+260.3	1.754	1.685	1.407	표준경사적용
휴게소	쌓기9구간	서울방향	0+200 ~ 0+600	0+440	1.722	1.650	1.390	표준경사적용
	쌓기10구간	문산방향	0+370 ~ 0+785	0+620	1.642	1.511	1.274	표준경사적용

검토결과 • 쌓기비탈면에 대하여 한계평형해석 결과, 대부분의 검토대상 비탈면은 안정한 것으로 판단됨

2.3 깎기 비탈면 안정성 검토

기본방향	•토사 깎기 및 암반 깎기 구간으로 10.0m 이상인 구간에 대하여 안정성 검토 •평사투영 및 불연속체해석을 수행하여 암반 파괴유형 검토

2.3.1 암반 비탈면 안정성 검토

○깎기부 현황

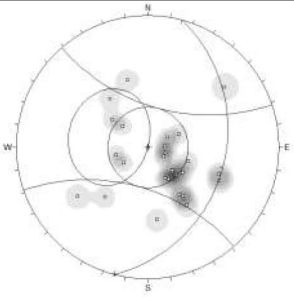
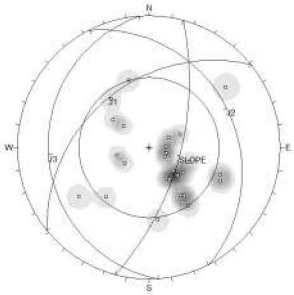
■ 본선 깎기 비탈면 검토 현황

구 분			측점 (STA.)	비탈면 유형		Dip dir	최대높이 (m)	검토단면 (STA.)	비고
휴게소	깎기1구간	서울방향	0+610 ~ 0+693	토사	좌측	–	3.7	0+693	10m 이하
	깎기2구간	문산방향	0+170 ~ 0+370	토사	우측	–	8.8	0+321	10m 이하
				암반	우측	–	2.5		10m 이하
본선	깎기3구간	서울방향	6+330 ~ 6+685	토사	좌측	–	13.7	6+660	
				암반	좌측	105	18.8	6+460	
	깎기4구간	문산방향	6+330 ~ 6+550	토사	우측	–	3.6	6+360	10m 이하
				암반	우측	284	14.1	6+440	
	깎기5구간	문산방향	6+650 ~ 6+700	토사	좌측	–	6.5	6+695	10m 이하
				암반	좌측	111	10.7	6+695	
	깎기6구간	서울방향	6+920 ~ 6+935	토사	우측	–	21.2	6+935	
				암반	우측	290	12.9	6+920	
	깎기7구간	서울방향	6+940 ~ 7+010	토사	우측	–	18.4	6+960	
				암반	우측	–	8.4	6+960	10m 이하
	깎기8구간	문산방향	6+920 ~ 7+040	토사	우측	–	17.0	6+935	
				암반	우측	–	5.6		10m 이하

○ 본선구간 평사투영해석을 통한 암반 비탈면 안정성 검토

■ 1공구 깎기 3구간 STA. 6+480 좌측 비탈면

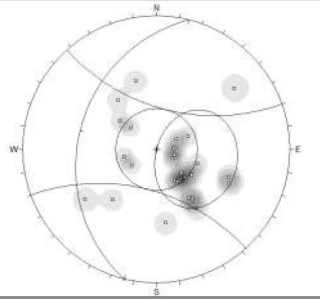
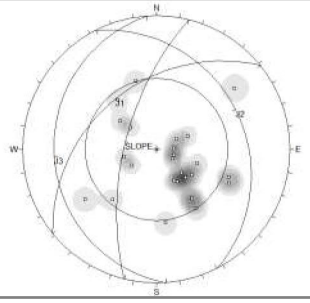
구분	검토단면 (STA.)	비탈면 방향 (Dipdir)	암종	불연속면 방향성(Dip/Dip dir)			마찰각 (°)
				J1	J2	J3	
좌측	6+480	105	편마암	38/321	23/063	15/266	34

평면 및 전도파괴	쐐기파괴
	

기울기	평면파괴	전도파괴	쐐기파괴
1:0.5	불안정	안정	안정
파괴 유형	•1:0.5 경사 적용시 ⇒ 전도파괴, 쐐기파괴에 대해 안정하나 일부 절리군에 의해 평면파괴 발생 가능성이 있음		

1공구 깎기 4구간 STA. 6+440 우측 비탈면

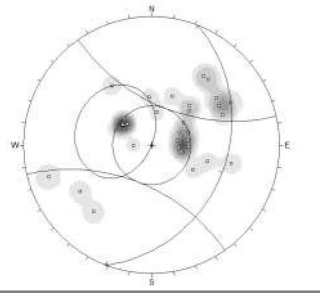
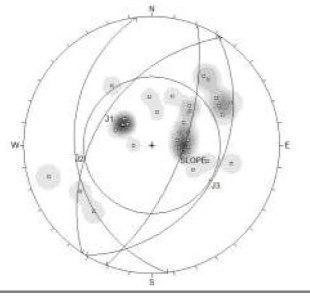
구분	검토단면 (STA.)	비탈면 방향 (Dipdir)	암종	불연속면 방향성(Dip/Dip dir)			마찰각 (°)
				J1	J2	J3	
우측	6+440	284	편마암	38/321	23/063	15/266	34

평면 및 전도파괴	쐐기파괴
	

기울기	평면파괴	전도파괴	쐐기파괴
1:0.5	불안정	안정	안정
파괴 유형	•1:0.5 경사 적용시 ⇒ 전도파괴, 쐐기파괴에 대해 안정하나 일부 절리군에 의해 평면파괴 발생 가능성 있음		

1공구 깎기 5구간 STA. 6+695 좌측 비탈면

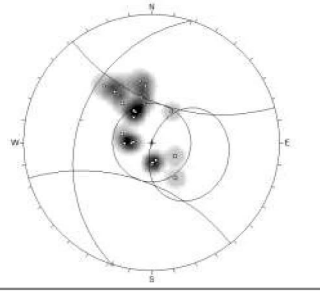
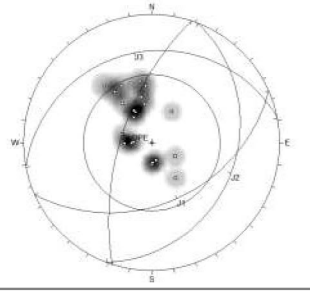
구분	검토단면 (STA.)	비탈면 방향 (Dipdir)	암종	불연속면 방향성(Dip/Dip dir)			마찰각 (°)
				J1	J2	J3	
우측	6+695	111	편마암	43/303	28/263	33/121	34

평면 및 전도파괴	쐐기파괴
	

기울기	평면파괴	전도파괴	쐐기파괴
1:0.5	안정	안정	안정
파괴 유형	•1:0.5 경사 적용시 ⇒ 평면파괴, 전도파괴, 쐐기파괴에 대해 안정		

1공구 깎기 6구간 STA. 6+935 우측 비탈면

구분	검토단면 (STA.)	비탈면 방향 (Dipdir)	암종	불연속면 방향성(Dip/Dip dir)			마찰각 (°)
				J1	J2	J3	
우측	6+935	290	편마암	39/156	23/111	19/349	34

평면 및 전도파괴	쐐기파괴
	

기울기	평면파괴	전도파괴	쐐기파괴
1:0.5	안정	안정	안정
파괴 유형	•1:0.5 경사 적용시 ⇒ 평면파괴, 전도파괴, 쐐기파괴에 대해 안정		

○ 본선구간 암반 비탈면 안정검토 결과 ○ : 안정, × : 불안정

구 분		측점 (STA.)	검토단면		평사투영해석			한계평형해석				비고
								평면		쐐기		
					평면	전도	쐐기	건기 (>1.50)	우기 (>1.20)	건기 (>1.50)	우기 (>1.20)	
본선	깎기 3구간	6+330 ~ 6+685	6+460	좌측	X	O	O	1.404	1.156	–	–	R/B보강
	깎기 4구간	6+330 ~ 6+550	6+440	우측	X	O	O	1.674	1.468	–	–	안정
	깎기 5구간	6+650 ~ 6+700	6+695	좌측	O	O	O	–	–	–	–	–
	깎기 6구간	6+920 ~ 6+935	6+935	우측	O	O	O	–	–	–	–	–

검토결과

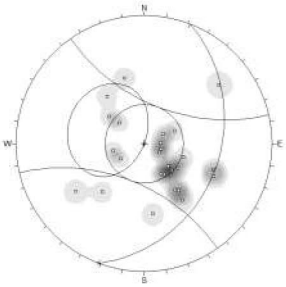
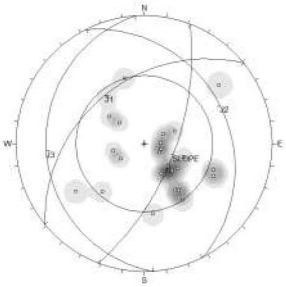
• 평면파괴 가능성이 있는 깎기3구간 STA.6+330~6+685 좌측비탈면에 대하여 한계평형해석 결과, Rock Bolt 보강을 적용하여 비탈면 안정을 확보하도록 계획

2.3.2 터널 갱구부 암반 비탈면 안정성 검토

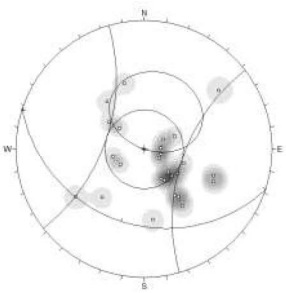
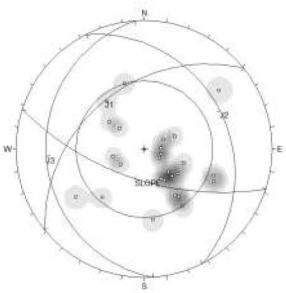
○ 평사투영해석을 통한 암반 비탈면 안정성 검토

■ 성라터널 서울방향 시점 비탈면

구분	검토단면 (STA.)	비탈면 방향 (Dip dir)	암종	불연속면 방향성(Dip/Dip dir)			마찰각 (°)
				J1	J2	J3	
좌측	6+690	111	편마암	38/321	23/063	15/266	34
배면	6+690	201					

평면 및 전도파괴	쐐기파괴
	

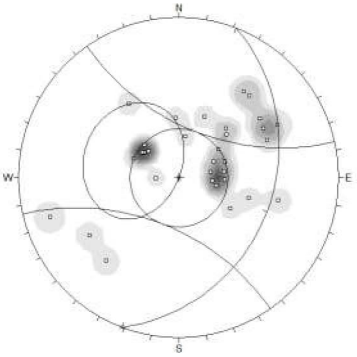
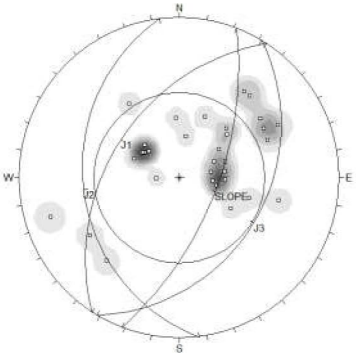
기울기	평면파괴	전도파괴	쐐기파괴
1:0.5	불안정	안정	안정
파괴 유형	•1:0.5 경사 적용시 ⇒ 전도파괴, 쐐기파괴에 대해 안정하나 일부 절리군에 의해 평면파괴 발생 가능성이 있음		

평면 및 전도파괴	쐐기파괴
	

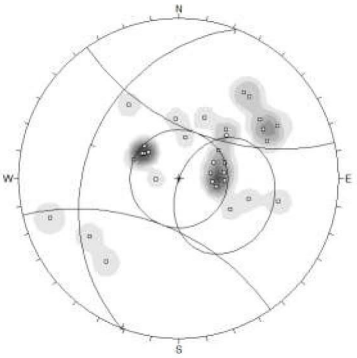
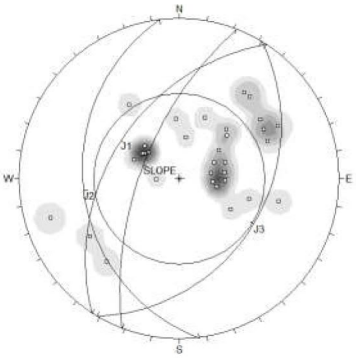
기울기	평면파괴	전도파괴	쐐기파괴
1:0.5	안정	안정	안정
파괴 유형	•1:0.5 경사 적용시 ⇒ 평면파괴, 전도파괴, 쐐기파괴에 대해 안정		

성라터널 문산방향 시점 비탈면

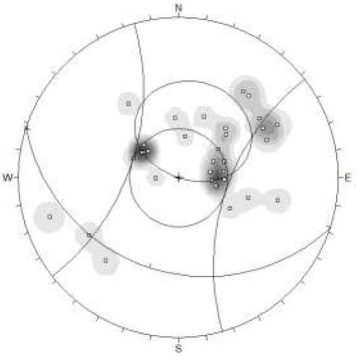
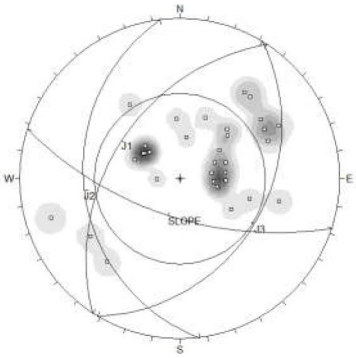
구분	검토단면 (STA.)	비탈면 방향 (Dip dir)	암종	불연속면 방향성(Dip/Dip dir)			마찰각 (°)
				J1	J2	J3	
좌측	6+705	111	편마암	43/303	28/263	33/121	34
우측	6+705	291					
배면	6+705	201					

평면 및 전도파괴	쐐기파괴
	

기울기	평면파괴	전도파괴	쐐기파괴
1:0.5	안정	안정	안정
파괴 유형	•1:0.5 경사 적용시 ⇒ 평면파괴, 전도파괴, 쐐기파괴에 대해 안정		

평면 및 전도파괴	쐐기파괴
	

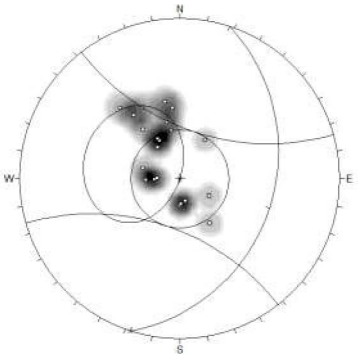
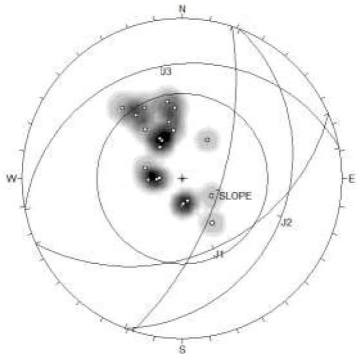
기울기	평면파괴	전도파괴	쐐기파괴
1:0.5	불안정	안정	안정
파괴 유형	•1:0.5 경사 적용시 ⇒ 전도파괴, 쐐기파괴에 대해 안정하나 일부 절리군에 의해 평면파괴 발생 가능성이 있음		

평면 및 전도파괴	쐐기파괴
	

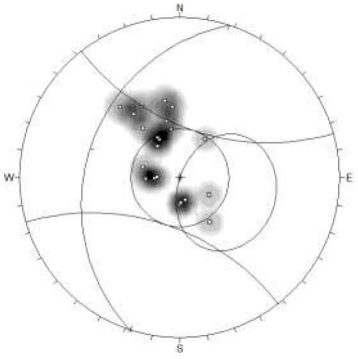
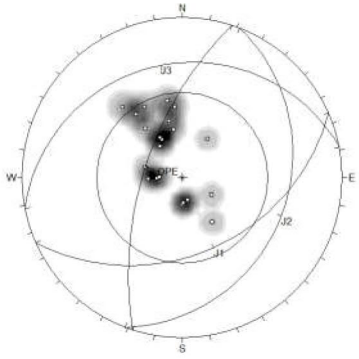
기울기	평면파괴	전도파괴	쐐기파괴
1:0.5	불안정	안정	안정
파괴 유형	•1:0.5 경사 적용시 ⇒ 평면파괴, 쐐기파괴에 대해 안정하나 일부 절리군에 의해 전도파괴 발생 가능성이 있음		

성라터널 서울방향 종점 비탈면

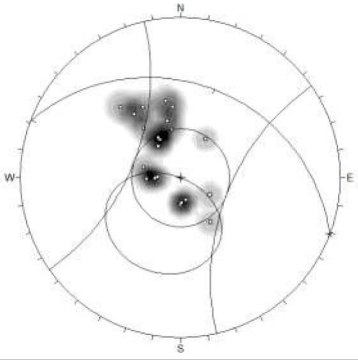
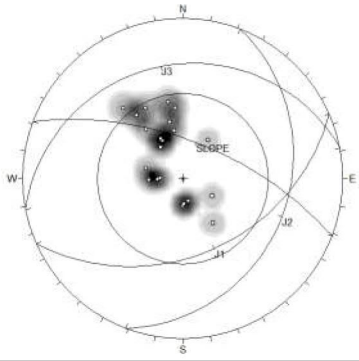
구분	검토단면 (STA.)	비탈면 방향 (Dip dir)	암종	불연속면 방향성(Dip/Dip dir)			마찰각 (°)
				J1	J2	J3	
좌측	6+935	108	편마암	39/156	23/111	19/349	34
우측	6+935	288					
배면	6+935	018					

평면 및 전도파괴	쐐기파괴
	

기울기	평면파괴	전도파괴	쐐기파괴
1:0.5	불안정	안정	안정
파괴 유형	•1:0.5 경사 적용시 ⇒ 전도파괴, 쐐기파괴에 대해 안정하나 일부 절리군에 의해 평면파괴 발생 가능성이 있음		

평면 및 전도파괴	쐐기파괴
	

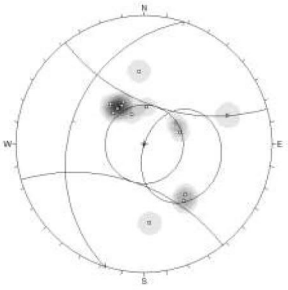
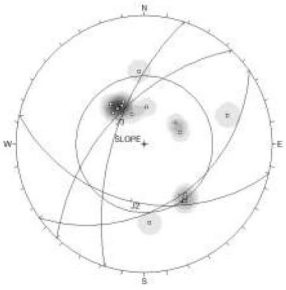
기울기	평면파괴	전도파괴	쐐기파괴
1:0.5	안정	안정	안정
파괴 유형	•1:0.5 경사 적용시 ⇒ 평면파괴, 전도파괴, 쐐기파괴에 대해 안정		

평면 및 전도파괴	쐐기파괴
	

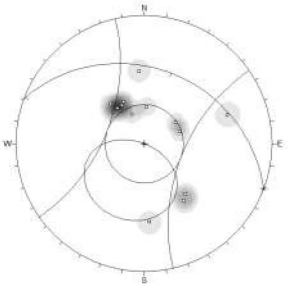
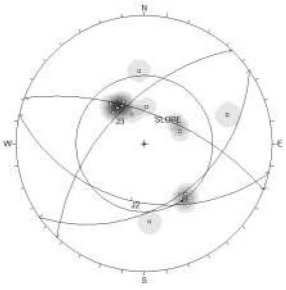
기울기	평면파괴	전도파괴	쐐기파괴
1:0.5	불안정	안정	안정
파괴 유형	•1:0.5 경사 적용시 ⇒ 전도파괴, 쐐기파괴에 대해 안정하나 일부 절리군에 의해 평면파괴 발생 가능성이 있음		

성라터널 문산방향 종점 비탈면

구분	검토단면 (STA.)	비탈면 방향 (Dip dir)	암종	불연속면 방향성(Dip/Dip dir)			마찰각 (°)
				J1	J2	J3	
우측	6+935	288	편마암	38/145	41/193	56/313	34
배면	6+935	018					

평면 및 전도파괴	쐐기파괴
	

기울기	평면파괴	전도파괴	쐐기파괴
1:0.5	안정	안정	안정
파괴 유형	•1:0.5 경사 적용시 ⇒ 평면파괴, 전도파괴, 쐐기파괴에 대해 안정		

평면 및 전도파괴	쐐기파괴
	

기울기	평면파괴	전도파괴	쐐기파괴
1:0.5	안정	안정	안정
파괴 유형	•1:0.5 경사 적용시 ⇒ 평면파괴, 전도파괴, 쐐기파괴에 대해 안정		

터널구간 암반비탈면 안정검토 결과

○ : 안정, × : 불안정

구 분	비탈면 검토 위치			평사투영해석			한계평형해석				비고
				평면	전도	쐐기	평면		쐐기		
							건기 (>1.50)	우기 (>1.20)	건기 (>1.50)	우기 (>1.20)	
성라 터널	시점부	서울방향	좌측 (6+690)	X	O	O	1.738	1.536	–	–	안정
			배면 (6+690)	O	O	O	–	–	–	–	–
		문산방향	좌측 (6+705)	O	O	O	–	–	–	–	–
			우측 (6+705)	X	O	O	2.146	1.945	–	–	안정
			배면 (6+705)	X	O	O	2.884	2.684	–	–	안정
	종점부	서울방향	좌측 (6+935)	X	O	O	3.172	2.972	–	–	안정
			우측 (6+935)	O	O	O	–	–	–	–	–
			배면 (6+935)	O	O	O	–	–	–	–	–
		문산방향	우측 (6+935)	X	O	O	1.668	1.466	–	–	안정
			배면 (6+935)	O	O	O	–	–	–	–	–

검토결과 • 평사투영해석시 평면 및 쐐기파괴 가능성이 있는 비탈면에 대하여 한계평형해석을 수행한 결과, 평면 및 쐐기파괴에 대하여 안정한 것으로 판단됨

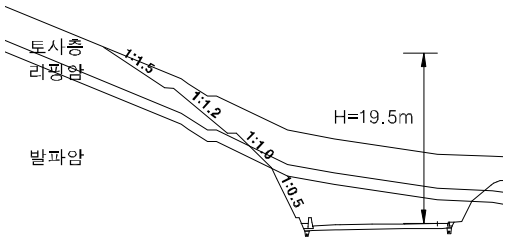
2.3.3 토사 비탈면 안정성 검토

◯ 깎기 비탈면 검토 현황

구 분			측점 (STA.)	비탈면 유형		최대높이(m)	검토단면(STA.)	비고
본선	깎기3구간	서울방향	6+330 ~ 6+685	토사/암반	좌측	19.5	6+660	
	깎기6구간	서울방향	6+920 ~ 6+935	토사/암반	우측	31.4	6+935	
	깎기7구간	서울방향	6+940 ~ 7+010	토사/암반	우측	26.0	6+960	
	깎기8구간	문산방향	6+920 ~ 7+040	토사/암반	우측	24.9	6+935	

◯ 1공구 본선 깎기 3구간 서울방향 STA. 6+660 좌측 비탈면

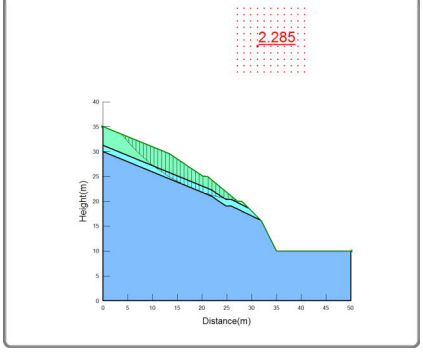
검 토 단 면



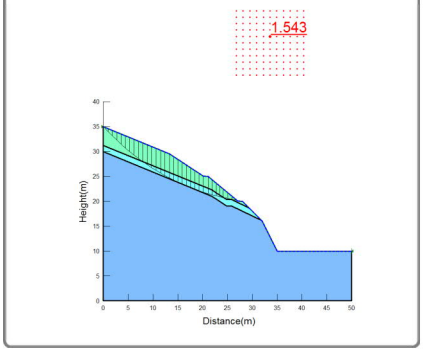
깎기고(m)	토사(m)	리핑암(m)	발파암(m)
19.5	10.9	2.4	6.2

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	2.285	O.K
우기시	1.20	1.543	O.K
지진시	1.10	1.314	O.K

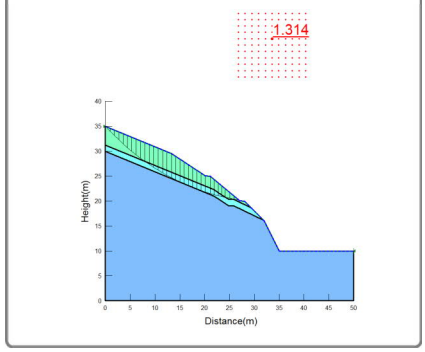
건기시



우기시

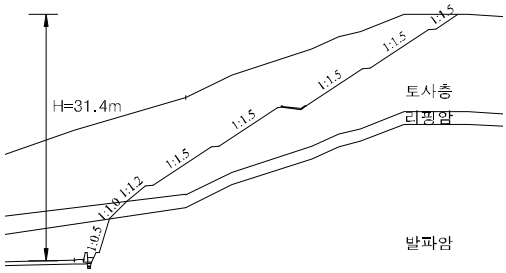


지진시



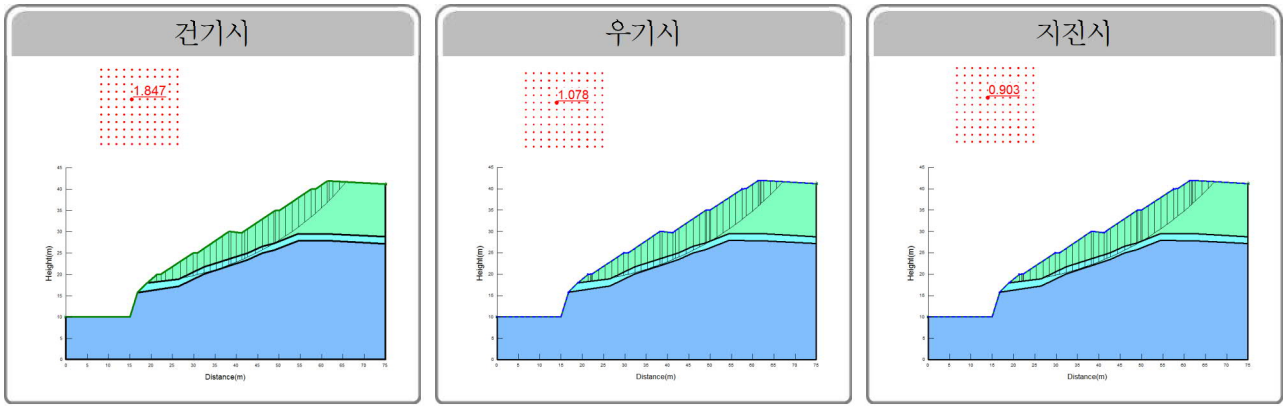
◯ 1공구 본선 깎기 6구간 서울방향 STA. 6+935 우측 비탈면

검 토 단 면

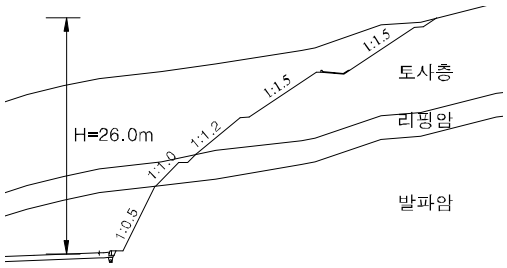


깎기고(m)	토사(m)	리핑암(m)	발파암(m)
31.4	23.9	2.3	5.2

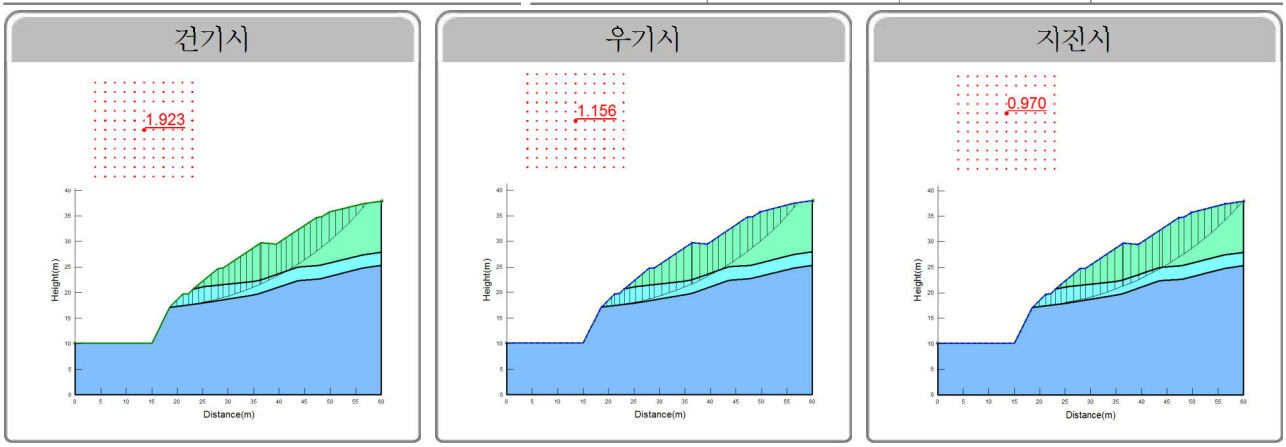
구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	1.847	O.K
우기시	1.20	1.078	N.G
지진시	1.10	0.903	N.G



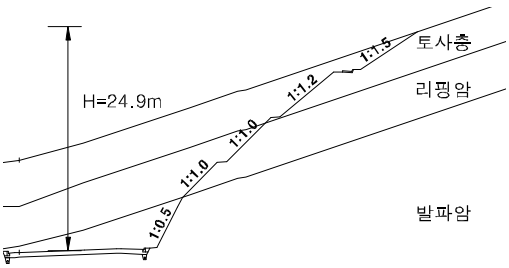
● 1공구 본선 깎기 7구간 서울방향 STA. 6+960 우측 비탈면

검 토 단 면	깎기고(m)	토사(m)	리핑암(m)	발파암(m)
	26.0	15.1	3.6	7.3

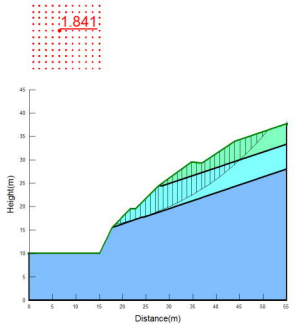
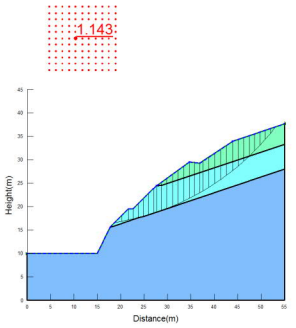
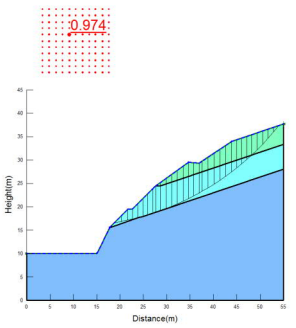
구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	1.923	O.K
우기시	1.20	1.156	N.G
지진시	1.10	0.970	N.G



● 1공구 본선 깎기 8구간 문산방향 STA. 6+935 우측 비탈면

검 토 단 면	깎기고(m)	토사(m)	리핑암(m)	발파암(m)
	24.9	10.1	8.3	6.5

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	1.841	O.K
우기시	1.20	1.143	N.G
지진시	1.10	0.974	N.G

건기시	우기시	지진시
		

○ 본선 깎기 비탈면 안정성 검토 결과

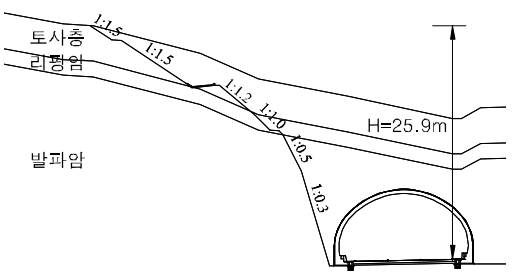
구 분			측점 (STA.)	검토단면		안전률			비 고
						건기시 (>1.50)	우기시 (>1.20)	지진시 (>1.10)	
본선	깎기3구간	서울방향	6+330 ~ 6+685	6+660	좌측	2.285	1.543	1.314	O.K
	깎기6구간	서울방향	6+920 ~ 6+935	6+935	우측	1.847	1.078	0.903	N.G
	깎기7구간	서울방향	6+940 ~ 7+010	6+650	우측	1.923	1.156	0.970	N.G
	깎기8구간	문산방향	6+920 ~ 7+040	6+935	우측	1.841	1.143	0.974	N.G

검토결과

- 깎기비탈면에 대하여 한계평형해석을 수행한 결과, 깎기3구간을 제외한 모든 구간에서 우기시 및 지진시 불안정한 것으로 나타나, 해당비탈면에 대하여 안정성 확보방안을 계획
- 깎기3구간은 안정성은 안정하게 검토되었으나, 표준경사 절취시 기존 등산로를 훼손하여 보강방안을 계획

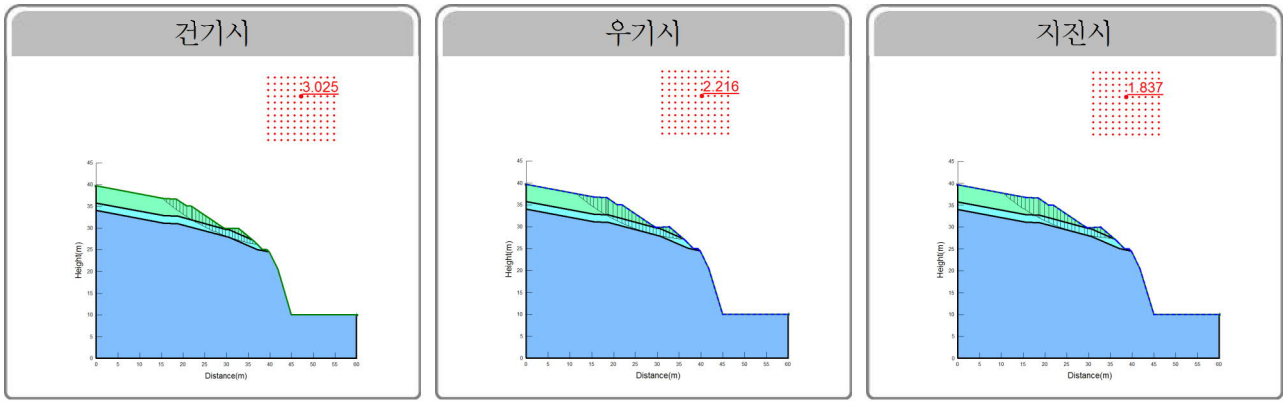
2.3.4 터널 갱구부 토사 비탈면 안정성 검토

○ 성라터널 시점부 서울방향 좌측구간 STA. 6+690

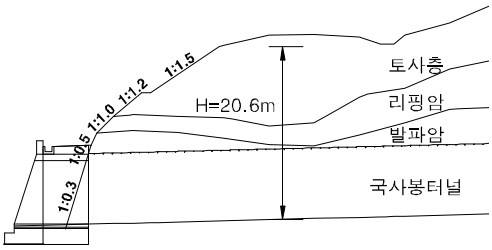
검 토 단 면


깎기고(m)	토사(m)	리핑암(m)	발파암(m)
25.9	9.4	2.7	13.8

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	2.025	O.K
우기시	1.20	2.216	O.K
지진시	1.10	1.837	O.K

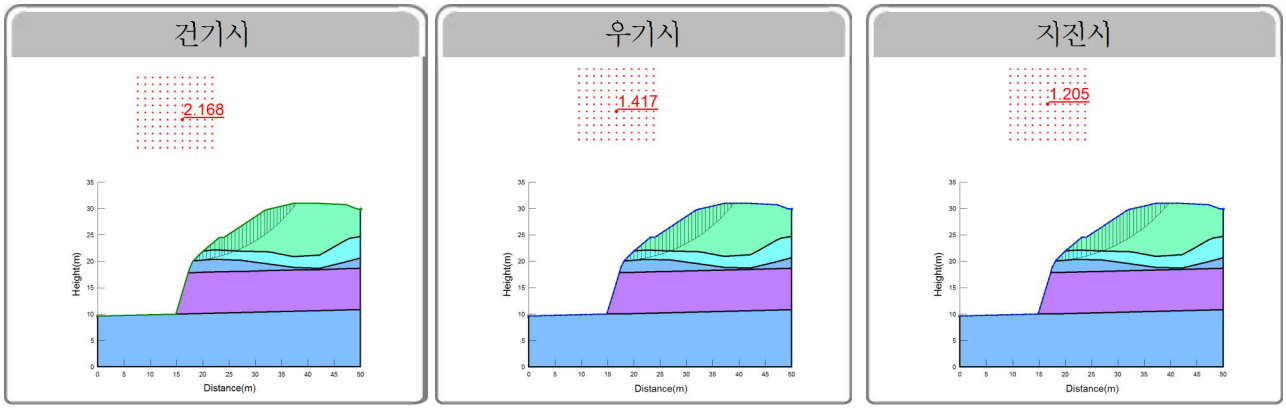


○ 성라터널 시점부 서울방향 배면구간 STA. 6+690

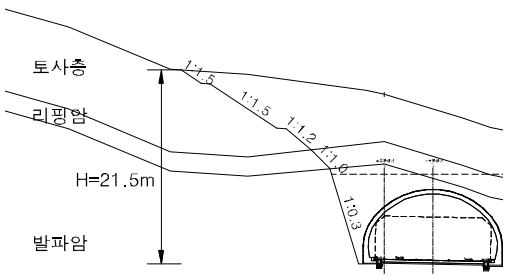
검 토 단 면


깎기고(m)	토사(m)	리핑암(m)	발파암(m)
20.6	7.7	1.9	11.0

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	2.168	O.K
우기시	1.20	1.417	O.K
지진시	1.10	1.205	O.K

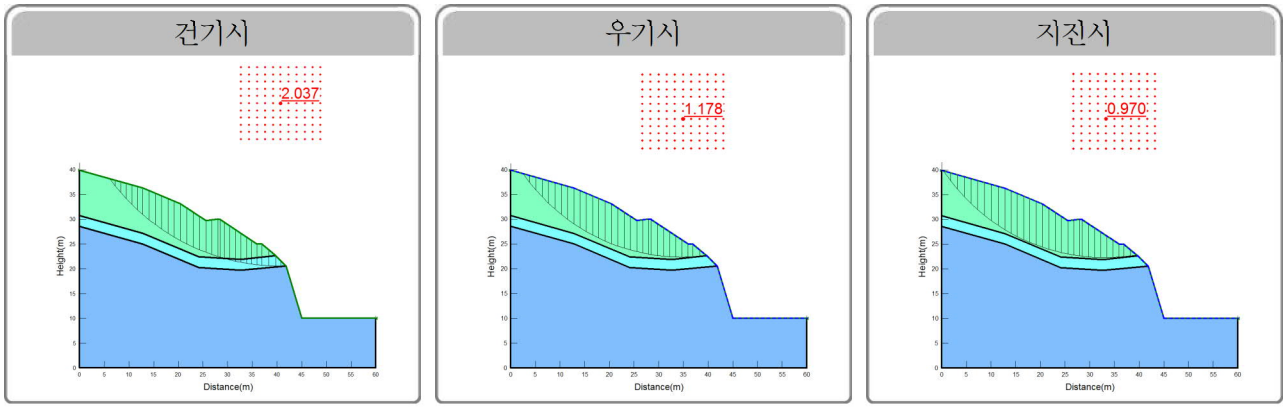


○ 성라터널 시점부 문산방향 좌측구간 STA. 6+705

검 토 단 면


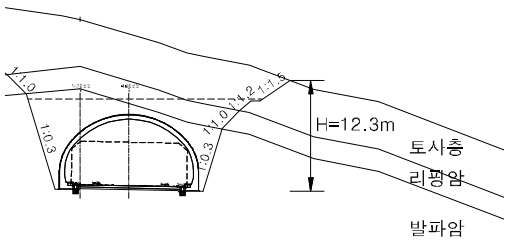
깎기고(m)	토사(m)	리핑암(m)	발파암(m)
21.5	8.8	2.1	10.6

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	2.037	O.K
우기시	1.20	1.178	N.G
지진시	1.10	0.970	N.G



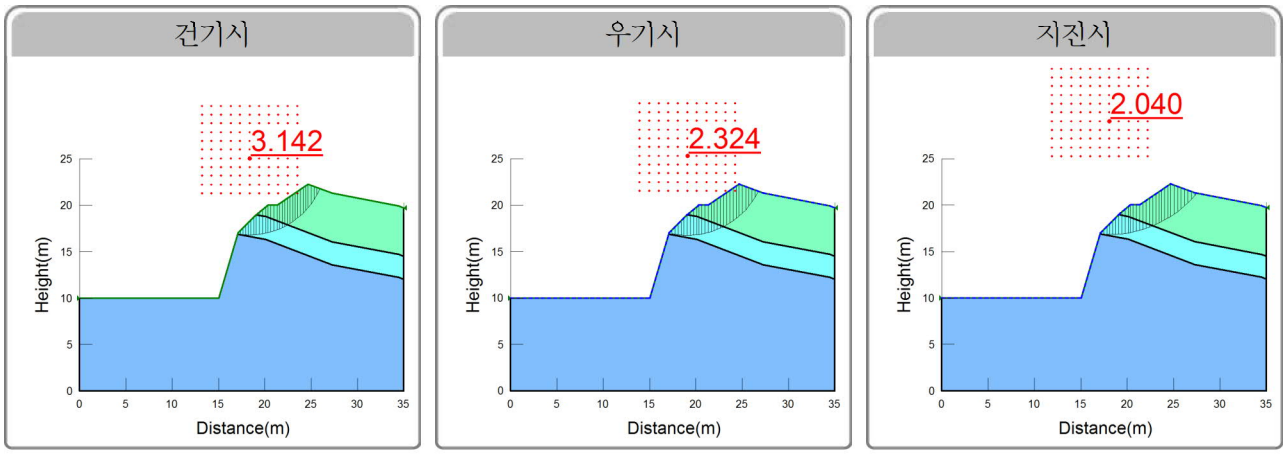
◎ 성라터널 시점부 문산방향 우측구간 STA. 6+705

검 토 단 면



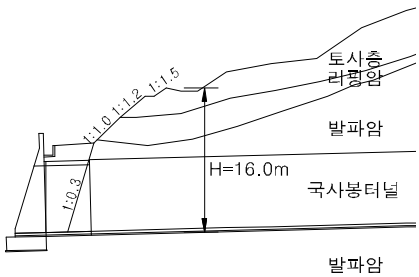
깎기고(m)	토사(m)	리핑암(m)	발파암(m)
12.3	3.3	2.1	6.9

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	3.142	O.K
우기시	1.20	2.324	O.K
지진시	1.10	2.040	O.K



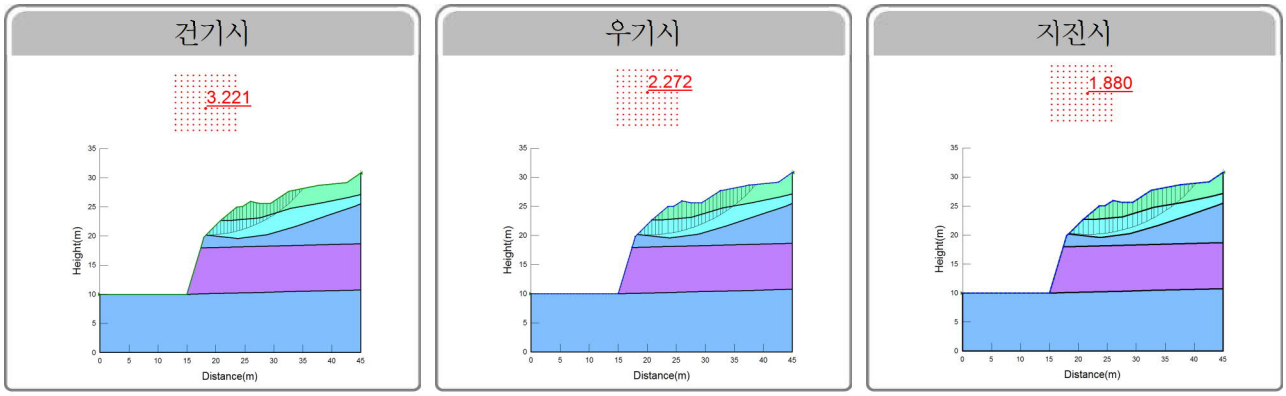
◎ 성라터널 시점부 문산방향 배면구간 STA. 6+705

검 토 단 면

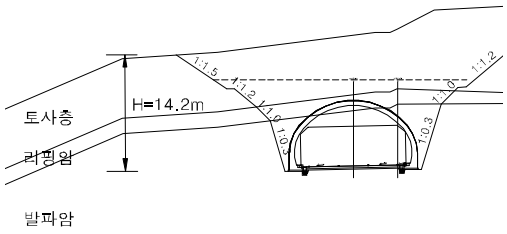


깎기고(m)	토사(m)	리핑암(m)	발파암(m)
16.0	3.3	2.5	10.2

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	3.221	O.K
우기시	1.20	2.272	O.K
지진시	1.10	1.880	O.K

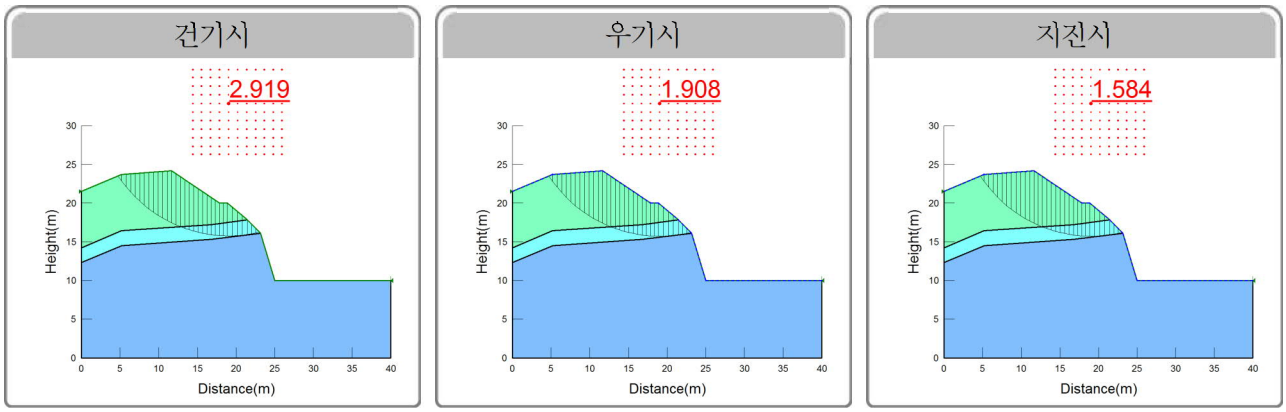


○ 성라터널 종점부 서울방향 좌측구간 STA. 6+890

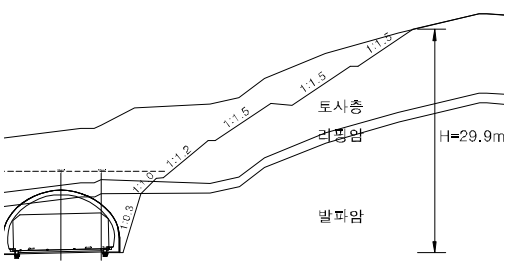
검 토 단 면


깎기고(m)	토사(m)	리핑암(m)	발파암(m)
14.2	6.4	1.7	6.1

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	2.919	O.K
우기시	1.20	1.908	O.K
지진시	1.10	1.584	O.K

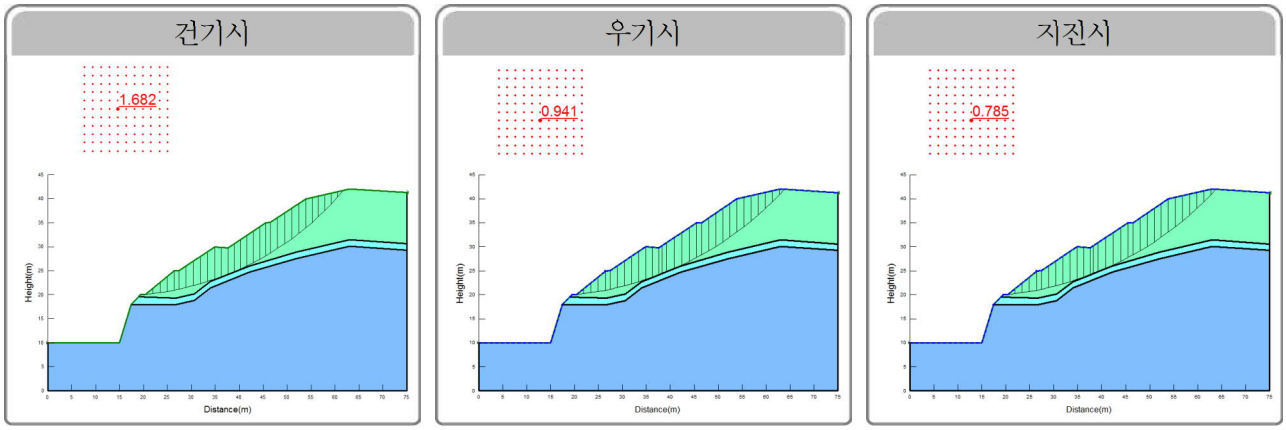


○ 성라터널 종점부 서울방향 우측구간 STA. 6+890

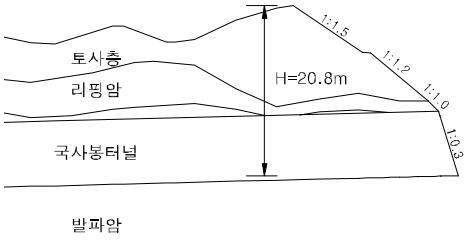
검 토 단 면


깎기고(m)	토사(m)	리핑암(m)	발파암(m)
29.9	20.4	1.6	7.9

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	1.682	O.K
우기시	1.20	0.941	N.G
지진시	1.10	0.785	N.G

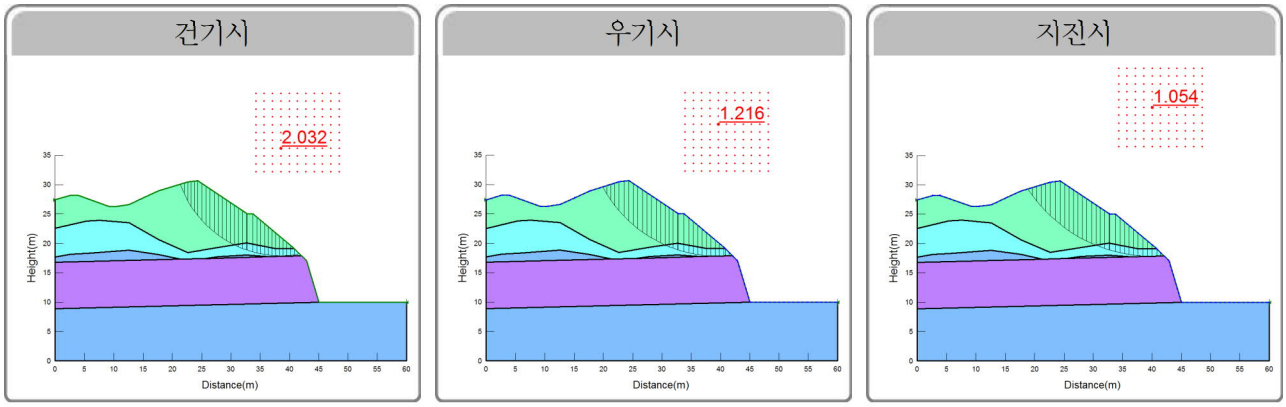


◎ 성라터널 종점부 서울방향 배면구간 STA. 6+890

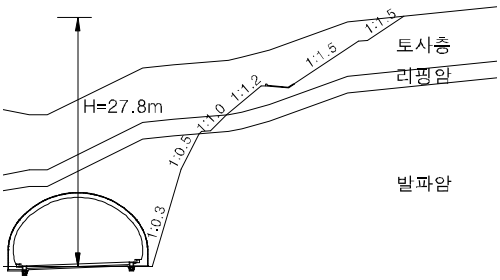
검 토 단 면


깎기고(m)	토사(m)	리핑암(m)	발파암(m)
20.8	11.6	1.3	7.9

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	2.032	O.K
우기시	1.20	1.216	O.K
지진시	1.10	1.054	N.G

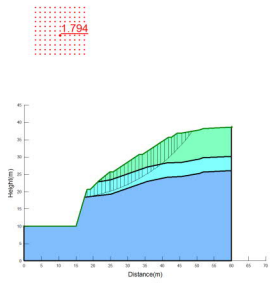
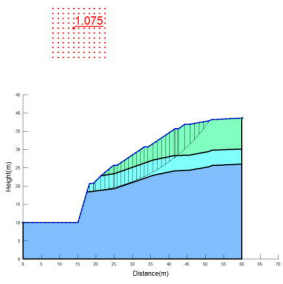
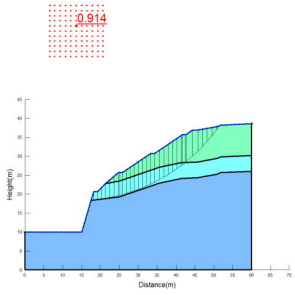


◎ 성라터널 종점부 문산방향 우측구간 STA. 6+965

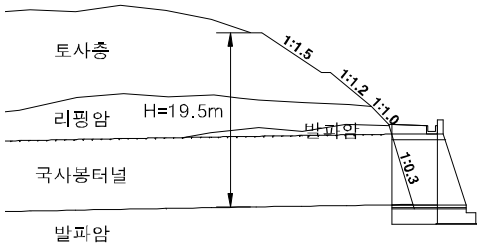
검 토 단 면


깎기고(m)	토사(m)	리핑암(m)	발파암(m)
27.8	11.0	2.1	14.7

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	1.794	O.K
우기시	1.20	1.075	N.G
지진시	1.10	0.914	N.G

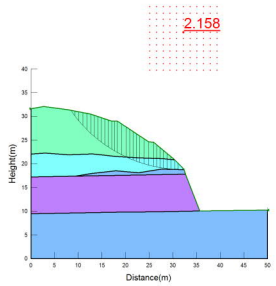
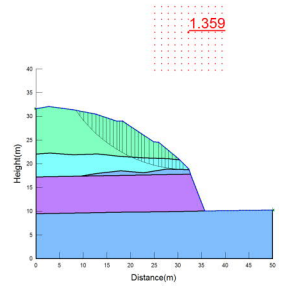
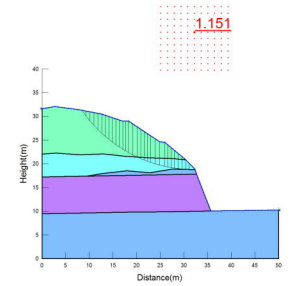
건기시	우기시	지진시
		

○ 성라터널 종점부 문산방향 배면구간 STA. 6+965

검 토 단 면


깎기고(m)	토사(m)	리핑암(m)	발파암(m)
19.5	8.2	2.1	9.2

구분	안전율		판정
	기준안전율	최소안전율	
건기시	1.50	2.158	O.K
우기시	1.20	1.359	O.K
지진시	1.10	1.151	O.K

건기시	우기시	지진시
		

○ 갱구부 깎기 비탈면 검토 결과

구분	비탈면 검토 위치			비탈면 높이(m)	검토결과			비 고
					건기시(>1.50)	우기시(>1.20)	지진시(>1.10)	
성라 터널	시점부	서울방향	좌측 (6+690)	25.9	2.025	2.216	1.837	O.K
			배면 (6+690)	20.6	2.168	1.417	1.205	O.K
		문산방향	좌측 (6+705)	21.5	2.037	1.178	0.970	N.G
			우측 (6+705)	12.3	3.142	2.324	2.040	O.K
			배면 (6+705)	16.0	3.221	2.272	1.880	O.K
	종점부	서울방향	좌측 (6+935)	14.2	2.919	1.908	1.584	O.K
			우측 (6+935)	29.9	1.682	0.941	0.785	N.G
			배면 (6+935)	20.8	2.032	1.216	1.054	N.G
		문산방향	우측 (6+935)	27.8	1.794	1.075	0.914	N.G
			배면 (6+935)	19.5	2.158	1.359	1.151	O.K

검토결과

- 깎기비탈면에 대하여 한계평형해석을 수행한 결과, 일부 구간에서 우기시 및 지진시 불안정한 것으로 나타나, 해당 비탈면에 대하여 안정성 확보방안을 계획

2.4 비탈면 안정화 대책 검토

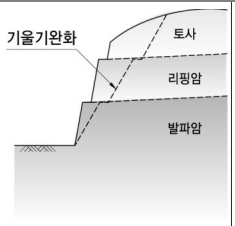
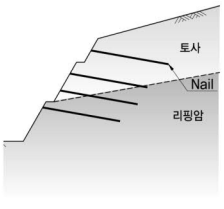
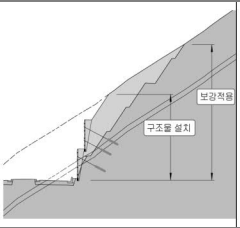
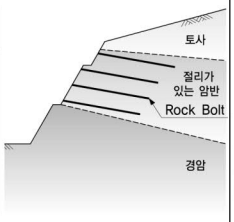
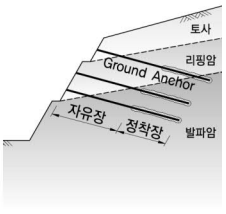
기본방향	•비탈면 불안정이 예상되는 구간에 대해 보강재의 저항력을 통한 안정성 확보 •절취량 최소화를 위해 구배 변경시 안정성 확보 •다양한 비탈면 보강공법을 검토하여 현장 여건에 가장 적합한 공법 선정

2.4.1 비탈면 보강공법 검토

○ 비탈면 보강공법의 종류

공법종류		공 법 개 요	적 용 성
저항력증가	억지말뚝	•활동토괴를 관통하여 말뚝을 지지층까지 일렬로 설치 ➡ 비탈면의 활동하중을 말뚝의 수평하중으로 기반암에 전달 •말뚝과 주변지반 사이의 상호작용에 의해서 지지력이 결정되며 여타 억지공법과 같이 이용	•강관말뚝의 사용으로 공사비가 비싸며, 여타 보강공법과 병행시 추가적 공사비 소요 •공사비 측면상 매우 불리
	앵커공법	•고강도 강재를 앵커재로 하여 보링공내에 삽입, 그라우트를 주입 ➡ 앵커재를 지반에 정착시켜 앵커재 두부의 하중을 정착지반에 전달	•일반적으로 사용되는 공법으로서 적용효과가 양호하며 국내 시공실적도 많으므로 적용가능
	Soil Nailing	•인장응력, 전단응력 및 휨모멘트에 저항할 수 있는 보강재를 지반내에 조밀한 간격으로 삽입 ➡ 원지반의 전체적 전단력, 활동력을 증가	•비탈면의 얕은파괴 우려시 적용 •공사비가 저렴, 시공성도 좋음
	FRP 보강공	•원지반 천공후 FRP 보강재 내에 패커를 설치하여 압력에 의하여 시멘트 밀크를 주입 ➡ 주입재에 의한 지반 고결 ➡ 원지반의 전단강도 증대 및 Nailing 효과를 함께 얻음	•풍화암 비탈면에도 적용이 가능 •확실한 보강효과 •공사비 측면에서 매우 유리함
	옹벽공	•비탈면의 선단부에 옹벽을 설치하여 안전율증가 •옹벽자체만으로도 안정성 확보가 어려운 경우 앵커나 수동말뚝과 같은 여타 보강공법과 병행	•고가의 공사비 및 시공상 어려움이 있어 적용 곤란
	Rock Bolt	•록볼트 설치, 그라우팅 실시 ➡ 지반변위억제 •소규모 암체의 전도파괴, Sliding에 효과적	•공사비 다소 고가, 녹화공법적용 불리 •전도 및 암반거동 발생방지 효과
	Tension Net	•표면에 고장력 와이어네트를 정착, 록볼트 병행 •볼트, 너트 응력분산 ➡ 낙석방지 및 암반보강	•표층부 보강효과는 뛰어나지만, 심부활동에는 미비 •암반 표층부 낙석예상구간에 효과적
활동력증가	압성토공	•비탈면의 선단부에 토사 쌓기 •연약지반상 쌓기시에 적용, 산지에 위치한 비탈면의 경우 접근성이나 현장용지 문제에 있어 시공성 불리	•연약지반상에서 쌓기시 적용성이 양호, 산지에서는 시공성 열악함 •안정성 확보효과가 불확실
	기울기완화	•비탈면기울기를 완만히 조정 ➡ 토괴의 자중 감소 •굴착량 과다 증대 우려 •현장 지형에 따라서 무한비탈면 발생 가능성	•적용효과가 확실, 일반적으로 도로깎기비탈면에서 흔히 적용 •깎기량 과다발생 ➡ 자연훼손
	깎기공	•활동토괴 중 일부를 제거하여 활동력 저감 •대규모 비탈면의 경우 굴착량이 과대, 경제성, 시공성 불리 ➡ 중소규모의 비탈면에 적용	•적용효과가 불확실하여 자연경관 훼손이 심각

○ 비탈면 보강공법 비교

구분	비탈면 보강 공법				
	비탈면 경사완화	Soil Nailng	깎기부 옹벽	록볼트	그라운드 앵커
개요도					
적용지반	•토사~발파암	•토사~풍화암 (심한 발파암)	•토사~발파암	•발파암 (연암, 경암)	•토사~발파암
장점	•시공후 관리 및하자보수가 용이함 •경사 조정에 의한 시각적 불안감 해소	•비탈면에 보강재를 프리스트레싱 없이 촘촘한 간격으로 원지반에 삽입하여 원지반 자체의 전단강도를 증대	•Top Down방식으로 시공 •영구앵커에 충분한 긴장력을 줄 수 있어 구조적 안정성 가장 우수함 •깊은 원호활동에 효과적임	•원지반자체를 이용하여 암반에 부착하여 일체 구조화 •무소음이며, 진동이 적다 •시공성 및 경제성 유리	•부재의 전단강도나 원지반과의 인발저항에 의한 원지반 보강 •연쇄 반응적인 토층부의 붕괴방지 가능
단점	•추가용지 확보에 따른 공기 및 비용 문제 발생 •절취면적 증가로 비탈면고 증가 •추가 절토 및 사토 발생	•Nail 부식방지 대책 필요 •추가 표면처리공 필요	•쏘일 네일링 공법에 비해 공사비가 다소 크게 발생	•부식염려 •동결방지를 위한 처리 필요 •별도의 수발공 설치 필요	•시간적 인장력 감소 가능성 •복잡한 공정과 공기 소요 •지압효과를 위한 전면판 요구
경제성	•공사비가 저렴함	•타공법에 비해 경제적	•공사비 고가	•타공법에 비해 경제적	•록볼트에 비해 다소 고가임
선정	◉	◉	◉	◉	

검토결과	•불안정 비탈면에 대한 대책공법으로 각 보강공법별 비교 · 검토 후 선정 •토사불안정 비탈면에 대한 대책공법으로 비탈면 경사완화, Soil Nailing 공법, 깎기부 옹벽 선정, 암반불안정 비탈면에 대한 대책공법으로 Rock Bolt 공법을 선정

2.4.2 비탈면 대책방안 안정성 검토

○ 비탈면 판넬식 옹벽구간

구 분		측점 (STA.)			연장
본선 및 갱구부	깎기3구간, 서울방향 시점 배면	6+625.7	~	6+694.6	68.9m, 27.0m(배면)
	깎기6구간, 서울방향 종점 배면	6+920.0	~	6+935.0	15.0m(배면)
	깎기8구간, 문산방향 종점 배면, 우측	6+920.0	~	7+040.0	100.0m, 25.0m(배면)

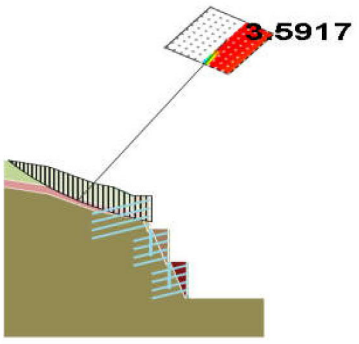
판넬식 옹벽 제원

구 분		크기(mm)	설치간격(m)	비고
시점부	Soil Nailing	D25, 25mm(SD 400)	1.5 X 1.5(m)	L=4.5~7.5m
종점부	Soil Nailing	D29, 29mm(SD 400)	2.0 X 1.5(m)	L=6.0~8.0m
	Anchor	φ12.7mm×3~6ea	2.5 X 2.5(m)	L=13.0~31.0m

성라터널 시점부

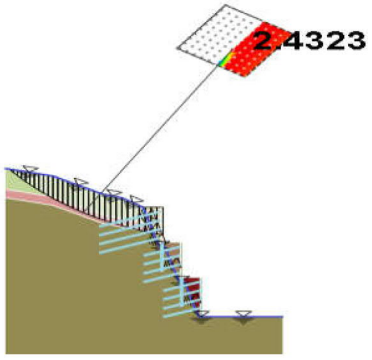
구 분	측점 (STA.)	검토단면		안전률			비고
				건기시	우기시	지진시	
본선 및 갱구부	6+625.7 ~ 6+694.6	6+690	좌측	3.5917	2.4323	1.5941	

건기시



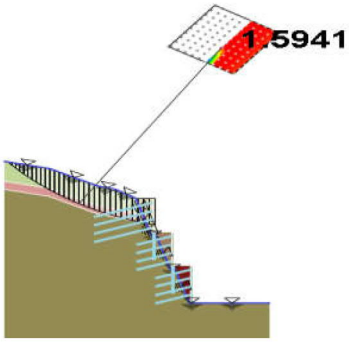
Fs=3.5917 > 1.50 ∴O.K

우기시



Fs=2.4323 > 1.20 ∴O.K

지진시

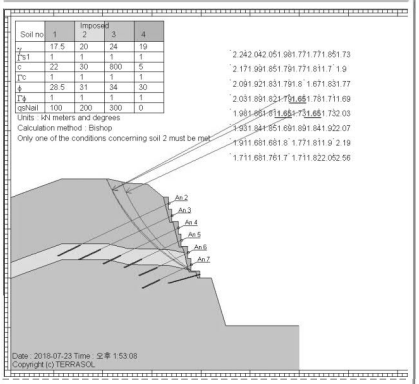


Fs=1.5941 > 1.10 ∴O.K

구 분	측점 (STA.)	검토단면		안전률			비고
				건기시	우기시	지진시	
본선 및 갱구부	6+920.0 ~ 6+935.0	6+935	배면	1.65	1.39	1.25	

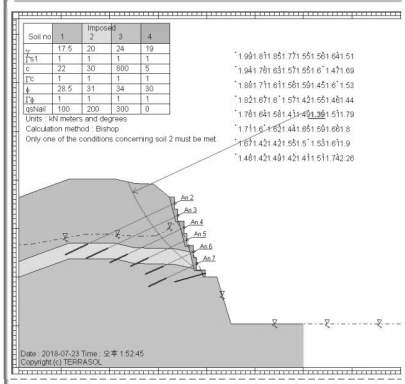
성라터널 종점부

건기시



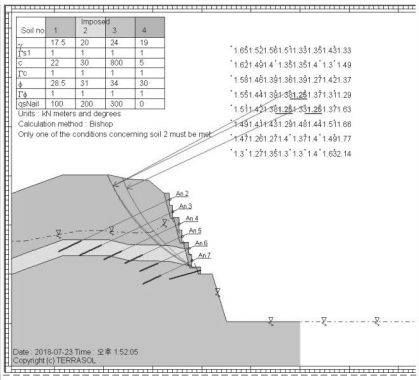
Fs=1.65 > 1.50 ∴O.K

우기시



Fs=1.39 > 1.20 ∴O.K

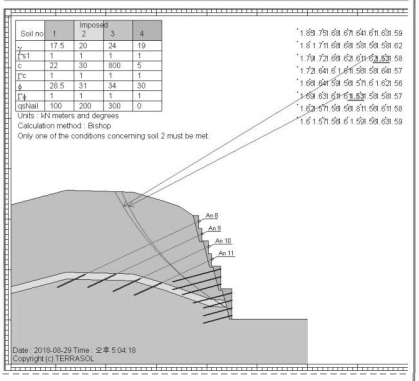
지진시



Fs=1.25 > 1.10 ∴O.K

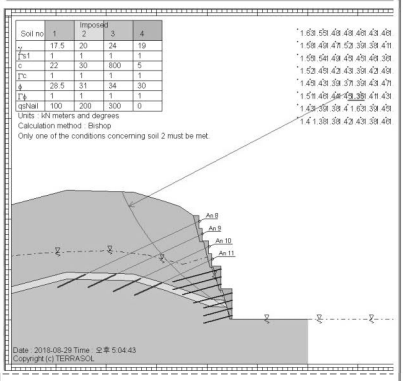
구 분	측점 (STA.)	검토단면		안전률			비고
				건기시	우기시	지진시	
본선 및 갱구부	6+920.0 ~ 7+040.0	6+935	우측	1.53	1.35	1.17	
		6+935	배면	1.58	1.45	1.29	

건기시



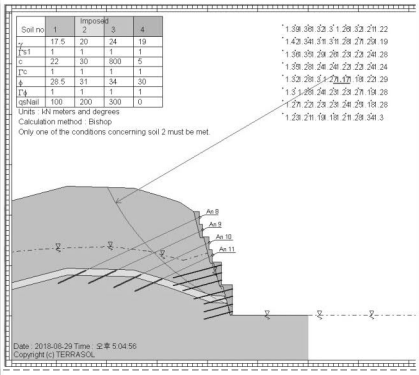
Fs=1.53 > 1.50 ∴O.K

우기시



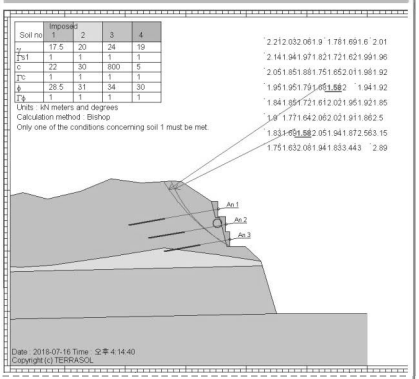
Fs=1.35 > 1.30 ∴O.K

지진시



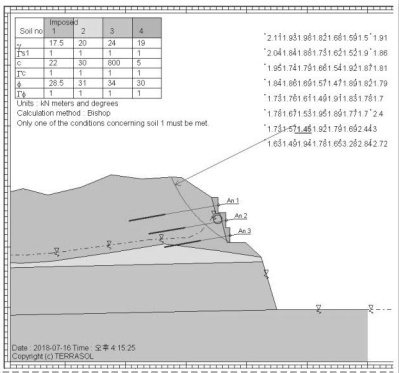
Fs=1.17 > 1.10 ∴O.K

건기시



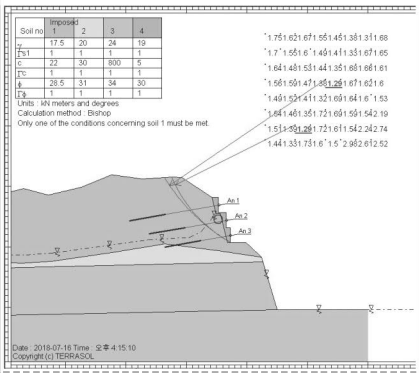
Fs=1.58 > 1.50 ∴O.K

우기시



Fs=1.45 > 1.20 ∴O.K

지진시



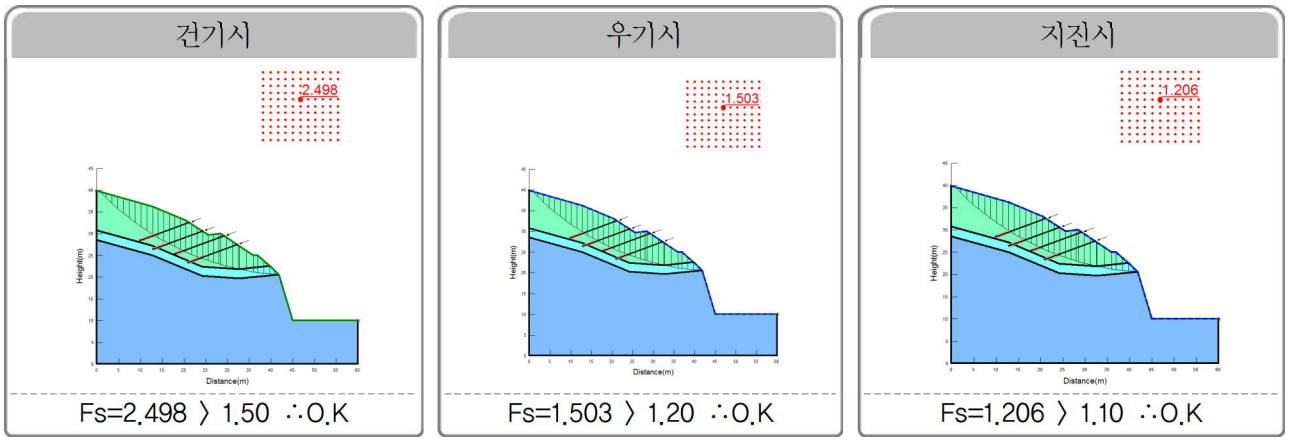
Fs=1.29 > 1.10 ∴O.K

검토결과

•깎기구간은 인접구조물의 침범방지 및 깎기면적 최소화를 위하여 하부 옹벽형식 보강공법 선정결과 보강높이 변화에 탁월한 적용성을 가진 판넬식 옹벽 적용

◯ 비탈면 네일링 보강구간

■ 성라터널 문산방향 시점부 STA. 6+705 좌측 C.T.C 2.0m×2.0m, L=12m



◯ 비탈면 네일링 보강구간 검토결과

구 분		보강구간	검토단면 (STA.)	안전율			대책공법
				건기시 (>1.50)	우기시 (>1.20)	지진시 (>1.10)	
성라 터널	시점부 문산방향	6+700~6+708	좌측 6+705	2.498	1.503	1.206	C.T.C 2.0×2.0 L=12.0m

검토결과	•성라터널 시점부 문산방향 좌측에 대하여 네일링 적용시 안정성을 확보하는 것으로 판단됨

제 3 장 비탈면 보호공법 선정

3.1 설계개요

기본방향	•녹지자연도를 고려, 환경보전과 개발사이의 문제점 극복과 환경친화적 비탈면 보호계획 수립 •비탈면은 우수에 의한 침식 및 세굴로 인하여 비탈면 안정성이 저하되므로 보호공 필요 •지역적인 특성을 감안하여 주변 경관과의 조화를 주목표로 하여 경제성, 시공성, 환경친화성 고려

3.1.1 비탈면 보호공법 검토

◎ 비탈면 보호공법의 종류

▪ 구조물에 의한 보호공법

구 분		주 요 특 징
붙임 쌓기 공법	돌붙임공 블록붙임공	•비탈면의 풍화 침식 방지 •경사 1:1보다 완만한 점착력이 없는 토사 및 붕괴되기 쉬운 비탈면에 사용 •하천, 호수 또는 용수발생구간의 비탈면에 돌붙임, 블록 붙임공을 적용시에는 비탈면 토립자 유출방지를 위해 배면에 부직포 설치를 검토
	콘크리트 붙임공	•절리가 많은 암석, 낭떠러지 등의 붕락의 염려가 있는 경우에 사용 •철근콘크리트붙임공은 1:0.5, 무근콘크리트붙임공은 1:1정도의 경사에 사용 •용수가 예상되는 경우 배수구, 배수공 등을 설치하고 암반에 잘 물리도록 우수의 침입 방지
	돌 및 블록 쌓기공	•경사가 1:1 보다 급경사인 경우에 사용 •토질이 단단하여 토압이 작은 경우에 사용 •비탈면 배면의 수압 발생 방지를 위해 물구멍에 의한 배수처리
콘크리트 격자 공법	콘크리트 블록격자공	•용수가 있는 깎기비탈면, 장대비탈면, 표준경사보다 급한 쌓기 비탈면에서 식생이 부적합한 곳에 사용 •경사 1:0.8 보다 완만한 비탈면에 사용 •격자는 일반적으로 프리캐스트 제품으로 격자내에 객토나 식생 혹은 블록이나 옥석을 깔아 침식 방지
	현장타설 콘크리트 격자공	•용수가 있는 풍화암, 장대비탈면 등에서 비탈면의 장기적 안정이 염려되는 곳, 콘크리트 블록 격자공으로는 붕락의 염려가 있는 곳에 사용 •격자는 철근콘크리트의 현장 타설로써 용수처리를 충분히 실시하고 상황에 따라 블록깔기, 돌붙임, 식생 등으로 보호
모르타르 및 콘크리트 뿜어 붙이기 공법		•비탈면에 용수가 없고 당장 붕락의 위험은 없으나 풍화되기 쉬운 암석, 암석이나 호박돌 섞인 토사 등으로 식생이 부적합한 곳에 사용 •넓은 면적에 효과가 좋으며 경사가 심한 곳, 바위가 돌출한 비탈면에서 시공 가능 •지반은 연암이상으로 비탈면 자체가 안정되어 있는 곳에 사용 •뿜어붙이기 두께의 표준(모르타르 : 5~10cm, 콘크리트 : 10~20cm)

■ 배수공에 의한 보호공법

구 분	개 요	주 요 특 징
지 하 배수구	•지표면에 가까운 침투수를 모아 배수	•용수상황에 따라 화살형이나 W형으로 배치하고 비탈면 파괴방지를 위해 Filter Mat 와 비탈격자공을 겸용
비탈면 망태공	•용수가 많은 비탈면에서는 지하배수구와 겸용하고 비탈 끝에 설치	•망태공은 지름, 길이, 간격 등이 어느 정도 자유스러워 원형, 부채형, Bedding등 여러 형태가 있음
수평 배수공	•횡방향으로 유공관 등을 삽입하여 배수	•규모가 큰 지반 활동지대에서는 배수터널이나 보링공을 조합하여 처리

○ 피복공에 의한 보호공법의 종류 및 특징

■ 토사비탈면 식생보호공법

구 분	Seed Spray	종자분사+유기질토	줄 떼
개 요 도			
공법개요	• 종자, 비료, 피복양생제, 침식방지 안정제, 착색제, 청수 등을 살포기 탱크내에서 혼합 후 고압펌프로 살포하여 녹화하는 공법	• 유기질토양을 양잔디와 초목본류를 혼합하여 습식취부장비를 이용, 일정한 두께로 비탈면에 살포하는 공법	• 식생토를 사용해서 비탈하단에서부터 줄떼의 장변을 비탈면에 따라 수평으로 펴고 흙을 씌워 잔디를 비탈면에 붙이는 공법
특 징	• 공사비 가장 저렴 • 혹한기의 연중시공이 가능 • 절·성토 및 평지등에 다 양하고 편리하게 시공가능 • 기계화 시공으로 공기 단축 • 시공이 간편함 • 하자보수가 용이함 • 척박한 토질에서 만족할 만한 녹화효과 기대할 수 없다. • 건조기의 시공이나 함수율이 적은 토질에서는 정상적인 발아 및 성장이 어려움	• 삼차원의 그물망을 형성하여 토양 유실 및 세굴방지 • 종자유실방지 및 보온보습효과로 균일한 초기발아로 녹화상태 우수 • 유기질토의 양분 공급으로 지속적인 성장유도 • 온도가 영하일 때 시공하면 완벽한 그물망 형성이 어려움 • 공사비 다소 고가	• 종래의 가장 보편적 공법 • 한국기후, 토질에 가장 적합 • 초장이 짧아 미관이 수려 • 주위환경과 친화력이 탁월 • 시공과 함께 피복되므로 침식되기 쉬운 토질에 사용 • 급경사지 식재 불가 • 토사구간외에는 적용 불가 • 토질조건에 따라 활착성 부족 • 강우, 강풍에 의한 침식발생 • 시공시 과다한 인원투입 • 유지보수의 어려움 • 노무비증가로 공사비 고가
선 정	◉	–	–

▮ 암반비탈면 녹화공법

구 분	식생기반 취부공법	덩굴식물 식재공법
개요도		
공법개요	•자연토양을 주재료로 조성한 녹화기반 토양을 액체상태로 분사취부하여 녹화	•흙깎기비탈면 옹벽 또는 소단에 객토를 하고 담쟁이나 유인철선을 이용한 등나무를 비료와 함께 식재
시공성	•PVC 코팅부착망, 앵커핀 및 PVC 철선 등의 사용	•덩굴을 식재하므로 시공성 양호
환경성	•자연토양을 주원료로 사용하므로 타공법에 비하여 친환경적 •주변경관과 조화로운 Sky-Line 형성	•일반 식생의 도입이 불가능한 암절취 비탈면에 시공가능 •환경오염 없음
비탈면 안정	•목본 등 수목의 뿌리에 의한 네트화로 장기적인 비탈면안정 도모 •표층붕괴 및 슬라이딩 억제	•절리 등을 직접 관찰함으로써 사면붕괴 사전예측
적용토질	•초본류+목본류로 절리성 암반에 활착가능	•일반 식생의 도입이 불가능한 암반
시공경사	1 : 0.3 이상	1 : 0.3 이상
선 정	◉	

○ 비탈면 보호공법 선정

구 분		적용공법	비 고
쌓 기 부	토 사	Seed Spray	
깎 기 부	토 사	Seed Spray	
	리핑암	식생기반 취부공법	t=5cm
	발파암		t=10cm
터널갱구부	토 사	Seed Spray	
	리핑암	식생기반 취부공법	t=5cm
	발파암		t=10cm

검토결과 •비탈면의 장기적인 안정성 확보를 위한 비탈면 표면부의 보호공법 검토 및 선정

제 4 장 비탈면 시공 및 유지관리

4.1 설계개요

기본방향	•비탈면 시공에 따른 발생 가능한 문제점을 사전에 도출하여 시공에 따른 유지관리 대책 수립

4.1.1 비탈면 시공시 주요 고려 사항

•비탈면 대책공법을 실시한 곳은 붕괴가능성이 높은 곳이기 때문에 주의해야 하며, 붕괴이력이 있는 구간과 인접하는 구간도 지층구조가 같은 경우 붕괴가능성이 있으므로 주의하여 관찰
•일반적으로 비탈면의 붕괴는 대부분 시공 중에 일어나며, 그 동안의 조사 사례를 분석하면 비탈면 시공 후에 붕괴의 90%는 표층 3.0m이내의 붕괴로 규모가 작은 편임
•강우에 의해 비탈면의 전단강도가 감소하여 붕괴 가능성의 위험 요소가 많으므로 강우량이 적어도 방심할 수 없다는 것을 주의하여 충분한 비탈면의 계측 및 유지관리의 필요성 요구

○ 중점관리구간 및 항목

중 점 관 리 구 간	항 목 관 리
•불안정 비탈면으로 인한 보강공법 적용구간 •쌓기, 깎기고가 높은 구간	•시공 중 유지관리 : 절리방향성, 균열, 붕락, 풍화정도의 확인 •시공 후 유지관리 : 우기시, 동절기시 붕괴위험 집중관리

○ 설계를 통해 안정성이 확보된 비탈면 파괴의 주요 원인

•깎기 및 쌓기 비탈면 지반 내 공극수의 동결·융해로 인한 비탈면 파괴
•얼음과 눈이 녹아 지하수위와 간극수압의 상승
•강우에 따른 함수량 증가에 따른 토사중량 증가
•강우시 비탈면 내부로 침투하여 비탈면 유동성 증가와 전단강도 저하로 인한 비탈면 파괴
•비탈면 지표의 풍화로 인한 부석 발생 및 비탈면 불안정

■ 쌓기비탈면의 유의사항

•시공 중에는 가배수로를 완비하고 경사면의 배수시설 및 비탈면 보호공을 가급적 빠르게 시공함
•쌓기 비탈면의 표면은 다짐이 불량해질 가능성이 있으며 1층마다 기준다짐도 이상으로 다지고 3층마다 마이티팩으로 표면다짐을 반드시 실시
•비탈면 보호공 시공 전 비산먼지 발생 및 유수에 의한 침식방지를 위하여 보호막을 설치

■ 깎기비탈면의 유의사항

•비탈면 깎기 작업시 붕괴사고를 예방하기 위하여 시공시 균열의 유무와 크기 및 낙차, 풍화상태 및 불연속면의 방향성, 부석 및 전석의 유무, 용수위치와 상황 등을 유의깊게 관찰하여 경사면 및 상부 토층의 상태를 파악
•깎기 시공 중 예상 밖의 장소에서 변형이 발생할 수 있으며, 토괴의 이동에 관한 균열은 소단이 있는 콘크리트나 배수구에서 쉽게 발견되므로 임시변형 관측계를 설치하여 동태 관측 수행

4.1.2 절토부 옹벽에 대한 발파진동 영향 검토

○ 절토부 옹벽 보강재 및 PC판넬에 대한 허용기준치 검토

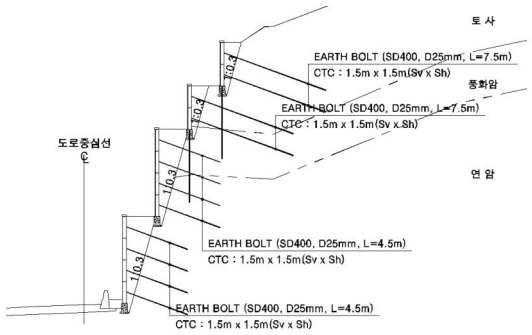
- 국내 및 해외 발파시 허용 및 규제기준을 검토 결과 건축구조물에 대한 규제가 대부분으로 절토부 판넬식 옹벽에 대한 명확한 기준 없음
- 대한화약발파공학회에 발표된 '발파진동이 흙막이 구조물 및 배면지반에 미치는 영향' 문헌을 참조하여 절토부옹벽의 허용기준치 적용

구 분		진동속도에 따른 규제기준(cm/sec)		비 고
		구조물의 종류	허용 진동치	
국내 기준	국토교통부 터널설계 기준 (2009)	중,저층 아파트, 중소상가 및 공장	3.0	
		서울시 지하철 시방기준	5.0	
	서울시 지하철 시방기준	RC, 철골조 공장	4.0	
	국토해양부 노천발파 설계 및 시공 기준 (2006.12)	철근콘크리트건물 및 공장	1.0 ~ 5.0	
	한국도로공사 (2015)	터널, 암거, 옹벽, 매설관	3.0	
		중앙분리대	7.0	
	대한화약발파공학회[1)]	블록사이의 몰탈 이음새 균열기준	10.0	적 용
		콘크리트 연속벽체(슬러리월)	25.4	
		버팀보,, 엄지말뚝	114.0	
해외기준	미 공병단	터널내 발파(피해없음)	25.4	
	Bauer & Calder(1978)	터널내 발파(균열없음)	25.4	

1) 양형식, 2008 -발파진동이 흙막이 구조물 및 배면 지반에 미치는 영향, 대한화약발파공학회

○ 발파진동의 허용기준 선정

- 본 현장은 주변 구조물에 대한 발파진동 영향을 감안할 때 절토부 판넬식 옹벽의 경우 대한발파공학회에서 발표된 발파진동이 '흙막이 구조물 및 배면지반에 미치는 영향'을 참고하여 10cm/sec를 적용하는 것이 타당함

발파진동 관리대상 구조물	발파진동 허용기준
	•보강재 및 절토부 PC 옹벽 : 10cm/sec 이하 •비탈면 깍기부 : 25.4 cm/sec 이하

○ 절토부 옹벽 보강재로부터의 발파 이격거리 산정

■ 설계 적용 발파진동 추정식

• 지발당 작약량에 따른 허용 이격거리는 국토부 발파진동 추정식을 사용하였음

$$V = 160 \left(\frac{D}{\sqrt{W}}\right)^{-1.6}$$

여기서, V : 예상 진동속도(cm/sec)
D : 폭원에서의 이격거리(m)
W : 지발당 장약량(kg/delay)

■ 발파공법별 이격거리 산정 결과

진동 기준	국토교통부 발파공법별 지발당 폭약량 (kg/delay)			최소 이격거리	비 고
10 cm/sec	TYPE-Ⅰ	미진동 굴착공법	0.125kg 미만	2.0m 미만	
	TYPE-Ⅱ	정밀진동제어발파	0.125kg ~0.5kg	2.0m~4.0m	
	TYPE-Ⅲ	소규모 진동제어	0.5kg ~1.6kg	4.0m~7.2m	
	TYPE-Ⅳ	중규모 진동제어	1.6kg ~5.0kg	7.2m~12.7m	
	TYPE-Ⅴ	일반발파	5.0kg ~15kg	12.7m~22.0m	
	TYPE-Ⅵ	대규모발파	15kg 이상	22.0m 이상	

○ 절토부 옹벽 발파진동 영향검토 결과

• 절토부옹벽에 대한 허용 발파진동치는 대한화약공학회 발표논문에 따라 보강재 기준으로 10cm/sec를 적용할 수 있음.
• 국토교통부 발파공법별 지발당 화약량에 따른 최소 이격거리 검토결과 2m 이내에서는 발파시 주의가 필요하고, 2m 이상 이격한 구간에서는 거리에 따라 정밀진동제어발파 또는 진동제어발파가 가능한 것으로 나타남.

4.1.3 시공 중 비탈면 유지관리

시공관리 개요

- 절취비탈면의 시공시에는 시공 중 조사, 관찰, 계측을 실시하여 실제 굴착되는 비탈면의 안정성을 평가하고 필요에 따라서는 설계 및 시공법 변경
- 일반적으로 설계단계에서 지질조사에 의한 지층단면과 굴착에 의해 드러나는 실제 비탈면의 지층구성 상태와는 차이점이 많은 경우가 흔하므로 다음 흐름도의 과정에 의해 시공계획시의 조건이나 제반조건 등을 검토하고 필요하면 추가조사 및 재해석을 실시하여 설계 변경

비탈면 절취시 유의사항

- 비탈면의 절취작업시 예기치 못한 요인에 의하여 생길 수 있는 붕괴사고를 예방하기 위해서는 다음과 같은 사항을 주의 깊게 관찰하여 비탈면 및 상부토층의 상태 파악
- 균열의 유무
- 붕락정도, 부석, 전석의 유무
- 용수위치와 상황, 풍화의 상황
- 절리, 층리의 방향성과 그 진행
- 우수에 의한 균열의 발생 유무

시공 중 깎기 비탈면의 보호

- 일부 지반은 지층 속에 강도가 높은 상태로 존재하더라도 대기 중에 노출되면 급속하게 강도저하가 될 가능성이 있음
- 이는 응력이 해방됨과 동시에 건습의 반복 등 직접적인 기상의 영향을 받기 때문으로 장기적으로 볼 때 비탈면 붕괴의 요인일 될 수 있으므로 비탈면 보호공법이 조속 실시
- 비탈면 보호공 시공 및 배수시설을 설치하여 강우의 침투 방지
  – 절취후 대기에 장기간 노출시 지표수 유수와 우수에 의해 침식에 의한 파괴발생이 예상되므로 작업중 비닐덮기와 조기에 배수시설 및 비탈면 보호공을 설치하도록 함

급속한 굴착에 의한 변형 및 지하수위 변화

- 깎기 공사 중 예상 밖의 장소에서 변형이 발생하는 경우가 있으며, 토괴의 이동에 의한 균열은 소단이 있는 콘크리트나 배수구에서 쉽게 발견할 수 있서, 이러한 경우 임시 변형 관측계를 설치하여 동태관측을 수행
- 비탈면에 용출수가 있거나 지하수위가 높은 지반에서 급속시공을 할 경우 비탈면붕괴 가능성 검토
- 깎기 전후의 지하수위는 안정상태까지 시간이 걸리므로 심층부에 과잉 간극수압이 비탈면 활동에 기여하는 상태가 되므로 시공 중에 지하수위 변화를 관측
- 깎기비탈면에서 용수는 특정한 위치에 집중되는 경향이 우세하므로 비탈면 깎기중 지하수위 상태를 검토하고 지하수 과다유출이 확인된 구간은 필요시 수평배수공을 집중 설치하여 지하수위 상승을 억제하도록 함

시공 중 안정성 보강방법

- 시공 중 비탈면의 안정성 검토는 토사비탈면과 암반비탈면으로 구분하여 각 비탈면의 특색에 맞는 방법으로 검토
- 비탈면안정해석결과 불안정할 경우 다음과 같은 보강공법을 비교·검토하여 최적의 보강공법을 선정하여 안정성 확보(토사비탈면 : 비탈면기울기완화, 식생공법, 네일링공법, 숏크리트 타설, 억지말뚝, 배수공 등)

4.1.4 시공 후 비탈면 유지관리

•설계 및 시공시 조사자료, 시공기록 및 계측자료를 이용한 시공후의 비탈면 유지관리방안 수립

○ 비탈면 유지관리 방법

•시공이 이론적 근거와 조사자료를 근거로 하는 것이라면, 시공 후의 비탈면유지관리는 축적된 계측 Data와 경험의 축적에 의해 안정성 평가
•유지관리 작업은 공사가 준공되고 나서 시행하는 것이지만, 그 준비작업은 시공시점에서 시작된 조사자료와 시공스케치를 보존하여 비탈면 대장을 작성
•비탈면 대장에는 위치, 보호공법 종류, 대책공법 종류 등 필요 항목을 기재하여 비탈면 점검시 관찰상황을 추가 기재하되 주의 관찰이 요구되는 구간은 Check해 두고 유지관리를 실시
•비탈면의 불안정 요인이 관찰될 경우에는 현장 긴급조치를 하고 전문 기술자에게 안정성 분석을 의뢰함
•낙석 및 낙석제거, 낙석방지망 및 낙석방지울타리의 상태점검과 유지보수를 실시
•공사 준공 후 비탈면의 점검을 쉽게 하고 직접 육안으로 점검할 경우에는 점검로(점검계단, 점검사다리, 소단)를 이용
•공사비 절검과 점검로의 효용성을 증대시키기 위해 점검로는 도수로와 인접하여 설치하며 점검시 안전에 유의

○ 기존에 제안된 도로 비탈면의 유지관리 시스템의 예

– 고속도로 절토사면 유지관리시스템 (한국도로공사 연구개발자료), 한국도로공사의 절토사면 유지관리시스템 (한국지반공학회 사면안정위원회 세미나, 1999, 노한성 외)

•붕괴발생 후 대책을 세우는 사후처리 개념에서 전체적인 비탈면을 체계적으로 관리하여 가능한 한 사고를 미연에 방지할 수 있도록, 주기적이고 능동적인 유지관리를 실시한다는 개념 ➡ 관리체계의 구축 필요성 대두
•1단계 : 자료조사단계로 전국에 산재되어 있는 모든 깎기비탈면의 일반현황 파악
•2단계 : 도형정보 시스템과 결합된 데이터베이스 프로그램 수정 및 보완
•3단계 : 자료 입력 (비탈면의 일반현황조사, 비탈면의 상세현황조사 등)
•4단계 : 입력자료에 근거, 비탈면의 유지관리 활용 (보강대책이 요구되는 비탈면에 대한 예산편성 등)

– 절토사면의 안정성 평가를 위한 점검항목 제안 (한국지반공학회 사면안정위원회 세미나, 1999, 구호본 외) : 한국건설기술연구원

•지리정보시스템을 이용한 도로절개면에 대한 다양한 정보들을 데이터베이스화하여 효율적인 도로절개면 유지관리시스템의 모델 개발
•도로절개면의 특성과 제반여건을 고려한 절개면 위험도 평가표를 제시 ➡ 조사우선순위 기법 개발 ➡ 도로절개면 투자우선순위 결정방법 제안
•기대효과 : 향후 도로절개면 관련 설계기준 제시, 위험도 작성 등의 유지관리도구 작성에의 활용

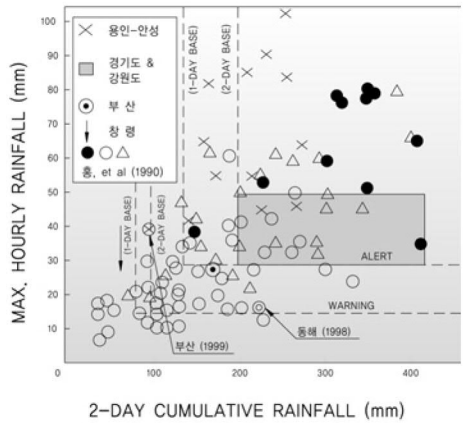
– 절개면 붕괴징후 포착시스템 (국토교통부)

•해마다 20~30건씩 발생하는 국도상의 낙석, 산사태 예방 목적
•광섬유센서를 절개면 중 기울기가 급하거나 바위 밑에 설치, 폭설이나 폭우시 흘러내리는 눈 및 토사의 양에 따라 낙석, 산사태의 위험여부를 경보를 통해 자동으로 알려주는 시스템

확률강우강도에 따른 경보체계 수립

•국내에 발생될 강우와 산사태 발생규모와의 관계 그래프를 적용, 집중 강우에 따른 비탈면 유지관리 방안 수립

최대시간 강우량	2일누적 강우량	유지관리방안
15mm	100mm	•주의경보 발령
30mm	130mm	•경계경보 발령 (추가 계측 실시)
30mm	200mm	•추가계측 결과에 따라 안정성 확보가 어려울 경우 통행로 차단 실시



중점관리구간

중점관리구간의 선정

•비탈면 불안정으로 인해 보강공법을 적용시킨 구간
•깎기 및 쌓기 높이가 큰 구간

점검방법

•비탈면 관리시 점검은 일반적인 점검외에 우기시나 동절기 등 붕괴현상이 집중되는 시기를 전후하여 실시하는 것이 바람직함
•위험성이 내포되어 보수가 필요하다고 판단될 때 재해로 발달되지 않도록 조치해 두고, 필요에 따라 상세한 조사를 수행하고 대응책을 강구하여야 함
•점검방법은 관리기간에 따라 다양하지만 다음 표와 같이 그 빈도를 정해 실시하여야 함

구 분		점 검 내 용	빈 도
일 상 점 검		•차량내에서 확인할 수 있는 범위의 비탈면 상황을 관찰	1일 1회
정 기 점 검	정기점검A	•걸어서 접근하여 관리구간 전체 상황을 전반적으로 점검	1년 1회
	정기점검B	•걸어서 접근하면서 관리구간 전체 상황을 세부적으로 점검	1년 1회
임 시 점 검		•일상점검 또는 정기점검을 보완하기 위해 필요에 따라 실시 일상점검에 의한 평가, 판정이 곤란할 경우 및 이상 기후 직전 혹은 통보에 의해 점검	필요시

제7편 기타구조물 설계

제1장 보강토옹벽 구조물 설계

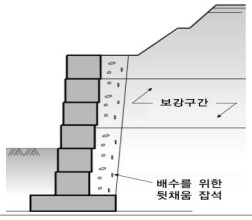
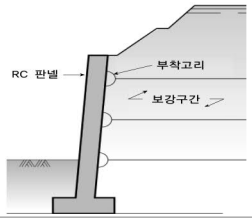
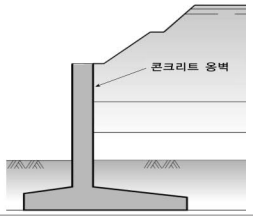
제 1 장 보강토옹벽 구조물 설계

1.1 설계개요

기본방향	•주거지역, 인근 도로 및 토공계획이 곤란한 민원예상구간에 기타구조물 계획 •옹벽 형식은 지반조건, 경제성 및 시공성 분석을 통한 현지여건에 적합한 형식 선정 •주변 환경성 미관 및 안정성에 유리한 옹벽형식 선정

1.1.1 보강토옹벽 형식 검토

•옹벽의 형식은 지반조건, 미관 및 경제성 분석을 통하여 현지여건에 적합한 형식을 선정
•옹벽에 대한 내적, 외적 및 전체적 안정성을 검토하여 옹벽설계 수행

구 분		블럭식 보강토 옹벽	판넬식 보강토 옹벽	일반 콘크리트 옹벽
개 요 도				
시공성	높이	•1~15m (계단형)	•3~30m	•2~8m
	구성	•콘크리트 블록 •보강재 및 기타부속 •뒷채움 토공 및 다짐	•콘크리트 전면판 •보강재 및 기타부속 •뒷채움 토공 및 다짐	•콘크리트, 철근, 거푸집, 비계 등 가설재로 구성 •배수공, 뒷채움 다짐
	공기	•기성품으로 동절기 공사가능	•기성품으로 동절기 공사가능	•동절기 공사에 어려움
	미관	•자연석 문양 외관수려 •다양한 색상 옹벽축조	•조립식 Precast Con'c 이므로 형상이 정확	•현장타설로 표면이 거침 •조형미가 없음
안정성		•부등침하, 지진등 내구성이 강함 (지반, 배면토변위에 적응력우수)	•전면배수로 수압에 조절에 의해 안정성확보, 전면판 변형 미비	•배수공 막힘 현상에 따른 수압 증가로 옹벽 안정성 저하우려
선 정		◉	–	–
검 토 결 과		•지역여건을 고려하여 미관이 우수한 블럭식 보강토 옹벽 선정		

1.1.2 보강토옹벽 설계기준

구 분		설계기준 및 해석방법	적용 설계기준	
적용 시방서		•French Standard NF P94-220, A 05-252 •도로교 설계기준 (건설교통부, 2000)	외적안정	•저면활동 : Fs = 1.5 •전 도 : Fs = 2.0 •지 지 력 : Fs = 2.5 •전체활동 : Fs = 1.5
참 고 문 헌		•TAI Design Guide A-01/05, A-15/16 •도로설계편람(II) (건설교통부, 2000) •도로설계실무편람 (한국도로공사, 1996)		
적용 설계법		•내적/외적안정 – 한계상태 설계법 •전체안정 – 허용응력 설계법	내적안정	•보강재인발 : Fs = 1.5 •보강재파단 : Fs = 1.0
적 용 토 압	상 시	•Coulomb 토압		
	지진시	•Mononobe-Okabe 토압		

1.2 보강토옹벽 안정성 검토

1.2.1 보강토옹벽 안정성 검토 사항

○ 외적 안정성 검토

■ 옹벽에 작용하는 토압

$$P_a = \frac{1}{2} K_a \gamma H^2$$

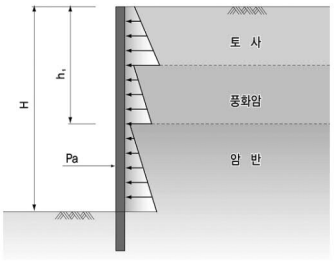
여기서,

K_a : Coulomb주동토압계수

H : 옹벽의 높이

Φ : 쌓기재의 내부 마찰각

작용 토압



■ 활동에(Sliding) 대한 안정

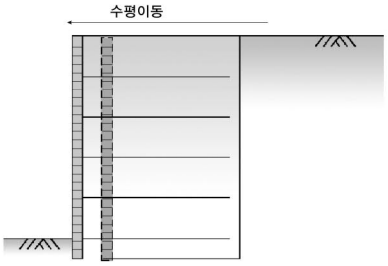
•보강토체와 지반 사이에서 발생하는 활동력과 이에 대한 저항력에 근거하여 안정검토

$$F_s = \frac{\Sigma \text{수평저항력}}{\Sigma \text{수평활동력}} = \frac{(V_1 + V_2 + F_V)\tan\delta + C_a B}{F_H}$$

여기서, δ : 옹벽저판과 지지지반 사이 마찰각

Ca : 옹벽저판과 지지지반 사이 부착력

보강토 옹벽의 활동(Slinding)



■ 전도에(Overturning) 대한 안정

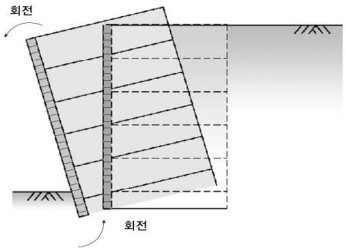
•전면판을 포함한 보강토체가 옹벽선단을 중심으로 회전하려는 모멘트와 이에 대해 저항하려는 모멘트에 근거한 안정검토

$$F_s = \frac{\Sigma \text{ 저항모멘트}}{\Sigma \text{ 전도모멘트}}$$

여기서,

Ms : 저항 모멘트, Mγ : 전도 모멘트

보강토 옹벽의 전도(Overturning)



■ 지지력에(Bearing Capacity)에 대한 안정

•보강토 옹벽의 자중 및 토압으로 인한 수직응력과 지반의 허용지지력과의 관계에 근거한 안정검토

$$\sigma_v \le q_a = \frac{q_{ult}}{Fs}$$

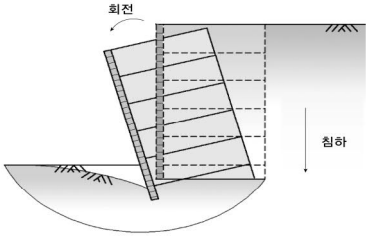
여기서,

σ_v : 옹벽저면의 수직응력

q_a : 기초지반의 허용지지력

q_{ult} : 기초지반의 극한지지력

보강토 옹벽의 지지력(Beariang Capacity)

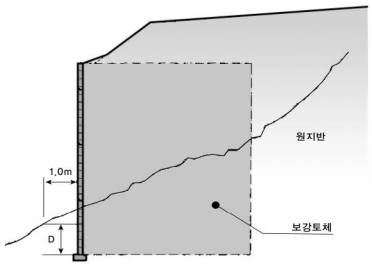


근입장에 (Embedment) 대한 안정

•적용조건
– 단단한 지반 : 최소근입장 없음
– 일반 지반조건 : 최소 근입장 Dm ≥ 40cm
벽체 전면지반의 경사에 따라 다름
•검토식 – NF P 94–220

벽체 전면지반 경사	Dmin / qref ≥ Dm
수평	1.5×10^{-3}
3H : 1V	3.0×10^{-3}
2H : 1V	4.5×10^{-3}
3H : 2V	6.5×10^{-3}

보강토 옹벽의 근입장(Embedment)



내적 안정성 검토

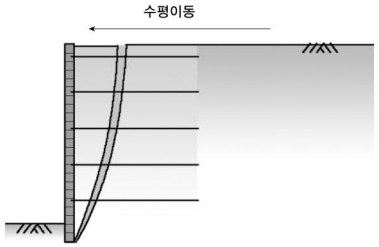
인발저항 (Pull out)

•각 보강재에 유발되는 인장력에 대해 보강재의 유효 길이에 따른 인발저항력에 근거하여 안정검토

$$\frac{T_f}{T_m} > 1, T_f = \frac{2bxf^* \times L_a \times \sigma_v}{(F_s)f}$$

여기서,
Tf : 보강재의 인발저항 능력
Tm : 발생최대 인장력
La : 보강재의 유효길이(인장파괴선 외측)
b : 보강재 폭, f* : 마찰계수

보강재 인발파괴



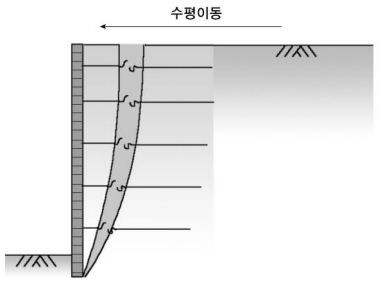
보강재 파단 (Strip rupture)

•보강재에 유발되는 인장력에 대한 보강재가 견딜 수 있는 최대허용인장력에 근거한 안정검토

$$\frac{T_f}{T_m} > 1, T_y = \frac{Ro}{(F_s)f} \times \frac{eo - es}{eo}$$

여기서,
Tm : 최대인장력
Tγ : 보강재의 허용인장강도
R0 : 파단강도

보강재 파단



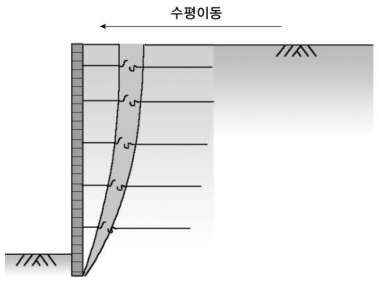
보강토 옹벽의 전체 안정성 검토

•보강토 옹벽 구조체 전체를 포함한 토체의 파괴에 대한 비탈면 안정검토를 수행
•파괴면은 원호로 가정하고, Moment Equilibrium에 의한 한계평형해석으로 검토

$$F_{sgs} = \frac{M_y}{M_d}$$

여기서,
Md : 보강토 옹벽에 불안정을 유발하는 Driving모멘트
Mγ : Driving모멘트에 대한 저항 모멘트

전체적 안정성 (Global Slope Stability)



1.2.2 보강토옹벽 안정성 검토결과

○ 내적·외적 안정성 검토 (생태터널 보강토옹벽 도면 참조)

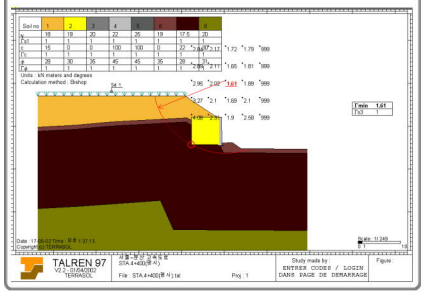
구분	구 간 Sta.	높이(m)	내적 안정		외적 안정		
			인장파단 (>1.0)	인발파괴 (>1.5)	활동 (>1.5)	전도 (>2.0)	지지력 (>2.5)
1	생태터널 배면부 STA. 6+415.00, STA. 6+450	14.3	1.549	6.551	2.30	4.24	4.41
2	본선 STA. 4+339.33 ~ STA. 4+430.00	6.625	1.559	13.491	1.674	3.59	6.97
3	원흥2교	11.625	1.501	3.752	1.854	3.24	2.73
4	성사6교	8.875	1.501	3.248	1.808	3.13	2.65

○ 전체적 안정성 검토결과 (도면 부대공 : 보강토옹벽 참조, 구조계산서)

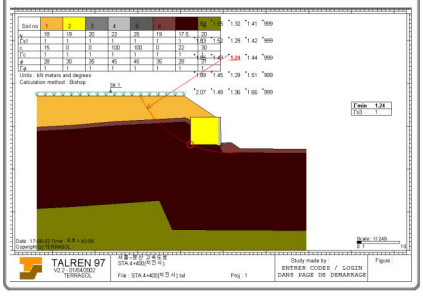
구분	구 간 Sta.	높이(m)	전체 안정성			비고
			건기시 (>1.5)	지진시 (>1.1)	우기시 (>1.3)	
1	본선 STA. 4+339.33 ~ STA. 4+430.00	6.625	1.61	1.24	1.48	O.K
2	원흥2교	11.625	1.55	1.20	1.34	O.K
3	성사6교	8.875	1.66	1.25	1.36	O.K

○ 본선 STA. 4+339.33 ~ STA. 4+430.00

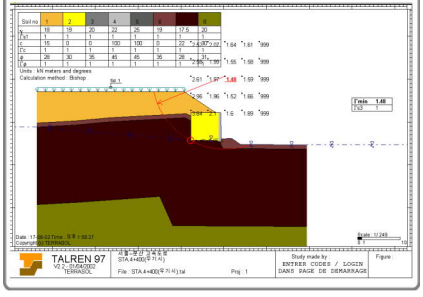
건기시



지진시

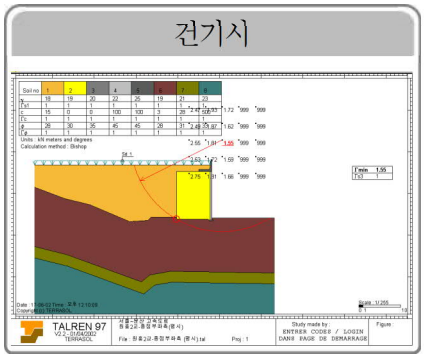


우기시

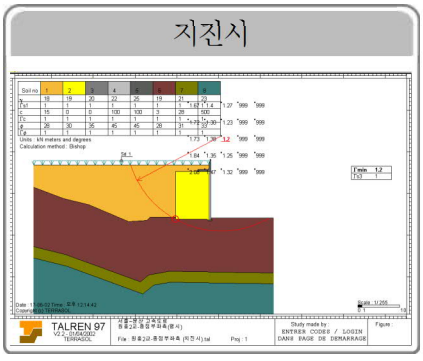


○ 원흥2교

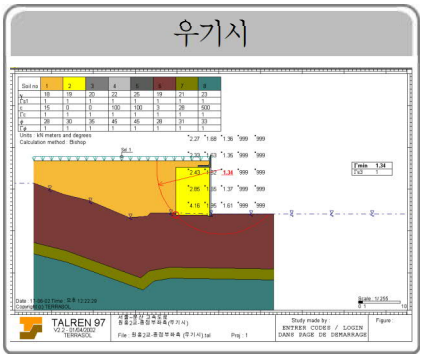
건기시



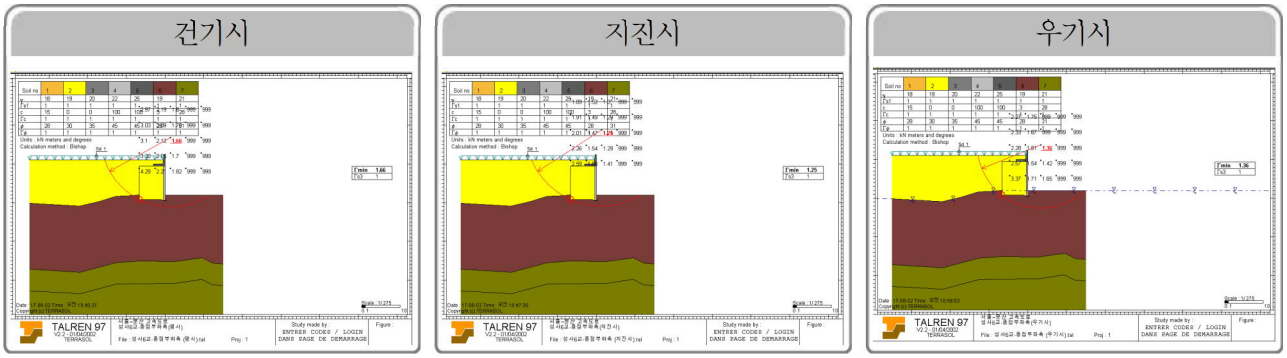
지진시



우기시



○ 성사6교



1.2.3 보강토옹벽 뒷채움재 검토

- 보강토 구조물의 건설에 이용되는 뒷채움재는 이론적으로 흙과 보강재 사이의 마찰효과에 의하여 쌓기제체의 전단특성이 개량된다고 할 수 있음
- 국내에서는 뒤채움재료에 대하여 상세하게 명기된 시방 및 규정은 없으며, 국내외 각 기관의 시방기준을 참조하여, 토취장 쌓기재료의 적합성 여부를 검토한 후 설계에 적용

○ 국내 뒤채움재 선정기준

구 분	입도분포			비 고
	체 크 기		통과백분율(%)	
국립건설시험 연구소 (1983)	254mm (10 in) 101.6mm (4 in) 74μm (No 200체)		최대입경 100~75 0~15	내부마찰각 25°이상
도로설계 실무편람 (1996)	102mm (4 in) 0.425mm 74μm (No 200체)		100 0~60 0~15	-
	예외규정 (No. 200통과량 15% 이상인 경우)	0.015mm	10% 이하	-
		0.015mm	10~20%	내부마찰각 25°이상, 소성지수(PI) 6이하
구조물 기초설계기준 (2003)	100mm 0.425mm 0.075mm		100 0~60 0~15	-
	예외규정 (No. 200통과량 15% 이상인 경우)	0.015mm	10% 이하	-
		0.015mm	10~20%	내부마찰각 25°이상, 소성지수(PI) 6이하

▮ 뒤채움 재료로서 갖추어야 할 조건 : 도로설계 표준편람, 1996, 구조물 기초설계기준, 2003

최대입경	입경100mm 이상의 함유율	입경 0.074mm 이하의 함유율	비 고
250mm	5% 이하	25% 이하	•세립분이 적당하게 혼합되어 있어서 다짐효과를 발휘할 수 있어야 함

○ 품질기준 설정

구 분	기준 1	기준 2	비 고
입 도	•최대입경 : 254mm •5mm 통과량 : 20~100% •0.08mm 통과량 : 15% 이하	•최대입경 : 254mm •100mm 통과량 : 75~100% •0.08mm 통과량 : 25% 이하	•기준 1재료를 사용하되 기준 1재료를 현장 부근에서 구할 수 없을 때 기준 적용
내부마찰각	25°이상	25°이상	
소성지수(PI)	PI < 6	PI < 6	

○ 다짐장비에 의한 시공시 횡토압 검토

•국내·외 연구사례를 분석을 통하여 Duncan(ASCE, 1993)에 의하여 제시된 방법을 활용하여 시공 중 다짐장비에 의하여 발생되는 추가토압을 고려하여 시공 중 안정성 분석 수행

•국내 · 외 연구사례를 검토하여 Duncan(ASCE,1993)이 제안한 방법에 의하여 100kN의 진동로울러 장비를 사용한 경우 최대 횡토압은 43.6kPa으로 산정

•연구사례와 시공사례를 토대로 검토한 결과, 다짐장비와 옹벽 벽체사이의 거리를 1.0m이상으로 할 경우 옹벽에 미치는 횡토압의 영향은 적은 것으로 분석

현 천 I C

조 사 편 목 차

제1편 지반조사 계획

제 1 장 조사개요 ····· 1
1.1 조사목적 ····· 1
1.2 조사위치 ····· 1
1.3 조사항목 ····· 2
1.4 조사기간 ····· 2
1.5 조사장비 ····· 2

제2편 지반조사 일반사항

제 1 장 토질.암반의 분류 및 기재방법 ····· 3
1.1 토질의 분류 및 기재방법 ····· 3
1.1.1 토질의 분류방법 ····· 3
1.1.2 토질의 기재방법 ····· 5
1.2 암반의 분류 및 기재방법 ····· 6
1.2.1 암반의 분류방법 ····· 6
1.2.2 암반의 기재방법 ····· 7
1.3 암반의 공학적분류 ····· 9
1.3.1 국내의 암반분류 방법 ····· 9
1.3.2 암반의 공학적분류 기준 ····· 10
제 2 장 현장조사 및 시험 ····· 11
2.1 시추조사 ····· 11
2.2 현장시험 ····· 12
2.2.1 표준관입시험 ····· 12
2.2.2 지하수위 측정 ····· 12
2.2.3 현장투수시험 ····· 13
제 3 장 실내시험 ····· 14
3.1 실내토질시험 ····· 14
3.1.1 기본물성시험 ····· 14
3.2 실내암석시험 ····· 15
3.2.1 기본물성시험 ····· 15
3.2.2 일축압축시험 ····· 16
3.2.3 점하중시험 ····· 16

제3편 지반조사 결과

제 1 장 지형 및 지질 ····· 17
1.1 지형특성 분석 ····· 17
1.2 지질특성 분석 ····· 17
제 2 장 조사결과 ····· 19
2.1 시추조사 ····· 19
2.1.1 시추조사 위치 ····· 19
2.1.2 지층분포 현황 ····· 19
2.2 지하수위측정 ····· 21
2.3 표준관입시험 ····· 22
2.4 현장투수시험 ····· 22
제 3 장 실내시험 ····· 23
3.1 실내토질시험 ····· 23
3.1.1 기본물성시험 ····· 23
3.2 실내암석시험 ····· 24
3.2.1 암석기본물성 및 일축압축시험 ····· 24
3.2.2 점하중강도시험 ····· 24

제4편 교량기초 설계

제 1 장 교량기초 설계개요 ····· 25
1.1 설계개요 ····· 25
1.1.1 기본방향 ····· 25
1.1.2 교량현황 ····· 26
1.2 교량기초 주요검토사항 ····· 26

1.2.1 주요 설계 검토사항 ····· 26
1.2.2 적용 프로그램 ····· 26

제 2 장 기초형식 선정 ····· 27
2.1 기초형식 검토 ····· 27
2.1.1 기초형식 선정 시 고려사항 ····· 27
2.1.2 기초형식 선정기준 ····· 27
2.1.3 기초형식 검토 ····· 28
2.1.4 기초형식 선정 ····· 29
2.2 교량기초 시공법 선정 ····· 31
2.2.1 말뚝기초 시공성 검토 ····· 31
2.2.2 소음-진동 환경 영향원 분석 ····· 32
2.2.3 환경성 평가 분석 ····· 35
2.2.4 강관말뚝 기초 시공법 검토 ····· 35
2.2.5 현장타설 말뚝기초 시공법 검토 ····· 37

제 3 장 교량기초 설계정수 ····· 38
3.1 교량구간 설계지반정수 산정 ····· 38
3.1.1 설계지반정수 산정개요 ····· 38
3.1.2 설계지반정수 산정결과 ····· 38

제 4 장 교량기초 안정성 검토 ····· 39
4.1 말뚝기초의 안정성 검토 ····· 39
4.1.1 말뚝기초 현황 ····· 39
4.1.2 강관말뚝기초 연직 지지력에 대한 안정성 검토 ····· 40
4.1.3 현장타설 말뚝기초 연직 지지력에 대한 안정성 검토 ····· 42
4.1.4 연직변위(침하량)에 대한 안정성 검토 ····· 43
4.1.5 수평변위에 대한 안정성 검토 ····· 44
4.2 주요구간 안정성 검토 ····· 48
4.2.1 고성토부 교대 안정성 검토 ····· 48

제 5 장 교량기초 시공방안 검토 ····· 49
5.1 직접기초 시공방안 검토 ····· 49
5.1.1 기초터파기 굴착공법 검토 ····· 49
5.1.2 기초터파기시 안정성 검토 ····· 50
5.2 현장타설 말뚝기초 시공방안 검토 ····· 50
5.2.1 현장타설 말뚝기초 시공성 계획 ····· 50
5.2.2 현장타설 말뚝기초 시공시 대책수립 ····· 52

제 6 장 기초의 품질 및 유지관리 계획 ····· 54
6.1 말뚝기초 품질관리 계획 ····· 54
6.1.1 말뚝머리결합 방안 ····· 54
6.1.2 말뚝선단처리 계획 ····· 54
6.1.3 말뚝 품질관리 방안 ····· 55
6.2 현장타설 말뚝기초 품질관리 계획 ····· 56
6.2.1 현장타설 말뚝 건전도 시험 ····· 55
6.3 교량기초 재하시험 및 계측계획 ····· 57
6.3.1 말뚝기초 재하시험 ····· 57
6.3.2 교량기초 계측계획 ····· 58

제1편 지반조사 계획

제1장 조사개요

제 1 장 조사개요

1.1 조사목적

사 업 명	• 서울~문산 고속도로 민간투자사업 현천 나들목 지반조사
사 업 목 적	• 사업구간에 대한 최적설계와 시공에 필요한 지반공학적 정보 제공 • 구조물 기초설계 안정해석을 위한 지반자료 제공 • 조사된 자료를 종합·분석하여 경제적이고 효율적인 설계 및 시공을 위한 자료 제공

조사계획 수립

- 기존자료 분석 및 현장 사전조사
- 광역적인 지반 및 지질구조특성 분석

예비 및 상세조사

- 구조물별 조사 항목 및 수량 선정
- 단계별 조사를 통한 최적의 조사결과 도출

최적의 조사 및 분석결과 제공

조사성과 종합분석

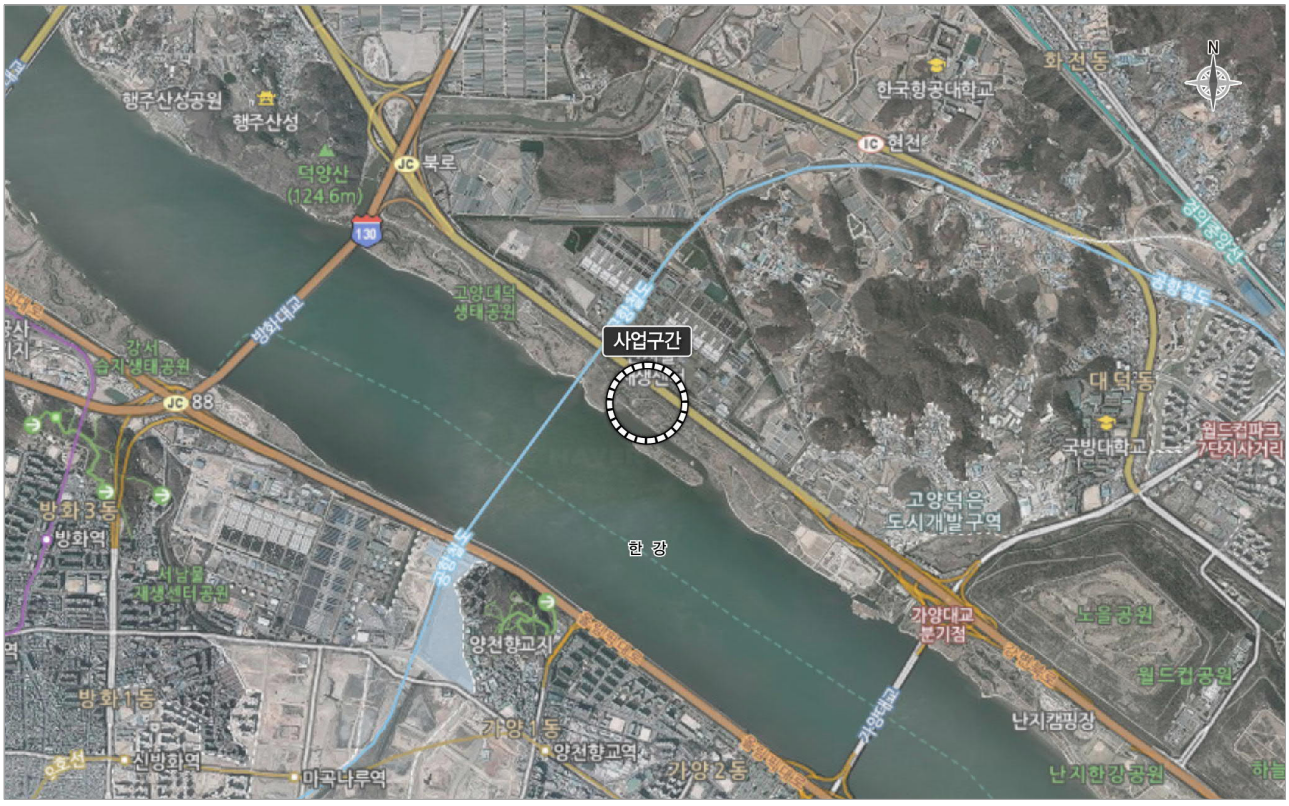
- 지질이상대 및 지층 급변구간 정보 제공
- 구조물별 기초지지층 분포 특성 파악
- 지반특성에 따른 공학적 특성 분석

설계반영

- 합리적 설계를 위한 최적의 지반정보 제공
- 지반특성을 고려한 최적공법 선정 및 설계
- 최적설계 및 각종 안전성 검토자료 제공

1.2 조사위치

사업위치	• 경기 고양시 덕양구 현천동 일대



1.3 조사항목

구 분			단 위	수 량	비 고
현장조사	시추조사		공	7	• 지층구성 및 구조물 지지층 파악
	지하수위 측정		공	7	• 안정수위 측정
현장시험	표준관입시험		회	165	• 토사의 상대밀도 및 연경도 파악
	현장투수시험		회	4	• 토사 및 풍화암 투수계수 산정
실내시험	토질	기본물성시험	회	7	• 토질기본물성 및 지층분류
	암석	기본물성시험	회	6	• 기반암의 물리적 특성 파악
		일축압축강도시험	회	6	• 기반암의 강도특성 파악, 지반물성값 산정
		점하중강도시험	회	6	• 기반암의 강도지수 파악, 지반물성값 산정

1.4 조사기간

구 분		기 간
현 장 조 사 및 시 험	시추조사	2017.07.24. ~ 2017.07.28
	실내시험	2017.07.30. ~ 2017.08.10
성과분석 및 보고서 작성		2017.07.30. ~ 2017.08.12

1.5 조사장비

구 분		장 비 명	수 량	비 고
현장조사	시추조사	POWER4500SD	1조	
	지하수위 측정	전동식수위계	1조	
현장시험	표준관입시험	Split Spoon Sampler	1조	
	현장투수시험	지하수위계, 줄자, 초시계	1조	
실내시험	토질시험	토질시험기기	1식	
	암석시험	암석시험기기	1식	

제3편 지반조사 결과

제1장 지형 및 지질

제2장 조사결과

제3장 실내시험

제 1 장 지형 및 지질

1.1 지형특성 분석

기본방향	• 사업구간 노선의 주요 구간에 대한 토질 및 지질공학적인 자료 획득 • 산계 및 수계 등 지형특성을 파악하는 1차적 자료로 활용

○ 산계 및 수계 분석

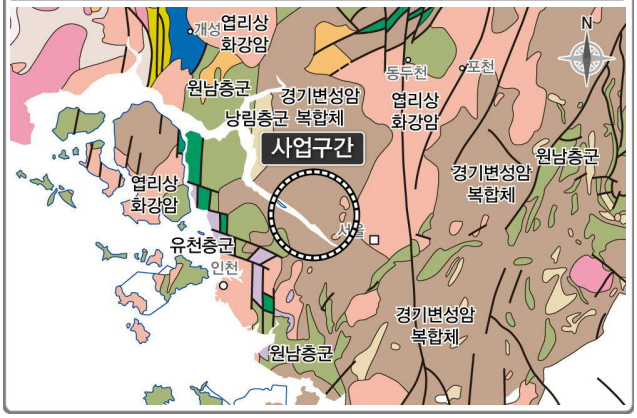
산 계	• 사업구간 주변으로 북으로는 봉산 망월산, 동측으로는 백련산, 대덕산, 남으로는 개화산 등이 남북방향의 구릉지성 저산능 발달
수 계	• 사업구간 주변으로 북에서 남으로 직선상의 유로를 형성하며 한강으로 유입되는 창릉천 및 불광천이 분포 • 사업구간 남측으로 동에서 서로 흘러 서해로 유입되는 한강이 분포

분석결과	• 사업구간 주변 저구릉성 산지가 분포 하며, 주 수계로는 북에서 남으로 흘러 한강에 합류되는 창릉천, 동에서 서해로 유입되는 한강이 분포

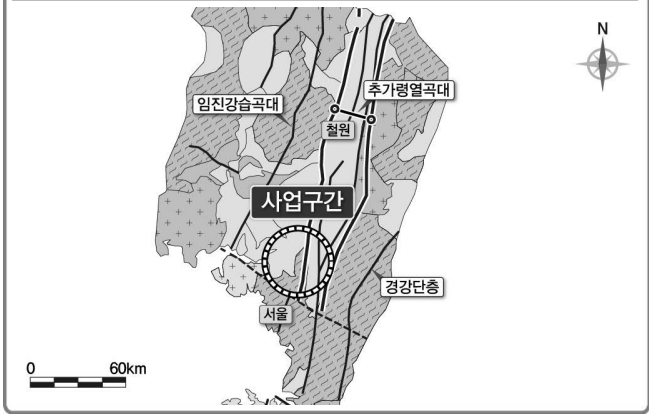
1.2 지질특성 분석

○ 광역지질분포 및 지체구조 특성 분석

광역지질분포 특성



지체구조 분석



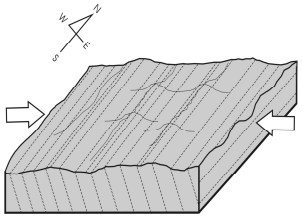
상세지질 특성 분석

지질분포 및 지체구조 특성 분석

- 사업구간의 광역지질은 대부분 경기변성암복합체(편마암, 편암 등으로 구성)로 분포하며, 주변으로 김포 부근의 원생대 원남층군과 동두천, 포천 부근 중생대 엽리상화강암이 분포
- 사업구간은 원산에서 서울까지 이어지는 북북동 방향의 추가령 열곡대 서측에 위치하고, 지체구조상 안정된 경기육괴에 해당되며 지질구조대(대규모 단층, 파쇄대 등)의 영향이 적은 위치에 해당
- 사업구간은 선캄브리아기의 호상흑운모편마암이 분포하며, 우백대와 우흑대가 교호하는 호상구조가 특징

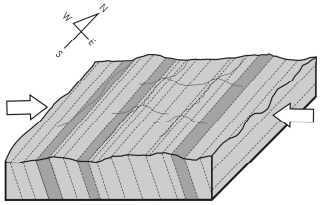
지질변천사

1단계



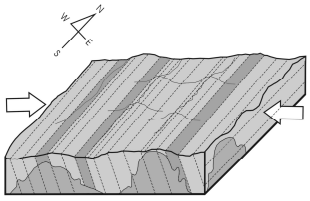
- 변형작용 및 변성작용에 의해 흑운모편마암 형성

2단계



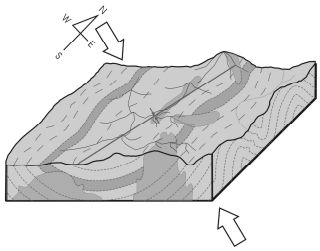
- 변성작용 동안 열수순환작용이 활발하여 석회규산염암 분포

3단계



- 심성암 관입 후 변성작용으로 우백질화강편마암 형성

4단계

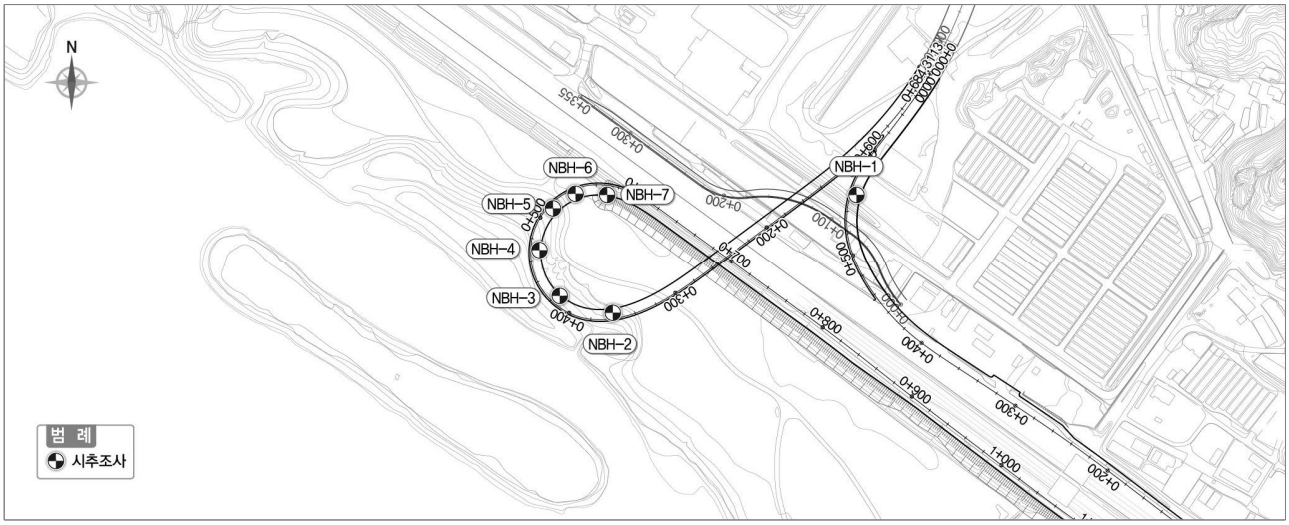


- 동-서방향의 응력에 의해 NE방향의 습곡 발달

제 2 장 조사결과

2.1 시추조사

2.1.1 시추조사 위치

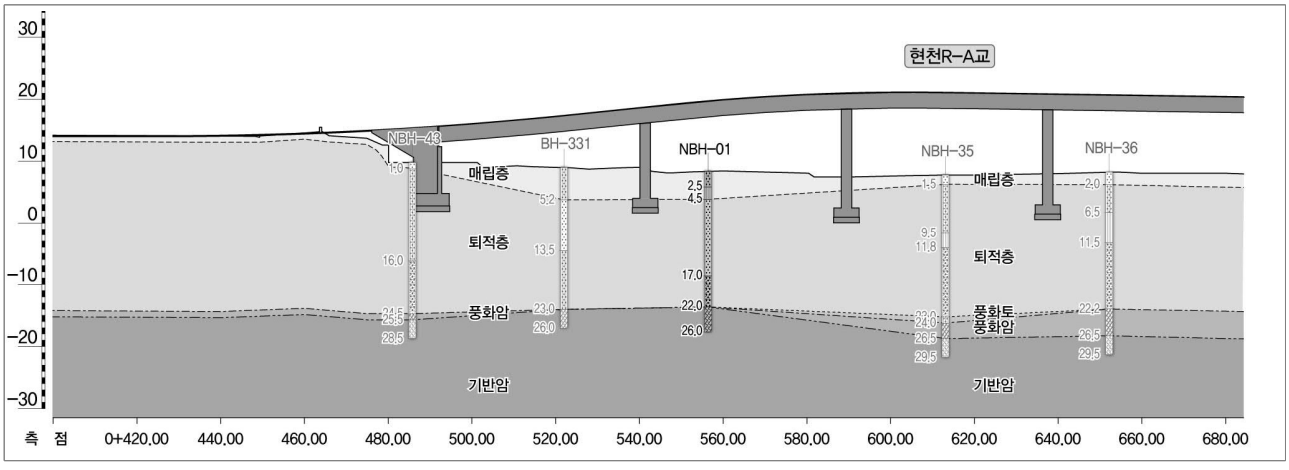


구 분	공 번	위치(STA.)	좌 표		표 고 (EL.m)
			X	Y	
Ramp-A교	NBH-01	0+556.4(우5.3m)	553718.00	187061.00	8.50
Ramp-B교	NBH-02	0+359.7(우5.3m)	553613.00	186845.00	6.80
	NBH-03	0+416.5(우8.2m)	553628.00	186798.00	4.60
	NBH-04	0+469.9(우7.8m)	553669.00	186780.00	3.80
	NBH-05	0+513.8(우4.0m)	553706.00	186792.00	7.00
	NBH-06	0+539.6(우4.2m)	553719.00	186812.00	7.80
	NBH-07	0+571.2(우8.4m)	553718.00	186840.00	8.10

2.1.2 지층분포 현황

◯현천 Ramp-A교

▮ 지층단면도



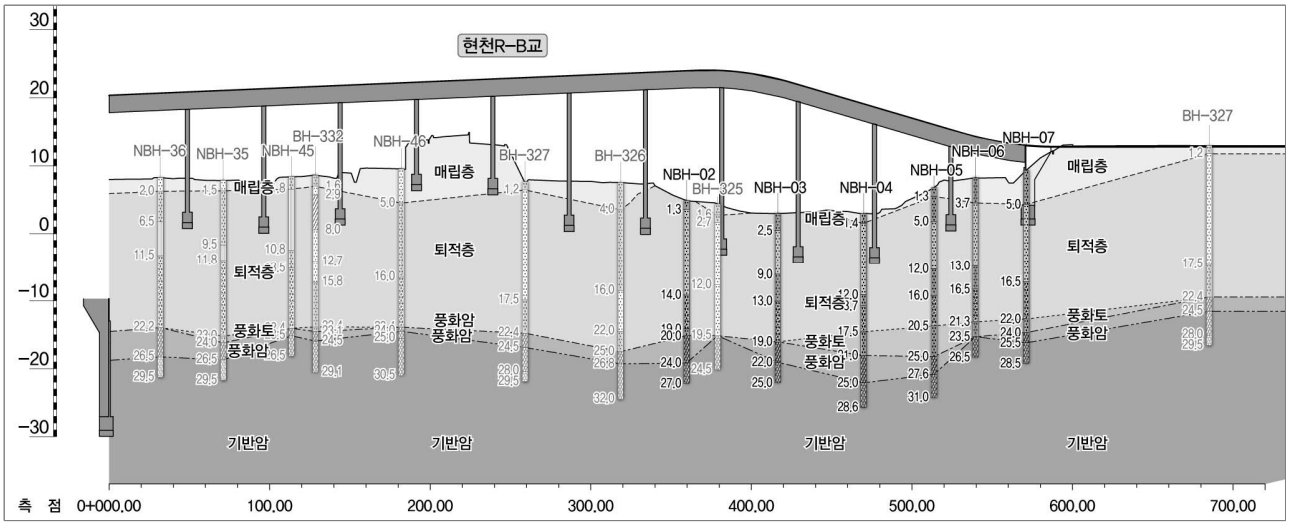
지층상태

구 분	출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값(TCR/RQD)
매립층	0.0	2.5	자갈섞인 실트질 모래	9/30~20/30
전답토	2.5	2.0	저소성 실트	5/30
퇴적층	4.5	17.5	빈입도 모래, 빈입도 자갈	3/30~50/3
연 암	22.2	4.0	편마암	(50~97/0~13)

구 분	지 층 개 요
매립층	• 최상부층으로 2.5m 층후로 분포 • 황갈색 및 암회색의 자갈섞인 실트질 모래로 구성되어 있으며, 자갈크기는 2~8cm정도로 분포 • 습윤한 상태이며, 느슨~보통조밀한 상대밀도로 분포
전답토	• 지표하 2.5m에서 2.0m 층후로 분포 • 암갈색의 저소성 실트로 구성 • 습윤한 상태이며, 보통단단한 연경도
퇴적층	• 지표하 4.5m에서 17.5m 층후로 분포 • 황갈색, 담회색의 빈입도 모래 및 빈입도 자갈로 구성되어 있으며, 자갈크기는 2~6cm정도로 분포 • 습윤한 상태이며, 매우느슨~매우조밀한 상대밀도를 보이고, 자갈크기는 2~6cm정도 분포
연 암	• 지표하 22.2m에서 4.0m 이상 층후로 분포 • 담회색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 50~97%/0~13%로 매우불량~보통 암질 상태 • 심보통풍화, 약함~보통강함, 매우심한균열의 상태

◯현천 Ramp-B교

지층단면도



■ 지층상태

구 분	출현심도(m)	층 후(m)	구성성분	N값(TCR/RQD)
매립층	0.0	1.3~5.0	자갈섞인 실트질 모래	4/30~11/30
퇴적층	0.0~5.0	16.1~19.2	실트, 실트질 모래, 빈입도 모래, 빈입도 자갈	4/30~50/10
풍화토	17.5~22.0	1.0~4.5	실트질 모래	30/30~50/13
풍화암	19.0~25.0	1.5~4.0	기반암의 풍화대	50/10~50/2
연 암	22.0~27.6	3.0~3.6	편마암	(53~100/0~27)

구 분	지 층 개 요
매립층	• NBH-4, 5, 6, 7 시추공에서 확인된 최상부층으로 1.3~5.0m 층후로 분포 • 암갈색, 갈색, 암갈색~암회색의 자갈섞인 실트질 모래로 구성되어 있으며, 자갈크기는 2~15cm정도로 분포 • 습윤한 상태이며, 매우느슨~보통조밀한 상대밀도로 분포
퇴적층	• 모든 시추공에서 확인되며, 지표하 0.0~5.0m에서 16.1~19.2m 층후로 분포 • 황갈색, 암갈색, 담회색, 암회색의 실트, 실트질 모래, 빈입도 모래, 빈입도 자갈로 구성되어 있으며, 자갈크기는 2~9cm정도로 분포 • 습윤한 상태이며, 실트층은 보통견고~견고한 연경도, 모래 및 자갈층은 매우느슨~매우조밀한 상대밀도
풍화토	• NBH-2, 4, 5, 6, 7 시추공에서 확인되며, 지표하 17.5~22.0에서 1.0~4.5m 층후로 분포 • 황갈색, 갈색의 실트질 모래로 구성 • 습윤한 상태이며, 보통조밀~매우조밀한 상대밀도를 보임
풍화암	• NBH-2, 3, 4, 5, 7 시추공에서 확인되며, 지표하 19.0~25.0m에서 1.5~4.0m 이상 층후로 분포 • 갈색의 편마암의 풍화대로 굴진 및 타격에 의하여 암편 및 실트질 모래로 분해됨
연 암	• 모든 시추공에서 확인되었으며, 지표하 22.0~27.6m에서 3.0~3.6m 이상 층후로 분포 • 암회색, 담회색의 편마암으로 구성 • TCR/RQD는 53~100%/0~27%로 매우불량~보통 암질 상태 • 심한풍화~보통풍화, 약함~보통강함, 매우심한균열의 상태

2.2 지하수위측정

개 요	• 사업구간내 시추공에 대한 지하수위 분포현황을 파악하기 위해 지하수위 측정 • 시추조사 완료후 1일이 경과한 후 수위를 측정하여 안정수위를 주상도에 기재

구 분		지반고 EL.+m	지하수위	
			GL.-m	EL.+m
Ramp-A교	NBH-01	8.5	4.2	4.3
Ramp-B교	NBH-02	6.8	1.2	5.6
	NBH-03	4.6	1.0	3.6
	NBH-04	3.8	0.3	3.5
	NBH-05	7.0	1.7	5.3
	NBH-06	7.8	3.5	4.3
	NBH-07	8.1	3.1	5.0

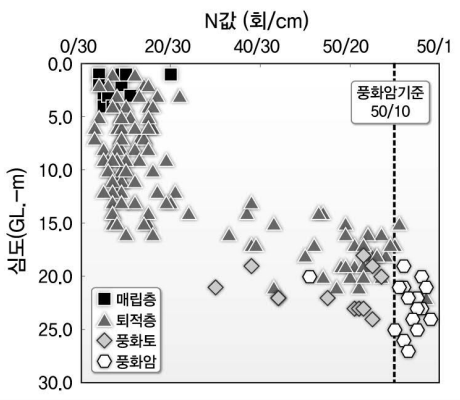
분석결과	• 지하수위 측정결과 GL.- 0.3~4.2m, EL.+ 3.5~5.6m 범위로 분포

2.3 표준관입시험

개 요	• 시추작업과 병행하여 지층의 교란시료를 채취하여 육안분류로 토질을 분류하고, 지층의 상대밀도와 연경도 파악으로 지층을 분류함

구 분		N값 범위	상대밀도/연경도	U.S.C.S
전답층		5/30	보통견고	ML
매립층		4/30~20/30	매우느슨~보통조밀	SM
퇴적층	실트	5/30~12/30	보통견고~견고	ML
	모래	3/30~33/30	매우느슨~조밀	SP, SM
	자갈	37/30~50/3	조밀~매우조밀	GP
풍화토		30/30~50/13	보통조밀~매우조밀	SM
풍화암		50/10~50/2	매우조밀	-

지층별 N값 분포도



분석결과	• 토사구간은 전답층(실트), 매립층(모래), 퇴적층(실트, 모래, 자갈), 풍화토, 풍화암의 지층으로 분포 • 퇴적실트층은 N값 5/30~12/30회/cm, 퇴적모래층은 N값 3/30~33/30회/cm, 퇴적자갈층은 N값 37/30~50/3의 분포를 보임

2.4 현장투수시험

개 요	• 조사구간내 퇴적층의 투수성을 파악하기 위하여 4회 수행 • 지반의 투수성을 파악하기 위해 변수위 투수법을 적용하여 투수시험 수행

○ 시험결과

구 분	공 번	시험구간 (GL.-m)	지 층	투수계수 k(cm/s)	지하수위 (GL.-m)
Ramp-A교	NBH-1	9.0~10.0	퇴적층(SP)	3.02×10^{-3}	4.2
Ramp-B교	NBH-2	16.0~17.0	퇴적층(GP)	4.57×10^{-3}	1.2
	NBH-3	10.0~11.0	퇴적층(SM)	2.07×10^{-4}	1.0
	NBH-6	6.0~7.0	퇴적층(SP)	2.51×10^{-3}	3.5

분석결과	• 시험결과 투수계수는 퇴적모래층 2.07×10^{-4}~3.02×10^{-3}cm/s(평균 1.91×10^{-3}), 퇴적자갈층 4.57×10^{-3}cm/s의 분포를 보임

제 3 장 실내시험

3.1 실내토질시험

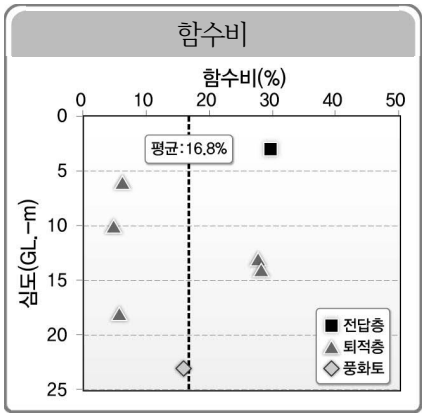
3.1.1 기본물성시험

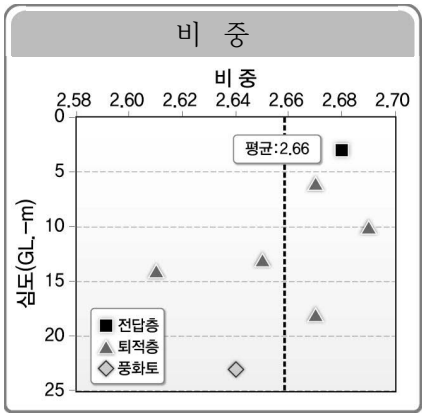
개 요

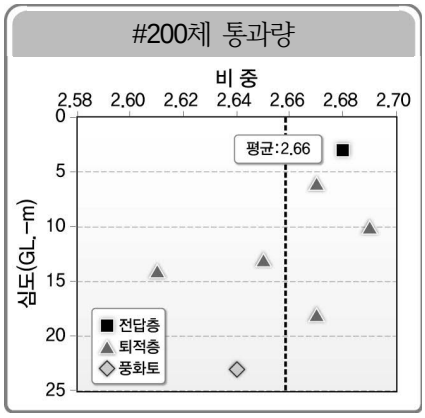
- 시추조사와 병행하여 실시한 표준관입시험 시료에 대하여 입도분석 및 물성시험 수행
- 지층별 대표시료를 선정하여 흙의 물리적 특성 파악 및 지층 분류시 활용

○ 시험결과

구 분	공 번	심 도 (GL.-m)	지 층	함수비 (%)	비 중	Atterberg Limits(%)		통과중량 백분율(%)				USCS
						LL	PI	No.4	No.10	No.200	0.005mm	
Ramp-A교	NBH-1	3.0	전답층	29.7	2.68	34.6	9.7	100	100	96.7	18.6	ML
Ramp-B교	NBH-2	10.0	퇴적층	4.7	2.69	N P	N P	96.3	82.4	4.8	-	SP
	NBH-3	18.0	퇴적층	5.6	2.67	N P	N P	41.6	27.0	3.5	-	GP
	NBH-4	13.0	퇴적층	27.6	2.65	32.6	8.9	100	100	90.4	14.5	ML
	NBH-5	14.0	퇴적층	28.1	2.61	31.8	7.8	100	100	93.2	18.2	ML
	NBH-6	6.0	퇴적층	6.1	2.67	N P	N P	94.5	79.9	2.9	-	SP
	NBH-7	23.0	풍화토	15.8	2.64	N P	N P	97.2	87.2	21.6	-	SM







분석결과

- 실내시험결과 전답층에서 ML, 퇴적층에서 ML, SP, GP, 풍화토 SM으로 분류됨
- 함수비: 4.7~29.7%, 비중: 2.61~2.69, #200통과중량 백분율: 2.9~96.7%

3.2 실내암석시험

3.2.1 암석기본물성 및 일축압축시험

개 요	• 시추조사시 채취된 대표적 시료에 대하여 암석의 물리적 성질과 일축압축강도 측정 • 지층 및 암종별로 물리·역학적 특성을 규명하고 안정성검토 및 설계지반정수 산정시 활용

○ 시험결과

구 분	공 번	심 도 (GL.-m)	비중	흡수율 (%)	탄성파속도(m/s)		일축강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)	포아송비
					P파	S파			
Ramp-A교	NBH-1	24.4~24.5	2.725	0.65	3,194	1,599	68.1	64,247	0.20
Ramp-B교	NBH-2	25.6~27.8	2.714	0.60	4,504	2,255	65.8	55,465	0.21
	NBH-3	24.4~24.5	2.777	0.69	4,424	2,215	88.1	70,442	0.20
	NBH-4	27.6~27.7	2.699	0.60	4,166	2,086	22.6	37,062	0.29
	NBH-5	29.2~29.3	2.653	1.67	3,067	1,537	37.4	44,282	0.26
	NBH-7	27.5~27.6	2.718	0.92	3,846	1,926	63.4	61,980	0.25

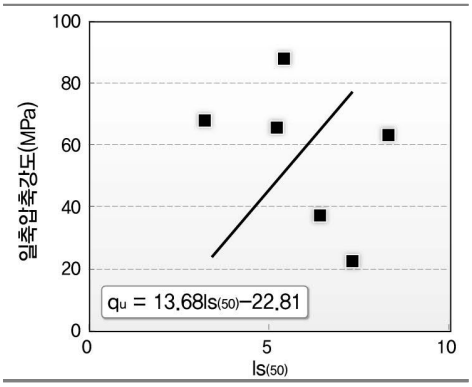
분석결과	• 일축압축강도: 22.6~88.1MPa, 포아송비: 0.20~0.289의 범위를 보임

3.2.2 점하중강도시험

개 요	• 암석 시편의 인장력에 의한 파괴하중을 이용하여 Point load index Is_{50}값을 산정

○ 시험결과

구 분	공 번	심 도 (GL.-m)	지 층	$Is_{(50)}$ (MPa)	q_u (MPa)
Ramp-A교	NBH-1	24.7~24.8	연 암	3.2	21.0
Ramp-B교	NBH-2	25.5~25.6		5.2	48.3
	NBH-3	22.5~22.6		5.4	51.1
	NBH-4	28.2~28.3		7.3	77.1
	NBH-5	29.1~29.15		6.4	64.7
	NBH-7	27.0~27.05		8.3	90.7



분석결과	• 과업구간의 점하중강도시험의 강도지수와 실내시험 일축압축시험을 비교한 결과 상관성은 $q_u=13.68(Is_{(50)})-22.81$의 결과로 분석되며, 지수 13.68을 적용한 강도 값은 연암에서 23.0~90.7MPa로 분석됨

제4편 교량기초 설계

제1장 교량기초 설계개요

제2장 기초형식 선정

제3장 교량기초 설계정수

제4장 교량기초 안정성 검토

제5장 교량기초 시공방안 검토

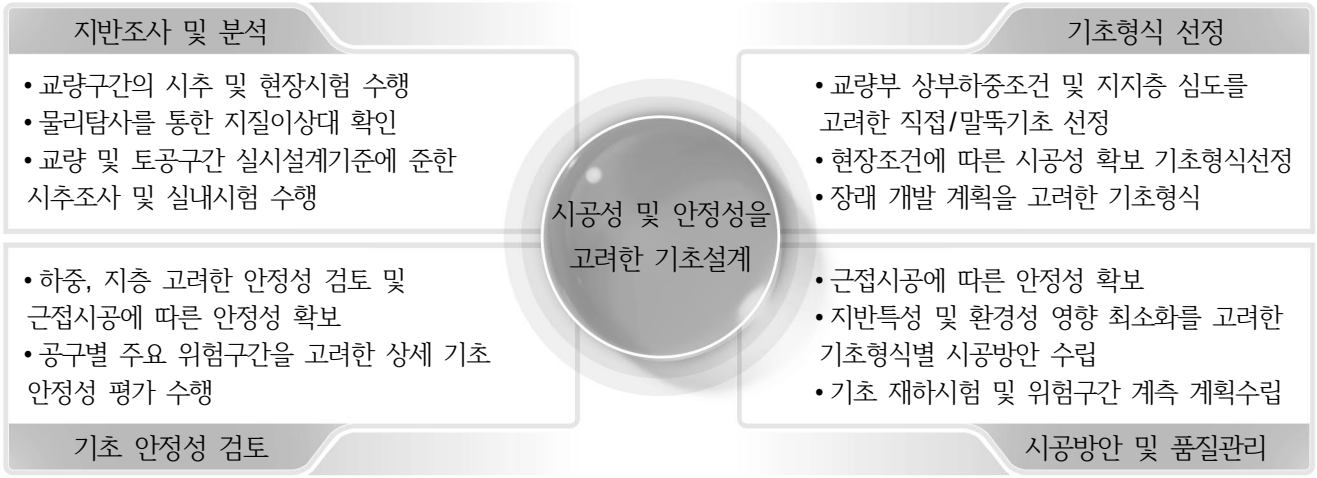
제6장 기초의 품질 및 유지관리계획

제 1 장 교량기초 설계개요

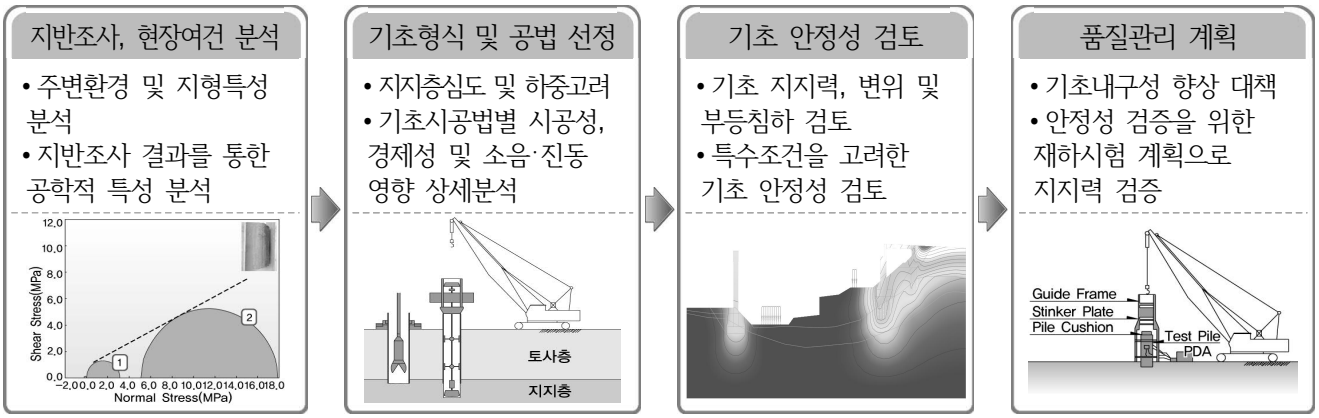
1.1 설계개요

기본방향	• 지층분포, 시공조건, 교량 상부구조 형식 및 환경성을 고려한 최적의 기초형식 선정 • 구조물인접 시공구간, 고성토부 교대 등 주요 구간의 기초안정성 검토 • 선정된 기초형식의 안정성 확보를 위한 재하시험 및 시공 중 품질관리 계획 수립

1.1.1 기본방향



◎ 교량기초 설계흐름



◎ 지반조사 설계활용

조사항목		조 사 내 용	설 계 활 용
지표지질조사		• 교량구간의 지형 및 지질특성 파악 • 사업구간의 노두조사로 암종분포 특성 파악	• 교량위치 선정 및 지층특성 파악 • 암반 절리파악에 의한 기초 안정성 검토
시 추 조 사		• 교량구간의 지층분포 및 기반암 심도 확인 • 기반암 상태조사 및 연경도 파악(SPT 수행)	• 지지층확인을 통한 기초형식 선정에 활용 • 설계 지지력 검토 시 문헌치 판단에 활용
공내재하시험		• 기반암의 하중에 대한 변형특성 파악	• 변형계수(E_d) 및 탄성계수(E_s)
DHT 시험		• 구조물 내진해석을 위한 동적지반정수 산정	• 인공지진파 산정 후 구조물 내진해석 수행
실내 시험	토질	• 비중, 함수비, 액·소성한계 등	• 흙의 분류 및 지반특성 파악
	암석	• 일축압축강도, 점하중강도 등	• 암반 지지기초의 안정성 검토

1.1.2 교량현황

○ 1공구 교량 현황

교 량 명	위치(STA.)	교량형식	경간/연장	지 지 층	기초형식
현천 IC Ramp-A	0+492.09 ~ 0+612.09	Steel Box교	2경간 / 120.0m	연암	현장타설 말뚝기초 강관말뚝기초
현천 IC Ramp-B	0+071.67 ~ 0+570.53	Steel Box교, 강합성형라멘교	9경간 / 498.86m	풍화암/연암	현장타설 말뚝기초 강관말뚝기초

1.2 교량기초 주요검토사항

기본방향	• 교량기초 설계에 있어 시추조사와 현장 및 실내시험 결과를 종합적으로 분석 • 교량기초 설계 시 상부구조물, 하중조건, 지반특성 및 현장여건을 고려한 주요 검토사항을 분석하여 최적의 설계수행

1.2.1 주요 설계 검토사항

검 토 사 항		검 토 내 용
기초형식 적정성		• 기초형식검토 : 지형 및 지질, 구조물의 특성 및 기타 시공조건 등을 고려 • 기초형식선정 : 경제성, 시공성 및 환경영향을 고려한 최적의 기초형식 선정
설 계 안정성	지지력 및 변위	• 얕은 기초의 안정성 : 연직지지력, 변위 • 깊은 기초의 안정성 : 연직 및 수평지지력, 변위, 군말뚝효과를 고려한 말뚝해석 • 부등침하에 대한 안정성 검토
	현장여건을 고려한 안정검토	• 쌓기 교대부 안정성 검토 및 고성토 구간 측방유동 검토 • 지선부 현장타설말뚝 안정해석 검토 • 지지층 및 기초형식 상이구간 기초의 안정성 검토 • 근접시공에 따른 인접구조물의 안정성 검토
기초 시공방안		• 얕은 기초의 시공성 검토 • 가시설 공법 안정성 검토 • 환경성 평가를 통한(소음.진동) 기초시공법 선정(매입말뚝선정)
유지관리 및 품질관리계획		• 깊은 기초의 재하시험 계획 및 얕은 기초의 평판재하시험 계획 • 강관/현장타설 말뚝기초 품질관리 및 계측계획 수립

1.2.2 적용 프로그램

분 야	프로그램명	내 용	설 계 적 용
수치해석	Midas GTX	연속체 해석을 통한 지반거동분석	• 상이 기초형식 및 지층변화구간의 부등침하 검토
	SLOPILE	2차원적 거동분석	• 교대부 고성토구간 측방유동 안정성 검토
말뚝검토	GROUP 6.0	군말뚝의 수평력 해석	• p-y곡선을 이용한 군말뚝의 수평 거동 검토
기타검토	Tarlen97, SLOPE/W	임시 비탈면 안정검토	• 얕은 기초 터파기시 임시 비탈면에 대한 검토
	SEEP/W	침투류 해석	• 기초 터파기 지하수 유입량 검토
	Midas GEOX	가시설 해석	• 가시설의 안정성 해석

제 2 장 기초형식 선정

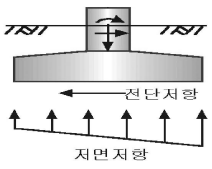
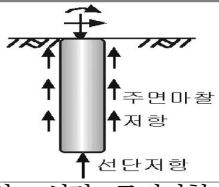
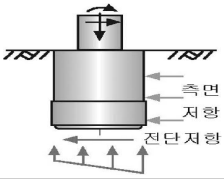
2.1 기초형식 검토

기본방향	• 지층구성 및 특성파악으로 지지층심도와 주변 환경영향을 고려한 합리적인 기초형식 도출 • 직접기초 적용 가능성을 우선 검토한 후 안정성, 시공성 및 경제성에 따라 깊은기초 적용 • 기초형식은 내적(구조물 특성, 지반조건) 및 외적(현장조건, 시공성)요인에 의해 선정

2.1.1 기초형식 선정 시 고려사항

환경 영향	• 시공중 환경오염 및 소음 . 진동에 의한 주민 생활 불편을 최소화 할 수 있는 기초형식 선정
지반 조건	• 지층 분포현황 및 지반의 공학적 특성을 고려한 기초형식 선정
안 정 성	• 상부 구조형식에 의한 작용하중을 원활히 지지하여 구조물 기능을 유지할 수 있는 기초형식 선정
경 제 성	• 지반상태 변화에 대한 능등적 대처 및 장비 접근성 등이 고려된 경제적인 기초형식 선정

2.1.2 기초형식 선정기준

기 초 형 식	직 접 기 초	깊 은 기 초	
		말 뚝 기 초	우 물 통 기 초
개요도			
	• 연직력 : 저면반력 • 수평력 : 기초저면의 전단저항 (마찰저항)	• 연직력 : 선단, 주면마찰저항 • 수평력 : 말뚝 휨강성, 주변지반 수동저항	• 연직력 : 저면반력 • 수평력 : 측면반력 및 전단 저항 (마찰저항)
적 용 기 준	• 기초심도 : 5.0~8.0m 내외 • 시공성, 경제성을 고려하여 선정 • 터파기내 장애물이 없고 시공중 배수처리가 곤란하지 않을 것	• 기초심도 : 5.0~60.0m • 현장조건 및 하중조건에 따라 기성말뚝과 현장타설 말뚝으로 나누어 적용	• 기초심도 : 5.0~30.0m • 연직하중이 큰 구조물 • 하상, 수상 등 말뚝기초형식 적용이 곤란한 지역

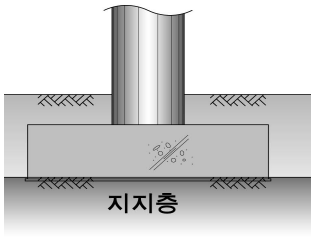
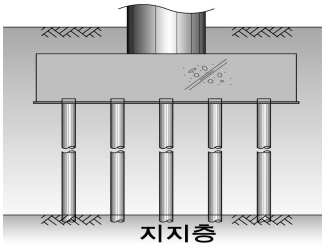
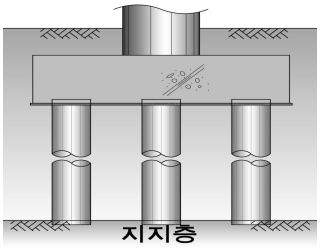
○ 기초형식 설계기준

구 분	선 정 기 준 (Df : 근입깊이, B : 기초 최소폭)
도로설계요령(2002)	• 지지층 : 사질토 N > 30, 점성토 N > 20 • 직접기초 : 지지층 5~10m 이내, 말뚝기초 : 지지층 5~10m 이상
구조물기초 설계기준(2008)	• 직접기초 : Df/B = 1.0 이하, 말뚝기초 : Df/B = 1.0 이상
도로교 설계기준 해설 (하부구조편, 2001)	• 직접기초 : Df/B = 1/2 이하
깊은기초(지반공학시리즈)	• 직접기초 : Df/B = 1.0 이하, 말뚝기초 : Df/B = 1.0 이상

○ 기초형식 선정기준

기초 형식	지지층 (풍화암 이상) 심도
직접 기초	• 심도 5.0m~8.0m 이내 (Mass Con'c 3m 이하 타설) 기초저판은 동결심도 이상 근입
말뚝 기초	• 심도 8.0m이상 지지층의 확실한 근입을 위해 풍화암층은 2D이상 및 연.경암은 1.0D이상 근입
현장타설말뚝기초	• 한강 제내지 및 유심부 구간은 지반 및 시공조건을 종합적 분석한 후 선정

2.1.3 기초형식 검토

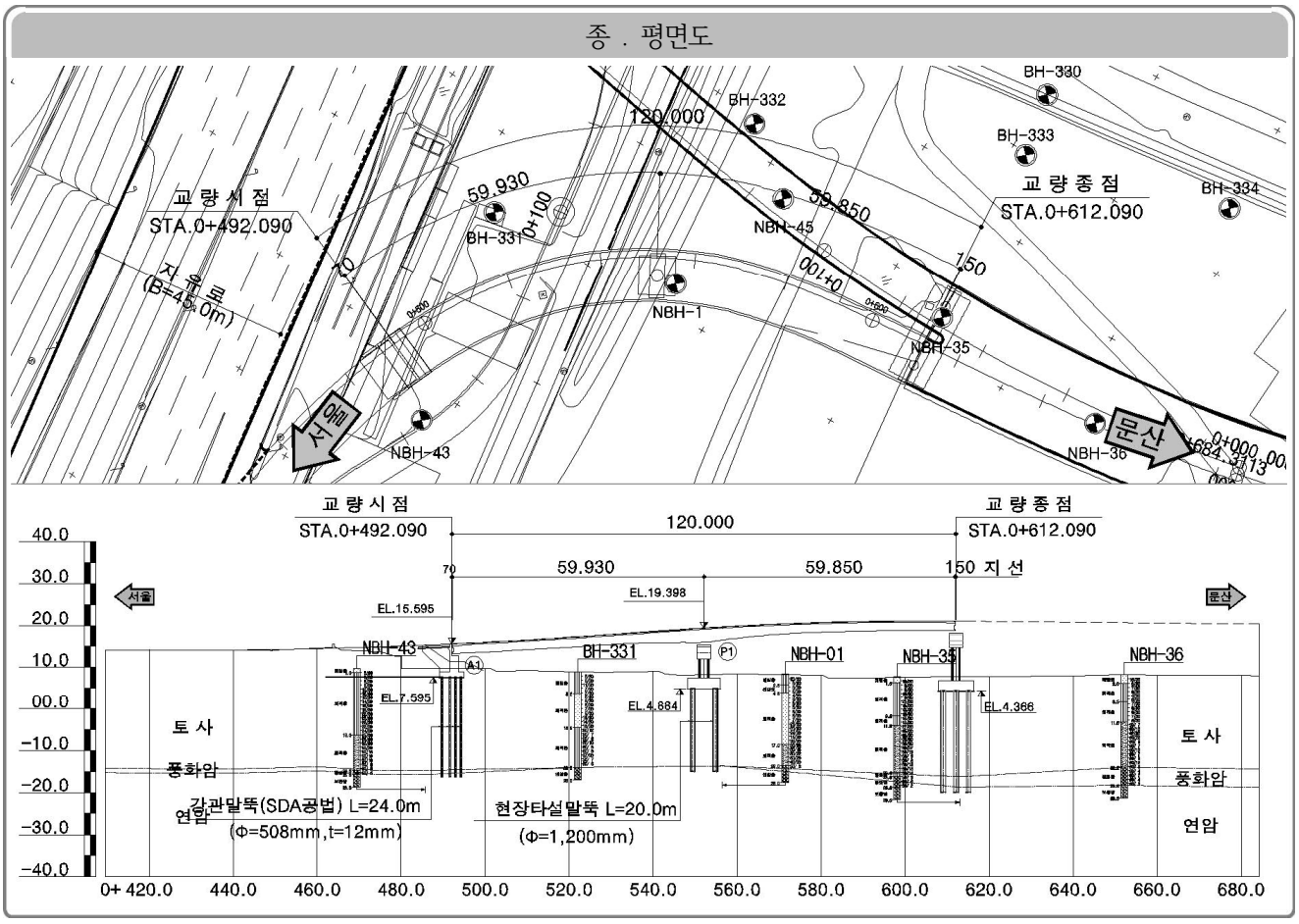
기초형식	얕은기초	깊은기초	
	직접기초	강관말뚝기초	현장타설말뚝기초
개요도			
공법개요	• 소요 지지력을 갖는 지반까지 굴착하여 기초를 직접 설치	• 항타기를 이용 직접 항타, 천공 후 항타 적용 • 중굴말뚝 시공 시 시멘트풀 주입 불필요 • 매입말뚝적용 시 시멘트풀 주입	• 정수압에 의하여 공벽을 안정 • 특수 비트에 의해 굴착 • 공내수는 침전지와 순환 재활용 • 철근망 근입 및 콘크리트 타설
공법구별	• 독립기초 • 줄기초 • 복합기초 • 전면(Mat)기초	• 강관 및 기성(PHC)항타 말뚝 • 매입 및 매입 말뚝	• 단일 현장타설 말뚝 • 대구경 현장타설 말뚝
특징	• 지지층 확인 가능 • 양호한 품질유지, 공사비 저렴 • 굴착심도가 깊은 경우 별도의 가설공사 필요	• 깊은 굴착이 가능 • 수직도 유지 용이 • 자갈, 전석층인 경우 항타 시공 곤란	• 깊은 굴착이 가능 • 지지층에 관계없이 시공 • 양호한 품질관리 곤란
적용기준	• 기초심도 5.0~8.0m 이내 • 시공성, 경제성 고려 • 연직하중은 침하영향내로 검토 • 터파기 영향권 내 장애물이 없고 배수처리가 양호한 지역	• 관입성 및 시공성검토 • 연직하중 100~200ton • 상부에 비교적 연약 토사층 및 퇴적층 등이 분포하는 지역	• 지지층 10m 이상 • 호박돌, 전석에 유리 • 연직하중 100~200ton • 지지층이 상당히 깊고 기초에 대규모 하중 작용 시
적용구간	-	기초심도 5.0~8.0m 이상 구간	현천 IC 구간
검토결과	지반조건	• 지층현황 분석시 지지층 심도가 깊어 직접기초 형식 구간은 없는 것으로 분석 • 전반적으로 지지층심도가 깊어 연직 및 수평력 확보에 우수한 기초 선정 • 지층구성상태, 현장여건 및 상부하중규모에 따라 직접기초 및 깊은기초 (강관말뚝 및 현장타설 말뚝기초 검토)로 선정	
	시공조건	• 깊은 기초 시공법 비교 검토에 의한 강관말뚝 및 현장타설 말뚝공법 시공법 선정 • 시공 시 소음에 의한 민원예상구간 및 항타 시공이 어려운 자갈, 전석층에 매입 및 매입말뚝 선정	

2.1.4 기초형식 선정

1 공구 지선부 기초형식 선정

현천 IC Ramp-A (STA. 0-100.00 ~ 0+250.00)

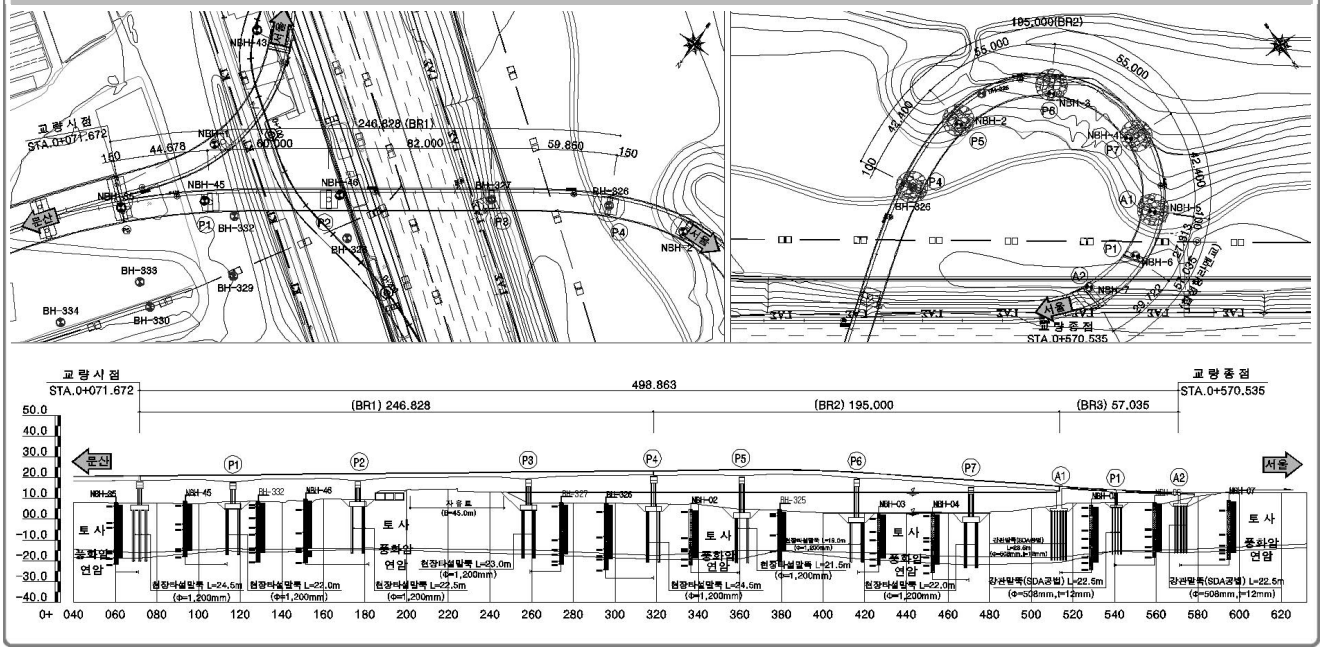
종 . 평면도



교 량 형 식	• 상부구조 형식 : Steel Box교 • 2경간 : L = 120.0m				
지 층 분 석	• 상부 매립층 및 퇴적층이 22.0~24.5m 층후로 분포하며 풍화토층이 1.0m 층후로 분포 • 지지층인 연암층이 G.L(-)22.0~25.5m에서 출현				
기초 형식 선정					
위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
A1(서울-문산)	NBH-43	G.L-25.3m	연 암	강관말뚝기초	Φ 508
P1(서울-문산)	NBH-1	G.L-22.0m	연 암	현장타설말뚝기초	Φ 1,200
선 정 사 유	• 현천 IC Ramp-A A1은 지지층인 연암 심도가 GL(-)25.3m로 강관말뚝기초 선정 • 현천 IC Ramp-A P1은 지지층인 연암 심도가 GL(-)22.0m로, 주면마찰력과 선단지지력을 확보할 수 있는 현장타설 말뚝기초로 선정				

▮ 현천 IC Ramp-C (STA. 0+100.00 ~ 0+870.90)

종 . 평면도



교 량 형 식	• 상부구조 형식 : Steel Box교+강합성형라멘교 • 9경간 : L = 498.863m
지 층 분 석	• 상부 매립층 및 퇴적층이 19.0~23.4m 층후로 분포하며 풍화토 및 풍화암층이 0.6~7.1m 층후로 분포 • 지지층인 풍화암이 G.L(-)24.0~25.0m, 연암층이 G.L(-)22.0~26.8m에서 출현

기초 형식 선정

위 치	시추공번	지지층 심도	지지층	기초형식	비 고
P1(서울-문산)	NBH-45, BH-332	G.L-23.5~24.5m	연 암	현장타설말뚝기초	Φ 1,200
P2(서울-문산)	NBH-46	G.L-25.0m	연 암	현장타설말뚝기초	Φ 1,200
P3(서울-문산)	BH-328	G.L-24.5m	연 암	현장타설말뚝기초	Φ 1,200
P4(서울-문산)	BH-326	G.L-26.8m	연 암	현장타설말뚝기초	Φ 1,200
P5(서울-문산)	NBH-2	G.L-24.0m	연 암	현장타설말뚝기초	Φ 1,200
P6(서울-문산)	NBH-3	G.L-22.0m	연 암	현장타설말뚝기초	Φ 1,200
P7(서울-문산)	NBH-4	G.L-25.0m	연 암	현장타설말뚝기초	Φ 1,200
접속교 A1(서울-문산)	NBH-5	G.L-25.0m	풍화암	강관말뚝기초	Φ 508
접속교 P1(서울-문산)	NBH-6	G.L-23.5m	연 암	강관말뚝기초	Φ 508
접속교 A2(서울-문산)	NBH-7	G.L-24.0m	풍화암	강관말뚝기초	Φ 508
선 정 사 유	• 현천 IC Ramp-B 구간, 접속교 교량(P1)은 지지층인 연암 심도가 GL(-)22.0~26.8m에 출현하여 주면마찰력과 선단지지력을 확보할 수 있는 현장타설 말뚝기초 선정 • 접속교 교량(A1, A2)의 지지층인 풍화암 심도가 GL(-)24.0~25.0m에 출현하여 강관말뚝기초 선정				

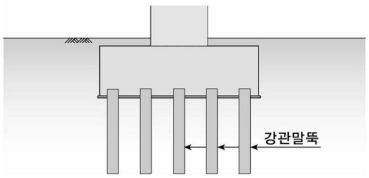
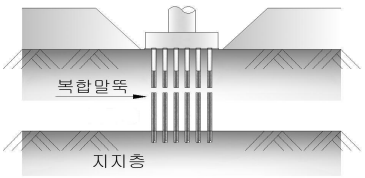
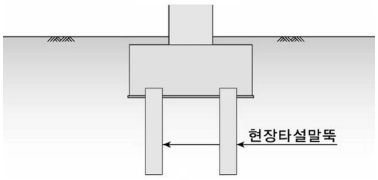
2.2 교량기초 시공법 선정

기본방향	• 육상부 깊은기초로 계획된 교대 및 교각에 대하여 적용 가능한 말뚝재료와 시공법을 비교 검토한 후 최적의 재료와 시공법을 선정 • 교량기초 형식 중 지반조건상 기초터파기시 영향검토와 굴착시 임시비탈면 등에 대한 안정성 검토를 토대로 시공방법을 결정

2.2.1 말뚝기초 시공성 검토

기준 설정	환경조건 검토	시공법 선정	적용시공법 검토		선정
말뚝재료 선정	소음 · 진동 영향 반경 및 항타분석	타입공법 매입공법	• 항타공법 • 진동압입, 매입공법	• 선굴착공법 • 속파기 공법	

○ 말뚝재료 비교 검토

구 분	강 관 말 뚝	복 합 말 뚝	현 장 타 설 말 뚝
개요도			
설 계 시 검토내용	• N값 50까지도 항타가능 하므로 다양한 토질에 가능 • 자갈, 전석층의 경우 항타곤란 • 허용 휨압축응력이 크고 전단력 및 모멘트에 대한 저항력이 큼	• 주면고정을 위한 주면고정액 선별적 필요 • 자갈, 전석층은 항타곤란 • 허용 휨 압축응력 및 모멘트 및 인장력 저항성 깊이 산정	• 일반토사 및 자갈전석, 호박돌층에도 적용 가능 • 허용 휨 압축응력(9MPa)이 작음 • 모멘트에 대한 저항력이 작음
시 공 시 검토내용	• 이음, 절단, 운반이 용이하고 말뚝길이에 대한 제한이 없음 • 단면적이 작아 타입시 배토량이 적어 타입능률 양호 • 용접이음부 연결이 확실하여 본체와 동등한 강도발휘	• 상부지반 조건이 말뚝거동에 영향을 크게 주므로 지반조건의 충분한 확인 필요 • 15m이상의 지지층에 양호 • 연직하중:100tonf/EA 내외	• 장비규모가 크고 시공속도 느림 • 지층에 상관없이 굴착가능 • 수질오염과 콘크리트 품질관리 곤란 • 굴착 후 철근망을 삽입, 트레미 파이프를 이용하여 콘크리트타설
재료특성	• 부식하기 쉬워 부식방지 대책 수립(설계시 2mm의 부식두께 고려) • 중량이 P.H.C의 1/3정도로 운반, 취급이 용이	• 항타 에너지가 클 경우 균열발생으로 인한 강도저하 • 중량물이므로 운반시 편하중에 의한 파단과 취급주의	• 품질관리에 따라서 내구성이 좌우되므로 품질관리를 철저히 하여야 함 • 현장타설으로 문제점 없음
적 용	교대부 깊은 기초구간 적용	-	현천 IC 구간 적용

검토결과	• 사업구간은 상부하중이 크지 않고, 지지층 심도가 깊어 교대부 및 교각부에 수평저항력이 크고 안정성 및 시공성이 우수한 강관말뚝 선정 • 말뚝강성이 충분한 재료가 요구되므로 경제성을 고려하여 강관말뚝 적용 • 현천 IC구간 하천변 구간의 환경성으로 고려하여 현장타설 말뚝기초로 선정

2.2.2 소음-진동 환경 영향원 분석

○ 강관말뚝기초 항타 가능성 검토

- 국내외의 소음·진동 규제기준에 상향 조정에 대한 종합적인 검토를 통한 합리적인 적용기준 선정
- 구조물별 말뚝항타시 소음, 진동치를 인근에 있는 정온시설물 등의 이격거리별로 예측하고, 예측된 소음, 진동치가 각종 규제기준치의 허용치 이내에 포함되는지 검토
- 말뚝기초 시공지역에 대한 지층현황 파악 및 항타공법 적용시 항타시공 가능성 판단

기준설정	현장 환경 조건	항타가능성 검토	시공법 선정
• 말뚝재료 선정 • 지층 및 주변 여건분석 • 항타장비 선정	• 소음·진동기준 및 영향범위 결정 • 항타 공해 검토	• 관입지층 평가 • 항타관입성 평가 • 말뚝허용응력 검토	항타 공법 또는 매입 공법

○ 소음 영향검토 (2009년 1월1일부터 규제강화)

■ 생활소음 규제기준(소음진동규제법 시행규칙 제29조 2 제3항 관련 별표7의 2)(단위 : dB(A))

대 상 지 역	시 간 대 별 대 상 소 음		조 석 (05:00~08:00) (18:00~22:00)	주 간 (08:00~18:00)	심 야 (22:00~05:00)
주거지역, 녹지지역, 준도시지역 중 취락지구 및 운동 휴양지구, 자연환경보전지역, 기타 지역안에 소재한 학교, 병원, 공공도서관 등	확성기	옥외설치	70이하	80이하	60이하
		옥내에서 옥외로 소음이 나오는경우	50이하	55이하	45이하
	공장.사업장		50이하	55이하	45이하
	공사장		65이하	65이하	56이하
기 타 지 역	확성기	옥외설치	70이하	80이하	60이하
		옥내에서 옥외로 소음이 나오는 경우	60이하	65이하	55이하
	공장.사업장		60이하	65이하	55이하
	공사장		70이하	75이하	55이하

○ 교통 소음의 한도(소음진동규제법 시행규칙 제37조관련 별표10) (단위 : dB(A), dB(V))

대 상 지 역	구 분	한 도	
		주 간 (06:00~22:00)	야 간 (22:00~06:00)
주거지역, 녹지지역, 준도시지역 중 취락지구 및 운동.휴양지구, 자연환경보전지역, 학교, 병원, 공공도서관의 부지경계선으로 부터 50m이내 지역	소 음	68	58
상업지역, 공업지역, 농림지역, 준농림지역 및 준도시지역 중 취락지구 및 운동 · 휴양지구 외의 지역, 미고시 지역	소 음	73	63

○ 강관말뚝 항타시 소음영향 검토 (건설기계 중 고소음 발생장비의 소음도 측정 예 (환경연구원))

공 정	기계명		작동원리	O.A 소음도(dB(A))				측정 대수	비 고
				이격거리 7m		이격거리 15m			
				범위	평균	범위	평균		
기 초 공 사	항 타 기 계	항타기	드롭식	93~95	94	88~90	89	4	Con-Pile
		항타기	디젤식	99~110	103	96~101	99	8	Con-Pile
		항타기	디젤식	106~108	107	100~103	102	3	천공후 H-Beam
		항타기	유압식	101~104	103	92~93	93	2	Con-Pile
		항타기	유압식	89~92	91	83~85	84	2	Con-Pile
		항타기	유압식	96~99	97	90~92	91	4	보조강판
		항타항발기	진동식	80~91	85	75~86	80	3	H-Beam 항타
		드릴마스터	공압식	103~107	105	100	100	2	강 관 타 입

• 이격거리별 예측 소음 및 진동도 산정 : 음원의 전파(거리감쇠공식)

$SPL_{\gamma} = SPL_0\ (SPL_T) - 20\log(\gamma/\gamma_0)$

여기서, SPL_{γ} : 수음점까지의 거리가 γ지점에서 개별투입장비의 발생소음도(dB(A)

$SPl_0\ (SPL_T)$: 소음원으로부터 γ_0 지점에서 장비합성소음도 (dB(A))

γ : 소음원으로부터 예측점까지의 거리(m)

γ_0 : 소음원으로부터 기준점까지의 거리 (m, =15m)

■ 항타작업시 이격거리별 예측소음도(점음원 감쇄공식 적용) (단위 : dB(A))

항 목/ 장 비	기준소음도 (15m)	이 격 거 리							
		50m	100m	150m	200m	250m	300m	400m	500m
디젤해머	99	88.5	82.5	79.0	76.5	74.6	73.0	70.5	68.5
유압해머	89.3	78.8	72.8	69.3	66.8	64.9	63.3	60.8	58.8
진동해머	80	69.5	63.5	60.0	57.5	55.6	54.0	51.5	49.5
드롭해머	89	78.5	72.5	69.0	66.5	64.6	63.0	60.5	58.8

■ 항타소음의 전달 및 감쇄특성에 관한 연구결과 (대한건축학회논문집, 1999.12)

• 공회전시 발생되는 소음은 항타소음에 비해 거리가 멀어져도 큰 감쇄가 발생되지 않으므로 항타소음과 함께 이에 대한 검토가 필요

• 유압식 항타공법 적용 시 발생되는 소음을 항타시와 공회전시로 구분하여 소음레벨의 변화 및 감쇄특성을 파악 (거리에 따른 소음레벨의 예측상관식 제시)

• 말뚝항타 시공시 이격거리별 소음정도를 예측한 결과 디젤해머 항타시 400m, 유압해머 항타시 250.0m 이상일 경우 허용소음치 이내인 것으로 판정 (장비의 공회전시 발생되는 소음을 포함한 검토결과)

○ 진동 영향검토

■ 우리나라의 허용 진동기준

- 국가 또는 지방자치단체에서 설정한 진동허용기준에 대한 구체적인 규제조항 없음
- 외국의 자료를 참고로 하여 서울지하철 2, 3호선 건설당시 설정한 기준과 부산지하철의 기준은 독일의 기준과 동일하게 적용함
- 기타의 경우에는 조건에 따라 미광무국 등의 외국 사례를 근거로 하여 설계 기준을 마련하고 있으며 대체로 안전률을 높여 엄격하게 적용하고 있는 편임

■ 진동규제기준 허용치 선정

- 시공시 진동의 영향을 받을 수 있는 대상은 주거지이므로 인체에 대한 허용 진동규제기준을 우리나라에서 적용하는 재래주택 최소기준치 0.3Kine이나 "환경영향 평가서를 참조"하여 시설물(가옥) 및 문화재 진동규제기준 0.2Kine을 기준하여 말뚝 시공시 진동으로 인한 피해를 최소로 적용

■ 이격거리별 항타진동속도 검토

- Attewell과 Farmer는 많은 현장에서의 실측과 결과치의 회귀분석에 의하여 다음과 같이 말뚝의 항타에 의한 진동속도 추정식을 제안

$$V = 32.36\left(\frac{\sqrt{W}}{R}\right)^{1.61}$$

여기서, V : 최대진동속도(mm/sec) W : 해머에너지 (KN-m) R : 수평거리 (m)

- 항타장비 (HH-7,유압해머)
  - Ram 중량 : 7ton, 7×9.81 = 68.67KN - Stoke : 1.2m
  - 항타효율 : 0.9 - Energy : 74.16KN.m (= 68.67×1.2×0.9)

■ 이격 거리별 예측 진동속도(Attewell, Farmer 제안식 적용))

이 격 거 리 (m)	30	50	70	100	120	140
진동 속도 (cm/sec)	0.43	0.22	0.11	0.06	0.04	0.03

■ 진동에 대한 영향 검토결과

- 유압해머(HH-7)로 말뚝항타시 발생되는 진동속도를 Attewell과 Farmer의 제안식에 의해 이격거리별 진동속도를 산정하여 말뚝 항타시 진동에 관한 영향원 반경을 50m로 결정

○ 항타공법 적용시 소음 및 진동에 관한 규제 기준

▮ 소음 및 진동에 대한 허용기준치

구 분	규 제 기 준	영향원 반경	비 고
소 음	65dB(소음진동규제법)	250m	• 점음원 감쇄공식
진 동	0.2㎝/sec(국내외 기준참고)	50m	• Attewell & Farmer 제안식

2.2.3 환경성 평가 분석

○ 1공구 : 환경성 평가에 의한 항타가능성 판정

교량명	환경성평가	항타판정
Ramp-A교(A1)	보안물건 : 주택건물 59.0m 이격	x
Ramp-B교(A1, P1, A2)	보안물건 : 주택건물 131.0m 이격	x

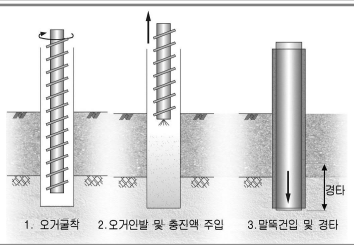
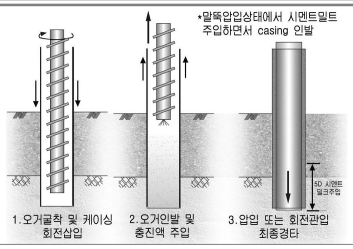
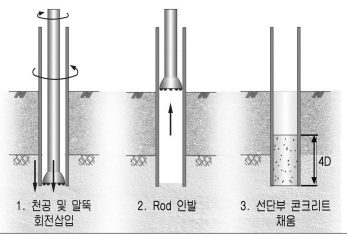
• 1공구 환경 영향권 분석 시 소음진동 기준에 의한 인근보안물건 인접으로 교량 기초 시공법 선정 시 매입공법으로 적용

• 현천 IC구간 하천변 구간의 환경성으로 고려하여 현장타설 말뚝기초로 선정

2.2.4 강관말뚝 기초 시공법 검토

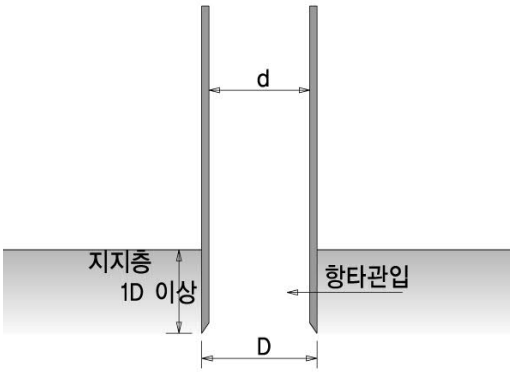
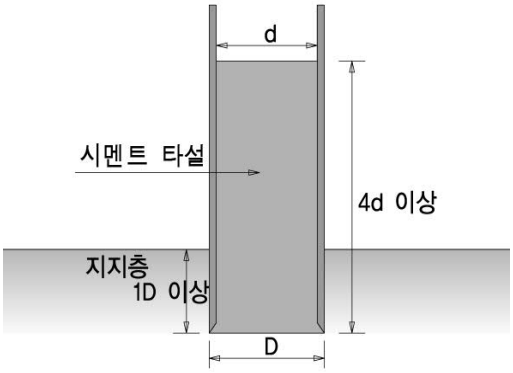
• 지층조건, 환경영향 및 항타가능성 분석결과를 토대로 최적의 매입말뚝 공법 선정

• 매입말뚝공법은 일반적으로 선굴착공법과 매입공법으로 분류할 수 있으며, 현장에 적용 가능한 SIP, SDA, PRD공법에 대하여 검토

구 분	SIP 공법	SDA 공법	PRD 공법
공 법 개요도			
계획성	• 공벽유지가 가능 지층에 적합 • 하상부지 외 지역에 적합	• 모든 토층에 적용 가능 • 공벽유지가 필요한 지층에 적합	• 자갈, 전석층이 두꺼운 경우 적합 • 공벽유지가 필요한 지층에 적합
시공성	• 굴착배토시 지반응력 이완 • 자갈층 분포시 붕괴가능성 높음 • SDA시공 개념과 동일, 자립홀 가능 구간 공벽유지 케이싱제외	• 굴착배토시 지반응력 이완 • 올케이싱공법이므로 공벽붕괴 방지 • 외측 케이싱과 말뚝 사용	• 굴착속도 빠름 • 상대적으로 장비설치시간 김
환경성	• 저소음·저진동공법 • 안정액 미사용으로 환경오염방지	• 저소음·저진동공법 • 안정액 미사용으로 환경오염방지	• 저소음·저진동 공법 • 안정액 미사용으로 환경오염방지
선 정	-	◉	-

선정사유	• 지하수위가 높고 N값이 낮아 공벽유지가 어려운 지층은 케이싱에 의한 공벽유지 및 선단지지력이 우수한 SDA공법 선정

○ 매입말뚝의 선단처리방법 검토(도로교 설계기준, 2001)

구 분	최종타격방식	시멘트밀크 속채움
개 요 도		
선 정	◉	◉

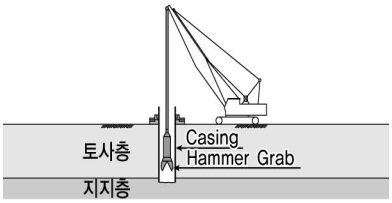
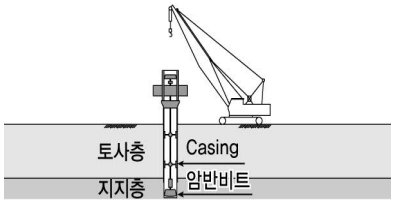
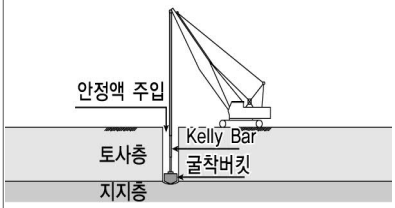
선정사유	• 시멘트 밀크를 분사, 선단지반과 흙과 혼합된 흙-시멘트 기초를 형성하는 방법은 사질토 지반에만 적용가능 • 강관의 폐합효과로 확실한 선단지지력 확보를 위하여 최종 타격방식 및 시멘트 밀크 속채움 방식을 적용 (강관의 폐합효과를 고려하여 4D이상 타설)

○ 1 공구 매입말뚝공법 선정결과

교 량 명	말뚝길이 (m)	말뚝형식	지하수위 GL3(-) m	시공법	선정사유 (N값, 지반조건)
현천 IC Ramp-A교 A1	24.0	강관	4.2	SDA	상부 N값 : 7~9, 하부 자갈 섞인 모래층
현천 IC Ramp-B교 A1	23.5	강관	1.7	SDA	상부 N값 : 10~12, 하부 자갈 섞인 모래층
현천 IC Ramp-B교 P1	22.5	강관	3.5	SDA	상부 N값 : 7~15, 하부 자갈 섞인 모래층
현천 IC Ramp-B교 A2	22.5	강관	3.1	SDA	상부 N값 : 7~15, 하부 자갈 섞인 모래층

2.2.5 현장타설 말뚝기초 시공법 검토

◎ 육상부 기초시공법 검토

구 분	전선회식 All Casing 공법	RCD + Casing 공법	Earth Drill 공법
개요도			
공 법 개 요	• 특수 비트가 부착된 케이싱 튜브를 360° 회전시키면서 유압장값으 지반속에 압입시켜 케이싱으로 드릴링하고 해머그래브로 케이싱 내부를 굴착 배토하는 공법	• 케이싱을 사용 하여 공벽을 유지하고 토사는 해머그래브, 암반은 RCD 굴착기로 굴착하면서 석션 펌프 등으로 버력 제거하는 공법	• 버킷 또는 오거 타입의 어스드릴 굴착기로 굴착하고 슬라임 제거와 응력제 삽입 후 트레미관에 의해 콘크리트 말뚝을 조성하는 공법
적 용 범 위	• 연약지반, 호박돌, 전석지반, 암반등 전지층에 사용 가능 • 케이싱 회전에 의한 굴삭과 병행하여 해머그래브로 버력을 배토하므로 시공양호	• 대심도 시공이 가능 • 지층에 따른 제약은 없으나 피압 수, 복류수가 있는 경우 지반개량 필요 • 암반층에서 시공능률 양호	• 옥석, 호박돌층 적용 곤란 • 비교적 소형의 장비로 도심지 시공에 적합 • 토사층에서 공기가 빠르고 경제성이 우수
공 법 특 징	• 올 케이싱으로 공벽 유지가 확실 • 단층파쇄대등 불규칙한 지층 굴착에 적합 • 장비가 대형이므로 장비 진입로 및 작업장 확보 계획 필요하고 공사비가 고가임 • 굴착시 낙하충격으로 선단지반이 약화될 수 있음 • 이음 및 절단이 없으므로 연속시공에 유리	• 올 케이싱으로 공벽 유지가 확실 • 소구경에서 대구경까지 선택의 폭이 넓음 • 굴착심도가 깊을수록 타공법과 비교하여 효율 양호 • 대구경에서 지지력 큼 • 연경암층에서도 저진동·저소음으로 굴착 가능 • 장비가 대형이며 시공비가 고가임	• 굴착기의 기구가 간단하며 크레인을 사용하지 않고 어스 드릴기 본체만으로 말뚝시공이 가능 • 안정액의 관리가 어렵고 공벽 붕괴의 우려 • 굴착시 관리가 불충분하면 굴착 공의 연직도를 확보하기 어려움 • 견고한 암반굴착 어려움 • 직경 12cm의 자갈층에 적용 곤란
굴 착 깊 이	30 ~ 40m	40 ~ 70m	30 ~ 40m
시 공 사 례	-	암사대교 주탑부, 신행주대교 접속교, 수상부 접속교 다수	수상부 시공사례 없음
선 정	-	◉	-

선정사유

- 어스 드릴공법은 암반층 굴착이 곤란하고 전선회식 올 케이싱공법은 충격낙하 굴착 시 선단지지력 약화 우려
- 시공성이 우수하며, 시공 중 소음 · 진동 발생이 가장 적어 환경성 측면에 유리
- 현장타설 말뚝기초 (RCD + Casing) 공법 선정

제 3 장 교량기초 설계정수

3.1 교량구간 설계지반정수 산정

기본방향	• 기존 설계정수 산정의 문제점을 분석하고 대표값 산정시 신뢰도 향상을 위해 통계처리기법 (Monte Carlo Simulation, Bayesian Approach)을 적용하여 설계지반정수 산정 • 인근 설계자료와 기존문헌자료를 분석하여 통계처리의 초기추정치(Prior)로 적용, 현장조사 및 실내시험 값을 최대우도치(Likelihood)로 선정하여 Bayesian 통계처리를 통한 설계정수 도출

3.1.1 설계지반정수 산정개요

토 사 풍화암	• 현장 및 실내시험 결과를 우선적으로 고려, 문헌자료와 경험식을 비교 . 분석하여 산정 • 토질분류를 실시하여 경향을 파악하고 토질 특성에 맞는 정수 산정
기반암 (연속체)	• 동일지반에서 비탈면과 교량기초의 암반 지반정수는 하중규모, 굴착방법, 응력이완 및 풍화진행에 따라 다르므로, 이러한 조건을 고려하여 강도정수 산정 • 암반분류(GSI, RMR) 특성을 감안한 대표성을 가진 지반정수 산정
기반암 (불연속체)	• 암반불연속면 특성을 고려한 전단시험 및 Barton & Bandis 경험식을 이용한 강도정수 산정 • 지표지질조사 및 암석코아에 대한 (JRC, JCS) 등을 비교 . 분석하여 강도정수 산정

3.1.2 설계지반정수 산정결과

○ 1공구 ※ 기존 보고서 교량구간 지반정수 참고

구 분	지층	토성별	r_t(kN/m³)	c(kPa)	Φ	E(MPa)	ν	V_s(m/s)	G_d(MPa)	K(cm/s)
교 량 구 간	매립층	모래	19	3	28	15	0.35	180	50	7.0×10^{-4}
		점토	17	5	-	5	0.40	170	40	1.2×10^{-7}
	붕적층	모래	18	5	28	10	0.35	190	60	5.4×10^{-4}
	퇴적층	점토(N>6)	18	30	-	5	0.40	200	60	1.2×10^{-7}
		실트	18	30	-	5	0.38	220	80	1.3×10^{-7}
		모래(N≤10)	18	-	27	10	0.35	240	100	5.8×10^{-4}
		모래(N>10)	18	-	30	18	0.35	260	120	6.6×10^{-4}
		자갈	20	-	32	50	0.32	290	150	5.9×10^{-3}
	풍화토		19	17	29	50	0.33	310	180	2.6×10^{-4}
	풍화암		21	28	31	280	0.30	450	420	5.8×10^{-5}
	연 암		23	500	33	660	0.26	700	1,120	3.3×10^{-5}
	보통암		25	2,500	36	4,000	0.24	850	1,730	1.6×10^{-5}
	경 암		26	3,200	40	10,000	0.22	1,350	4,730	4.9×10^{-6}

검토결과	• 금회 조사시 기존보고서 교량구간 지반정수를 참고 • 구간별, 지층별 대표 N값 선정하여 적합한 물성값 도출

제 4 장 교량기초 안정성 검토

4.1 말뚝기초의 안정성 검토

기본방향	• 말뚝기초의 연직 및 수평방향 허용지지력, 침하량, 수평변위량 등에 대한 검토를 수행 • 지층특성과 상부구조물의 하중조건 및 주변환경 등을 고려한 기초안정성 검토 • 다양한 산정공식 및 해석기법의 결과를 수치해석과 비교, 분석하여 안정성의 신뢰성 검증

4.1.1 말뚝기초 현황

교 량 명		위 치	지지층	말뚝재료	말뚝제원	말뚝길이 (m)
1공구 지선	현천 IC Ramp-A교	A1	연 암	강관	Φ508mm×t12mm	24.0
		P1	연 암	현장타설	Φ1,2m	20.0
	현천 IC Ramp-B교	P1~P7	연 암	현장타설	Φ1,2m	19.0~24.5
		A1, A2	풍화암	강관	Φ508mm×t12mm	22.5~23.5
		P1	연 암	강관	Φ508mm×t12mm	22.5

○ 말뚝기초 설계기준

구 분	도로교설계기준	도로설계요령	한국도로공사	설 계 적 용
말뚝최소 중심간격	• 2.5D~3.0D	• 2.5D이상	-	• 강관/복합말뚝 : 2.5D • 현장타설말뚝 : 2.5D
연 직 침 하 량	• 25.0mm	• 25.0~50.0mm	-	• 25mm
수 평 변 위	• Φ1,500mm 이하 15.0mm	• 말뚝직경 1%	-	• 강관말뚝 : 15mm (ϕ508) • 현장타설말뚝 - 15mm - 말뚝직경 1% 적용
부 등 침 하 량	-	-	• 다경간 0.004rad, • 단경간 0.005 rad	• 0.004 rad

구 분		콘크리트 설계기준	구조물기초설계기준	설 계 적 용
염 해 방 지 내구성 기 준	콘크리트	• 25MPa 이상	-	• 설계강도 : 27MPa • 호칭강도 : 35MPa
	강관	-	• 부식두께 2.0~3.0mm	• 부식두께 : 2.0mm

○ 검토방법

구 분		단 말 뚝	군 말 뚝
연 직 방 향	지지력	• 매입말뚝 및 현장타설말뚝 고려 • 말뚝재료의 허용압축응력 검토 • 설계하중 < 허용지지력	• 말뚝간격에 따른 군말뚝 효과 적용 • 총 설계하중 < 군말뚝지지력 • 군말뚝 침하량 < 허용침하량
	변 위	• 기초침하량 < 허용침하량 • 부등침하량 < 허용부등침하량	

구 분		단 말 뚝	군 말 뚝
수 평 방 향	지지력	• 지반반력계수 결정 • 극한지반반력법, 탄성지반반력법	• 말뚝간격에 따른 군말뚝 효과 적용 • 총 설계하중 < 군말뚝지지력 • 군말뚝 침하량 < 허용침하량
	변 위	• 수평변위 < 허용수평변위 • p-y 곡선 비선형 해석방법	

4.1.2 강관말뚝기초 연직 지지력에 대한 안정성 검토

○ 강관말뚝의 연직지지력 검토 방법

• 강관말뚝기초는 풍화암층 이상 지지층으로 계획하며, 암반층에 설치된 말뚝기초에 대해서 경험식과 일축압축강도, 점하중강도, 절리상태에 따른 시험 결과치 및 관련시방기준을 근거하여 허용지지력을 산정

■ 말뚝재료의 허용지지력(도로교 설계기준, 2009)

$$Q_{as} = \left(1 - \frac{\mu_1 + \mu_2}{100}\right) f_{sa} \cdot A$$

여기서, Q_{as} : 말뚝본체의 허용지지력(kN/ea),
μ_1 : 세장비에 의한 저감율, μ_2 : 이음에 대한 저감율,
f_{sa} : 재료의 장기허용압축응력(kPa), A : 말뚝의 단면적 (m^2)

■ 풍화암지지 허용지지력 산정식

$$Q_a = (q_p \cdot A_p + U \cdot \sum \ell \cdot f_i)/Fs$$

q_p : 단위면적당 선단지지력(kPa) A_p : 말뚝 선단면적(m^2) U : 말뚝의 둘레길이 (m)
ℓ : 주면마찰력을 고려하는 층두께(m), fi : 최대주면마찰력(kPa) - 아래표 참조
N : 말뚝선단에서 위로 1D, 아래로 4D 평균값, Fs : 안전율 (상시 = 3.0, 지진시 = 2.0)

■ 주면마찰력 산정식

구 분	타 입 공 법	현장타설말뚝공법	내부굴착말뚝공법	단 위
사 질 토	0.2N(≤10)	0.5N(≤20)	0.1N(≤50)	kN
점 성 토	c* 또는 N(≤15)	c* 또는 N(≤15)	0.5c* 또는 0.5N(≤15)	

연암지지 허용지지력 산정식

기반암(연 . 경암)층에 지지된 말뚝기초	• 말뚝재료에 의한 허용지지력 • 구조물기초 설계기준 해설 • Canadian Foundation Engineering Manual • Goodman 제안식

구 분	적 용 식	비 고
구조물기초 설계기준해설 (2009)	$Q_a = \frac{1}{F_S} \cdot 443 \cdot q_u^{0.5} \cdot A_t^{2/5} \cdot A_i^{1/3}$ 여기서, q_u : 암반의 일축압축 강도(kPa) A_t : 강관말뚝의 선단 순단면적(㎡), A_i : 강관말뚝의 선단 심부면적(㎡)	• 강관말뚝이 암반에 말뚝직경 정도 근입되는 경우에 적용 가능 • 암반 근입부의 주면마찰력 까지 포함 한 값
Canadian Foundation Engineering	$Q_a = \frac{1}{F_s}(3 \cdot q_u \cdot K_{sp} \cdot d) \cdot A_p, \quad d = 1 + 0.4\frac{H_s}{D_s} \cdot 3.4$ 여기서, q_u : 암석시편의 평균 일축압축 강도(kPa) K_{sp} : 불연속면 간격에 따른 계수	• 말뚝의 근입깊이와 암반절리간격을 고려
Goodman 제안식	$Q_a = \frac{1}{F_S}[q_u \cdot (N_\phi + 1)]A_p$ 여기서, q_u : 암반의 일축압축 강도(kPa) A_p: 말뚝의 단면적 , N_ϕ : ($=\tan^2(45 + \phi/2)$)	• 암반을 대표하는 일축압축 강도와 지반정수 산정 필요

풍화암지지 말뚝기초의 허용지지력 검토결과

교 량 명			지지력 산정식(kN/EA)		허용지지력(kN/EA)		설계반력(kN/EA)		판 정
			도로교 표준시방서	재료의 허용응력	상시	지진시	상시	지진시	
현천 IC R-B교	강관	A1	1,052.0	2,064.1	1,052.0	1,578.0	835.1	340.9	O.K
	강관	A2	1,281.0	2,064.1	1,281.0	1,921.6	654.2	440.4	O.K

연암지지 말뚝기초의 허용지지력 검토결과

교 량 명			지지력 산정식(kN/EA)			재료의 허용응력 (kN/EA)	허용지지력 (kN/EA)		설계반력 (kN/EA)		판 정
			구조물기초 설계기준	CFEM	Goodman 제안식		상시	지진시	상시	지진시	
현천 IC R-A교	강관	A1	1,586.0	2,038.9	4,405.1	2,064.1	1,586.0	2,379.0	651.7	753.4	O.K
현천 IC R-B교	강관	P1	1,586.0	3,117.1	6,734.3	2,064.1	1,586.0	2,379.0	737.6	294.8	O.K

검토결과

• 지지력 공식에 의한 허용지지력과 말뚝 본체의 허용압축하중을 비교하여 허용지지력을 산정하여 안정 판정

• 강관말뚝기초의 허용지지력 산정결과 설계반력은 허용지지력 이하로 검토되어, 안정한 것으로 판정

4.1.3 현장타설 말뚝기초 연직 지지력에 대한 안정성 검토

- 현장타설 말뚝기초는 연 · 경암층 이상의 지지층으로 계획
- 안정성 검토시 지지층에 대한 현장 및 실내시험 결과 분석 자료를 토대로 본지역에 적용 가능한 지지력 공식을 이용 합리적인 기초지지력 평가 수행

현장타설 말뚝기초	• 말뚝재료에 의한 허용지지력	• 구조물기초 설계기준 해설
	• 도로교 설계기준 해설 하부구조편(2001)	• Canadian Foundation Engineering Manual
	• Goodman 제안식	

◎ 말뚝본체의 허용지지력(구조물설계기준, 2003)

- 현장타설말뚝의 장경비(L/D)에 대한 저감을 고려하여 말뚝본체 허용지지력 산정
- 현장타설말뚝 본체의 허용압축하중은 콘크리트와 보강철근의 허용압축하중을 각각 산정하여 더함
- 콘크리트 장기 허용압축응력 산정시 고려사항
  - 지하수가 없는 건조한 경우 : 0.25 $f_{ck} \leq$ 60MPa, - 지하수가 있는 경우 : 0.20 $f_{ck} \leq$ 5.0MPa

$Q_{as} = (1 - \frac{\mu_1}{100}) \cdot f_{sa} \cdot A$ 여기서, Q_{as} : 말뚝본체 허용지지력(kN) μ_1 : 장경비에 의한 저감율

f_{sa} : 재료의 장기허용압축응력(kN/m^2) A : 말뚝 순단면적 • 장기 허용압축응력은 항복강도의 40%

◎ 도로교 설계기준 해설 하부구조편(2001)

극한 선단지지력(MPa) : $Q_b = A_b \cdot q_b$

※ q_b 산정 : 말뚝선단으로부터 2B이내에서 보정하지 않은 N치를 사용하여 아래의 표로 구할 수 있음

사질토에서 q_b의 추천값 (Reese & O'Neill, 1988)

비보정 N치	q_b값 (ksf)
0 ~ 75	1.20N
75 이상	90
(1ksf = 48.8243 KPa)	

◎ Peck et al.(1974)

RQD(%)	허용 지지력(MPa)
90~100	21.52 ~ 32.28
75~90	12.91 ~ 21.52
50~75	6.99 ~ 12.91
25~50	3.23 ~ 6.99
0~25	1.08 ~ 3.23

※ 단, 제시된 RQD값 사이의 값은 선형 보간법을 이용하여 허용 지지력 산출

$Q_s = \pi \cdot b_s \cdot L_s \cdot q_s$

여기서, Q_s : 극한 주면 마찰력(kN), b_s : 암반근입부 말뚝직경(m)
L_s : 암반근입부 근입길이(m), q_s : 암반근입부 극한 주면마찰응력(MPa)

• 암석 코아의 일축압축강도 ≤ 콘크리트의 일축압축강도	• 암석 코아의 일축압축강도 > 콘크리트의 일축압축강도
$q_s = 0.63 p_a (q_u / p_a) 0.5$ 여기서, q_s : 극한 주면 마찰응력(MPa), p_a : 대기압(MPa) q_u : 암석코아의 일축압축강도(MPa)	$q_s = 0.05 \sigma c$ 여기서, q_s : 극한 주면 마찰력(MPa) σ_c : 콘크리트의 일축압축강도(MPa)

※ q_s 산정 : 암반 근입깊이가 3D 이상인 경우 국부적인 취약부위 존재 및 점진적인 파괴(progressive failure) 등을 고려하여 주면마찰력의 약 1/3을 감소시켜 지지력을 산정

○ 현장타설 말뚝기초의 연직지지력 검토결과

교 량 명		지지력 산정식(kN/EA)		재료의 허용응력 (kN/EA)	허용지지력(kN/EA)		설계반력(kN/EA)		판 정
		구조물기초 설계기준	Goodman 제안식		상시	지진시	상시	지진시	
현천 IC R-A교	P1	17,493.5	25,633.0	7,034.9	7,034.9	10,552.3	6,090.6	5,863.7	O.K
현천 IC R-B교	P1	17,089.4	24,892.2	7,034.9	7,034.9	10,552.3	4,160.3	4,609.8	O.K
	P2	27,846.5	41,106.7	7,034.9	7,034.9	10,552.3	4,980.7	5,356.5	O.K
	P3	18,255.9	26,592.8	7,034.9	7,034.9	10,552.3	5,428.3	6,450.7	O.K
	P4	18,004.0	26,340.9	7,034.9	7,034.9	10,552.3	3,150.2	4,005.1	O.K
	P5	17,024.6	24,664.9	7,034.9	7,034.9	10,552.3	4,559.1	4,918.7	O.K
	P6	21,565.0	31,794.6	7,034.9	7,034.9	10,552.3	4,782.4	5,058.0	O.K
	P7	6,609.9	9,234.1	7,034.9	6,609.9	7,742.3	4,240.9	4,971.3	O.K

검토결과

- 지지력 공식에 의한 허용지지력과 말뚝 본체의 허용압축하중을 비교하여 허용지지력을 산정
- 현장타설 말뚝기초의 허용지지력은 설계반력을 상회하므로 안정

4.1.4 연직변위(침하량)에 대한 안정성 검토

○ 침하량 산정방법

■ 도로교 설계기준 해설(2001)

구 분	침하량 산정식	비 고
도 로 교 설계기준	$S_t = Q\left[\left(\frac{I_{ps}}{D_r E_m}\right) + \left(\frac{L_r}{AE_c}\right)\right]$	• Q : 말뚝머리 축방향 압축하중(kN) • I_{ps} : 암반소켓부 변위 영향계수 • D_r, L_r : 암반 및 흙지반 관입 길이(m) • E_m, E_c : 암반 및 콘크리트 탄성계수(kPa)

■ 구조물기초 설계기준(2009)

침하량 산정식	S_s	S_p	S_{ps}
$S_t = S_s + S_p + S_{ps}$	$S_s = (Q_{pa} + \alpha_s \times Q_{fa}) \times \frac{L}{A \times E_p}$	$S_p = \frac{C_p \times Q_{pa}}{B \times q_b}$	$S_{ps} = \frac{C_s \times Q_{fa}}{L_b \times q_p}$
• S_s : 말뚝자체의 길이방향 변형 • S_p : 말뚝선단부에 가해지는 하중으로 인한 침하량 • S_{ps}: 주면마찰력에 의해 지반에 전달된 하중에 의한 침하량	여기서, Q_{pa} : 말뚝선단부 전달하중 Q_{fa} : 말뚝주면부 전달하중 L : 말뚝길이, A : 말뚝 단면적 E_p : 말뚝의 탄성계수 α_s : 주면마찰력 분포 계수	여기서, B : 말뚝직경 q_b : 단위면적당 극한 선단 지지력 C_p : 흙의 종류와 말뚝시공	여기서, L_b : 땅속에 묻힌 말뚝길이 C_s : $(0.93 + 0.16\sqrt{\frac{L_b}{B}} \times C_p)$

■ 말뚝기초의 연직침하량 검토결과

교 량 명	위 치	지 지 층	발생침하량(㎜)	허용침하량(㎜)	판 정
현천 IC R-A교	A1	연 암	10.02	25.40	O.K
현천 IC R-B교	A1	풍화암	14.81	25.40	O.K
	P1	연 암	10.72	25.40	O.K
	A1	풍화암	10.18	25.40	O.K

검토결과

• 말뚝기초에 대한 풍화암 및 연암지지 침하량 검토결과 발생침하량이 허용침하량 25.40mm 이내로 안정한 것으로 판정

4.1.5 수평변위에 대한 안정성 검토

• 말뚝에 수평하중 작용시 발생하는 말뚝머리부 수평반력은 말뚝의 허용수평지지력을 초과해서는 안되며, 수평변위량은 허용수평변위를 초과하지 않도록 설계

• 최대수평하중 < 수평허용지지력, 말뚝머리 수평변위 < 허용수평변위

• 말뚝의 수평허용변위 : B < 1,500mm 이면 1.5cm(상시), 2.25cm(지진시)

B > 1,500mm 이면, 기초폭의 1% (단, < 5cm)

○ 검토방법

검 토 방 법			검 토 내 용
해석적 방 법	지지력	극한평형법 (Broms법)	• 말뚝에 작용하는 본당 최대 수평반력에 대한 지반의 반력 특성 및 말뚝의 강성에 의한 지지력 산정
		탄성지반반력법 (Chang법)	• 탄성지반위의 보이론을 적용 • 허용수평변위량을 적용하여 말뚝두부의 수평방향지지력 산정
	변 위	탄성지반반력법 (Chang법)	• 기초저면으로부터 1/β심도까지의 평균 수평지반반력계수를 적용하여 말뚝두부에 작용하는 하중에 의한 탄성변위 산정
		비선형해석 (GROUP)	• 다층지반에 대하여 각층의 응력-변형특성을 고려한 p-y곡선을 적용하여 말뚝머리에 작용하는 하중에 의한 탄소성변위 산정

○ 수평지반반력계수(k_h) 산정

■ 수평지반반력계수(k_h) 산정 방법

• 말뚝의 지지력 및 변위량 산정시 주요변수가 되는 지반반력계수에 대한 산정방법별 결과를 비교하고, 지층 및 말뚝특성별로 가장 적합한 지반반력계수 산정을 위해 검토를 수행

■ 도로교설계기준해설(2003)

• $k_h = k_{ho}\left(\frac{B_H}{30}\right)^{-\frac{3}{4}}$, $k_{ho} = \frac{1}{30}\alpha E_o$ ➡ $k_h = 0.34\,(\alpha\,E_o)^{1.1} d^{-0.31}\,(EI)^{-0.1}$

여기서, k_h : 30cm의 강체원판에 의한 평판재하시험 결과에 상당하는 수평방향 지반반력 계수(kN/m^3)

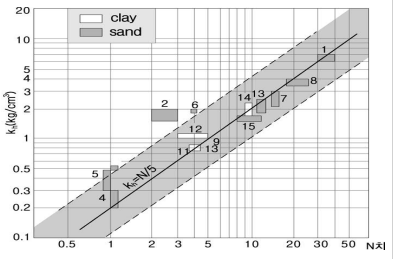
B_H : 하중작용방향에 직교하는 기초의 환산재하폭(cm) $=(D/\beta)^{1/2}$

α, E_o : 지반반력계계수 추정에 쓰이는 계수 및 지반변형계수(kN/m^2)

■ Hukuoka 공식

• $k_h = 0.691 \times 10^4 \times N^{0.406}$(kN/m^3)　　여기서, N : 표준관입 시험값

■ 한국지반공학회 "깊은기초" k_h-N관계 분석

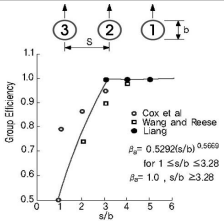
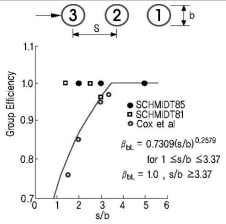
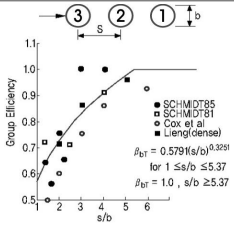


• 수평지반반력계수 k_h는 말뚝 수평거동의 지배구간인 1/β 심도 이내에서 산정
• 수평재하시험에 의한 k_h-N 과의 관계 도표 '지반공학회, 깊은기초'와 도로교 설계기준 추천방법 E_o-N과의 관계식 및 Hukuoka 제안식을 비교·분석하여 결정
• 일반 토사 구간에 적용 가능한 E_o-N 관계 도출
• 사질토 구간 적용 범위 중 E_o=1.0N(MPa) 적용

○ 군말뚝 감소계수 산정

• 말뚝기초에서 말뚝간의 간격이 충분히 이격되어 있지 않으면 하중재하시 간섭효과가 발생하여 단말뚝의 경우보다 지지력이 저하되는데 이것을 군말뚝효과라 함
• 본 설계에서는 말뚝의 수평 안정성에 대한 군말뚝효과를 고려하기 위하여 기존방법을 비교·검토하고 실험을 통하여 검증된 최신의 군말뚝효과에 대한 연구 성과를 설계에 반영

군말뚝 고려방법에 대한 검토

<table>
<tr><th>구 분</th><th>군말뚝효과 고려 방법</th></tr>
<tr><td>도 로 교
설계기준해설(2001)</td><td>• 말뚝 중심 간격이 2.5D 이상이라면 단말뚝의 수평방향 지반반력계수 사용
• 말뚝 중심 간격이 2.5D 이하인 경우 수평방향 지반반력계수에 다음의 감소계수를 적용
• μ= 1-0.2(2.5-L/D), (L<2.5D) 여기서, L : 말뚝 중심간격(m), D : 말뚝지름(m)</td></tr>
<tr><td>구조물기초
설 계 기 준
(2003)</td><td>• 하중작용 직각방향에 대해서는 말뚝간격이 2.5D이상이면 군말뚝에 대한 효과를 고려하지 않음
• 하중이 작용하는 방향의 말뚝중심간의 거리가 말뚝직경의 8배 이하일 경우 수평방향 지반반력계수 감소계수를 적용하는 방법으로 군말뚝 영향 고려
<table>
<tr><th>말뚝간격</th><th>8D</th><th>6D</th><th>4D</th><th>3D</th></tr>
<tr><td>감소계수</td><td>1.00</td><td>0.70</td><td>0.40</td><td>0.25</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>FHWA
Federal Highway
Administraion</td><td>• 미연방도로국(FHWA) 설계지침서에서는 Brown(1988)과 McVay(1995)에 의하여 시행된 현장시험과 원심모형시험 시험결과로부터 분석한 군말뚝효과를 다음과 같이 제시
<table>
<tr><th rowspan="2">지반종류</th><th rowspan="2">시행시험</th><th rowspan="2">말 뚝
중심간격</th><th colspan="3">말뚝열에 따른 감소계수(Pm)</th><th rowspan="2">전 체
감소계수</th></tr>
<tr><th>1열</th><th>2열</th><th>3열이후</th></tr>
<tr><td>매우조밀한 모래</td><td>현장시험</td><td>3D</td><td>0.8</td><td>0.4</td><td>0.3</td><td>75%</td></tr>
<tr><td rowspan="2">보통조밀한 모래</td><td rowspan="2">원심모형실험</td><td>3D</td><td>0.8</td><td>0.4</td><td>0.3</td><td>74%</td></tr>
<tr><td>5D</td><td>1.0</td><td>0.85</td><td>0.7</td><td>95%</td></tr>
<tr><td rowspan="2">느슨한 모래</td><td rowspan="2">원심모형실험</td><td>3D</td><td>0.65</td><td>0.45</td><td>0.35</td><td>73%</td></tr>
<tr><td>5D</td><td>1.0</td><td>0.85</td><td>0.7</td><td>92%</td></tr>
</table></td></tr>
<tr><td>Lymon C. Reese
(1996)</td><td>• 하중작용방향과 하중직각방향 말뚝간격과 군말뚝효과의 관계를 시험결과로부터 그래프와 관계식으로 제시하였으며, 군말뚝효과는 고려하지 않아도 되는 말뚝간격은 다음과 같음
<table>
<tr><th>하중직각방향
말뚝간격의 영향</th><th colspan="2">하중작용방향 말뚝간격의 영향</th></tr>
<tr><th></th><th>첫번째열</th><th>뒷 열</th></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>3.1 D</td><td>3.37 D</td><td>5.37 D</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

검토결과

• 내부마찰각이 40°미만인 사질토지반에서는 단말뚝 지지력의 합보다 군말뚝 지지력이 크게 발휘됨
• 말뚝의 중심간격이 말뚝지름의 2.5배 이상인 경우, 군말뚝의 영향은 무시하는 것이 타당함
• 본 사업의 경우 풍화암지지 말뚝기초의 중심간격은 말뚝지름의 2.5배 이상으로, 연직방향 하중에 대한 군말뚝 효과는 고려하지 않음(구조물기초 설계기준, 2009)

군말뚝 감소계수 적용

말뚝종류	교량명	말뚝 간격	군말뚝 효율	비 고
현장타설말뚝(Φ1,200)	1공구 지선	2.5D 이상	1.0	교대
강관말뚝 (Φ508, 9t, 12t)	1 공구	2.5D 이상	1.0	교대 / 교각

1 공구 수평지반반력계수(k_h) 산정 결과

구 분		위치	평균 N 치	E0/N	지층	수평지반반력계수(kg/cm³)		말뚝 간격	적 용
						도로교설계기준	후쿠오카공식		
현천 IC R-A교	강관	A1	9	7	모래층	0.762	1.686	2.5D 이상	0.762
	현타	P1	4	4	점토층	0.094	1.213	2.5D 이상	0.094
현천 IC R-B교	현타	P1	8	4	점토층	0.200	1.607	2.5D 이상	0.200
		P2	11	10	모래층	0.780	1.829	2.5D 이상	0.780
		P3	13	7	모래층	0.633	1.958	2.5D 이상	0.633
		P4	7	7	모래층	0.320	1.523	2.5D 이상	0.320
		P5	14	10	모래층	1.017	2.017	2.5D 이상	1.017
		P6	8	10	모래층	0.549	1.607	2.5D 이상	0.549
		P7	14	10	모래층	1.017	2.017	2.5D 이상	1.017
	강관	A1	8	7	모래층	0.670	1.607	2.5D 이상	0.670
		P1	11	7	모래층	0.960	1.829	2.5D 이상	0.960
		A2	10	7	모래층	0.856	1.760	2.5D 이상	0.856

수평방향 허용지지력 산정 방법

Broms의 해석법

• Broms는 수평력을 받고 있는 말뚝과 지반의 파괴형태를 고찰한 결과 말뚝의 휨강성과 묻힘깊이 및 지반강성에 의해 말뚝을 분류하고 점성토와 사질토에서의 말뚝의 수평지지력을 구하는 방법을 제안

• 사질토 지반의 극한 수평지지력(Broms 방법, 두부고정)

짧은 말뚝($\eta L < 2$)	중간 말뚝($2 \le \eta L < 4$)	긴 말뚝($\eta L > 4$)
$Q_u = 1.5L^2\gamma' d K_p$	$\left(\frac{Q_u}{K_p d^3 \gamma'}\right)\cdot\left(\frac{L}{d}\right) - \frac{1}{2}\left(\frac{L}{d}\right)^3 = \frac{M_y}{K_p d^4 \gamma'}$	$\frac{Q_u}{K_p d^3 \gamma} = 2.38\left(\frac{M_y}{K_p d^3 \gamma}\right)^{2/3}$

• 점성토 지반의 극한 수평지지력(Broms 방법, 두부고정)

짧은 말뚝 ($\beta L < 2.25$)	중간 말뚝	긴 말뚝 ($\beta L > 2.25$)
$Q_u = 9c_u d^2\left(\frac{L}{d} - 1.5\right)$	$\left(\frac{Q_u}{c_u d^2}\right)^2 + \left(27 + 18\frac{L}{d}\right)\left(\frac{Q_u}{c_u d^2}\right) - 81\left(\frac{L}{d} - 1.5\right)^2 = 36\left(\frac{M_y}{c_u d^3}\right)$	$\left(\frac{Q_u}{c_u d^2}\right)^2 + 27\left(\frac{Q_u}{c_u d^2}\right) = 36\left(\frac{M_y}{c_u d^3}\right)$

■ 탄성지반반력법(Chang, 1985)

$$H_a = k_h \cdot \frac{D}{\beta} \cdot y$$

여기서, H_a : 허용수평지지력(kgf) k_h : 수평지반반력계수(kN/cm³)
D : 말뚝 직경(cm) y : 기준변위량(상시 1.5cm, 지진시 2.25cm)
β : $(\frac{k_h D}{4EI})^{1/4}$(cm⁻¹)

■ 말뚝기초의 수평방향 허용지지력 검토결과

구 분		위치	수평방향 허용지지력(kN/EA)				수평방향 허용지지력(kN/EA)		수평방향 설계반력 (kN/EA)		판 정
			상 시		지진시						
			Broms법	Chang법	Broms법	Chang법	상 시	지진시	상 시	지진시	
현천 IC R-A교	강관	A1	123.5	183.4	185.2	488.5	123.5	185.2	86.7	123.8	O.K
	현타	P1	867.4	775.9	1,301.1	2,061.3	775.9	1,301.1	168.8	360.8	O.K
현천 IC R-B교	현타	P1	912.5	775.9	1,368.7	2,061.3	775.9	1,368.7	152.2	306.9	O.K
		P2	893.4	600.8	1,340.2	1,595.9	600.8	1,340.2	202.8	416.8	O.K
		P3	883.0	689.3	1,324.5	1,832.0	689.3	1,324.5	204.4	368.2	O.K
		P4	935.6	413.2	1,403.4	1,099.5	413.2	1,099.5	118.1	225.0	O.K
		P5	903.2	983.7	1,354.8	2,613.3	903.2	1,354.8	139.3	250.0	O.K
		P6	898.0	619.6	1,347.1	1,646.5	619.6	1,347.1	154.2	241.9	O.K
		P7	910.6	983.7	1,365.9	2,613.3	910.6	1,365.9	139.6	321.3	O.K
	강관	A1	118.5	166.6	177.75	443.4	118.5	177.7	91.1	64.7	O.K
		P1	117.6	212.9	176.35	566.9	117.6	176.3	76.2	11.1	O.K
		A2	123.4	200.2	185.09	532.9	123.4	185.1	113.1	73.1	O.K

검토결과

- 극한평형법(Broms방법)과 탄성지반반력법(Chang방법)으로 수평방향 허용지지력 산정
- 말뚝기초의 횡방향 안정성 검토결과 수평방향허용지지력은 설계반력을 상회하므로 안정

4.2 주요구간 안정성 검토

4.2.1 고성토부 교대 안정성 검토

- 고성토부에 위치하는 대표 교대에 대한 측방유동 발생 가능성 검토
- 말뚝의 휨응력을 고려한 한계평형해석을 통한 상세 안정성 검토 수행

○ 고성토 교대부 검토 구간 선정

공구	교량명	성토고	지층 현황
1공구	Ramp-A교 A1	H=8.0m	하부 퇴적 모래층 분포(평균 N치 17)
	Ramp-B교 A1	H=12.1m	합성라멘교구간으로 성토구간 없음(검토제외)
	Ramp-B교 A2	H=6.6m	하부 퇴적 모래층 분포(평균 N치 12)

검토결과

- 성토고가 10m 이하인 6.6~8.0m 높이로 분포하여 검토제외
- Ramp-B교 A1은 12.1m로 분포하나, 합성라멘교구간으로 성토구간이 없으므로 검토제외

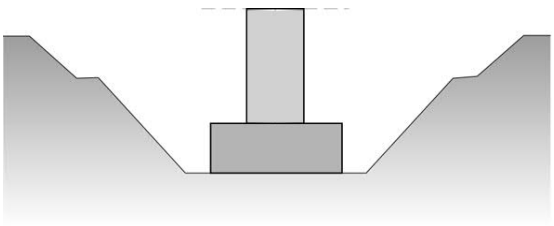
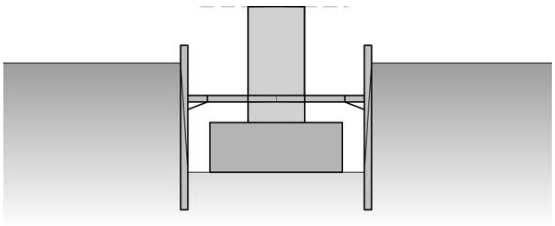
제 5 장 교량기초 시공방안 검토

5.1 직접기초 시공방안 검토

기본방향	• 굴착심도, 지하수위, 지반조건, 인접구조물의 간섭 등을 고려한 굴착공법 선정 • 터파기 심도보다 지하수위가 높은 구간은 침투해석을 수행하여 양수대책 수립 • 기초저면에서 하중이 지반에 직접 전달되므로 기초저면의 처리지침을 준수 • 상부하중을 지반에 균등하게 전달하여 상부구조물 안정성 도모

5.1.1 기초터파기 굴착공법 검토

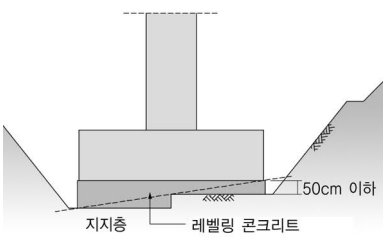
○ 기초터파기 굴착공법 검토

구 분	자연비탈면 굴착(Open Cut)	가시설 공법(H-Pile + Strut)
공 법 특 징		
공 법 특 징	• 안전한 비탈면을 형성하면서 필요한 심도까지 굴착하는 공법으로 공간 확보가 가능 • 지반이 좋고 굴착심도가 낮을 경우에 유리	• 토류벽 및 지보공으로 토사의 붕괴를 방지 하면서 굴착하는 공법으로 근접시공 등 제약공간이나 굴착심도가 깊은 경우에 적용
장·단점	• 공사비 저렴하고 공기가 빠름 • 지하수위 높은 사질토지반 및 연약지반 곤란	• 공간활용이 탁월하나 기계이용에 제약 • 자립 Open Cut 공사보다 고가
적용구간	가시설 제외구간	창릉천교 등
선정사유	• 기초터파기 시공 시 굴착심도 및 공간제약을 받지 않는 구간에 Open Cut 공법 적용	• 기존도로근접 및 비탈면 훼손을 최소화하는 방안으로 제약공간 확보를 위하여 가시설 적용

○ 직접기초 저면처리

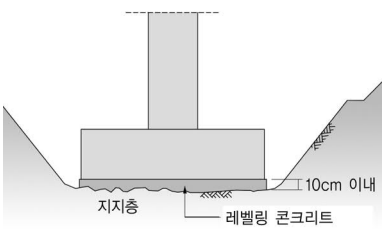
▮ 기초저면의 형태별 처리

기초저면이 경사진 경우



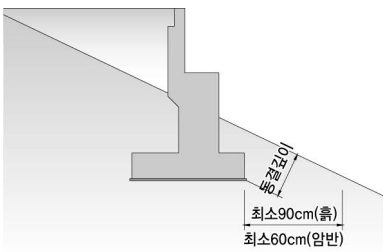
- 기초폭 7m 이상인 경우 : 경사 고려 계단식 암절취
- 기초 바닥정리 콘크리트(50cm이하) 타설

기초저면이 수평상태일 경우



- 암굴착면의 요철은 ±10cm
- 바닥면 처리를 위해 10cm 이상의 바닥정리 콘크리트 타설

비탈면에 기초 설치시

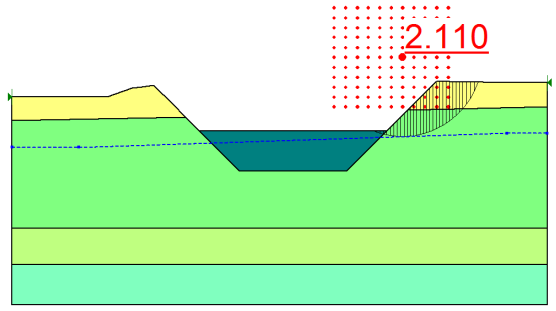


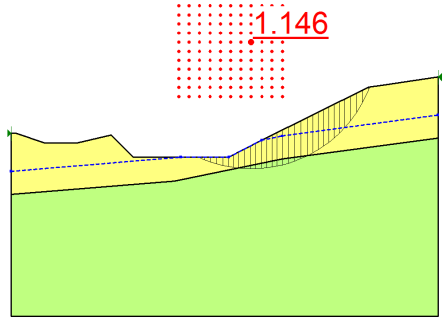
- 기초바닥에서 최소 동결깊이 이상으로 복개

5.1.2 기초터파기시 안정성 검토

기초터파기 비탈면 안정성 검토

- 대표단면에 대한 기초 터파기 임시비탈면의 안전율은 1.1로 적용 (건교부 및 도로공사기준 1.1~1.2)
- 임시비탈면 기울기는 토사 : 1 : 1.0~1.2 암반의 경우 1 : 0.5 적용 및 비탈면 경사를 완화하여 검토

1 공구 (Ramp-B교 P1)	결 과 분 석
	• 검토구간 : 임시터파기 구간(기초하부 3.0m 치환) • 임시 터파기 비탈면 기울기 : 1 : 1.0 적용 검토 • Fs = 2.110 > 1.1 ∴ O.K • 임시비탈면은 1 : 1.0 기울기 적용시 안정한 것으로 검토

1 공구 (Ramp-A교 A2)	결 과 분 석
	• 검토구간 : 임시터파기 구간 • 임시 터파기 비탈면 기울기 : 1 : 1.0 적용 검토 후 완화경사 적용 • 1 : 1.0적용 : Fs = 0.913 < 1.1 ∴ N.G • 1 : 2.0적용 : Fs = 1.146 > 1.1 ∴ O.K • 임시비탈면은 1 : 1.0 적용시 불안정하며, 1 : 2.0 기울기 적용시 안정한 것으로 검토

5.2 현장타설 말뚝기초 시공방안 검토

기본방향	• 현장타설말뚝은 시공 중 불확실성 요소가 많으므로 말뚝 설치 시 자주 발생하는 문제점을 검토하여 대책을 수립하고 품질 향상을 도모

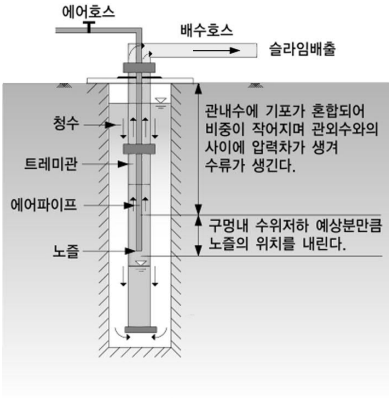
5.2.1 현장타설 말뚝기초 시공성 계획

판정 방법	특 성
육안 및 해머타격	• 암반판정법 중 가장 간단하고 신속한 판정법이나 판정자에 따른 객관성이 결여될 우려 높음
탄 성 파 시 험	• 지층을 통과하는 탄성파의 속도를 측정하여 지반상태를 간접적으로 평가하는 방법 • 가장 확실한 암반판정법이라고 할수 있으나, 판정장비를 보유하기 어렵고 여러 개소의 암반판정에 신속하지 못함
일축압축강도시험	• 말뚝시공을 위한 굴착작업 중 채취한 시료를 이용하여 압축강도 시험기에 의해 강도시험 함으로써, 암반의 지지력을 신속하고 정확히 판단할 수 있으나, 변화가 심한 경우에 있어서는 판정에 주의하여야 함
기 타	• 점하중 강도시험에 의한 판정, 슈미트 해머수치에 의한 판정, 굴착속도에 의한 판정 등이 있음

판정 방법	육안, 해머타격	탄성파시험	일축압축강도시험
객 관 성	×	○	○
비 용	○	×	○
신 속 도	○	×	△
전문인력 보유	×	×	○

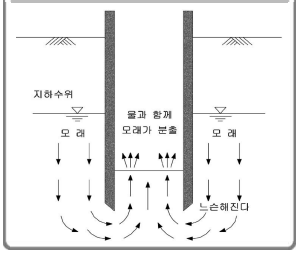
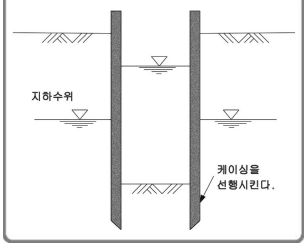
○ Slime 제거방법

- 말뚝자체의 시공관리를 아무리 잘해도 굴착공 바닥에 침전된 이토등이 침전되기 쉬우며 이로 인해 말뚝으로서의 기능이 현저하게 저하
- 따라서, 현장타설말뚝의 안정성 문제에서 Slime 처리가 매우 중요하므로 Slime 제거 방법을 검토하여 설계 및 시공에 반영

구 분	발 생 원 인	제 거 방 법	Slime 처리방식 개요도
1차 Slime	• 굴착 토사중에서 지상으로 배출되지 않고 굴착공 바닥 부근에 남아 있다가 굴삭 중지와 동시에 곧바로 침전된 것으로 큰 덩어리의 것도 포함 가능	• 예정 굴착 심도에 도달한 후 굴삭토가 굴착공 바닥에서 거의 모두 제거될 때까지 배토 작업을 지속적으로 실시	
2차 Slime	• 순환수 혹은 굴착 공내의 수중에 떠 있던 미립자가 굴삭 중지 후 시간이 경과함에 따라 서서히 공저에 침전	• Concrete 타설 직전 혹은 철근망 건입 전에 시행 • Air Lift 방식, Sand Pump 및 Suction Pump에 의한 배출방식 중 본 현장은 가장 확실한 Air Lift 방식 적용	

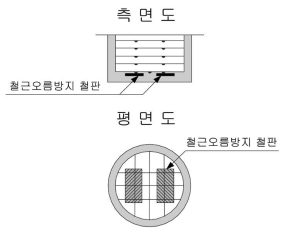
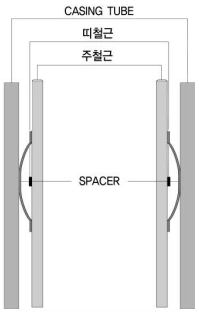
○ 보일링 방지대책

- 사질토 지반의 굴착 중 굴착공 내에 보일링 현상이 발생할 수 있으므로 이에 대한 대책방안 검토

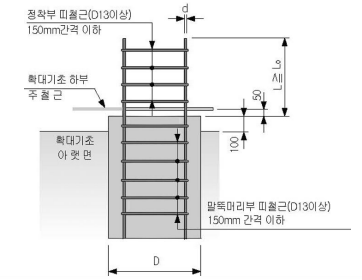
발 생 원 인	보일링 개요도	대 책 방 안	대책방안 모식도
• 사질토 지반에서 굴착공 내의 수위와 케이싱 주변지반의 지하수위에 의하여 공내에 물과 함께 모래가 상승		• 케이싱 선단을 굴착공저보다 선행시켜 시공 • 공내에 물을 주입하여 주위지반의 지하수위 이상으로 공내수위를 유지	

○ 철근망 부상방지 방법

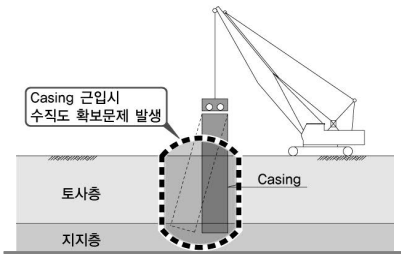
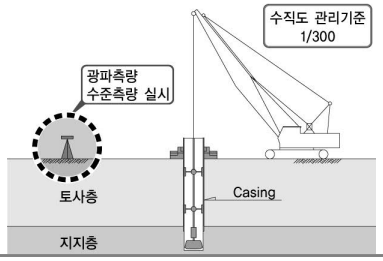
- 콘크리트 타설이나 Casing 인발시 철근망이 부상하여 신뢰성 있는 말뚝기초 시공이 이루어질 수 없으므로 이에 대한 대책을 검토

철근망 부상원인	철근망 부상방지 대책	철근오름방지 철판사용	SPACER 사용
• 굴착공 내가 휘어져 있거나 철근망이 휘어져 있을 경우 • Spacer가 바르게 설치되어 있지 않은 경우 • Slime이 남아 있을 경우 • 트레미관을 통한 콘크리트 타설을 빠르게 한 경우	• 철근망을 확실히 조립 • 유동성이 좋은 콘크리트 타설 시행 • Slime을 충분히 제거하면서 콘크리트 타설 • 콘크리트 타설 초기에 부상이 일어나지 않는 것을 확인하면서 콘크리트 타설 • 하단에 철근오름방지 철판을 설치 및 철근망에 간격유지용 철판부착		

○ 현장타설말뚝 두부정리 방법(도로교설계기준해설, 2001)

개 요	현장타설말뚝 두부고정방법
• 말뚝 두부 고정도는 수평력에 대한 말뚝설계에서 매우 큰 영향요소 • 지반반력이 길이방향으로 일정하다고 생각하는 탄성받침보로서의 해석에 의하면 말뚝두부가 고정인 경우 말뚝에 생기는 최대휨모멘트는 말뚝두부 힌지인 경우 보다 1.55배가 큼 • 말뚝두부 수평변위는 0.5배로 작게 나타남 • 말뚝본체의 허용휨모멘트 이내이며, 두부수평변위가 작은 말뚝두부 고정조건이 되도록 설계	

○ 현장타설말뚝 수직도 유지

예 상 문 제 점		대 책 방 안	
	• 케이싱 근입시 수직도 확보문제 발생 • 철근망 근입시 철근망 변형예상		• 광파측량기를 이용한 수직도 (1/300) 유지 • RCD 굴착시수직도 ➡ Stabilizer추가 설치 (6m간격)

5.2.2 현장타설 말뚝기초 시공시 대책수립

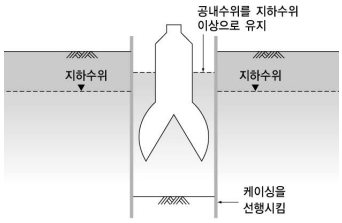
• 현장타설말뚝은 시공절차가 말뚝의 품질에 주요한 영향을 미치므로 세심한 시공관리가 필요
• 현장타설말뚝의 지치층 판정 방법, Slime 처리방안, 보일링 방지대책, 철근망 부상방지 등을 검토

○ 시공시 예상되는 문제점에 대한 대책

항 목		설 계 반 영
굴착시 공벽분리		• 공벽붕괴가 예상되는 지층에 대하여 케이싱 적용
말뚝본체 불 량	형상불량	• 케이싱 인발속도 조절 • 트레미관을 통한 콘크리트 타설속도 조절 • 건전도시험 실시
	정착불량	• 지하수 유속에 의한 재료분리가 발생하지 않도록 수중 불분리성 콘크리트 사용 • 말뚝선단에 매설된 관을 통한 압력 그라우팅 실시
철근망의 변형		• 뒤틀림 방지 철근을 사용하여 운반 및 콘크리트 타설시 변형 방지 • 선단부 스페이서를 설치하여 지반과 주철근의 직접적인 접촉 방지
지지력 부족		• 선단 정착부 압력 그라우팅 실시 • 재하시험에 의한 지지력 확인

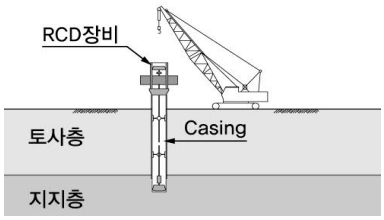
◎ 시공시 예상문제에 대한 대책수립

피압지반 및 모래자갈층 굴착



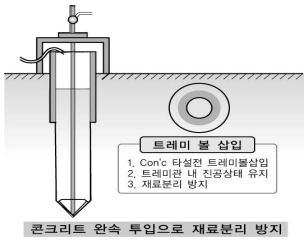
• 케이싱 선행 후 굴착하고, 공내수를 지하수위 이상으로 유지

케이싱 강관 적용



• 케이싱강관 적용, 지하수 영향 및 공벽유지로 균일한 말뚝체 형성

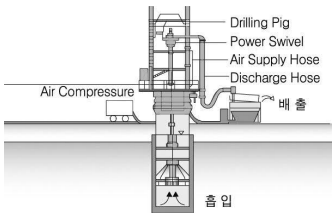
트레미파이프 볼 삽입



• 콘크리트 타설전 트레미볼 삽입으로 재료분리 방지

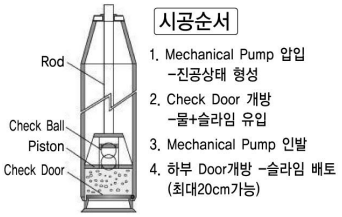
굴삭토사 및 니수의 양수

1차 : RCD 장비 이용



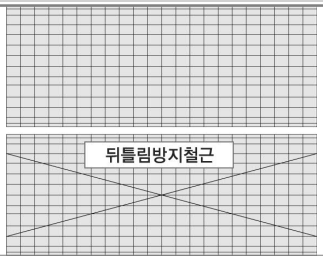
• 굴착 후 RCD를 선단과 50cm 이격시켜 공회전하며 순환수 배출

2차 : Mechanical Pump



• 케이싱내 펌프를 삽입하여 순간 압력으로 슬라임 제거 및 배출

철근망 보강방안



• 철근망 주변에 X-자 형태의 보조철근 부착으로 뒤틀림 방지

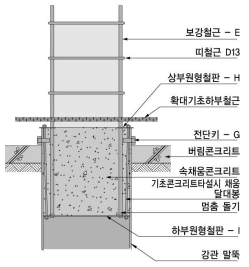
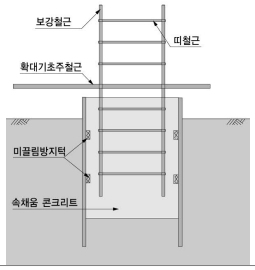
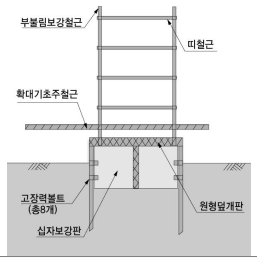
검토결과

• 육안, 해머타격법은 객관성 결여, 탄성파시험은 암판정을 위한 전문인력이 필요하여 분석비용이 고가이며, 분석시간이 오래 걸림
• 일축압축강도시험에 의한 암반 판정법이 제반 여건상 장점이 많으며, 연속적으로 다량의 판정을 객관적으로 시행 가능하므로 설계적용

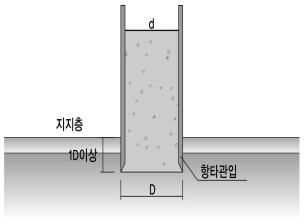
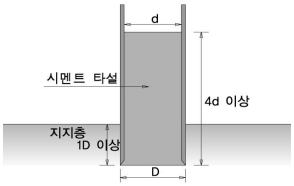
제 6 장 기초의 품질 및 유지관리 계획

6.1 말뚝기초 품질관리 계획

6.1.1 말뚝 머리결합 방안

구 분	합성형 두부보강	콘크리트 속채움	볼트식 두부보강
개요도			
공법개요	• 속채움이 가능한 강재결합구와 강판을 결합식으로 연결하므로 속채움방식의 단점인 시공성을 개선하고 볼트식 방식의 허용내력 한계를 개선한 공법	• 보강철근망과 하부띠철근을 조립하여 확대기초의 주철근과 상부띠철근을 배근한 후, 확대 기초와 강관의 속채움 콘크리트 를 동시에 타설하는 공법	• 콘크리트 속채움 방식의 시공성을 개선하기 위해 공장 제작된 십자 보강판을 볼트에 의해 강관과 연결하고 확대기초의 주철근과 띠철근에 연결하는 공법
적용성	• 시공이 빠르고 간편하며 지압응력의 분포가 일정하고 수평력에 대한 저항력이 우수함	• 수평력에 대한 저항력이 우수 하나 철근간섭에 의해 시공성이 저하, 강관말뚝 내부 용접시 용접불량이 발생할 수 있음	• 시공이 빠르고 간편하지만 말뚝내부가 중공이므로 속채움 방식에 비해 수평력에 대한 저항력이 작음
경제성	공사비 저렴	공사비 다소고가	공사비 보통
선 정	◉	-	-
선정사유	• 콘크리트 속채움공법은 철근간섭에 의한 시공성 저하가 크며, 볼트식 머리보강공법은 국부변형에 대하여 취약하고 말뚝내부가 중공이므로 수평력에 대한 저항력이 작음 • 시공이 단순하며 지압응력의 분포가 일정하고 수평력에 대한 저항력이 우수한 합성형 두부보강 방법 선정		

6.1.2 말뚝 선단처리 계획

구분	최 종 경 타	시멘트밀크 속채움
개요도		
특징	• 타입공법에 비해 타격 회수 및 시간이 적음 • 최종 경타 시 단시간 이지만 소음 · 진동발생 • 타공법에 비해 지지력이 큼	• 말뚝의 연직하중을 기반암까지 전달가능 • 말뚝 속채움에 의한 폐색효과 발휘
적 용	◉	◉

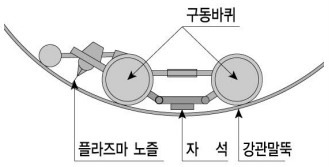
6.1.3 말뚝 품질관리 방안

• 지표면에서 말뚝 시공후 확대기초 저면위치까지 굴착하는 종전의 방법은 산소 토치(Torch)를 이용하여 노출된 말뚝두부절단 ➡ 말뚝사이 굴착 ➡ 노출된 말뚝두부절단의 단계를 거쳐 굴착하였으나, 시공이 번거롭고 경제성면에서도 불리하여 간편하고 경제적인 강관말뚝 자동절단

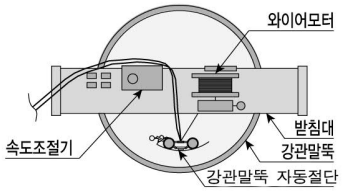
○ 강관말뚝절단공법

• 강관파일을 항타한 후 요구되는 소요깊이에 자기력 발생수단과 구동수단 및 토치를 탑재한 절단기를 삽입 후 강관 말뚝 내부면을 따라 회전하면서 고온의 플라즈마를 이용하여 강관말뚝을 절단하는 공법
• 절단에 사용되는 절단기는 경량이고 소형이어서 말뚝이 시공된 주변 환경에 적용성이 뛰어나고 말뚝직경 및 절단 깊이에 상관없이 단 1회에 절단을 완료 하는 공법

강관파일 자동절단



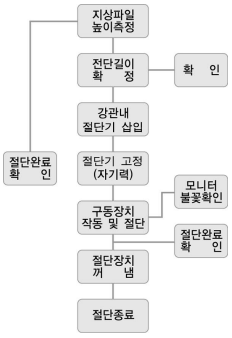
조절장치가 부착된 받침대



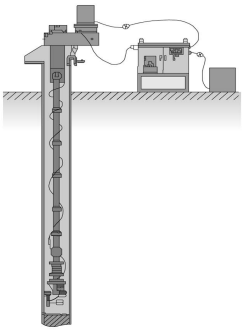
공 법 개 요

• 강관말뚝 시공 후 소요 깊이에 자기력 발생 수단과 구동수단, 토치를 탑재한 기계를 삽입 고온의 플라즈마를 이용하여 강관말뚝을 절단하는 공법
• 절단기의 무게가 작고 소형으로 파일 주변 영향을 받지 않고, 절단 깊이 조정이 가능
• 절단면이 매끈하고 재래식 산소 절단 방식 등에 비해 경제적이고 시공성 우수

시공순서도



장 치 도



장점 및 단점

• 장비 제작비용이 저렴하며, 말뚝 시공 후 후속 굴착작업 없이 절단 작업 진행, 공정의 단순화로 공기 단축이 가능함
• 부대공종의 축소, 절단된 말뚝의 재사용으로 공사비가 절감되고, 작업조건의 향상으로 안전사고 예방효과 증대
• 절단깊이, 말뚝직경, 경사도에 관계없이 절단가능
• 강관말뚝 이외에는 적용 불가
• 말뚝 내부에 물이나 흙이 차 있을 경우 작업이 불가능하므로 이를 제거하여야 작업 가능

○ 강관말뚝 부식두께 검토

• 강관말뚝은 부식에 의한 단면적의 축소 등으로 내구성이 저하되므로 이에 대한 대책방안 필요
• 지층에서 강재의 부식은 토질, 수질 및 전기적 상태, 강재의 성질, 지층의 박테리아 등에 따라 상이

▮ 강재의 부식 속도(구조물기초 설계기준 해설, 2003)

부 식 환 경		부식속도(mm/년)
해상측	H.W.L 이상	0.3
	H.W.L~L.W.L(-)1m까지	0.1 ~ 0.3
	L.W.L(-)1m까지~해저부까지	0.1 ~ 0.2
	해저 이토층중	0.03
육상측	육상 대기중	0.1
	토중(잔류수위 이상)	0.03
	토중(잔류수위 이하)	0.02

검 토 결 과

• 강관말뚝은 해수나 공장폐수의 오염물에 영향을 받는 특수한 조건이 아니며 주기적으로 물에 잠길 우려가 없는 지하수위 이하에 위치
• 부식두께는 교량의 내구연한(100년)을 감안하여 강관말뚝의 전체두께에서 2mm를 공제한 단면을 설계에 반영하였으며, 부식두께 고려시 강관말뚝의 구조적 영향 없음

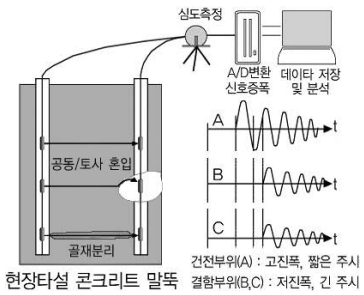
6.2 현장타설 말뚝기초 품질관리 계획

6.2.1 현장타설 말뚝 건전도 시험

- 현장타설말뚝기초는 시공과정에서 철저한 품질관리 과정을 거치지만 현장타설말뚝의 특성상 심도가 깊어 콘크리트 시공상태 및 품질의 육안확인이 불가하므로 건전도 확인시험 필요
- Sonic Logging Test의 일종인 CSL(Crosshole Sonic Logging) 시스템을 적용한 건전도 시험 수행계획

시험방법	시험내용 및 측정원리
충격반향기법 (Impact-Echo Method)	• PIT는 현장타설 말뚝의 단면변화 예측에 적합 • 말뚝의 강성(동적탄성계수)은 충격의 힘을 측정할 수 있는 망치를 이용하여 힘과 속도를 측정 • 시험방법이 쉽고 저비용으로 말뚝의 단면형상을 예측
Crosshole Sonic Logging(CSL)	• 부분단면의 결함을 측정하며 할 수 있음 • 콘크리트내의 공극은 압축파가 반향을 유발 • 콘크리트내의 이물질(철근)은 압축파의 부분반사와 부분굴절 발생 • 시공시에 Tube를 미리 시공해야 하는 단점

CSL System 모식도



CSL System 특징

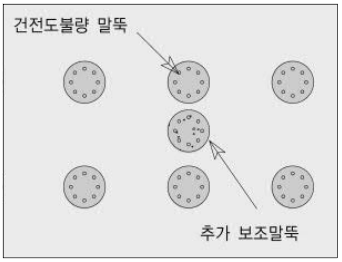
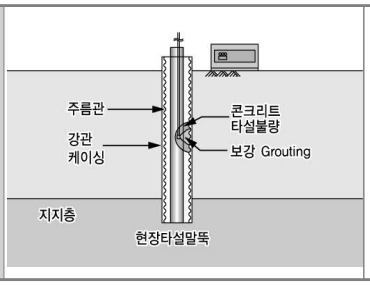
- 적용대상
  시공시의 현장타설말뚝과 기 조성된 콘크리트 말뚝에도 이용 가능
- 특징
  - 여러개의 결함을 정밀하게 탐지할 수 있음
  - 탐지깊이에 제한이 없으며 말뚝 근입깊이를 정확하게 측정할 수 있음
  - 검사결과가 지반의 강성에 영향을 받지 않음
  - 결과분석 방법이 비교적 쉬우며 결함의 깊이를 정확히 탐지할 수 있음
- 시험시점 : 콘크리트 타설 후 7일 이후

◎ 건전도 시험빈도

구 분	평균말뚝길이(%)			비 고
	20m 이하	20m~30m	30m 이상	
시험수량(%)	10	20	30	• 빈도 : 교각당 말뚝수량에 대한 백분율 (단, 교각당 최소 1개소 이상)

◎ 건전도 시험결과 불량판정 대책 흐름도

시험 실시 (말뚝의 결함 발견) → 시험 분석 (결함의 크기 및 위치 추정) → 대책 수리 (결함이 있는 말뚝의 정적성능 분석) → 보 강 (보강공법 선정)

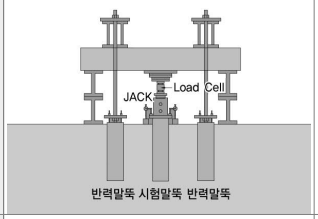
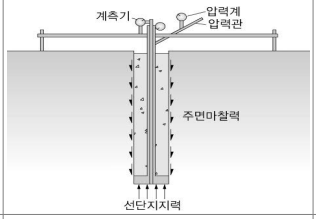
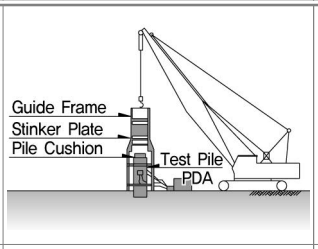
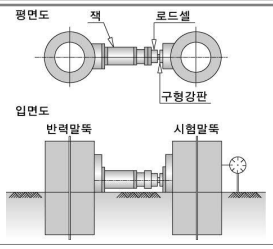
개요도		• 불량 말뚝에 근접하여 추가보조 말뚝 시공	대책수립	 • 기 설치된 현장타설말뚝에 굴착 후 Grouting

6.3 교량기초 재하시험 및 계측계획

기본방향	• 설계시 산정한 기초의 지지력은 경험식이나 이론식에 의한 것으로 시공시 기초지반에 대한 현장시험을 통하여 확인 • 기초의 재하시험은 기초를 설계함에 있어 필요한 설계정수 등을 얻거나 설계지지력의 결정 또는 기 시공된 말뚝의 지지력을 확인하는데 목적이 있음

6.3.1 말뚝기초 재하시험

구 분		시험 횟수	시험 말뚝위치
동재하시험 (구조물기초설계기준, 2003)	• 구조물별 말뚝수 1~80본 까지	2	대각선상이나 감독자가 원하는 위치의 시험말뚝
	• 구조물별 말뚝수 1~160본 까지	3	
	• 구조물별 말뚝수 160본 이상	4	
정재하시험	• 국내에는 별도 제시된 기준이 없어, 상부형식과 하중규모에 따라 선별적으로 계획		
수평재하시험	• 국내에는 별도 제시된 기준이 없어, 수평하중이 큰 교대에 실시하는 것으로 계획		
평판재하시험	• 풍화암지지 직접기초에 대하여 재하시험 시행(필요시)		
건전도시험	• 국내에는 별도 제시된 기준이 없어, 현장타설말뚝 기초 교각당 1개소 이상 계획		

구 분	정재하시험		동재하시험	수평재하시험
	반력말뚝법	양방향 재하시험		
개념도				
하중 전달	• 시험말뚝 주위의 말뚝 반력(마찰 및 자중) 이용 재하	• 양방향 재하시험에 의한 주면마찰력과 선단지지력 을 상호반력으로 이용 재하	• 램 또는 해머에 의한 동적 충격하중	• 고정하중, 주변말뚝
관련 기준	• KS F 2445 • ASTM D 1143		• ASTM D 4945	• ASTM D 3936
적용	• 현장타설말뚝기초의 경우 작용 하중이 커서 사하중 제작 및 재하의 어려움으로 원지반을 반력으로 사용하는 양방향 재하시험 적용 • 말뚝기초의 정재하시험은 기 시공된 말뚝을 이용하여 경제적이고, 수평재하시험이 용이한 반력 말뚝법을 적용 • 동재하시험은 (구조물기초설계기준, 2003)에 따라 실시하며, 정재하시험 값과 비교하여 적정성 검증			

6.3.2 교량기초 계측계획

- 계측관리를 통해 계획시의 불확실한 조건에 대한 보완 및 시공 중 거동 예측 및 안정성 판단
- 계측기 위치는 지반여건과 시공여건을 고려하여 계측항목별 기능과 목적이 최대한 발휘되도록 선정
- 계측결과를 검토 분석하여 현장 시공상황과 여건변화를 종합적으로 판단·예측할 수 있는 위치 선정

○ 계측 선정 요인

계측항목	선 정 요 인
지 반 조 건	• 지반특성 및 지하수 조건, 주변환경 고려 • 설계, 시공방법의 불확실성을 고려
구조물 안정성	• 침하 영향권 검토 및 인접구조물의 건전도 평가
계측방법과 기기특성	• 작동원리의 안정성과 신뢰성 • 측정조작 용이성과 내구성, 계기간의 상호 호환성

■ 계측 항목 및 용도

계측항목	계 측 기	계측빈도	계 측 내 용
수평변위	지중경사계	1회/1주	• 편재하중에 의해 발생되는 지반의 수평변위 측정
변 위	구조물경사계	1회/1주	• 편재하중에 의한 교대 기울어짐 측정

○ 계측 활용 계획

구 분	내 용	비 고
계측관리기준 설 정	• 응력의 절대관리, 예측관리 및 계측값의 변화율 관리 • 기존 구조물 실적 관리	시공초기, 계측데이터 수집
계측관리기준 재 설 정	• 계측데이터, 응력변화 관계 회귀분석 및 구조물 안정성 평가	현장에 부합한 관리기준 설정
시공관리 및 대책	• 계측결과에 따른 현장관리 등급 설정 • 관리등급별로 발생 가능한 상황에 대해 대처방안 수립	Feed Back

○ 계측항목 및 측정계획

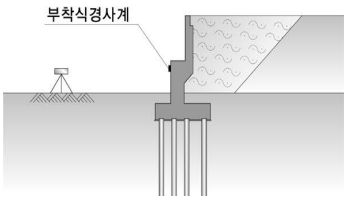
- 설계시 지반상태를 시공시 재확인하고 문제발생시 보완대책(Feed Back)을 수립하기 위하여 다음과 같은 항목에 대하여 계측수행을 계획

■ 계측기 설치계획

계측기 위치 선정시 고려사항

- 지반조건 및 구조물 대표 구간
- 계측기 설치와 측정이 용이한 곳
- 하중 및 변형이 집중 예상되는 곳

고성토 교대배면 수평변위측정



기초침하 측정(침하핀 설치)