관리번호

사본번호

서울제물포터널 민간투자사업 건설공사

지 반 조 사 보 고 서

- 1구간 · 2구간 -

2021. 04

서울터널주식회사

목 차

제1장 조사개요

1.1 조사목적 및 기본방향 ····· 1

1.2 사업범위 및 현황 ····· 1

1.3 조사수행절차 및 수행기간 ····· 2

제2장 조사계획 수립

2.1 조사계획 수립을 위한 사전검토 ····· 3

2.1.1 사업지역 주변현황분석 ····· 3
2.1.2 지반조사 관련기준 검토 ····· 4
2.1.3 인근지역 관련자료 검토 ····· 6
2.1.4 기존설계자료 분석을 통한 중점 조사구간 선정 ····· 8

2.2 조사항목의 적정성 ····· 9

2.2.1 조사위치 및 수량 ····· 9
2.2.2 주요 조사항목 선정 및 설계반영계획 ····· 10

2.3 민원·환경훼손 방지대책 ····· 12

2.3.1 시추공 폐공처리 계획 ····· 12
2.3.2 시추공 폐공처리 절차 및 방법 ····· 12

제3장 조사내용 및 방법

3.1 흙과 암반의 분류 및 기재방법 ····· 13

3.1.1 토질 분류 및 방법 ····· 13
3.1.2 암반 분류 및 방법 ····· 16
3.1.3 공학적 암반분류 ····· 19

3.2 광역 지형·지질조사 ····· 24

3.2.1 선구조 분석 ····· 24
3.2.2 지표지질조사 ····· 25

3.3 물리탐사 ····· 29

3.3.1 고출력전기비저항 탐사 ····· 29
3.3.2 상시미진동탄성파 탐사 ····· 29
3.3.3 탄성파토모그래피 탐사 ····· 30
3.3.4 GPR탐사 ····· 30

목 차

3.4 현장조사 및 시험 ····· 31
3.4.1 시추조사 ····· 31
3.4.2 표준관입시험 ····· 31
3.4.3 시험굴 조사 및 현장밀도 시험 ····· 32
3.4.4 SPT에너지 효율시험 ····· 32
3.4.5 공내지하수위 및 장기지하수위 측정 ····· 33
3.4.6 공내재하시험 ····· 33
3.4.7 공내전단시험 ····· 34
3.4.8 시추공영상촬영(BIPS) ····· 34
3.4.9 초음파주사검층(BHTV) ····· 35
3.4.10 S-PS검층 ····· 35
3.4.11 하향식탄성파탐사(Down Hole Test) ····· 36
3.4.12 다채널표면파탐사(MASW) ····· 36
3.4.13 밀도검층 ····· 37
3.4.14 현장투수시험 ····· 37
3.4.15 암반수압시험 ····· 38
3.4.16 지하수 유향·유속 시험 ····· 38
3.4.17 양수시험 ····· 39
3.4.18 순간충격시험(Slug Test) ····· 39
3.4.19 수압파쇄시험 ····· 40
3.4.20 피에죠콘관입시험 ····· 40
3.4.21 시추공시험발파 ····· 41
3.5 실내토질시험 ····· 42
3.5.1 기본물성시험 ····· 42
3.5.2 다짐 및 실내CBR시험 ····· 42
3.5.3 직접전단시험 ····· 43
3.5.4 진동반복삼축시험 ····· 43
3.5.5 토사공진주시험 ····· 43
3.6 실내암석시험 ····· 44
3.6.1 기본물성 및 일축압축시험 ····· 44
3.6.2 점하중강도시험 ····· 45
3.6.3 삼축압축시험 ····· 45
3.6.4 간접인장시험 ····· 45
3.6.5 절리면전단시험 ····· 46
3.6.6 3D JRC 측정 ····· 46
3.6.7 암석이방성 시험 ····· 47
3.6.8 Swelling/Slaking 시험 ····· 48

목 차

3.6.9 Creep 시험 ····· 49
3.6.10 암석공진주 시험 ····· 49
3.6.11 AE/DRA 시험 ····· 50
3.6.12 편광현미경관찰 ····· 50
3.6.13 XRD분석 ····· 51
3.6.14 본선암 유용성 시험 ····· 51
3.6.15 토양 및 지하수 수질분석 ····· 52
3.6.16 라돈농도 측정 ····· 52

제4장 예비조사 결과

4.1 조사개요 ····· 53
4.2 광역지형 특성 분석 ····· 53
4.2.1 산계 및 수계 분석 ····· 53
4.2.2 지형태학적 발달 특성 ····· 54
4.2.3 육상환경 변화 분석 ····· 54
4.3 선구조 분석 ····· 55
4.3.1 광역 선구조 분석 ····· 55
4.3.2 교차 선구조 분석 ····· 57
4.4 지질특성 분석 ····· 58
4.4.1 광역 지질구조 및 기존지질도 분석 ····· 58
4.4.2 지구조 변화사 분석 ····· 58
4.4.3 상세 지표지질조사 결과 ····· 59
4.5 지진이력 및 강수량 분석 ····· 62
4.5.1 지진이력 분석 ····· 62
4.5.2 강수량 분석 ····· 62

제5장 상세조사 결과

5.1 지층분포 특성 조사 ····· 63
5.1.1 조사현황 ····· 63
5.1.2 시추조사 ····· 63
5.1.3 고출력전기비저항 탐사 ····· 69
5.1.4 상시미진동탄성파 탐사 ····· 69
5.1.5 탄성파토모그래피 탐사 ····· 70
5.1.6 GPR탐사 ····· 71

목 차

5.2 변형 및 강도특성 조사 ····· 77
5.2.1 표준관입시험 ····· 77
5.2.2 SPT에너지효율 측정 ····· 77
5.2.3 공내재하시험 ····· 78
5.2.4 공내전단시험 ····· 79
5.2.5 직접전단시험 ····· 79
5.2.6 일축압축강도시험 ····· 80
5.2.7 점하중강도시험 ····· 82
5.2.8 삼축압축시험 ····· 85
5.2.9 간접인장강도시험 ····· 86
5.2.10 피에죠콘관입시험 ····· 87
5.3 수리특성 분석을 위한 조사 ····· 88
5.3.1 공내지하수위 및 장기지하수위 측정 ····· 88
5.3.2 현장투수시험 ····· 90
5.3.3 암반수압시험 ····· 91
5.3.4 지하수 유향 · 유속시험 ····· 92
5.3.5 양수시험 및 순간충격시험 ····· 93
5.4 내진설계를 위한 조사 ····· 94
5.4.1 밀도검층 ····· 94
5.4.2 S-PS검층 ····· 96
5.4.3 하향식 탄성파탐사 ····· 97
5.4.4 다채널 표면파탐사(MASW) ····· 99
5.4.5 공진주시험 ····· 100
5.4.6 진동반복삼축시험 ····· 102
5.5 기반암 불연속면 특성 조사 ····· 103
5.5.1 시추공영상촬영(BIPS) ····· 103
5.5.2 초음파주사검층(BHTV) ····· 109
5.5.3 절리면전단시험 ····· 115
5.5.4 기본마찰각시험 ····· 116
5.5.5 3D JRC 측정 ····· 116
5.6 측압계수 특성 조사 ····· 118
5.6.1 수압파쇄시험 ····· 118
5.6.2 AE/DRA 시험 ····· 119
5.7 시공성을 고려한 실내시험 ····· 122
5.7.1 토질기본물성 ····· 122
5.7.2 다짐 및 실내CBR시험 ····· 124

목 차

5.7.3 암석이방성 시험 ····· 125
5.7.4 Swelling/Slaking 시험 ····· 128
5.7.5 Creep시험 ····· 129
5.7.6 XRD분석 ····· 129
5.7.7 XRF분석 ····· 130
5.7.8 편광현미경 분석 ····· 130
5.7.9 암 유용성시험 ····· 132
5.8 환경영향 평가를 위한 시험 ····· 133
5.8.1 토양분석 ····· 133
5.8.2 지하수 수질분석 ····· 134
5.8.3 라돈농도 측정 ····· 136
5.8.4 시추공시험발파 ····· 137

제6장 중점검토사항 및 종합분석

6.1 지질이상대 분석 ····· 139
6.1.1 수행흐름 ····· 139
6.1.2 지형 · 지질정보 분석 ····· 139
6.1.3 물리탐사를 통한 지질이상대 구간확인 ····· 140
6.1.4 시추조사를 통한 지질이상대 규명 ····· 140
6.1.5 단층파쇄대 방향성 및 단층폭 분석 ····· 144
6.1.6 단층파쇄대 입체적 분석 ····· 144
6.2 터널구간 성과분석 ····· 145
6.2.1 기본방향 ····· 145
6.2.2 지반의 지층 특성 분석 ····· 145
6.2.3 지반의 공학적 특성 분석 ····· 146
6.2.4 동질성 분포에 따른 균질절리영역 분석 ····· 147
6.2.5 지반등급 산정 ····· 150
6.3 시·종점부 개착구간 성과분석 ····· 154
6.3.1 기본방향 ····· 154
6.3.2 지층 특성 분석 ····· 154
6.3.3 지반의 공학적 특성 분석 ····· 155
6.4 쌓기재 특성 및 재료원 조사 ····· 156
6.4.1 흙쌓기재 특성 분석 ····· 156
6.4.2 발생암 유용성 시험 ····· 158
6.4.3 재료원조사 ····· 159

목 차

6.5 시공계획 및 환경영향 검토를 위한 분석 ····· 161
6.5.1 기본방향 ····· 161
6.5.2 발파진동 및 소음영향 검토 ····· 161
6.5.3 지하수 수리특성 분석 ····· 162
6.5.4 환경 및 구조물 유해성 분석 ····· 164

제7장 설계지반정수 산정

7.1 개요 ····· 165
7.1.1 기본방향 ····· 165
7.1.2 신뢰성 향상을 위한 분석방법 검토 ····· 165
7.2 연속체 설계지반정수 ····· 166
7.2.1 토사구간 설계지반정수 ····· 166
7.2.2 풍화암구간 설계지반정수 ····· 171
7.2.3 쌓기재 설계지반정수 ····· 173
7.2.4 암반등급별 설계지반정수 ····· 174
7.3 불연속체 설계지반정수 ····· 180
7.3.1 균질절리영역(HFD) 분석 ····· 180
7.3.2 절리면전단시험 결과 ····· 180
7.3.3 불연속체 설계지반정수 산정 ····· 180
7.4 측압계수 산정 ····· 181
7.4.1 수압파쇄시험 결과 ····· 181
7.4.2 AE/DRA 시험 결과 ····· 181
7.4.3 터널구간 측압계수 ····· 182
7.4.4 측압계수 산정 ····· 182
7.5 내진해석을 위한 설계지반정수 ····· 183
7.5.1 동적선형특성 ····· 183
7.5.2 동적비선형특성 ····· 184
7.6 수리해석을 위한 설계지반정수 ····· 185
7.6.1 문헌자료 검토 ····· 185
7.6.2 기존자료 분석 ····· 185
7.6.3 현장시험 결과 ····· 186
7.7 설계지반정수 요약 ····· 187

목 차

제8장 구조물 기초 안정성 검토

8.1 검토개요 ····· 189

8.1.1 기본방향 ····· 189
8.1.2 과업구간 현황 ····· 190
8.1.3 설계기준 검토 ····· 190

8.2 기초형식 선정 ····· 191

8.2.1 기초형식 선정 ····· 191

8.3 말뚝재료 및 시공법 선정 ····· 193

8.3.1 기초형식 선정조건 ····· 193
8.3.2 말뚝기초 재료선정 ····· 193
8.3.3 말뚝기초 시공방법 ····· 194

8.4 기초 안정성 검토 ····· 194

8.4.1 직접기초 지지력 및 침하량 검토 ····· 195
8.4.2 말뚝기초 지지력 및 침하량 검토 ····· 204
8.4.3 부등침하 안정성 검토 ····· 209
8.4.4 기타 구조물 안정성 검토 ····· 209
8.4.5 연도변 인접구조물 안정성 검토 ····· 212
8.4.6 액상화 검토 ····· 214

8.5 기초 품질 및 유지관리계획 ····· 217

8.5.1 재하시험 계획 ····· 217
8.5.2 기초 품질확보 방안 ····· 218

제9장 비탈면 안정성 검토

9.1 검토 개요 ····· 219

9.1.1 비탈면 설계 ····· 219
9.1.2 검토기준 ····· 220

9.2 비탈면 안정성 검토 ····· 221

9.2.1 검토현황 ····· 221
9.2.2 비탈면 안정성 검토 결과 ····· 222

9.3 비탈면 안전 점검계획 ····· 224

9.3.1 비탈면 안전점검 계획 ····· 224

목 차

부 록 (별 책)

제1장 지반조사 위치도

제2장 지질도

제3장 지층단면도

3.1 지층 종단면도
3.2 지층 횡단면도

제4장 현장조사

4.1 지표지질조사
4.2 시추 주상도
4.3 시험굴(TEST PIT) 주상도

제5장 현장시험

5.1 SPT에너지효율측정
5.2 공내재하시험
5.3 공내전단시험
5.4 콘관입시험
5.5 현장투수시험
5.6 암반수압시험
5.7 양수시험
5.8 순간충격시험
5.9 지하수 유향·유속시험
5.10 현장밀도시험
5.11 수압파쇄시험
5.12 시추공시험발파

제6장 물리탐사 및 검층

6.1 고출력전기비저항탐사
6.2 상시미진동탄성파탐사
6.3 MASW탐사
6.4 탄성파토모그래피
6.5 GPR탐사
6.6 시추공영상촬영
6.7 초음파주사검층
6.8 하향식탄성파탐사
6.9 S-PS검층
6.10 공내밀도검층

목 차

제7장 실내시험

7.1 토질시험
7.2 암석시험
7.3 암유용성 시험
7.4 지반환경 시험

제8장 RMR-Q 분류결과

제9장 재료원 조사

제10장 사 진 첩

10.1 시추조사 사진첩
10.2 현장조사 사진첩
10.3 시료상자 사진첩
10.4 폐공 사진첩

제11장 구조물 기초 안정성 검토

11.1 얕은기초
11.2 말뚝기초

제12장 제2환기소 가시설공사 지반조사

제1장 조사개요

1.1 조사목적 및 기본방향

조사목적

사 업 명	•서울제물포터널 민간투자사업 실시설계
조사목적	•기본설계 조사결과를 토대로 인근지역 조사 및 문헌자료 등 기존자료 분석을 통하여 합리적인 조사계획 수립 •조사결과의 신뢰성 확보를 위해 다양한 조사기법 및 통계분석을 수행하여 합리적인 설계정수 산정 •중점검토 대상구간에 대한 지층분포 및 지반특성 규명을 통하여 경제적이고 안정성이 확보된 설계 유도

기본방향

최적설계를 위한 지반조사 수행

기본설계 및 주변현황을 고려한 조사계획
- 기본설계 자료 분석으로 중점검토 대상구간 선정
- 주변현황을 고려한 단계별 조사계획

지반특성 파악을 위한 정밀조사
- 시추공시험발파를 통한 최적발파설계 자료 제공
- 단층파쇄대 특성파악을 위한 추가확인 조사

체계적인 성과분석 및 신뢰성 제고
- 다각적 조사기법을 통한 지질이상대 파악
- 확률통계기법을 적용한 객관적인 설계지반정수 산정

정확한 지반정보 제공을 통한 최적설계 유도
- 최신 조사기법 및 현장시험 적용
- 기존사례 및 지반조사 성과 합리적 분석

1.2 사업범위 및 현황

사업범위

사업 위치	•시점 : 서울특별시 양천구 신월동(신월IC) •종점 : 서울특별시 영등포구 여의도동(여의대로)
사업 목적	•수도권 서부도심권과 서울도심을 연결하는 주간선도로 역할 •경인고속도로, 서부간선도로, 올림픽대로를 연결하는 광역간선축 •도심내 단거리 통행과 장거리 통행 혼재에 따른 교통체증 완화
사업 규모	•연장 : 여의도방향 L : 7.53km, 인천방향 L : 7.57km •터널 규모 : 2차로 여의도방향 6,817m, 인천방향 6,791m 1차로 여의도방향 564.82m, 인천방향 398.5m •지하차도 규모 : U-Type 1차로 : 2개소, 2차로 : 4개소 Box 1차로 : 2개소, 2차로 : 4개소

사업현황

분석결과	• 도심지 구간으로 인근에 다수의 건물 위치 ➡ 개착 및 터널 시공 굴착시 영향 검토 필요 • 안양천, 여의샛강 교차 통과 ➡ 지질구조선 발달가능 지역으로 정밀조사 계획 필요 • 남부순환로 및 강서로 연계한 사업노선 ➡ 구조물별 특성을 고려한 조사항목 선정 필요

1.3 조사수행절차 및 수행기간

조사수행절차

조사수행절차	조사 및 분석 내용	주요 조사 항목
사 전 조 사	•최초제안 및 기본설계 조사결과 분석 •인접지역 및 유사현장 설계자료 분석 •기존문헌자료 분석 •주변현황 및 예상문제점 분석	•기본설계 보고서 결과 분석 및 보완사항 파악 •서부간선 지하도로 민간투자사업 등 총 3개 사업의 인근설계자료 •서울도폭(1:50,000), 지형도(광복이전, 1969, 1997), 인공위성영상, 항공사진 분석 •현장답사, 관공서 방문 및 탐문 조사
광 역 조 사	•지진이력, 강우량 확인 •선구조 분석 및 광역지표지질조사 •지구조 변화사 및 단층구조 분석	•지진발생현황조사, 강우량 분석 •인공위성 영상분석, 음영기복도 분석, 현장노두조사 •산계 및 수계분석, 고지형도 분석
상 세 조 사	•지질구조 및 지층 분포 특성 분석을 통한 지층급변구간 등 지질이상대 규명 •강도 및 변형특성 분석을 위한 조사 •동적특성 분석을 위한 조사 •수리특성 분석을 위한 조사 •불연속면특성 분석을 위한 조사 •터널의 측압계수 산정을 위한 조사 •환경영향 및 시공계획을 위한 조사	•상세 지표지질조사, 시추조사, 고출력전기비저항탐사, 상시미진동탄성파탐사, 탄성파토모그래피탐사 •공내재하, 공내전단시험, 일축/삼축압축시험, •S-PS검층, 하향식탄성파탐사, 밀도검층 •현장투수시험, 암반수압시험, 양수시험 •시추공영상촬영, 초음파주사검층, 절리면전단시험 •수압파쇄시험, AE/DRA시험 •시추공시험발파, 재료원조사
추가·보완조사	•교차터널 등 지하구조물 인접부 영향검토 및 단층파쇄대 원인 및 영향범위 규명	•추가 시추조사, 단층파쇄대 영향 범위 분석 •정밀분석을 통한 구조선의 단층파쇄대 입체화

• 최적의 노선 및 구조물 위치 선정 • 구간별 지질 및 지층 분석 • 설계지반정수 산정

수행기간

구 분		조 사 내 용	2013년						2014년						2015년	
			2월	4월	6월	8월	10월	12월	2월	4월	6월	8월	10월	12월	11월	12월
예비조사	사전조사	•현장답사를 통한 조사위치 계획 •문헌 및 기존자료 성과, 문제점 분석														
	광역조사	•사업구간 주변 선구조 및 이상대 파악 •사업지역 특성에 맞는 조사계획 수립														
상 세 조 사		•설계 목적별 현장조사 및 시험 수행 •구간별 상세 지반특성 파악														
추가조사	이상대 예상구간	•단층파쇄대구간 방향 및 범위 파악을 위한 정밀조사 수행으로 단층파쇄대 입체화														
추가조사	변경설계	•시점 설계변경 추가조사														
성 과 분 석 보고서 작성		•구간별 공학적 특성 종합 분석 •통계분석 적용, 설계지반정수 산정														

제2장 조사계획 수립

2.1 조사계획 수립을 위한 사전검토

2.1.1 사업지역 주변현황분석

기본방향	• 주변현황에 따른 구간별 시공 저해요소, 민원예상 지역을 파악하여 상세조사계획 수립시 반영

사업구간 현황

구간별 문제점 분석

구 분	현황특성 및 예상문제점	중점고려사항	조사 착안사항
전 지역	•상가 및 주택가 밀집지역 통과로 환경영향 및 민원발생 우려 •차량통행 빈번, 지하매설물 분포로 인한 기존 탐사 적용 불리 •시추조사 지점 4차선 도로변 인도로 국한되며, 보행자 통행시 안전사고 및 지장물 훼손 우려	•굴착/발파로 인한 소음·진동 영향 •굴착으로 인한 지하수 영향 검토 •오염물질의 거동조사 수행 •상시미진동탄성파탐사, 고출력 전기비저항탐사로 노이즈 영향 최소화 •도심지 굴착중 발생가능한 민원 및 지장물 훼손방지 필요	•시추공시험발파 •대수성시험, 지하수모델링 •고출력전기비저항탐사, 상시미진동탄성파탐사 •안전사고 방지용 휀스 설치 •GPR 탐사 수행, 시추조사지점 터파기 후 유관기관 입회하 수행
① 지역	•지하철 2, 5호선, 기존지하차도, 경인고속국도, 서부간선지하도로, 올림픽대로 등 지상 및 지하구조물 등의 통과구간으로 시추조사 제한 및 민원발생 우려	•기존 지상 및 지하구조물 영향검토 •개착구간 연도변 건물 영향검토 •서부간선 지하도로와 연계한 목동램프 추가설치를 위한 조사계획	•전기비저항탐사, MASW탐사 •상시미진동탄성파탐사, GPR 탐사 •시추공시험발파 •공내재하시험
② 지역	•안양천, 샛강 통과 구간으로 두터운 충적층 분포 예상 •개착시 하천수 및 지하수 유입 우려	•구조물 지지층 확인을 통한 안정성 검토 •지하수 및 하천수 유입에 대한 차수 대책 수립	•GPR탐사, 공내재하시험, 공내전단시험 및 토성시험 •현장투수시험, 암반수압시험 장기지하수위 측정 및 지하수유동분석
③ 지역	•환기구 구간 환경영향 특성자료 정보 부재	•구조물의 안정성, 지하수 재활용 방안 검토 및 환경영향검토	•수압파쇄시험, 수질/토양분석, 라돈농도 측정

분석결과	•도심지 특성을 고려한 고출력전기비저항탐사, 상시미진동탄성파탐사 및 시추조사를 통한 상세지층파악 •굴착에 따른 주변 환경 및 민원 방지를 위한 시추공 시험발파, 수질·토양 분석, 라돈농도측정 및 지하수유동 분석 계획 •현장특성에 부합하는 조사기법을 도입하여 지반특성 및 지질이상대의 영향을 반영한 경제적이고 안정성이 확보된 설계 유도

2.1.2 지반조사 관련기준 검토

지반분류기준 분석

<table>
<tr><th>구 분</th><th>국교부/도로공사 기준</th><th>적 용 기 준</th></tr>
<tr><td>풍화암</td><td>•N≥ 50/10~15
•TCR〈 10~40%, RQD〈 0~20%</td><td>•흙의 공학적 분류는 1차 육안 분류 후, 통일분류법으로 분류
•풍화암 분류는 기초안정을 위해 N≥50/10을 기준으로 결정</td></tr>
<tr><td>암 반
분 류</td><td><table>
<tr><th rowspan="2">구 분</th><th colspan="2">TCR(%)</th><th colspan="2">RQD(%)</th></tr>
<tr><th>국교부</th><th>도로공사</th><th>국교부</th><th>도로공사</th></tr>
<tr><td>연 암</td><td>20~40</td><td>40~70</td><td>〈25</td><td>20~40</td></tr>
<tr><td>보통암</td><td>40~70</td><td>70~90</td><td>25~50</td><td>40~70</td></tr>
<tr><td>경 암</td><td>〉70</td><td>〉90</td><td>〉50</td><td>〉70</td></tr>
</table></td><td>•보수적인 등급기준인 한국도로공사 암반분류 기준 적용
•TCR/RQD를 이용 1차 분류 후 절리면상태, 풍화도, 강도 등을 고려 결정</td></tr>
</table>

시추빈도 및 심도 기준

터널구간

구 분	한국도로공사	국토교통부	한국건설기술연구원	구조물기초설계 기준	지하철건설본부
조사 간격	•개소당 3공 이상 •갱구부 상 · 하 입출구부 각 1공씩 •터널본선구간 최소 300m 간격	•개소당 입출구부 각 1공 •노선방향으로 50~200m 간격 •지층불규칙, 주변여건에 따라 간격 축소	•입출구부에 각 2공 •100~300m 당 1공 •지질구조대가 발생할 경우 간격 축소 조정	•개착구간 100m •터널구간 50~100m	•도심터널구간 노선방향으로 100~200m •지질구조적으로 취약한 경우 간격 축소 조정
조사 심도	•계획고하 2m	•계획고하 0.5m	•계획고하 2m •연약층, 팽창성지반, 광산지역 터널 직경 1~2D 범위	•계획고하 2m •계획고하 0.5~1.0D	•계획고하 터널직경 •개착터널의 경우 계획심도 120% 또는 견고한 지반 3m 확인

구조물구간

구 분		한국도로공사	국토교통부	한국건설기술연구원	구조물기초설계 기준
U-Type 및 Box	조사 간격	•구조물마다 1공씩	•구조물마다 1공씩	•구조물당 2개소 이상 •각 방향 15~30m 간격	•구조물마다 1공씩 •100~200m 간격 1공
	조사 심도	•풍화암 7m, 연암 3m, 경암 1m 중 택일	•풍화암 7m, 연암 2m, 경암 1m 중 택일	•계획고하 5m •기반암하 2m	•기반암하 2m

본사업 적용

구 분	터널 구간	U-Type 및 Box 구간	교량구간(보도육교)
조사 간격	•지질이상대 예상구간을 중점조사 구간으로 선정하여 50m 간격 수행 •일반구간은 기본설계공을 감안하여 100~200m 당 1공 수행	•구조물마다 4공 이상 •100m 간격 1공	•구조물(교대, 교각)마다 1공
조사 심도	•계획고하 1.0D	•계획고하 2m •지지층 확인 (풍화암 7m, 연암 3m, 경암 1m)	•지지층 확인 (풍화암 7m, 연암 3m, 경암 1m)

물리탐사 및 공내검층 기준

구 분	적 용 목 적	적 용 구 간
상시미진동탄성파탐사	•일반 굴절법탄성파 탐사는 대형차량 및 주변소음에 의한 진동으로 도심지 구간에서는 부적합하므로 상시 발생하는 차량진동을 음원으로 지층분포 파악	•시 · 종점부 Box, U-Type 구간, 수직구, 비상탈출구 적용
고출력전기비저항탐사	•도심지구간 도로 및 대형건물 지하 지중전력선의 노이즈를 배제할 수 있는 최대 1,000mA의 전류를 발생하는 고출력 탐사 적용	•터널부 전구간
GPR탐사	•개착구간 인접 상 · 하수도, 지중전력선, 가스, 하수Box, 통신선 등 지하매설물 분포 파악	•시 · 종점부 Box, U-Type 구간, 수직구, 비상탈출구 적용
MASW탐사	•개착구간 지층분포 및 동적물성값 산정 •연도변건물 지하구조물 저촉여부 파악	•시 · 종점부 Box, U-Type 구간
S-PS 검층	•풍화암 및 기반암의 구간별 동적물성값 산정	•심도가 깊은 터널 중앙부 적용
하향식탄성파탐사	•토사 및 풍화대 구간의 동적물성값 산정	•심도가 낮은 터널 입출구부 적용
밀도검층	•구간별 지층의 수직적 밀도분포 산정	•S-PS(1개소), DHT(2개소) 구간 계획
시추공영상촬영/ 초음파주사검층	•노두 출현이 빈약한 지역으로 엽리, 절리, 단층 파쇄대 방향성 분석을 통한 균질절리영역 설정 •불연속체 설계지반정수 산정	•터널구간 500m 간격 수행
탄성파토모그래피	•시추공간 구조대 영향범위 판단	•단층대 및 연약대 구간

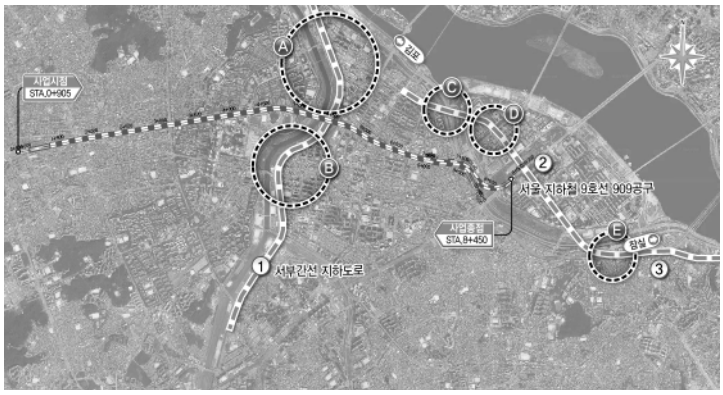
현장시험 기준

구 분	적 용 목 적	적 용 구 간
현장투수시험	•터널 및 개착구간 침투류 해석 및 차수대책 수립시 기초자료	•토사 및 풍화암 0.5회/공 적용
암반수압시험	•터널 및 개착구간 침투류 해석 및 차수대책 수립시 기초자료	•기반암 0.5회/공 적용
양수시험/순간충격시험	•굴착에 따른 지하수 유입량을 분석하여 투수량계수, 저류계수, 수리전도도 산정 •주변지하수 유동에 따른 오염확산 검토	•안양천, 여의도 샛강 : 양수시험 2회 •시 · 종점 개착구간, 환기구 : 순간충격시험4회
지하수 유향 · 유속시험	•지하수 유향 · 유속을 측정하여 개착구간 배수설계 및 지하수 영향 검토자료로 활용	•시 · 종점 개착구간, 안양천, 여의도 샛강구역 4개소 적용
장기지하수위관측	•터널 및 개착구간 설계 안정수위 제시	•시 · 종점 개착구간, 안양천, 여의도 샛강구역 4개소 적용
공내재하시험	•터널 및 개착구간 변형특성 분석을 통한 기초안정 해석	•0.5회/공 적용
공내전단시험	•개착구간 토사 및 풍화대 비탈면의 안정성 검토를 위한 강도정수 산정	•시 · 종점부 Box, U-Type 구간, 수직구, 비상탈출구, 영업소 구간 적용
수압파쇄시험	•터널구간 현지암반의 초기응력방향 및 측압계수 산정	•터널구간 1개소
시추공시험발파	•도심구간으로 병원, 상가, 고층건물, 유적지 분포 •발파시 소음 · 진동영향 검토, 소음 · 진동 저감대책 수립	•주요 보안물건 파악후 터널구간 적용

2.1.3 인근지역 관련자료 검토

기본방향	•사업지역 인근 사례를 수집·분석하고 지반특성을 파악하여 예상되는 문제점 도출

인근 자료 위치 및 현황

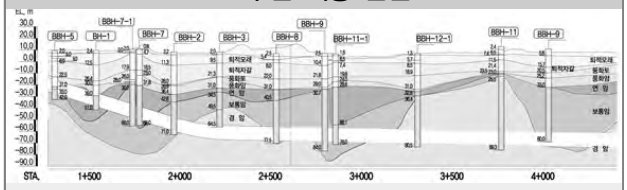


구 분	인근자료 사업명
①	서부간선 지하도로 민간투자사업
②	지하철 9호선 909공구 건설공사
③	지하철 9호선 910공구 건설공사

Ⓐ, Ⓑ, Ⓒ, Ⓓ, Ⓔ : 인근자료(지층현황) 검토시 활용

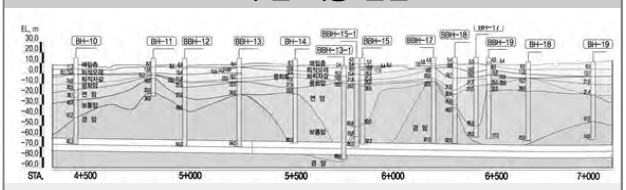
서부간선 지하도로 민간투자사업(①)

Ⓐ 1구간 지층 단면도



•토사층은 모래(1.0~10.3m), 자갈(4.8~16.7m)로 구성
•STA. 1+130~2+200부근은 연암(3.6~36.0m) 우세, STA. 3+300~4+400부근은 보통암 및 경암 우세

Ⓑ 2구간 지층 단면도



•STA. 4+400~6+600자갈, STA. 6+600~7+400모래발달
•STA. 5+520~5+940, 6+300~6+660, 7+000~7+400부근은 파쇄대 발달로 인한 암질 상태 매우 불량

개착구간

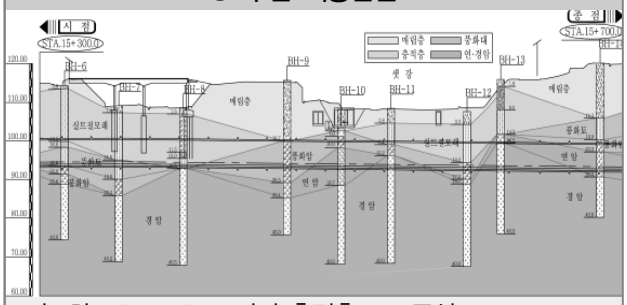
구 분		단위중량(kN/m³)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)	포아송비
매립층		18.0	10	28	9	0.35
퇴적층	점토	17.0	20	15	10	0.35
	모래	18.0	–	30	25	0.34
	자갈	19.0	–	35	70	0.33
풍화대	풍화토	19.0	28	28	100	0.32
	풍화암	20.0	33	32	300	0.30
기반암	연암	23.0	350	34	2,000	0.27
	보통암	25.0	800	37	6,000	0.24
	경암	27.0	1,800	42	12,000	0.22

터널구간

구 분		단위중량(kN/m³)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)	포아송비
파쇄대		21.0	40	30	400	0.32
기반암	Ⅴ등급	21.0	200	30	600	0.30
	Ⅳ등급	23.0	600	34	3,200	0.27
	Ⅲ등급	25.0	1,100	37	8,100	0.24
	Ⅱ등급	26.0	2,500	42	15,000	0.22
	Ⅰ등급	27.0	4,000	45	20,000	0.21

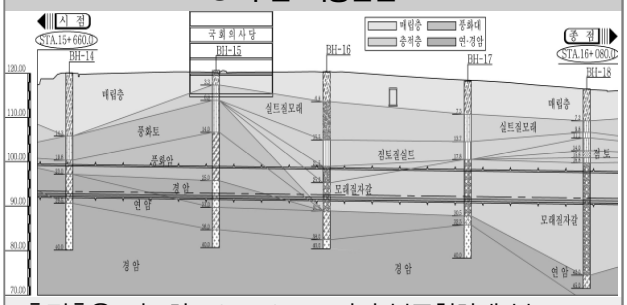
서울 지하철 9호선 909공구 건설공사(②)

Ⓒ 구간 지층단면도



•지표하 16.0~19.0m까지 충적층으로 구성
•상부는 모래, 하부는 모래질 자갈로 분포하고 기반암 상부에 약 3.5m의 풍화대 발달

Ⓓ 구간 지층단면도



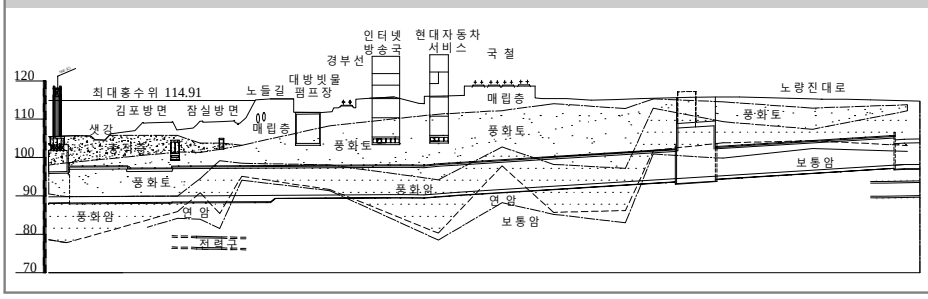
•충적층은 지표하 16.0~37.0m까지 불규칙하게 분포
•서울지하철 5호선 여의도역부터 종점구간은 상부에 5.8~15.0m의 층후로 풍화대 발달

▣ 설계지반정수

구 분		단위중량(kN/m³)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)	포아송비
매 립 층		18.0	10	26	8	0.35
퇴 적 층	실 트	16.0	30	20	7	0.40
	실트질모래	17.0	12	27	9	0.40
	모 래 층	18.0	6	29	10	0.35
	모래질자갈	19.0	0	35	50	0.30
풍 화 대	풍 화 토	19.0	10	35	27	0.30
	풍 화 암	20.0	20	35	190	0.30
기 반 암	연 암	25.0	130	20	4,200	0.25
	보 통 암	27.0	270	32	23,700	0.22

서울 지하철 9호선 910공구 건설공사(③)

Ⓔ 구간 지층단면도



•충적층 : GL(-) 1.2~5.7m 하부에 분포하며 상부충적층은 0.4~4.3m로 실트질 모래로 구성
•풍화대 : N값 분포는 2/30~24/30이며 상대밀도는 매우느슨~보통조밀

설계지반정수

구 분	단위중량(kN/m³)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)	포아송비
풍 화 토 층	19.0	10	35	50	0.35
풍 화 암 층	20.0	50	35	100	0.30
RMR≤20(Ⅴ)	20.0	100	30	165	0.30
21<RMR<40 (Ⅳ)	22.0	200	35	684	0.30
41<RMR<60 (Ⅲ)	24.0	500	40	2,840	0.25
61<RMR<81 (Ⅱ)	25.0	1,300	45	12,000	0.20

2.1.4 기존설계자료 분석을 통한 중점 조사구간 선정

지질이상대 분포 현황

지질이상대 특성 및 중점고려사항

구 분	지질이상대 특성	중점고려사항	비 고
Ⓐ	•STA.3+050 지점 파쇄대 분포	•파쇄대 규모 확인을 위한 추가시추 계획	–
Ⓑ	•터널중점부 깊은 풍화대 구간으로 EL.–30m 미만에서 기반암 출현 예상	•낙반 위험성 내포구간으로 추가시추에 의한 정밀지층분석, 지지력 평가시험 계획	
Ⓒ	•안양천 구간 STA.5+300 지점 파쇄대 분포	•추가시추를 통한 단층대와의 연관성 규명	
Ⓓ	•기존 2호선 통과구간 STA.6+060 파쇄대 분포	•파쇄대 규모 확인을 위한 추가시추 계획	
Ⓔ	•STA.6+680 지점 저비저항대 분포	•고출력전기비저항탐사 적용후 확인시추	
Ⓕ Ⓖ	•샛강 통과구간으로 STA.7+500 지점 단층대가 교차하며, STA.7+740 지점 파쇄대가 인접	•단층파쇄대 교차 확인을 위한 추가시추 •규모/방향성 확인을 위한 공내검층 계획	

기존 설계 문제점 및 금회조사 개선사항

구 분	기존 설계 조사 분석	금회조사 개선 사항
광 역 특 성	•기존지질도에 의존한 개략적 지질특성 파악 •개략적인 선구조 분석으로 교차선구조 미파악	•지표지질조사, 시추조사, 물리탐사 등 결과와 연계하여 분포 암종과 지질구조 특성파악 •위성영상 및 음영기복도의 종합분석을 통한 구조물 안정성에 영향을 미칠 선구조 노선교차위치 파악
지 층 분 포 및 지 질 이상대 분 석	•26공시추 200m이상 이격구간 분포로 지질이상대 및 지층급변구간 등의 정확한 지층특성분석 미흡 •효율성 낮은 일반적인 전기비저항 탐사 결과만을 의존한 암반등급도 작성 •시추수량 부족 및 시추공영상촬영 5공 수행에 따른 종단계획상의 단층영향 범위 미파악	•총90공 추가시추 수행하여 100m내 시추간격으로 지층급변 구간 및 단층파쇄대 영향범위 상세 파악 •고출력 전기비저항탐사 및 토모그래피 탐사와 비교 검토하여 지질이상대등을 포함한 암반등급도 상세화 •지질이상대 구간의 시추조사 및 공내영상촬영을 수행하여 단층방향 및 영향범위 파악
내 진 수 리 특 성	•다운홀 1회 및 시점부 S-PS검층 1회 실시로 지층별 동적물성치 대표성 결여 •밀도검층 미수행 •경험식에 의존한 동적 지반물성치 산정 •굴착에 따른 지하수 영향검토, 차수공법 등 수리특성 분석 미흡	•구조물별, 지층별 특성에 맞는 MASW탐사 2단면, 다운홀 시험 3회 및 S-PS검층 3회 수행 •밀도검층을 통한 지층별 수직적 밀도분포 산정 •현장시험값 위주의 지층별 동적물성치산정 •투수, 지하수유향유속, 양수시험 및 지하수 유동분석 해석을 통한 차수공법 선정 및 오염확산 영향 검토

2.2 조사항목의 적정성

2.2.1 조사위치 및 수량

구분	조사항목	단위	최초	기본	실시	변경
광역조사	위성영상/선구조/고지형분석	식	1	1	1	–
	상세지표지질조사	식	1	1	1	–
	재료원조사	식	1	1	1	–
현장조사	시추조사(터널/개착구조물)	공	24/2	30/8	36/12	3/1
	표준관입시험	회	408	919	1,207	74
	시험굴/현장들밀도시험	개소	3	4	5	–
물리탐사	전기비저항탐사	km	4.9	–	–	–
	고출력전기비저항탐사	km	–	8.5	–	–
	상시미진동탄성파탐사	km	–	2.15	–	–
	탄성파토모그래피탐사	단면	–	1	–	–
	GPR탐사	단면	6	20	12	–
	다채널표면파탐사(MASW)	단면	–	2	–	–
공내검층	시추공영상촬영	공	5	6	6	–
	초음파주사검층	공	–	6	6	–
	S-PS검층	공	1	3	3	–
	하향식탄성파탐사	공	1	3	3	–
	공내밀도검층	공	–	3	3	–
	SPT에너지효율시험	회	1	3	3	–
현장시험	장기지하수위관측	회	–	4	–	–
	공내재하/공내전단시험	회	22/3	24/7	21/5	1/1
	현장투수시험/암반수압시험	회	18/15	24/23	21/11	–
	지하수 유향 · 유속시험	회	–	4	–	–
	양수시험/순간충격시험	회	–	2/4	–/–	–
	수압파쇄시험	회	–	1	1	–
	피에죠콘관입시험	회	–	1	–	–

구분	조사항목	단위	최초	기본	실시	변경
실내토질시험	기본물성시험	회	29	41	47	4
	다짐/CBR시험	회	6/3	8/4	10/5	–
	직접전단시험	회	–	4	–	–
	진동반복삼축시험	회	–	2	2	–
	토사공진주시험	회	–	2	2	–
실내암석시험	기본물성시험	회	16	32	33	2
	일축압축강도	회	16	32	33	2
	점하중강도	회	50	73	125	–
	삼축압축/간접인장	회	3/12	7/7	10/10	–
	절리면전단시험	회	3	6	5	–
	기본마찰각시험	회	–	6	5	–
	3D JRC	회	–	4	5	–
	이방성시험(A/B)	회	–	4	5	–
	Swelling/Slaking	회	–	2/2	5/5	–
	Creep	회	–	2	2	–
	암석공진주시험	회	–	2	2	–
	AE/DRA	회	–	2/2	5/5	–
	편광현미경분석/XRD	회	–	2/2	5/5	–
환경특화분석	암유용성분석	회	6	2	5	–
	토양/수질분석	회	–	2/2	3/3	–
	라돈가스측정	회	–	3	3	–
	시추공시험발파	공	–	2	2	–

시점부(U-Type, Box구간)	터 널 부	종점부(Box, U-Type구간)
•도시가스, 통신 등 다수의 지하매설물 분포에 따른 이설계획을 고려한 조사수행 •종단계획상 기초저면부에 점성토 연약지반 및 두터운 풍화대 형성에 따른 입체적 지층자료 제공	•안양천, 여의샛강 통과 구간으로 하천 주변 두터운 충적층, 풍화대 형성 예상 •제1경인지하차도, 목동교, 지하철 2, 5호선 등 인공 구조물 및 단층 파쇄대 등의 지질이상대 영향범위 분포 파악	•고층빌딩 및 중요보안건물 위치 •올림픽대로 주야간 차량통행 빈번 •여의도 공동구, 하수Box 등 지하매설물 분포 •종단계획상 기초저면부에 자갈 및 모래 퇴적층 분포 예상

2.2.2 주요 조사항목 선정 및 설계반영계획

광역조사

조 사 항 목	수 량	조 사 목 적
선 구 조 분 석	1식	•지형적 특성 파악을 통한 노선에 저촉 선구조 파악
상세지표지질조사	1식	•단층파쇄대 등 노선과 교차, 지질 취약 요인 파악
재 료 원 조 사	1식	•공사재료원의 원활한 수급 및 반출계획 수립
고 지 형 분 석	1식	•지형변화 및 유로변경에 따른 지반상태 파악

분석이미지

현장조사

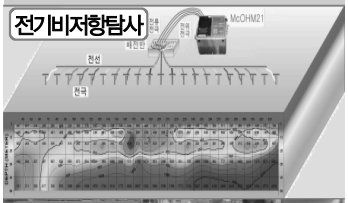
조 사 항 목	수 량		조 사 목 적
	실시	변경설계	
시 추 조 사 / 표준관입시험	48공/ 1,207회	4공/ 74회	•터널 및 갱구부 지층분포 상태 파악 •공내검층 시추공확보 및 실내시험 시료 채취
시험굴 조사	5개소	–	•갱구부 U-Type 옹벽구간 발생토 유용성 판단 및 토량환산계수 파악 시료 채취
현장밀도 시험	5회	–	

시험전경

물리탐사 및 공내검층

조 사 항 목	수 량 (실시)	조 사 목 적
고출력전기비저항탐사	기본	•터널 및 주요구조물구간 저비저항대 연장 및 방향성 파악
상시미진동탄성파탐사	기본	•토사, 풍화대, 기반암의 연속적 분포상태 파악
탄성파토모그래피탐사	기본	•횡방향 탐사를 통한 지층급변구간 분포파악
G P R 탐 사	12단면	•사종점 개착구간 지하매설물 분포 파악
M A S W 탐 사	기본	•개착구간 지층분포 및 동적물성값 산정
B I P S / B H T V	6/6공	•층리, 절리, 단층파쇄대 방향성 분석
S – P S / D H T	3/3공	•구조물 내진설계를 위한 구간별 동적물성값 산정
공 내 밀 도 검 층	3공	•구간별 지층의 수직적 밀도분포 산정

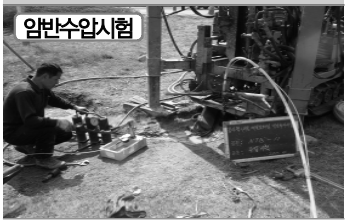
모식도 및 시험전경



현장원위치시험

조 사 항 목	수 량		조 사 목 적
	실시	변경	
SPT에너지효율측정	3회	–	•표준관입시험의 N값 보정 및 통일성 도모
장기지하수위관측	기본	–	•터널 및 구조물 개착구간 설계안정수위 제시
공 내 재 하 시 험	21회	1회	•지층별 변형특성을 통해 기초지반 지지력 분석
공 내 전 단 시 험	5회	1회	•개착구간 풍화대 지반 강도정수(c, ø) 산정
현장투수/수압시험	21/11회	–	•터널구간 침투류 해석 및 차수대책시 활용
지하수 유향 · 유속	기본	–	•지하수 유동방향 및 속도를 파악, 지하수모델링 자료제공
양수/순간충격시험	기본	–	•지하수 유동체계 및 대수층 수리상수 파악 •저류계수(S), 투수량계수(T) 산정
수 압 파 쇄 시 험	1회	–	•터널구간 초기응력방향 및 측압계수 산정시 활용
피에죠콘관입시험	기본	–	•지층의 강도증가, 거동특성 등 연약지반 설계시 기초자료로 활용

장비 및 시험전경



실내토질시험

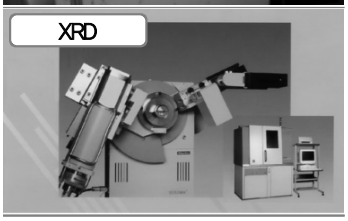
조 사 항 목	수 량		조 사 목 적
	실시	변경설계	
기본물성시험	47회	4회	•토사의 물리적 특성 파악 •지층특성 파악 및 설계지반정수 산정시 활용
다짐/CBR시험	10/5회	–	•Box 및 U-Type 구조물 되메우기토에 대한 다짐특성 분석시 활용
직접전단시험	기본	–	•개착구간 풍화대 지반 강도정수(c, ø) 산정
진동반복삼축시험	2회	–	•개착구간 느슨한 토사지반의 액상화 가능성 평가
토사공진주시험	2회	–	•토사지반의 비선형 동적거동 특성 분석

시험전경

실내암석 시험

조 사 항 목	수 량		조 사 목 적
	실시	변경설계	
기본물성/일축강도	33/33회	2/2회	•암석의 물리적 특성 및 강도특성 파악 •구간별 암반의 강도특성 파악 및 암반분류, 설계지반정수 산정시 활용
점하중강도시험	125회	–	
삼축압축강도	10회	–	
간접인장강도	10회	–	
절리면 전단시험	5회	–	•불연속면의 물성치 산정(JRC, JCS 및 강성특성) •불연속면 해석을 위한 입력자료로 활용 •암반비탈면 안정해석, 균질절리영역 분석시 활용
기본마찰각시험	5회	–	
3D JRC	5회	–	•기반암 절리면 거칠기 계수 산정시 반영
이방성시험	5회	–	•주분포 암종의 층리 및 절리에 따른 이방성 분석
Swelling / Slaking	5/5회	–	•팽창성 내구성 시험을 통한 기반암 풍화특성 분석 •강우, 온도 변화 등 환경 특성에 따른 저항성 평가
Creep	2회	–	•시간에 따른 암반의 변형거동을 해석하여 설계 활용
암석공진주 시험	2회	–	•사업구간 대표 암종의 동적 비선형특성 파악 •전단탄성계수 및 감쇠비 산정
AE/DRA시험	5/5회	–	•터널구간 기반암의 측압계수 산정시 활용
편광현미경분석	5회	–	•기반암의 구성광물 확인 및 조직 분석 •천공 및 굴착효율 추정
XRD	5회	–	•풍화취약광물 함유여부, 단층영향권 분석시 활용 •광물구성비 정량적 분석 및 화학성분 분석
암유용성시험	5회	–	•터널구간 발생암에 대한 유용 및 사토계획 수립시 활용

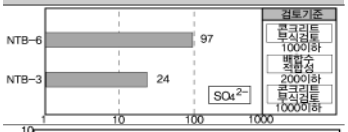
시험전경

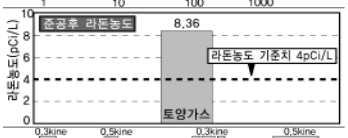


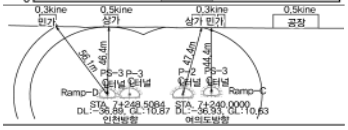
지반환경 시험

조 사 항 목	수 량 (실시)	조 사 목 적
수질/토양분석	3/3회	•구조물에 미치는 배합수 수질 함량 분석 •토양성분 분석을 통하여 시공중 오염영향 예측
라돈함량 분석	3회	•지하 공간내 라돈위험성 평가 •환기용량 산정 등 환기대책 수립 및 지하수 활용 검토
시추공시험발파	2공	•도심지 발파시 소음 · 진동 영향 검토를 통한 발파진동 저감대책 수립, 발파공법, 규모 설정

시험결과 예제







2.3 민원·환경훼손 방지대책

2.3.1 시추공 폐공처리 계획

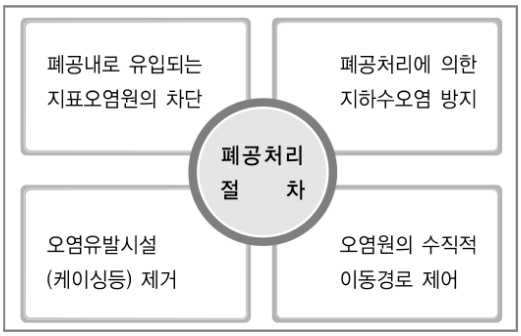
기본방향	•지반조사 설계시 발생되는 제반문제에 대한 분석을 통하여 민원방지 및 환경훼손 최소화 •하천인접구간 시추조사시 작업수에 의한 오염방지 위해 안양천 및 여의샛강 시추시 오염방지막 설치

2.3.2 시추공 폐공처리 절차 및 방법

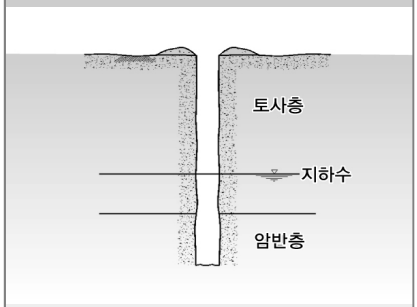
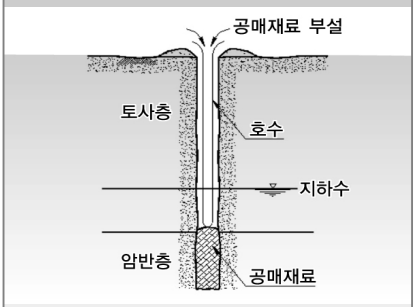
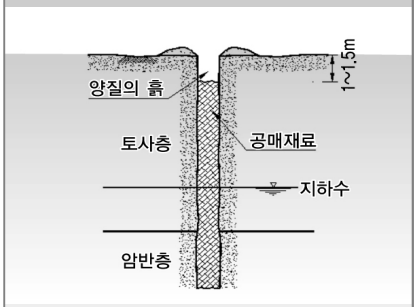
폐공처리 주안점

•폐공처리 명문화 지침 : 시공시 발생하는 폐공은 소기의 목적 달성 후 규정에 의거 처리토록 함

•오염원의 수직적 이동통로 제어 : 폐공처리 위치, 폐공처리 사유, 폐공처리한 시추공의 구조(직경, 심도, 지하수위, 지질 등), 폐공처리 절차 및 공매재료의 사용량배합비 등을 내용으로 하여 폐공처리계획 수립



폐공처리 방법

폐 공 전	폐 공 중	폐 공 후
		
•공매재료의 양 결정 •시추공의 직경, 깊이, 지하수위 파악 •시추공내 접지 Casing 및 P.V.C Pipe 제거	•공매재료의 충전 시멘트+벤토나이트+물 •충전시 호스를 올리면서 공매재료 부설	•상부구간 마무리 공매재료를 지표면 1.0~1.5m까지 충전후 상부는 식생을 고려하여 양질의 흙으로 되메움

폐공처리 현황

구 분	개 소	폐 공 여 부	비 고
전체시추공	48공(실시), 5공(변경설계)	폐공완료	–

폐 공 전	폐 공 중	폐 공 후

제3장 조사내용 및 방법

3.1 흙과 암반의 분류 및 기재방법

3.1.1 토질 분류 및 방법

기본방향	•흙의 분류는 성질이 다른 여러 흙을 간단한 시험을 근거로 몇 가지 무리로 나누기 위해 수행 •지반공학적 특성을 개략적으로 파악하여 설계기초 자료로 활용

개요

구 분	흙의 분류 기재방법 및 내용
흙 의 분 류	•흙의 공학적 분류는 1차 육안관찰에 의한 분류 수행 후, 최종적으로 통일 분류법 (KS F 2324, USCS)을 기준으로 분류
기 재 방 법	•시추주상도의 지층구분은 통일된 기호를 사용 •N값에 의하여 상대밀도 및 연경도를 판단하고, 채취된 교란시료의 육안관찰 및 물성시험에 근거하여 통일 분류법으로 흙을 분류하여 기재
기 재 내 용	•지층상태는 매립층, 퇴적층, 풍화토, 풍화암으로 지층 구분 •연경도 및 사질토의 상대밀도와 습윤 상태, 색조, N값 등을 고려하여 기재 •함수상태는 건조(Dry), 습윤(Moist), 젖음(Wet) 및 포화상태(Saturated)로 구분 •색조는 흑색, 갈색, 홍색, 적색, 황색등에 담(연한)과 암(진한)의 접두어를 사용

흙의 분류방법

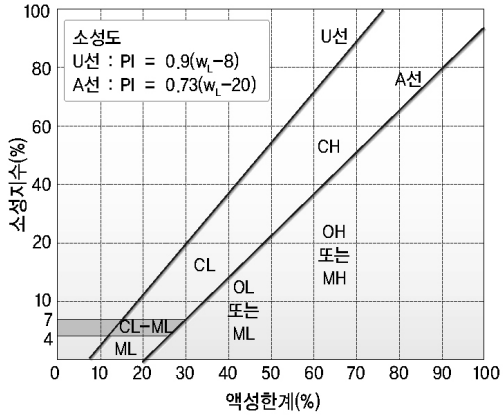
육안관찰에 의한 분류(1차 분류)

구 분	토립자의 육안적 판별과 일반적인 상태	손으로 쥐었다 놓음		습윤상태에서 손가락으로 끈모양으로 꼴때
		건조상태	습윤상태	
모 래 (Sand)	•각 입자의 크기가 판별될 수 있는 입상구조 •건조 상태에서 흘러내림	•덩어리져지지 않고 흐트러짐	•덩어리져지고 가벼운 충격에 흐트러짐	•끈모양으로 꼬아지지 않음
실트섞인모래 (Silty Sand)	•입상이나 실트, 점토가 섞여서 약간 점성 있음 •모래질의 특성 우세함	•덩어리지나 가볍게 건드리면 흐트러짐	•덩어리지며 가벼운 충격에 부서지지 않음	•끈모양으로 꼬아지지 않음
모래섞인 실트 (Sandy Silt)	•적당량 세립사와 소량의 점토를 함유하고 실트 입자가 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 끊어지는 상태로 꼬아지고 부드러움
실 트 (Silt)	•세립사와 점토함량이 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 꼬아 지지는 않으나 작게 끊어지는 상태로 꼬아지고 부드러움
점 토 (Clay)	•건조되면 아주 딱딱한 덩어리의 상태가 됨 •건조 상태에서 잘 부서지지 않음	•덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않음	•덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않으며 찰흙 상태로 됨	•길고 얇게 꼬아지며, 점성이 큼

➲ 통일분류법에 의한 분류(2차 분류)

주요구분			기호	대표적인 흙	분류기준		
조립토 (Coarse Grained Soil) #200체 (0.075 mm)에 50% 이상 남음	자갈 #4체 (4mm)에 50% 이상 남음	세립분 약간 또는 거의 없는 자갈	GW	•입도분포가 좋은 자갈 또는 자갈과 모래의 혼합토, 세립분이 약간 또는 없음	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	$C_u > 4$ ($C_u=D_{60}/D_{10}$) $1<C_g<3$ ($C_g=(D_{30})^2/(D_{10}\times D_{60})$)	
			GP	•입도분포가 나쁜 자갈 또는 자갈과 모래의 혼합토, 세립분이 약간 또는 없음		GW의 조건이 만족되지 않을 때	
		세립분 함유한 자갈	GM	•실트질의 자갈, 자갈·모래·실트의 혼합토		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	
	모래 (Sand) #4체 (4mm)에 50% 이상 통과	세립분 약간 또는 거의 없는 모래	SW	•입도분포가 좋은 모래 또는 자갈질의 모래, 세립분은 약간 또는 없음		$C_u > 6$ $1< C_g <3$	
			SP	•입도분포가 불량한 모래 또는 자갈질 모래		SW의 조건이 만족되지 않을 때	
		세립분 함유한 모래	SM	•실트질의 모래, 모래와 실트의 혼합토		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 (0.075 mm)에 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 •소성도의 빗금친 곳은 2중기호 표기		
			CL	•소성이 중간값 이하인 유기질 점토, 자갈질 점토, 모래질 점토, 실트질 점토			
			OL	•소성이 작은 유기질 실트 및 점토			
	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			
고유기성흙			Pt	•이탄 및 그 밖의 유기질을 많이 함유한 흙			

세립토의 분류를 위한 소성도



흙의 기재방법

•흙의 상태에 대한 기재 내용은 토질분류, 연경도, 함수상태, 색깔 등이며 다음과 같은 방법에 의하여 결과를 시추 주상도에 기록함

흙의 기재사항

구 분	기 재 사 항	비 고
주 상 도	•흙의 분류, 상대밀도, 연경도, 습윤도, 색 등	•시추시 채취된 교란 시료의 육안 관찰로 확인 및 기재
함 수 상 태	•건조, 습윤, 젖음, 포화 등으로 표기 •현장에서 판단되는 함수비의 정도로부터 평가	
색 조	•흑색, 갈색, 회색, 적색, 황색 등 기본색을 기준 •연함과 진함의 명암 및 혼색에 대한 서술용어를 접두어로 사용	

흙 통일분류법(USCS)에 사용되는 기호

토질의 종류		제1문자	토질의 속성	제2문자	비 고
조 립 토	자 갈 (G r a v e l)	G	•입도 분포 양호, 세립분 거의 없음	W	조립토
	모 래 (S a n d)	S	•입도 분포 불량, 세립분 거의 없음	P	
세 립 토	실 트 (S i l t)	M	•세립분 12%이상 함유, A선 아래 소성지수 4이하	M	
	점 토 (C l a y)	C	•세립분 12%이상 함유, A선 위 소성지수 7이상	C	
유기질토	유기질의 실트및점토	O	•압축성 낮음(Low Compressibility) WL≤50	L	세립토
	이 탄	Pt	•압축성 높음(High Compressibility) WL≥50	H	

상대밀도 및 연경도

사질토의 상대밀도		점성토의 연경도	
관입 저항값(N값)	상 대 밀 도	관입 저항값(N값)	연 경 도
4 이 하	매우느슨(Very Loose)	2 이 하	매우연약(Very Soft)
4 ~ 10	느 슨(Loose)	2 ~ 4	연 약(Soft)
10 ~ 30	보통조밀(Medium Dense)	4 ~ 8	보통견고(Medium Stiff)
30 ~ 50	조 밀(Dense)	15 ~ 30	매우견고(Very Stiff)
50 이 상	매우조밀(Very Dense)	30 이 상	고 결(Hard)

시료의 함수상태

함 수 비 (%)	상 태	함 수 비 (%)	상 태
0 ~ 10	건 조(Dry)	30 ~ 70	젖 음(Wet)
10 ~ 30	습 윤(Moist)	70 이 상	포 화(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

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

3.1.2 암반 분류 및 방법

기본방향	•암반의 지층분류는 연암, 경암으로 구분하고 RMR 및 Q-시스템에 의한 암반분류 •암반의 기재는 색, 암석명, 불연속면의 간격과 거칠기, 강도, 풍화상태 등을 기재 •강도, 풍화정도, 파쇄정도는 암석분류 기준에 의거하여 분류

암반의 분류방법

국토교통부 표준품셈 분류기준

구 분	기 재 사 항	비 고
풍화암	•TCR : 〈 20%, RQD : 0% •Js : 〈 5cm •일축압축강도(건조상태) : 30~70 MPa	•암의 내부까지 풍화가 진전되어 있고 암의 구조 및 조직이 남아 있음(완전풍화~심한풍화) •약한 해머 타격에 의해 부서지고 일부 손으로 부서짐
연 암	•TCR : 20~40%, RQD : 〈 25% •Js : 6~20cm •일축압축강도(건조상태) : 70~100 MPa	•암의 내부를 제외하고 균열을 따라 다소 풍화가 진척되어 있으며, 장석 및 유색광물이 변색됨(심한풍화~보통풍화) •해머로 1~2회 치면 둔탁음을 내고 부서지거나 갈라짐
경 암	•TCR : 〉 70%, RQD : 〉 50% •Js : 20~50cm •일축압축강도(건조상태): 130~160 MPa	•대체로 신선하며 절리면을 따라 약간풍화, 암내부는 신선함 (약간풍화~신선) •해머 타격시 금속음이 발생하며 잘 부서지지 않으며 튀는 경향

한국도로공사 분류 기준

표준단면	암질	특 징	RMR	Q 값	RQD (%)	탄성파 속 도 (km/s)	일 축 압축강도 (MPa)	코 어 회수율 (%)
I	경 암	•안정성이 있고 풍화, 변질 및 물리적, 화학적 영향을 거의 받지 않은 신선한 대괴상의 암질	80~100	40 이상	70 이상	4.5 이상	100이상	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	80~100	70~90
III	연 암	•층리, 절리 및 편리 등이 매우 발달된 상태이며 파쇄대가 존재하는 단주상의 암질	50~70	4~10	20~40	3.5~4.0	60~80	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	25~60	40 이하
V	풍화암 (토)	•풍화작용이 심하고 일부가 토사화된 상태이며 매우 쉽게 부서지고 쉽게 분리되는 암질	25 이하	1 이하	20 이하	3.0 이하	25 이하	–

서울시 기준

구 분	특 징	TCR (%)	RQD (%)	절리간격 (cm)	일축압축 (MPa)	탄성파속도 (km/sec)
풍화토	•조암광물이 대부분 완전풍화로 결합력을 상실한 풍화잔류토로 손으로 쉽게 부수어지는 지반	–	–	–	–	〈1.2
풍화암	•심한 풍화상태로 가벼운 망치 타격에 쉽게 부수어 지며 절리간격은 좁음 이하이고 시추시 암편만 회수되는 지반	≥10	–	–	〈10	1.0~2.5
연 암	•암석내부는 부분적으로 약한 풍화가 진행 중 일부 열린 절리가 있으며 절리간격은 중간 정도인 지반	≥30	≥10	≥20	≥10	2.0~3.2
보통암	•약한 풍화가 진행된 암석은 강한 망치 타격에 깨어지며 절리면의 대부분이 밀착되어 있고 절리간격이 넓음	≥60	≥25	≥60	≥50	3.0~4.2
경 암	•암석은 강한 망치타격에 맑은 소리를 내며 깨어지고, 절리면은 잘 밀착되어 있고 절리간격이 매우 넓음	≥80	≥50	≥200	≥100	4.0~5.0

암반의 기재사항

불연속면의 간격(Core Logging Committee, 1978)

기 호	용 어	절 리 간 격	절 리 상 태	기 재 방 법
F-1	괴상(Massive)	200이상	Very Wide	•불연속면 간격의 최대값, 최소값, 평균값을 cm단위로 주상도에 수록
F-2	약간 균열(Slightly Fractured)	60~200cm	Wide	
F-3	보통균열(Moderately Fractured)	20~60cm	Moderately Close	
F-4	심한 균열(Fractured)	6~20cm	Close	
F-5	매우 심한 균열(Very Fractured)	6cm	Very Close	

➲ 불연속면 거칠기(ISRM) (Committee, 1978)

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

➲ 강도(Strength) (Core Logging Committee, 1978)

기 호	용 어	강 도 상 태
S-1	매우강함(Very Strong)	•여러 번의 강한 해머 타격으로 패각상의 조각으로 깨지며 각이 날카로운 정도
S-2	강함(Strong)	•1~2회의 강한 해머 타격으로 깨지거나 모서리가 각이 지는 정도
S-3	보통강함(Moderately Strong)	•1회의 약한 해머 타격으로 쉽게 깨지며 모서리가 으스러지는 정도
S-4	약함(Weak)	•해머로 눌러 으스러지는 정도
S-5	매우약함(Very Weak)	•손가락 또는 엄지손톱의 압력으로 눌러 으스러지는 정도

➲ 암석풍화상태에 따른 분류(Core Logging Committee, 1978)

기 호	용 어	설 명
D-1	신선 (Fresh)	•풍화작용의 흔적이 없는 상태 •절리면이 부분적으로 얼룩져 있고 타격을 가했을 때 맑은 소리발생
D-2	약간풍화 (Slightly Weathered)	•일반적으로 신선한 상태를 보이나 절리면의 주변부가 다소 변색되어 있음 •모암의 강도는 신선한 암반과 별 차이가 없음 •장석이 다소 변색되어 있으며 Open Joint의 경우 점토 등이 협재
D-3	보통풍화 (Moderately Weathered)	•상당히 많은 부분이 변색되어 있으며 절리는 Open Joint로서 절리면 안쪽까지 변질되어 있음 •강도는 야외에서도 신선한 상태와 쉽게 구분됨 •대부분의 장석이 변질되어 있으며 일부는 점토화 되어 있음
D-4	심한풍화 (Highly Weathered)	•석영을 제외한 대부분의 입자들이 변색되어 있음 •절리는 거의 Open Joint로 절리면 안쪽까지 변질되어 있음 •코아의 상태는 그대로 유지
D-5	완전풍화 (Completely Weathered)	•암석전체가 완전풍화를 받아 흙으로 변화되었으나 모암의 원조직과 구조를 지니며 간혹 풍화를 받지 않은 암편을 함유한 상태
D-6	잔적토 (Residual Soil)	•완전 풍화되고 토립자들의 재구성이 일어나 암석조직이 관찰되지 않는 흙

3.1.3 공학적 암반분류

기본방향	•터널 설계시 지반에 대한 평가를 수행함과 동시에 굴착과 보강에 대한 기준 제시 •굴착/보강 설계와 수치해석의 입력물성 결정을 위한 정량적인 자료 및 기준 제공

RMR에 의한 분류

구 분	내 용
평가방법	•현장 암반 또는 시추 코아로부터 6개의 항목에 대한 점수를 평가 합산하여 암반을 Ⅰ~Ⅴ등급으로 분류 •평가항목 : 암석강도, RQD, 절리간격, 절리상태, 지하수상태, 터널방향과 절리면 방향 및 경사각 관계

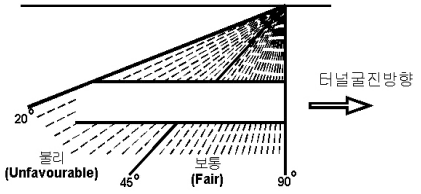
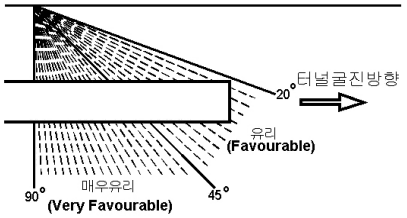
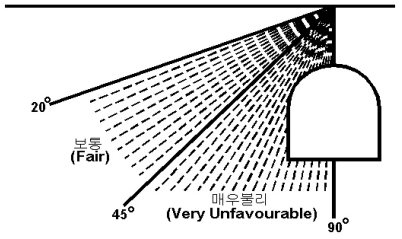
RMR 분류 평가항목별 평점(Committee, 1978)

평 가 항 목			평 점						
1	신선암 (Intact Rock)	점하중강도(MPa)	〉10	4~10	2~4	1~2	일축압축강도적용		
		일축압축강도(MPa)	〉250	100~250	50~100	25~50	5~25	1~5	〈 1
	점 수		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD (%)		90~100	75~90	50~75	25~50	〈 25		
	점 수		20	17	13	8	3		
3	절리간격		〉 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	거침	약간거침	부드러움	매끄러움		
		연속성	〈 1m	1~3m	3~10m	10~20m	평활면		
		간 극	없음	〈 0.1mm	〈 1mm	1~5mm	〉 5mm		
		충진물 두께	없음	단단한충진물 〈 5mm	단단한충진물 〉 5mm	연한충진물 〈 5mm	연한충진물〉 5mm (단층점토 존재)		
		풍화상태	신선	약간풍화	보통풍화	심한풍화	분해		
	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	습함	습함 (간헐적 용출)	물방울이 떨어짐	용출이 심함		
	점 수		15	10	7	4	0		
6	불연속면 주향과 경사		매우 유리	유 리	양 호	불 리	매우 불리		
	점 수	터 널	0	−2	−5	−10	−12		
		기 초	0	−7	−7	−15	−25		
		사 면	0	−25	−25	−50	−60		

➲ 불연속면 상태 평가 기준

평 가 요 소		평 가 기 준				
불연속면 길이	구 분	〈 1m	1~3m	3~10m	10~20m	〉 20m
	평 점	6	4	2	1	0
불연속면 틈새	구 분	None	〈 0.1mm	0.1~1.0mm	1.0~5.0mm	〉 5.0mm
	평 점	6	5	4	1	0
거 칠 기	구 분	매우거침	거침	약간거침	평활	Slickensided
	평 점	6	5	3	1	0
충 전 물	구 분	없음	단단한 충전물	연한 충전물		
		〈 5mm	〉 5mm	〈 5mm	〉 5mm	
	평 점	6	4	2	2	0
풍 화 정 도	구 분	신선	약간풍화	풍화	심한풍화	파쇄
	평 점	6	5	3	1	0

➲ 불연속면 방향 및 경사에 따른 평가기준

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

➲ 평점에 따른 등급

구 분	Ⅰ 등급	Ⅱ 등급	Ⅲ 등급	Ⅳ 등급	Ⅴ 등급
평 점	81~100	61~80	41~60	21~40	200이하
평 가	매우양호 (Very Good Rock)	양호 (Good Rock)	보통 (Fair Rock)	불량 (Poor Rock)	매우불량 (Very Poor Rock)

Q-System에 의한 분류

개요

구 분	내 용
개 요	•1974년 NGI의 Barton등에 의해 제안 •200여개의 기 시공된 터널의 보강실적을 통계하여 암반상태와 보강량의 관계분석 •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 코아의 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 전단부(Arch)부와 벽면(Wall)부를 구분하여 지보량 산정 •변수들을 막장에서 비교적 정확히 구별할 수 있음

Q-System의 변수 및 평점 기준

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

Notes :
① RQD의 값이 10 이하 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 절리면 접촉	
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 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)				
절리면이 접촉된 경우	절리면의 특성		조 건	접촉 절리
	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 안 된 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	충진물	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 중~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	수압pw < 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 갖음	2.5~10.0	0.5
다량의 용수와 높은 수압, 충전물의 상당량이 유출	2.5~10.0	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	>10.0	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 경우	점토나 화학 분해된 암석을 포함하는 연약층 다수존재, 주변암반이 매우 이완됨 (굴착심도와 무관)	SRF = 10
	점토나 화학적으로 풍화된 암석을 포함하는 연약층 단 1개 일 때 (굴착심도 50m미만)	5
	점토나 화학적으로 풍화된 암석을 포함하는 연약층 단 1개 일 때 (굴착심도 50m이상)	2.5
	견고한 암반에 다수의 전단대(점토 없음), 주변암반 이완됨 (굴착심도와 관계없음)	7.5
	견고한 암반내에 전단대가 1개 일 때 (점토없음, 굴착심도 50m미만)	5
	견고한 암반내에 전단대가 1개 일 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 되는 경우	지표부근, 낮은 응력, 절리가 열려 있음	〉200	〈0.01	2.5
	중간응력, 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, $\sigma_2/\sigma_3 \rangle 10$일 때는 σ_c를 $0.6\sigma_c$로 감소
③ 지표에서 터널천단부까지의 심도가 터널폭보다 적을 때는 SRF 2.5에서 5까지 증가

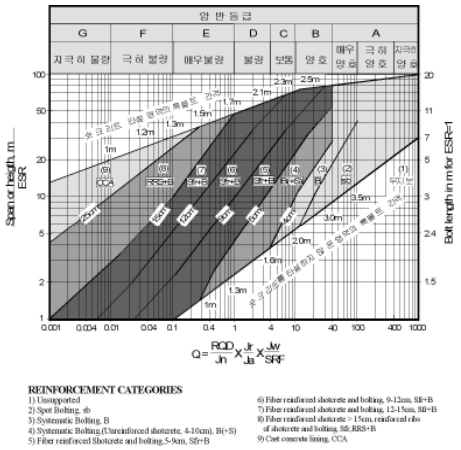
Q-System에 의한 지반등급산정 기준

Q값의 범위	1000~400	400~100	100~40	40~10	10~4	4~1	1~0.1	0.1~0.01	0.01~0.001
지반등급	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
암질	지극히양호	극히양호	매우양호	양호	보통	불량	매우불량	극히불량	지극히불량

			σ_θ/σ_c	SRF
압출성 암반	높은 응력의 영향으로 견고하지 않은 암반에서의 압출 (Squeezing)	완만한 압출 반압	1~5	5~10
		심한 압출 반압		
팽창성 암반	물에 의한 화학적 팽창 (Swelling)	완만한 팽창 반압		5~10
		심한 팽창 반압		10~15

Q-System에 의한 지반등급산정 기준

•터널의 유효크기, 무지보 최대스팬의 산정, 천정부 영구지보압력(Proof) 산정, 록볼트 길이(L) 산정, 터널이나 지하공동의 지반등급별 지보량 산정, 탄성파 속도의 추정, 탄성파속도로부터 Q값 추정, 암반의 변형계수 추정

구 분	산 정 식	Q값을 이용한 영구지보산정(Barton,1995)
유효크기	$\frac{\text{굴착스팬, 직경 또는 높이(m)}}{\text{ESR}}$	
무지보 최대스팬	$2(\text{ESR})\ Q^{0.4}$	
천단부 영구지보압력	$\left(\frac{2.0}{Jr}\right) Q^{-1/3}$ (절리군수 3개 이상) $\frac{2}{3} J_n^{1/2} J_r^{-1} Q^{-1/3}$ (절리군수 3개미만)	
록볼트 길이	$\frac{2+0.15B}{\text{ESR}}$ (m) 여기서, B = 터널폭	
등급별 지보량	상기 지보량 산정을 위한 Chart참조	
탄성파 속도	$V_p = \log Q + 3.5$ (km/sec)	
변형계수	$E_{mass} = 10 \times Q^{1/3}$ (Barton제안 Chart참조)	

굴착 대상의 구조물 종류	ESR
임시적인 광산터널	2~5
영구 광산갱도, 도수터널(고압 수압관터널 제외), 선진터널, 조압수조	1.6~2
지하저장시설, 지하 상하수 처리 시설, 소규모 도로 및 철도터널, 진입터널	1.2~1.3
발전소, 대규모 고속도로 또는 철도터널, 민방위용 공동, 터널 교차부	0.9~1.1
지하핵발전소, 지하정차장, 지하경기장	0.5~0.8

3.2 광역 지형·지질조사

3.2.1 선구조 분석

기본방향	• 사업지역의 광역적인 지형특성 파악 및 거시적인 선구조 발달상태 분석 • 산계와 수계 분포 특성을 규제하는 지질요소(지층, 단층)에 대한 광역적 이해

인공위성분석

•1단계: 위성색상 영상

위성색상 영상 분류시 왜곡현상, Band ratio를 통한 왜곡현상 제거

•2단계: 밴드비

화상간의 상호관계를 색의 변화로 변환하여 표현

영상의 종류에 대하여 특정한 색을 조합

강조하고자 하는 대상물의 색이 변하게끔 색을 선택

Landsat자료의 7개 밴드를 상대로 만들 수 있는 FCI는 210종

•3단계: 식생지수

조사지역에 분포하는 식생의 분포 및 활성도

•4단계: 주성분 분석

변량 사이의 상관관계에서 많은 변량 측정치를 적은 개수의 종합지표로 집약기술

P변량(p차원)측정치를 m개(m차원)의 수정분으로 집약

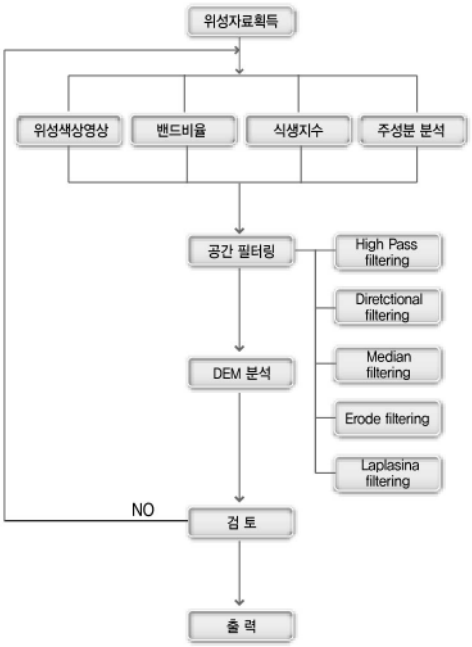
현 화상에 포함되어 있던 대부분의 정보를 가상적인 소수 밴드로 표현

•5단계: 공간필터링

공간 필터링은 특정화상에서 단위거리마다 반사값이 변하는 최소의 수로 정의

•6단계: 최종 DEM분석

흐 름 도



• 단층 및 지형분석 결과로 지반조사 방향 설정의 기초 자료로 활용

DEM분석

• 수치지도로부터 작성된 5m 공간해상도의 DEM(Digital Elevation Model) 음영기복도를 이용 선구조 추출
• Rose Diagram을 사용하여 선구조의 분포방향을 통계적으로 나타냄
• 선구조의 연장성에 의한 가중치를 부여하여 상대적인 분포빈도를 나타냄

•1단계: 고도각에 따른 음영기복도

DEM을 이용하여 세부 선구조 추출을 위하여 작성

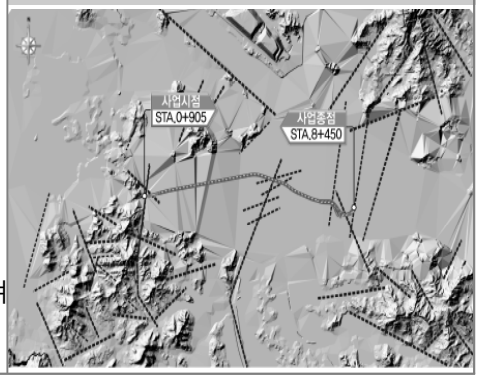
•2단계: 선구조 종합도 음영기복도 :

DEM과 음영기복도를 이용하여 작성세부 선구조 분석에 추출된 구조를 삼차원 지형에 표현

•3단계: 3차원 입체지형도

DEM과 인공위성 영상을 이용하여 작성방향에 따른 지형 분석이 용이하여 추출된 선구조들의 객관성 향상

음영기복도



• 지형기복 현황분석을 위하여 음영기복도 분석을 통한 고도, 경사 및 경사방향 등을 파악

3.2.2 지표지질조사

기본방향	•사업구간 전체에 걸친 암상분포, 습곡 및 단층위치 파악 •전 구간에 대한 지질구조를 파악하여 터널내 보강구간 설정 및 암질분류를 목적으로 수행

절리방향

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

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

절리간격

•절리간격은 절리 사이간의 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, 최대간격(S_{min}, S_{ave}, S_{max})은 각각의 절리군에 대해서 기록

표 시 방 법	간 격	표 시 방 법	간 격
극히조밀 (Extremely Close Spacing)	〈 20mm	넓음 (Wide Spacing)	600~2,000mm
매우조밀 (Very Close Spacing)	20~60mm	매우넓음 (Very Wide Spacing)	2,000~6,000mm
조밀 (Close Spacing)	60~200mm		
보통 (Moderate Spacing)	200~600mm	극히매우넓음 (Extremely Wide Spacing)	〉 6,000mm

절리의 연속성

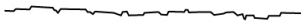
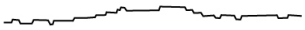
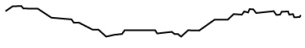
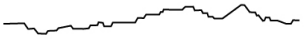
•절취면에서의 절리의 크기 또는 절리가 연장되는 정도를 말함. 암반 비탈면의 안정성 검토시에는 불안정한 것으로 고려되는 절리의 연속성 정도를 추정하는 것이 매우 중요함

절리연속성의 표현(ISRM)		간 격	절리연속성의 표현(ISRM)		간 격
매우낮음	Very Low	〈 1m	높음	High	10~20m
낮음	Low	1~3m			
보통	Medium	3~10m	매우높음	Very High	〉 20m

절리의 거칠기

- 절리면의 굴곡의 작은 규모의 Uneveness(요철)와 큰 규모의 Waneness(만곡)로 정의
- 요철과 만곡으로 절리면의 전단강도를 추정(전형적인 JRC값을 보여주는 거칠기 Profile(Barton & Choubey, 1977))
- 절리면의 충진물이 없는 경우에는 정확한 추정이 가능하며 Profile Gauge등을 이용하여 측정

불연속면의 거칠기

구 분	표 현		상 태	거칠기 종단면	JRC값
Ⅰ	Stepped	Rough	거침, 계단면		0 - 2
Ⅱ		Smooth	부드러움, 계단면		2 - 4
Ⅲ		Slickensided	경면, 계단면		4 - 6
Ⅳ	Undulating	Rough	거침, 파상면		6 - 8
Ⅴ		Smooth	부드러움, 파상면		8 - 10
Ⅵ		Slickensided	경면, 파상면		10 - 12
Ⅶ	Planar	Rough	거침, 평면		12 - 14
Ⅷ		Smooth	부드러움, 평면		14 - 16
Ⅸ		Slickensided	경면, 평면		16 - 18
					18 - 20

절리면 간극(Aperture)

- 하나의 불연속면에 서로 인접한 암석간에 분리되어 있는 수직거리
- 보통 물이나 점토등으로 충전되고 만일 충전물질이 없는 경우 간극의 정도는 현장투수시험으로 추정되며 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 > 1 m	매우넓음(Very Wide) 극히넓음(Extremely Wide) 동굴같음(Cavernous)	개방형 (Open Features)

암석강도(Wall Strength)

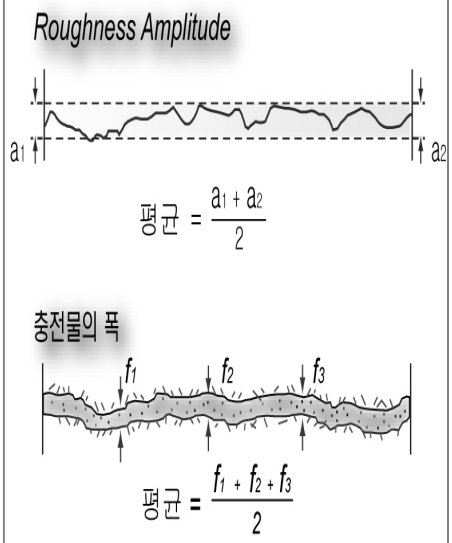
•절리면 부근에 있는 암석의 일축압축강도로서 정의하며, 절리면의 강도는 절리면 부근에서 종종 발달하는 풍화와 열수변질에 의해서 암괴의 내부에 위치하는 암석의 강도보다도 낮은 경우가 있음. 절리면이 거의 벌어지지 않고 충전 물질이 없는 경우에 절리면의 일축압축강도는 전단강도에 중요한 영향을 미침

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

충전물질(Filling)

•폭 : 간단한 충전 불연속면들의 가장 공통된 폭의 추정치의 최대와 최소 폭은10%오차 범위에서 측정되어야 함
•풍화정도 : 불연속면을 따라 차별적인 풍화의 결과로서 불연속면이 분해된 암석이나 파쇄된 암석으로 구성될 수 있음
•광물 : 충전된 불연속면에 있어 가장 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 개력적인 정량적 표시방법은 점토, 실트, 모래 그리고 암석입자의 백분율의 추정치 표시
•강도 : 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



절리면의 투수(Seepage)

• 암반의 투수는 암석내의 공극을 통하여 이루어질 수 있으나(1차 투수율), 주로 절리를 통해서 이루어짐
• (2차 투수율). 지하수위, 투수통로, 수압 등은 암반의 유효응력을 감소시킴으로써 비탈면이나 지반의 안정성을 현격히 감소시킬 수 있음

등 급	개방된 불연속면	충진된 불연속면
1	불연속면은 매우 Tight하고 건조, 유수의 흔적 없음	충전물은 매우 압밀, 건조, 유수 흔적 없음
2	불연속면은 유수 흔적 없고 건조함	충전물은 습윤(Damp)하나 자유스러운 유수 흔적 없음
3	불연속면은 건조하나 유수흔적 있음 (착색되어 있음)	충전물은 축축함(Wet). 가끔 물방울이 떨어짐
4	습기참(습윤), 자유수 흔적 없음	충전물은 밀려나간 흔적을 보임, 지속적인 물의 흐름이 있음
5	불연속면 사이에서 물이 나오지만 지속적이지는 않음	충전물은 국부적으로 씻겨나감. 밀려나간 곳에서 유수 관찰
6	불연속면에서 지속적인 물의 흐름을 보여줌	처음 노출된 곳에서 매우 높은 수압으로 충전물은 완전히 씻겨나감

절리군의 수(Number of Sets)

•상호 교차하는 절리계를 이루고 있는 절리 종류의 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

등급	방 법	등급	방 법
Ⅰ	괴상, 가끔 불규칙한 절리들	Ⅵ	세 개군의 절리
Ⅱ	한 개군의 절리	Ⅶ	세 개군의 절리 + 불규칙한 절리
Ⅲ	한 개군의 절리+불규칙한 절리	Ⅷ	셋 이상의 절리
Ⅳ	두 개군의 절리	Ⅸ	파쇄된 암석, 토사 같은 암석
Ⅴ	두 개군의 절리 + 불규칙한 절리		

암괴의 크기(Size of Block)

•상호 교차하는 절리들의 상호방향과 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 노두조사 결과의 통계분석을 통하여 노선과 관련된 취약부 확인을 위한 시추조사 및 조사항목 선정계획
•인공위성영상분석, 각종물리탐사, 시추공영상촬영 결과를 종합 분석하여 사업지역의 단층파쇄대 등 지질 구조선의 위치 및 규모를 파악하여 구조물과의 교차 영향범위를 입체적으로 분석하여 터널안정 해석에 활용

3.3 물리탐사

3.3.1 고출력전기비저항 탐사

기본방향	•지층의 전기적 물성 차이를 이용하여 기반암의 분포 특성 및 저비저항이상대 파악 •지표지질조사와 시추조사의 결과를 비교·보완하여 미시추구간을 포함하는 연속적 지층구조 파악

원리 및 조사방법

•한쌍의 전류전극을 이용하여 직류 또는 저주파교류 전류를 송신
•다른 한쌍의 전위전극에서 매질의 전기적 물성차로 발생한 전위차 측정
•측정된 전위차를 이용하여 측점 사이의 지하구조를 2차원적으로 영상화함
•ABEM(Sweden)사 SAS1000을 이용 최대 1,000mA의 고출력 전류 발생 송신

탐사전경

매질에 따른 전기비저항 범위

구 분 / 암 종	특 성	비저항값 (Ω·m)
기 반 암	심한 파쇄	150~300
	다소 파쇄	300~2,400
	괴상, 단단함	〉2,400
점 성 토	포화내지 습윤	1.5~3.0
실 트 질 점 토	포화내지 습윤	3~15

구 분 / 암 종	특 성	비저항값 (Ω·m)
실 트 질 / 모 래 질 흙	포화내지 습윤	15~150
실트섞인 모래, 자갈	–	300
실트층에 섞인모래, 자 갈	–	300~2,400
모래, 자갈 퇴적층	조립, 건조	〉2,400
담 수	–	20~60

구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	–	8.5km	–

•일반 탐사에 비해 2.5~5.0배 고출력 전류를 유도하여 도심지의 탐사에서 고해상도의 신뢰성 있는 결과 획득가능

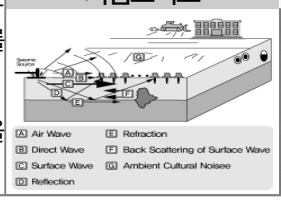
3.3.2 상시미진동탄성파 탐사

기본방향	•일반적 굴절법탄성파 탐사는 대형차량 및 주변소음에 의한 진동으로 도심지 구간에서는 부적합하므로 상시미진동을 이용한 굴절법 탐사를 수행하여 보다 정확한 지층분포 파악 및 저속도 이상대 구간을 파악

원리 및 조사방법

•인공적인 충격을 가해 얻어지는 자료와 평상시 지상의 여러 곳에서 관측되는 미소지반진동을 동시에 측정하여 얻어진 파형을 분석하여 S파 속도 구조를 추정하는 탐사
•상시미진동은 전파되는 과정에서 지반의 특성을 반영하는 고유의 성질을 갖고 있으므로 도심 지역에서 매우 적합한 탐사방법

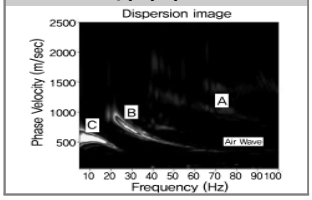
시험모식도



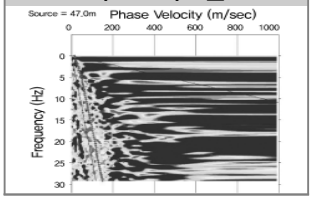
시험전경

해석방법

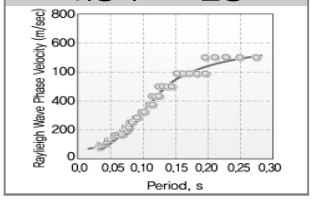
취득자료



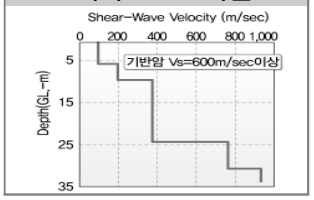
속도스펙트럼



위상속도 모델링



S파속도 프로파일



구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	–	2.15km	–

•토사, 풍화대, 기반암의 연속적 분포상태 파악
•도심구간 특성을 고려한 노이즈 발생에 따른 지층분석 곤란해소

3.3.3 탄성파토모그래피 탐사

기본방향	•시추공간 횡방향 탐사를 통하여 1차원적인 시추조사의 자료를 보완, 연속적 지층분포 및 이상대 구간 파악

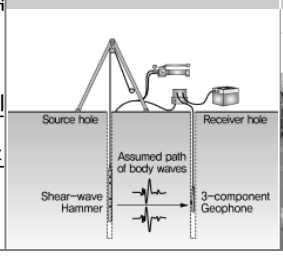
조사방법 및 수량

•송신공은 탄성파 발생기(스파커)를 공내에 삽입 후 위치를 1.0m 간격씩 상·하로 이동하며 탄성파 발생

•수신공은 1.0m 간격으로 Hydrophone을 연결하여 탄성파 신호를 수신

•수신기에 도달한 초동주시를 역산 처리하여 시추 공간의 고해상도 2차원 탄성파속도 분포단면 획득

시험모식도



시험전경

구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	–	1단면	–

•지질이상대와 같은 지층급변구간의 시추공간 탄성파신호를 이용하여 2차원적 이상대 규모 파악

3.3.4 GPR탐사

기본방향	•통신선로, 상하수도관, 전력선, 공동구 등 지하 매설물 위치 및 심도, 규모 등 평가 •시공시 매설관로 파손으로 인한 피해 방지

조사방법 및 수량

속도설정

•GPR탐사의 자료 분석은 전파속도의 결정으로부터 판단

•매설체를 회절점으로 가정하여 속도 결정

•반사시간과 전파속도와의 관계는 다음과 같음

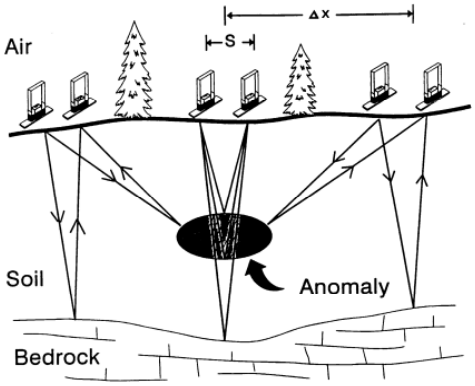
$$X^2 + \left(\frac{t_o}{2}V\right)^2 = \left(\frac{t}{2}V\right)^2,$$

$$V = \frac{X}{\sqrt{(\frac{t}{2})^2 - (\frac{t_0}{2})^2}}$$

•이상체 상부까지의 깊이S는 $S = \frac{V \cdot t_0}{2}$

•이 매질의 유전상수(e)는 $e = \left(\frac{C}{V}\right)^2$

C : 공기중에서 빛의 속도



GPR탐사 모식도

•GPR 자료는 색상단면 제시법과 위글트레이스(Wiggle trace) 제시법으로 지하단면을 영상화

자료제시

색상단면 제 시 법	•반사신호의 진폭 범위에 따라 일정한 색상을 지정하여 작성
위글트레이스 제 시 법	•반사신호의 진폭 변화를 수평으로 변환하여 표시

구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	6단면	20단면	12단면

•개착구조물 및 터널 그라우팅 구간의 지하매설물 위치 규모를 파악하여 시공위험성 유무판단 및 지하매설물 이설 등 계획에 활용

3.4 현장조사 및 시험

3.4.1 시추조사

기본방향	•지층의 성층상태 및 제반 지반공학적 특성을 파악 •시료의 채취 및 각종 원위치 시험을 실시하여 설계에 필요한 각종 자료를 제공

조사방법 및 수량

•회전 수세식(Rotary Wash Type)형 시추기를 사용

•시추구경은 NX Size(76mm)

•1.0m간격으로 표준관입시험(S.P.T) 실시

•토사시료 채취는 Split Spoon Sampler, 암반 시료 채취는 D3 Core Barrel 및 Diamond Bit 사용

•채취된 암석코아는 육안관찰에 의하여 암석내에 분포된 불연속면과 충전물 등을 파악하고 절리의 분포상태, TCR, RQD 등의 암반특성을 평가할 수 있는 자료를 조사하여 시추 주상도에 기재

조사전경

구 분	최초제안	기본설계	실시설계	변경설계
수량(터널/구조물)	24/2	30/8	36/12	3/1

•지층급변 및 지질이상대 구간위치 규모파악

•개착구조물 및 터널의 종단선형 결정에 활용

3.4.2 표준관입시험

기본방향	•N값으로부터 지층의 상대밀도 및 연경도 확인 •지반 강도특성 및 변형특성을 파악하고 교란시료를 채취하여 육안판별 및 물성시험 시료로 이용

조사방법 및 수량

•한국공업규격(KS F 2318)에 규정방법에 의하여 토사 및 풍화암에서 1.0m 마다 또는 지층이 변하는 지점에서 연속적으로 실시

•64kg의 해머를 76cm에서 자유 낙하시켜 Split Spoon Sampler를 30cm 관입시키는데 소요되는 타격회수(N)를 측정하는 것으로 15cm씩 3단계로 시행하며 1단계 15cm 관입시 소요되는 타격수는 예비타로 간주하여 고려하지 않음

•지층이 조밀 또는 견고하여 30cm 관입이 곤란할 때는 50회까지 타격하고 그 때의 관입량을 표시, 예를 들면 50/3(50회 타격에 3cm 관입)과 같이 기록

•시험결과 및 육안관찰 결과는 부록의 시추주상도에 기재

시험전경

구 분	최초제안	기본설계	실시설계	변경설계
수 량	408	919	1,207	74

•지층 분포상태 및 기반암 지지층 확인

•암반분류, 구조물 기초, 토공계획 및 터널설계에 활용

3.4.3 시험굴 조사 및 현장밀도 시험

기본방향	•개착구조물(Box, U-Type, 지하영업소)구간 지층구성 상태 파악 및 쌓기재료의 다짐특성 파악 •도로 노상, 노체 재료로서 적합성 여부 판단 및 토공량 산출을 위한 토량 환산계수 산정

조사방법 및 수량

조사방법	•개착 구조물구간 지표하 0.5~2.0m 내외 심도까지 굴착 •한국산업규격에 의거 현장밀도시험(KS F 2311) 실시 •토사층(표토층, 붕적층, 풍화토층)을 대상으로 자연상태 및 흐트러진 상태의 단위중량 측정
시험장비	•단위중량 측정기 : 저장병 및 부속기구 •시험용 모래 : No.10체를 통과하고 No.200체에는 남는 모래로 균등계수가 Cu 〈 2 인 균등한 표준사를 사용 •저울 : 최대용량이 10kgf이고 감도 1.0kgf과 용량 500kgf에 감도가 0.1gf인 저울 2대 사용 •항온건조로 : 105±5℃를 장기간 유지가능 한 것

시험전경

구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	3	4	5

•개착구조물 지층 구성상태 및 쌓기재료 다짐특성 파악
•개착구간, 영업소, 환기소 및 터널구간의 발생토 처리방안에 활용

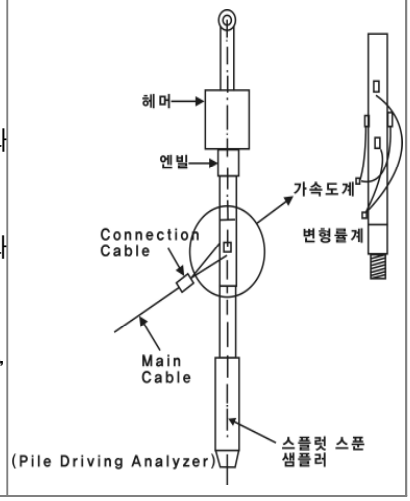
3.4.4 SPT에너지 효율시험

기본방향	•표준관입 시험시 롯드에 전달된 실제 타격에너지를 측정한 후 이를 이론적 타격에너지와 비교하여 에너지 전달율을 구함으로써 측정된 N값의 신뢰도 확보

조사방법 및 수량

•해머의 에너지는 크게 낙하전의 이론에너지, 타격직전의 자유낙하에너지, 타격직후 롯드에 전달되는 롯드 에너지로 구분
•손실에 의해 실제로 가해지는 에너지와 상이
•변형률과 입자의 속도를 동시에 측정하므로 힘과 속도 효율을 따로 고려하는 불편과 부정확성을 제거
•변형률계와 가속도계를 롯드 상단에 연결하여 햄머가 앤빌을 타격할 동안 변형률과 가속도를 동시에 측정
•측정된 아날로그 신호는 PDA를 통해서 디지털화되어 힘과 입자속도로 변환되고, EF2적분법과 EFV적분법으로 롯드에 전달된 에너지 계산
•시추조사에 투입된 장비별로 햄머 에너지 효율을 측정, N값을 보정함

모식도



구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	1	3	3

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

3.4.5 공내지하수위 및 장기지하수위 측정

기본방향	•사업지역내의 지하수위 분포현황을 파악하기 위해 시추공내 안정지하수위 측정 •장기지하수위 측정을 통한 우기시 지하수위 최대 상승고 파악

조사방법 및 수량

•공내지하수위 측정 : 안정된 지하수위를 얻을 수 있도록 시추 완료시 72시간이상 경과 후 측정 실시

•장기지하수위 측정 : 장기지하수위 측정은 자동기록장치인 DIVER를 설치하여 시간별 지하수위 변화를 체크

구 분	공내지하수위 측정	장기지하수위 측정
수량(최초제안/기본/실시/변경)	26/38/45/4	–/4/–/–

시 험 전 경

3.4.6 공내재하시험

기본방향	•신뢰성을 높이기 위해 지층상태에 따라 공내재하시험기 적용 •토사층 : Lateral Load Test, 풍화암 및 연암층 : Elastometer–2, 기반암층 : Goodman Jack

조사방법 및 수량

•풍화암 및 연암층(Elastometer–200)

– 시추공내에 고무튜브의 프루브를 삽입 하고 그것에 가압액(물 또는 기름)이나 공기를 빼내는 것에 의해 공벽에 등분포 하중을 가하여 변형계수를 산정

•연암 및 경암(Goodman Jack)

– 직사각형의 강체 재하판을 장전한 프루브를 시추공내에 삽입하고 유압 Jack으로 재하판에 의하여 공벽에 하중을 가하여 변형계수를 산정

•토사층(Lateral Load Test)

– Probe를 삽입하고 그것에 가압액(물 또는 기름)이나 공기를 빼내는 것에 의해 공벽에 등분포하중을 가함

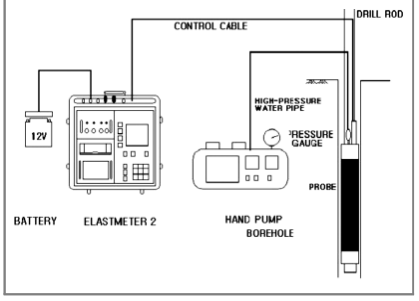
•풍화암 및 연암층(Elastometer–200)

– 가압장치에서 Sonded외부에 부착된 고무튜브를 팽창시켜 이때 발생하는 공벽의 변위를 측정 하여 변위–응력곡선으로부터 변형계수 산출

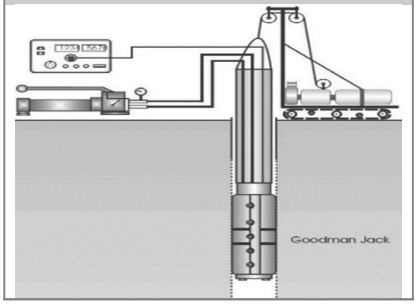
•기반암(Goodman Jack)

– 시험심도까지 Jack을 삽입한 후 유압펌프로 Jack을 벌려 공벽의 변위를 측정하고 얻어진 변위–압력곡선으로부터 변형계수 및 탄성계수를 산출

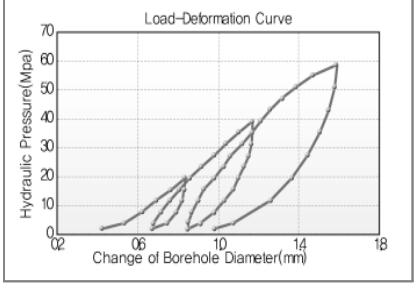
시험 모식도(PMT)



시험 모식도(GMJ)



시험결과



구 분	LLT	PMT	GMJ
수량(최초/기본/실시/변경)	–/5/5/–	22/13/8/1	–/6/8/–

•기초 및 가시설 수평지반 반력계수 산정시 활용

•기초의 허용지지력 추정 및 변형특성 분석 자료로 활용

3.4.7 공내전단시험

기본방향	•지반의 강도정수 산정을 위하여 풍화대에 시추공 전단시험을 수행 •시추공을 이용하여 현장에서 직접 신뢰성이 높은 전단시험을 실시하여 강도정수(c, ø)측정

조사방법 및 수량

•원위치 시험으로 풍화암 이하의 강도정수를 측정

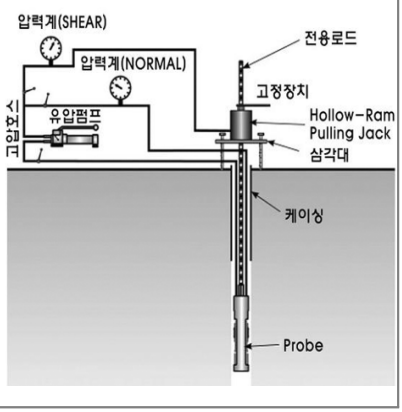
•시추공내 시험구간에 전단기(Shear Head)를 삽입

•지상에서 Pump를 이용, 전단기를 공벽에 부착시킨 후 수평압력 (Normal Stress)을 가함

•시추공내 전단기와 연결된 Rod를 지상에서 유압잭(Hydraulic Jack)으로 끌어 당겨 수직력(Shear Stress)을 가한 후 파괴시의 전단력을 산정

•측정된 각 3회의 수평응력과 전단력을 근거로 선형회귀 분석을 실시하여, 점착력과 마찰각 산정

모식도



구 분	최초제안	기본설계	실시설계	변경설계
수 량	3	7	5	1

•풍화대의 강도정수 산정시 직접적으로 반영

•개착구간의 가시설 안정성 검토시 입력 자료로 활용

3.4.8 시추공영상촬영(BIPS)

기본방향	•시추공을 통한 암반내 파쇄대 및 불연속면의 분포 및 발달상태(경사방향, 경사, 틈새)등 지반 불연속면 특성 파악 •분석된 불연속면 자료를 통한 터널부 수치해석에 활용

조사방법 및 수량

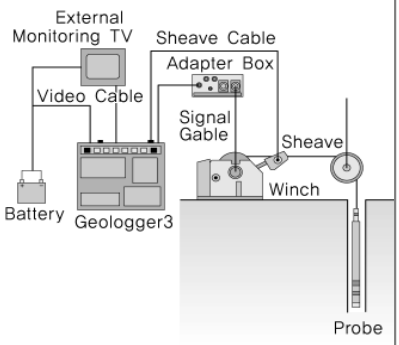
•시험대상 시추공 선정후 센서(Probe)를 시험공내에 삽입

•센서(Probe)를 삽입한 후 윈치에 부착되어 있는 속도조절기를 이용하여 0.5m/min의 속도로 내리거나 올리면서 심도에 따라 시추공벽을 연속적으로 360° 촬영한 다음 이를 분석하여 지층에 대한 원위치 정보를 얻음

•입력된 정보를 심도별, 불연속면의 특성별로 정렬하고 로즈다이아그램 (Rose Diagram) 및 스트레오넷(Stereo Net)을 통해 불연속면, 파쇄대, 단층대 등에 대한 각종 정보를 추정·해석

•모식도는 시추공영상촬영을 이용한 불연속면의 원리를 보여주고 있는데 경사진 불연속면이 존재할 경우 삼각함수 곡선의 형태를 띠게 되며 이때 삼각함수 곡선의 진폭은 경사를, 최대 혹은 최소값의 위치는 주향을 나타냄

모식도



구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	5	6	6

•정밀 지표지질조사 결과 및 조사선기법 분석 결과와 연계하여 불연속면 방향성 및 특성파악

•터널굴착 방향과 절리면 방향 및 경사각 관계에 따른 암반분류 평가

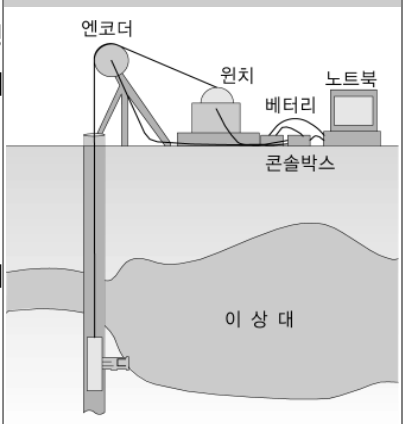
3.4.9 초음파주사검층(BHTV)

기본방향	•시추공벽으로 초음파를 주사(Borehole Televiewer)하고 반사되어 나오는 파의 진폭을 측정 •암반내 불연속면 발달상태(주향, 경사, 간격), 절리내 충전물 유무 및 심도별 강도 등 파악 •진폭 및 주사이미지 자료를 이용하여 지하암반을 실영상으로 관찰

조사방법 및 수량

•시추공내 공벽에 초음파를 주사하여 반사되어 나오는 파의 진폭 및 주사를 분석하여 단층 및 절리의 방향 및 경사, 암질의 변화 내지 암석의 역학상태를 정확히 규명
•초음파가 절리위에 입사되면 신선한 암반의 경우에 비해 큰 변화를 보이며, 절리의 충진 여부에 대해서도 변화를 보임
•진폭 이미지는 상대적인 암석강도에 대한 정보를 제공
•주사 이미지는 시추공 중심에서 공벽에 이르는 거리를 구할 수 있는 자료로써 결과적으로 절리가 충전물로 채워져 있는지 아니면 채워지지 않은 Open 상태인지에 대한 정보를 제공
•검층속도는 불연속면틈의 정밀한 해석을 위하여 1분당 1.0~1.1m를 유지함
•절리의 경사각(Dip angle)은 검층 데이터에 나타난 Sine curve의 폭에 의해 결정됨

모식도



구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	–	6	6

•정밀 지표지질조사 결과 및 조사선기법 분석결과와 연계하여 불연속면 방향성 및 특성파악
•불연속면 발생 빈도를 분석하여 확률 절리망 작성
•터널 굴진방향 검토 및 암반분류시 활용

3.4.10 S-PS검층

기본방향	•내진설계를 위한 지반의 동적물성치 산정 •두께가 얇게 분포하는 지층의 해석이 가능하며, 해석 정밀도가 높음

조사방법 및 수량

•지하수위 확인 후 시험지점 및 구간을 선정
•Main Body와 Probe을 연결하고 시험공내에 삽입, Probe를 상향 이동하며 일정간격으로 발진과 수진을 실시하여 검층 수행
•수진된 파의 도달속도, 파형 등의 측정 자료들은 본체의 Data Logger에 입력 저장됨
•상기과정을 시험 종료까지 반복하여 수행
•동적특성치 산정

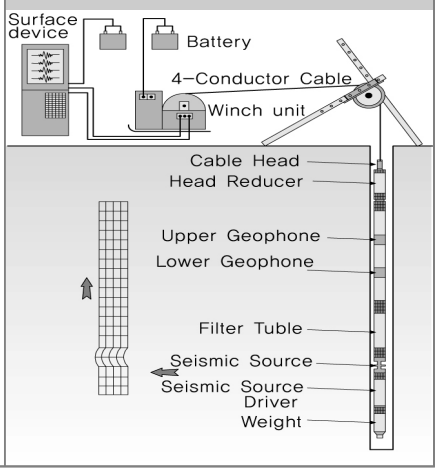
– 동포아송비 : $\upsilon_d = \dfrac{(V_p/V_s)^2-2}{2[(V_p/V_s)^2-1]}$

– 동전단탄성계수: $G_d = p \times V_S^2/g \times 10^{-1}$

– 동탄성계수 : $E_d = 2G_d(1+\upsilon)$

– 동체적탄성계수: $K_d = E_d/3(1-2\upsilon)$

모식도



구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	1	3	3

•시추공내 지반의 심도별 탄성파 속도 측정
•내진해석에 필요한 지반의 동적물성치(동포아송비, 동전단탄성계수, 동탄성계수)를 파악
•지층별 동적특성을 결정하여 내진설계시 기초자료로 활용

3.4.11 하향식탄성파탐사(Down Hole Test)

기본방향	•시추공내 지반의 심도별 탄성파속도(V_p, V_s)를 측정 •측정된 전단파속도(V_s)를 이용하여 지반동적물성치(G_d, E_d)산정

조사방법 및 수량

•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 삼축수진기를 통해 자료획득

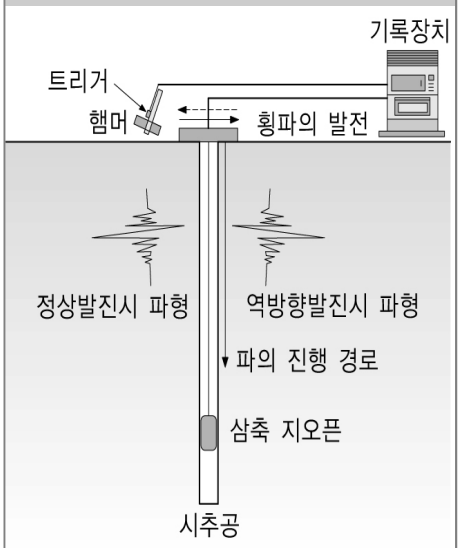
•종파 및 횡파자료에서 초동 주시 발췌 시추공-송신점간 이격거리에 따른 주시지연 보정 후 주시곡선을 작성

•주시곡선으로부터 심도간 구간속도를 계산

•측정된 탄성파 속도를 토대로 각 구간의 동적특성(G_d, E_d, K_d) 산정

•동계수 산정에 필요한 포아송비는 산정식에 의해 도출(적용단위 중량값은 실내시험 값 적용)

모식도



구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	1	3	3

•각 구간별 동적물성치를 산정하여 주요 구조물의 내진설계에 반영
•시추공내의 파쇄대 및 이상대를 파악하여 시추결과와 상호 비교, 분석
•지층별 동적특성을 결정하여 내진설계시 기초자료로 활용

3.4.12 다채널표면파탐사(MASW)

기본방향	•표면파의 분산특성을 이용하여 지층의 분포 현황 및 지반의 동적물성값 파악

•표면파의 분산특성을 이용하여 지층의 분포 현황 및 지반의 동적물성값 파악

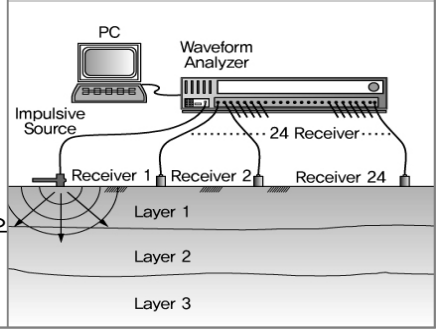
조사방법 및 수량

•다채널(24채널) 수진기를 이용해 굴절법탐사와 같이 Offset과 수진기 간격(Geophone Interval)을 설정

•2차원 영상단면을 위해 Off end-push 방법으로 반복, 표면파의 분산곡선(Dispersion Curve)을 작성

•역산결과 얻어진 표면파 속도의 분산곡선(Dispersion Curve) 이 적당하지 않을 경우 프로그램 반복해석으로 층의 두께 조절

시험모식도



구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	-	2	-

•밀도검층의 밀도값을 이용하여 하향식탄성파탐사 결과와 상호 분석하여 내진설계를 위한 기초지반의 동적물성치 자료로 활용(내진해석 수행 절차 : 내진해석➡지진계수 산출➡내진 안정성 검토)

3.4.13 밀도검층

기본방향	•자연 상태 원지반의 밀도를 원위치에서 측정 •측정된 밀도를 이용하여 동적특성 산정시 활용

조사방법 및 수량

•Sonde에서 공벽으로 방사된 γ 선은 Compton 산란함

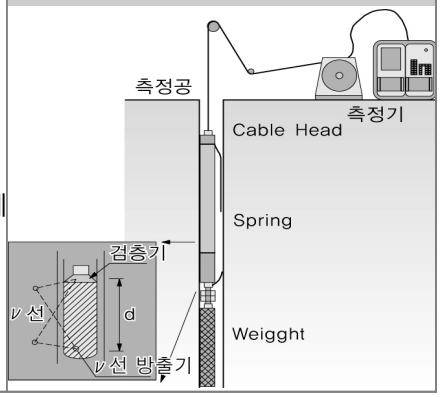
•산란은 γ 선과 지반을 구성하는 물질의 전자와 충돌로 발생함

•Compton 산란을 일으키면 γ 선의 에너지가 감소함

•지반을 구성하는 물질의 전자수가 많을수록 즉, 지반의 밀도가 작을수록 산란에 의한 에너지손실이 커지고 검출기에 도달하는 γ 선의 수가 줄어듬

•수신된 γ 선을 측정하여 밀도로 환산함

모식도



구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	–	3	3

•원위치상태에서 주변지반의 밀도분포를 연속적으로 측정

•시추공 주변 지반의 밀도값을 이용하여 동적 지반특성치 산출에 활용

3.4.14 현장투수시험

기본방향	•토사 및 풍화대층의 투수성 확인 및 투수계수 파악

조사방법 및 수량

•조사노선에 분포하고 있는 지반의 투수성을 파악하기 위하여 시추공내에서 수위강하법(Falling Head Method) 적용

•현장투수시험 대상층 상부까지 케이싱을 설치하여 케이싱 외부로부터 물을 주입하고 시간에 따른 수위강하를 기록

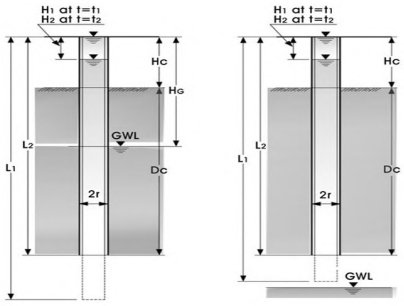
– 지하수면 하부에 위치 $K = \frac{D^2}{8LT}\mathrm{Ln}\left(\frac{2L}{D}\right)\mathrm{Ln}\left(\frac{H_0}{H_t}\right)$

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



구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	18	24	21

•토사지반의 투수계수 k값 산정

•수치해석에 의한 침투류 해석시 입력 자료로 적용

•구조물구간 가시설 설계시 차수공법 검토

3.4.15 암반수압시험

기본방향	•터널, Box 및 U-Type구간 기반암의 투수성 파악 •터널굴착에 따른 지하수 거동분석, 그라우팅 보강효과예측 등을 수행하기 위하여 실시 •지층별 투수계수와 Lugeon값을 산출하여 수리지질특성을 평가할 목적으로 시행

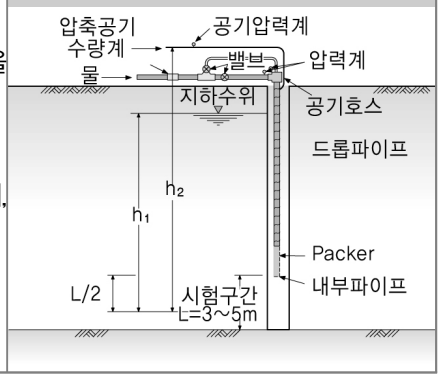
조사방법 및 수량

•수압을 이용하여 불연속면을 포함한 암반의 투수성을 시험

•공경 76mm의 시추공에 압력 10kgf/cm^{2}로 주수한 경우 주입길이 1m당 주입량을 리터단위로 나타낸 것이 루전(Lugeon)치임

•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



구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	15	23	11

•조사구간 기반암의 투수계수와 Lugeon값을 파악하여 그라우팅 보강설계시 활용

•침투류 해석시 입력 자료로 활용

3.4.16 지하수 유향·유속 시험

기본방향	•터널구간 심도별 지하수 유동속도, 방향 파악 •지하수의 유동경로 역할을 하는 불연속면 분포구간에 대한 지하수 유동속도와 유동방향 측정 •터널의 전체적인 지하수 흐름 경향 파악 및 설계시공의 기초 자료로 활용

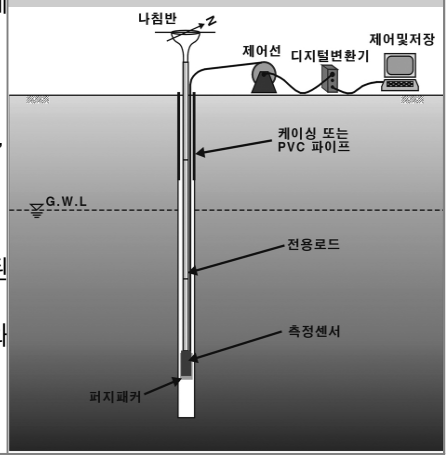
조사방법 및 수량

•지하수내 측정지점에서 30초간 가열된 Heat Pulse가 자연적인 지하수의 유동에 따라서 이동되는 것을 4방향의 Sensor에서 감지

•지하수의 유동속도와 방향을 측정하며 2차원 유향·유속계를 이용하여 남-북, 동-서 방향의 변화를 관측 기록

•검침은 초기단계 Reference Temperature Reading을 한 후, 열원으로부터 발산된 열입자의 이동 상태를 동서남북 4방향의 Sensor에서 감지하여 이들의 유동 속도와 방향을 계산

모식도



구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	–	4	–

•터널의 전체적인 지하수 흐름 경향을 파악하여 설계 및 시공의 기초자료로 활용

•측정된 결과를 터널 설계시 수리특성분석, 배수계획 및 용수처리 검토에 활용

3.4.17 양수시험

기본방향	•시공시 지하수 유동체계 변화 검토 •양수시험과 수위회복시험을 하여 대수층의 수리상수인 수리전도도(k)와 저류계수(S) 산정

조사방법 및 수량

•일정 양수를 하면서 관측정에서 양수시간대 수위강하를 측정

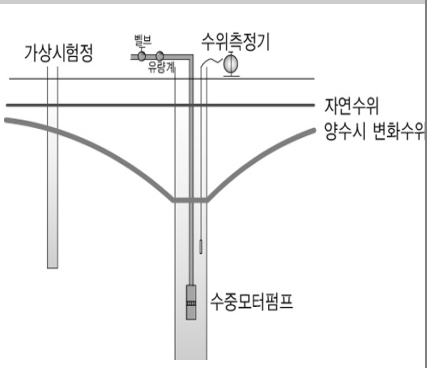
•일정양수후 정상상태에 도달한 후 양수를 종료하고 시간에 따른 수위회복을 측정, Theis법과 Cooper- Jacob법으로 해석

Theis법 : $S = \frac{Q}{4\pi T} W(u)$, $W(u) = \int_u^{\infty} \left(\frac{e^{-u}}{u} \right) du$,

$u = \gamma^2 \frac{S}{4} Tt$, $S = \frac{4Ttu}{\gamma^2}$

•Cooper-Jacob법 $s' = s_1 - (s_2/2b)/s$

모식도



구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	-	2	-

•터널 굴착전 양수정 및 감시정의 자연수위, 안정수위, 양수량 등의 초기 배경값을 확보

•지하수 유동해석 프로그램(MODFLOW)의 대수층 수리상수 입력인자로 활용

3.4.18 순간충격시험(Slug Test)

기본방향	•순간적인 부피변화를 주기위하여 Dummy를 시추공내에 삽입하고, 상승한 수위가 원래의 안정수위로 회복양상을 관측함으로써 수리상수를 측정 •수리전도도 분포 및 대수층 경계조건 파악을 통한 지하수 모델링의 기초자료로 사용

조사방법 및 수량

•공내 수위를 펌프로 급저하시키고 수위 회복을 계측

•시간-수위변화 자료를 이용하는 Raising Head Test를 실시

$$\ln(S_o) - \ln(S_t) = \frac{2KLt}{r_{ce}^2 \ln(r_e / r_{we})}$$

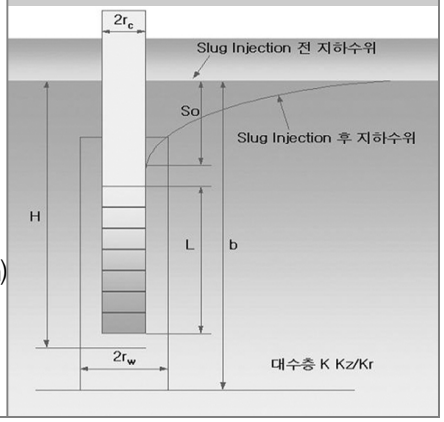
$$r_{ce} = \sqrt{r_c^2 + n(r_w^2 - r_c^2)} \quad ; \quad r_{we} = r_w \sqrt{\frac{K_z}{K_r}}$$

r_{ce} : 우물 케이싱의 반경 (m, cm) r_{we} : 자갈로 충진된 부분의 반경 (m, cm)

r_e : 수두가 감소되는 유효반경의 거리 (m, cm)

L : 물이 들어갈 수 있는 우물의 나공 부분이나 스크린의 길이 (m, cm)

모식도



구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	-	4	-

•양수시험 및 회복시험에서 구한 수리상수를 이용하여, 공사 전후 지하수 변화량에 대한 수리모델링 수행시 기초 자료로 활용

•공사시 지하수위 변화에 따른 주변지역 지하수의 저하여부 검토 입력자료로 활용

•퇴적층을 통한 지하수 유입 대책 수립 자료 이용

3.4.19 수압파쇄시험

기본방향	•현지 암반의 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 응력 상태 파악

조사방법 및 수량

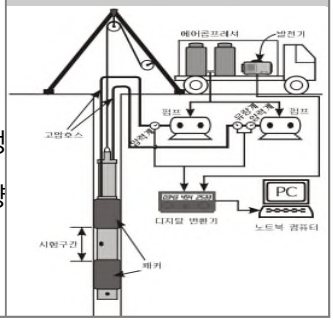
•심도별 수압파쇄시험 실시(시간에 따른 압력 및 유량관계 정보 취득)

•수압파쇄시험 실시구간에 대해 균열양상 측정

•이중선형 압력감쇄 속도법 등의 균열 파쇄압력 산정기법을 이용하여 균열파쇄 압력 결정

•누적주입 유량법을 이용한 균열 개구압력 산정 및 해당지반에 대한 측압계수의 크기 및 방향 해석

모식도



구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	–	1	1

•현지암반의 초기응력과 최대주응력의 방향 측정

•현지 암반 응력 방향에 따른 터널의 안정성 검토시 측압계수(K_0)를 입력값으로 활용

3.4.20 피에조콘관입시험

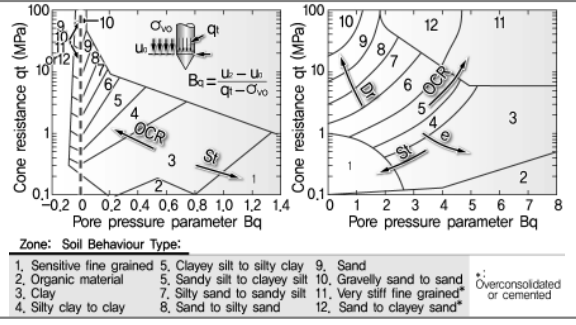
기본방향	•심도에 따른 연속적인 콘관입저항(q_c),마찰력(f_s)측정을 통한 토질 종류 및 조성상태 파악 •연약지반 설계 등에 필요한 지반 강도정수, 변형계수 등과 같은 제반 설계지반정수 간접 도출

조사방법 및 수량

•콘을 롯드에 연결하여 수직 관입시키면서 콘 선단에서 원추관입 저항력(q_c), 마찰력(f_s), 콘이 관입될 때의 간극수압(u)을 측정

•Douglas와 Olsen(1981)이 제안한 흙 분류 도표를 이용 Robertson(1990)이 유효상재하중을 고려한 정규화된 피에조콘관입시험을 이용하여 흙 분류를 정의

점성토 지반 토질분류 기준표 (Robertson et al, 1986)



•수정 콘 저항치(q_t) = $q_c + u_2 \times (1-a)$, q_c : 콘 선단 저항치, 콘 면적비 (시험기에 따른 고유값)

•u_2 : 콘의 끝 상단 측정 간극수압, U : 간극수압, U_o : 정수압

•B_q : 간극수압계수, σ_{vo} : 수직응력, 마찰비(Rf) = $(f_s/q_t) \cdot 100$ (%)

비배수전단강도(S_u) 산정

•Lunne et al.(1986) 제안식 : $S_u = \dfrac{q_t - \sigma_{vo}}{N_{kt}}$

여기서, S_u : 비배수 전단강도, q_t : 콘관입저항치, σ_{vo} : 수직응력, N_{kt} : 콘지수

•콘지수(N_{kt}) 고찰

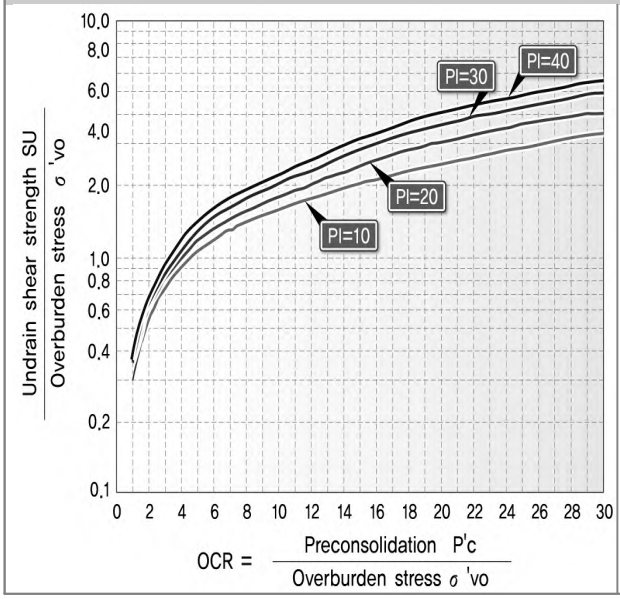
– Kjekstad et al(1978) : $N_{kt} = 17$, Lunne & Kleven(1981) : $N_{kt} = 11 \sim 19$

– Rad & Lunne(1988) : $N_{kt} = 8 \sim 29$

•본 사업 적용 : $N_{kt} = 20$

과압밀비(OCR)

Anderson et al(1979) 제안 도표



•피에죠콘관입시험 산정 비배수 전단강도(S_u)값을 토대로 유효응력에 따른 비배수 전단강도 증가비(m)와 소성지수(PI) 값을 적용

Anderson et al(1979) 제안 도표에 의해 산정

– 과압밀비 = [5.173×(S_u/σ 'v$_o$)]1.47 소성지수 = 10일 때

– 과압밀비 = [4.326×(S_u/σ 'v$_o$)]1.40 소성지수 = 20일 때

– 과압밀비 = [3.864×(S_u/σ 'v$_o$)]1.31 소성지수 = 30일 때

– 과압밀비 = [3.401×(S_u/σ 'v$_o$)]1.30 소성지수 = 40일 때

•시추공에서 채취한 불교란 시료에 대한 실내 시험결과 소성지수 = 20 ~ 23범위임에 따라 소성지수 = 22일 때 과압밀비 = [4.183 × (S_u/σ 'v$_o$)]1.39 식을 적용하여 산정

구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	–	1	–

•시추조사 결과와 비교하여 연속적인 지층성분 상태에 대한 자료 제공
•연약지반 점성토층에 대한 비배수전단강도, 과압밀비 등의 강도 및 압밀특성 설계지반정수 산정의 기초자료로 활용

3.4.21 시추공시험발파

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

조사방법 및 수량

•시추공 확인 : 공 깊이 및 상태, 지하수 존재여부, 시추공 주변환경

•계측기 설치 : 센서 위치 정리, 동일선상에 설치, TriggerLevel 조정

•시험 발파 : 적정 화약량 장약, 메지설치, 발파 안전조시 수행

•진동 및 소음계측 : 다 측점에서 계측, 데이터 수집 정리, 데이터 분석

•발파진동 추정식은 발파설계 또는 발파작업 전에 주변에 존재하는 보안물건의 피해 예측이 가능

•발파구역에 적용되는 발파공법의 적합성 검증 및 최적의 발파규모 설계에 활용

•발파진동추정식 산출은 발파 진동값, 지발당 최대장약량, 보안거리 요소로 활용

흐름도

구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	–	2	2

•발파진동 및 소음 영향권 검토 및 발파설계 자료 활용

3.5 실내토질시험

3.5.1 기본물성시험

기본방향	•각 지층의 물리적·역학적 특성파악 및 토사층의 강도정수 산정 •KS F 규격에 의거하여 흙의 통일분류 및 기본물성파악

조사방법 및 수량

시험명	표준규정	결과활용	입도시험
함 수 비	KS F 2306	지반의 함수상태 파악	
비 중	KS F 2308	지반의 단위중량 추정	
액 성 한 계	KS F 2303	흙의 분류와 공학적 성질 추정	
소 성 한 계	KS F 2304	흙의 분류와 공학적 성질 추정	
체분석/입도분석	KS F 2309, KS F 2302	지반의 입도 조성 파악	

구 분	최초제안	기본설계	실시설계	변경설계
수 량	29	41	47	4

•지반의 공학적 분류와 기본 물성치 산정에 반영

3.5.2 다짐 및 실내CBR시험

기본방향	•흙 시료에 함수비를 변화시키면서 동일한 부피와 에너지로 다져서 함수비-건조밀도 및 다짐곡선관계를 파악하여 최대건조밀도 및 최적함수비 산정 •포장층의 본바닥이나 포장재료의 지지력을 측정하여 표준재료 지지력과의 비 CBR값 파악

조사방법 및 수량

		CBR시험전경
다짐시험	•건조법, 습윤법, 반복법, 비반복법을 이용하여 시료를 준비 •몰드와 램머 검정 후 다짐시험을 실시함 •최적함수비를 전, 후로 6~8개의 함수비를 구할 때까지 다짐시험을 반복함 •시험결과에 의한 함수비-건조단위중량 관계곡선을 구해 최대 건조단위중량 γ_{dmax}와 이에 대응하는 최적함수비 W_{opt}를 구함	
CBR시험	•시료준비 – 시료의 최대허용입경에 따라 다짐방법 A 또는 D로 결정 – 다짐곡선을 작도하여 γ_{dmax}와 최적함수비 W_{opt}를 구함 – 조제된 시료를 10kg씩 3개 준비하여 그릇에 밀폐 – 준비된 시료로 타격수 10, 25, 55회로 다짐을 실시함 •흡수팽창시험 – 4일 동안 물속에 침수시키고 1,2,4,8,24,48,72,96의 각 시간의 팽창량 계측 •관입시험 – 공시체 위에 5kg 하중을 가중 – 재하장치에 공시체를 장치하고 관입피스톤을 부착시킴 – 피스톤을 1분 동안 1mm의 속도로 공시체에 관입하여, 관입량과 하중 값을 계측	

구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	6/3	8/4	10/5

•토량환산계수 적용과 CBR 산정시 활용

•Box 및 U-Type 구조물 되메우기토에 대한 다짐특성 분석시 활용

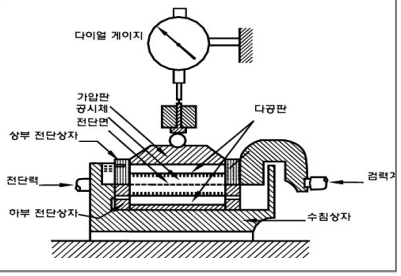
3.5.3 직접전단시험

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

조사방법 및 수량

•전단상자 속에 시료를 넣고 연직 하중을 가한 다음 흙이 갈라진 수평면을 따라 전단되도록 함(표준규정 KS F2306)
•가해진 연직하중 P는 시료의 단면적 A로 나누어 연직응력 σ 를 산정
•전단력 S는 단면적 A로 나누어 전단응력 τ 를 산정
•이와 같은 방법으로 연직응력을 3, 4회 바꾸어 각 연직응력에 대한 최대 전단응력의 값을 구하고, 이 점들을 이용하여 Mohr-Coulomb의 파괴포락선을 작도하여 점착력과 내부마찰각을 구함
•연직응력 : $\sigma = \frac{P}{A}$, 전단응력 : $\tau = \frac{S}{A}$

모식도



구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	–	4	–

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

3.5.4 진동반복삼축시험

기본방향	•포화되어 있는 느슨한 사질/실트 지반에 지진과 같은 동적인 반복 하중이 작용하면 과잉간극수압이 발생 •동적인 반복 하중을 받는 지반의 액상화 가능성을 평가하기 위해 일반적으로 반복삼축시험을 실시

조사방법 및 수량

•액상화 저항능력은 반복하중에 의해 시료의 유효구속압이 0으로 될 때 발생하는 초기 액상화를 기준으로 산정
•성형된 시료에 배압을 가하여 포화시킴
•등방구속압력을 일정하게 유지하고, 축응력을 1Hz의 주파수로 진동하중을 재하하여 간극수압, 축하중, 축변형율을 측정
•액상화의 저항능력은 구조물의 안정성에 맞는 축변형률 양진 폭 3%, 5%, 10%로 결정하여 반복전단응력비(CSR)를 산정

$CBR = \frac{\sigma_d}{2\sigma_{c'}}$ (여기서, σ_d : 반복축차응력, $\sigma_{c'}$: 압밀응력)

•지진파를 등가반복전단응력으로 전환후 지반의 전단응력과 CSR을 비교함으로써 액상화의 안전율을 구함

구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	–	2	2

•개착구간의 느슨한 토사지반의 액상화 가능성을 평가

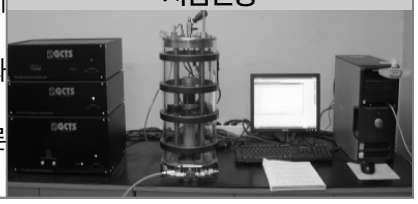
3.5.5 토사공진주시험

기본방향	•변형률 증가와 함께 발생하는 지반 전단탄성계수의 비선형성과 감쇠비 측정, 지진응답해석 등의 내진설계에 반영

조사방법 및 수량

•등방구속압의 영향평가를 위해 시료채취 심도 및 5m, 10m의 평균유효 주응력에 해당하는 구속압에 대한 공진주시험 수행
•전단변형률이 3~10% 이하인 저변형률 공진주시험으로 최대 전단탄성계수(G_{max})와 최소감쇠비(D_{min})결정
•전단변형률이 3~10% 이상인 고변형률 공진주시험을 수행하여 변형률 변화에 따른 G, D값의 변화 상태 분석

시험전경



구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	–	2	2

•저변형율에 약한 지반의 동적해석 입력치 활용
•토사지반의 비선형동적거동 특성 분석

3.6 실내암석시험

3.6.1 기본물성 및 일축압축시험

기본방향	•사업구간내에 분포하고 있는 암반의 공학적 성질을 파악 •시험값의 상관관계를 분석하여 신뢰성을 판단한 후 설계적용 지반정수 산정시 반영 •실내암석시험은 미국재료시험협회(ASTM)와 국제암반역학회(ISRM)의 시험규정을 적용

시험방법 및 현황

시 험 명 칭	시험 결과치	시험결과의 이용	표 준 방 법		
			KSF	ISRM	ASTM
비 중 시 험	비 중	비중, 흡수율, 함수비, 포화도, 간극비	2518 (석재)	○	–
흡수율 시험	공 극 율 흡 수 율	암석의 투수성	–	○	–
탄성파속도 시 험	탄성파 전파속도 동적 탄성상수	암반의 균열도 파악, 암반분류	–	○	D2845
일 축 압 축 시 험	압축강도, 탄성계수	암석의 역학적 특성, 암반분류	2519 (석재)	○	D2938 D3148

비중 및 흡수율

•공시체에 구속압을 가하지 않은 상태에서 공시체 축방향으로 압축력을 가하여 파괴시의 축방향 하중을 측정 겉보기 비중
= 시험편의 완전건조 비중 / 공극을 포함하는 단위외형체적
흡수율(%) = 침수된 시험편의 중량－건조된 시험편의 중량 / 시험편의 비중

탄성파 속도 측정

•시험편의 탄성파속도를 측정 하기 위하여 New Sonic Viewer Model 5271-A(OYO사)를 사용
•측정방법은 시험편의 양면에 Transducer를 접촉시키고 Pulse를 발생시켜 Compressional Wave(P파) 및 Shear Wave(S파)의 전파시간을 측정하여 다음 식에 의하여 속도를 산출

$$V_p = L/T_p \qquad V_S = L/T_s$$

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

일축압축시험

•공시체에 구속압을 가하지 않은 상태에서 공시체 축방향으로 압축력을 가하여 파괴시의 축방향 하중을 측정

$$\text{일축압축강도}(kgf/cm^2) = \frac{\text{파괴시의 하중}(kgf)}{\text{시험편의 단면적}(cm^2)}$$

시험전경

구 분	최초제안	기본설계	실시설계	변경설계
수 량	16	32	33	2

•터널구간 암반분류시 활용
•각종 시험 결과와 상관관계 분석 및 강도정수 산정시 보정치로 활용
•암석(Intact Rock)에 대한 값으로서, 암반(Rock Mass) 물성치 산정에 활용

3.6.2 점하중강도시험

기본방향	•암석 시편의 인장력을 이용한 점하중 지수값을 산정

조사방법 및 수량

•시료를 파괴할 형태에 따라 Diametral Test, Axial Test, 그리고 The block and irregular lump Test로 구분한다.
•시험에서 얻은 시료두께(D), 너비(w), 파괴시의 하중(P)으로부터 시현의 크기 보정이 되지 않은 강도지수 (Strength Index, Is)를 구함

구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	50	73	125

•일축압축강도와 점하중강도와의 상관관계 규명
•시료성형이 어려운 암석시편의 일축압축강도값 추정

3.6.3 삼축압축시험

기본방향	•채취된 암석코아의 점착력과 내부마찰각을 산정 •암반의 실제 응력상태와 가장 유사한 결과를 도출하여 각종 시험결과와 상관관계 및 강도정수 산정시 보정치로 활용

조사방법 및 수량

•시험법은 KS F와 ASTM의 시험법과 ISRM규정을 적용
•삼축압축 및 삼축신장 조건하에서 변형거동은 구속압, 하중강도, 온도, 함수상태, 시험편의 크기 등에 좌우됨
•원주형 시험편을 삼축압축챔버에 넣고 시편의 주위에 일정한 측압을 가한 후 양단의 축방향으로 하중을 가하여 파괴강도를 얻음
•시편은 고무막 또는 금속박판으로 싸서 횡압을 가하는 액체가 암석의 공극내로 침입하지 못하도록 함
•삼축시험결과와 일축시험, 인장시험 결과를 바탕으로 Mohr 파괴포락선으로부터 점착력과 내부마찰각을 도출

시험전경

구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	3	7	10

•단계별 봉압에 대한 강도값을 활용하여 RocLab입력자료로 활용
•산정된 점착력 및 내부마찰각을 이용하여 수치해석시 설계지반정수산정에 반영

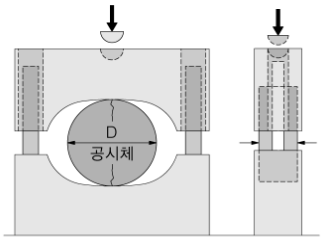
3.6.4 간접인장시험

기본방향	•암석의 강도 특성을 파악

조사방법 및 수량

•직접인장시험은 공시체의 성형이 상당히 어렵기 때문에 주로 간접인장시험 (Brazilian Test)을 활용
•시험용 시편은 Core를(직경 : 높이=1 : 0.5~0.8) 디스크형이 되도록 절단한 후 압축시험용 시편과 같은 방법으로 성형
•디스크 절단면에 평행한 방향으로 코아의 원주곡면부에 가압하여, 파괴시하중과 시험편 규격으로부터 인장강도를 구함
•이때, 파괴하중을 P(kgf)라 하고 시험편의 직경과 길이를 각각 D(cm), L(cm) 이라 할 때 인장강도 S는 다음 식으로 구함 $S = 2P/(\pi DL)$

모식도



구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	12	7	10

•각종 시험결과와 상관관계 분석 및 강도정수 산정시 보정치로 활용
•암석(Intact Rock)에 대한 값으로 암반(Rock Mass)물성치 산정에 활용

3.6.5 절리면전단시험

기본방향	•터널 및 비탈면 구간 암석의 절리면에 대한 최대, 잔류전단강도 등의 절리 특성값 산정파악 •JCS, JRC, Ks, Kn 측정

조사방법 및 수량

•암석의 전단면이 연약면과 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

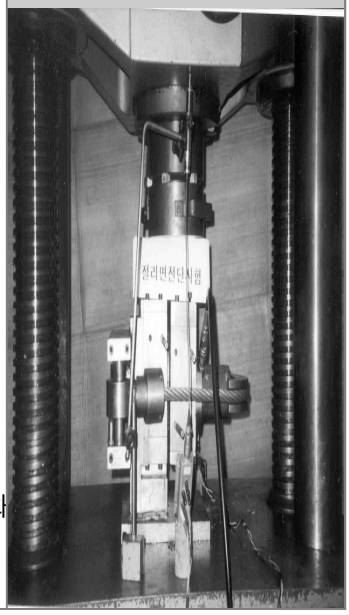
•시험편이 일정한 수직응력하에서 전단되고 1cm의 전단변위에 대해 5% 이하의 전단응력의 변화를 보이는 측정값이 나타나면 잔류강도값 측정

•전단응력 : $\tau = \frac{P_s}{A}$, 수직응력 : $\delta_n = \frac{P_n}{A}$

여기서, P_s : 전체 전단력, P_n : 전체수직력, A : 전단력의 겹침면적

•Barton이 제안한 JRC값의 측정은 시험자의 주관에 따라 측정결과의 오심하므로, 이를 최소화하고자 JRC 레이저 측정

시험전경



구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	3	6	5

•절리면의 강도정수 산정 및 불연속체 해석의 입력 자료로 활용
•불연속면을 고려한 기초안정성 검토시 활용

3.6.6 3D JRC 측정

기본방향	•3차원 불연속면 형상을 측정하여 수치화함으로써 거칠기 특성 정량화

조사방법 및 수량

•아날로그 형태의 연속적인 절리면 형상을 수치화하여 측정하는 레이져 변위계를 이용한 3차원 측정 실시

•측정기는 레이저 변위계(Laser Displacement Meter), 위치지정 시스템(Positioning System), 자료출력과 전체 시스템을 직접 제어할 수 있는 컴퓨터로 구성

•X축, Y축은 수동과 자동으로도 구동 가능하며, 레이저 변위계가 연결되어 있는 Z축은 수동으로 구동되어 변위계가 레이저를 측정지점에 쏠 때, 반사된 빛의 각도에 의해 변위를 측정, 절리면에 대한 3차원 프로파일 작성

모식도

구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	–	4	5

•절리면의 거동특성 파악

3.6.7 암석이방성 시험

기본방향	•사업 전구간에 분포하고 있는 호상 흑운모편마암에 대한 이방성 평가

원리 및 조사방법

•암석의 이방성은 방향에 따라 암석의 역학적 특성이 상이함

•암석내에 편리나 엽리와 같은 면구조에 의한 구조적 이방성은 공학적으로 중요

•분석의 편의성을 위해 이방성 암석을 하나의 이방성면을 갖고 다른 두 방향으로는 동일한 역학적 특성을 갖는 평면이방성 물질로 가정

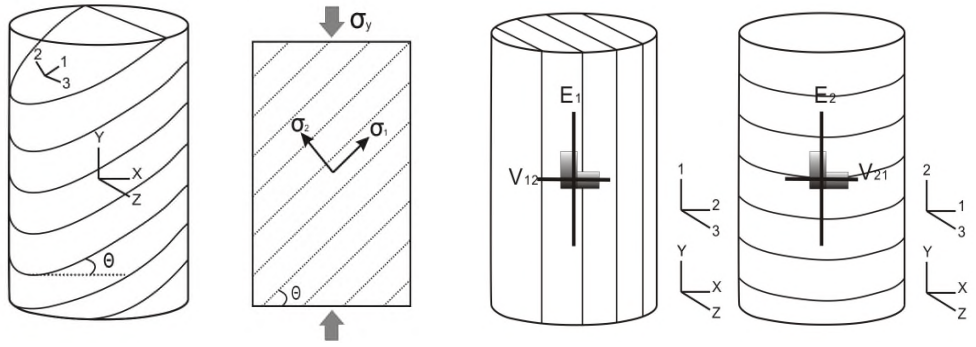
•평면 이방성 물질의 응력-변형률 관계식

$$\nu_{ij}/E_i = \nu_{ji}/E_j$$

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \gamma_{12} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{E_1} & -\frac{\nu_{12}}{E_1} & 0 \\ -\frac{\nu_{21}}{E_2} & \frac{1}{E_2} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1}{G_{12}} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \sigma_1 \\ \sigma_2 \\ \tau_{12} \end{pmatrix}$$

$$\sigma_1 = \sigma_y \sin^2\theta, \quad \sigma_2 = \sigma_y \cos^2\theta, \quad \tau_{12} = \sigma_y \sin\theta\cos\theta$$

$$E_1 = \frac{\sigma_{y(90^\circ)}}{\varepsilon_{y(90^\circ)}}, \quad \nu_{21} = \frac{\varepsilon_{x(90^\circ)}}{\varepsilon_{y(90^\circ)}}, \quad E_2 = \frac{\sigma_{y(0^\circ)}}{\varepsilon_{y(0^\circ)}}, \quad \nu_{21} = \frac{\varepsilon_{x(0^\circ)}}{\varepsilon_{y(0^\circ)}}$$



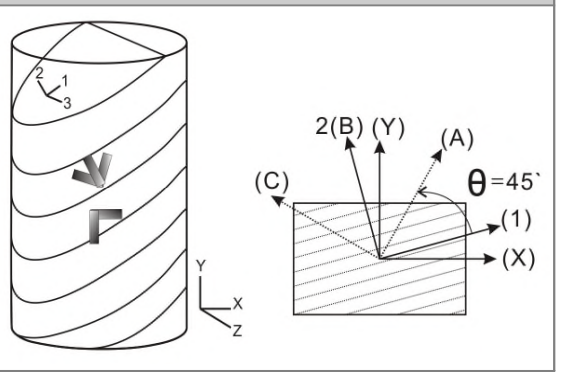
•A-Method(장보안 외)

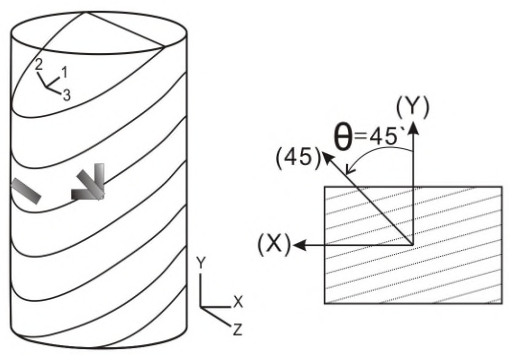
45° 로젯 변형률 게이지를 변형률 측정방법 모식도와 같이 부착한 후 A, B, C 방향에서 측정되는 변형률(ε_A, ε_B, ε_C)과 y, x 방향에서 측정되는 변형률(ε_y, ε_x)을 측정.

ν_{12}를 이용하는 계산법과 ν_{21}를 이용하는 계산법이 있음

장보안 외(2001)은 ν_{12}, ν_{21} 대신 ε_y, ε_x로부터 계산할 수 있는 겉보기 포아송비, ν_a를 적용 가능

변형률 측정방법 모식도



	변형률 측정방법 모식도
•B-Method(박철환 외) 45° 로젯 변형률 게이지를 변형률 측정방법 모식도와 같이 부착한 후 y, 45, x, z 방향에서 측정되는 변형률(ε_y, ε_{45}, ε_x, ε_z)을 측정 평면 이방성 물질의 응력-변형률 관계식을 적용하여 가정식들을 이용하여 이방성 탄성계수(E_1, E_2, ν_{12} ,ν_{12}, G_2)를 계산 •1개의 시편에 A-Method와 B-Method의 변형률계를 부착하여 시험결과 비교 분석	

구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	–	4	5

•암석의 이방성 특성을 파악하고 이방성 영향을 고려한 수치해석에 활용

3.6.8 Swelling/Slaking 시험

기본방향	•건습의 반복으로 단기간 발생 가능한 기반암의 풍화에 대한 내구성과 팽창특성 평가

원리 및 조사방법

구 분	시험방법	시험전경
Swelling	•공시체를 공시체 축에 측정점을 정하고 지압판, 변위계 설치 •공시체가 수침될 때까지 Cell에 물을 채우고 변화량이 일정 할 때까지 시간경과에 따른 변위 측정 •흡수팽창율 : I = d / L × 100(%) (d : 최대팽창량, L : 초기 길이)	
Slaking	•중량을 정확히 측정한 40~60g의 암괴를 시험장치의 드럼에 넣고 105℃의 온도로 2~6시간 노건조함 •드럼을 수조에서 10분간 회전시킨 후 105℃의 온도로 노건조시킴 •냉각 후 중량을 3~4회 측정하며 최종 건조중량을 초기중량으로 나누어 2번째 Cycle에서의 Slaking 지수(Id_2)를 산정	

Gamble(1971)이 제시한 Slake 내구성

구 분	Id_1 (%)	Id_2 (%)	구 분	Id_1 (%)	Id_2 (%)
매우 높은 내구성	〉99	〉98	중 간 내 구 성	85 ~ 95	60 ~ 85
높 은 내 구 성	98 ~ 99	95 ~ 98	낮 은 내 구 성	60 ~ 85	30 ~ 60
중간~높은 내구성	95 ~ 98	85 ~ 95	매우 낮은 내구성	〈 60	〈 30

구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	–	2	5

•기반암의 팽창성 및 내구성 분석을 통한 기반암의 풍화특성 및 기초의 안정성 검토에 활용

3.6.9 Creep 시험

기본방향	•사업구간내 기반암의 장기거동특성 파악을 위해 일정응력하 시간경과에 따른 변형률 분석을 통해 지하구조물의 장기적인 안정성 평가

조사방법 및 수량

•공시체에 하중을 가하면 순간적으로 ε_0인 변형률이 발생(순간변형률) 하며, 이 상태에서 하중을 일정하게 유지하면 변형률은 시간과 함께 증가하지만 초기단계에서부터 순차적으로 다음 3단계의 Creep 특성을 나타냄

- 1차 Creep : A-B 구간, 변형률의 속도 감소
- 2차 Creep : B-C 구간, 변형률의 속도가 거의 일정하게 됨
- 3차 Creep : C-D 구간, 변형률의 속도가 증가하며 파괴한계점에 도달

•3차 Creep는 응력의 크기에 따라서 나타나지 않는 경우가 있으며, 실제 시험에서도 급격하게 파괴에 이르기 때문에 측정하기 곤란하므로 1차와 2차 Creep 곡선을 다음식과 같이 나타냄

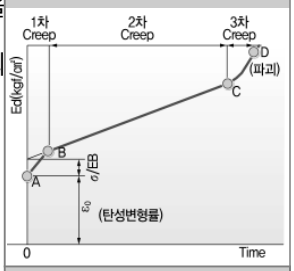
$\varepsilon = \varepsilon_0 + \alpha \cdot t + F(t)$

ε_0 : 순간변형률

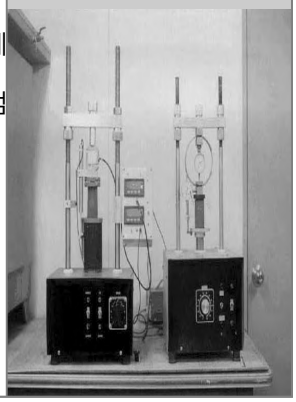
$\alpha \cdot t$: 이차 Creep을 나타내는 힘

$F(t) = \beta \cdot 1(1+t)$: 일차 Creep 특성을 나타냄

모식도



시험전경



구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	-	2	2

•암반위 거치되는 구조물의 장기적인 안정성 평가를 위하여 시간에 따른 암반의 변형거동을 해석하여 설계 활용

3.6.10 암석공진주 시험

기본방향	•탄성파 전달이론에 근거하여 탄성영역에서 암석의 탄성계수, 전단탄성계수 및 감쇠비를 측정

조사방법 및 수량

•암석시편은 공기중에 양단자유조건(양단자유-공진주 시험: FF-RC; Free-Free Resonant Column)이 되도록 하고, 구속압을 재하하지 않은 상태에서 시험을 수행하여 압축파 및 전단파 발생시 시간영역 반응곡선을 획득

•FFT(Fast Fourier Transform) 변환을 실시하여 주파수영역(Frequncy Domain) 반응곡선으로 주파수를 측정

•측정된 주파수 반응곡선으로부터 공진주를 측정하여 탄성계수, 전단탄성계수, 감쇠비를 계산

시험전경

구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	-	2	2

•동적 지반 특성 파악 및 내진설계를 위한 입력지반정수로 활용

3.6.11 AE/DRA 시험

기본방향	•현지암반의 초기응력상태 파악 및 측압계수 산정

조사방법 및 수량

		시험전경
AE	•변형에너지 방출시 발생하는 파괴음을 전기신호로 변환하여 취득 •AE계수는 AE 타격음이 검출한계를 교차한 횟수로 미소파괴음 신호의 세기에 대한 평가기준으로 사용	
DRA	•암석내 응력분포의 비균일성은 현지 응력상태 하에서 가장 최소화 된다는 가정하에 실시 •주기하중 시험을 통해 얻은 축방향 변형률의 차와 응력과의 관계를 나타내는 그래프 변곡점에서의 응력이 암반의 현지응력을 나타냄	

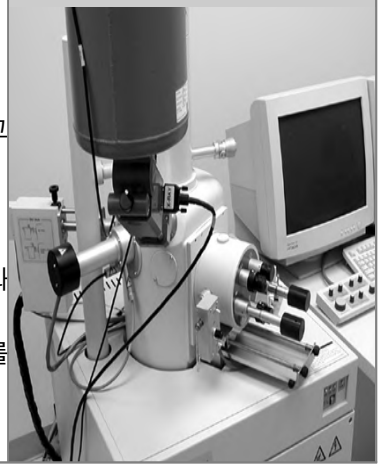
구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	–/–	2/2	5/5

•암반의 초기응력 및 측압계수에 대한 수치해석 입력치 산정에 활용

3.6.12 편광현미경관찰

기본방향	•사업구간 대표 암종인 셰일과 중성암맥에 대한 편광현미경 관찰을 통해 광물 분석 수행 •암석내 분포하는 광물들의 상대적 함량을 분석하고 암석내 풍화 취약광물 함유여부 파악

조사방법 및 수량

	시험전경
•일반적으로 암석을 구성하고 있는 광물의 종류를 확인하고 정량적으로 표현하기 위하여 편광현미경을 이용한 Modal Point분석 실시 •암석을 박편으로 제작하여 암석학적 특징과 Modal Poin분석을 통하여 암석을 구성하고 있는 주 구성 광물의 함유량 분석 •Modal 측정법은 직선이 광물들을 횡단하는 총 거리를 측정하여 계산하는 선측정법과 시료를 일정한 거리로 직선적으로 이동시키면서 각 광물에 대하여 점이 찍히는 수를 계산하는 점측정법으로 구분	

구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	–	2	5

•조암광물의 분석을 통한 암종 판단 및 풍화·변질과 미세균열 특성 파악에 활용

3.6.13 XRD분석

기본방향	•시추코아에서 채취한 암석을 대상으로 X-Ray 회절분석을 이용한 성분분석

조사방법 및 수량

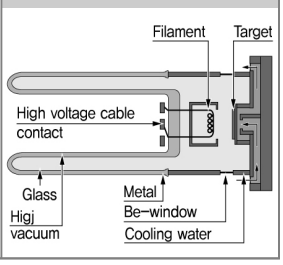
•암석중의 광물들이 세립질로 산출되므로 분말법을 사용함

•채취된 시료를 상온에서 자연 건조시켜 아게이트 몰탈을 이용 분말화시킴

•적당한 크기로 분쇄한 시료를 250㎛ 정도로 체분석하여 시료를 준비

•XRD에 의한 점토광물의 정량분석 실시

시험모식도



구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	–	2	5

•점토광물의 조성 및 팽창성광물의 존재여부 파악

3.6.14 본선암 유용성 시험

기본방향	•재료원의 품질 확인을 위해 KS F규정에 의해 품질시험을 터널통과 구간에 수행

조사방법 및 수량

시험항목		시험규정	용 도		품질기준
비 중		KS F 2503	콘크리트용		2.50이상
			포장용		
흡 수 율 (%)		KS F 2503	콘크리트용		3.00이하
			포장용		
마 모 율 (%)		KS F 2508	콘크리트용		40이하
			포장용	기 층	40이하
				표 층	25이하
안 정 성 (%)		KS F 2507	콘크리트용		10이하
			포장용		12이하
알 카 리 골 재 반 응	S C	KS F 2355	포장용		–
	R C				–

구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	6	2	5

•본선암 유용성은 콘크리트용 골재, 입도조정 쇄석용 등의 재료로서의 사용 적합성 검토

3.6.15 토양 및 지하수 수질분석

기본방향	•토양내 함유된 오염물질 및 특정 유해물질에 대한 성분 분석 실시 •지하수에 함유된 오염물질 및 특정 유해물질에 대한 성분 분석 실시

콘크리트 부식정도(DIN 4030)

항 목	분 석 기 준		
	약한 부식	강한부식	매우강한부식
pH	5.5~6.5	4.5~5.5	4.5이하
SO_4^{2-}(mg/l)	200~600	600~3,000	3,000이상
Mg^{2+}(mg/l)	100~300	300~1,500	1,500이상

콘크리트 배합수의 수질 분석(Rump and Krist, 1988)

항 목	검토기준 한계값
pH	7.0
Mg^{2+}(mg/l)	200이하
Cl^-(mg/l)	1,500이하
SO_4^{2-}(mg/l)	250이하
NO_3^-N(mg/l)	100이하

구 분	최초제안 (토양/수질)	기본설계 (토양/수질)	실시설계 (토양/수질)
수 량	-/-	2/2	3/3

•구조물의 부식, 콘크리트 강도 및 철근 부식에 영향을 줄 수 있는 성분의 함량비를 분석하여 유해성 검증

3.6.16 라돈농도 측정

기본방향	•지반물질(공내가스, 암석, 토양, 지하수) 분석을 통한 위해성 평가

조사내용 및 분석방법

(1Bq /m³ = 0.027pCi / L)

국가(단체)	기 준
미 국 (EPA권고)	•대기중 라돈 : ≤ 4pCi/L •음용수중 라돈 : ≤ 300pCi/L •지하수 EPA 대체기준 : 4,000pCi/L (정화시스템 사용시)
미국 뉴저지	•대기중 라돈 : ≤2pCi/L
한 국	•대기중 라돈 : ≤4pCi/L •라돈자핵종 농도 : 없음

국가(단체)	기 준
독 일	•자연방사선피폭에 대한 선량한도는 없으나 현재 ICRP-60
ASHRAE	•대기중 라돈 : ≤2pCi/L
NCRP	•대기중 라돈 : ≤8pCi/L
스 웨 덴	•규제 : ≤10.8pCi/L •농도저감화후 : ≤5.4pCi/L •신축주택 : ≤1.89pCi/L

구 분	최초제안	기본설계	실시설계
수 량	-	3	3

•실내공기질관리지침 (4pCi/L)에 준하는 설계 환기량을 산정하여 환경 친화적 설계의 기초 자료로 활용

제4장 예비조사 결과

4.1 조사개요

기본방향	•광역적인 지형구조와 지질구조를 분석함으로써 사업구간 지반특성 파악 •지질구조에 대한 상세조사를 통해 예상 문제점 파악하고 지질특성을 고려한 합리적 설계 도모

예비조사 수행과정

사전·문헌조사	예비조사 항목 선정	예비조사 성과분석	상세조사 반영
•기존 및 참조문헌 자료 분석을 통한 지질특성 파악 •현지답사를 통한 현황 특성 파악	•위성영상 및 DEM분석을 통한 선구조 특성 분석 •교차선구조 분석을 통한 상세 지표지질조사 위치 선정	•조사위치별 불연속면의 공학적 특성 파악 •절리 및 인접노두 단층 방향 분석을 통한 영향성 분석	•지질취약구간 선정을 통한 상세조사 계획 수립에 반영 •구조물 안정 해석을 위한 기초자료 제공

예비조사 착안사항

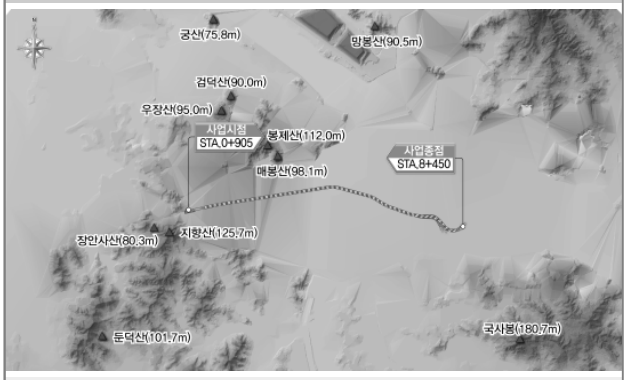
구 분	분 석 항 목	중 점 검 토 사 항
지형 · 지질분석	•고지형 분석 •위성영상 및 음영기복도를 이용한 선구조분석 •광역지질도, 상세지질도, 지구조 진화사 분석	•지형특성 및 퇴적환경 상관성 규명 •단층, 절리 등에 의한 선구조 해석 •지질 선후관계를 통한 지질공학적 특성 해석
육 상 환 경 변 화 분 석	•연도별 토지이용변화 분석 •고지형 변화 분석	•육상 토사층 분포 변화양상 파악 •안양천 및 샛강 통과 지역 퇴적환경변화 유추 – 퇴적층 분포 변화 양상 분석
지 진 이 력 및 강 우 량 분 석	•인근지역 지진발생이력 및 강우량 파악	•지진에 따른 내진설계 기준안 산정 및 강우량 분석

4.2 광역지형 특성 분석

기본방향	•사업구간의 지형 특성변화 및 이력을 분석하여 주요구간의 구조물에 미치는 영향 검토

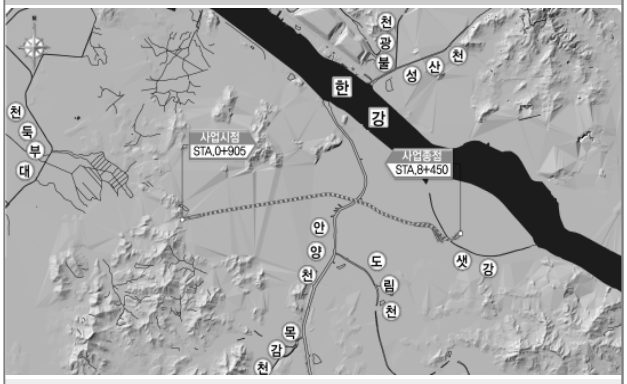
4.2.1 산계 및 수계 분석

산 계 분 석



•북동 · 남서방향의 한강을 중심으로 대칭적 구조의 산계 발달
•사업구간 일대는 산계발달이 미약한 노년기 분지지형

수 계 분 석



•산계 방향 영향으로 북서~남동방향으로 발달한 한강으로 안양천, 도림천, 샛강 등이 유입

분석결과	•사업지역은 북동~남서 방향으로 180m 미만의 산계가 발달한 전형적 노년기 분지지형을 보임 •사업구간 인접지역에 발달한 안양천. 도림천. 샛강 등은 북서~남동방향으로 발달한 한강으로 유입됨

4.2.2 지형태학적 발달 특성

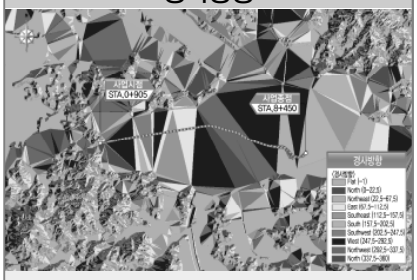
고도분포도

•사업구간 10~45m의 고도발달

경사도

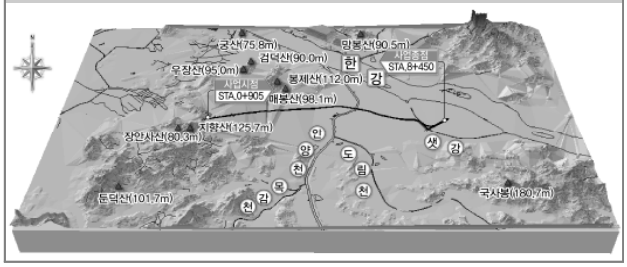
•시점부 30~50°, 그 외 지역 10° 미만

경사방향



•시점부를 제외한 그 외 지역은 평탄

3차원 지형도



검 토 결 과

•사업구간은 고도 10~45m로 시점부 30~50°, 그 외 지역은 10° 미만 경사를 갖는 평탄한 지형 발달을 보임

•사업구간 노선 시점부는 지향산(125.7m) 및 장안사산(80.3m)의 산계발달을 보이며, 그 외 지역은 한강과 인접한 수계(안양천, 도림천, 샛강등)의 발달로 평탄한 평지 지형을 보이므로, 토사층 발달은 우세한 지역으로 분석됨

4.2.3 육상환경 변화 분석

기본방향	•사업구간 일대 토사층 분포에 영향을 미치는 토지이용 및 고지형 변화를 분석하여 육상 퇴적환경 변화 분석

토지이용변화 분석

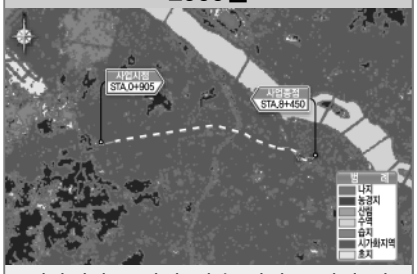
1975년

•노선 시점부~중앙부 : 산림 및 농경지발달

1990년

•시가지화로 산림 및 농경지 급격히 감소

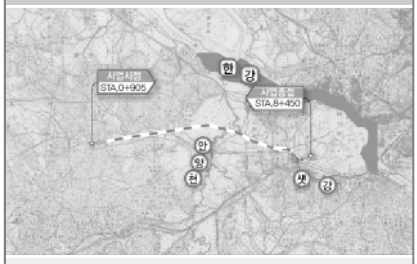
2000년



•시가지화로 산림 및 농경지 급격히 감소

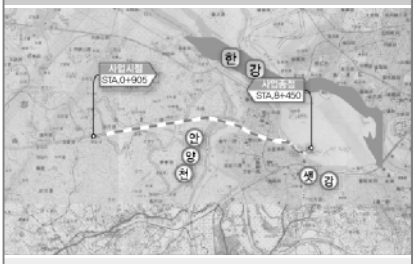
고지형 분석

광복이전



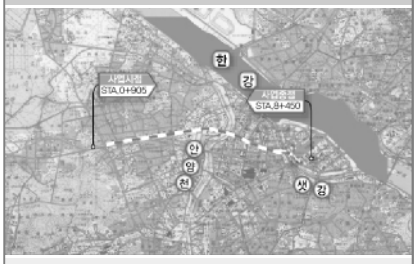
•하천(한강, 안양천, 샛강)주변 농경지 발달

1969년



•안양천 직선화 및 하천주변 농경지 감소

1997년



•하천정비 및 도심 시가지화 급격화

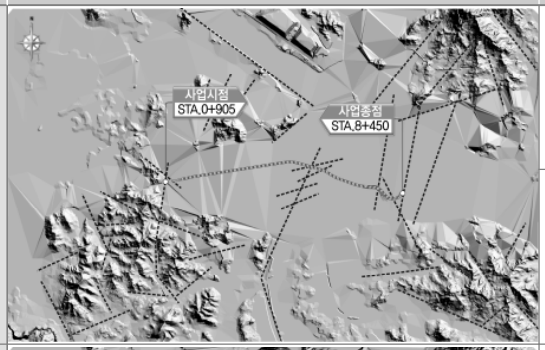
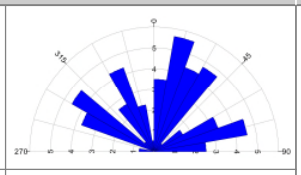
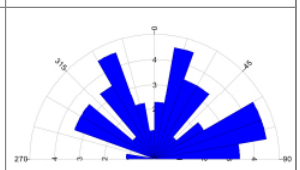
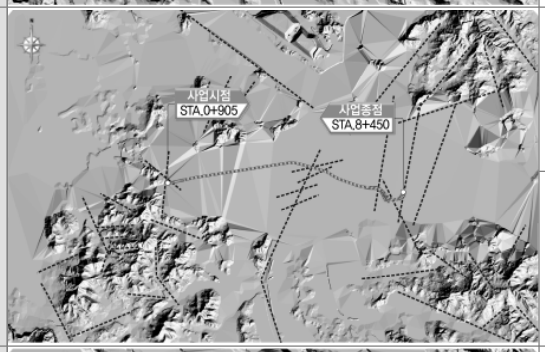
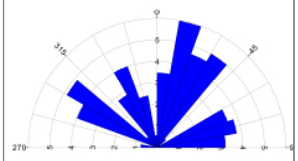
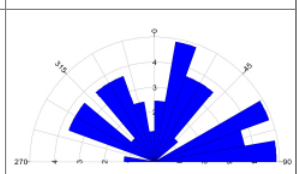
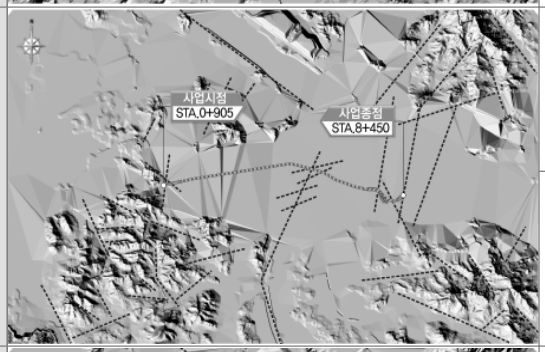
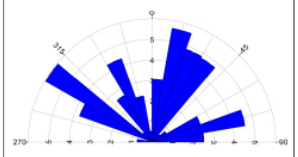
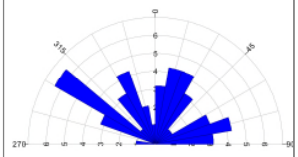
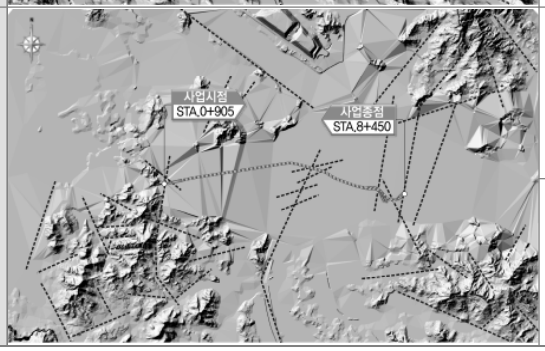
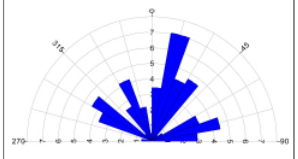
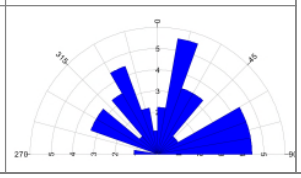
분석결과	•1970년대 시점부를 제외한 그 외 지역에 시가지 발달로 안양천 및 여의샛강의 영향으로 풍화대가 깊게 발달하여 분포할 것으로 예측됨 •하천 유로의 변화로 인해 사업노선 하천(안양천, 샛강)인근지역은 자갈 및 모래가 혼재된 하상퇴적층이 깊게 분포할 것으로 예상

4.3 선구조 분석

기본방향	•사업구간을 포함하는 광역적 영상분석으로 지형적 발달 요건을 고려한 선구조 분석 •선구조의 분포특성, 방향성 및 발달 기작을 유추하여 안정성 검토 등 설계의 기초자료로 활용

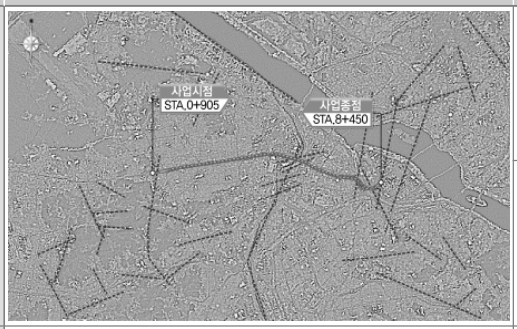
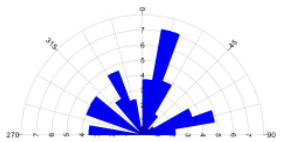
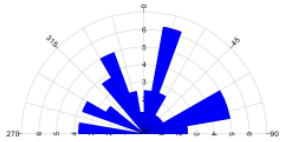
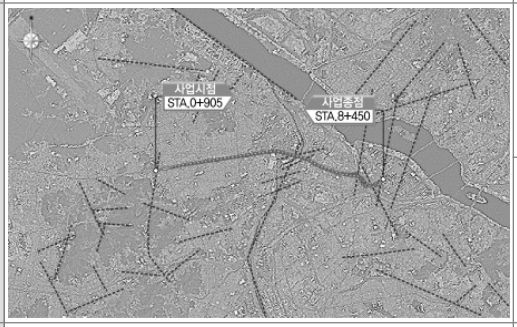
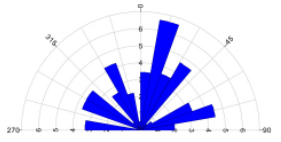
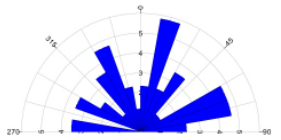
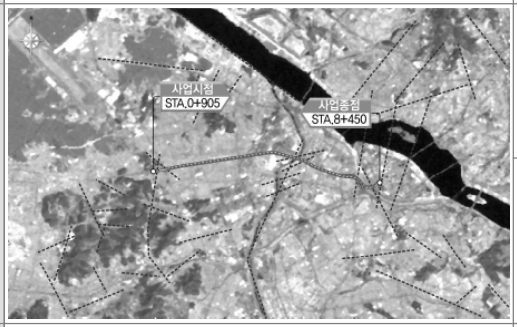
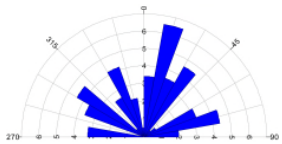
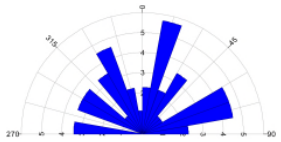
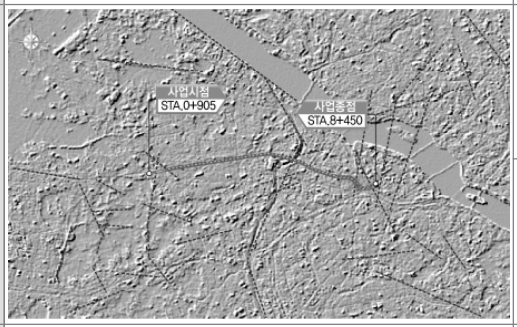
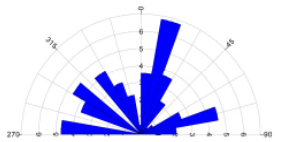
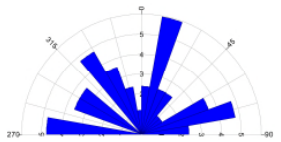
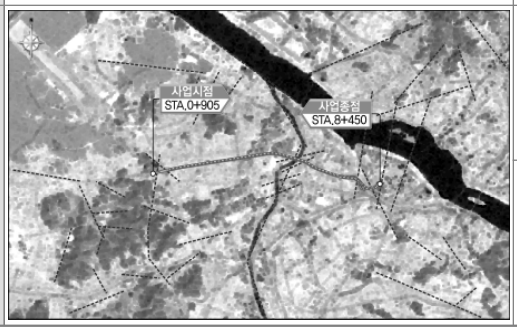
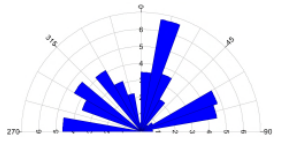
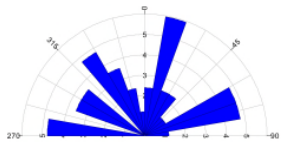
4.3.1 광역 선구조 분석

DEM을 이용한 선구조 분석

방위각	광원 고도각 45도	Rose diagram		비 고
4 5 도		연장성		•선구조 수 : 44개조 •주방향 : N30W, N15E, N70E •부방향 : N60W, N30E, N85E
		빈도		
1 3 5 도		연장성		•선구조 수 : 41개조 •주방향 : N15E, N70E, N85E •부방향 : N30W, N60W, N30E
		빈도		
2 2 5 도		연장성		•선구조 수 : 47개조 •주방향 : N60W, N15E •부방향 : N30W, N70E
		빈도		
3 1 5 도		연장성		•선구조 수 : 45개조 •주방향 : N15E, N30W •부방향 : N60W, N30E, N70E
		빈도		

분석결과	•음영기복도 광원방위각 변화에 따른 선구조를 분석한 결과 사업구간 인접지역 내에 5개조의 선구조가 발달 – N15E, N30E, N70~85E, N30W, N60W •사업구간 노선 안정성에 영향을 미치는 8개의 선구조가 발달한 것으로 분석됨

위성영상을 이용한 선구조 분석

필터링기법	선구조 판독	Rose diagram		비 고
High Pass		연장성		•선구조 수 : 40개조 •주방향 : N15E, N30W •부방향 : N65W, N85W, N70E
		빈도		
Laplacian		연장성		•선구조 수 : 43개조 •주방향 : N15E, N30W •부방향 : N65W, N85W, N30E, N70E
		빈도		
Median		연장성		•선구조 수 : 44개조 •주방향 : N15E, N30W •부방향 : N60W, N85W, N30E, N70E
		빈도		
Directional		연장성		•선구조 수 : 42개조 •주방향 : N15E, N30W •부방향 : N60W, N85W, N70E
		빈도		
Erode		연장성		•선구조 수 : 42개조 •주방향 : N15E, N30W •부방향 : N60W, N85W, N70E
		빈도		

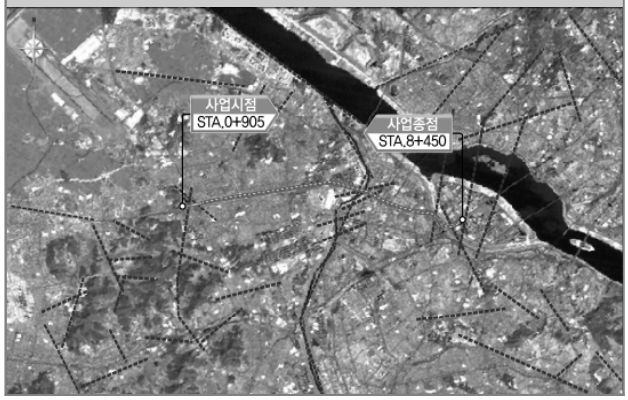
분석결과	•위성영상 공간필터링 기법에 따른 선구조를 분석한 결과 사업구간 인접지역 내에 6개조의 선구조가 발달 – N15E, N30E, N70E, N30W, N60~65W, N85W •사업구간 노선 안정성에 영향을 미치는 8개의 선구조가 발달한 것으로 분석됨

4.3.2 교차 선구조 분석

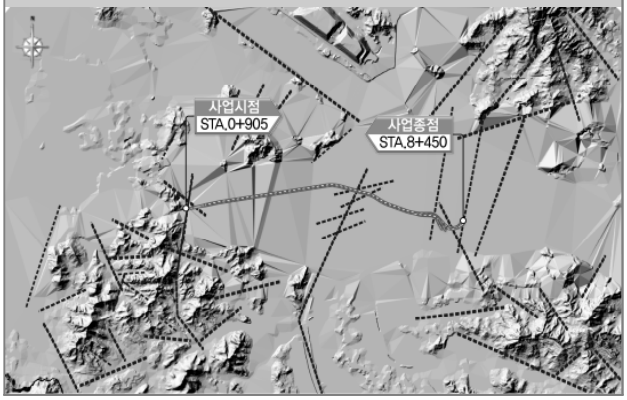
기본방향	•ENVI 4.7를 이용하여 위성영상 및 음영기복도 작성 후 분석기법에 따른 사업구간 선구조 분포 종합 도시 해석 •선구조의 분포특성을 고려하여 사업구간 구조물 안정성에 영향을 미칠 것으로 예상되는 선구조 노선교차위치 분석 · 파악

위성영상 및 DEM 분석

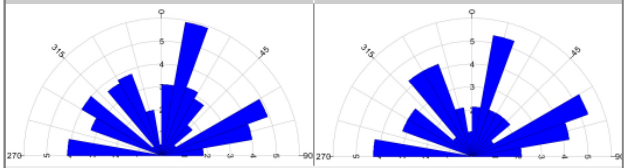
위성영상에 의한 광역적 선구조



DEM에 의한 광역적 선구조

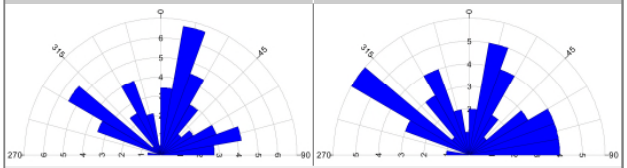


연장성 | 빈도



•주방향 : N15E, N70E •부방향 : N30W, N60W, N85W

연장성 | 빈도

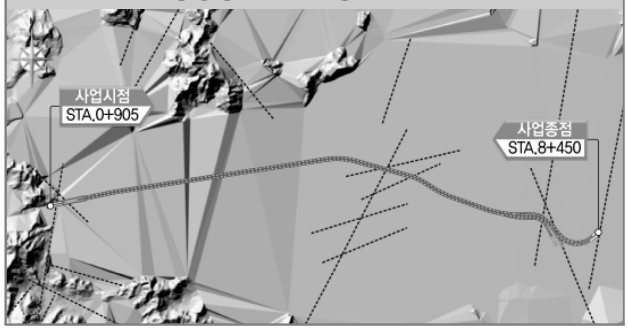


•주방향 : N60W, N15E •부방향 : N30W, N70E

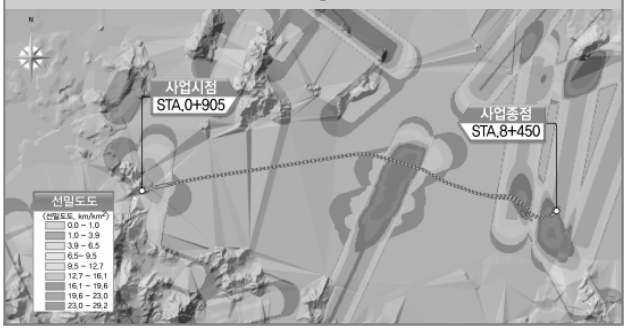
분석결과	•사업지역 일대의 선구조는 주방향이 N15E, N70E, N60W로 북동/북서방향을 보이는 것으로 나타남 •노선 시점부, 안양천 및 샛강 인접지역에 선구조가 교차할 것으로 예상됨

교차선구조 및 선구조 확률 밀도

위성영상에 의한 광역적 선구조



DEM에 의한 광역적 선구조



구 분	방 향	연장(km)	교차 위치	노선 교차각
①	N9E	3.06km	STA. 0+275	70°
②	N51W	1.54km	STA. 0+582	51°
③	N77E	1.75km	STA. 5+260	29°
④	N24E	4.72km	STA. 5+285	81°

구 분	방 향	연장(km)	교차 위치	노선 교차각
⑤	N66E	1.29km	STA. 5+700	40°
⑥	N10E	3.89km	STA. 7+580	71°
⑦	N27W	2.83km	STA. 8+140	63°
⑧	N11E	4.05km	STA. 8+660	11°

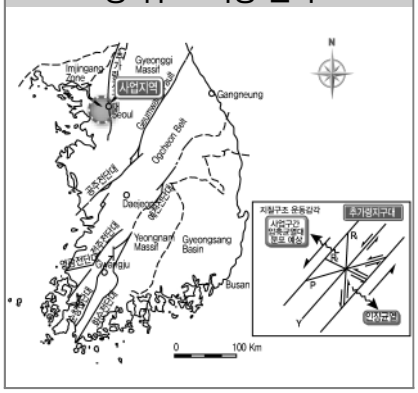
분석결과	•사업노선 시점부, 안양천 및 샛강 주변부에 총 8개의 선구조가 발달한 것으로 분석됨 – 노선 교차 선구조의 확률 밀도는 3.9~25.6km/km^{2}로 나타나므로, 시추코아를 활용한 단층영향권 분석을 통해 단층 발달 영향폭과 그에 따른 노선 교차거리를 평가하여 구조물 안정성 검토가 요구됨

4.4 지질특성 분석

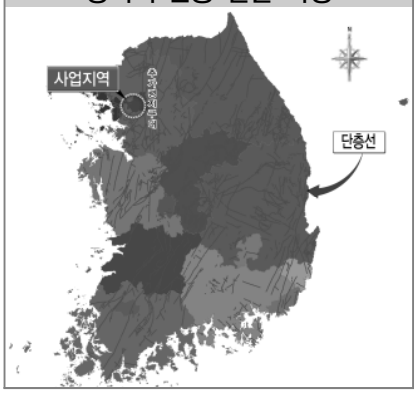
기본방향	•지표지질조사, 시추조사, 물리탐사 등 결과와 연계하여 분포 암종과 지질구조 특성 파악 •문헌자료 검토를 통해 사업구간 지질특성을 분석함으로써 설계기초자료 제공

4.4.1 광역 지질구조 및 기존지질도 분석

광역구조 특성 분석



광역적 단층 발달 특성



검토결과

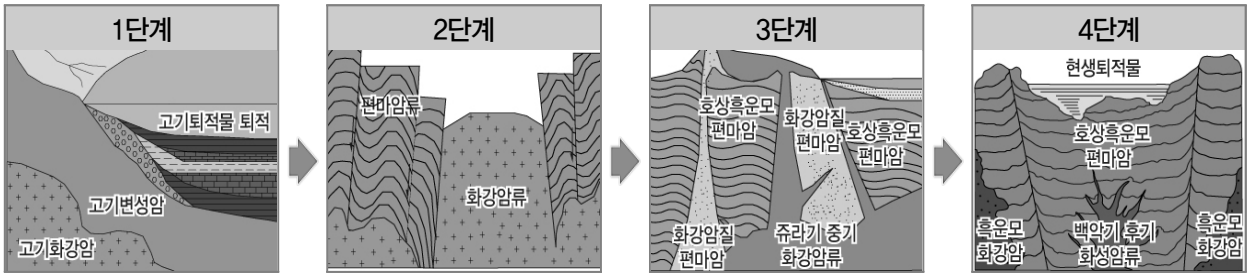
- 사업구간은 경기육괴 남서부 중간지역에 위치하며, 추가령지구대에 해당함
- 광역구조특성에 의해 발달한 단층구조선을 분석한 결과 사업노선과 추가령지구대가 인접하므로, 추가령 지구대 발달로 형성된 단층과 연관된 2차 전단대 및 선구조(R_1, R_2 type)가 발달할 것으로 예상됨
- 단층출현 시 추가령지구대와의 연관성을 고려하여 사업노선과의 접촉 및 영향성 검토

광역지질도(1:250,000)

검토결과

- 사업구간 일대는 선캠브리아기 호상편마암과 화강편마암을 기반암으로, 중생대 화성활동으로 형성된 화강암과 화산암류로 구성되며, 이들 모두를 부정합으로 덮고 있는 제4기 충적층으로 구성됨
- 쥬라기 ~ 백악기 활발한 화성활동으로 인해 다양한 관입암체 암종 분포를 보임
- 사업구간은 호상편마암이 우세한 지역으로 편마암 내 엽리구조(우백대, 우흑대)들의 발달로 인해 기반암의 공학적 강도 변화 특성을 보임

4.4.2 지구조 변화사 분석



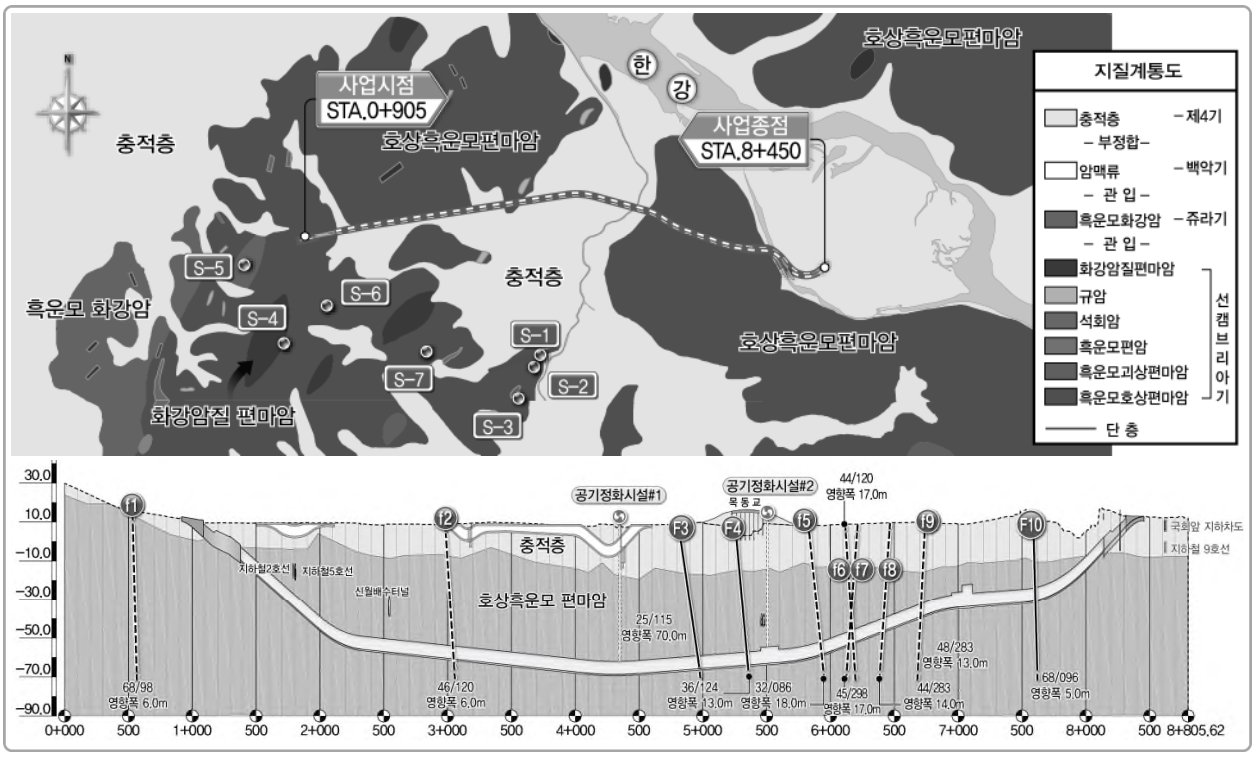
구 분	지 질 특 성	시 기
1 단 계	•천해성 지향사대 근접부로서 이질, 사질, 석회질 고기퇴적물 퇴적후 암석화	선캠브리아기~고생대
2 단 계	•대보조산운동의 영향으로 지반융기 및 광역변성작용에 의한 편마암류 형성 •연성전단대 형성과 관련된 습곡, 단층작용 활발	중생대 초~쥬라기 중기
3 단 계	•쥬라기 중기 화성암류의 관입 및 분출로 인해 편마암류 기반암 피복 및 관입	쥬라기 중~백악기 말기
4 단 계	•융기되었던 지반의 침강 및 침식작용으로 형성된 분지 지형 내 퇴적물 유입 퇴적작용 활발	제3기~현재

분석결과	•사업구간은 화성암의 관입 및 분출, 고생대 변성작용으로 편마암이 우세하게 분포함 •하천인접지역은 풍화대가 발달할 것으로 예상되며 편마암 내에 엽리구조 발달로 강도 이방성을 보임

4.4.3 상세 지표지질조사 결과

기본방향	•사업구간 일대에 분포하는 절리, 단층 등 불연속면의 분포 특성을 조사 •지질이력이 노선 및 구조물에 미치는 영향을 파악하여 U-Type, Box구간 및 터널구간 안정성 검토에 반영 •암석시험결과와 상호 비교함으로써 수직 및 수평적 지질분포 특성을 공간적으로 재평가

지표지질조사에 의한 상세 지질도 작성



분석결과	•사업노선 시점부는 흑운모 화강암, 그 외 지역은 호상 흑운모편마암이 분포함 •안양천 및 샛강 통과 및 인접 지역은 하천의 퇴적작용으로 인해 퇴적층 및 풍화대가 발달할 것으로 예상됨

분포암종 특성

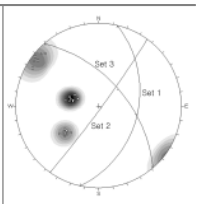
구 분	호상 흑운모편마암	화강암질 편마암	흑운모 화강암
암 종 사 진			
분 포 위 치	•시점부를 제외한 전 구간 지역	•노선 시점부 인접 지역	•노선 시점부 지역
암 상	•암회색 내지 담회색 •우백대 및 우흑대의 교호로 인한 엽리(folation) 발달	•암회색 내지 담회색 •미약하게 엽리구조 발달 •석영, 장석, 흑운모로 구성	•담회색 ~ 담흑색 •다량의 흑운모로 구성 •괴상으로 산출
공학적 특 성	•45도 내외의 엽리구조를 따라 절리면이 발달 •역학적 이방성(평면이방성)이 강함	•역학적 이방성(평면이방성)이 미약하게 존재함 •결정질로 광물로 구성되어 전단 변형시 strain hardeing을 보임	•일축압축강도 100MPa 이상으로 연암 내지 보통암으로 분포 •결정질 광물로 구성되어 전단 변형시 strain hardening을 보임

사업구간 퇴적층 분포특성

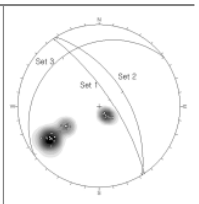
구 분	안양천 통과구간	샛강 통과구관	검 토 결 과
분 포 사 진			•사업구간 안양천 및 샛강 통과 지역은 하천 퇴적작용으로 인한 퇴적층 발달로 토사층 분포 심도가 인접지역에 비해 증가할 것으로 예측됨 •퇴적층 내에 점토 또는 실트 성분 증가로 인해 토사층 전단강도 감소가 예측되며 사업구간 내 터널구간 안정성, 그에 따른 지반침하 등에 영향을 미칠 것으로 판단됨 ⇨ 퇴적층에 대한 상세한 현장 및 실내 시험 계획 수립
분포위치	•안양천 통과구간(목동교)	•샛강 통과구간	
분포특성	•점토 또는 실트섞인 모래로 구성 •4~5m이상의 분포를 보임	•자갈석인 실트질 모래로 구성 •1~10cm 크기 자갈함유	
공 학 적 특 성	•퇴적층 분포 심도 및 점토 성분 증가로 전단강도가 감소	•퇴적층 분포 심도 및 실트 성분 증가로 전단강도가 감소	

불연속면 특성

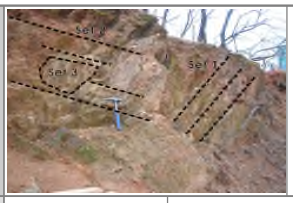
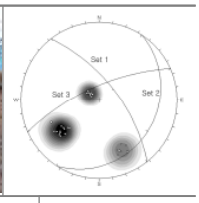
S-1

불연속면 산출 및 방향성			
절 리 군	SET 1	SET 2	SET 3
방 향 성	39/106	88/128	55/050
연장성(m)	0.5~1.2	0.4~0.75	0.2~0.5
간 격(m)	5.0~8.0	6.5~12.0	7.2~15.0
J R C	4~8	6~8	6~10
JCS(MPa)	51~72	54~85	66~89

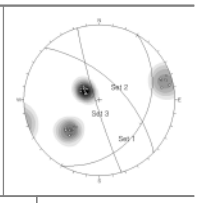
S-2

불연속면 산출 및 방향성			
절 리 군	SET 1	SET 2	SET 3
방 향 성	72/056	16/325	50/058
연장성(m)	1.2~2.5	0.85~1.75	0.5~0.83
간 격(m)	5.3~10.8	6.2~14.8	8.8~21.2
J R C	2~6	6~10	4~6
JCS(MPa)	75~102	68~93	63~91

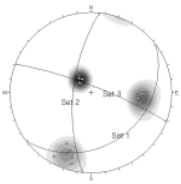
S-3

불연속면 산출 및 방향성			
절 리 군	SET 1	SET 2	SET 3
방 향 성	065/051	18/126	70/338
연장성(m)	1.5~3.1	1.3~1.8	0.8~1.1
간 격(m)	18.0~45.0	12.0~42.0	20.0~58.0
J R C	4~8	2~6	2~6
JCS(MPa)	61~88	55~74	75~93

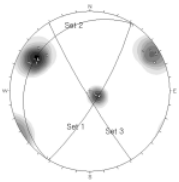
S-4

불연속면 산출 및 방향성			
절 리 군	SET 1	SET 2	SET 3
방 향 성	25/120	59/044	85/254
연장성(m)	3.3~8.3	2.0~5.5	3.8~7.1
간 격(m)	32.0~75.0	10.2~36.0	13.1~58.3
J R C	6~10	4~8	4~8
JCS(MPa)	87~109	72~91	81~99

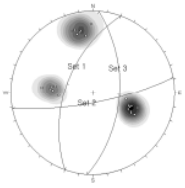
S-5

불연속면 산출 및 방향성			
절리군	SET 1	SET 2	SET 3
방향성	27/140	64/280	78/021
연장성(m)	2.1~7.3	3.2~5.8	0.8~2.2
간격(m)	20~95	40~110	38~85
J R C	2~6	2~6	4~8
JCS(MPa)	94~118	83~106	86~112

S-6

불연속면 산출 및 방향성			
절리군	SET 1	SET 2	SET 3
방향성	75/122	10/305	88/240
연장성(m)	0.2~0.6	0.3~0.92	0.35~0.87
간격(m)	15~32	20~50	28~42
J R C	4~8	6~10	6~8
JCS(MPa)	64~88	63~86	76~95

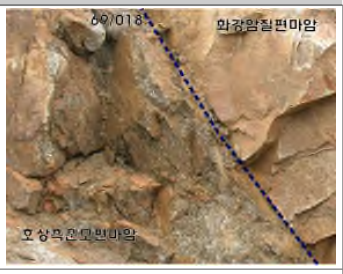
S-7

불연속면 산출 및 방향성			
절리군	SET 1	SET 2	SET 3
방향성	52/291	75/169	55/096
연장성(m)	0.8~2.1	0.25~0.55	0.21~0.84
간격(m)	12.0~25.5	8.2~20.5	10.3~35.0
J R C	8~10	6~8	8~12
JCS(MPa)	61~88	54~85	76~98

검토결과

- 전반적으로 선구조 발달과 밀접한 관계를 갖는 북서 방향과 북동방향의 주향을 갖는 절리 우세
- 인접구간 노두조사 자료만 적용시 원위치 불연속면 특성 왜곡 우려 – 주요구조물 공내검층이 요구됨
- 터널부 구조물과 교차하는 편마암 내 엽리 방향성에 따른 강도 이방성 존재–강도 이방성 시험 수행

단층 및 암종경계 발달 특성

구분	단층	구분	암종경계	검토결과
분포사진		분포사진		• 지표지질조사 결과 안양천 인접지역에 소규모 단층이 발달하므로, 안양천 및 샛강을 따라 주단층 발달이 예측 되므로(NE계열방향) 이 구간 인접지역 일대에 단층 파쇄대가 발달할 것으로 분석됨 ⇨ 시추조사 및 물리탐사 병행으로 노선 영향 검토가 요구됨
방향성	N18E/50NW	분포위치	S-4 노두	
연장성(m)	10.0m이상	방향성	69/018	
폭(cm)	10~25cm	연장성(m)	8.2m이상	
단층대구성	파쇄대 내 1cm미만 점토 충진	폭(cm)	10~20cm	
암종경계	호상흑운모편마암내 발달	암상	호상흑운모편마암 / 화강암질편마암 경계	
운동감각	좌수향 이동, 소규모 단층			

4.5 지진이력 및 강수량 분석

4.5.1 지진이력 분석

기본방향	•지진의 발생빈도 및 규모, 과거의 통계적인 지진발생추이 등을 조사함으로써 내진설계시 기초자료 활용

한반도 지진이력 현황

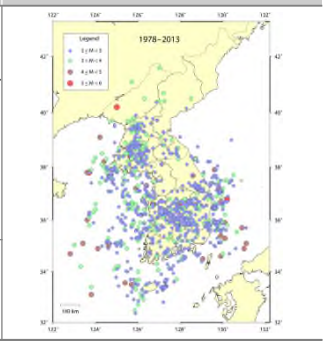
지진 규모별 연평균 발생빈도 비교

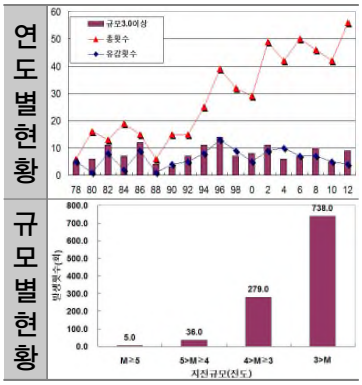
규 모	발생빈도
M < 3	20.5회/년
3 ≤ M < 4	7.8회/년
4 ≤ M < 5	1.0회/년
5 ≤ M < 6	0.1회/년

•우리나라 지진 연평균 29.4회 정도 발생
•규모 3.0 이상의 유감지진 : 연평균 6.8회 정도

•1978~2013년까지 규모 5.0 이상의 지진은 총5회 (1978년 홍성 5.0, 1978년 속리산 5.2, 1980년 의주 5.3, 2003년 백령도 5.0, 2004년 울진 5.2)

2013년도 진앙분포도





사업구간 연도별 최대지진발생 기록

발생일자	발생지역	규모(M)
2001.02.10	경기 여주 남쪽 약20km 지역	2.0
2002.03.25	경기 용인 남쪽 약10km 지역	2.4
2004.08.13	인천 북서쪽 약20km 지역	2.7
2008.03.27	인천 강화 북서쪽 약9km 지역	2.8
2009.03.26	경기 연천 동쪽 약3km 지역	3.7
2010.02.09	경기 시흥시 북쪽 8km 지역	3.0

발생일자	발생지역	규모(M)
2011.06.17	인천 백령도 동남동쪽 약13km 해역	4.0
2012.06.01	인천 덕적도 서남서쪽 약20km 해역	2.6
2013.05.18	인천 백령도 남쪽 약31km 해역	4.9
2013.06.10	인천 백령도 남쪽 약27km 해역	2.1
2013.10.26	인천 백령도 서쪽 24km 해역	2.9
2013.11.10	인천 백령도 남쪽 33km 해역	2.0

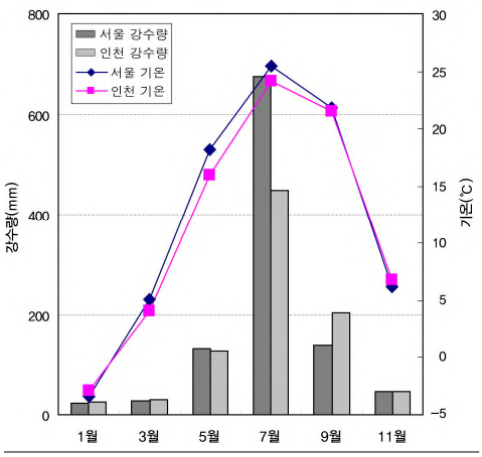
분석결과	•사업구간 인근의 지진규모는 2.0~4.9이며 점차적으로 빈도는 증가양상을 보임

4.5.2 강수량 분석

기본방향	•서울 기상청 및 인천 기상대의 자료를 이용하여 최근 1년 동안의 기온 및 강수량 분석

구 분		서울기상청		인천기상대	
		기온(℃)	강수량(mm)	기온(℃)	강수량(mm)
2013년	1 월	-3.4	22.1	-2.9	25.5
	2 월	-1.2	74.1	-1.4	68.9
	3 월	5.1	27.3	4.1	30.7
	4 월	10.0	71.7	8.9	52.5
	5 월	18.2	132.0	16.0	126.2
	6 월	24.4	28.3	22.2	36.9
	7 월	25.5	676.2	24.1	447.4
	8 월	27.7	148.6	26.9	120.7
	9 월	21.8	138.5	21.5	204.5
	10월	15.8	14.0	15.9	5.2
	11월	6.2	46.9	6.8	45.8
	12월	-0.2	24.6	0.4	23.4

강수량 분석



분석결과	•우기인 5~9월에 강수가 집중되며 월별 최대 강수량은 서울지역에 676.2mm 강우

제5장 상세조사 결과

5.1 지층분포 특성 조사

기본방향	•사업구간에 계획된 구조물에 대한 시추조사를 통해 지층분포상태 및 기반암 발달특성 파악 •실내시험을 위한 암석, 토사시료채취 및 각종 원위치시험을 실시하여 설계에 필요한 자료제공

5.1.1 조사현황

5.1.2 시추조사

지층분포현황

기본설계

구 분		층 후(m) 토사층	층 후(m) 풍화대	기반암출현 심도(m)	시추 심도(m)
터널부	NTB-1	13.5	5.0	18.5	21.0
	NTB-2	13.5	4.5	18.0	20.5
	NTB-3	13.5	4.2	17.7	21.8
	NTB-4	5.5	2.3	7.8	16.0
	NTB-5	14.5	3.5	–	18.0
	NTB-6	17.5	2.5	–	20.0
	NTB-7	16.0	11.0	27.0	33.3
	NTB-8	15.5	14.2	29.7	45.6
	NTB-9	17.8	27.7	45.5	48.5
	NTB-10	24.0	0.5	24.5	82.0
	NTB-11	19.5	6.5	26.0	64.5
	NTB-12	24.7	7.8	32.5	74.0
	NTB-13	25.3	3.4	28.7	82.3
	NTB-14	21.5	13.0	34.5	75.0
	NTB-15	22.0	9.2	31.2	72.0

구 분		층 후(m) 토사층	층 후(m) 풍화대	기반암출현 심도(m)	시추 심도(m)
터널부	NTB-16	17.6	6.5	24.1	68.3
	NTB-17	19.6	2.9	22.5	63.0
	NTB-18	21.8	11.2	33.0	66.0
	NTB-19	21.8	11.2	33.0	63.5
	NTB-20	23.6	12.4	36.0	60.0
	NTB-21	23.8	7.5	31.3	56.0
	NTB-22	22.5	2.9	25.4	52.0
	NTB-23	19.8	1.7	21.5	49.0
	NTB-24	21.5	5.1	26.6	49.0
	NTB-25	23.5	9.2	32.7	48.5
	NTB-26	22.8	9.2	32.0	46.0
	NTB-27	16.3	7.7	24.0	41.0
	NTB-28	15.7	8.9	24.6	38.0
	NTB-29	14.4	0.8	15.2	38.0
	NTB-30	13.6	8.2	21.8	34.0

구 분		층 후(m)		기반암출현 심도(m)	시추 심도(m)
		토사층	풍화대		
개착부	NBB-1	9.0	14.0	–	23.0
	NBB-2	9.5	24.5	–	34.0
	NBB-3	11.5	12.2	23.7	26.7
	NBB-4	12.7	8.7	21.4	24.0
개착부	NBB-5	22.3	4.7	27.0	30.0
	NBB-6	20.0	5.5	25.5	28.5
	NBB-7	20.5	19.5	–	40.0
	NBB-8	20.8	18.2	–	39.0

실시설계

구 분		층 후(m)		기반암출현 심도(m)	시추 심도(m)
		토사층	풍화대		
터널부	ATB-1	13.0	1.0	14.0	30.0
	ATB-2	13.6	2.9	16.5	35.5
	ATB-3	8.7	3.9	12.6	68.2
	ATB-4	14.7	7.0	21.7	67.5
	ATB-5	16.5	3.0	19.5	73.0
	ATB-6	18.8	–	18.8	78.0
	ATB-7	24.6	0.8	25.4	80.2
	ATB-8	21.7	6.3	28.0	81.2
	ATB-9	21.3	–	21.3	83.2
	ATB-10	20.0	10.7	30.7	82.3
	ATB-11	22.8	7.5	30.3	81.0
	ATB-12	23.4	3.4	26.8	77.5
	ATB-13	22.6	13.9	36.5	73.0
	ATB-14	24.0	9.4	33.4	68.3
	ATB-15	24.3	3.8	28.1	62.5
	ATB-16	20.8	0.5	21.3	58.2
	ATB-17	23.5	1.9	25.4	59.1
	ATB-18	23.2	5.3	28.5	58.2
	ATB-19	24.7	8.4	32.1	59.2
	ATB-20	19.0	14.0	33.0	57.3
	ATB-21	13.4	4.4	17.8	37.0
	ATB-22	23.5	8.5	32.0	34.2
터널부	NNTB-1	13.4	6.8	20.2	48.0
	NNTB-2	7.7	8.4	16.1	61.3
	NNTB-3	18.7	24.3	43.0	67.0
	NNTB-4	14.5	17.1	31.6	70.0
	NNTB-5	15.8	15.1	30.9	70.0
	NNTB-6	18.6	17.5	36.1	75.1
	NNTB-7	23.0	2.4	25.4	84.5
U-Type 및 Box구간	NNBB-1	7.5	17.5	–	25.0
	NNBB-2	8.0	20.0	–	28.0
	NNBB-3	10.4	24.6	–	35.0
	NNBB-4	10.4	28.5	38.9	41.9
	NNBB-5	10.7	19.3	–	30.0
	NNBB-6	11.6	4.1	15.7	19.0
	NNBB-7	10.9	10.1	–	21.0
	NNBB-8	15.4	5.5	20.9	37.0
	NNBB-9	13.7	3.3	17.0	33.1
	NNBB-10	12.7	1.8	14.5	27.0
	NNBB-11	20.9	6.0	26.9	30.0
보완조사	NATB-1	19.0	23.0	42.0	77.5
	NATB-2	22.8	5.3	28.1	82.2
	NATB-3	23.7	4.8	28.5	79.0
	NATB-4	24.0	7.0	31.0	62.3
	NATB-5	19.5	8.2	27.7	46.1
	NATB-6	18.5	6.9	25.4	45.1
	NATB-7	15.3	10.5	25.8	46.0
	NABB-1	9.0	24.3	33.3	36.3

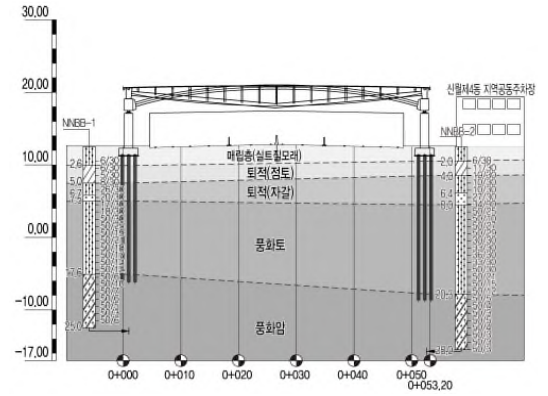
변경설계

구 분		층 후(m)		기반암출현 심도(m)	시추 심도(m)
		토사층	풍화대		
BOX	NNBH-1	11.2	4.6	15.8	20.5
터널	ATBH-1	11.9	7.8	19.8	27.3
터널부	ATBH-2	10.8	6.4	21.0	53.0
	ATBH-3	15.0	4.0	19.0	57.5

조사결과 및 분석

신당보도육교

지 층 단 면 도

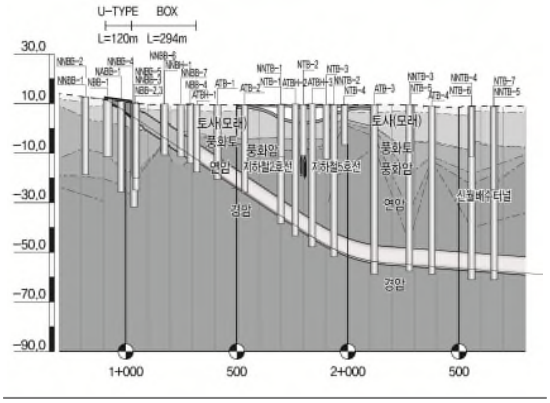


구 분		출현 심도(m)	층후 (m)	USCS/ 분포암종	N값/RQD (%)
매 립 층		0.0	2.0~2.6	SM	6/30
퇴적층	점성토	2.0~2.6	2.0~2.4	CL	5/30~11/30
	모 래	4.0~5.0	2.5~4.0	SM, SP	8/30~27/30
	자 갈	–	–	–	–
풍 화 토		7.5~80	10.1~12.3	SM	17/30~50/10
풍 화 암		17.6~20.3	7.4~7.70이상	WR	50/10~50/3
연 암		–	–	–	–
경 암		–	–		–

•견고한 점성토가 2.0~2.4m의 층후로 분포, 지지층(풍화암)의 출현심도는 17.6~20.3m로 분포

본선 시점부

지 층 단 면 도

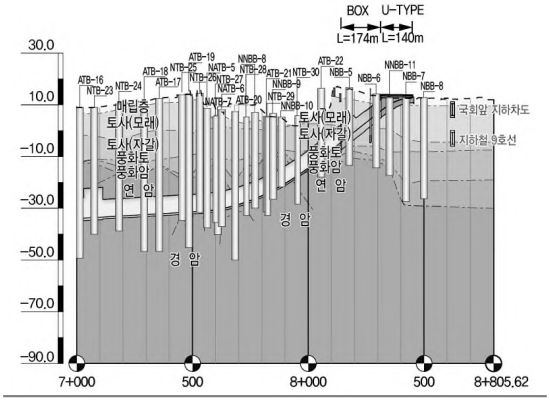


구 분		출현 심도(m)	층후 (m)	USCS/ 분포암종	N값/RQD (%)
매 립 층		0.0	1.7~3.8	SM, SP, SC	1/30~14/30
퇴적층	점성토	1.7~3.8	1.6~13.2	CL, ML	2/30~16/30
	모 래	2.2~15.5	1.2~8.0	SM, SP, SC	4/30~34/30
	자 갈	7.0~15.5	0.5~1.5	GP, GM	15/30~41/30
풍 화 토		5.5~18.7	1.0~18.00이상	SM	9/30~50/9
풍 화 암		7.0~28.0	0.5~15.00이상	WR	50/10~50/2
연 암		7.8~43.0	0.4~39.10이상	편마암	0~66
경 암		16.8~55.7	2.5~51.40이상		11~100

• U-Type 및 Box구간 N값 3/30이상의 연약~보통견고 점성토 분포, 영업소구간,Box하부 풍화대 발달

본선종점 개착구간(Ramp-A, Ramp-B)

지 층 단 면 도

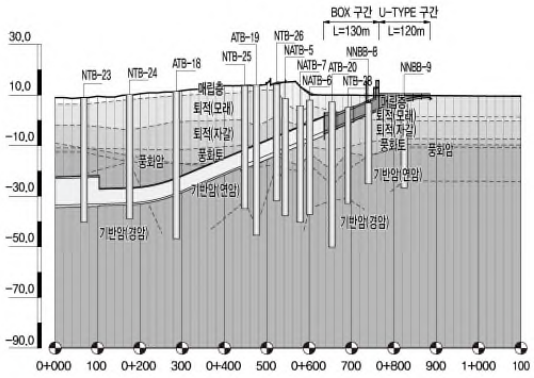


구 분		출현 심도(m)	층후 (m)	USCS/ 분포암종	N값/RQD (%)
매 립 층		0.0	1.5~5.0	SM,ML,SP,GP	2/30~50/11
퇴적층	점성토	1.7~9.4	0.8~4.6	CL, ML	7/30~15/30
	모 래	1.5~7.0	0.7~16.3	SM, SP, SW	2/30~50/12
	자 갈	2.9~17.0	3.8~12.7	GP, GM, GW	13/30~50/6
풍 화 토		13.4~24.7	1.2~12.5	SM, SC	5/30~50/11
풍 화 암		12.7~33.0	0.6~7.00이상	WR	50/10~50/2
연 암		14.0~33.0	2.2~33.70이상	편마암	0~82
경 암		17.1~56.2	1.8~22.40이상		6~100

•종단 계획상 기초저면부는 퇴적 자갈 및 모래층이 분포하며 상부 매립층 분포
•Box구간 기초저면부 퇴적 자갈층 및 모래 분포, U-Type구간 실트질 모래 및 자갈층 분포

➲ 램프 개착구간-여의도 방향(Ramp-C)

지 층 단 면 도

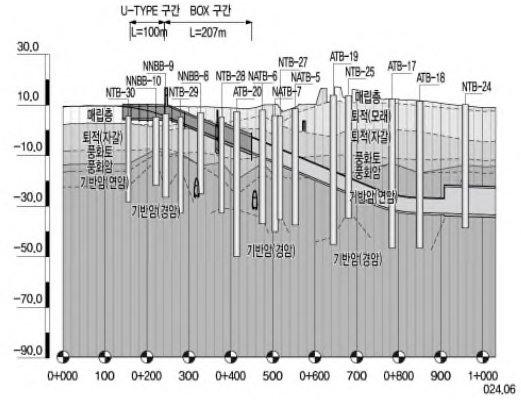


구 분		출현 심도(m)	층후 (m)	USCS/ 분포암종	N값/RQD (%)
매 립 층		0.0	1.7~5.0	SM, SP	2/30~1930
퇴적층	점성토	2.6	1.6	ML	8/30~15/30
	모 래	1.7~5.0	1.6~14.5	SM, SP	2/30~50/22
	자 갈	4.2~16.5	7.1~12.5	GP, GM, GW	15/30~50/6
풍 화 토		13.7~24.7	2.3~8.7	SM	20/30~50/11
풍 화 암		16.0~31.5	0.6~6.6	WR	50/10~50/2
연 암		17.0~33.0	5.9~29.70이상	편마암	0~82
경 암		26.6~56.2	2.0~22.40이상		6~95

•종점 Box~U-Type구간 기초저면부는 퇴적 자갈층이 분포하고 상부에는 매립 모래층 분포

➲ 램프 개착구간-인천 방향(Ramp-D)

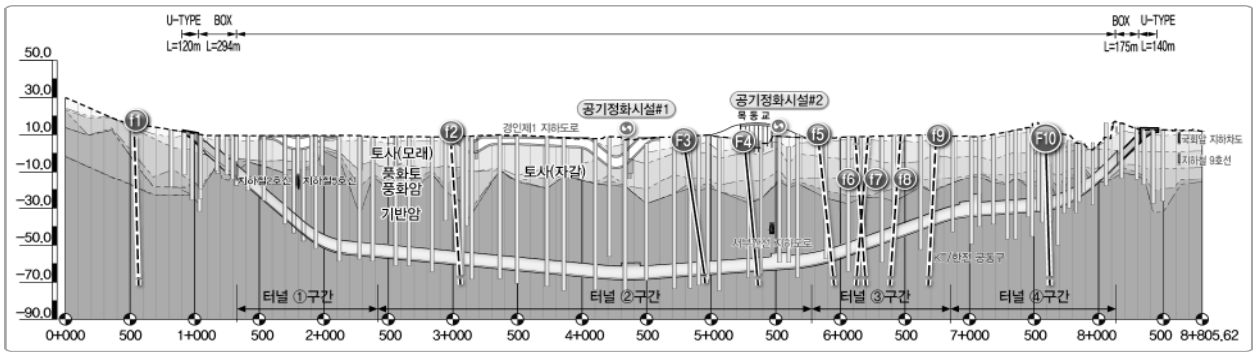
지 층 단 면 도



구 분		출현 심도(m)	층후 (m)	USCS/ 분포암종	N값/RQD (%)
매 립 층		0.0	1.5~5.0	SM	2/30~19/30
퇴적층	점성토	2.6	1.6	ML	8/30~15/30
	모 래	1.5~5.0	0.7~14.5	SM, SP, SW	2/30~50/22
	자 갈	3.6~16.5	7.1~12.7	GP, GM, GW	13/30~50/6
풍 화 토		13.7~24.7	1.2~8.7	SM	20/30~50/11
풍 화 암		12.7~31.5	0.6~6.6	WR	50/10~50/2
연 암		14.5~33.0	2.6~33.70이상	편마암	0~82
경 암		17.1~56.2	1.8~22.40이상		6~100

•Box 구간 N값 13/30~50/6의 퇴적 자갈층이 주로 분포, U-Type 구간 매립 모래층이 분포

➲ 터널구간 지층분석



◉ 터널 ①구간(STA.1+319~2+420)

구 분		출현심도(m)	층후(m)	USCS/분포암종	N값/RQD(%)
매 립 층		0.0	2.2~3.5	SM, SC	1/30~11/30
퇴적층	점성토	2.2~3.8	2.0~13.2	ML, CL	2/30~16/30
	모 래	2.2~12.6	1.2~8.0	SM, SC, SP	4/30~34/30
	자 갈	7.0~13.8	0.7~0.9	GP, GM	30/30~41/30
풍 화 토		5.5~18.7	1.0~9.3 이상	SM	9/30~50/11
풍 화 암		7.0~28.0	0.5~15.0	편마암	50/10~50/2
연 암		7.8~43.0	0.4~27.8 이상	편마암	0~49
경 암		16.8~55.7	2.5~51.4 이상	편마암	23~100

구 분	지 층 분 석
터 널 상 단 0.5H 구 간	•터널상부 0.5H구간은 대부분 연암 및 경암으로 구성 •STA. 1+319구간은 상부 1.0D 상부에 풍화대 분포
터 널 통 과 구 간	•터널통과구간은 시점부는 연암이 STA. 1+750 이후부터는 경암이 우세함 •암반등급 Ⅱ~Ⅳ등급으로 편차가 심함

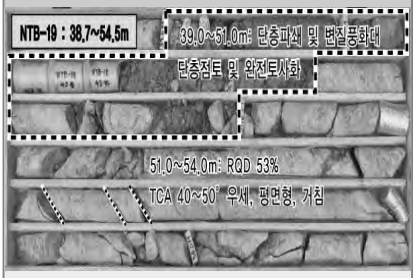
◉ 터널 ②구간(STA.2+420~5+794)

구 분		출현심도(m)	층후(m)	USCS/분포암종	N값/RQD(%)
매 립 층		0.0	1.7~6.7	GP, SM, SC, SP, CL	1/30~50/2
퇴적층	점성토	1.7~6.7	2.0~14.5	CL, ML	1/30~18/30
	모 래	2.5~15.5	1.2~12.3	SP, SM, SC	5/30~50/28
	자 갈	6.0~21.5	0.5~15.1	GP, GM, GW	7/30~50/5
풍 화 토		14.5~25.3	0.5~20.0	SM	11/30~50/8
풍 화 암		18.0~39.0	0.6~16.6	편마암	50/10~50/2
연 암		18.8~45.5	1.0~54.1 이상	편마암	0~88
경 암		22.8~53.7	14.0~60.4 이상	편마암	0~100

구 분	지 층 분 석
터 널 상 단 0.5H 구 간	•터널상부 0.5H구간은 F3 통과구간을 제외하고 대부분 경암으로 분포 •대부분 Ⅰ~Ⅱ등급으로 비교적 양호한 암반상태
터 널 통 과 구 간	•터널통과구간은 대부분 경암으로 분포하며, RQD= 41~100% •안양천과 인접하여 F3, F4 단층대 통과구간(ATB-11, NATB-2, 3, NTB-15)은 단층점토 및 파쇄대 우세

◉ 터널 ③구간(STA.5+794~6+873)

구 분		출현심도(m)	층후(m)	USCS/분포암종	N값/RQD(%)
매 립 층		0.0	1.1~3.9	SM, SC, ML, CL	2/30~50/21
퇴적층	점성토	1.3~2.6	1.1~9.6	ML, CL	2/30~12/30
	모 래	2.0~12.2	2.6~11.8	SM, SP	4/30~50/11
	자 갈	10.5~14.8	8.0~13.0	GP, GM, GW	10/30~50/6
풍 화 토		21.8~24.3	2.9~11.2	SM	18/30~50/8
풍 화 암		27.5~32.0	0.6~7.0	편마암	50/10~50/2
연 암		25.4~36.5	1.9~26.6 이상	편마암	0~62
경 암		30.0~55.0	11.0~32.5 이상	편마암	0~100

코아박스(NTB-18)	코아박스(NTB-19)	코아박스(NTB-20)
		
•RQD: 0~37%의 단층파쇄대 분포 •단층각력, 단층활면, 점토충진 및 토사화 •단층경사: 40~50°	•39.0~51.0m: 단층파쇄로 인한 변질 풍화대, 단층점토 및 토사화 구간 •단층대 하부 RQD는 53%로 암질 양호	•f8단층대로 단층각력 및 단층활면 발달 •단층파쇄구간 RQD: 15~45% •단층경사 40~50° 우세

구 분	지 층 분 석
터널상단 0.5H구간	•터널상부 0.5H구간은 대부분 경암으로 구성 •③구간 종점부인 STA. 6+800 주변부는 암질상태가 불량한 연암이 깊게 분포
터널 통과구간	•터널통과구간은 대부분 경암으로 분포, 암반등급은 Ⅱ~Ⅲ등급으로 양호함 •터널상부에서 단층파쇄대를 확인하였으나, 통과구간 하부까지 연장성은 확인되지 않음

◉ 터널 ④구간(STA.6+873~8+160)

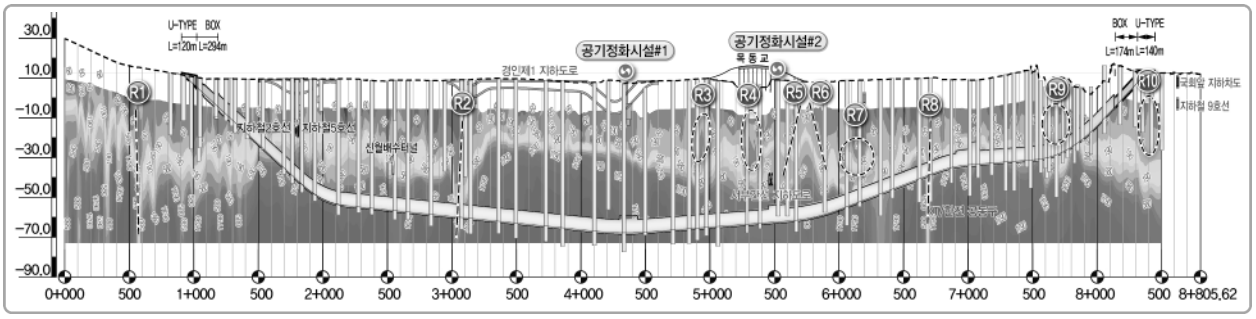
구 분		출현심도(m)	층후(m)	USCS/분포암종	N값/RQD(%)
매립층		0.0	1.5~5.0	SP, SM, ML	2/30~19/30
퇴적층	점성토	1.7~7.5	0.8~3.3	CL, ML	7/30~15/30
	모래	1.5~5.0	0.7~14.5	SP, SM	2/30~50/22
	자갈	2.9~16.5	7.1~12.7	GP, GM, GW	13/30~50/6
풍화토		13.4~24.7	0.5~8.7	SM, SC	5/30~50/11
풍화암		12.7~31.5	0.6~6.6	편마암	50/10~50/2
연암		14.5~33.0	2.2~33.7 이상	편마암	0~82
경암		17.1~56.2	1.8~24.9 이상	편마암	6~100

구 분	지 층 분 석
터널상단 0.5H구간	•터널상부 0.5H구간은 대부분 퇴적(모래, 자갈)층, 풍화토, 풍화암, 연암 및 경암으로 구성 •STA. 7+645부터 토사, 풍화암 우세
터널 통과구간	•STA. 7+667까지 연암이 우세하고 이후로 풍화토, 풍화암이 주로 분포 •ATB-17~19, NATB-5, 7부근에는 암질상태가 불량한 연암이 깊게 분포

5.1.3 고출력전기비저항 탐사

기본방향	•기반암의 분포 특성 및 저비저항이상대 구간을 파악하기 위하여 전구간 8.5km 탐사수행 •지표지질조사와 시추조사의 결과를 비교·보완하여 미시추구간을 포함하는 연속적 지층구조 파악

단면도

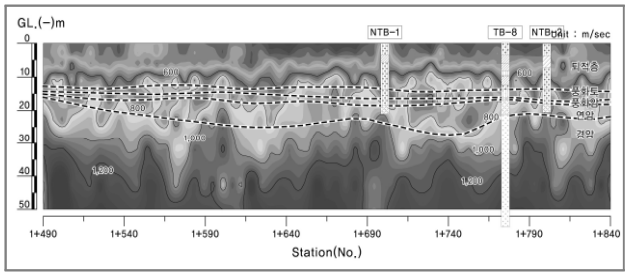


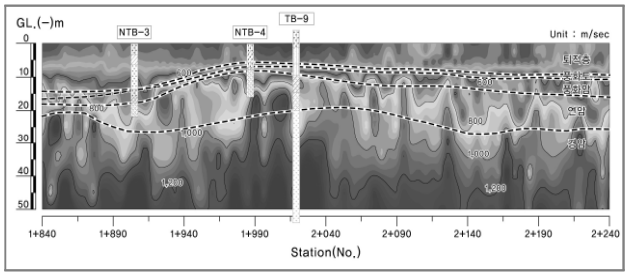
분석결과	• 탐사결과 저비저항 이상대 분포구간 10개소(R1~R10) 확인 • 선구조분석 및 지표지질조사 결과와의 연관성 및 연장방향 추정 ⇨ 시추조사 위치 결정

5.1.4 상시미진동탄성파 탐사

기본방향	•일반적 굴절법탄성파 탐사는 대형차량 및 주변소음에 의한 진동으로 도심지 구간에서는 부적합하므로 상시미진동을 이용한 굴절법 탐사를 수행하여 보다 정확한 지층분포 파악

경인 제2지하차도구간

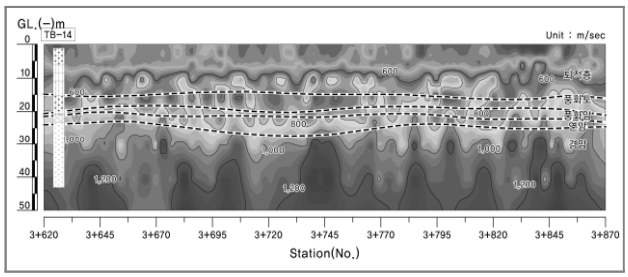




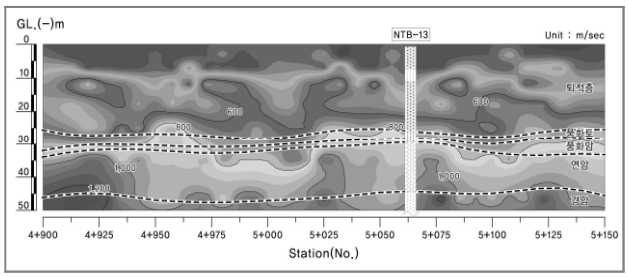
구 분	토사층	풍화암	연 암	경암출현
속도(m/sec)	600이하	600~800	800~1,200	1,200이상
층 후 (m)	14.5~16.6	0.7~2.9	2.0~9.4	18.0~26.9
비 고	•STA.1+580부근 저속도대 분포			

구 분	토사층	풍화암	연 암	경암출현
속도(m/sec)	600이하	600~800	800~1,200	1,200이상
층 후 (m)	6.9~17.3	0.9~4.1	2.4~14.3	19.1~26.6
비 고	•STA.1+950부근 저속도대 분포			

경인 제1지하차도 구간



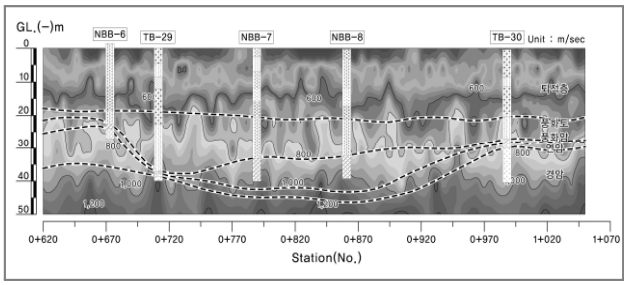
양천로 구간



구 분	토사층	풍화암	연 암	경암출현
속도(m/sec)	600이하	600~800	800~1,200	1,200이상
층 후 (m)	16.9~19.0	1.2~3.2	2.2~5.7	22.1~26.0
비 고	•STA.3+825부근 저속도대 분포			

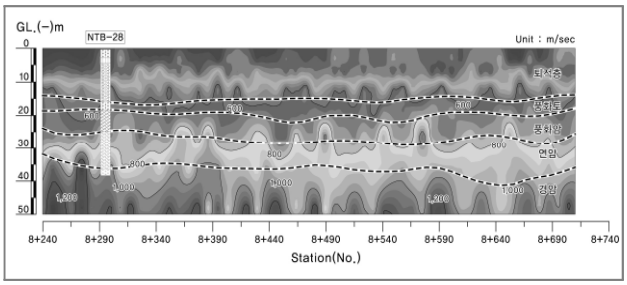
구 분	토사층	풍화암	연 암	경암출현
속도(m/sec)	600이하	600~800	800~1,200	1,200이상
층 후 (m)	30.8~33.9	1.2~5.2	10.0~15.4	45.8~49.3
비 고	•STA.5+050부근 저속도대 분포			

노들로 구간



구 분	토사층	풍화암	연 암	경암출현
속도(m/sec)	600이하	600~800	800~1,200	1,200이상
층 후 (m)	22.0~37.6	0.7~11.7	1.0~11.6	36.0~46.2
비 고	•전반적으로 풍화대 발달			

종점부 개착구간



구 분	토사층	풍화암	연 암	경암출현
속도(m/sec)	600이하	600~800	800~1,200	1,200이상
층 후 (m)	22.7~26.5	5.8~8.4	7.1~11.7	39.1~41.3
비 고	•자갈층 깊게 분포			

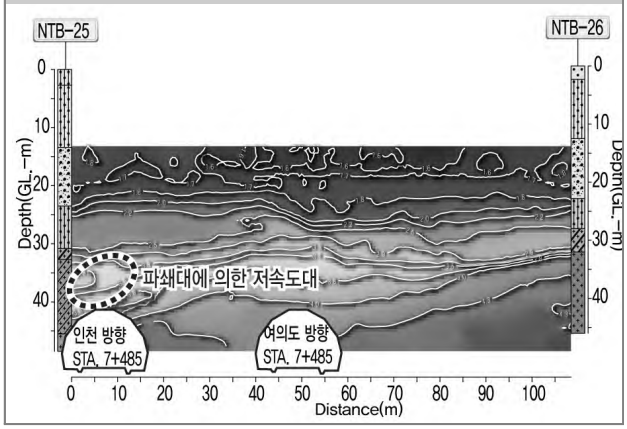
분석결과
- S파의 속도분포는 200~1,700m/sec의 범위를 보임
- 지층별 탄성파속도는 토사층 600m/sec 이하, 풍화암 600~800m/sec, 기반암 800m/sec 이상

5.1.5 탄성파토모그래피 탐사

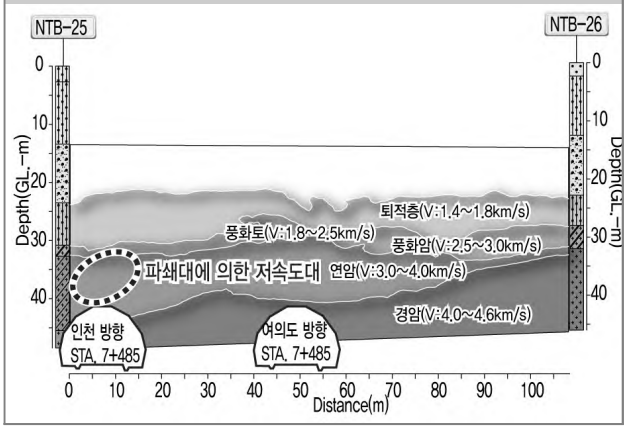
기본방향
- 지반의 탄성파 속도(V_p)를 파악하여 시추 구간의 지층 상태 및 저속도 이상대 분포 현황 파악
- 노선의 횡방향 탐사를 통한 지층 급변 구간의 지층 분포 단면 획득

탐사 결과 및 분석

탄성파토모그램

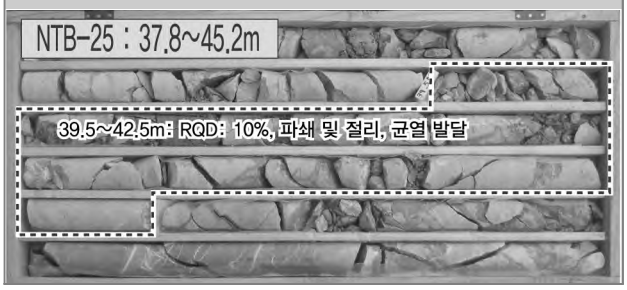


속도분포대(V_p)



NTB-25

NTB-25



분석결과
- 탐사결과 1.4~4.6km/sec의 탄성파 속도분포를 보이며, 대체로 심도에 따라 증가하는 경향을 보임
- 퇴적층은 1.4~1.8km/sec, 풍화토는 1.8~2.5km/sec, 풍화암은 2.5~3.0km/sec, 연암은 3.0~4.0km/sec, 경암은 4.0~4.6km/sec의 속도분포를 보이며, 높은 속도내에 국부적으로 존재하는 저속도대는 파쇄대에 의한 영향으로 보임

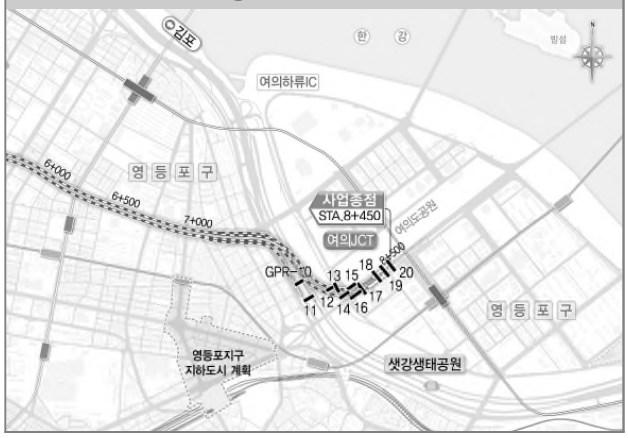
5.1.6 GPR탐사

기본방향	•U-Type 옹벽 및 개착구간에 위치하는 지장물 현황에 대한 매설심도 정밀조사 실시(12측선) •현황분석시 파악된 지장물의 실제위치 및 매설심도 파악

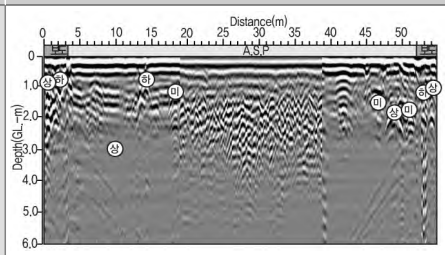
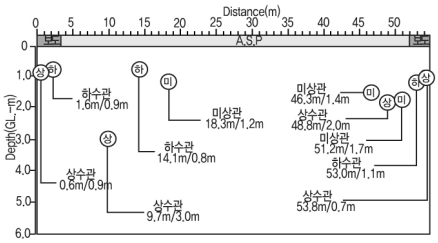
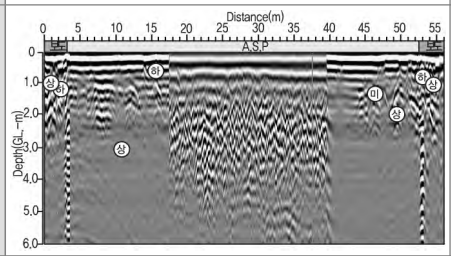
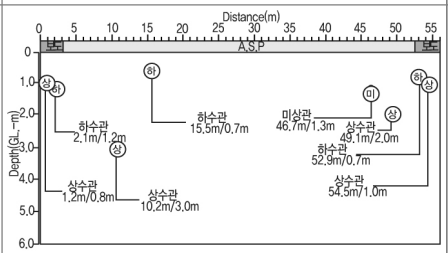
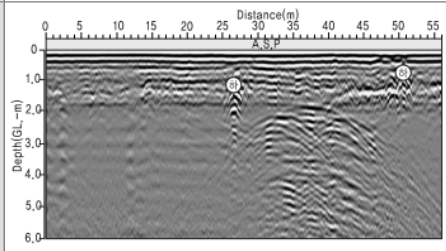
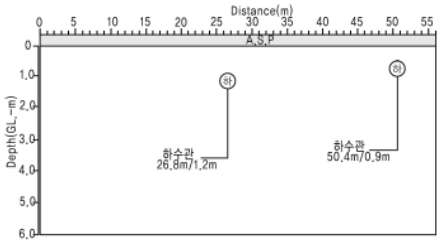
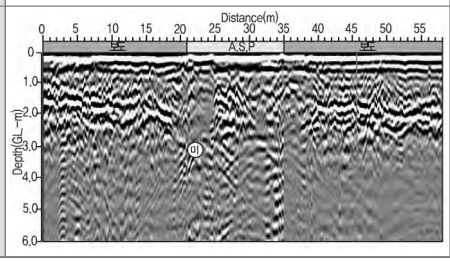
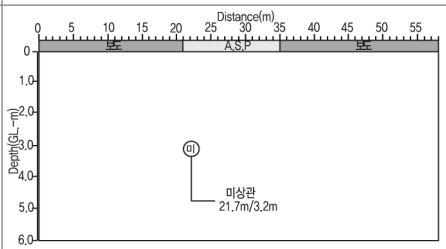
탐사위치 및 현황(기본설계)

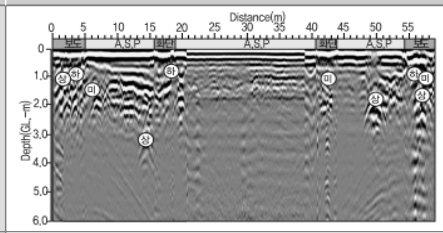
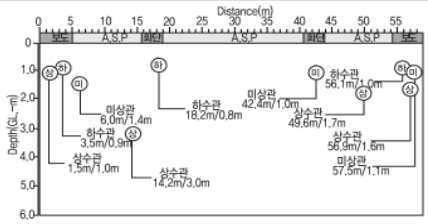
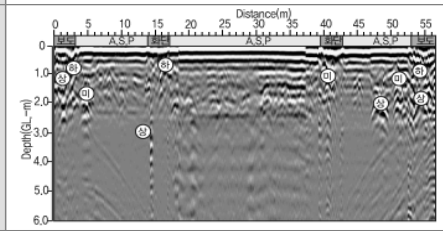
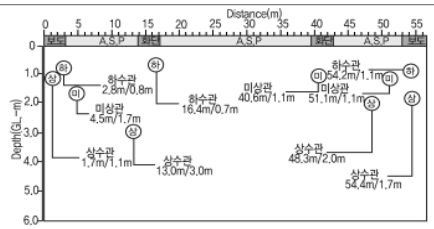
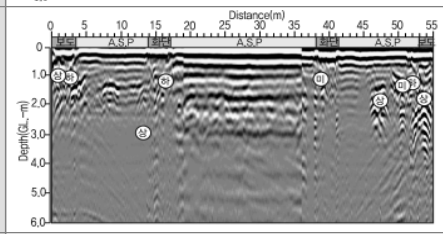
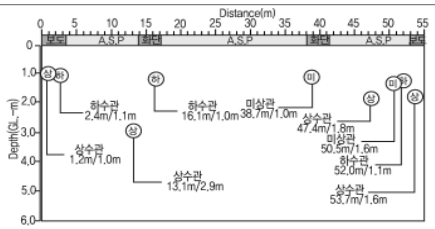
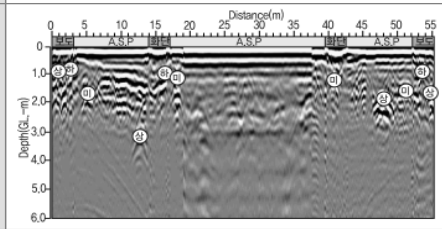
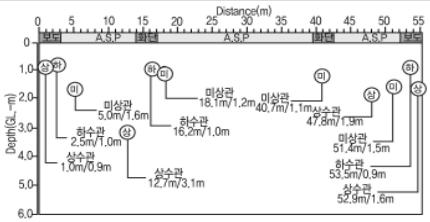
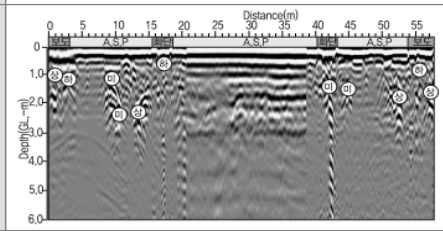
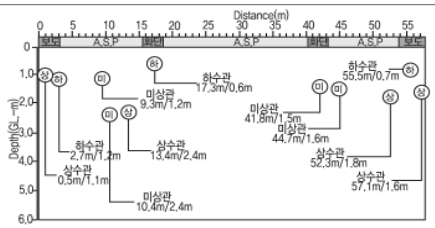
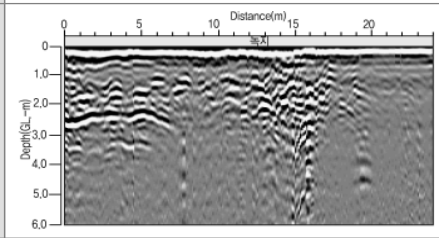
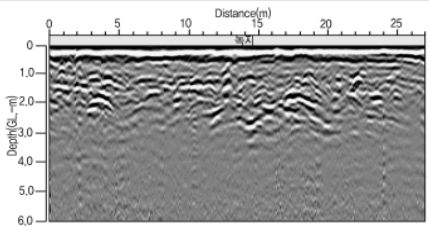
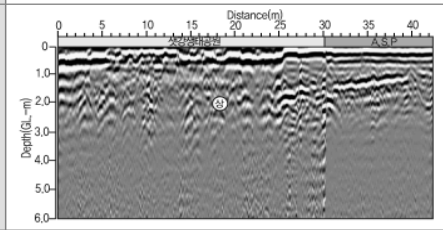
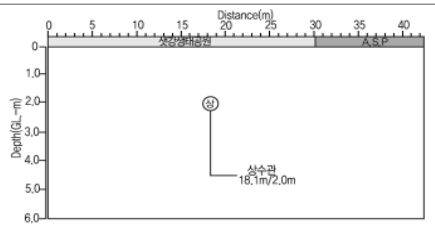
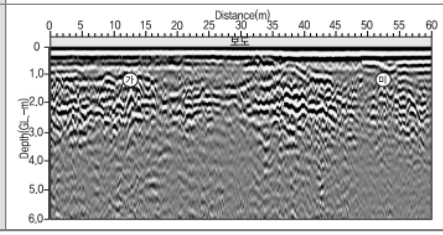
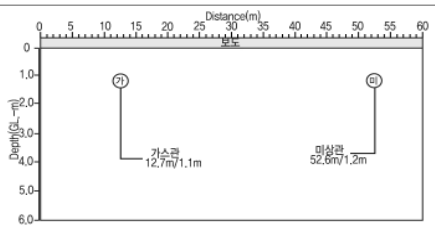
시점부 개착구간

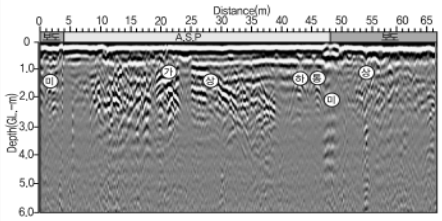
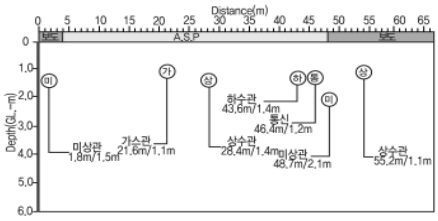
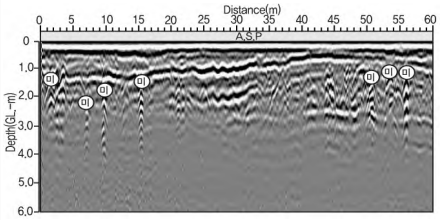
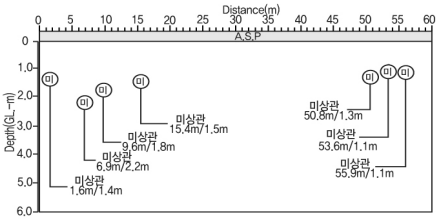
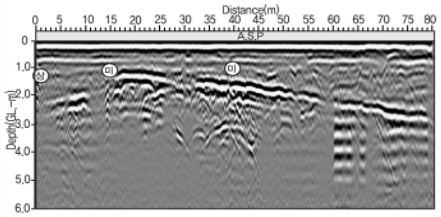
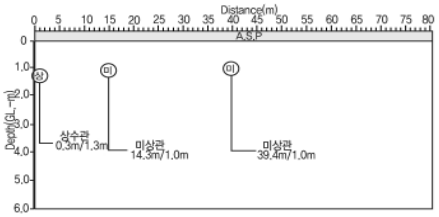
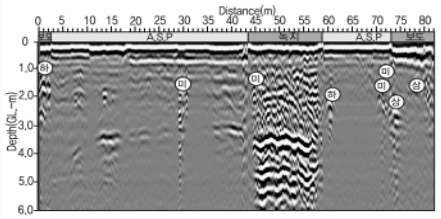
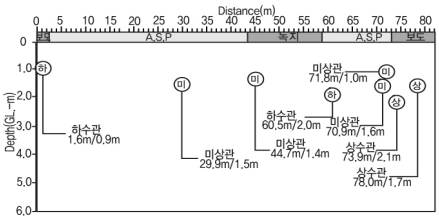
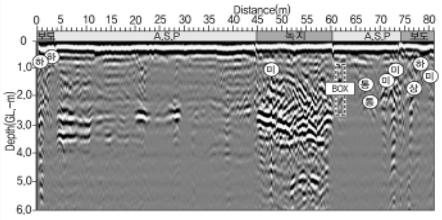
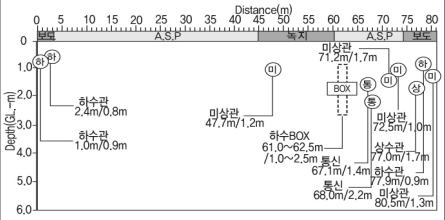
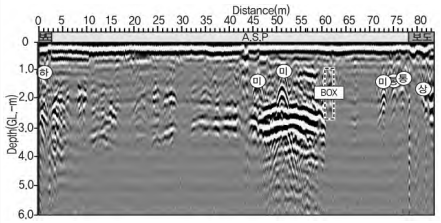
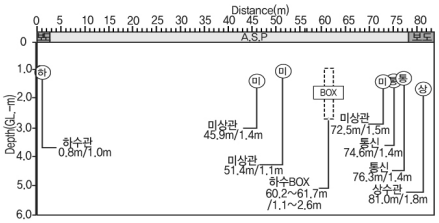
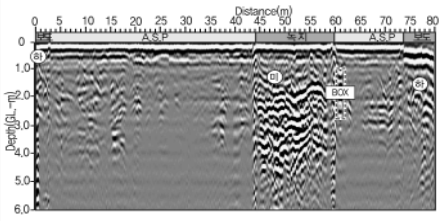
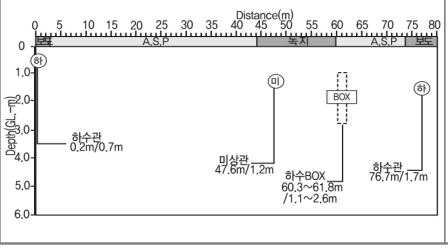
종점부 램프구간



탐사결과 및 분석(기본설계)

측 선	탐사결과		분포심도(GL.-m)
GPR-1 (여의도 0+900.0)			•상수도 : 0.7~3.0m •하수도 : 0.8~1.1m •미상관 : 1.2~1.7m
GPR-2 (여의도 0+929.6)			•상수도 : 0.8~3.0m •하수도 : 0.7~1.2m •미상관 : 1.3m
GPR-3 (인 천 0+991.9~ 1+087.5)			•하수도 : 0.9~1.2m
GPR-4 (여의도 0+918.8~ 1+094.4)			•미상관 : 3.2m

측 선	탐사결과		분포심도(GL.-m)
GPR-5 (여의도 1+100.5)			•상수도 : 1.0~3.0m •하수도 : 0.8~1.0m •미상관 : 1.0~1.4m
GPR-6 (여의도 1+122.3)			•상수도 : 1.1~3.0m •하수도 : 0.7~1.1m •미상관 : 1.1~1.7m
GPR-7 (여의도 1+241.8)			•상수도 : 1.0~2.9m •하수도 : 1.0~1.1m •미상관 : 1.0~1.6m
GPR-8 (여의도 1+359.7)			•상수도 : 0.9~3.1m •하수도 : 0.9~1.0m •미상관 : 1.1~1.6m
GPR-9 (여의도 1+439.6)			•상수도 : 1.1~2.4m •하수도 : 0.6~1.2m •미상관 : 1.2~2.4m
GPR-10 (Ramp-C 0+738.9) ~ GPR-11 (Ramp-C 0+824.5)			-
GPR-12 (Ramp-C 0+955.4)			•상수도 : 2.0m
GPR-13 (여의도 8+035.2)			•가스 : 1.1m •미상관 : 1.2m

측 선	탐사결과		분포심도(GL.-m)
GPR-14 (여의도 8+099.8)			•상수도 : 0.1~1.4m •하수도 : 1.4m •가스 : 1.1m •미상관 : 1.2~1.5m
GPR-15 (여의도 8+157.0)			•미상관 : 1.1~2.2m
GPR-16 (여의도 8+258.3)			•상수도 : 1.3m •미상관 : 1.0m
GPR-17 (인 천 8+170.5 ~8+268.4)			•상수도 : 1.7~2.1m •하수도 : 0.9~2.0m •미상관 : 1.0~1.5m
GPR-18 (여의도 8+188.9 ~8+281.0)			•상수도 : 1.7m •하수도 : 0.6~0.9m •통신 : 1.4~2.2m •하수Box : 1.0~2.5m •미상관 : 1.0~1.7m
GPR-19 (여의도 8+363.3)			•상수도 : 1.8m •하수도 : 1.0m •통신 : 1.4m •하수Box : 1.1~2.6m •미상관 : 1.1~1.5m
GPR-20 (여의도 8+513.5)			•하수도 : 0.8~1.7m •하수Box : 1.1~2.6m •미상관 : 1.2m

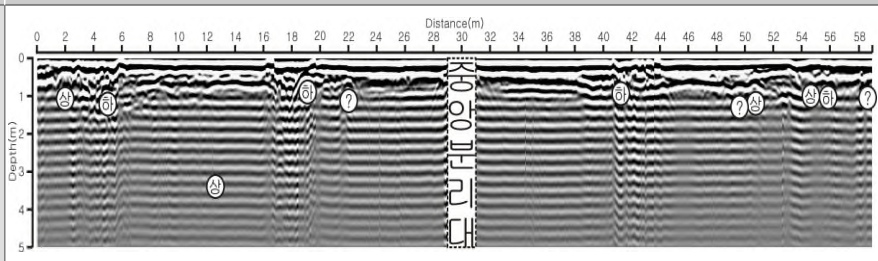
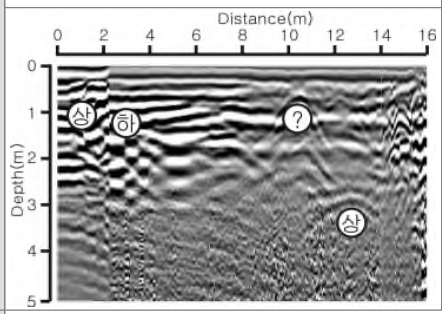
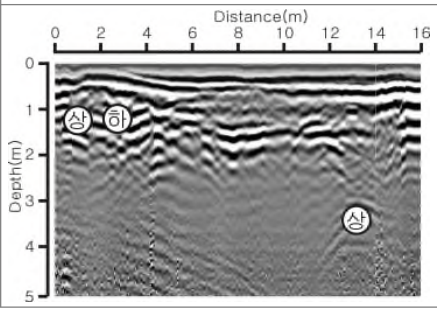
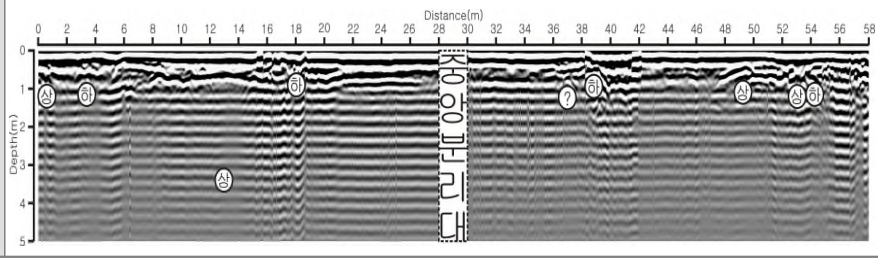
실시설계

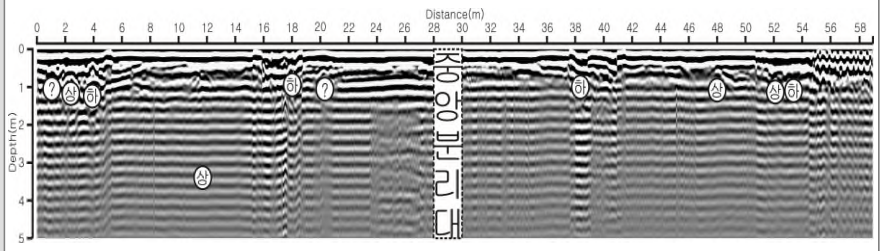
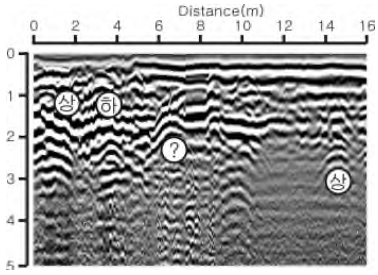
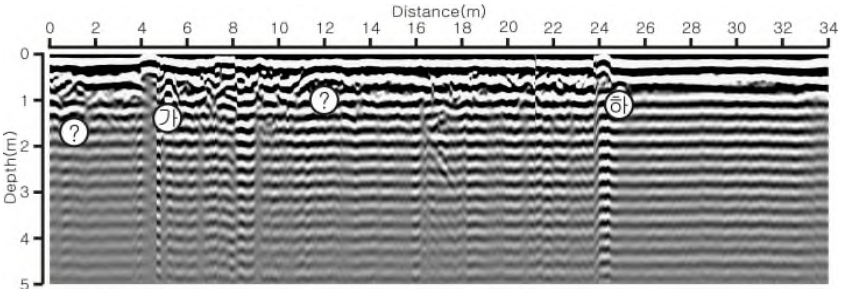
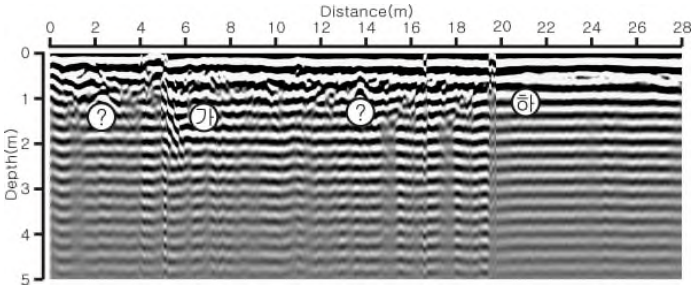
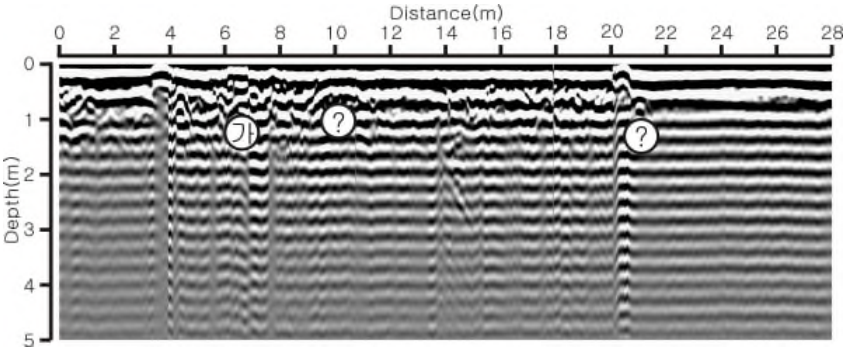
시점부 개착구간

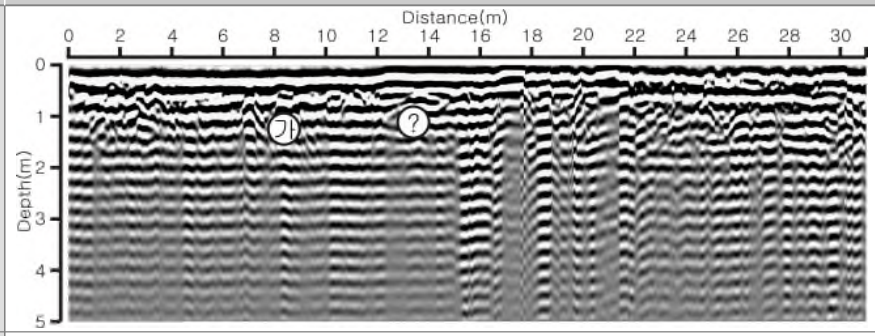
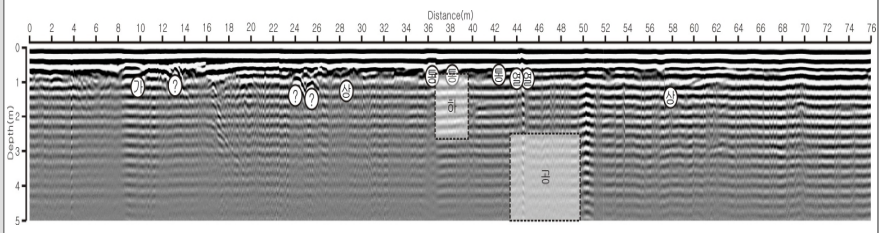
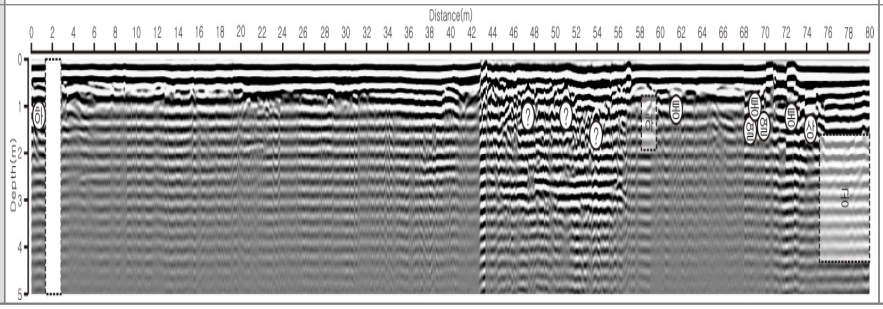
환기탑 #1

환기탑 #2

종점부 램프구간

측 선	탐사결과	분포심도(GL.-m)
GPR-1 (여의도 1+120.0)		•상수도 : 0.7~3.1m •하수도 : 0.6~0.9m •미상관 : 0.7~1.0m
GPR-1-1 (여의도 1+063.5) GPR-1-2 (여의도 1+104.2)	GPR-1-1  GPR-1-2 	GPR-1-1 •상수도 : 0.8~3.1m •하수도 : 0.9m •미상관 : 1.8m GPR-1-2 •상수도 : 0.9~3.1m •하수도 : 0.8m
GPR-2 (여의도 1+162.6)		•상수도 : 0.7~3.1m •하수도 : 0.6~0.8m •미상관 : 0.9m

측 선	탐사결과	분포심도(GL.-m)
GPR-3 (여의도 1+120.0)		•상수도 : 0.7~3.1m •하수도 : 0.6~0.9m •하수Box : 0.7m •미상관 : 0.7m
GPR-3-1 (여의도 1+277.2)		•상수도 : 0.8~2.8m •하수도 : 0.8m •미상관 : 2.0m
GPR-4 (여의도 4+340.7)		•하수도 : 0.7m •가스관 : 1.1m •미상관 : 1.3~1.4m
GPR-5 (여의도 4+359.0)		•하수도 : 0.8m •가스관 : 1.1m •미상관 : 1.0~1.1m
GPR-6 (여의도 5+487.4)		•가스관 : 0.9m •미상관 : 0.7~1.0m

측 선	탐사결과	분포심도(GL.-m)
GPR-7 (여의도 5+488.1~ 5+517.3)		•가스관 : 0.9m •미상관 : 0.7m
GPR-8 (여의도 8+177.9)		•상수도 : 0.9~1.1m •하수Box : 0.7~2.5m •가스관 : 0.8m •통신관 : 0.6~0.7m •난방 : 0.8m •공동구 : 2.8~5.3m •미상관 : 0.7~1.2m
GPR-9 (여의도 8+441.0)		•상수도 : 1.2m •하수도 : 0.9m •하수Box : 0.7~2.9m •통신관 : 0.7~0.9m •난방 : 0.6m •공동구 : 1.6~4.4m •미상관 : 0.9~1.3m

구 분	연 장(m)	지장물 수량	분포심도(m)
GPR-1	59.0	11	0.6~3.1
GPR-1-1	16.0	4	0.8~3.1
GPR-1-2	16.0	3	0.8~3.1
GPR-2	58.0	9	0.6~3.1
GPR-3	59.0	12	0.6~3.1
GPR-3-1	16.0	4	0.8~2.8
GPR-4	34.0	4	0.7~1.4
GPR-5	28.0	4	0.8~1.1
GPR-6	28.0	3	0.7~1.0
GPR-7	31.0	2	0.7~0.9
GPR-8	76.0	13	0.6~5.3
GPR-9	80.0	12	0.6~4.4

분석결과	
	•지하매설물 탐사결과 상수관, 가스, 통신, 하수관, 하수Box, 그 밖의 미상관이 GL.(-) 0.6~5.3m 심도에서 분포 •측선 GPR-10~11번은 지장물도와 현장에서 육안으로 하수Box가 관찰되나, 탐사결과 전자기적 회절반응은 관찰되지 않음, 현장 여건상 매설물 상부 매립층의 매질특성(불균질한 매질, 자갈 등에 의한 반사, 높은 전기전도도 등)의 영향으로 전자기파의 투과심도가 3~4m 정도이며, 하수Box로 판단되는 전자기적 반응은 나타나지 않음 •G-10(8.5~14.5m), G-11(12.0~18.0m) 구간은 지장물 분포를 고려한 시공계획 수립

5.2 변형 및 강도특성 조사

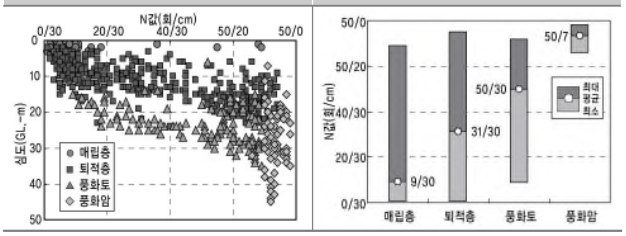
5.2.1 표준관입시험

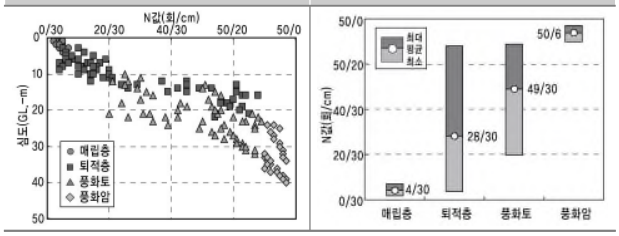
기본방향	•계획구간에 대한 N값의 수직적 분포상태를 파악하여, 지층의 분포상태, 연경도 및 상대밀도 파악 •경험식 분석을 통한 토사층의 강도 및 변형특성 분석 및 실내시험을 위한 시료채취

시험결과

구 분	지층명	N값(회/cm)	상대밀도/연경도	통일분류
터 널 구 간	매립층	2/30~50/10	매우느슨~매우조밀	GP, SM, SC, ML, CL
	퇴적층	2/30~50/2	매우느슨~매우조밀/연약~매우견고	GP, GM, SP, SM, SC, ML, CL
	풍화토	9/30~50/11	느슨~매우조밀	SM
	풍화암	50/10~50/2	매우조밀	SM
U-Type 및 Box구간	매립층	2/30~50/10	매우느슨~매우조밀	GM, SP, SM
	퇴적층	2/30~50/6	매우느슨~매우조밀/연약~견고	GP, GM, SP, SM, ML, CL
	풍화토	7/30~50/11	느슨~매우조밀	SM, SC, ML
	풍화암	50/10~50/2	매우조밀	SM

터 널 구 간		U-Type 및 Box구간	
심도별 N값분포	지층별 N값분포	심도별 N값분포	지층별 N값분포





분석결과	•퇴적층의 N값 분포는 터널구간 2/30~50/2, U-Type구간 2/30~50/6로 연경도 변화가 큼 •풍화대 N값 분포는 터널구간 9/30~50/2. 개착구간 7/30~50/2로 느슨~매우조밀한 상태의 모래로 분포

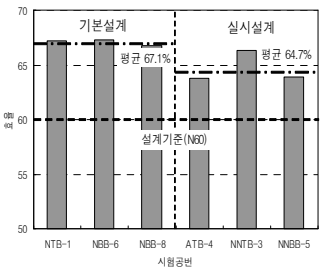
5.2.2 SPT에너지효율 측정

기본방향	•해머의 타격에너지 효율에 대한 보정을 위해 표준관입시험 시 롯드에 전달되는 에너지 측정 •SPT 에너지효율을 측정하여 측정된 N값을 N_{60}으로 보정

시험결과

구 분		햄 머 종 류	심 도 (GL.-m)	지 층	측정N값 (회/cm)	에너지 전달효율(%) 범 위	에너지 전달효율(%) 평 균
기본설계	NTB-1	Auto Hammer	8.0	퇴적층	31/30	66.0~68.2	67.2
	NBB-6		21.0	풍화토	50/14	66.1~68.8	67.3
	NBB-8		12.0	퇴적층	37/30	65.6~68.3	66.8
실시설계	ATB-4		16.0	풍화토	27/30	59.5~74.6	63.8
	NNTB-6		19.0	풍화토	50/30	62.2~71.3	66.3
	NNBB-5		11.0	풍화토	30/30	59.5~69.2	63.9

장비별 에너지효율



분석결과	•SPT에너지 효율측정결과 ETR(%)값은 평균 64.7%를 보임 •N_{60}에 따른 N치를 분석하여 지층별 수정N치 산정 후 설계지반정수 산정에 활용

5.2.3 공내재하시험

기본방향	•시추공벽에 하중을 재하하여 공경변화를 측정함으로써 원지반의 변형계수 파악 •토사층은 Lateral Load Test, 풍화암 및 기반암은 Elastmeter-2, Goodman Jack 시험기 적용

토사 및 풍화암 구간

구 분		심도 (m)	지 층	토질 상태	N값	변형계수 (MPa)
기본설계	NTB-5	3.0	퇴적층	CL	6/30	4.1
		17.0	풍화토	SM	15/30	45.0
	NTB-6	4.0	퇴적층	CL	7/30	5.0
		19.0	풍화토	SM	50/23	51.0
	NTB-7	25.0	풍화암	WR	50/7	365.0
	NTB-12	31.0	풍화토	SM	50/13	85.0
	NTB-13	26.0	풍화토	SM	50/20	57.0
	NTB-29	3.0	퇴적층	SW	7/30	8.3
	NBB-7	5.0	퇴적층	ML	9/30	4.5
		38.0	풍화암	WR	50/4	358.0
	NBB-8	6.0	퇴적층	SM	6/30	6.6

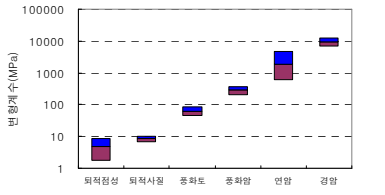
구 분		심도 (m)	지 층	토질 상태	N값	변형계수 (MPa)
실시설계	ATB-1	4.0	퇴적층	CL	7/30	5.3
	ATB-2	4.0	퇴적층	CL	3/30	1.8
	ATB-5	14.0	퇴적층	CL	9/30	8.7
	NNTB-6	6.0	퇴적층	CL	5/30	3.3
	NNTB-3	35.0	풍화암	WR	50/3	307.6
	NNTB-6	25.0	풍화암	WR	50/6	260.0
	ATB-13	33.0	풍화암	WR	50/9	205.7
	ATB-15	6.0	퇴적층	SM	8/30	10.2
	NNBB-9	7.0	풍화암	WR	50/10	262.8

기반암 구간

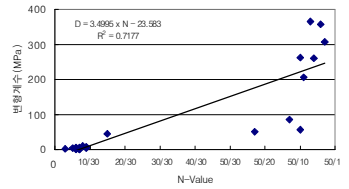
구 분		심 도 (m)	지 층	RQD (%)	변형계수 (MPa)	탄성계수 (MPa)
기본설계	NTB-13	37.0	연암	33	6,565	9,172
		48.0	경암	53	6,948	12,831
	NTB-16	32.0	연암	40	7,550	10,591
		42.0	연암	21	1,104	1,746
	NTB-18	40.0	연암	15	1,071	1,711
	NTB-20	53.0	경암	54	14,288	22,036
	NTB-21	34.0	연암	15	1,084	1,752
	NTB-22	33.0	연암	10	1,035	1,610
	NTB-23	46.0	경암	66	19,342	29,669
	NTB-27	40.0	경암	57	12,232	20,848
	NTB-30	24.0	연암	23	1,097	1,704
	NBB-5	29.0	연암	8	952	1,488
	NBB-6	26.0	연암	3	607	1,019

구 분		심 도 (m)	지 층	RQD (%)	변형계수 (MPa)	탄성계수 (MPa)
실시설계	ATB-1	16.0	연암	14	826	1,281
	ATB-4	47.0	경암	52	12,196	16,124
	ATB-7	50.0	경암	85	6,804	9,451
	NNTB-1	29.0	연암	20	3,305	4,890
	NNTB-2	37.0	경암	75	9,719	12,958
	NNTB-4	41.0	연암	29	4,658	6,385
	ATB-9	68.0	경암	86	8,522	10,319
	ATB-12	29.0	연암	11	1,300	2,215
	ATB-18	43.0	연암	32	3,121	4,817
	ATB-20	39.0	경암	96	9,551	15,574
	NNBB-8	16.0	연암	46	1,105	1,839
	NNBB-10	16.0	연암	15	1,906	2,760
변경	ATBH-2	38.0	연암	40	3,572	5,303

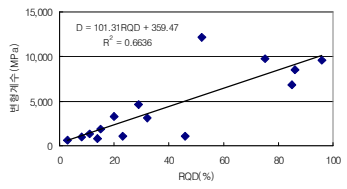
지층별 변형계수



N 값-변형계수



RQD-변형계수



분석결과	•지층별 변형계수 범위는 토사층 1.8~10.2MPa, 풍화암 205.7~307.6MPa, 연암 826~4,658MPa, 경암은 6,804~12,196MPa로 분포, 변형계수는 심도에 따라 증가하는 양상을 보임

5.2.4 공내전단시험

기본방향	•원위치 시추공내에서 전단시험을 시행하여 풍화대의 강도정수(점착력, 내부마찰각) 측정 •Mohr-Coulomb의 파괴기준에 의한 풍화대의 강도정수 평가

시험결과

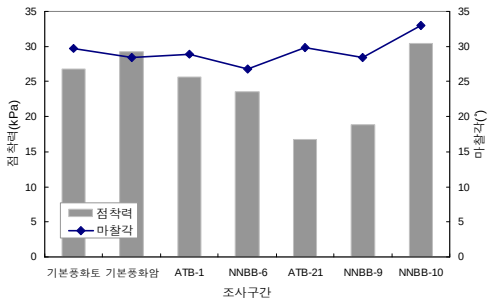
구 분		심 도 (m)	지 층	N값	점착력 (kPa)	마찰각 (°)
기본설계	NTB-2	17.0	풍화토	50/30	27.6	28.3
	NTB-6	18.0	풍화토	50/12	26.2	29.2
	NTB-7	25.0	풍화암	50/7	27.5	33.4
	NTB-10	24.2	풍화토	50/12	28.7	32.7
	NTB-13	26.0	풍화토	50/20	23.4	29.9
	NBB-6	21.0	풍화토	50/14	28.3	28.5
	NBB-7	36.0	풍화암	50/6	31.1	32.9

구 분		심 도 (m)	지 층	N값	점착력 (kPa)	마찰각 (°)
실시설계	ATB-1	13.5	풍화토	50/30	25.6	28.9
	NNBB-6	14.0	풍화토	14/30	23.5	26.8
	ATB-21	14.0	풍화토	50/28	16.7	29.9
	NNBB-9	15.0	풍화토	50/13	18.8	28.4
	NNBB-10	14.0	풍화암	50/4	30.4	33.0
변경	ATBH-2	18.0	풍화토	50/25	23.5	26.8

결과분석

구 분		점착력(kPa)	마찰각(°)
풍화토	기본설계	23.4~28.7 (26.8)	28.3~32.7 (29.7)
	실시설계	16.7~25.6 (21.2)	26.8~29.9 (28.5)
	변경설계	23.5	26.8
풍화암	기본설계	27.5~31.1 (29.3)	32.9~33.4 (33.2)
	실시설계	30.4	33.0

점착력 – 내부마찰각



분석결과	•풍화토의 점착력은 16.7~25.6kPa(평균 21.2kPa), 내부마찰각은 26.8~29.9° (평균 28.5°) •풍화암의 점착력은 30.4kPa, 내부마찰각은 33.0°

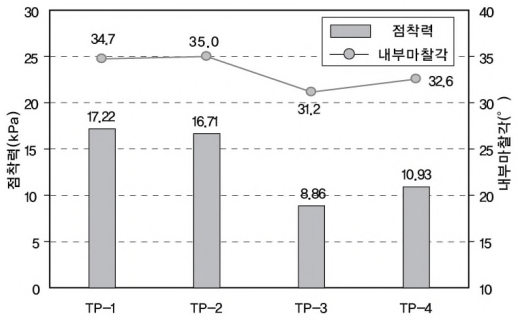
5.2.5 직접전단시험

기본방향	•시료의 변형에 따른 저항력을 측정하여 파괴강도, 잔류강도, 강도정수(c, ϕ)를 결정, 설계정수 산정시 활용

시험결과

구 분	심 도 (GL.-m)	지 층	점착력(kPa)	마찰각(°)
TP-1	1.5	매립층	17.22	34.7
TP-2	1.5	매립층	16.71	35.0
TP-3	2.0	매립층	8.86	31.2
TP-4	2.0	매립층	10.93	32.6

점착력 – 내부마찰각



분석결과	•직접전단시험 결과 점착력 8.86~17.22(kPa), 내부마찰각 31.2~35.0°으로 분포

5.2.6 일축압축강도시험

기본방향	•분포 암종에 대한 암질 및 암반의 물리적 및 강도 특성 파악

시험결과

기본설계

구 분	심 도 (m)	지 층	RQD(%)/ RMR	단위중량 (kN/m³)	흡수율 (%)	일축강도 (MPa)	탄성파속도(m/sec)		탄성계수 (GPa)	포아송비 (υ)
							V_p	V_s		
NTB-1	19.7~19.8	연암	28/45	27.55	0.23	60.1	4,710	2,834	15.46	0.24
NTB-2	18.6~18.7	연암	28/45	25.38	1.48	26.1	2,539	1,562	8.86	0.27
NTB-3	18.4~18.5	연암	23/40	24.31	4.51	23.1	1,956	1,032	5.44	0.30
NTB-4	13.0~13.2	연암	13/34	26.07	1.47	43.3	2,932	1,776	11.70	0.25
NTB-7	31.2~31.4	연암	21/20	26.74	0.38	44.9	4,553	2,871	26.66	0.22
NTB-8	37.3~37.4	연암	55/52	26.34	0.36	61.2	3,907	2,231	14.93	0.24
NTB-9	46.6~46.7	연암	16/35	25.67	1.11	35.4	3,077	1,928	12.89	0.25
NTB-10	52.0~52.1	경암	100/83	26.85	0.10	97.8	5,317	3,196	37.81	0.23
	59.7~60.0	경암	100/83	27.09	0.07	99.5	5,402	3,315	40.19	0.20
NTB-11	28.8~29.0	경암	93/69	27.51	0.23	110.0	4,081	2,600	37.53	0.20
	30.8~30.9	경암	66/59	27.16	0.25	82.4	3,898	2,504	19.18	0.22
	48.3~48.5	경암	100/82	27.02	0.12	79.7	4,643	3,043	20.91	0.23
NTB-12	41.2~41.3	경암	78/68	26.83	0.16	89.4	4,421	2,894	23.79	0.23
NTB-13	57.3~57.4	경암	100/80	27.05	0.27	32.1	5,165	3,003	16.45	0.22
	65.4~65.5	경암	100/83	26.97	0.23	49.9	5,360	3,052	19.13	0.23
NTB-14	56.6~56.8	경암	68/53	26.25	0.48	41.0	4,610	3,034	18.52	0.25
NTB-15	54.6~54.8	경암	91/61	25.92	0.26	40.4	4,147	2,598	13.95	0.28
NTB-17	62.6~62.8	경암	62/62	26.49	0.35	80.2	4,378	2,805	17.83	0.25
NTB-18	59.1~59.3	경암	87/66	26.57	0.13	80.4	4,270	2,598	17.03	0.26
NTB-19	38.6~39.0	연암	33/36	26.64	0.27	87.0	3,965	2,442	15.91	0.24
NTB-20	56.0~56.2	경암	34/47	26.59	0.18	93.9	4,911	3,401	38.41	0.24
NTB-21	37.4~37.5	경암	64/61	26.79	0.16	96.9	4,723	3,014	29.51	0.21
NTB-22	40.5~40.7	연암	40/50	25.75	0.59	41.3	4,142	2,539	12.29	0.27
NTB-23	30.0~30.3	경암	67/46	26.32	0.45	65.2	4,611	2,870	19.31	0.23
NTB-24	41.2~41.5	경암	65/56	26.28	0.22	74.9	4,027	2,394	13.51	0.26
NTB-25	42.3~42.5	연암	20/42	26.21	0.19	53.8	4,141	2,520	12.97	0.28
NTB-26	32.3~32.4	경암	55/43	25.97	0.71	44.1	3,889	2,296	11.23	0.28
NTB-27	40.0~40.2	경암	57/48	26.17	0.34	74.4	4,452	2,934	17.21	0.26
NTB-28	36.8~37.0	경암	84/57	26.75	0.24	79.9	4,196	2,534	23.73	0.25
NTB-29	18.3~18.4	연암	41/55	26.45	0.17	89.5	4,655	2,934	24.18	0.23
NTB-30	29.8~30.0	경암	66/53	26.22	0.28	78.3	4,618	3,069	18.89	0.24
NBB-3	26.5~26.7	연암	48/40	25.30	0.63	70.6	2,951	1,823	25.30	0.26

실시설계

구 분	심 도 (m)	지 층	RQD(%)/ RMR	단위중량 (kN/m³)	흡수율 (%)	일축강도 (MPa)	탄성파속도(m/sec)		탄성계수 (GPa)	포아송비 (υ)
							V_p	V_s		
ATB-1	15.1~15.2	연암	14/25	25.68	0.21	87.7	3,966	2,441	30.92	0.26
ATB-2	17.9~18.0	연암	39/38	24.59	1.42	22.4	2,576	1,520	7.50	0.28
ATB-3	48.1~48.3	경암	93/76	26.41	0.11	166.8	4,976	3,270	48.83	0.22
ATB-4	24.5~24.6	경암	97/70	27.78	0.14	117.9	5,079	3,182	40.95	0.24
ATB-5	21.6~21.8	연암	16/30	26.10	0.63	41.8	4,216	2,502	22.64	0.22
ATB-6	62.4~62.6	경암	28/39	27.24	0.09	76.7	4,046	2,501	32.94	0.23
ATB-7	41.3~41.5	경암	80/63	26.18	0.13	66.3	4,485	2,616	23.81	0.27

구 분	심 도 (m)	지 층	RQD(%)/ RMR	단위중량 (kN/m³)	흡수율 (%)	일축강도 (MPa)	탄성파속도(m/sec)		탄성계수 (GPa)	포아송비 (υ)
							V_p	V_s		
NNBB-6	16.8~16.9	연암	5/-	24.16	1.81	4.6	2,049	1,189	-	-
NNTB-1	25.9~26.1	연암	13/27	25.45	2.88	30.5	3,125	1,866	8.32	0.28
NNTB-2	29.0~29.1	연암	23/33	26.40	0.20	65.6	4,682	2,952	23.25	0.23
NNTB-3	44.6~44.7	연암	38/35	26.49	0.74	34.3	3,226	1,938	10.11	0.30
NNTB-4	41.2~41.4	연암	29/42	26.42	0.41	102.2	4,976	3,291	31.64	0.20
NNTB-5	48.4~48.5	연암	16/27	27.25	0.32	75.0	5,270	3,298	29.37	0.26
NNTB-6	55.5~55.6	경암	62/61	25.94	0.43	29.6	2,989	1,781	7.62	0.30
NNTB-7	62.2~62.3	경암	62/61	26.48	0.20	39.5	3,289	1,968	14.66	0.25
ATB-8	62.5~62.7	경암	84/64	26.91	0.09	80.4	4,890	3,095	30.68	0.24
ATB-9	64.6~64.9	경암	98/73	26.85	0.12	63.8	4,277	2,623	21.61	0.28
ATB-10	62.7~62.9	경암	94/68	26.77	0.14	69.4	4,403	2,572	22.78	0.22
ATB-11	71.0~71.2	연암	86/62	26.77	0.17	59.7	4,407	2,780	24.25	0.22
ATB-12	58.6~58.8	경암	86/67	26.99	0.17	111.1	4,780	2,969	32.76	0.20
ATB-13	57.0~57.3	경암	95/65	27.15	0.12	64.0	4,577	2,775	21.24	0.21
ATB-14	49.9~50.2	경암	94/66	26.66	0.14	70.2	4,540	2,672	17.12	0.25
ATB-15	44.1~44.3	경암	94/66	26.32	0.38	62.0	4,342	2,633	23.24	0.28
ATB-16	40.8~41.1	경암	56/56	26.59	0.12	72.7	4,766	3,025	24.25	0.22
ATB-17	45.8~46.1	연암	35/35	26.67	0.25	72.5	4,220	2,538	20.77	0.19
ATB-18	38.5~38.7	연암	64/49	25.78	0.27	40.6	3,424	1,994	18.14	0.23
ATB-19	40.2~40.35	연암	30/40	27.32	0.19	54.0	4,719	2,905	23.09	0.19
ATB-20	39.8~39.9	경암	96/66	26.84	0.11	94.0	4,419	2,795	32.08	0.24
ATB-21	28.9~29.0	경암	75/63	26.68	0.09	98.6	4,785	3,066	34.38	0.26
NATB-1	62.85~63.05	경암	78/67	26.73	0.22	100.4	4,462	2,760	37.14	0.23
NATB-2	68.0~68.1	연암	33/29	25.66	1.01	22.2	3,009	1,896	7.63	0.32
NATB-3	62.8~62.9	연암	17/18	25.74	0.62	26.5	2,995	1,754	9.95	0.27
NATB-4	37.9~38.0	경암	69/52	27.12	0.16	58.4	3,421	2,051	20.74	0.26

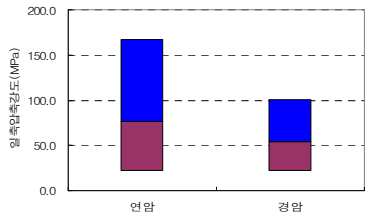
실시설계

구 분	심 도 (m)	지 층	RQD(%)/ RMR	단위중량 (kN/m³)	흡수율 (%)	일축강도 (MPa)	탄성파속도(m/sec)		탄성계수 (GPa)	포아송비 (υ)
							V_p	V_s		
ATBH-2	42.3~42.4	경암	73/59	29.26	0.03	88.6	5813	3629	45.9	0.25
ATBH-3	39.6~39.7	경암	78/63	27.61	0.11	62.8	4868	3023	36.9	0.25

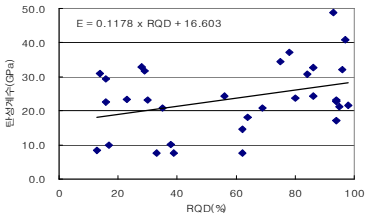
결과분석

구 분	단위중량(kN/m³)	일축강도(MPa)	탄성계수(MPa)	포아송비(υ)
연 암	24.16~27.32	4.6~102.2	7.50~31.64	0.19~0.32
경 암	25.94~27.78	29.6~166.8	7.62~48.83	0.20~0.30

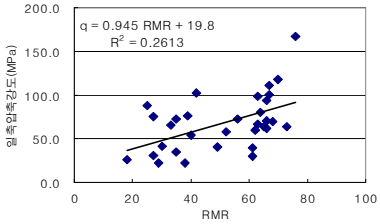
지층별 일축강도 특성



RQD-탄성계수



RMR-일축압축강도



분석결과	•일축압축강도는 연암 : 4.6~102.2MPa, 경암 : 29.6~166.8MPa의 범위를 보임 •일축압축강도 및 탄성계수가 낮게 측정된 시험결과는 절리발달 등에 의한 것으로 판단됨

5.2.7 점하중강도시험

시험결과

기본설계

구 분	심도	$I_{s(50)}$	환산일축강도	RMR
NTB-1	20.0	2.221	51.1	45
NTB-2	20.3	1.129	26.0	45
NTB-3	18.2	0.753	17.3	40
NTB-4	13.2	2.334	53.7	34
NTB-7	30.8	0.900	20.7	23
NTB-7	31.1	1.701	39.1	20
NTB-8	31.6	1.882	43.3	33
NTB-8	34.4	3.764	86.6	42
NTB-8	37.7	2.492	57.3	52
NTB-8	40.5	9.787	225.1	46
NTB-8	44.6	11.292	259.7	66
NTB-9	46.2	1.129	26.0	35
NTB-11	26.5	0.790	18.2	42
NTB-11	28.9	4.781	110.0	69
NTB-11	30.8	4.129	95.0	59
NTB-11	35.6	7.507	172.7	61
NTB-11	38.4	7.112	163.6	76
NTB-11	39.5	9.877	227.2	77
NTB-11	43.9	9.482	218.1	82
NTB-11	46.5	5.136	118.1	82
NTB-11	48.5	3.070	70.6	82
NTB-11	48.8	9.877	227.2	82
NTB-11	54.4	8.297	190.8	82
NTB-12	33.0	1.174	27.0	42
NTB-12	33.6	3.915	90.0	61
NTB-12	41.1	4.333	99.7	68
NTB-12	45.3	1.576	36.2	60
NTB-12	55.1	8.665	199.3	69
NTB-12	65.4	4.727	108.7	66
NTB-12	70.8	8.271	190.2	61
NTB-14	38.8	3.011	69.3	51
NTB-14	61.8	1.020	23.5	55
NTB-15	38.5	5.553	130.2	61
NTB-15	61.6	2.191	50.4	42
NTB-16	27.0	3.951	90.9	47
NTB-16	30.0	3.951	90.9	66

구 분	심도	$I_{s(50)}$	환산일축강도	RMR
NTB-16	35.0	4.741	109.0	40
NTB-16	40.0	5.136	118.1	45
NTB-16	59.0	3.951	90.9	66
NTB-16	61.0	3.951	90.9	66
NTB-16	64.8	5.136	118.1	64
NTB-16	67.8	1.975	45.4	71
NTB-17	28.2	4.140	95.2	41
NTB-17	50.0	2.635	60.6	61
NTB-18	42.3	3.020	69.5	40
NTB-18	57.6	3.775	86.8	60
NTB-19	33.3	3.388	77.9	41
NTB-19	57.9	4.517	103.9	64
NTB-20	42.4	1.882	43.3	48
NTB-20	50.0	4.758	109.4	50
NTB-21	32.5	4.598	105.8	34
NTB-21	50.4	4.908	112.9	62
NTB-22	31.8	2.258	51.9	28
NTB-22	43.3	3.011	69.3	45
NTB-23	24.4	1.888	43.4	42
NTB-23	35.9	3.398	78.1	54
NTB-24	32.1	2.635	60.6	62
NTB-24	43.8	3.388	77.9	58
NTB-25	38.2	2.635	60.6	45
NTB-25	46.4	1.987	45.7	65
NTB-26	32.8	1.510	34.7	43
NTB-26	42.4	2.265	52.1	60
NTB-27	28.0	3.388	77.9	28
NTB-27	37.3	2.868	66.0	28
NTB-28	30.9	3.764	86.6	28
NTB-28	35.2	3.839	88.3	38
NTB-29	15.8	3.753	86.3	50
NTB-29	22.4	4.517	103.9	62
NTB-29	26.7	3.011	69.3	67
NTB-30	26.2	2.118	48.7	35
NTB-30	33.3	3.020	69.5	48
NBB-3	26.1	2.258	51.9	40
NBB-5	29.5	3.011	69.3	34

실시설계

구 분	심도	$I_{s(50)}$	환산일축강도	RMR
ATB-1	15.6	11.34	272.1	25
ATB-1	16.6	2.65	63.7	32
ATB-1	21.9	4.36	104.6	39
ATB-1	24.4	4.55	109.2	35
ATB-1	26.0	6.06	145.5	35
ATB-1	27.2	1.51	36.3	29
ATB-2	18.1	0.94	22.7	30
ATB-2	22.0	3.03	72.8	37
ATB-2	26.9	3.59	86.2	43
ATB-2	28.2	3.03	72.8	48
ATB-2	28.6	9.66	231.9	48
ATB-2	32.8	2.84	68.2	37
ATB-2	34.3	4.56	109.5	65
ATB-3	22.5	5.12	122.80	62
ATB-3	31.3	5.90	141.65	61
ATB-3	36.4	4.53	108.82	57
ATB-3	41.9	7.01	168.28	61
ATB-3	50.2	6.63	159.18	76
ATB-3	55.0	5.68	136.44	62
ATB-4	22.3	3.42	82.11	55
ATB-4	29.8	4.75	114.05	70
ATB-4	39.1	5.89	141.42	69
ATB-4	45.5	6.25	150.08	66
ATB-4	57.6	4.93	118.25	73
ATB-5	21.6	2.46	58.94	28
ATB-5	32.0	3.40	81.62	27
ATB-5	41.9	4.91	117.89	34
ATB-5	47.9	5.87	140.99	65
ATB-5	59.9	4.17	100.06	67
ATB-5	62.1	4.74	113.70	68
ATB-6	24.9	5.12	122.80	60
ATB-6	33.3	5.29	126.96	62
ATB-6	42.0	6.05	145.09	63
ATB-6	53.3	4.93	118.25	66
ATB-6	61.8	3.60	86.41	39
ATB-6	69.4	5.50	131.89	66

구 분	심도	$I_{s(50)}$	환산일축강도	RMR
ATB-7	36.5	3.03	72.77	62
ATB-7	41.6	4.37	104.92	63
ATB-7	47.8	3.80	91.24	63
ATB-7	54.3	3.61	86.67	48
ATB-7	66.2	6.65	159.66	68
ATB-7	69.9	7.77	186.47	69
NNTB-1	23.5	1.91	45.8	30
NNTB-1	26.2	1.72	41.2	27
NNTB-1	30.1	2.67	64.1	35
NNTB-1	34.7	1.90	45.6	31
NNTB-1	38.8	1.90	45.6	36
NNTB-1	42.1	1.14	27.4	33
NNTB-1	44.6	1.33	31.8	33
NNTB-2	23.6	2.27	54.58	34
NNTB-2	34.3	4.74	113.70	65
NNTB-2	38.9	3.98	95.51	61
NNTB-2	44.1	5.10	122.42	69
NNTB-2	50.0	5.67	136.03	82
NNTB-2	55.6	5.29	126.96	68
NNTB-3	45.1	2.08	50.03	35
NNTB-3	50.9	3.03	72.77	44
NNTB-3	55.8	3.97	95.22	62
NNTB-3	61.6	5.31	127.34	65
NNTB-3	64.7	6.25	150.08	66
NNTB-4	41.6	3.80	91.24	30
NNTB-4	49.4	4.74	113.70	54
NNTB-4	52.7	3.99	95.80	73
NNTB-4	54.7	4.55	109.15	73
NNTB-4	58.0	5.31	127.34	42
NNTB-5	37.3	2.09	50.2	37
NNTB-5	39.2	3.41	81.9	37
NNTB-5	45.6	6.06	145.5	47
NNTB-5	48.1	3.59	86.2	47
NNTB-5	57.5	2.83	68.01	34
NNTB-5	58.7	4.35	104.29	48
NNTB-6	47.1	2.46	59.12	56

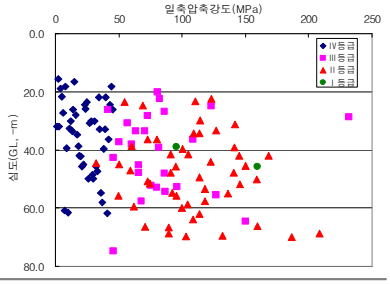
구 분	심도	$I_{s(50)}$	환산일축강도	RMR
NNTB-6	51.7	6.06	145.54	65
NNTB-6	55.7	2.08	49.88	61
NNTB-6	63.9	4.53	108.82	69
NNTB-6	68.8	8.69	208.57	69
NNTB-6	71.2	5.68	136.44	71
NNTB-6	74.6	6.06	145.54	75
NNBB-4	39.5	1.52	36.49	28
NNBB-6	18.8	2.66	63.87	-
ATB-8	33.7	3.34	70.41	50
ATB-8	45.7	7.55	159.31	82
ATB-8	66.7	4.24	89.55	64
ATB-9	24.7	3.28	69.17	73
ATB-9	39.7	4.77	100.58	74
ATB-9	54.7	4.36	92.04	69
ATB-9	69.7	4.90	103.33	65
ATB-10	30.7	0.98	20.67	35
ATB-10	36.5	3.80	80.09	61
ATB-10	51.5	3.52	74.34	61
ATB-10	66.5	3.36	70.80	65
ATB-11	74.9	2.17	45.71	43
ATB-12	28.1	1.47	31.00	32
ATB-12	36.5	1.34	28.32	39
ATB-12	45.1	1.91	40.23	34
ATB-12	68.7	4.24	89.55	65
ATB-13	39.6	1.21	25.48	37
ATB-13	45.8	3.36	70.80	36
ATB-13	59.5	2.94	62.00	62

구 분	심도	$I_{s(50)}$	환산일축강도	RMR
ATB-14	38.1	2.86	60.35	42
ATB-14	52.3	3.59	75.78	57
ATB-14	60.8	1.43	30.17	29
ATB-15	30.0	2.42	50.97	35
ATB-15	38.8	2.85	60.18	62
ATB-15	53.0	3.80	80.09	57
ATB-16	24.5	2.12	44.78	39
ATB-16	45.2	3.10	65.44	56
ATB-17	32.6	1.47	31.00	30
ATB-17	48.4	3.36	70.80	35
ATB-18	30.0	1.38	29.12	30
ATB-18	42.6	2.17	45.71	43
ATB-18	47.4	2.18	46.02	36
ATB-19	33.7	1.21	25.48	30
ATB-19	47.7	3.11	65.53	44
ATB-20	33.0	1.42	29.96	37
ATB-20	45.8	4.49	94.65	66
ATB-20	49.9	4.24	89.55	35
ATB-21	23.3	5.24	110.64	63
ATB-21	33.5	3.02	63.70	49
ATB-22	32.0	1.01	21.24	22
NNBB-8	26.1	1.96	41.33	41
NNBB-8	30.7	2.68	56.64	44
NNBB-9	18.2	1.86	39.18	40
NNBB-9	26.1	1.70	35.92	40
NNBB-10	20.0	3.81	80.47	56

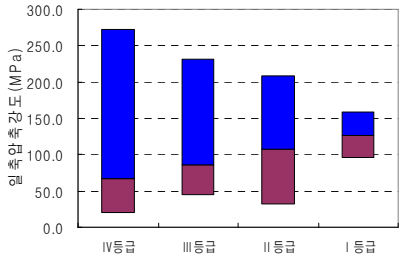
결과분석

구 분	q_u(MPa)	
	범 위	평 균
Ⅰ등급	95.5~159.3	127.4
Ⅱ등급	31.8~208.6	107.4
Ⅲ등급	45.7~231.9	86.0
Ⅳ등급	20.7~272.1	67.0
Ⅴ등급	-	-

심도별 일축압축강도



등급별 일축압축강도



분석결과 •평균일축압축강도는 Ⅰ등급 127.4MPa, Ⅱ등급 107.4MPa, Ⅲ등급 86.0MPa, Ⅳ등급 67.0MPa로 등급별 증가

5.2.8 삼축압축시험

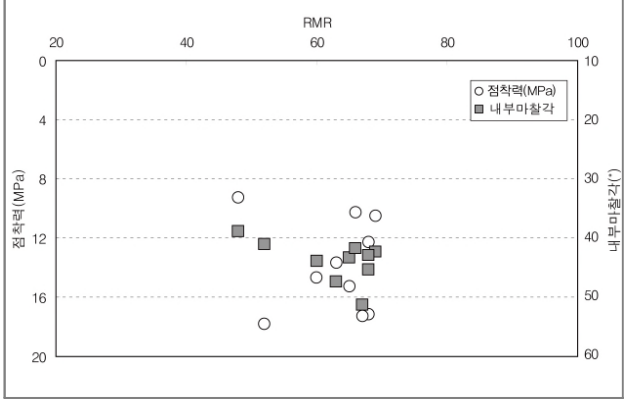
기본방향	•터널구간내 암석의 강도정수(점착력, 마찰각)를 측정하여 암반의 강도특성 파악

시험결과

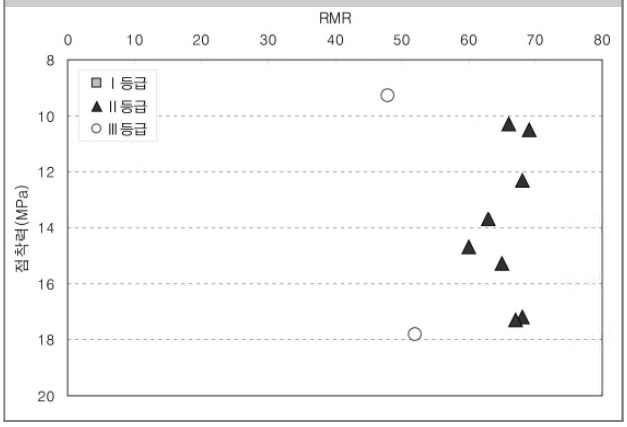
구 분		심 도 (m)	지 층	RQD(%)	RMR	지반등급	점착력(MPa)	마찰각(°)
기본 설계	NTB-10	59.0~59.7	경암층	83	82	I	11.9	53.1
	NTB-12	50.2~51.0	경암층	78	66	II	9.3	39.4
	NTB-13	60.5~60.9	경암층	93	80	I	12.1	46.0
	NTB-19	60.0~60.7	경암층	98	82	I	13.7	50.4
	NTB-23	35.3~36.0	경암층	66	54	III	12.4	45.8
	NTB-24	31.6~32.1	경암층	69	62	II	12.2	46.5
	NTB-26	38.0~38.8	경암층	83	60	II	12.7	47.7
실시 설계	ATB-2	29.7~30.0	연암층	29	48	III	9.3	38.9
	ATB-4	39.2~39.6	경암층	87	69	II	10.5	42.3
	ATB-5	48.1~48.4	경암층	67	65	II	15.3	43.4
	ATB-6	54.3~54.7	경암층	63	60	II	14.7	44.0
	NNTB-2	36.4~36.7	경암층	75	63	II	13.7	47.4
	ATB-9	55.7~56.4	경암층	91	68	II	12.3	42.9
	ATB-12	59.8~60.2	경암층	89	68	II	17.2	45.4
	ATB-20	39.9~40.2	경암층	96	66	II	10.3	41.8
	NATB-1	62.5~62.85	경암층	78	67	II	17.3	51.4
	NATB-4	37.5~37.8	경암층	69	52	III	17.8	41.1

결과분석

RMR에 따른 점착력 및 내부마찰각



등급별 점착력



분석결과	•연암의 점착력은 9.3MPa, 마찰각 38.9° 의 범위를 보임 •경암의 점착력은 10.3~17.8MPa, 마찰각 41.1~51.4° 의 범위를 보임

5.2.9 간접인장강도시험

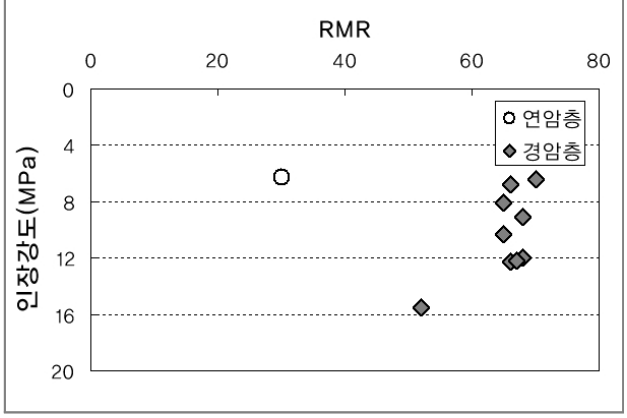
기본방향	•사업구간 내에 분포하는 암석의 인장강도 특성을 파악하기 위해 10회 실시

시험결과

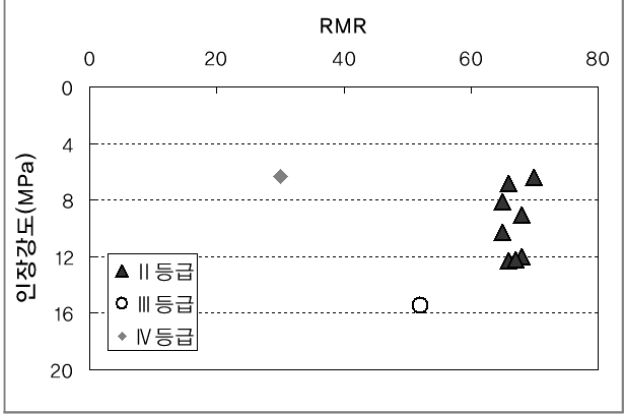
구 분		심 도(m)	지 층	RQD(%)	RMR	지반등급	파괴하중(kN)	인장강도(MPa)
기본 설계	NTB-10	59.0~59.7	경암	83	82	I	28.2	8.0
	NTB-12	50.2~51.0	경암	78	66	II	17.2	4.6
	NTB-13	60.5~60.9	경암	93	80	I	36.1	9.2
	NTB-19	60.0~60.7	경암	98	82	I	38.7	9.6
	NTB-23	35.3~36.0	경암	66	54	III	35.4	9.0
	NTB-24	31.6~32.2	경암	69	62	II	33.1	8.9
	NTB-26	38.0~38.8	경암	83	60	II	36.3	9.4
실시 설계	ATB-2	19.9~20.0	연암	7	30	IV	23.6	6.3
	ATB-4	44.1~44.3	경암	97	70	II	23.0	6.4
	ATB-5	53.0~53.2	경암	79	66	II	46.1	12.3
	ATB-6	50.8~51.0	경암	70	65	II	37.1	10.3
	NNTB-2	33.0~33.2	경암	69	65	II	25.8	8.1
	ATB-9	56.4~56.6	경암	91	68	II	32.3	9.1
	ATB-12	61.4~61.7	경암	89	68	II	45.6	12.0
	ATB-20	40.2~40.4	경암	96	66	II	25.5	6.8
	NATB-1	62.3~62.5	경암	78	67	II	38.5	12.2
	NATB-4	38.0~38.1	경암	69	52	III	53.1	15.5

결과분석

RMR에 따른 인장강도



등급별 인장강도



분석결과	•사업구간 연암층의 인장강도는 6.3 MPa 을 보이며, 경암층의 인장강도는 6.4~15.5 MPa(평균: 10.3 MPa)의 범위를 보임

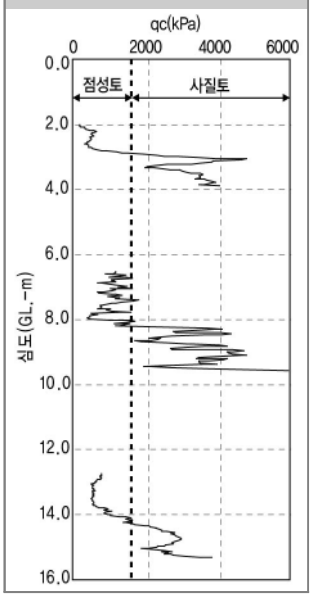
5.2.10 피에죠콘관입시험

기본방향	•심도에 따른 연속적인 콘관입저항, 마찰저항력을 이용하여 흙의 분류 및 비배수전단강도 산정 •심도별 토질특성을 파악하여 지층의 강도증가, 거동특성 등 연약지반 설계시 기초자료로 활용

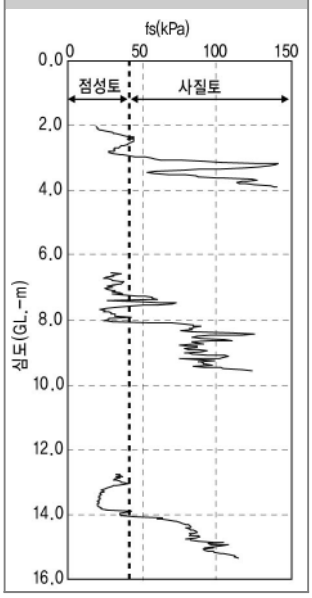
시험결과

공 번		콘저항치(q_c: kPa)	주변마찰력(f_s: kPa)	간극수압(u: kPa)	비배수전단강도(S_u: kPa)
NTB-7	범 위	346.0 ~ 6,724.0	19.0 ~ 142.0	-31.0 ~ 151.0	20.4 ~ 439.1
	평균값	2,050.3	62.5	81.4	128.6

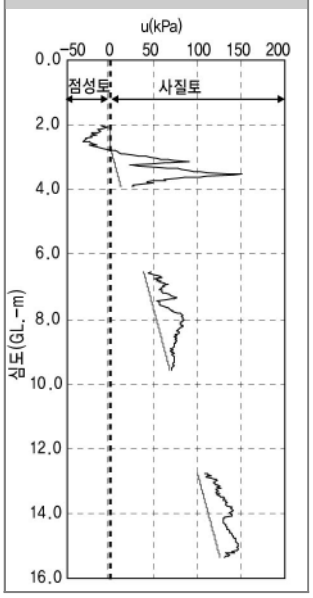
콘저항치



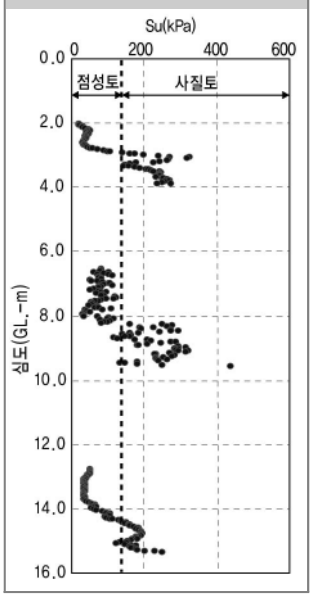
주변마찰력



간극수압

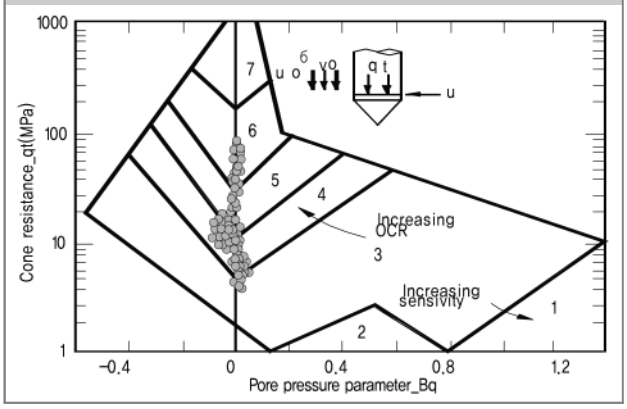


비배수 전단강도

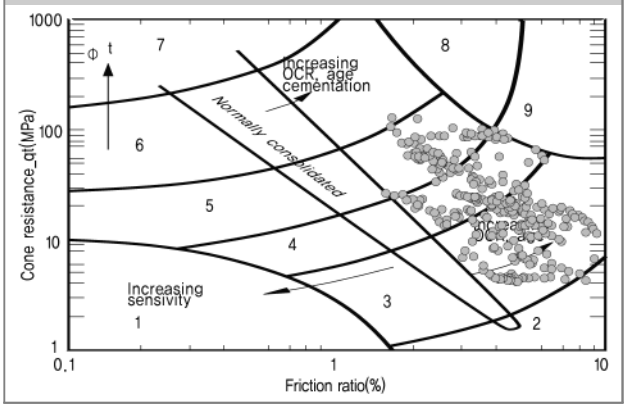


토층분류(Robertson(1990))

Bq-chart(간극수압을 이용한 분류)



Rf-chart(마찰비를 이용한 분류)



분석결과	•콘관입시험결과 (GL.-m) 4.0~6.0m, 10.0~12.0m 구간은 사질토층이 호층으로 협재되어 사질토 경계부에서는 콘저항치, 주변마찰각, 간극수압, 비배수전단강도 모두 큰 값을 보여 모래에 의해 과대평가되는 양상을 보임 •Robertson에 의한 토층분류는 대부분 점토질 실트, 점토 내지 실트질 점토로 나타남

5.3 수리특성 분석을 위한 조사

5.3.1 공내지하수위 및 장기지하수위 측정

기본방향	•사업구간내 지하수위를 파악하여, 터널구간 침투류 해석자료 및 방배수 계획의 참고 자료로 활용 •장기지하수위 변동 및 강우에 따른 수위변화양상 파악을 통한 수리적 특성 확인

공내지하수위 측정결과

기본설계

구 분	표 고(EL.m)	지하수위		구 분	표 고(EL.m)	지하수위	
		GL.-m	EL.m			GL.-m	EL.m
NTB-1	9.5	12.5	-3.0	NTB-20	9.6	12.3	-2.7
NTB-2	9.4	18.4	-9.0	NTB-21	10.3	13.3	-3.0
NTB-3	9.4	8.7	0.7	NTB-22	9.2	12.2	-3.0
NTB-4	9.3	6.2	3.1	NTB-23	8.9	10.8	-1.9
NTB-5	9.1	7.3	1.8	NTB-24	10.2	12.1	-1.9
NTB-6	8.6	8.0	0.6	NTB-25	13.7	13.2	0.5
NTB-7	8.6	8.5	0.1	NTB-26	14.3	14.3	0.0
NTB-8	8.7	10.2	-1.5	NTB-27	5.5	4.1	1.4
NTB-9	9.0	11.2	-2.2	NTB-28	5.2	4.3	0.9
NTB-10	7.8	6.5	1.3	NTB-29	5.2	3.7	1.5
NTB-11	8.3	9.4	-1.1	NTB-30	5.6	3.7	1.9
NTB-12	5.0	9.0	-4.0	NBB-1	11.6	8.5	3.1
NTB-13	7.8	10.0	-2.2	NBB-2	10.3	5.3	5.0
NTB-14	7.2	6.2	1.0	NBB-3	10.3	5.5	4.8
NTB-15	6.4	8.9	-2.5	NBB-4	9.9	7.0	2.9
NTB-16	3.6	8.9	-5.3	NBB-5	16.5	15.8	0.7
NTB-17	3.6	9.8	-6.2	NBB-6	14.0	13.7	0.3
NTB-18	8.5	11.1	-2.6	NBB-7	12.5	12.8	-0.3
NTB-19	8.9	11.9	-3.0	NBB-8	12.7	11.6	1.1

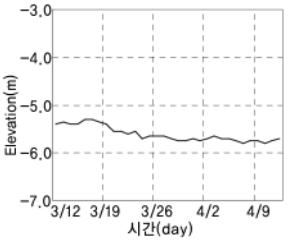
실시설계

구 분	표 고(EL.m)	지하수위		구 분	표 고(EL.m)	지하수위	
		GL.-m	EL.m			GL.-m	EL.m
ATB-1	9.4	5.5	3.9	ATB-4	8.8	6.2	2.6
ATB-2	9.5	8.5	1.0	ATB-5	8.7	7.5	1.2
ATB-3	9.4	2.8	6.6	ATB-6	9.9	14.5	-4.6

구 분	표 고(EL.m)	지하수위		구 분	표 고(EL.m)	지하수위	
		GL.-m	EL.m			GL.-m	EL.m
ATB-7	9.6	14.0	-4.4	ATB-15	9.8	14.2	-4.4
NNTB-1	9.6	13.0	-3.4	ATB-16	8.9	13.4	-4.5
NNTB-2	9.5	6.8	2.7	ATB-17	12.3	15.3	-3.0
NNTB-3	9.4	5.1	4.3	ATB-18	11.5	14.5	-3.0
NNTB-4	8.9	6.5	2.4	ATB-19	13.9	15.5	-1.6
NNTB-5	8.9	7.8	1.1	ATB-20	7.3	7.6	-0.3
NNTB-6	9.1	10.5	-1.4	ATB-21	5.5	5.3	0.2
NNBB-1	12.5	5.4	7.1	ATB-22	16.2	10.3	5.9
NNBB-2	12.5	5.5	7.0	NNTB-7	7.2	8.0	-0.8
NNBB-3	10.0	6.7	3.3	NNBB-8	6.9	6.6	0.3
NNBB-4	10.1	6.7	3.4	NNBB-9	6.5	6.0	0.5
NNBB-5	10.0	6.6	3.4	NNBB-10	5.2	4.2	1.0
NNBB-6	9.5	6.4	3.1	NNBB-11	12.6	14.7	-2.1
NNBB-7	9.5	6.5	3.0	NATB-1	9.1	9.7	-0.6
ATB-8	8.8	12.3	-3.5	NATB-2	9.1	8.2	0.9
ATB-9	8.6	13.0	-4.4	NATB-3	9.8	8.4	1.4
ATB-10	8.7	7.7	1.0	NATB-4	10.0	15.1	-5.1
ATB-11	9.5	8.1	1.4	NATB-5	8.5	7.9	0.6
ATB-12	10.1	8.0	2.1	NATB-6	8.0	6.7	1.3
ATB-13	8.9	12.5	-3.6	NATB-7	5.8	5.8	0.0
ATB-14	9.3	13.3	-4.0	NABB-1	10.7	5.2	5.5

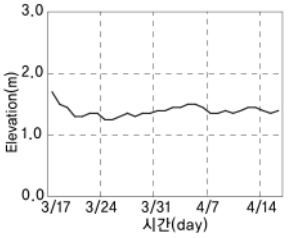
장기지하수위 측정결과

NTB-16



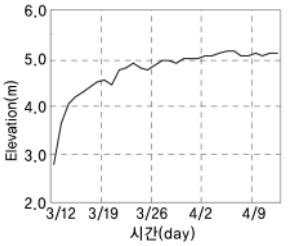
•분포범위(EL) -5.80~-5.30m

NTB-27



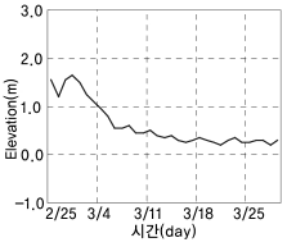
•분포범위(EL) 1.25~1.70m

NBB-2



•분포범위(EL) 2.80~5.15m

NBB-6



•분포범위(EL) 0.20~1.65m

분석결과	•지하수위 측정결과 분포심도는 EL. -5.1~7.1m 내외에서 분포(NTB-2는 지하철 2, 5호선의 영향으로 지하수위 하락) •지하터파기 및 가시설 공사시 설계 지하수위 산정→ 보강방안 및 차수성 계획 검토

5.3.2 현장투수시험

기본방향	•개착 및 터널구간 내에 분포하는 토사층의 투수계수 파악 •토사층의 수리특성을 파악하여 터널 굴진시 발생하는 침투류의 해석 및 배수 계획에 활용

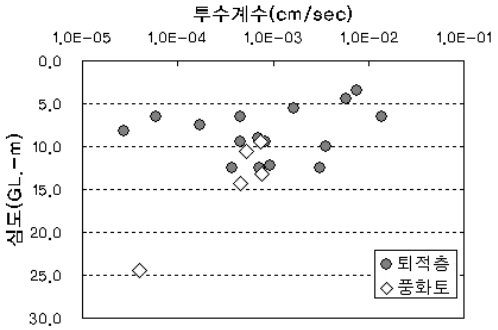
시험결과

구 분		심 도 (GL.-m)	지 층	투수계수 (cm/sec)	N값 (회/cm)
기본설계	NTB-1	6.0~7.0	퇴적층	1.38×10^{-3}	13/30
	NTB-2	9.0~10.0	퇴적층	1.30×10^{-3}	14/30
	NTB-3	7.0~8.0	퇴적층	3.18×10^{-3}	20/30
	NTB-4	6.3~7.3	풍화토	1.09×10^{-3}	50/28
	NTB-6	10.0~11.0	퇴적층	1.58×10^{-5}	5/30
	NTB-8	10.0~11.0	퇴적층	2.44×10^{-3}	21/30
	NTB-9	6.0~7.0	퇴적층	7.83×10^{-5}	6/30
	NTB-11	6.0~7.0	퇴적층	6.98×10^{-4}	13/30
	NTB-12	3.0~4.0	퇴적층	2.04×10^{-3}	10/30
	NTB-15	5.5~6.5	퇴적층	2.76×10^{-4}	7/30
	NTB-16	7.0~8.0	퇴적층	4.83×10^{-3}	50/27
	NTB-17	6.0~7.0	퇴적층	4.66×10^{-3}	44/30
	NTB-20	5.0~6.0	퇴적층	1.90×10^{-4}	4/30
	NTB-25	8.0~9.0	퇴적층	1.29×10^{-3}	7/30
	NTB-26	13.0~14.0	퇴적층	7.15×10^{-3}	25/30
	NTB-27	8.0~9.0	퇴적층	5.46×10^{-3}	35/30
	NTB-28	16.0~17.0	풍화토	4.35×10^{-4}	50/17
	NTB-29	6.0~7.0	퇴적층	3.77×10^{-3}	22/30
	NTB-30	7.0~8.0	퇴적층	7.00×10^{-3}	37/30
	NBB-2	27.0~28.0	풍화암	9.79×10^{-5}	50/7
	NBB-5	7.0~8.0	퇴적층	9.30×10^{-4}	14/30
	NBB-6	5.5~6.5	퇴적층	9.05×10^{-4}	19/30

구 분		심 도 (GL.-m)	지 층	투수계수 (cm/sec)	N값 (회/cm)
	NBB-7	21.5~22.5	풍화토	5.01×10^{-4}	38/30
	NBB-8	6.0~7.0	퇴적층	1.08×10^{-3}	6/30
실시설계	ATB-1	8.0~8.5	퇴적층	2.72×10^{-5}	10/30
	ATB-2	12.0~12.5	퇴적층	9.31×10^{-4}	12/30
	ATB-3	6.0~7.0	퇴적층	5.95×10^{-5}	7/30
	NNTB-1	9.0~10.0	풍화토	7.36×10^{-4}	50/27
	NNTB-2	10.0~11.0	풍화토	5.23×10^{-4}	43/30
	NNBB-4	14.0~14.5	풍화토	4.55×10^{-4}	15/30
	NNTB-6	9.5~10.5	퇴적층	3.54×10^{-3}	22/30
	NNBB-7	13.0~13.5	풍화토	7.52×10^{-4}	50/14
	ATB-9	8.5~9.5	퇴적층	7.01×10^{-4}	14/30
	ATB-10	9.0~10.0	퇴적층	4.59×10^{-4}	50/28
	ATB-11	6.0~7.0	퇴적층	1.40×10^{-2}	6/30
	ATB-12	12.0~13.0	퇴적층	7.24×10^{-4}	50/19
	ATB-13	24.0~25.0	풍화토	3.94×10^{-5}	50/25
	ATB-16	6.0~7.0	퇴적층	4.51×10^{-4}	8/30
	ATB-17	12.0~13.0	퇴적층	3.76×10^{-4}	36/30
	ATB-18	3.0~4.0	퇴적층	7.52×10^{-3}	4/30
	ATB-19	9.0~10.0	퇴적층	8.41×10^{-4}	21/30
	ATB-20	5.0~6.0	퇴적층	1.63×10^{-3}	6/30
	ATB-21	4.0~5.0	퇴적층	5.84×10^{-3}	50/29
	NNBB-9	7.0~8.0	퇴적층	1.72×10^{-4}	50/29
	NNBB-11	12.0~13.0	퇴적층	3.08×10^{-3}	32/30

구 분	분포범위(cm/sec)	평균(cm/sec)
퇴 적 층	2.72×10^{-5} ~ 1.40×10^{-2}	2.52×10^{-3}
풍 화 토	3.94×10^{-5} ~ 7.52×10^{-4}	5.01×10^{-4}
풍 화 암 (기 본)	9.79×10^{-5}	9.79×10^{-5}

심도별 투수계수



분석결과	•토사층의 투수계수는 심도가 증가 및 N값 증가에 따라 감소하는 경향이 뚜렷하게 나타남 •평균 투수계수는 퇴적층 2.52×10^{-3}cm/sec, 풍화토 5.01×10^{-4}cm/sec, 풍화암 9.79×10^{-5}cm/sec로 나타남

5.3.3 암반수압시험

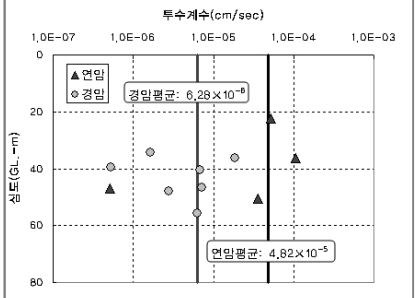
기본방향	•터널구간 기반암의 투수계수 및 Lugeon값 산정을 통한 수리적 특성 파악 •터널굴착에 따른 침투류 해석과 배수계획 및 그라우팅 보강효과 예측의 기초 자료로 활용

시험결과

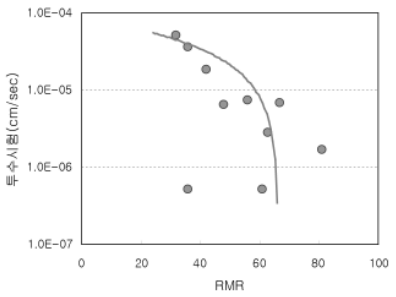
구 분		심 도 (GL.-m)	암반 등급	투수계수 (cm/sec)	루젼 값	루젼 패턴
기본설계	NTB-1	18.5~21.0	Ⅲ	5.86×10^{-6}	0.21	팽창
	NTB-3	18.0~21.8	Ⅳ	3.40×10^{-5}	0.53	팽창
	NTB-4	8.0~13.0	Ⅳ	6.01×10^{-5}	2.16	팽창
	NTB-8	30.7~36.0	Ⅲ	4.95×10^{-5}	3.10	팽창
	NTB-9	45.5~48.5	Ⅳ	7.24×10^{-5}	4.35	팽창
	NTB-10	54.0~59.0	Ⅰ	1.57×10^{-6}	0.07	난류
	NTB-11	34.5~39.5	Ⅱ	1.91×10^{-6}	0.06	난류
	NTB-12	50.0~55.0	Ⅱ	3.76×10^{-6}	0.21	팽창
	NTB-13	57.0~62.0	Ⅰ	1.53×10^{-6}	0.12	층류
	NTB-15	46.0~49.0	Ⅱ	5.11×10^{-5}	3.25	난류
	NTB-16	46.0~51.0	Ⅱ	3.93×10^{-6}	0.21	팽창
	NTB-17	46.0~49.0	Ⅲ	4.97×10^{-5}	3.21	난류
	NTB-18	49.0~52.0	Ⅲ	5.36×10^{-5}	4.63	층류
	NTB-20	48.0~51.0	Ⅲ	3.78×10^{-6}	0.26	난류
	NTB-22	37.0~40.0	Ⅲ	4.92×10^{-5}	3.32	팽창
	NTB-24	40.0~43.0	Ⅲ	7.23×10^{-7}	0.06	팽창
	NTB-25	42.0~45.0	Ⅳ	7.86×10^{-5}	6.79	층류

구 분		심 도 (GL.-m)	암반 등급	투수계수 (cm/sec)	루젼 값	루젼 패턴
기본설계	NTB-26	37.0~40.0	Ⅱ	5.36×10^{-7}	0.04	팽창
	NTB-27	31.0~36.0	Ⅳ	9.62×10^{-5}	9.01	유실
	NTB-28	32.5~36.0	Ⅳ	6.66×10^{-5}	3.86	난류
	NTB-29	23.0~27.5	Ⅱ	2.97×10^{-6}	0.11	난류
	NTB-30	30.4~34.0	Ⅲ	3.67×10^{-6}	0.20	팽창
	NBB-5	27.0~30.0	Ⅳ	5.02×10^{-5}	3.35	팽창
실시설계	ATB-2	21.0~24.0	Ⅳ	5.14×10^{-5}	4.44	층류
	ATB-6	39.0~42.0	Ⅱ	6.84×10^{-6}	0.59	층류
	ATB-7	54.1~57.1	Ⅲ	6.37×10^{-6}	0.25	팽창
	NNTB-2	38.0~41.0	Ⅱ	5.21×10^{-7}	0.04	층류
	NNTB-5	49.0~52.0	Ⅳ	3.61×10^{-5}	2.03	팽창
	NNTB-6	45.1~48.1	Ⅲ	7.28×10^{-6}	0.63	층류
	ATB-10	46.5~51.5	Ⅱ	2.77×10^{-6}	0.06	팽창
	ATB-12	45.5~50.5	Ⅳ	5.15×10^{-7}	0.04	층류
	ATB-20	33.9~38.9	Ⅳ	1.05×10^{-4}	4.22	팽창
	ATB-21	31.5~37.0	Ⅲ	1.85×10^{-5}	1.41	층류
	NNTB-7	67.0~72.0	Ⅰ	1.66×10^{-6}	0.01	팽창

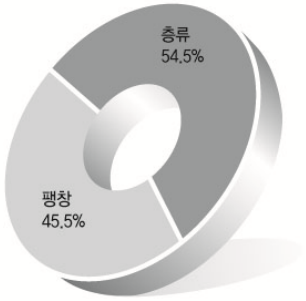
심도별 투수계수 분포



투수계수 - RMR 상관관계



Lugeon 패턴



분석결과	•평균 투수계수는 연암 4.82×10^{-5}cm/sec, 경암 6.28×10^{-6}cm/sec로 나타남 •RMR이 증가함에 따라 투수계수는 감소하나 상관성은 미소하며, Lugeon 패턴은 층류 55%, 팽창 45%

5.3.4 지하수 유향 · 유속시험

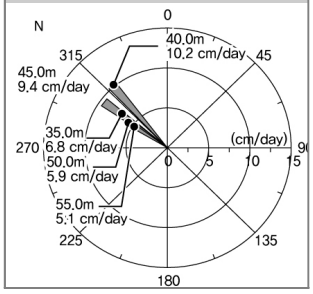
기본방향	•지하수의 유동방향 및 속도 확인을 통한 거동특성을 파악하여, 터널굴착에 따른 수리적 영향 분석시 활용

시험결과

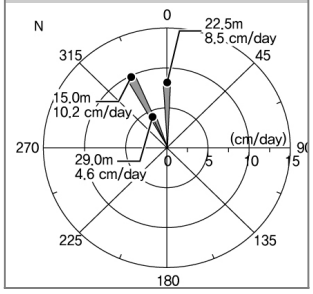
공 번	심 도(m)	지 층	지하수 유향(°)	지하수 유속(cm/day)	RQD(%)또는N값
NTB-15	35.0	연암층	305.8	6.8	54
	40.0	연암층	318.6	10.2	27
	45.0	연암층	305.7	9.4	15
	50.0	연암층	304.5	5.9	82
	55.0	경암층	302.7	5.1	91
NTB-27	15.0	퇴적층	334.0	10.2	37/30
	22.5	풍화암	359.3	8.5	50/3
	29.0	연암층	336.8	4.6	23
NBB-2	27.0	풍화암	62.5	7.9	50/7
	30.0	풍화암	69.7	8.8	50/5
	33.0	풍화암	55.0	7.4	50/4
NBB-6	15.5	퇴적층	328.2	13.7	50/19
	22.0	풍화토	6.3	6.8	50/12
	25.0	풍화암	6.3	5.2	50/5

분석 결과

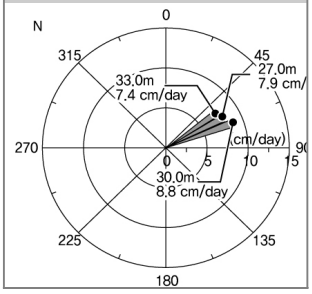
NTB-15 지하수유향



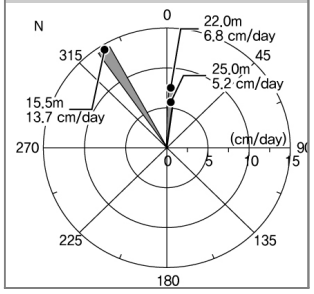
NTB-27 지하수유향



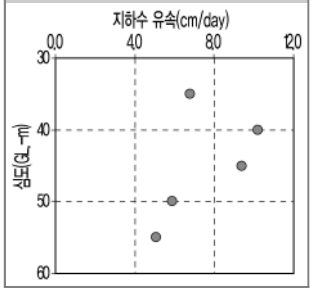
NBB-2 지하수유향



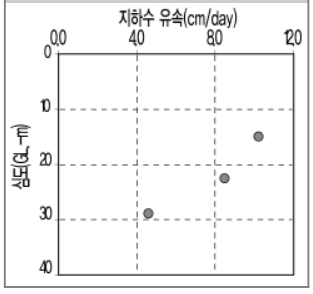
NBB-6 지하수유향



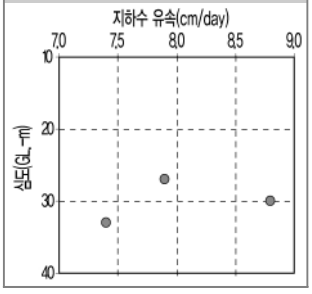
심도-유속(NTB-15)



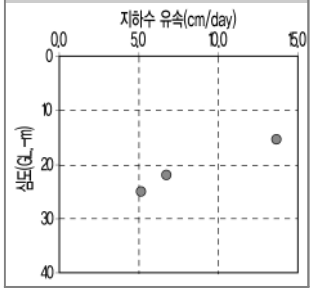
심도-유속(NTB-27)



심도-유속(NBB-2)



심도-유속(NBB-6)



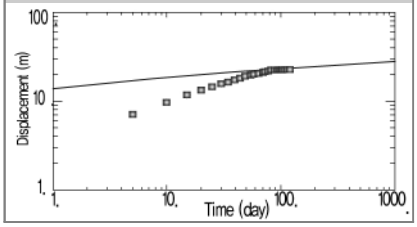
분석결과	•유향은 302.7~69.7° 로 주흐름 방향은 NW~NE 방향이며, 한강으로 유입되는 안양천 및 샛강의 흐름방향과 유사 •측정심도에 따른 지하수 유속은 4.6~13.7cm/day 대체로 심도가 증가함에 따라 유속이 감소하는 경향을 보임

5.3.5 양수시험 및 순간충격시험

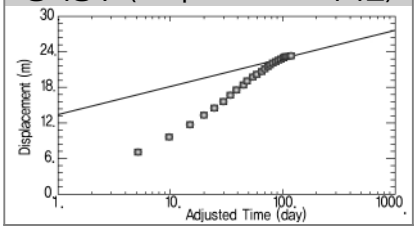
기본방향	•인위적 수위변동 유발을 통해 수집된 수위변화 자료를 이용하여 투수계수(k), 투수량계수(T), 저류계수(S) 파악 •대수층의 수리적 특성 파악을 통하여, 터널 굴착에 따른 침투류 해석 및 배수계획 등의 기초자료로 활용

양수시험 결과

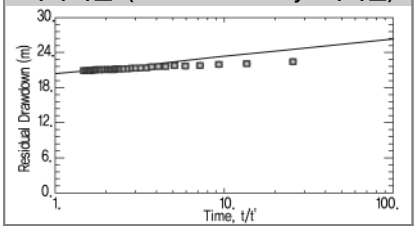
장기양수 (Theis 해석법)



장기양수 (Cooper-Jacob 해석법)

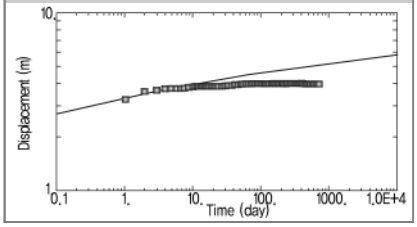


회복시험 (Theis recovery 해석법)

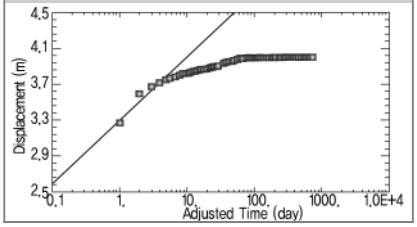


구 분			양수량(ton/day)	저류계수(S)	투수계수(cm/sec)	투수량계수(cm^2/sec)
NTB-15	양수시험	Theis	11.5	1.17	7.98×10^{-6}	0.136
		Cooper-Jacob		0.85	8.35×10^{-6}	0.098
	회복시험	Theis Recovery		–	1.28×10^{-5}	–

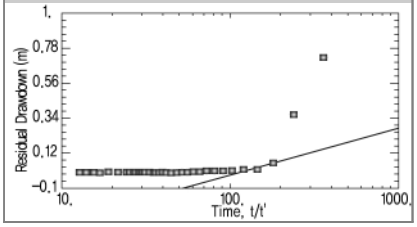
장기양수 (Theis 해석법)



장기양수 (Cooper-Jacob 해석법)



회복시험 (Theis recovery 해석법)



구 분			양수량(ton/day)	저류계수(S)	투수계수(cm/sec)	투수량계수(cm^2/sec)
NTB-27	양수시험	Theis	25.6	3.52×10^{-5}	2.37×10^{-4}	0.0086
		Cooper-Jacob		1.54×10^{-4}	2.07×10^{-4}	0.0075
	회복시험	Theis Recovery		–	4.98×10^{-4}	0.0181

순간충격시험 결과

구 분	공 경(mm)	심 도(GL.-m)	초기수위(GL.-m)	대수층두께(m)	수리상수	
					분석방법	k(cm/sec)
NTB-10	76.0	82.0	11.9	70.2	Bouwer-Rice	3.075×10^{-5}
					Hvorerslev	3.293×10^{-5}
					평 균	3.184×10^{-5}
NTB-14		75.0	6.2	68.8	Bouwer-Rice	9.10×10^{-4}
					Hvorerslev	1.16×10^{-3}
					평 균	1.26×10^{-3}
NTB-15		72.0	8.6	63.4	Bouwer-Rice	1.15×10^{-6}
					Hvorerslev	1.85×10^{-6}
					평 균	1.65×10^{-6}
NTB-27		41.0	4.1	36.9	Bouwer-Rice	3.77×10^{-3}
					Hvorerslev	5.68×10^{-3}
					평 균	4.73×10^{-3}

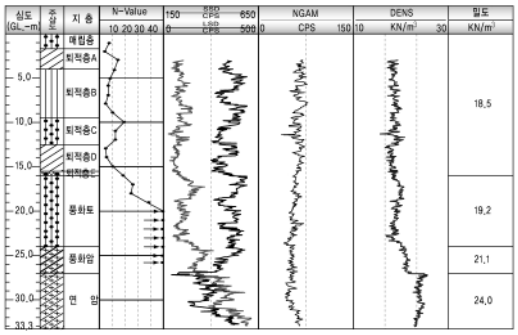
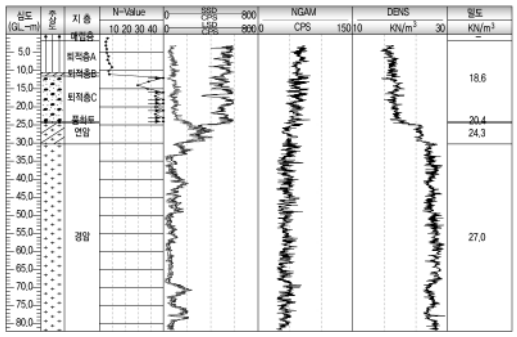
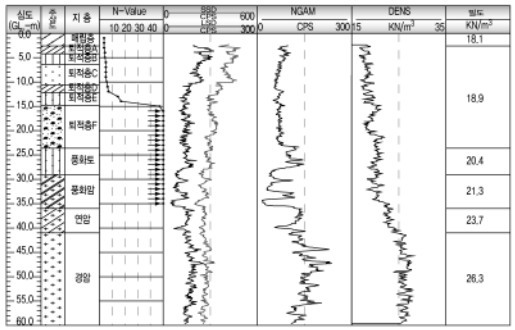
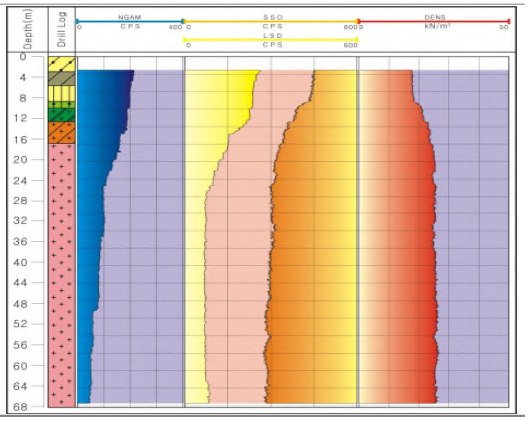
분석결과	•양수시험에 의한 대수층의 투수계수는 7.98×10^{-6}~4.98×10^{-4}cm/sec로 기반암의 파쇄정도에 따라 값의 범위가 큼 •순간충격시험결과 대수층의 투수계수는 1.16×10^{-3}~1.85×10^{-6}cm/sec로 대수층 두께 및 하천 유입량과 관련성 깊음

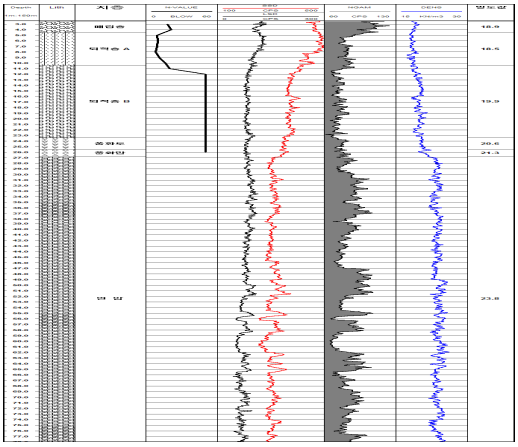
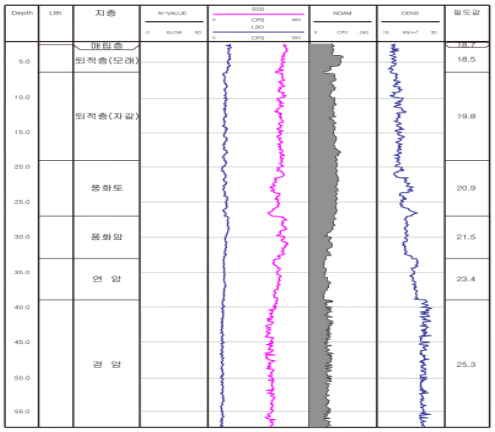
5.4 내진설계를 위한 조사

5.4.1 밀도검층

기본방향	•지반의 밀도를 심도에 따라 연속적으로 측정하여 지층별 밀도특성 파악 •내진특성값 산정을 위한 지반의 밀도값 제공

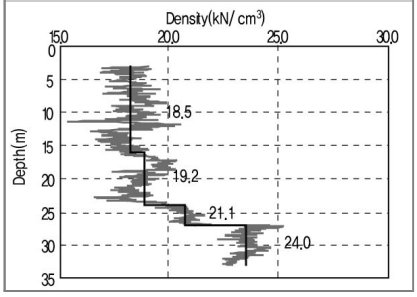
검층결과

구 분		지 층	심 도(GL.-m)	밀 도(kN/m³)	결과단면
기본 설계	NTB-7	퇴적층	2.5~16.0	18.5	
		풍화토	16.0~24.0	19.2	
		풍화암	24.0~27.0	21.1	
		연 암	27.0~33.0	24.0	
	NTB-10	퇴적층	1.8~24.0	18.6	
		풍화토	24.0~24.5	20.4	
		연 암	24.5~30.3	24.3	
		경 암	30.3~81.7	27.0	
	NTB-20	매립층	2.4~2.6	18.1	
		퇴적층	2.6~23.6	18.9	
		풍화토	23.6~29.0	20.4	
		풍화암	29.0~39.0	21.3	
		연 암	39.0~41.0	23.7	
		경 암	41.0~59.6	26.3	
실시 설계	ATB-3	매립층	0.0~2.9	17.6	
		퇴적층(점토)	2.9~5.6	17.7	
		퇴적층(모래)	5.6~8.7	18.0	
		풍화토	8.7~10.0	20.0	
		풍화암	10.0~12.6	21.3	
		연 암	12.6~16.8	23.4	
		경 암	16.8~68.2	25.4	

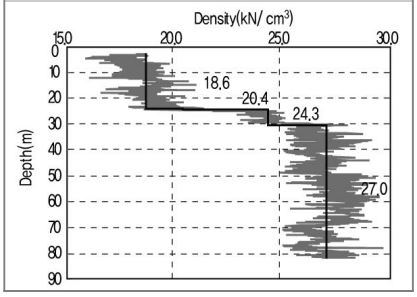
구 분		지 층	심 도(GL.-m)	밀 도(kN/m³)	결과단면
실 시 설 계	ATB-12	매립층	2.5~4.5	18.9	
		퇴적층(모래)	4.5~10.4	18.5	
		퇴적층(자갈)	10.4~23.4	19.9	
		풍화토	23.4~25.5	20.6	
		풍화암	25.5~26.8	21.3	
		연 암	26.8~78.0	23.8	
	ATB-20	매립층	2.3~2.5	18.7	
		퇴적층(모래)	2.5~6.5	18.5	
		퇴적층(자갈)	6.5~19.0	19.8	
		풍화토	19.0~27.0	20.9	
		풍화암	27.0~33.0	21.5	
		연 암	33.0~38.9	23.4	
		경 암	38.9~57.3	25.3	

지층별 밀도값 분석

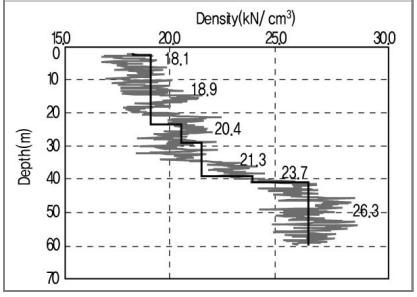
NTB-7



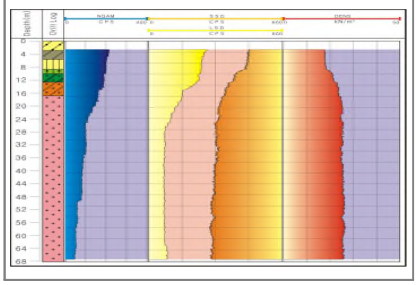
NTB-10



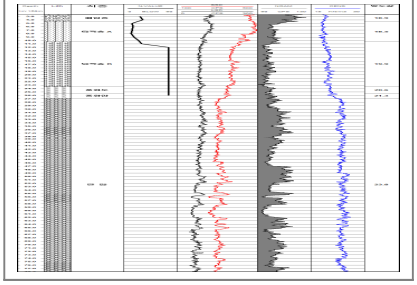
NTB-20



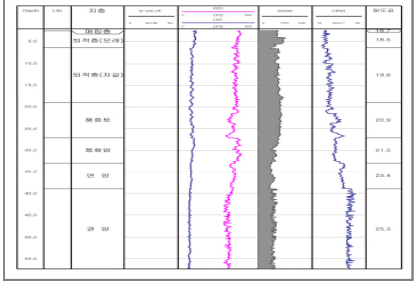
ATB-3



ATB-12



ATB-20



분석결과	•퇴적층은 17.7~19.9kN/m³의 범위를 보이며 심도 및 구성성분의 입경이 클수록 증가하는 경향 •토사 및 암반층의 단위중량은 설계지반정수 산정시 지층별 동적특성 분석을 위한 기초 자료로 활용

5.4.2 S-PS검층

기본방향	•시추공을 이용하여 심도 및 구간별 탄성파속도(V_p, V_s) 측정 •내진 설계시 요구되는 지반의 동전단계수, 동탄성계수, 동체적계수, 동포아송비 등 동적 물성치 산정

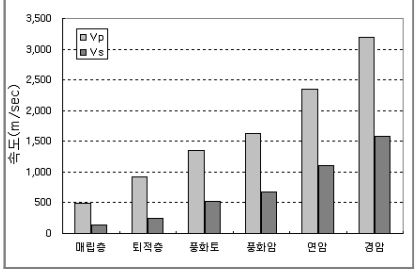
검층결과

구 분		심 도 (GL.-m)	지 층	탄성파 속도		동적물성값			
				V_p(m/sec)	V_s(m/sec)	G_d(MPa)	E_d(MPa)	K_d(MPa)	ν_d
기본 설계	NTB-7	3.0	퇴적층	440	169	579	1,627	2,962	0.415
		16.0~24.0	풍화토	680	319	1,987	5,396	6,331	0.359
		24.0~27.0	풍화암	900	460	4,518	11,933	11,162	0.323
		27.0~33.0	연 암	1,580	907	20,179	50,413	33,805	0.255
	NTB-10	3.0~24.0	퇴적층	486	187	811	2,021	3,659	0.415
		24.0~24.5	풍화토	784	402	3,299	8,720	8,149	0.322
		24.5~30.3	연 암	1,048	593	8,835	22,228	15,482	0.266
		30.3~82.0	경 암	3,452	2,057	123,516	302,533	183,151	0.225
	NTB-20	3.0~23.6	퇴적층	412	160	1,454	2,690	0.414	0.474
		23.6~29.0	풍화토	684	290	4,838	7,300	0.391	0.464
		29.0~36.0	풍화암	1,058	524	16,288	16,460	0.340	0.427
		36.0~41.0	연 암	1,880	1,066	69,264	48,387	0.265	0.329
		41.0~60.0	경 암	3,584	2,133	298,509	181,078	0.226	0.226
실시 설계	ATB-3	0.0~2.9	매립층	-	-	-	-	-	-
		2.9~5.6	퇴적(점토)	1,345	172	54	160	3,200	0.492
		5.6~8.7	퇴적(모래)	1,443	255	128	380	3,680	0.484
		8.7~10.0	풍화토	1,715	461	433	1,270	5,420	0.461
		10.0~12.6	풍화암	2,094	668	973	2,810	8,240	0.443
		12.6~16.8	연 암	2,445	885	1,870	5,330	11,800	0.425
		16.8~68.2	경 암	3,051	1,272	4,220	11,800	18,600	0.395
	ATB-12	2.5~4.5	매립층	459	142	38	110	347	0.447
		4.5~10.4	퇴적(모래)	569	192	69	197	509	0.436
		10.4~23.4	퇴적(자갈)	762	296	181	509	937	0.412
		23.4~25.5	풍화토	1,196	553	632	1,724	2,111	0.364
		25.5~26.8	풍화암	1,419	693	1,024	2,750	2,927	0.343
		26.8~78.0	연 암	2,375	1,283	3,991	10,293	8,245	0.295
	ATB-20	2.3~2.5	매립층	537	148	41	120	485	0.459
		2.5~6.5	퇴적(모래)	578	193	69	199	527	0.437
		6.5~19.0	퇴적(자갈)	810	319	209	587	1,044	0.409
		19.0~27.0	풍화토	1,163	536	604	1,647	2,029	0.365
		27.0~33.0	풍화암	1,387	681	1,004	2,693	2,821	0.341
		33.0~38.9	연 암	2,212	1,157	3,148	8,254	7,294	0.312
		38.9~57.3	경 암	3,343	1,902	9,366	23,541	16,235	0.262

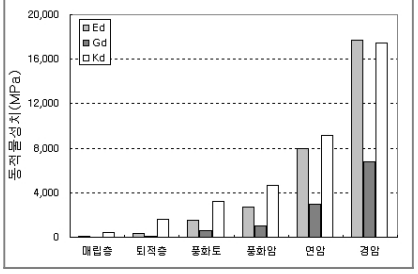
지층분석 결과

구 분	탄성파속도(m/sec)		동전단계수	동탄성계수	동체적계수	동포아송비
	V_p	V_s	G_d(MPa)	E_d(MPa)	K_d(MPa)	ν_d
매 립 층	498	145	40	115	416	0.453
퇴 적 층	918	238	118	339	1,650	0.445
풍 화 토	1,358	517	556	1,547	3,187	0.397
풍 화 암	1,633	681	1,000	2,751	4,663	0.376
연 암	2,344	1,108	3,003	7,959	9,113	0.344
경 암	3,197	1,587	6,793	17,671	17,418	0.329

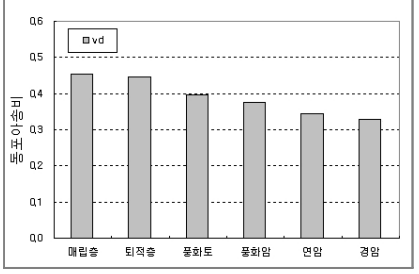
탄성파속도



동적물성치



동포아송비



분석결과	•탄성파속도 및 동적물성치는 심도에 따라 점진적으로 증가하는 양상을 보임 •DHT, MASW탐사와 연계하여 내진설계의 동적물성치 산정시 활용

5.4.3 하향식 탄성파탐사

기본방향	•구조물의 내진설계를 위한 탄성파속도에 따른 지반의 동적물성치 산출 •심도에 따른 연속적인 P파 및 S파속도 파악

탐사결과

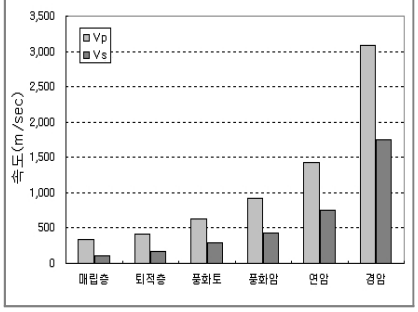
구 분		심 도 (GL.-m)	지 층	탄성파 속도		동적물성값			
				V_p(m/sec)	V_s(m/sec)	G_d(MPa)	E_d(MPa)	K_d(MPa)	ν_d
기본 설계	NTB-13	0.0~1.7	매립층	349	112	238	688	1,998	0.443
		1.7~25.3	퇴적층	550	247	1,173	3,207	4,132	0.374
		25.3~28.7	풍화토	761	412	3,905	9,981	7,699	0.294
		28.7~43.5	연 암	1,607	949	24,506	60,270	37,207	0.234
		43.5~82.3	경 암	3,690	2,201	135,980	332,682	200,461	0.224
	NTB-15	0.0~1.7	매립층	431	158	47	135	290	0.422
		1.7~22.0	퇴적층	574	253	128	352	481	0.381
		22.0~31.2	풍화토	748	357	257	694	781	0.353
		31.2~47.8	연 암	2,150	1,252	3,901	9,661	6,173	0.259
		47.8~72.0	경 암	4,193	2,487	15,922	39,098	23,952	0.230
	NTB-21	0.0~1.7	매립층	331	108	22	64	179	0.440
		1.7~23.8	퇴적층	489	209	83	230	334	0.390
		23.8~28.0	풍화토	681	332	225	606	649	0.345
		28.0~31.3	풍화암	855	433	407	1,080	1,039	0.328
		31.3~34.3	연 암	1,257	713	1,219	3,069	2,146	0.264
		34.3~56.0	경 암	3,507	2,087	12,561	30,770	18,645	0.227

구 분		심 도 (GL.-m)	지 층	탄성파 속도		동적물성값			
				V_p(m/sec)	V_s(m/sec)	G_d(MPa)	E_d(MPa)	K_d(MPa)	ν_d
실시 설계	ATB-7	0.0~3.5	매립층	288	91	44	16	126	0.442
		3.5~10.7	퇴적층(점성토)	323	129	79	28	139	0.406
		10.7~25.4	퇴적층(사질토)	505	242	268	99	299	0.349
		25.4~25.4	풍화암	831	399	842	312	939	0.351
		25.4~30.1	연 암	1,419	721	2,912	1,102	2,780	0.325
		30.1~80.2	경 암	3,167	1,765	20,499	8,102	14,912	0.277
	NNTB-2	0.0~2.2	매립층	393	128	94	34	229	0.431
		2.2~7.7	퇴적층(점성토)	399	152	108	39	219	0.409
		7.7~12.0	풍화토	626	279	402	148	541	0.369
		12.0~16.1	풍화암	997	454	1,113	414	1,408	0.358
		16.1~30.0	연 암	1,595	851	3,991	1,546	3,340	0.296
		30.0~61.0	경 암	3,016	1,735	25,550	10,277	16,916	0.253
	ATB-18	0.0~1.7	매립층	318	110	23	65	159	0.432
		1.7~12.0	퇴적층(모래)	373	137	35	101	212	0.422
		12.0~23.2	퇴적층(자갈)	448	186	69	193	307	0.396
		23.2~28.5	풍화토	648	309	201	544	613	0.353
		28.5~58.2	연 암	1,268	680	1,098	2,845	2,332	0.299

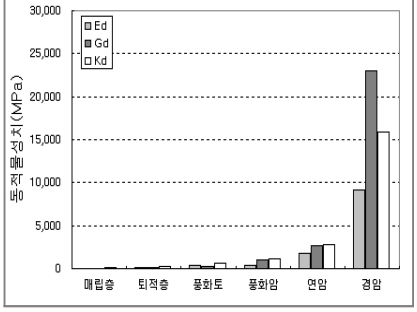
지층분석 결과

구 분	탄성파속도(m/sec)		동전단계수	동탄성계수	동체적계수	동포아송비
	V_p	V_s	G_d(MPa)	E_d(MPa)	K_d(MPa)	ν_d
매 립 층	333	110	54	38	171	0.44
퇴 적 층	410	169	112	92	235	0.40
풍 화 토	637	294	302	346	577	0.36
풍 화 암	914	427	978	363	1,174	0.35
연 암	1,427	751	2,667	1,831	2,817	0.31
경 암	3,092	1,750	23,025	9,190	15,914	0.27

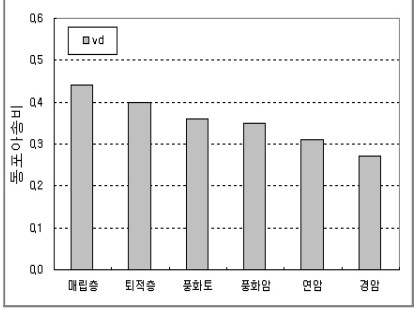
탄성파속도



동적물성치



동포아송비



분석결과	•탄성파속도 및 동적물성치는 심도 및 지층에 따라 대체로 증가하는 양상을 보임 •S-PS검층, MASW탐사와 연계하여 내진설계의 동적물성치 산정시 활용

5.4.4 다채널 표면파탐사(MASW)

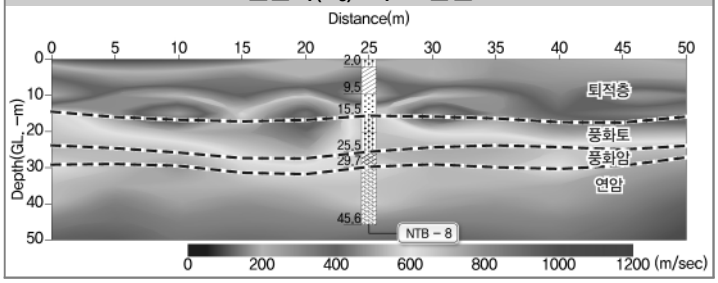
기본방향	•구조물의 내진설계를 위한 원지반 동적 특성치의 2차원 단면 획득 •전단파 속도(V_s)에 의한 지층분포와 연약대 등의 이상대 파악

탐사결과

M-1 측선

탐사위치도

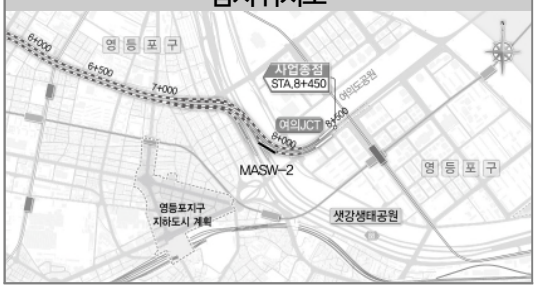
전단파(V_s) 속도 단면



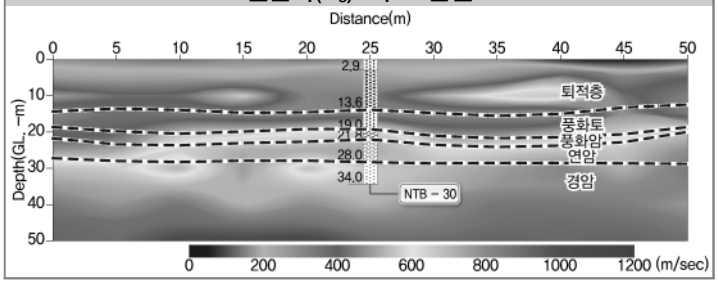
구 분	탄성파속도(m/sec)		동전단계수	동탄성계수	동체적계수	동포아송비
	V_p	V_s	G_d(MPa)	E_d(MPa)	K_d(MPa)	ν_d
매 립 층	474	209	81	223	307	0.38
퇴적층(점토)	827	376	265	727	930	0.37
퇴적층(모래)	871	395	299	820	1,056	0.37
풍 화 토	1,344	628	785	2,135	2,548	0.36
풍 화 암	1,419	681	984	2,658	2,961	0.35
연 암	1,526	785	1,490	3,935	3,645	0.32
경 암	1,803	964	2,494	6,483	5,399	0.30

M-2 측선

탐사위치도



전단파(V_s) 속도 단면



구 분	탄성파속도(m/sec)		동전단계수	동탄성계수	동체적계수	동포아송비
	V_p	V_s	G_d(MPa)	E_d(MPa)	K_d(MPa)	ν_d
매 립 층	424	187	65	178	246	0.38
퇴적층(자갈)	825	396	314	847	943	0.35
풍 화 토	766	358	255	694	827	0.36
풍 화 암	1,256	603	772	2,084	2,319	0.35
연 암	1,335	687	1,141	3,013	2,788	0.32
경 암	1,684	900	2,174	5,652	4,712	0.30

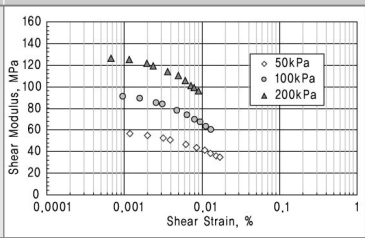
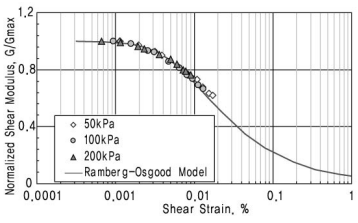
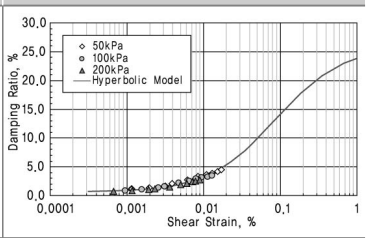
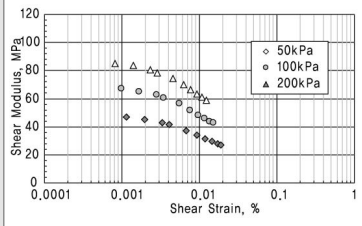
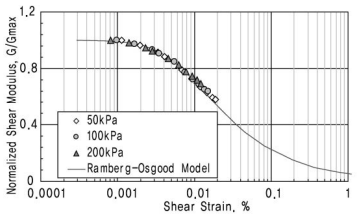
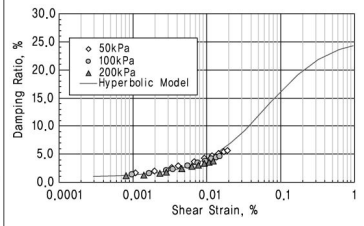
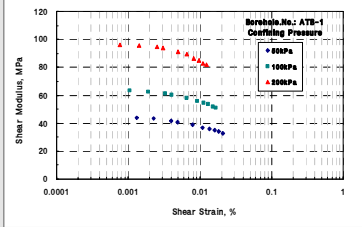
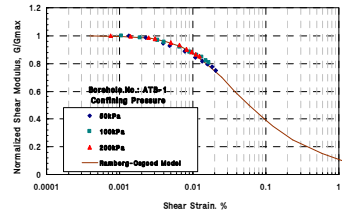
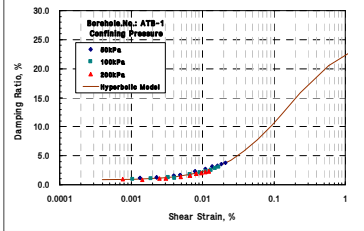
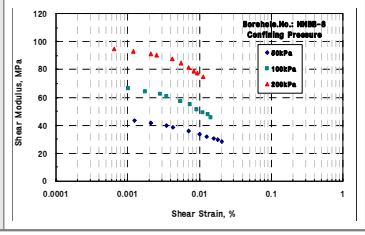
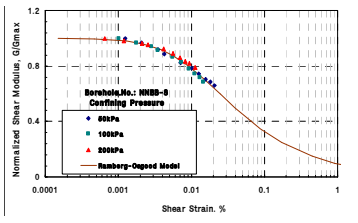
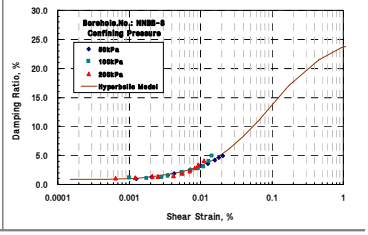
분석결과	•토사층의 전단파속도(V_s)는 187~396m/sec, 풍화토의 전단파속도(V_s)는 358~628m/sec로 분포 •기반암의 전단파속도(V_s)는 687~964m/sec로 분포

5.4.5 공진주시험

기본방향	•전단탄성계수(G_d)와 전단에 대한 감쇠비(D)등의 지반의 동적특성 파악 •지반의 동적물성치 변화를 측정하여 지진에 대한 구조물의 내진 안정성 평가

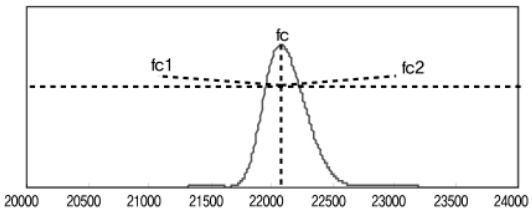
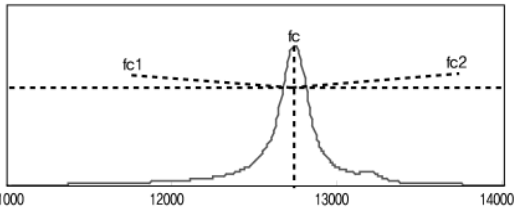
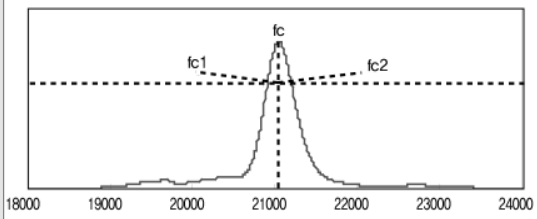
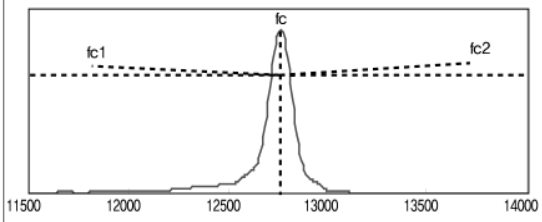
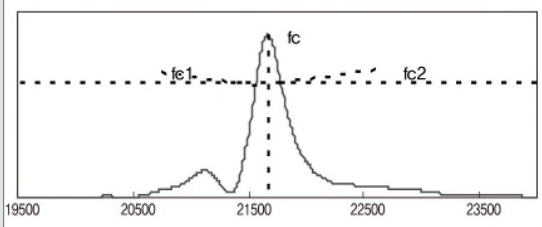
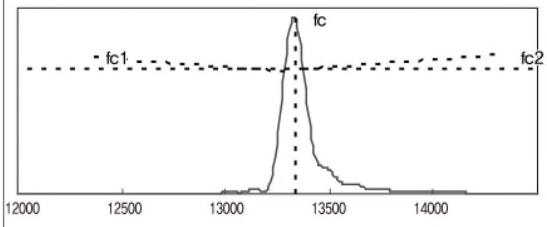
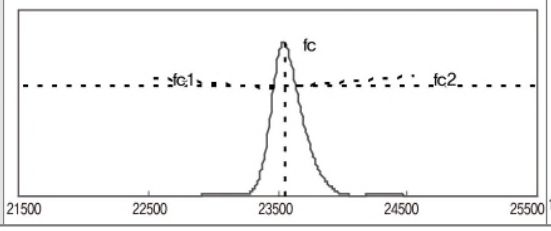
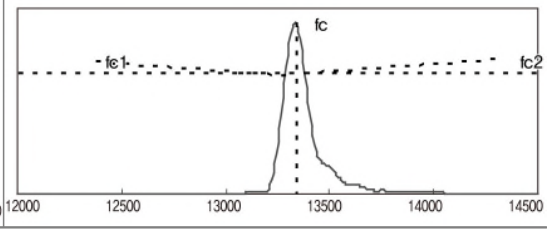
토사공진주 시험결과

구 분		심 도(m)	통일분류	구속압 (kPa)	전단탄성계수 (MPa)	G/G_{max}	감쇠비(%)
기 본 설 계	NTB-13	10.0	SM	50	34.97~56.50	0.62~1.0	1.12~4.45
				100	60.43~91.14	0.66~1.0	0.86~3.50
				200	96.26~126.19	0.76~1.0	0.75~2.75
	NBB-7	6.0	SM	50	27.17~46.99	0.58~1.0	1.69~5.60
				100	42.83~67.10	0.64~1.0	1.38~4.63
				200	58.80~85.13	0.69~1.0	1.10~3.77
실 시 설 계	ATB-1	1.0	SM	50	32.84~43.86	0.75~1.0	1.15~3.80
				100	51.05~63.15	0.81~1.0	0.89~3.03
				200	81.73~96.05	0.85~1.0	0.88~2.35
	NNBB-8	6.0	SM	50	28.48~43.21	0.66~1.0	0.97~4.88
				100	45.59~66.25	0.69~1.0	1.13~4.88
				200	74.81~94.66	0.79~1.0	1.05~4.05

구 분		전단탄성계수	정규화 전단탄성계수	감쇠비(%)
기본설계	NTB-13			
	NBB-7			
실시설계	ATB-1			
	NNBB-8			

암석공진주 시험결과

구 분		심 도 (GL.-m)	단위중량 (kN/m³)	NO.	압축파				전단파			
					f(Hz)	V_c(m/sec)	E(GPa)	D(%)	f(Hz)	V_s(m/sec)	E(GPa)	D(%)
기본설계	NTB-13	60.0~60.4	26.8	1	22,071.84	4,802.83	63.08	0.63	12,748.72	2,774.12	21.04	0.52
				2	22,064.21	4,801.17	63.03	0.64	12,763.98	2,777.44	21.09	0.51
				3	22,079.47	4,804.49	63.12	0.62	12,741.09	2,772.46	21.02	0.53
				평균	22,071.84	4,802.83	63.08	0.63	12,751.26	2,774.67	21.05	0.52
	NTB-24	36.4~36.7	26.49	1	21,034.24	4,459.26	53.75	0.69	12,771.61	2,707.58	19.82	0.38
				2	21,072.39	4,467.35	53.94	0.71	12,779.24	2,709.20	19.84	0.38
				3	21,049.50	4,462.49	53.83	0.69	12,763.98	2,705.96	19.79	0.37
				평균	21,052.04	4,463.03	53.84	0.70	12,771.61	2,707.58	19.82	0.38
실시설계	ATB-4	48.4~48.6	26.44	1	21,812.44	4,619.87	57.59	0.51	13,320.92	2,821.37	21.48	0.34
				2	21,667.48	4,589.17	56.83	0.49	13,328.55	2,822.99	21.50	0.34
				3	21,652.22	4,585.94	56.75	0.55	13,336.18	2,824.60	21.53	0.35
				평균	21,710.71	4,598.33	57.05	0.52	13,328.55	2,822.99	21.50	0.34
	NNTB-6	50.3~50.5	26.75	1	23,536.68	4,961.53	67.20	0.39	14,450.07	3,046.08	25.33	0.32
				2	23,544.31	4,963.14	67.25	0.37	14,434.81	3,042.86	25.28	0.32
				3	23,521.42	4,958.32	67.12	0.39	14,427.19	3,041.25	25.25	0.31
				평균	23,534.14	4,961.00	67.19	0.38	14,437.36	3,043.39	25.29	0.31

공 번		압축파	전단파
기본설계	NTB-13		
	NTB-24		
실시설계	ATB-4		
	NNTB-6		

분석결과	•토사공진주 시험결과 전단탄성계수는 28.48~96.05MPa, 감쇠비는 0.88~4.88%로 나타남 •암석공진주 시험결과 전단탄성계수는 21.48~25.33GPa, 감쇠비는 0.31~0.35%로 나타남

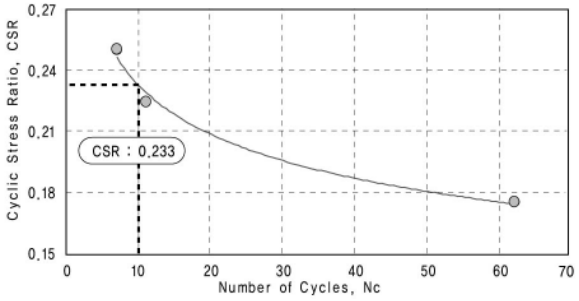
5.4.6 진동반복삼축시험

기본방향	•지진시 발생되는 지반의 응력-변형 특성을 파악, 지반의 액상화 저항능력 산정 •지진규모에 맞는 반복회수를 선정하여 액상화 가능여부 판단

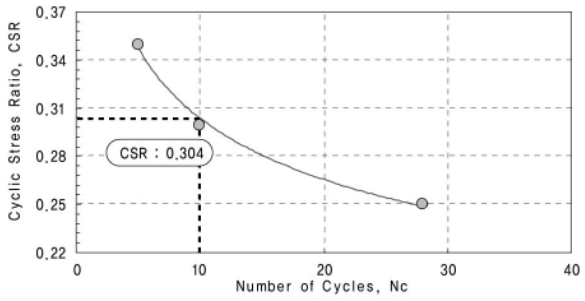
공 번		심 도(m)	구속압(kPa)	응력비(CSR)	액상화 발생재하 횟수	
					DA=5%	DA=10%
기본 설계	NTB-13	10.5	100	0.250	5	7
				0.225	9	11
				0.175	59	62
		Nc_{10}, 진동반복응력비			0.224	0.233
	NBB-7	6.0	100	0.350	4	5
				0.300	8	10
				0.250	26	28
		Nc_{10}, 진동반복응력비			0.294	0.304
실시 설계	ATB-1	1.0	100	0.300	3	4
				0.250	10	11
				0.200	33	34
		Nc_{10}, 진동반복응력비			0.242	0.253
	NNBB-8	6.0	100	0.275	3	4
				0.225	10	11
				0.175	40	42
		Nc_{10}, 진동반복응력비			0.224	0.230

액상화 가능화 곡선

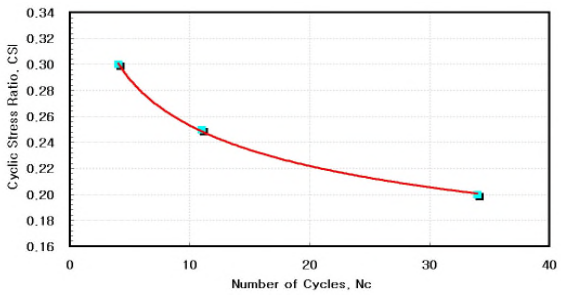
NTB-13(CSR-N 곡선)



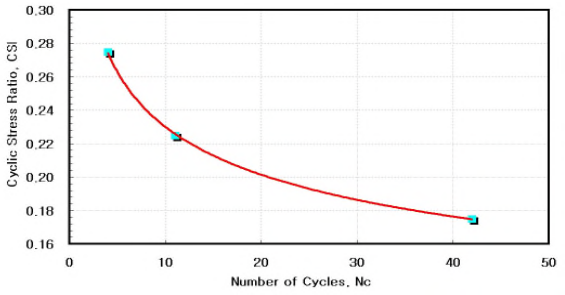
NBB-7(CSR-N 곡선)



ATB-1(CSR-N 곡선)



NNBB-8(CSR-N 곡선)



분석결과	•진동반복회수 N=10에서의 진동반복응력비(CSR)는 0.230~0.253로 분포함

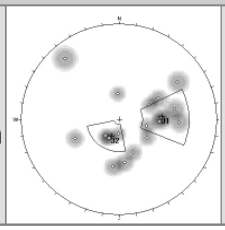
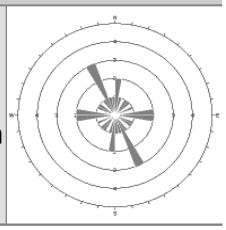
5.5 기반암 불연속면 특성 조사

5.5.1 시추공영상촬영(BIPS)

기본방향	•불연속면의 분포특성 및 방향성 분석을 통하여 균질절리영역과 지반등급 산정의 기초 자료로 활용 •영상촬영에 의한 자갈층 입경분석 및 분포형상 파악을 통한 시공영향 분석자료 제공

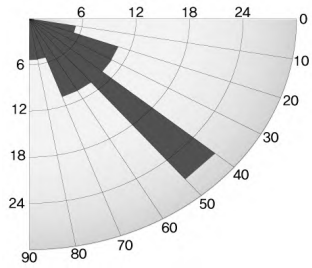
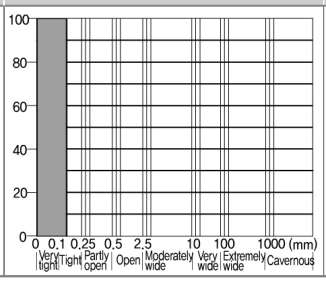
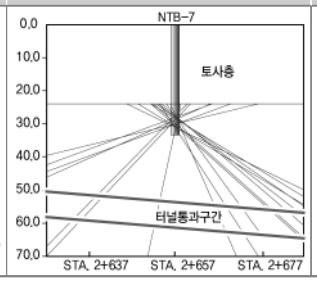
기본설계(NTB-7)

불연속면 분석

불연속면 방향성			
Pole Diagram		Rose Diagram	

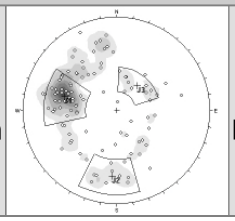
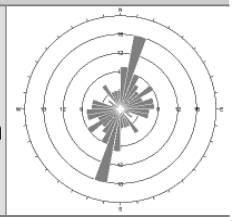
구 분	방향성 (Dip/Dip Dir)	절리간격 (m)	Fisher' K
Set 1	48/263	0.378	15.63
Set 2	34/004	0.521	17.90
Set 3	–	–	–

불연속면 경사 및 간극분석

절리면 경사 분석	절리면 간극 분석	절리면 전개도	분석결과
			•미세절리 수 : 18개 •미세절리만 관찰되며, 지표하 27.0 ~ 32.0m에서 가장 높은 분포 •불연속면의 경사는 40~ 50° 우세

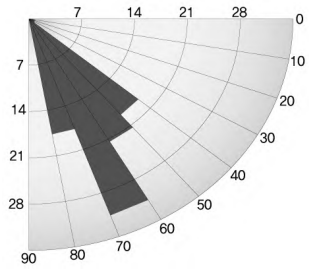
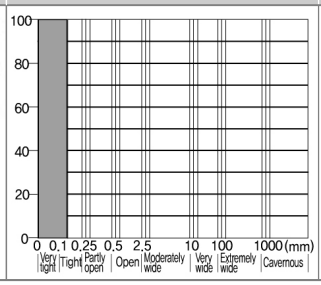
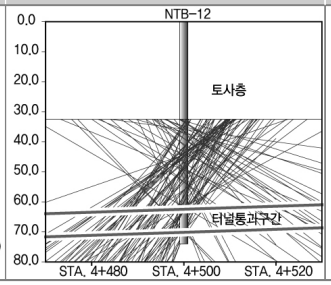
기본설계(NTB-12)

불연속면 분석

불연속면 방향성			
Pole Diagram		Rose Diagram	

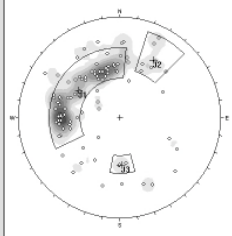
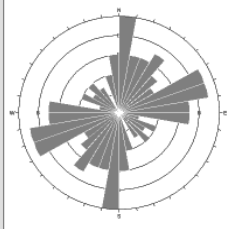
구 분	방향성 (Dip/Dip Dir)	절리간격 (m)	Fisher' K
Set 1	59/114	0.593	6.56
Set 2	61/354	1.820	13.95
Set 3	42/221	2.876	22.55

불연속면 경사 및 간극분석

절리면 경사 분석	절리면 간극 분석	절리면 전개도	분석결과
			•미세절리 수 : 107개 •미세절리만 관찰되며, 지표하 40.0~50.0m에서 가장 높은 분포 •불연속면의 경사는 60~ 70° 우세

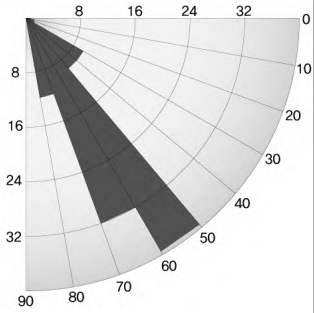
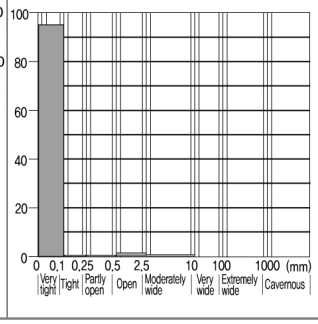
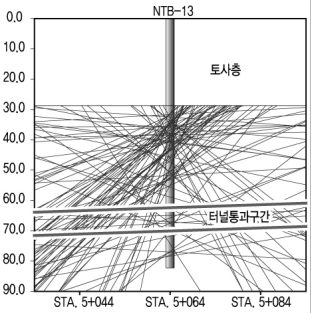
기본설계(NTB-13)

불연속면 분석

불연속면 방향성			
Pole Diagram		Rose Diagram	

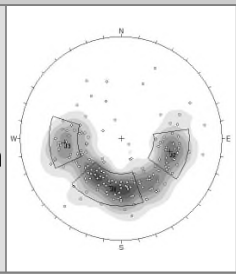
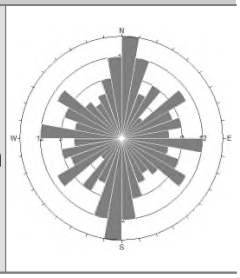
구 분	방향성 (Dip/Dip Dir)	절리간격 (m)	Fisher' K
Set 1	53/124	0.812	8.31
Set 2	68/207	1.786	47.55
Set 3	51/358	8.560	421.22

불연속면 경사 및 간극분석

절리면 경사 분석	절리면 간극 분석	절리면 전개도	분석결과
			•총96개 절리(열린절리:4개, 미세절리:92개) •대표적인 열린절리는 지표하 31.2, 35.1m에서 가장 높은 분포 •불연속면의 경사는 50~60° 우세

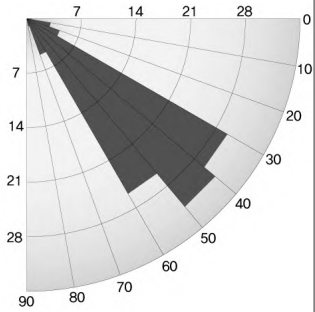
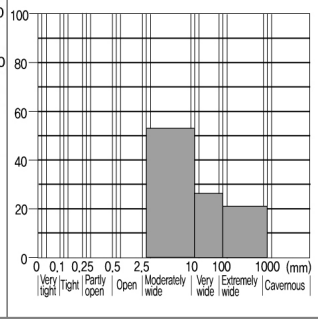
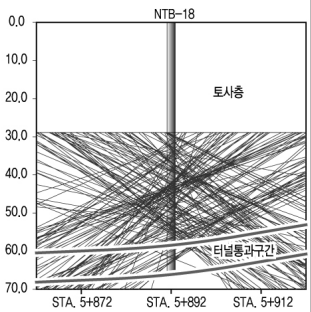
기본설계(NTB-18)

불연속면 분석

불연속면 방향성			
Pole Diagram		Rose Diagram	

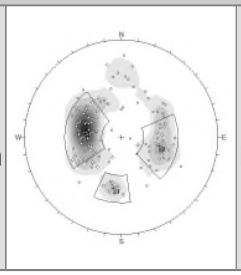
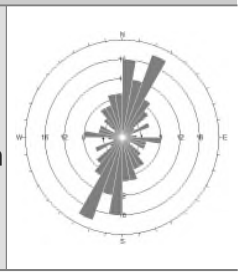
구 분	방향성 (Dip/Dip Dir)	절리간격 (m)	Fisher' K
Set 1	51/013	0.666	23.61
Set 2	53/285	0.967	48.18
Set 3	59/086	1.741	47.43

불연속면 경사 및 간극분석

절리면 경사 분석	절리면 간극 분석	절리면 전개도	분석결과
			•총162개 절리(열린절리:19개, 미세절리:143개) •대표적인 열린절리는 지표하 40.97, 45.69, 52.18m 구간에서 발달 •불연속면의 경사는 50~60° 우세

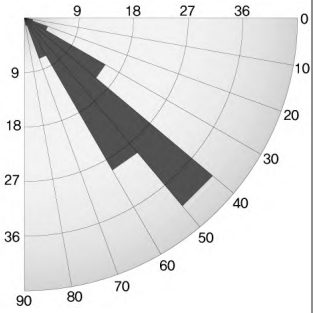
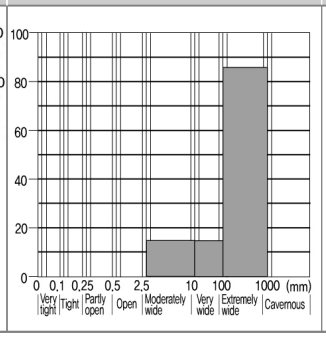
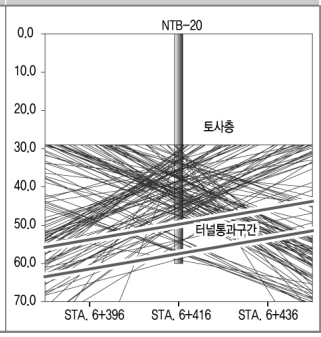
기본설계(NTB-20)

불연속면 분석

불연속면 방향성			
Pole Diagram		Rose Diagram	

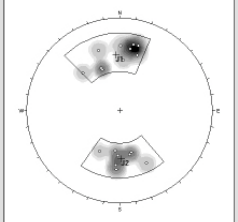
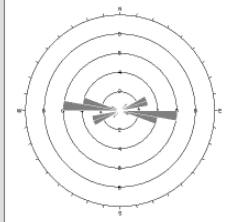
구 분	방향성 (Dip/Dip Dir)	절리간격 (m)	Fisher' K
Set 1	42/099	0.448	23.97
Set 2	44/283	0.609	26.66
Set 3	56/009	2.646	147.48

불연속면 경사 및 간극분석

절리면 경사 분석	절리면 간극 분석	절리면 전개도	분석결과
			•총133개 절리(열린절리:7개, 미세절리:126개) •미세절리가 주로 분포하며 열린 절리는 지표하 42.6~44.6m, 53.29~54.30m에 발달 •불연속면의 경사는 40~50° 우세

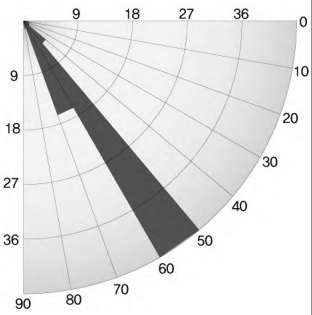
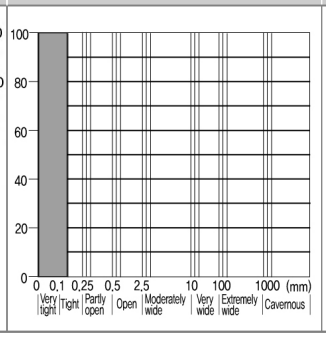
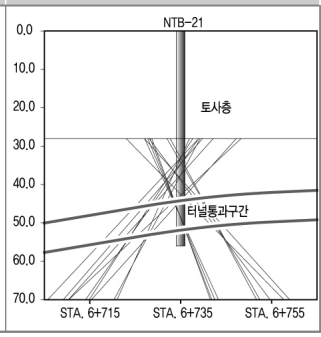
기본설계(NTB-21)

불연속면 분석

불연속면 방향성			
Pole Diagram		Rose Diagram	

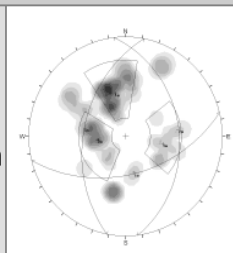
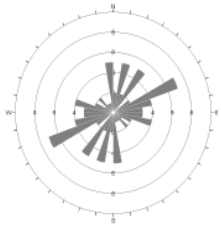
구 분	방향성 (Dip/Dip Dir)	절리간격 (m)	Fisher' K
Set 1	63/176	1.756	16.23
Set 2	56/358	1.597	28.28
Set 3	–	–	–

불연속면 경사 및 간극분석

절리면 경사 분석	절리면 간극 분석	절리면 전개도	분석결과
			•미세절리 수 : 18개 •미세절리만 관찰되며, 지표하 32.0~35.0m, 48.4~48.9m에 발달 •불연속면의 경사는 50~60° 우세

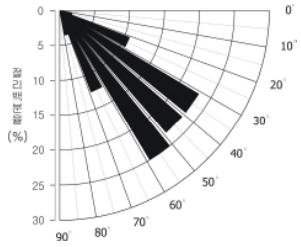
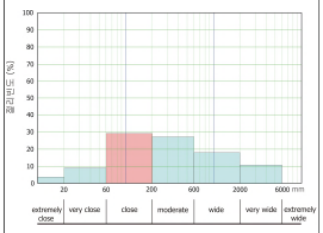
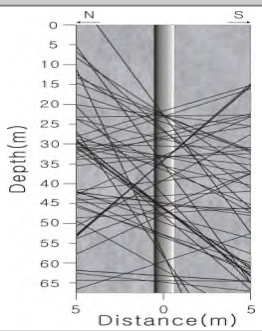
실시설계(ATB-4)

불연속면 분석

불연속면 방향성			
Pole Diagram		Rose Diagram	

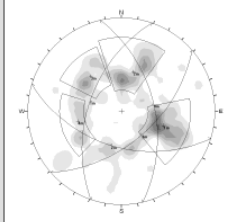
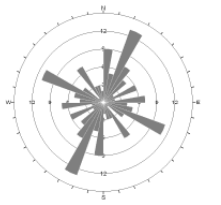
구 분	방향성 (Dip/Dip Dir)	절리간격 (m)	Fisher' K
Set 1	48/166	0.394	25.95
Set 2	32/083	1.311	26.19
Set 3	43/281	0.662	21.35

불연속면 경사 및 간극분석

절리면 경사 분석	절리면 간극 분석	절리면 전개도	분석결과
			•총56개 절리(열린절리:6개, 미세절리:50개) •미세절리가 주로 분포하며, 열린 절리는 지표하 28.7~33.0m에 발달 •불연속면의 경사는 30~60° 우세

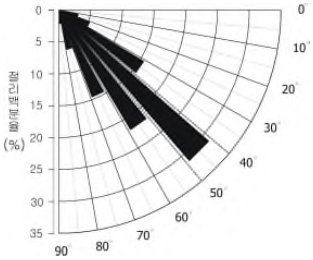
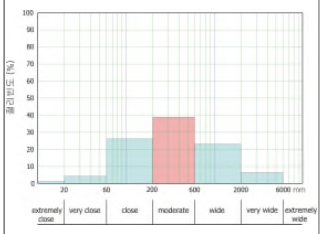
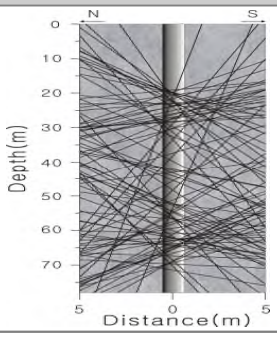
실시설계(ATB-6)

불연속면 분석

불연속면 방향성			
Pole Diagram		Rose Diagram	

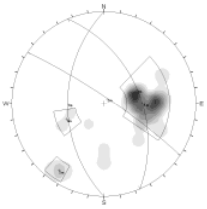
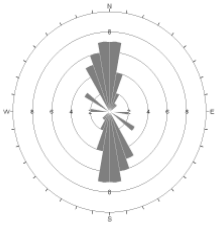
구 분	방향성 (Dip/Dip Dir)	절리간격 (m)	Fisher' K
Set 1	51/289	2.213	30.17
Set 2	48/197	2.352	24.21
Set 3	53/139	4.235	35.28
Set 4	51/077	7.539	26.75

불연속면 경사 및 간극분석

절리면 경사 분석	절리면 간극 분석	절리면 전개도	분석결과
			•총96개 절리(열린절리:3개, 미세절리:93개) •미세절리가 주로 분포하며, 열린 절리는 지표하 19.6, 58.2, 61.2m에 발달 •불연속면의 경사는 40~50° 우세

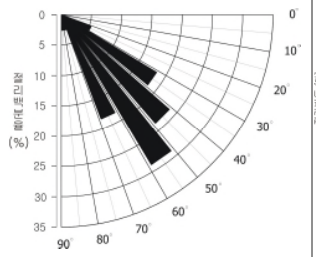
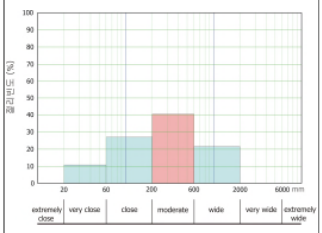
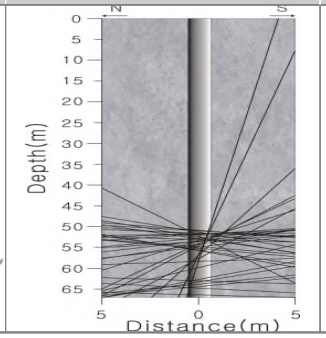
실시설계(NNTB-3)

불연속면 분석

불연속면 방향성			
Pole Diagram		Rose Diagram	

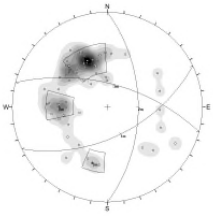
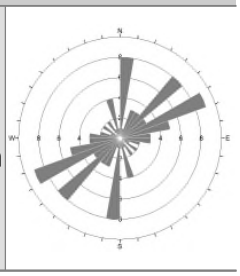
구 분	방향성 (Dip/Dip Dir)	절리간격 (m)	Fisher' K
Set 1	47/270	0.564	26.38
Set 2	82/034	1.610	257.04
Set 3	47/067	1.680	54.02

불연속면 경사 및 간극분석

절리면 경사 분석	절리면 간극 분석	절리면 전개도	분석결과
			•총38개 절리(열린절리:2개, 미세절리:36개) •미세절리가 주로 분포하며 열린 절리는 지표하 54.5, 58.3m,에 발달 •불연속면의 경사는 50~60° 우세

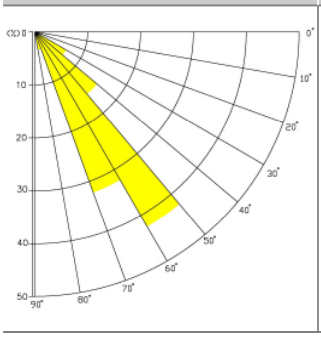
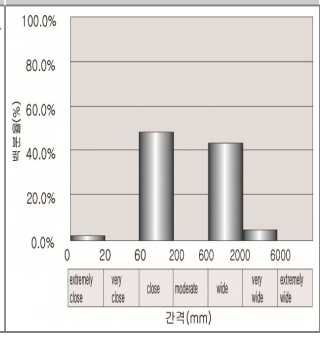
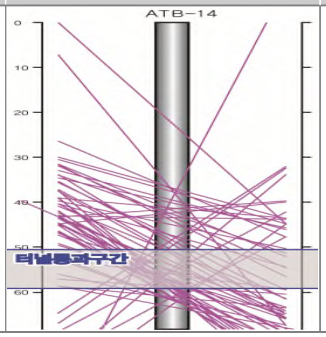
실시설계(ATB-14)

불연속면 분석

불연속면 방향성			
Pole Diagram		Rose Diagram	

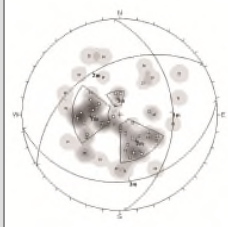
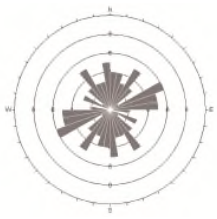
구 분	방향성 (Dip/Dip Dir)	절리간격 (m)	Fisher' K
Set 1	55/154	1.17	46.21
Set 2	54/090	2.59	92.38
Set 3	62/15	9.32	183.36

불연속면 경사 및 간극분석

절리면 경사 분석	절리면 간극 분석	절리면 전개도	분석결과
			•총59개 절리(열린절리:10개, 미세절리:49개) •미세절리가 주로 분포하며 절리는 지표하 60.0~63.0m에 발달 •불연속면의 경사는 50~70° 우세

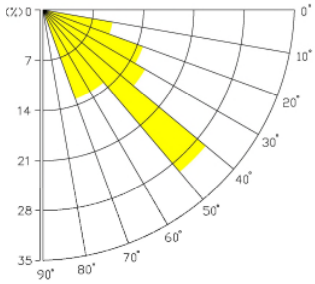
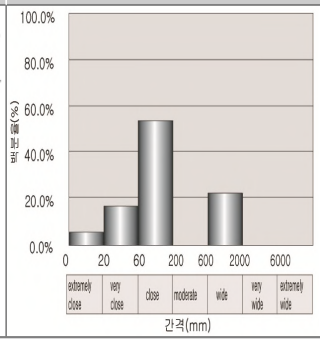
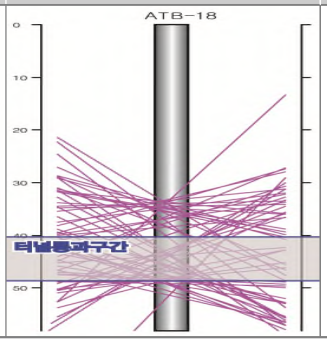
실시설계(ATB-18)

불연속면 분석

불연속면 방향성			
Pole Diagram		Rose Diagram	

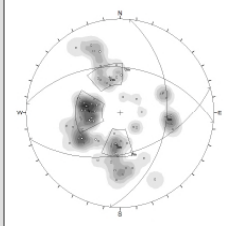
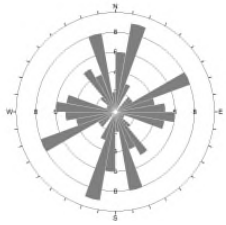
구 분	방향성 (Dip/Dip Dir)	절리간격 (m)	Fisher' K
Set 1	37/089	1.05	26.00
Set 2	35/328	1.00	23.74
Set 3	20/172	0.43	87.87

불연속면 경사 및 간극분석

절리면 경사 분석	절리면 간극 분석	절리면 전개도	분석결과
			•총61개 절리(열린절리:20개, 미세절리:41개) •미세절리가 주로 분포하며 절리는 지표하 48.0~49.0m에 발달 •불연속면의 경사는 30~50° 우세

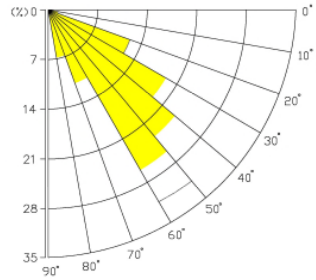
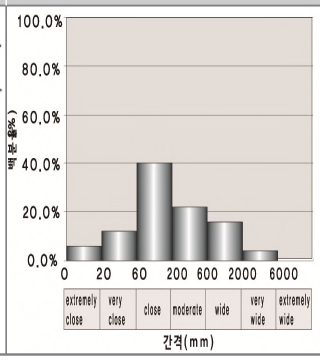
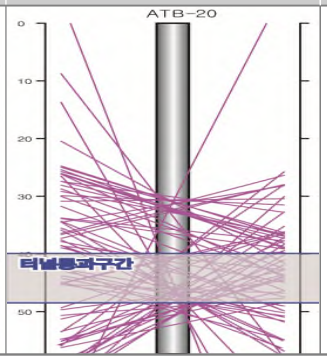
실시설계(ATB-20)

불연속면 분석

불연속면 방향성			
Pole Diagram		Rose Diagram	

구 분	방향성 (Dip/Dip Dir)	절리간격 (m)	Fisher' K
Set 1	39/093	1.22	49.02
Set 2	41/006	3.41	73.85
Set 3	45/168	2.74	48.13

불연속면 경사 및 간극분석

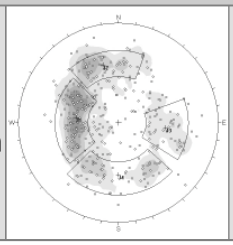
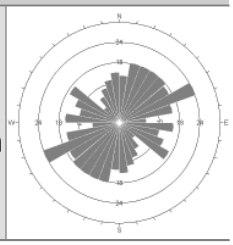
절리면 경사 분석	절리면 간극 분석	절리면 전개도	분석결과
			•총73개 절리(열린절리:36개, 미세절리:37개) •미세절리가 주로 분포하며 절리는 지표하 46.0~50.0m에 발달 •불연속면의 경사는 40~60° 우세

5.5.2 초음파주사검층(BHTV)

기본방향	•원위치 시추공벽의 암반상태, 초음파 상대 암반강도 및 주요 불연속면의 특성 파악 •불연속면의 분포 패턴에 의한 지반상태를 파악하여 암반분류, 터널설계 등에 활용

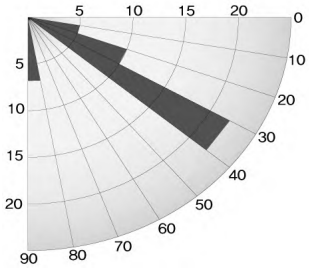
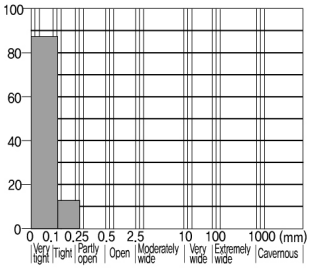
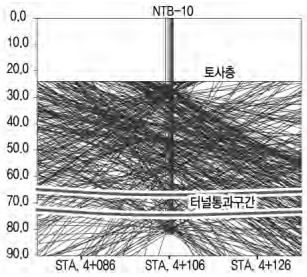
기본설계(NTB-10)

불연속면 분석

불연속면 방향성			
Pole Diagram		Rose Diagram	

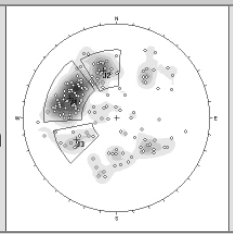
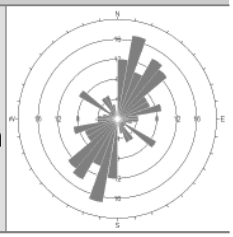
구 분	방향성 (Dip/Dip Dir)	절리간격 (m)	Fisher' K
Set 1	49/96	0.497	14.63
Set 2	62/167	1.079	23.78
Set 3	53/275	1.954	24.00
Set 4	55/360	1.106	10.34

불연속면 경사 및 간극분석

절리면 경사 분석	절리면 간극 분석	절리면 전개도	분석결과
			•총363개 절리(열린절리 : 4개, 미세절리 : 359개) •미세절리가 주로 분포하며, 열린절리는 지표하 25.2 ~ 28.7m, 33.7 m에 발달 •평균 절리간격은 0.16m, 경사는 30~40°우세

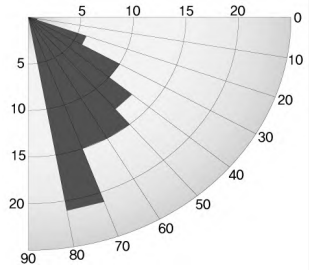
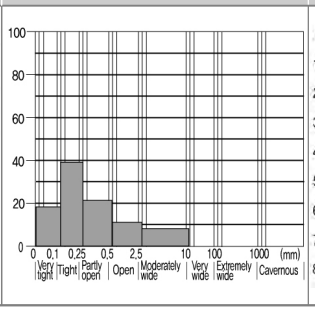
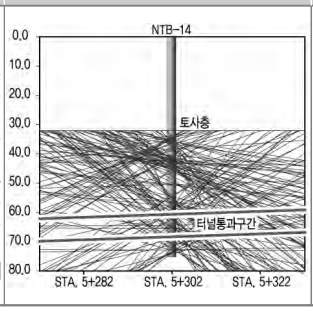
기본설계(NTB-14)

불연속면 분석

불연속면 방향성			
Pole Diagram		Rose Diagram	

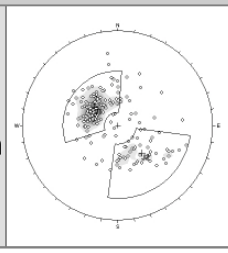
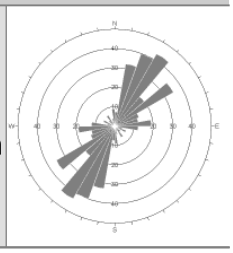
구 분	방향성 (Dip/Dip Dir)	절리간격 (m)	Fisher' K
Set 1	57/113	0.753	36.03
Set 2	58/164	2.551	136.66
Set 3	51/60	4.111	50.40

불연속면 경사 및 간극분석

절리면 경사 분석	절리면 간극 분석	절리면 전개도	분석결과
			•총158개 절리(열린절리 : 10개, 미세절리 : 148개) •미세절리가 주로 분포하며, 열린절리는 지표하 34.8 ~37.5m, 41.3 ~ 41.9m, 73.5~ 73.8m에 발달 •평균 절리간격은 0.20m 경사는 70~80°우세

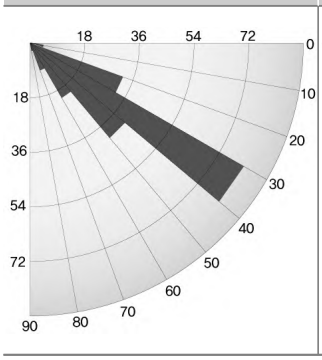
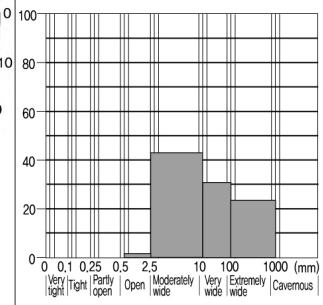
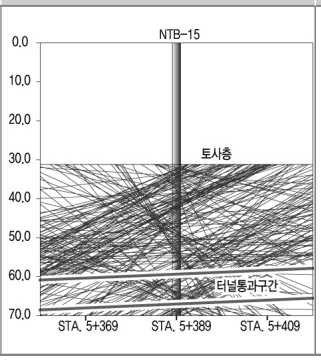
기본설계(NTB-15)

불연속면 분석

불연속면 방향성			
Pole Diagram		Rose Diagram	

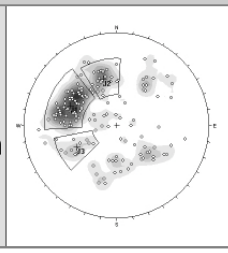
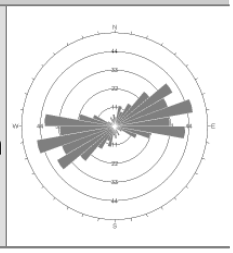
구 분	방향성 (Dip/Dip Dir)	절리간격 (m)	Fisher' K
Set 1	36/124	0.20	35.50
Set 2	49/318	0.27	16.57
Set 3	–	–	–

불연속면 경사 및 간극분석

절리면 경사 분석	절리면 간극 분석	절리면 전개도	분석결과
			•총196개 절리(열린절리 : 61개, 미세절리 : 135개) •미세절리가 주로 분포하며, 열린절리는 지표하 44.2 ~46.3m, 57.0 ~ 59.0m, 60.7~ 63.8m에 발달 •평균 절리간격은 0.20m, 경사는 30~40°우세

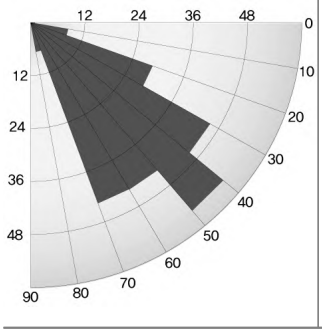
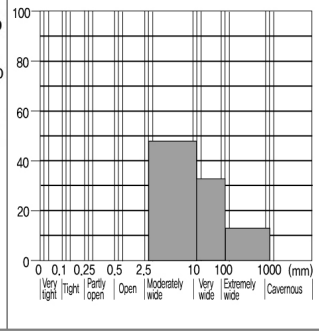
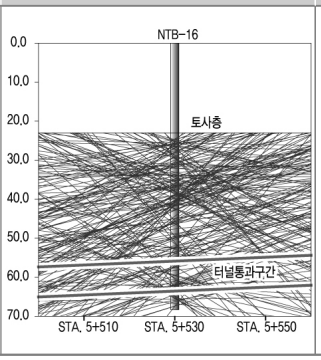
기본설계(NTB-16)

불연속면 분석

불연속면 방향성			
Pole Diagram		Rose Diagram	

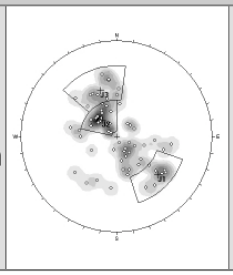
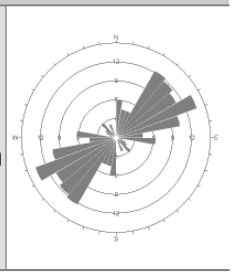
구 분	방향성 (Dip/Dip Dir)	절리간격 (m)	Fisher' K
Set 1	40/149	0.18	30.79
Set 2	62/351	0.17	25.41
Set 3	62/351	0.31	104.38

불연속면 경사 및 간극분석

절리면 경사 분석	절리면 간격 분석	절리면 전개도	분석결과
			•총211개 절리(열린절리 : 38개, 미세절리 : 173개) •미세절리가 주로 분포하며, 열린절리는 지표하 33.0 ~ 34.0m, 43.7 ~ 44.4m에 발달 •평균 절리간격은 0.20m, 경사는 40~50°우세

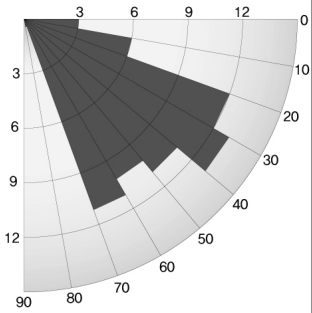
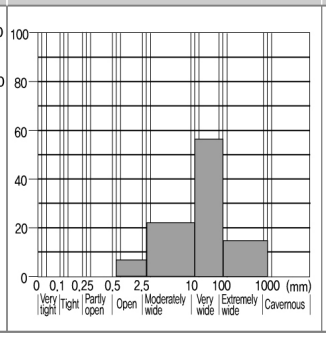
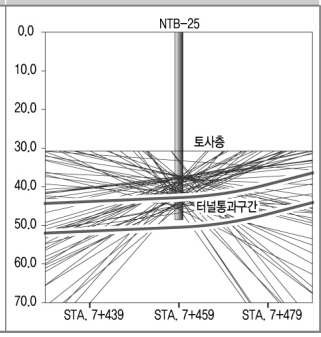
기본설계(NTB-25)

불연속면 분석

불연속면 방향성			
Pole Diagram		Rose Diagram	

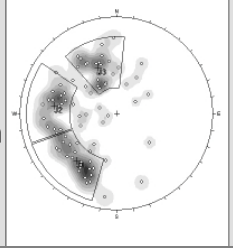
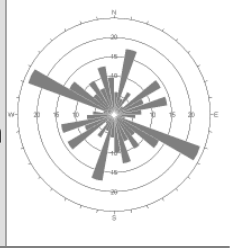
구 분	방향성 (Dip/Dip Dir)	절리간격 (m)	Fisher' K
Set 1	56/166	1.26	42.67
Set 2	27/135	0.26	34.74
Set 3	63/314	0.295	72.93

불연속면 경사 및 간극분석

절리면 경사 분석	절리면 간극 분석	절리면 전개도	분석결과
			•총 66개 절리(열린절리 : 14개, 미세절리 : 52개) •미세절리가 주로 분포하며, 열린절리는 지표하 34.0 ~ 36.5m에 발달 •평균 절리간격은 0.21m, 경사는 30~40°우세

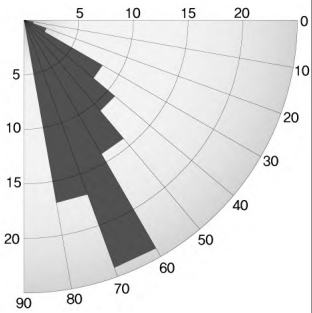
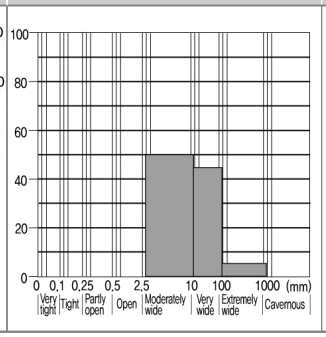
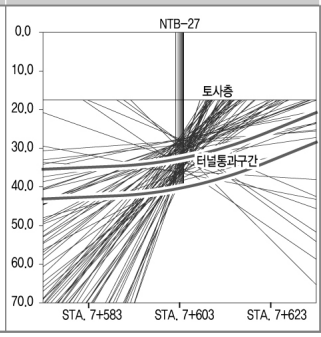
기본설계(NTB-27)

불연속면 분석

불연속면 방향성			
Pole Diagram		Rose Diagram	

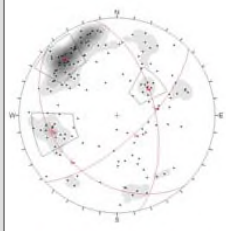
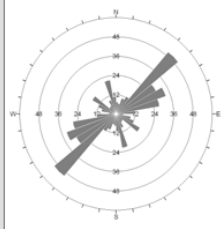
구 분	방향성 (Dip/Dip Dir)	절리간격 (m)	Fisher' K
Set 1	67/038	0.16	29.54
Set 2	68/096	0.18	27.54
Set 3	59/158	0.16	24.15

불연속면 경사 및 간극분석

절리면 경사 분석	절리면 간극 분석	절리면 전개도	분석결과
			•총 79개 절리(열린절리 : 18개, 미세절리 : 61개) •미세절리가 주로 30.0~ 36.5m에 발달 •평균 절리간격은 0.21m, 경사는 60~70°우세

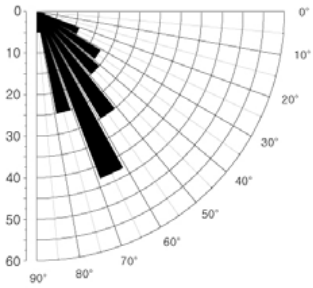
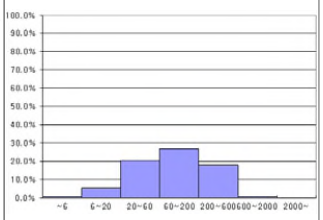
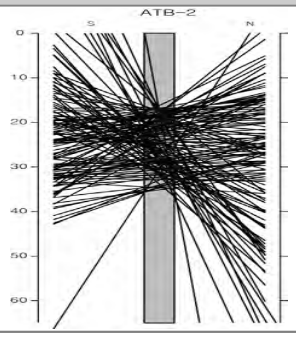
실시설계(ATB-2)

불연속면 분석

불연속면 방향성			
Pole Diagram		Rose Diagram	

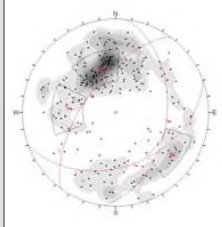
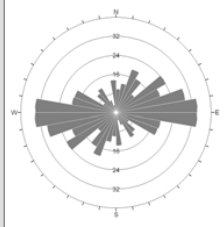
구 분	방향성 (Dip/Dip Dir)	절리간격 (m)	Fisher' K
Set 1	69/137	0.638	72.91
Set 2	58/077	1.072	47.29
Set 3	34/226	1.418	152.44

불연속면 경사 및 간극분석

절리면 경사 분석	절리면 간극 분석	절리면 전개도	분석결과
			•총154개 절리(열린절리 : 131개, 미세절리 : 23개) •열린절리가 주로 분포하며, 전구간에 걸쳐 분포함 •평균 절리간격은 0.12m 경사는 60~70°우세

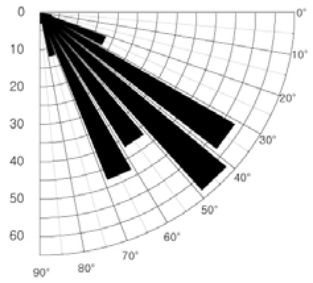
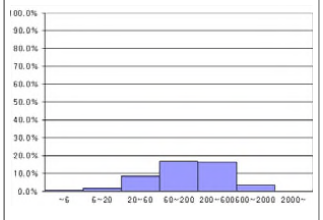
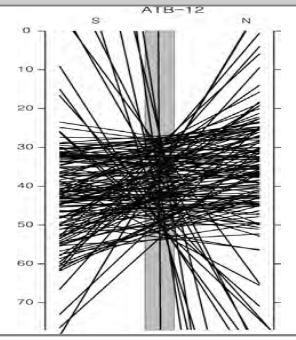
실시설계(ATB-12)

불연속면 분석

불연속면 방향성			
Pole Diagram		Rose Diagram	

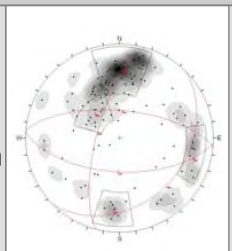
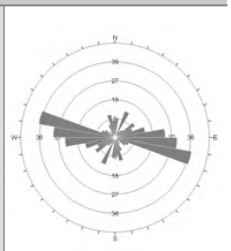
구 분	방향성 (Dip/Dip Dir)	절리간격 (m)	Fisher' K
Set 1	42/160	0.764	50.57
Set 2	62/306	3.234	48.05
Set 3	44/097	1.807	38.25

불연속면 경사 및 간극분석

절리면 경사 분석	절리면 간극 분석	절리면 전개도	분석결과
			•총247개 절리(열린절리 : 196개, 미세절리 : 51개) •열린절리가 주로 분포하며, 전구간에 걸쳐 분포함 •평균 절리간격은 0.20m 경사는 30~50°우세

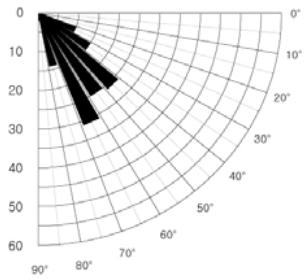
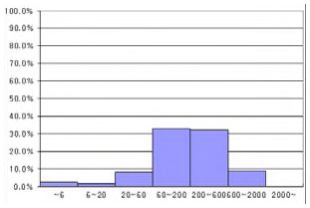
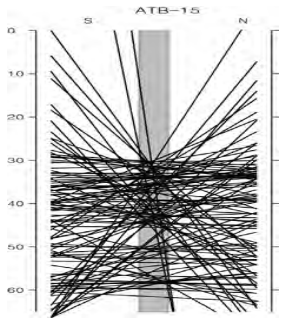
실시설계(ATB-15)

불연속면 분석

불연속면 방향성			
Pole Diagram		Rose Diagram	

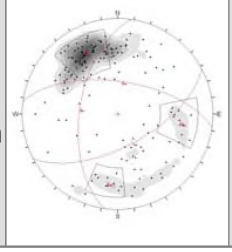
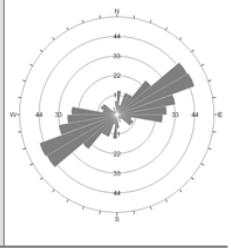
구 분	방향성 (Dip/Dip Dir)	절리간격 (m)	Fisher' K
Set 1	61/183	0.657	29.72
Set 2	70/285	2.814	45.30
Set 3	66/005	4.673	91.19
Set 4	30/135	1.940	59.33

불연속면 경사 및 간극분석

절리면 경사 분석	절리면 간극 분석	절리면 전개도	분석결과
			•총126개 절리(열린절리 : 92개, 미세절리 : 34개) •열린절리가 주로 분포하며, 전구간에 걸쳐 분포함 •평균 절리간격은 0.25m 경사는 40~70°우세

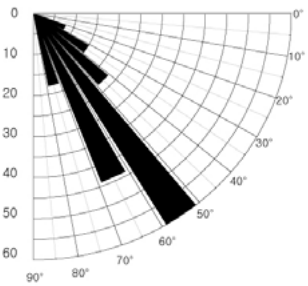
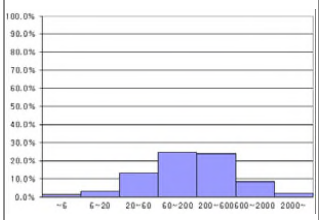
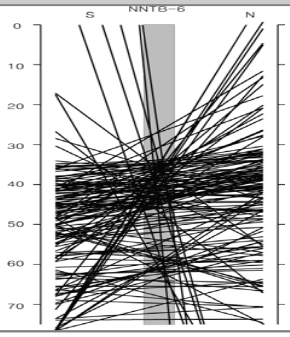
실시설계(NNTB-6)

불연속면 분석

불연속면 방향성			
Pole Diagram		Rose Diagram	

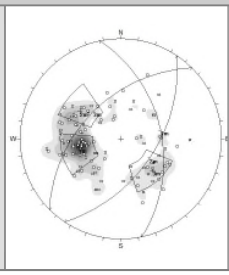
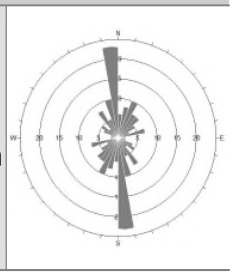
구 분	방향성 (Dip/Dip Dir)	절리간격 (m)	Fisher' K
Set 1	62/152	0.674	42.85
Set 2	62/008	3.708	79.03
Set 3	57/278	4.001	52.79

불연속면 경사 및 간극분석

절리면 경사 분석	절리면 간극 분석	절리면 전개도	분석결과
			•총168개 절리(열린절리 : 122개, 미세절리 : 46개) •열린절리가 주로 분포하며, 전구간에 걸쳐 분포함 •평균 절리간격은 0.29m 경사는 50~60°우세

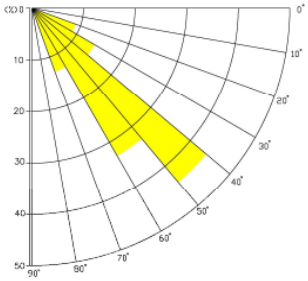
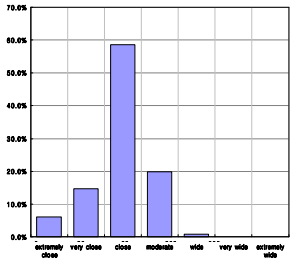
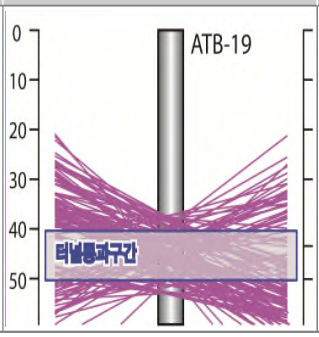
실시설계(ATB-19)

불연속면 분석

불연속면 방향성			
Pole Diagram		Rose Diagram	

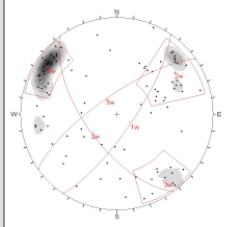
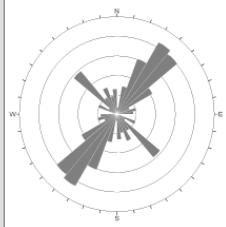
구 분	방향성 (Dip/Dip Dir)	절리간격 (m)	Fisher' K
Set 1	46/078	0.19	55.59
Set 2	52/124	0.61	52.38
Set 3	48/315	1.01	37.10

불연속면 경사 및 간극분석

절리면 경사 분석	절리면 간극 분석	절리면 전개도	분석결과
			•총116개 절리(열린절리 : 85, 미세절리 : 31개) •전구간에 걸쳐 균열 및 절리가 발달하고 열린절리가 우세함 •평균 절리간격은 0.14m 경사는 40~60°우세

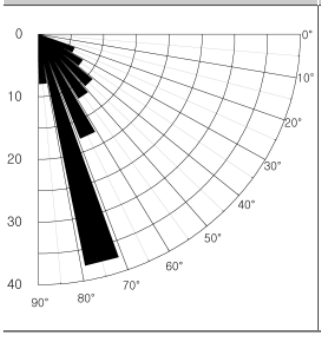
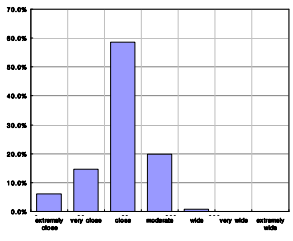
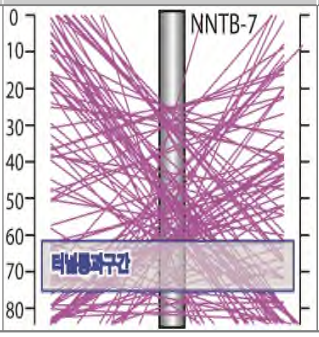
실시설계(NNTB-7)

불연속면 분석

불연속면 방향성			
Pole Diagram		Rose Diagram	

구 분	방향성 (Dip/Dip Dir)	절리간격 (m)	Fisher' K
Set 1	76/124	1.04	58.84
Set 2	63/124	0.77	22.05
Set 3	74/325	2.78	36.73

불연속면 경사 및 간극분석

절리면 경사 분석	절리면 간극 분석	절리면 전개도	분석결과
			•총106개 절리(열린절리 : 5개, 미세절리 : 101개) •미세절리가 주로 분포하며, 전구간에 걸쳐 분포함 •평균 절리간격은 0.59m 경사는 70~80°우세

5.5.3 절리면전단시험

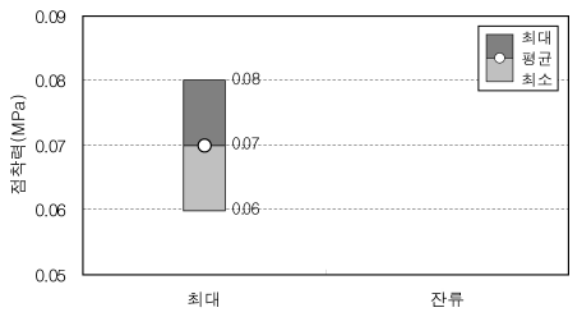
기본방향	•암석절리의 전단강도 특성을 파악하기 위하여 Barton이 제안한 전단시험 수행 •절리면의 점착력, 내부마찰각, 수직강성, 전단강성 측정

시험결과

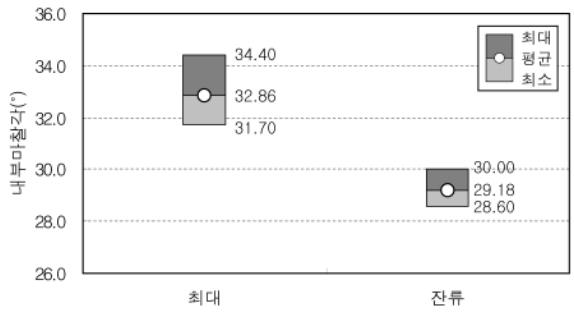
구 분		심 도 (GL.-m)	점착력(MPa)		내부 마찰각(°)		JRC	JCS (MPa)	수직강성 K_n (MPa/mm)	전단강성 K_s (MPa/mm)
			최 대	잔 류	최 대	잔 류				
기본 설계	NTB-10	59.7~60.0	0.04	0.01	33.72	27.80	4~6	15.8	13.80	1.23
	NTB-12	51.0~51.3	0.09	0.04	43.55	40.62	14~16	13.6	11.34	0.92
	NTB-13	68.1~68.5	0.10	0.04	33.34	28.46	6~8	14.5	12.43	1.18
	NTB-19	52.0~52.4	0.07	0.04	38.87	35.30	10~12	14.8	12.73	0.70
	NTB-20	54.1~54.4	0.06	0.03	32.54	28.17	10~12	16.7	12.90	1.20
	NTB-25	46.6~47.0	0.07	0.01	40.15	34.53	14~16	16.6	13.03	1.78
실시 설계	ATB-2	26.4~26.7	0.08	-	32.13	28.67	4.9	43.7	18.19	1.36
	ATB-7	33.1~33.4	0.08	-	34.40	29.92	12.2	49.5	17.97	1.45
	NNTB-3	50.0~50.3	0.06	-	31.72	28.67	12.8	34.7	14.68	1.23
	ATB-20	41.4~41.8	0.08	-	33.77	30.02	8.6	42.0	16.67	1.23
	NNTB-7	61.5~61.8	0.06	-	32.32	28.57	12.2	33.1	14.42	1.26

분석결과

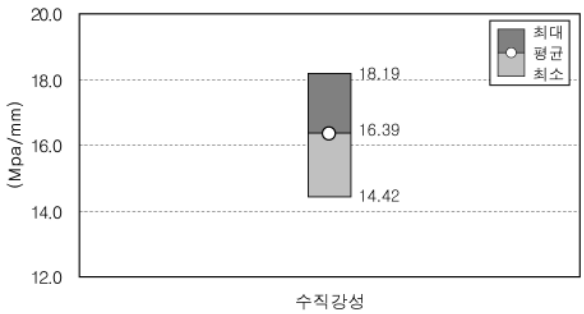
점착력 분포



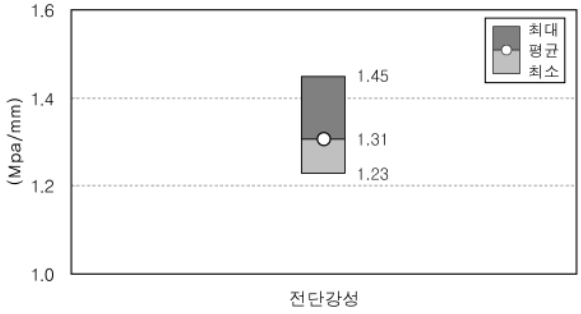
내부마찰각



수직강성



전단강성



분석결과	•최대마찰각은 31.7~34.4° 로 분포하며, 잔류마찰각은 28.6~30.0° 의 분포를 보임 •수직강성(K_n)은 14.42~18.19MPa/mm, 전단강성(K_s)은 1.23~1.45MPa/mm의 범위로 나타남

5.5.4 기본마찰각시험

기본방향	•자연절리면 대한 암종별 기본마찰각을 측정하여 지하구조물의 불연속체 해석에 활용

시험결과

구 분		심도 (GL.-m)	암 종	범 위 (°)	평 균 (°)
기본설계	NTB-10	59.7~60.0	호상흑운모편마암	29.7~31.2	30.5
	NTB-12	51.0~51.3	호상흑운모편마암	38.2~38.9	38.6
	NTB-13	68.1~68.5	호상흑운모편마암	29.5~32.3	30.8
	NTB-19	52.0~52.4	호상흑운모편마암	33.9~34.6	34.2
	NTB-20	54.1~54.4	호상흑운모편마암	29.2~29.9	29.6
	NTB-25	46.6~47.0	호상흑운모편마암	36.9~37.6	37.3

구 분		심도 (GL.-m)	암 종	범 위 (°)	평 균 (°)
실시설계	ATB-2	22.3~22.5	호상흑운모편마암	31.8~32.0	31.9
	ATB-7	61.4~61.6	호상흑운모편마암	31.0~31.4	31.2
	NNTB-3	46.7~46.9	호상흑운모편마암	32.0~32.3	32.1
	ATB-20	41.4~41.8	호상흑운모편마암	30.8~31.1	31.0
	NNTB-7	61.5~61.8	호상흑운모편마암	29.5~29.7	29.6

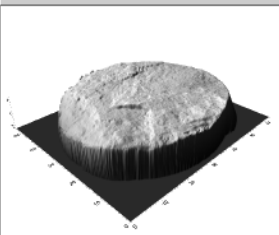
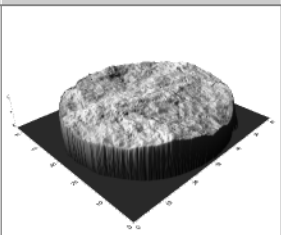
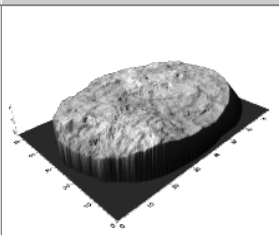
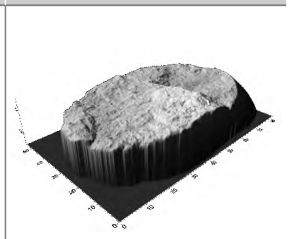
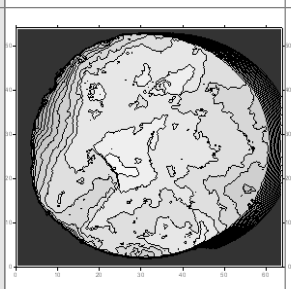
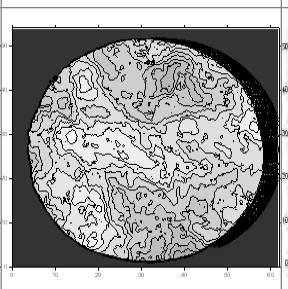
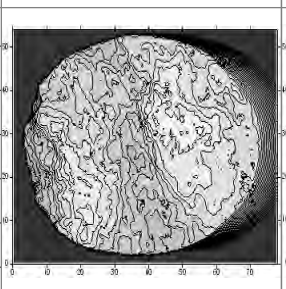
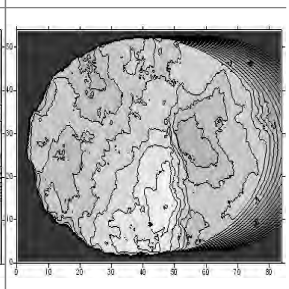
분석결과	•사업구간의 주분포 암종인 호상흑운모편마암의 기본마찰각은 29.6~32.1° 의 분포를 보임

5.5.5 3D JRC 측정

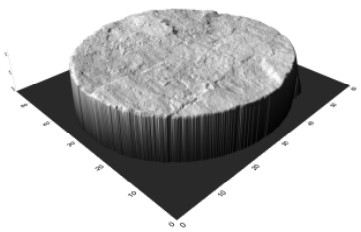
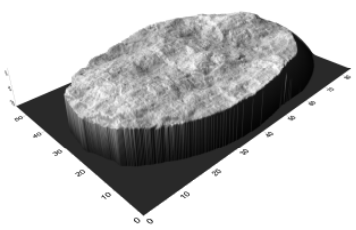
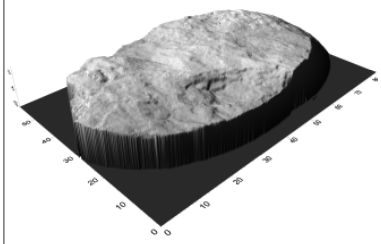
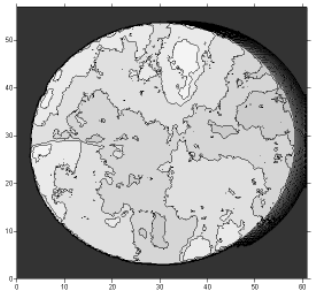
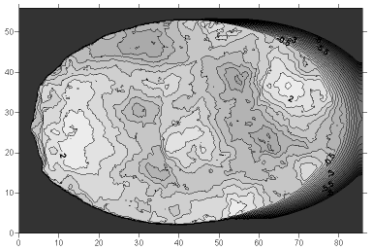
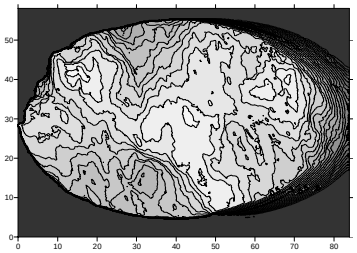
기본방향	•3차원 불연속면 형상을 측정하여 수치화함으로써 거칠기 특성 정량화

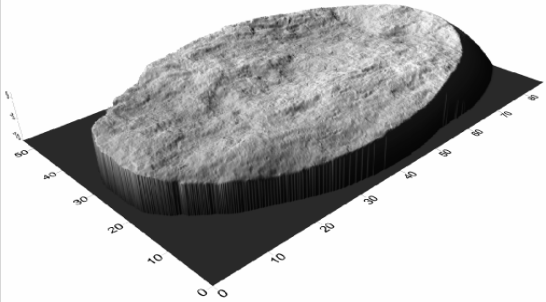
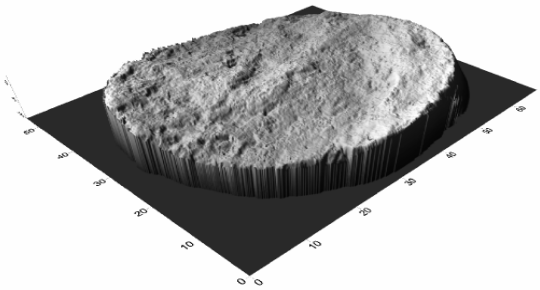
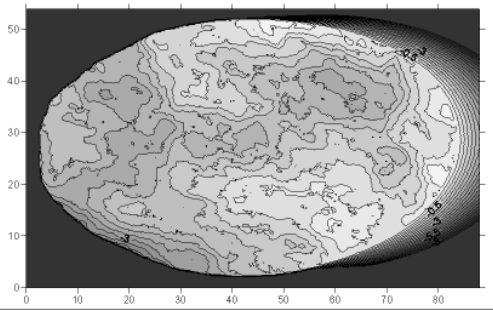
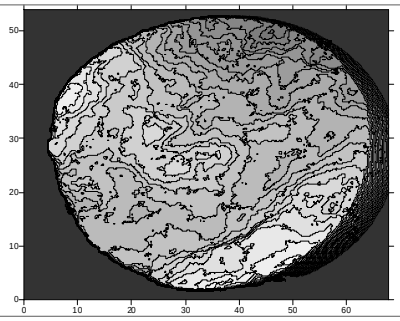
시험결과

기본설계

구 분	NTB-10	NTB-13	NTB-19	NTB-25
3 차 원 영 상				
등고선도				
심 도	56.3~56.5	61.8~62.0	52.0~52.4	46.6~47.0
암 종	호상흑운모편마암	호상흑운모편마암	호상흑운모편마암	호상흑운모편마암
J R C	10.0	14.8	16.8	18.6

실시설계

구 분	ATB-2	ATB-7	NNTB-3
3 차 원 영 상			
등고선도			
심 도	26.4~26.7	33.1~33.4	50.0~50.3
암 종	호상흑운모편마암	호상흑운모편마암	호상흑운모편마암
J R C	4.9	12.2	12.8

구 분	ATB-20	NNTB-7
3 차 원 영 상		
등고선도		
심 도	41.4~41.8	61.5~61.8
암 종	호상흑운모편마암	호상흑운모편마암
J R C	8.6	12.2

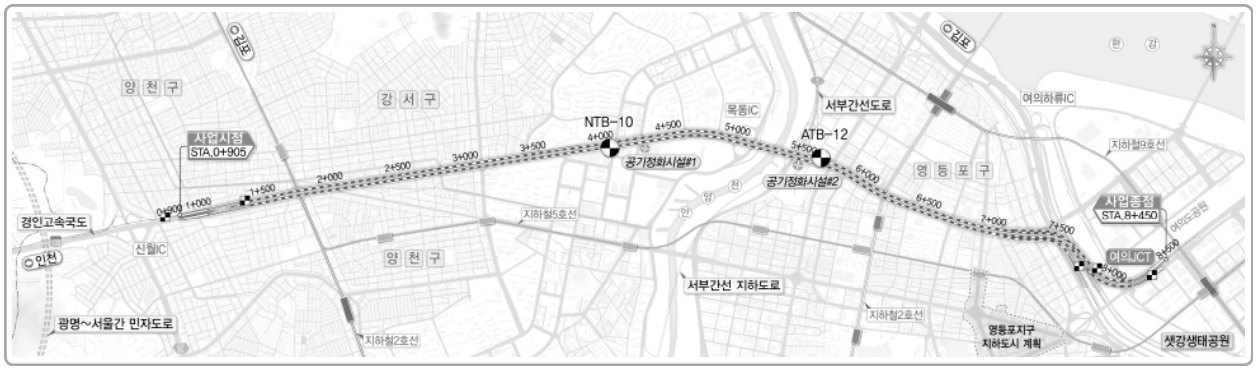
분석결과	•3D JRC 측정결과 호상흑운모편마암은 4.9~12.8의 매우거친 상태를 보임

5.6 측압계수 특성 조사

5.6.1 수압파쇄시험

기본방향	•터널 굴착시 변위거동에 영향을 미치는 원지반의 초기 지중응력 측정 •초기응력 및 측압계수 산정을 통한 터널 구조물 안정성 해석의 기초자료 제공

조사위치



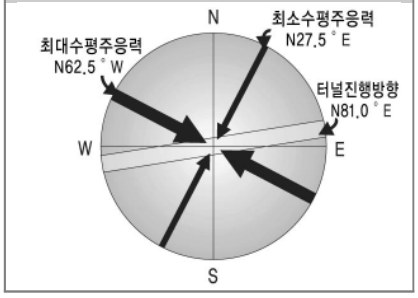
조사결과

구 분		심 도 (GL.-m)	σ_v (MPa)	σ_h (MPa)	σ_H (MPa)	Tin-situ (MPa)	측 압 계 수 (K)				
							K_h	K_H	K_H/K_h	K_{axi}	K_{sec}
기본설계	NTB-10	40.7	1.10	1.65	1.74	2.12	1.50	1.59	1.06	1.56	1.53
		52.9	1.43	2.13	2.17	5.75	1.49	1.52	1.02	1.52	1.50
		64.5	1.74	2.46	2.58	2.96	1.41	1.48	1.05	1.46	1.44
		67.5	1.82	2.53	2.67	4.14	1.39	1.46	1.05	1.44	1.42
		72.1	1.95	2.64	2.73	3.74	1.35	1.40	1.04	1.39	1.37
		평균	1.61	2.28	2.38	3.74	1.43	1.49	1.04	1.47	1.45
실시설계	ATB-12	39.2	1.06	2.35	3.09	2.06	2.22	2.92	1.31	2.65	2.48
		54.9	1.48	2.51	3.75	9.26	1.69	2.53	1.49	2.22	2.01
		60.9	1.64	2.59	3.80	4.88	1.58	2.31	1.47	2.04	1.86
		67.4	1.82	2.76	4.10	2.54	1.52	2.25	1.49	1.97	1.80
		평균	1.50	2.55	3.69	4.69	1.75	2.50	1.44	2.22	2.04

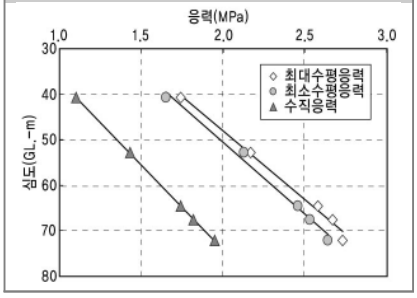
종합분석 결과

기본설계(NTB-10)

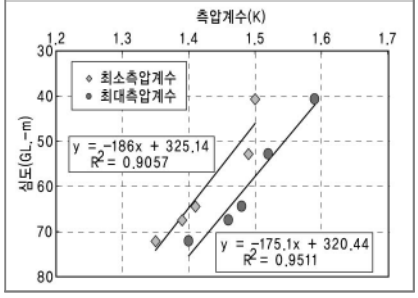
터널과 주응력 교차각

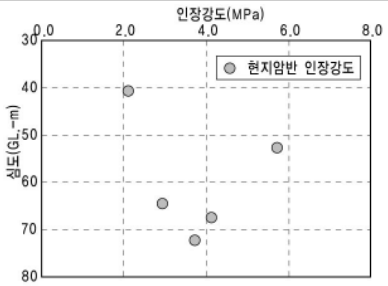
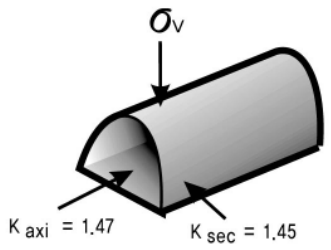


심도별 응력 분포

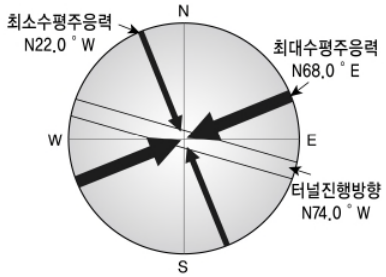
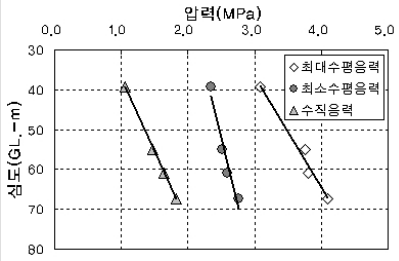
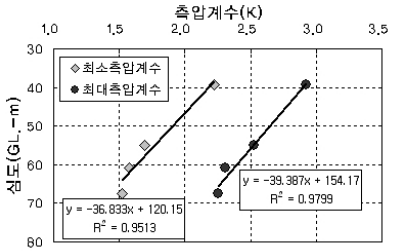


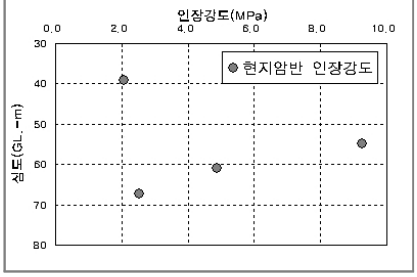
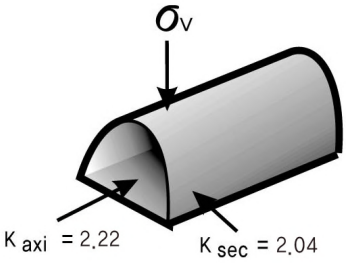
심도별 측압계수 분포



심도별 인장강도 변화	축선별 측압계수	분석결과
		•터널방향 : N81E, 교차각 약 36.5° •터널진행 방향의 측압계수 : 1.39~1.56 (평균 : 1.47) •터널단면 방향의 측압계수 : 1.37~1.53 (평균 : 1.45) •터널 축방향과 단면방향의 이방특성은 없으며 심도가 깊어지면 낮아지는 일반적인 경향을 보임

➲ 실시설계(ATB-12)

터널과 주응력 교차각	심도별 응력 분포	심도별 측압계수 분포
		

심도별 인장강도 변화	축선별 측압계수	분석결과
		•터널방향 : N74W, 교차각 약 38.0° •터널진행 방향의 측압계수 : 1.97~2.65 (평균 : 2.22) •터널단면 방향의 측압계수 : 1.80~2.48 (평균 : 2.04) •터널 축방향과 단면방향의 이방특성은 없으며 심도가 깊어지면 낮아지는 일반적인 경향을 보임

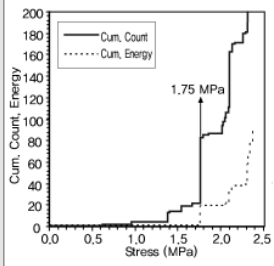
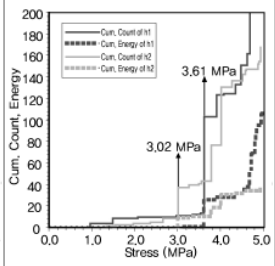
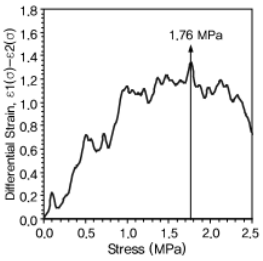
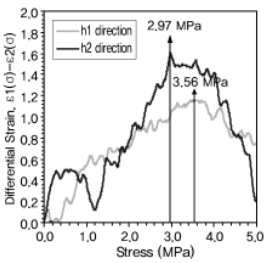
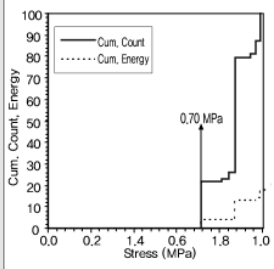
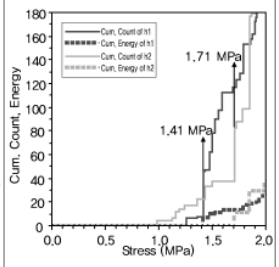
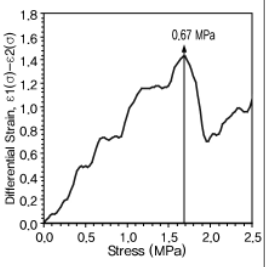
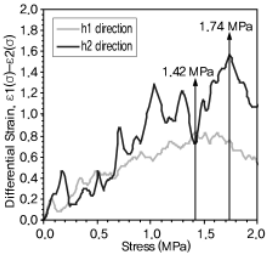
5.6.2 AE/DRA 시험

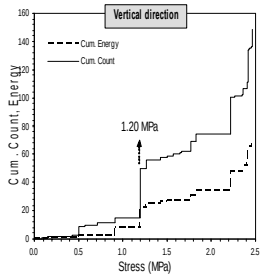
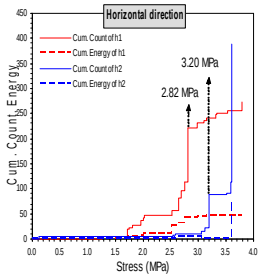
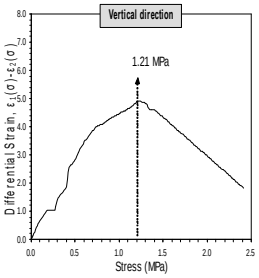
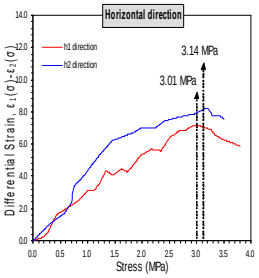
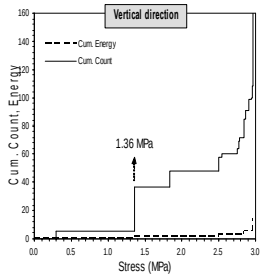
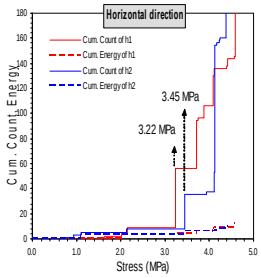
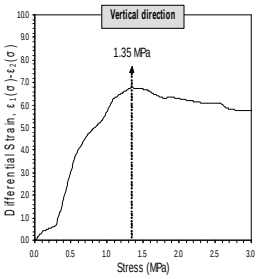
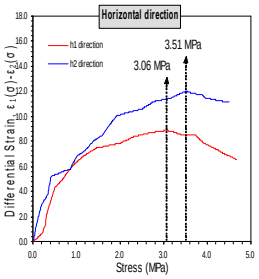
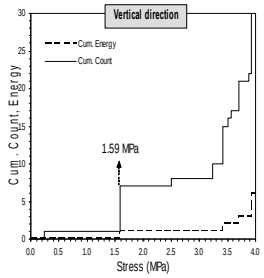
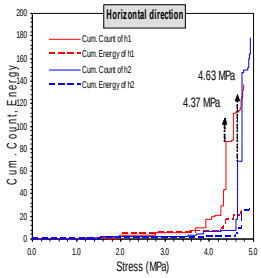
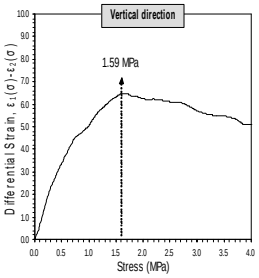
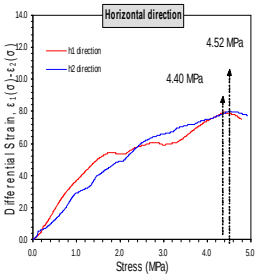
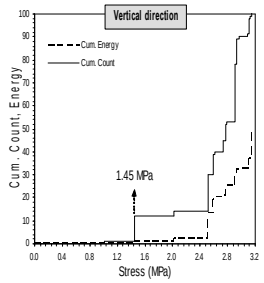
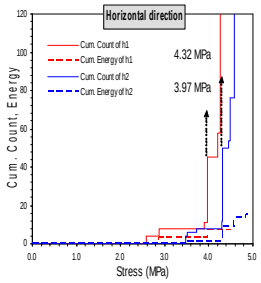
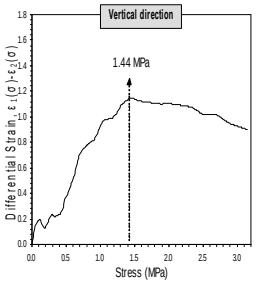
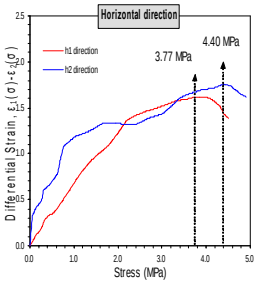
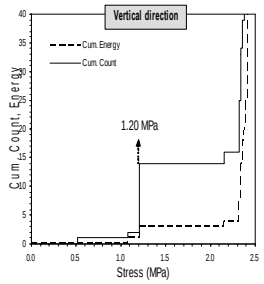
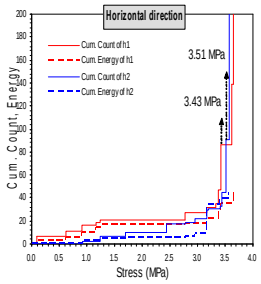
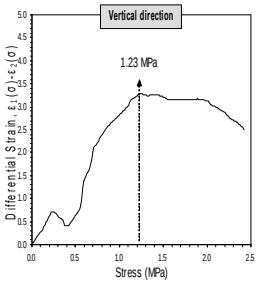
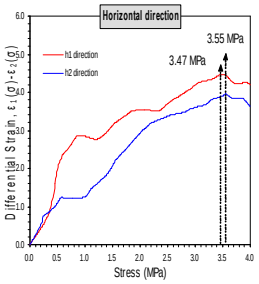
기본방향	•터널의 초기응력과 측압계수를 산정하기 위해 터널구간 시료를 대상으로 실시 •수압파쇄시험 결과와 비교·검토하여 측압계수의 신뢰성 검증

➚ 시험결과

구 분		심 도 (GL.-m)	암 종	방 향	직 경 (cm)	길 이 (cm)	현장응력추정값(MPa)		측압계수(K)	
							AE	DRA	AE	DRA
기본 설계	NTB-10	67.6~67.8	호상흑운모 편마암	수직	2.49	4.75	1.75	1.76	1.89	1.86
				수평(H_1)	2.49	4.27	3.61	3.56		
				수평(H_2)	2.49	4.32	3.02	2.97		
	NTB-24	30.0~31.1	호상흑운모 편마암	수직	2.49	5.33	0.70	0.67	2.23	2.36
				수평(H_1)	2.49	4.38	1.41	1.42		
				수평(H_2)	2.49	3.85	1.71	1.74		

구 분		심 도 (GL.-m)	암 종	방 향	직 경 (cm)	길 이 (cm)	현장응력추정값(MPa)		측압계수(K)	
							AE	DRA	AE	DRA
실시설계	ATB-5	45.0~45.2	호상흑운모 편마암	수직	2.48	4.71	1.20	1.21	2.51	2.54
				수평(H_1)	2.48	4.28	2.82	3.01		
				수평(H_2)	2.48	4.45	3.20	3.14		
	ATB-7	51.5~51.7	호상흑운모 편마암	수직	2.48	4.64	1.36	1.35	2.45	2.43
				수평(H_1)	2.48	4.28	3.22	3.06		
				수평(H_2)	2.48	4.40	3.45	3.51		
	ATB-10	60.7~60.9	호상흑운모 편마암	수직	2.48	5.22	1.59	1.59	2.83	2.81
				수평(H_1)	2.48	4.34	4.37	4.40		
				수평(H_2)	2.48	4.37	4.63	4.52		
	ATB-14	55.4~55.6	호상흑운모 편마암	수직	2.48	5.22	1.45	1.44	2.86	2.84
				수평(H_1)	2.48	4.29	3.97	3.77		
				수평(H_2)	2.48	4.28	4.32	4.40		
	ATB-17	46.1~46.3	호상흑운모 편마암	수직	2.48	4.36	1.20	1.23	2.89	2.85
				수평(H_1)	2.48	4.32	3.43	3.47		
				수평(H_2)	2.48	3.05	3.51	3.55		

공 번		AE		DRA	
		수 직	수 평	수 직	수 평
기본설계	NTB-10				
	NTB-24				

공 번		AE		DRA	
		수 직	수 평	수 직	수 평
실시설계	ATB-5				
	ATB-7				
	ATB-10				
	ATB-14				
	ATB-17				

분석결과	•AE / DRA시험을 분석한 결과 수직응력 1.20~1.59, 수평응력 2.82~4.63의 범위를 보임 •AE/DRA시험은 터널굴진방향과 무관하게 최대측압계수가 산정되므로 다소 높게 측정됨 •수압파쇄시험결과 터널단면방향 1.37~2.48, 터널진행방향 1.39~2.65로 분포 •현지 암반의 선행응력을 측정하고 초기측압계수를 산정하여 수치해석 입력자료로 활용

5.7 시공성을 고려한 실내시험

5.7.1 토질기본물성

기본방향	•통일분류법에 의한 흙의 분류 및 기본물성 파악 •각 지층의 물리적 · 역학적 특성 파악 및 풍화대의 강도정수

시험결과

기본설계

구 분	심 도 (GL.-m)	지 층	함수비 (%)	비 중	Atterberg Limit		체 분 석				통일분류 (USCS)
					LL (%)	PI (%)	No.4	No.10	No.40	No.200	
NTB-1	8.0	퇴적층	18.9	2.659	NP	NP	99.6	95.7	54.4	15.8	SM
NTB-2	4.0	퇴적층	41.2	2.688	42.2	24.5	100.0	100.0	99.6	97.7	CL
NTB-3	14.0	풍화토	20.2	2.663	NP	NP	100.0	100.0	81.3	25.9	SM
NTB-4	5.0	퇴적층	23.1	2.670	29.8	20.1	94.1	83.7	63.8	35.6	SC
NTB-5	6.0	퇴적층	35.3	2.686	36.6	22.8	100.0	100.0	98.8	95.7	CL
NTB-6	8.0	퇴적층	30.1	2.681	32.4	21.2	100.0	100.0	99.4	97.3	CL
NTB-7	2.0	퇴적층	31.4	2.683	33.3	21.7	100.0	100.0	99.6	98.3	CL
NTB-8	22.0	풍화토	10.7	2.655	NP	NP	100.0	98.9	69.7	17.1	SM
NTB-9	6.0	퇴적층	26.6	2.680	32.1	20.7	99.7	96.6	86.3	64.3	CL
NTB-10	5.0	퇴적층	31.5	2.677	NP	NP	-	98.1	84.5	9.2	ML
NTB-11	6.0	퇴적층	25.0	2.677	NP	NP	100.0	100.0	99.5	96.9	ML
NTB-12	6.0	퇴적층	24.9	2.675	NP	NP	100.0	100.0	99.4	97.9	ML
NTB-13	19.0	퇴적층	8.1	2.647	NP	NP	45.4	37.3	22.3	9.8	GP-GM
NTB-14	9.0	퇴적층	7.5	2.644	NP	NP	36.4	30.3	14.9	6.8	GW-GM
NTB-15	6.0	퇴적층	20.8	2.673	NP	NP	100.0	100.0	98.0	78.7	ML
NTB-16	14.0	퇴적층	4.0	2.642	NP	NP	41.7	30.8	10.1	3.8	GP
NTB-17	4.0	퇴적층	25.6	2.678	30.3	20.7	99.6	98.3	85.7	62.6	CL
NTB-18	23.0	풍화토	20.2	2.662	NP	NP	100.0	85.9	63.1	28.3	SM
NTB-19	1.0	매립층	35.7	2.685	36.8	23	100.0	100.0	98.2	86.9	CL
NTB-20	7.0	퇴적층	27.8	2.681	32.3	21.1	100.0	100.0	95.9	65.6	CL
NTB-21	7.0	퇴적층	18.6	2.663	NP	NP	100.0	99.5	51.1	15.3	SM
NTB-22	13.0	퇴적층	6.8	2.641	NP	NP	36.8	29.1	17.0	6.9	GW-GM
NTB-23	6.0	퇴적층	14.3	2.657	NP	NP	100.0	100.0	81.8	12.3	SM
NTB-24	13.0	퇴적층	7.5	2.648	NP	NP	49.8	42.5	28.9	14.2	GM
NTB-25	6.0	퇴적층	24.4	2.640	NP	NP	100.0	99.9	39.8	3.8	SP
NTB-26	23.0	풍화토	25.5	2.672	29.7	19.9	100.0	97.9	68.0	37.8	SC
NTB-27	11.0	퇴적층	9.0	2.645	NP	NP	40.2	29.4	16.4	7.7	GW-GM
NTB-28	9.0	퇴적층	8.2	2.642	NP	NP	41.8	31.4	15.3	6.2	GW-GM
NTB-29	8.0	퇴적층	12.0	2.648	NP	NP	66.1	59.4	33.7	7.9	SP-SM
NTB-30	15.0	풍화토	19.1	2.662	NP	NP	99.7	95.0	55.1	23.6	SM
NBB-2	8.0	퇴적층	13.3	2.658	NP	NP	87.3	76.8	47.1	21.0	SM
NBB-3	3.0	퇴적층	25.2	2.677	29.5	19.8	100.0	96.6	88.8	72.1	CL
NBB-5	6.0	퇴적층	14.6	2.655	NP	NP	82.3	71.4	45.1	23.4	SM
NBB-6	16.0	퇴적층	7.6	2.644	NP	NP	54.6	41.9	24.1	8.1	SP-SM
NBB-7	6.0	퇴적층	20.4	2.670	NP	NP	100.0	100.0	99.7	51.3	ML
	24.0	풍화토	23.7	2.664	NP	NP	95.9	91.3	57.1	21.4	SM
NBB-8	9.0	퇴적층	17.8	2.659	NP	NP	100.0	100.0	86.2	19.9	SM

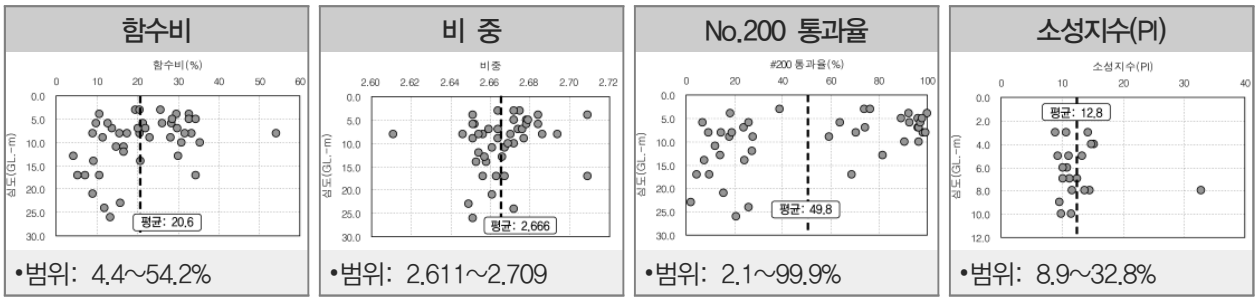
실시설계

구 분	심 도 (GL.-m)	지 층	함수비 (%)	비 중	Atterberg Limit		체 분 석				통일분류 (USCS)
					LL (%)	PI (%)	No.4	No.10	No.40	No.200	
ATB-1	1.5	매립층	9.7	2.659	NP	NP	76.2	61.1	38.1	27.8	SM
ATB-1	11.0	퇴적층	16.8	2.667	NP	NP	92.9	79.6	34.3	12.2	SM
ATB-2	11.0	퇴적층	14.9	2.661	NP	NP	95.1	84.1	29.9	12.3	SM
ATB-3	8.0	퇴적층	54.2	2.611	59.7	32.8	–	100.0	99.9	99.4	CH
ATB-4	4.0	퇴적층	32.7	2.709	35.9	15.2	–	–	100.0	99.9	CL
ATB-5	17.0	풍화토	10.7	2.709	NP	NP	73.0	48.5	23.9	4.4	SW
ATB-6	6.0	퇴적층	21.5	2.684	30.7	10.9	97.7	94.3	80.6	63.9	CL
ATB-7	8.0	퇴적층	33.3	2.694	34.7	14.6	–	100.0	99.9	98.2	CL
NNTB-1	3.0	퇴적층	25.7	2.664	30.6	10.7	98.9	92.0	51.5	38.9	SC
NNTB-2	7.0	퇴적층	13.8	2.659	NP	NP	61.6	50.3	35.9	24.0	GM
NNTB-3	14.0	퇴적층	20.8	2.658	NP	NP	100.0	93.9	60.5	24.2	SM
NNTB-4	8.0	퇴적층	31.7	2.686	34.3	13.7	–	100.0	99.8	99.3	CL
NNTB-5	17.0	풍화토	34.4	2.667	NP	NP	–	100.0	88.5	68.8	ML
NNTB-6	13.0	퇴적층	30.1	2.666	NP	NP	–	100.0	94.3	81.6	ML
NNBB-1	1.5	매립층	8.4	2.653	NP	NP	70.2	59.1	35.9	17.6	SM
NNBB-1	4.0	퇴적층	29.6	2.684	37.6	14.9	100.0	99.9	98.1	92.2	CL
NNBB-2	9.0	풍화토	11.5	2.664	NP	NP	100.0	97.4	56.0	17.9	SM
NNBB-3	8.0	퇴적층	20.7	2.670	32.4	11.7	100.0	98.7	90.1	70.5	CL
NNBB-4	7.0	퇴적층	22.1	2.674	32.9	12.5	100.0	99.4	92.4	74.4	CL
NNBB-5	12.0	풍화토	16.7	2.654	NP	NP	98.0	91.9	65.2	27.4	SM
NNBB-6	7.0	퇴적층	29.9	2.676	33.1	11.3	–	100.0	98.7	96.1	CL
NNBB-7	5.0	퇴적층	32.7	2.678	34.7	13.4	100.0	100.0	99.4	96.2	CL
ATB-8	10.0	퇴적층	31.0	2.672	34.3	11.6	100.0	99.2	98.1	96.5	CL
ATB-9	10.0	퇴적층	35.5	2.669	32.4	9.9	100.0	99.6	95.2	90.7	CL
ATB-10	17.0	퇴적층	5.4	2.656	NP	NP	31.9	23.3	12.0	4.5	GP
ATB-11	24.0	풍화토	12.0	2.672	NP	NP	95.1	79.4	46.2	26.2	SM
ATB-12	7.0	퇴적층	20.3	2.664	32.9	10.2	–	–	100.0	96.6	CL
ATB-13	6.0	퇴적층	28.4	2.652	NP	NP	100.0	99.8	99.4	97.3	ML
ATB-14	3.0	퇴적층	19.5	2.675	34.6	14.3	–	100.0	94.8	74.0	CL
ATB-15	17.0	퇴적층	7.3	2.663	NP	NP	38.7	30.8	19.3	9.6	GP-GM
ATB-16	3.0	퇴적층	20.7	2.672	28.7	8.9	–	100.0	98.6	76.5	CL
ATB-17	8.0	퇴적층	17.5	2.646	NP	NP	46.2	34.4	20.0	9.4	SP-SM
ATB-18	26.0	풍화토	13.3	2.651	NP	NP	98.9	90.3	52.6	21.0	SM
ATB-19	23.0	퇴적층	15.9	2.649	NP	NP	75.9	71.3	22.4	2.1	SP
ATB-20	14.0	퇴적층	9.2	2.653	NP	NP	51.2	34.8	17.1	7.6	GP-GM
ATB-21	6.0	퇴적층	9.8	2.651	NP	NP	49.4	40.6	25.1	6.9	GP-GM
ATB-22	9.0	퇴적층	23.1	2.677	32.3	9.6	–	100.0	99.3	59.4	CL
NNBB-8	4.0	퇴적층	10.8	2.651	NP	NP	94.9	91.4	45.0	18.5	SM
NNBB-9	8.0	퇴적층	9.1	2.656	NP	NP	89.5	87.0	41.8	14.6	SM
NNBB-10	6.0	퇴적층	12.8	2.651	NP	NP	92.2	85.2	52.5	26.1	SM
NNBB-11	9.0	퇴적층	28.3	2.651	NP	NP	–	100.0	82.6	27.8	SM
NABB-1	6.0	퇴적층	26.1	2.678	32.3	10.2	100.0	99.3	98.0	92.7	CL
NATB-1	5.0	퇴적층	28.7	2.672	31.2	9.3	99.5	99.2	97.8	89.2	CL
NATB-2	13.0	퇴적층	4.4	2.657	NP	NP	40.7	36.2	31.8	14.1	GM
NATB-3	8.0	퇴적층	15.7	2.654	NP	NP	76.7	76.7	69.8	19.1	SM
NATB-4	21.0	퇴적층	9.1	2.661	NP	NP	52.6	43.3	36.0	15.6	GM
NNTB-7	5.0	퇴적층	34.4	2.679	35.8	11.1	–	100.0	99.8	98.0	ML

변경설계

구 분	심 도 (GL.-m)	지 층	함수비 (%)	비 중	Atterberg Limit		체 분 석				통일분류 (USCS)
					LL (%)	PI (%)	No.4	No.10	No.40	No.200	
ATBH-1	9.00	퇴적층	17.1	2.66	NP	–	97.9	90.8	41.1	14.9	SM
ATBH-2	12.00	퇴적층	21.5	2.68	31.5	12.9	100	100	94.4	49.5	SC
ATBH-3	7.00	퇴적층	18.3	2.72	29.8	10.5	96.0	90.1	65.7	46.2	SC
NNBH-1	5.00	퇴적층	31.0	2.71	46.2	23.2	100	100	100	99.6	CL

분석결과



분석결과	•함수비, 비중, 200체 통과율, 소성지수는 분산되어 분포하며 기본설계 대비 편차가 크게 나타남

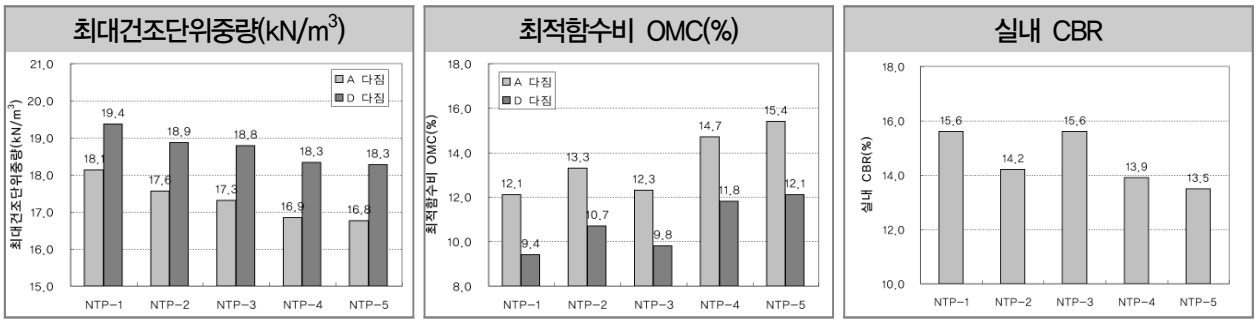
5.7.2 다짐 및 실내CBR시험

기본방향	•다짐, CBR시험을 실시하여 최대건조단위중량(γ_{dmax})과 최적함수비(OMC) 구함 •쌓기재로 사용되는 재료에 대한 다짐특성과 쌓기재 활용 적합성 검토

시험 위치

시험결과

공 번		비 중	Atterberg Limit LL (%)	Atterberg Limit PI (%)	체 분 석 No.4	체 분 석 No.200	다짐상태 (A다짐) OMC (%)	다짐상태 (A다짐) 최대건조밀도 (kN/m³)	다짐상태 (D다짐) OMC (%)	다짐상태 (D다짐) 최대건조밀도 (kN/m³)	CBR (%)
기본설계	TP-1	2.673	NP	NP	94.8	29.1	12.8	18.84	10.3	20.08	21.5
	TP-2	2.675	NP	NP	90.5	27.2	11.2	18.92	8.7	20.13	22.0
	TP-3	2.664	NP	NP	69.3	3.2	12.3	16.23	10.1	17.18	11.2
	TP-4	2.668	NP	NP	93.3	9.8	11.5	17.94	9.4	18.82	13.4
실시설계	NTP-1	2.653	NP	NP	70.2	17.6	12.1	18.13	9.4	19.37	15.6
	NTP-2	2.659	NP	NP	76.2	27.8	13.3	17.56	10.7	18.87	14.2
	NTP-3	2.659	NP	NP	94.5	34.0	12.3	17.31	9.8	18.78	15.6
	NTP-4	2.693	40.7	12.7	100.0	76.1	14.7	16.85	11.8	18.33	13.9
	NTP-5	2.661	NP	NP	93.8	3.7	15.4	16.76	12.1	18.27	13.5



분석결과	•D다짐 최대건조단위 중량은 18.3~19.4kN/m³, 최적함수비는 9.4~12.1%, CBR은 13.5~15.6%

5.7.3 암석이방성 시험

기본방향	•사업구간 기반암의 이방성 크기를 산정하기 위하여 대표 암석에 대해 시험 실시 •암석의 생성원인, 절리상태, 풍화정도, 지하수, 초기응력상태 등의 영향에 따른 암반의 이방성 파악

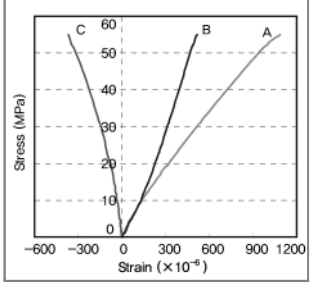
탄성계수비에 따른 이방성 평가방법

이방성평가	등방성	낮은 이방성	중간 이방성	높은 이방성	매우높은 이방성
E_1/E_2	1.0~1.1	1.1~2.0	2.0~4.0	4.0~6.0	>6.0

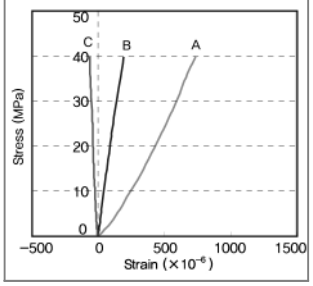
시험결과

구 분		심 도 (GL.-m)	암 종	이방성각도 (°)	일축압축강도 (MPa)	탄성계수(GPa)		이방성 지수	평 가
						E_1	E_2		
기본 설계	NTB-10	56.0~56.3	호상흑운모편마암	47.0	54.9	86.44	48.65	1.78	낮은이방성
	NTB-13	61.5~61.8	호상흑운모편마암	57.0	39.5	56.02	37.47	1.50	낮은이방성
	NTB-19	60.7~60.85	호상흑운모편마암	62.5	38.8	85.21	29.38	2.90	중간이방성
	NTB-25	47.1~47.4	호상흑운모편마암	68.3	88.3	137.33	40.92	3.36	중간이방성
실시 설계	ATB-7	47.9~48.1	각섬석편마암	49.0	77.7	43.05	28.22	1.53	낮은이방성
	NNTB-3	59.6~59.8	호상흑운모편마암	60.0	180.9	129.12	119.89	1.08	등방성
	ATB-10	61.6~61.8	호상흑운모편마암	52.0	70.8	44.41	28.30	1.57	낮은이방성
	ATB-12	62.5~62.7	호상흑운모편마암	40.0	86.4	56.19	47.60	1.18	낮은이방성
	ATB-15	38.9~39.1	호상흑운모편마암	58.0	60.6	43.97	33.52	1.31	낮은이방성

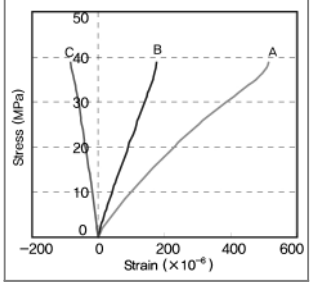
NTB-7



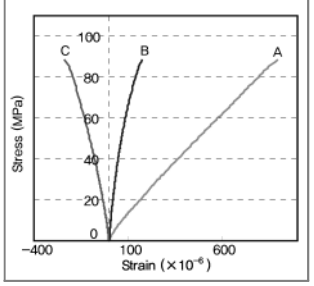
NTB-11



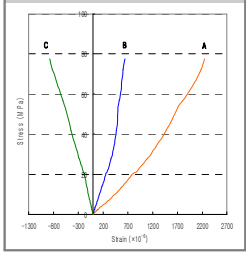
NTB-18



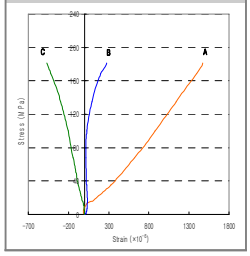
NTB-24



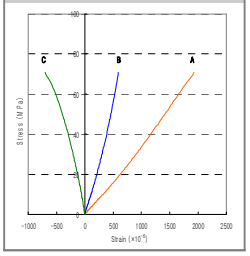
ATB-7



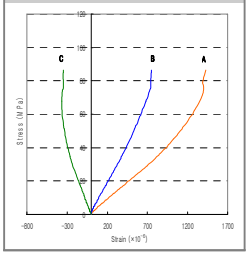
NNTB-3



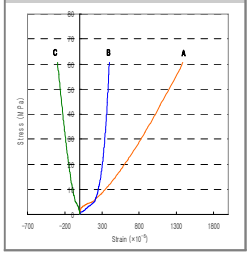
ATB-10



ATB-12



ATB-15

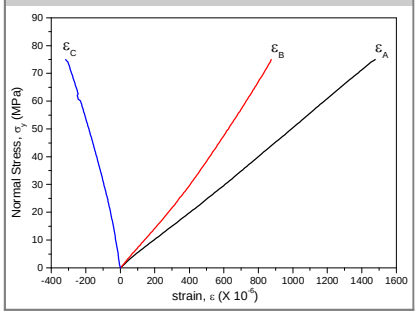


- A-Method(장보안외)

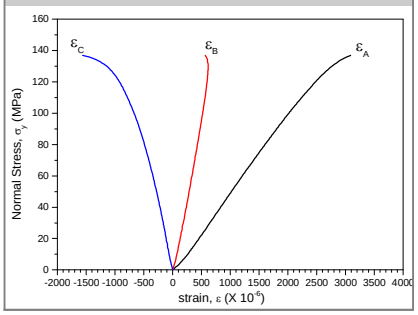
구 분	심 도 (GL.-m)	이방성각도 (°)	강도의 45~55% 구간에서 측정된 변형		
			ε_A/σ_y	ε_B/σ_y	ε_B/σ_y
NATB-1	51.9~52.0	40	19.245	11.111	-4.317
	57.5~57.7	53	19.624	4.689	-7.130
	59.6~59.7	39	17.733	9.794	-5.574
NNTB-7	59.6~59.7	85	5.878	-5.170	3.380
	63.6~63.7	82	11.705	-5.892	-2.369
	66.3~66.4	80	10.139	-4.981	-0.899

구 분	심 도 (GL.-m)	이방성각도 (°)	탄성계수(GPa)		포아송비	전단상수 G_{12} (GPa)	이방성 지수	평 가
			E_1	E_2	ν_a			
NATB-1	51.9~52.0	40	67.54	46.09	0.181	20.90	1.47	낮은이방성
	57.5~57.7	53	68.62	49.52	0.282	17.96	1.39	낮은이방성
	59.6~59.7	39	67.34	49.91	0.291	20.98	1.35	낮은이방성
	평 균		67.83	48.51	0.251	19.95	1.40	낮은이방성
NNTB-7	59.6~59.7	85	55.65	0.298	34.75	34.75	1.23	낮은이방성
	63.6~63.7	82	46.05	0.296	9.79	9.79	1.39	낮은이방성
	66.3~66.4	80	51.49	0.296	15.49	15.49	1.31	낮은이방성
	평 균		51.06	0.297	20.01	20.01	1.31	낮은이방성

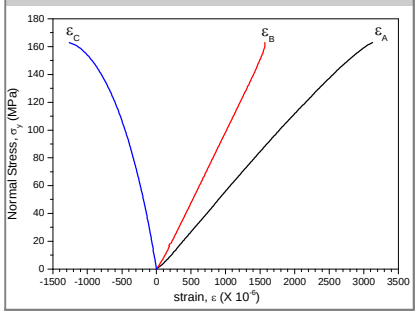
NATB-1 (51.9~52.0 m)



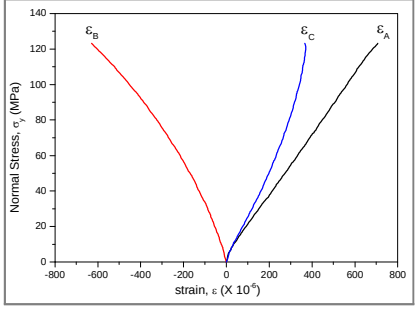
NATB-1 (57.5~57.7 m)



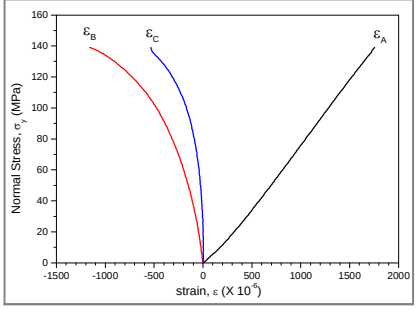
NATB-1 (51.9~52.0 m)



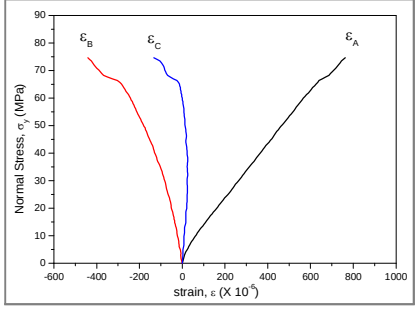
NNTB-7 (59.6~59.7 m)



NNTB-7 (63.6~63.7 m)



NNTB-7 (66.3~66.4 m)

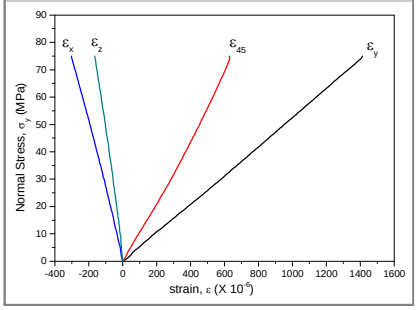


- **B-Method(박철환외)**

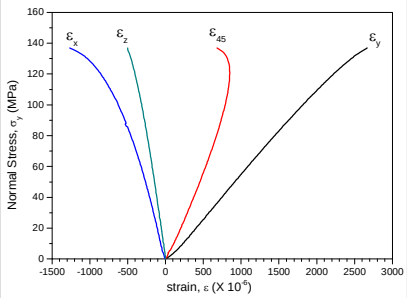
구 분	심 도 (GL.-m)	이방성각도 (°)	강도의 45~55% 구간에서 측정된 변형			
			ε_y/σ_y	$\varepsilon_{45}/\sigma_y$	ε_x/σ_y	ε_z/σ_y
NATB-1	51.9~52.0	40	18.763	8.429	-4.166	-2.400
	57.5~57.7	53	17.729	7.141	-6.597	-3.248
	59.6~59.7	39	18.121	6.489	-6.746	-3.006
NNTB-7	59.6~59.7	85	13.273	4.435	-4.921	-2.824
	63.6~63.7	82	15.741	0.773	-5.256	-3.287
	66.3~66.4	80	14.770	1.034	-3.697	-4.632

구 분	심 도 (GL.-m)	이방성각도 (°)	탄성계수(GPa)		포아송비		전단상수 G (GPa)	이방성 지수	평 가
			E_1	E_2	ν_{12}	ν_{21}			
NATB-1	51.9~52.0	40	65.90	49.46	0.233	0.175	23.55	1.33	낮은이방성
	57.5~57.7	53	69.54	52.93	0.340	0.258	23.23	1.31	낮은이방성
	59.6~59.7	39	71.11	53.98	0.383	0.291	23.07	1.32	낮은이방성
	평 균		68.85	52.12	0.319	0.241	23.28	1.32	낮은이방성
NATB-7	59.6~59.7	85	75.60	44.98	0.374	0.222	22.05	1.68	낮은이방성
	63.6~63.7	82	58.72	27.59	0.406	0.191	14.90	2.13	중간이방성
	66.3~66.4	80	60.93	48.57	0.333	0.265	20.86	1.25	낮은이방성
	평 균		65.08	40.38	0.371	0.226	19.27	1.69	낮은이방성

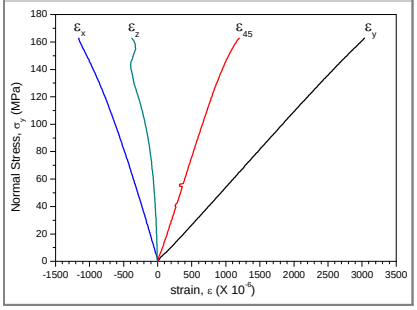
NATB-1 (51.9~52.0 m)



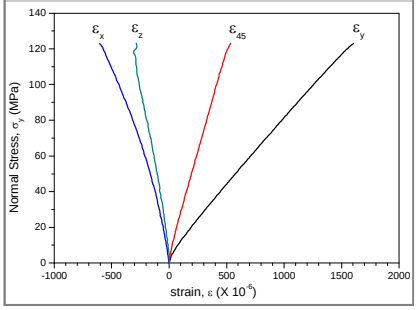
NATB-1 (57.5~57.7 m)



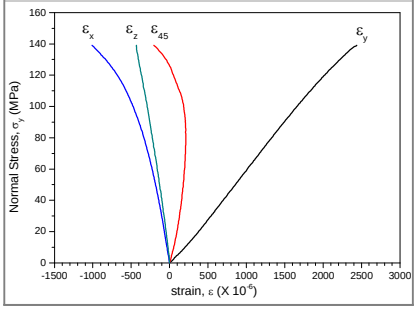
NATB-1 (51.9~52.0 m)



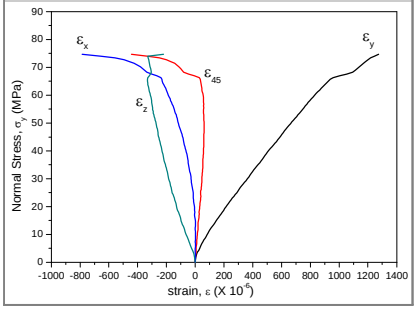
NNTB-7 (59.6~59.7 m)



NNTB-7 (63.6~63.7 m)



NNTB-7 (66.3~66.4 m)



분석결과	•A-Method 적용시 이방성지수(E_1/E_2)는 1.08~1.57로 등방성~낮은이방성을 보임 •A, B-Method 비교 분석 결과 서로 다른 형태로 부착된 두 개의 45° 로젯 변형률 게이지로부터 측정된 다른 변형률 값을 사용했기 때문인 것으로 판단되며 동일한 변형률 적용시 동일한 결과가 도출됨

5.7.4 Swelling/Slaking 시험

기본방향	•건습의 반복으로 단기간 발생한 암석의 풍화에 대한 내구성과 팽창특성 평가

Gamble(1971)이 제시한 Slake 내구성

구 분	Id_1(%)	Id_2(%)
매우 높은 내구성	〉99	〉98
높 은 내 구 성	98 ~ 99	95 ~ 98
중간~높은 내구성	95 ~ 98	85 ~ 95

구 분	Id_1(%)	Id_2(%)
중 간 내 구 성	85 ~ 95	60 ~ 85
낮 은 내 구 성	60 ~ 85	30 ~ 60
매우 낮은 내구성	〈 60	〈 30

시험결과

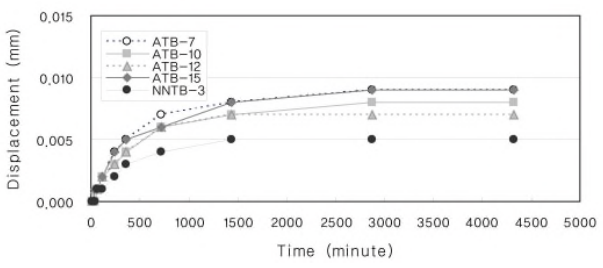
Swelling

구 분		심 도 (GL.-m)	암 종	Swelling strain index (%)		
				Axial	Lateral-1	Lateral-2
기본 설계	NTB-13	59.2~59.5	호상흑운모편마암	0.004	0.012	0.010
	NTB-30	31.2~31.9	호상흑운모편마암	0.004	0.006	0.008
실시 설계	ATB-7	28.9~29.0	각섬석편마암	0.009	0.006	0.010
	NNTB-3	57.6~57.8	호상흑운모편마암	0.005	0.012	0.008
	ATB-10	67.3~67.5	호상흑운모편마암	0.008	0.018	0.006
	ATB-12	55.5~55.7	호상흑운모편마암	0.007	0.006	0.012
	ATB-15	38.1~38.5	호상흑운모편마암	0.009	0.014	0.008

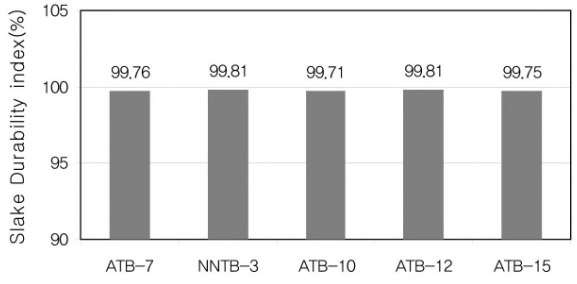
Slaking

구 분		심 도(GL.-m)	암 종	내구성지수(%)		내구성 판정
				Id_1	Id_2	
기본 설계	NTB-13	59.2~59.5	호상흑운모편마암	99.69	99.56	매우 높은 내구성
	NTB-30	31.2~31.9	호상흑운모편마암	99.87	99.82	매우 높은 내구성
실시 설계	ATB-7	28.9~29.0	각섬석편마암	99.84	99.76	매우 높은 내구성
	NNTB-3	57.6~57.8	호상흑운모편마암	99.87	99.81	매우 높은 내구성
	ATB-10	67.5~67.9	호상흑운모편마암	99.80	99.71	매우 높은 내구성
	ATB-12	55.7~56.0	호상흑운모편마암	99.88	99.81	매우 높은 내구성
	ATB-15	38.5~38.8	호상흑운모편마암	99.81	99.75	매우 높은 내구성

Swelling



Slaking 내구성 지수 그래프



분석결과	•팽창성은 0.005~0.018(%)로 낮은 팽창성, 내구성은 99.71~99.88(%)로 매우 높은 내구성을 보임

5.7.5 Creep시험

기본방향	•사업구간내 대표 암종인 호상흑운모편마암의 장기거동특성 파악을 위해 일정 응력하 시간경과에 따른 변형률 분석을 통해 지하구조물의 장기적인 안정성 평가

시험결과

구 분		강도(MPa)		강도비 (%)	Creep($\times10^{-6}$/hr)		Maxwell Unit		Kelvin Unit	
		파 괴	적 용		1차Creep	2차Creep	E_m(GPa)	η_m(GPa·min)	E_k(GPa)	η_k(GPa·min)
기본설계	NTB-13	97.4	58.4	60.0	2.799	0.400	62.5	8.75×10^5	3,466	3.06×10^5
	NTB-24	95.2	57.1	60.0	12.143	0.899	49.6	3.81×10^6	1,696	5.17×10^4
실시설계	ATB-4	66.6	40.0	60.0	3.369	0.089	33.73	2.71×10^7	2,026	8.30×10^4
	NNTB-6	89.0	53.4	60.0	9.418	0.085	48.96	3.78×10^7	814	6.44×10^4

η_m : Maxwell 점성계수, E_m : Maxwell 탄성계수, η_k : Kelvin 점성계수, E_k : Kelvin 탄성계수

분석결과	•파괴하중 60%를 적용하여 시간경과에 따른 장기적인 안정성 평가를 한 결과 1차 Creep비는 3.369~9.418$\times10^{-6}$/hr, 2차 Creep비는 0.085~0.089$\times10^{-6}$/hr의 범위로 분포하며, 시간에 따른 변형을 점차 일정한 값으로 수렴하는 경향을 보임

5.7.6 XRD분석

기본방향	•시추코어에서 채취한 암석을 대상으로 X-Ray 회절분석을 이용한 성분분석 실시 •점토광물의 조성 및 팽창성 광물의 존재여부 확인

XRD 분석결과

구 분		심 도	석영	백운모	조장석	녹니석	흑운모	사장석	K-장석	각섬석	방해석	합계(%)
기본설계	NTB-13	65.6~65.7	34.8	–	–	20.3	22.6	12.0	8.7	–	1.6	100
	NTB-18	41.8~42.0	41.2	22.0	18.0	17.5	–	–	–	–	1.4	100
실시설계	ATB-7	49.5~49.6	32.3	–	–	2.7	–	34.8	15.0	15.2	–	100
	NNTB-2	66.0~66.2	62.5	–	–	16.4	5.1	16.0	–	–	–	100
	ATB-10	51.6~51.8	9.2	–	–	21.7	–	52.8	5.4	–	10.9	100
	ATB-12	63.0~63.3	23.2	14.5	–	34.1	–	22.9	–	–	5.3	100
	ATB-15	43.4~43.6	64.8	18.5	–	7.0	–	9.7	–	–	–	100

분석결과	•분석결과 석영, 백운모, 녹니석, 흑운모, 사장석 등 다양하게 구성 •팽창성 점토 광물인 녹니석이 2.7~34.1% 함유되어 터널 안정성에 위해요소 내포

5.7.7 XRF분석

기본방향	•시추코어에서 채취한 암석을 대상으로 X-선을 발생시켜 시료에 주사 •암석 광물들의 상대적 함량을 분석하고 암석의 풍화와 균열특성을 파악

XRF 분석결과

구 분		심 도	Al_2O_3	CaO	Cr_2O_3	Fe_2O_3	K_2O	MgO	MnO	Na_2O	P_2O_5	SiO_2	TiO_2	합계(%)
실시설계	ATB-7	49.5~49.6	9.73	1.91	0.01	4.36	2.54	2.20	0.02	4.12	0.02	74.48	0.01	100
	NNTB-2	66.0~66.2	5.13	0.03	0.01	6.07	0.68	4.56	0.02	1.89	0.02	80.32	0.02	100

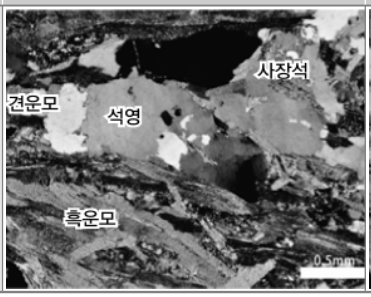
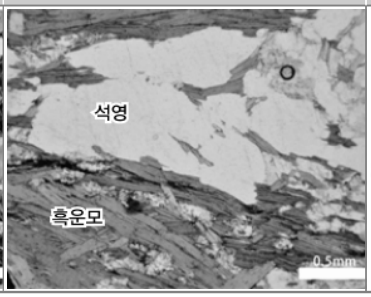
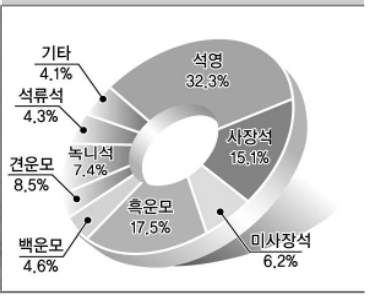
분석결과	•분석결과 SiO_2 74.48~80.32%, Al_2O_3 5.13~9.73%, Fe_2O_3 4.36~6.07%, Na_2O 1.89~4.12% 등 암석의 풍화 및 산화도 확인

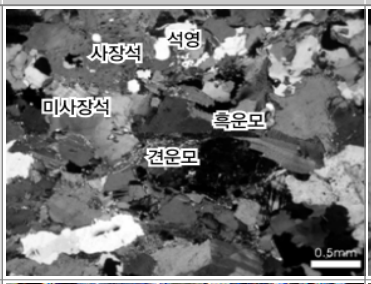
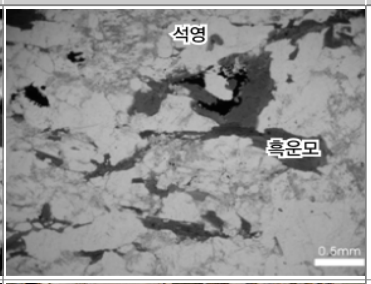
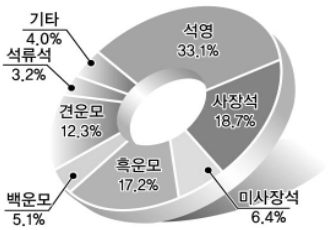
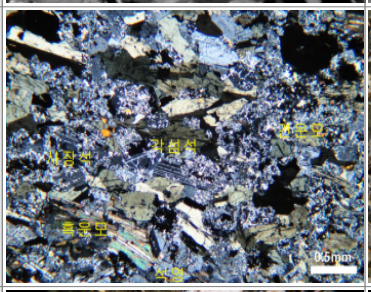
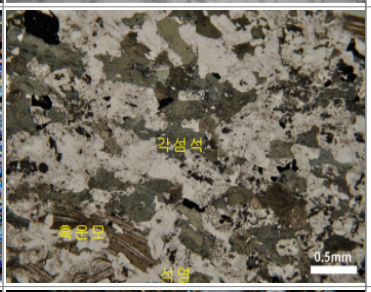
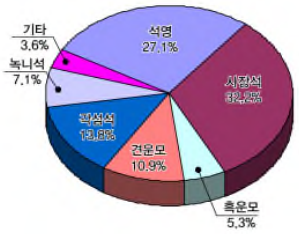
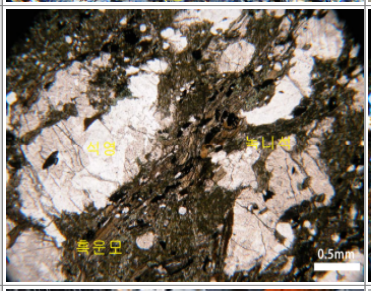
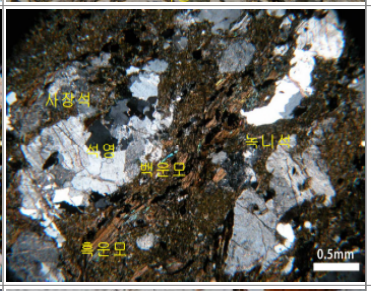
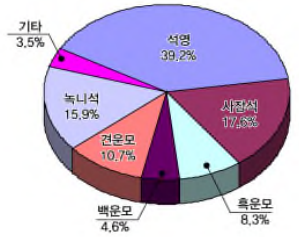
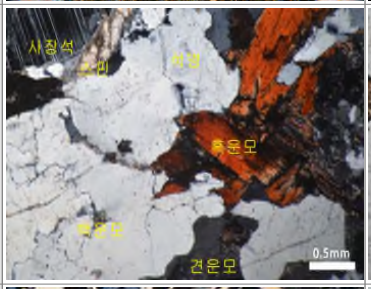
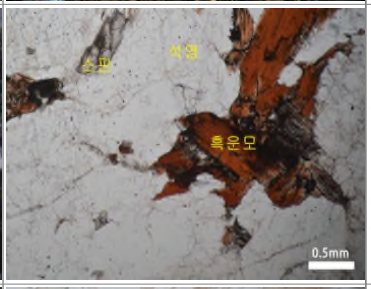
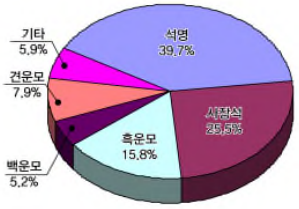
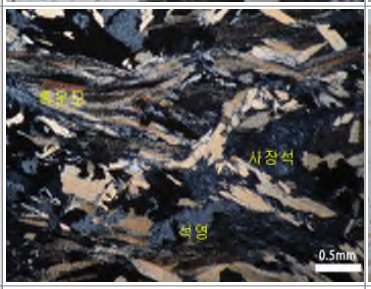
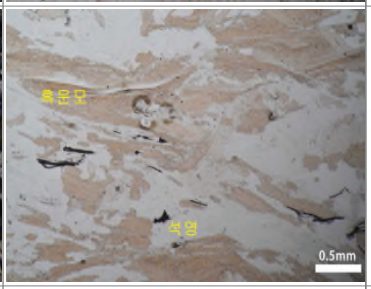
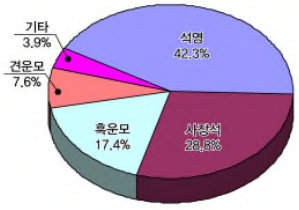
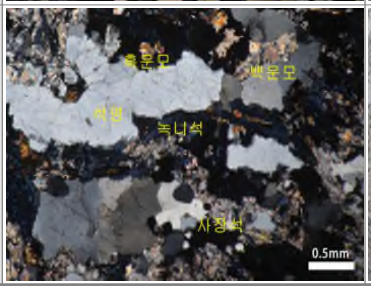
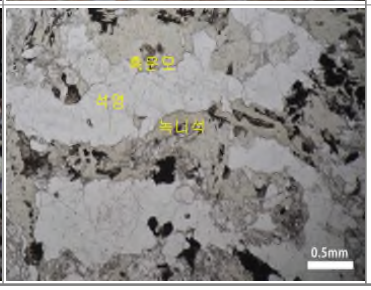
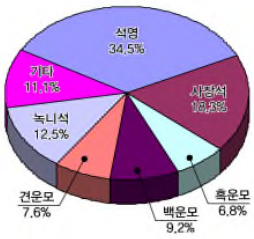
5.7.8 편광현미경 분석

기본방향	•사업구간에 분포하는 암석시료에 대하여 편광현미경하에서 조암 광물의 종류 및 함량을 분석 •풍화에 취약한 광물의 분포여부를 파악 안정성 해석시 반영

시험결과

구 분		암종	석영	사장석	미사장석	흑운모	백운모	견운모	각섬석	녹니석	석류석	기타	합계
기본설계	NTB-13	호상 흑운모편마암	32.3	15.1	6.2	17.5	4.6	8.5	–	7.4	4.3	4.1	100
	NTB-19	호상 흑운모편마암	33.1	18.7	6.4	17.2	5.1	12.3	–	–	3.2	4.0	100
실시설계	ATB-7	각섬석편마암	27.1	32.2	–	5.3	–	10.9	13.8	7.1	–	3.6	100
	NNTB-2	호상 흑운모편마암	39.2	17.6	–	8.3	4.8	10.7	–	15.9	–	3.5	100
	ATB-9	호상 흑운모편마암	39.7	25.5	–	15.8	5.2	7.9	–	–	–	5.9	100
	ATB-13	호상 흑운모편마암	42.3	28.8	–	17.4	–	7.6	–	–	–	3.9	100
	ATB-16	편마암	34.5	18.3	–	6.8	9.2	7.6	–	12.5	–	11.1	100

구 분		폐쇄니콜	개방니콜	광물조성함량
기본설계	NTB-13			

구 분		폐쇄니콜	개방니콜	광물조성함량
기본설계	NTB-19			
실시설계	ATB-7			
	NNTB-2			
	ATB-9			
	ATB-13			
	ATB-16			

분석결과	•사업구간은 석영, 사장석, 흑운모, 백운모, 견운모, 녹니석, 각섬석 등으로 구성된 호상흑운모편마암, 각섬석편마암의 암종으로 분포

5.7.9 암 유용성시험

기본방향	•사업구간 본선암의 유용성 검토를 통하여 재료원의 원활한 수급과 경제성 등을 조사 •한국산업규격(KS F)에 의거하여 산정된 골재의 물리적 특성치를 품질기준치와 비교·분석

시험결과

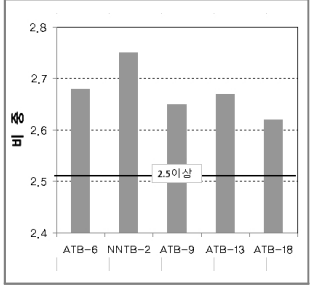
조골재

항 목	용 도	품질기준		실시설계				
		콘크리트용	포장용	ATB-6	NNTB-2	ATB-9	ATB-13	ATB-18
비 중	콘크리트/포장용	2.50이상	2.50이상	2.68	2.75	2.65	2.67	2.62
흡 수 율 (%)	콘크리트/포장용	3.00이하	3.00이하	0.63	0.48	0.51	0.88	1.58
안 정 성 (%)	콘크리트/포장용	120이하	180이하	5.8	3.9	4.5	5.2	7.8
마 모 율 (%)	콘크리트/포장용	350이하	250이하	26.2	15.4	18.3	23.7	32.8
알카리잠재반응	–	–	–	무해한골재	무해한골재	무해한골재	무해한골재	무해한골재

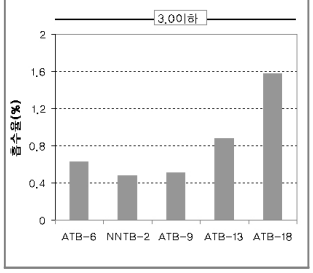
세골재

항 목	용 도	품질기준		실시설계				
		콘크리트용	포장용	ATB-6	NNTB-2	ATB-9	ATB-13	ATB-18
비 중	콘크리트/포장용	2.50이상	2.50이상	2.68	2.75	2.65	2.67	2.62
흡 수 율 (%)	콘크리트/포장용	3.00이하	3.00이하	0.63	0.48	0.51	0.88	1.58
안 정 성 (%)	콘크리트/포장용	100이하	150이하	5.8	3.9	4.5	5.2	7.8
마 모 율 (%)	콘크리트/포장용	–	–	26.2	15.4	18.3	23.7	32.8
알카리잠재반응	–	–	–	무해한골재	무해한골재	무해한골재	무해한골재	무해한골재

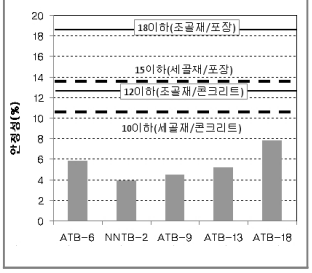
비 중



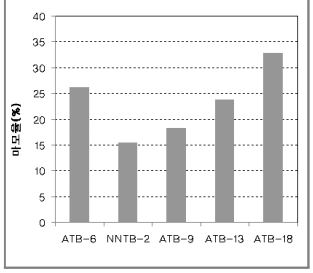
흡수율



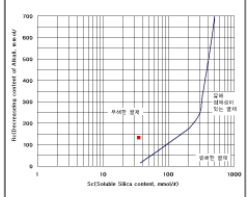
안정성



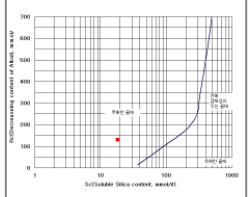
마모율



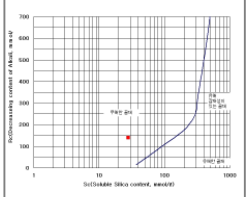
알카리잠재반응 (ATB-6)



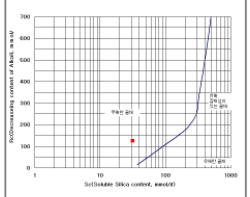
알카리잠재반응 (NNTB-2)



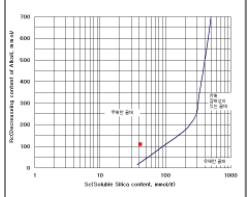
알카리잠재반응 (ATB-9)



알카리잠재반응 (ATB-13)



알카리잠재반응 (ATB-18)



분석결과	•사업구간의 발생암은 조골재 및 세골재의 대부분 항목에서 품질기준치를 만족

5.8 환경영향 평가를 위한 시험

5.8.1 토양분석

기본방향	•사업지역내 대표적인 토양시료를 채취하여 분석실시 •토양내 함유된 오염물질 및 특정 유해물질에 대한 성분 분석 실시

시험위치 및 현황

토양오염도 분석결과

구 분	토양오염우려기준 (mg/kg)			토양오염대책기준 (mg/kg)			분석결과 (mg/kg)					판 정	
							기본설계		실시설계				
	1지역	2지역	3지역	1지역	2지역	3지역	NTB-2	NBB-6	ATB-11	NNBB-8	NNBB-10	우려	대책
카 드 뮴	4	10	60	12	30	180	5.076	1.041	1.176	0.332	0.201	안정	안정
구 리	150	500	2,000	450	1,500	6,000	37.985	5.685	31.455	18.998	7.820	안정	안정
비 소	25	50	200	75	150	600	불검출	2.964	불검출	불검출	불검출	안정	안정
납	200	400	700	12	30	60	116.70	5.445	22.936	4.922	7.140	안정	안정
수 은	4	10	20	12	30	60	불검출	불검출	0.05	0.03	불검출	안정	안정
6가크롬	5	15	40	15	45	120	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	안정	안정
아 연	300	600	2,000	900	1,800	5,000	126.41	26.182	78.813	29.558	15.844	안정	안정
니 켈	100	200	500	300	600	1,500	30.674	8.886	22.328	4.846	3.504	안정	안정
페 놀	4	4	20	10	10	50	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	안정	안정
벤 젠	1	1	3	3	3	9	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	안정	안정
톨 루 엔	20	20	60	60	60	180	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	안정	안정
에틸벤젠	50	50	340	150	150	1,020	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	안정	안정

•1지역 : 지적법」에 따른 지목이 전 · 답 · 과수원 · 목장용지 · 광천지 · 대(「지적법시행령」 제5조제8호 가목 중 주거의 용도로 사용되는 부지만 해당) · 학교용지 · 구거(溝渠) · 양어장 · 공원 · 사적지 · 묘지인 지역과「어린이놀이시설 안전관리법」 제2조제2호에 따른 어린이 놀이시설(실외에 설치된 경우에만 적용) 부지

•2지역 : 지적법」에 따른 지목이 임야 · 염전 · 대(1지역에 해당하는 부지 외의 모든 대) · 창고용지 · 하천 · 유지 · 수도용지 · 체육용지 · 유원지 · 종교용지 및 잡종지(「지적법시행령」 제5조제28호 가목 또는 다목에 해당하는 부지만 해당)인 지역

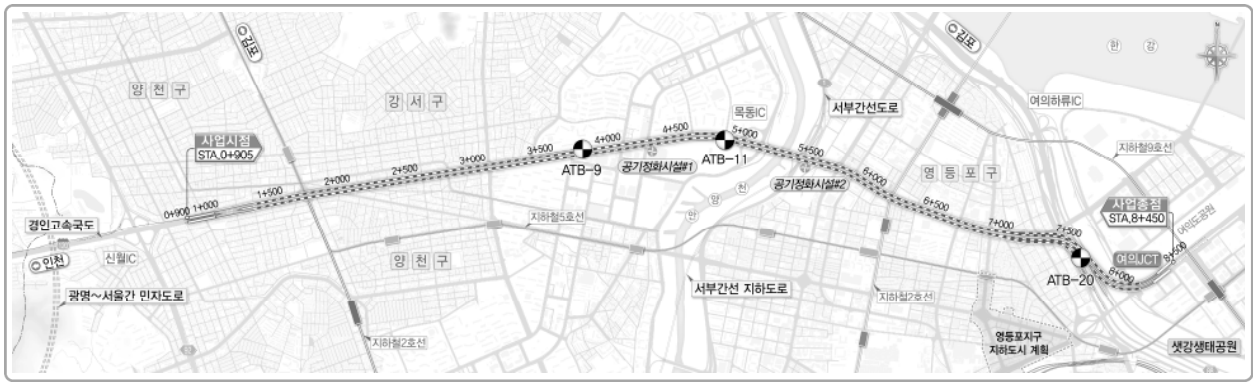
•3지역 : 지적법」 따른 지목이 공장용지 · 주차장 · 주유소용지 · 도로 · 철도용지 · 제방 · 잡종지(2지역에 해당하는 부지 외의 모든 잡종지)인 지역과「국방 · 군사시설 사업에」 관한 법률 제2조제1항 제1호부터 제5호까지에서 규정한 국방 · 군사시설 부지

분석결과	•카드뮴, 구리, 납, 수은, 아연, 니켈이 분석결과 검출 되었으며, 기본설계시 카드뮴이 토양오염우려기준 1지역을 초과하였으나, 실시설계시 모두 1지역 기준을 만족하였고 토양환경보전법에 따른 사업구간은 2~3지역에 해당되어 안정한 것으로 나타남

5.8.2 지하수 수질분석

기본방향	•지하수에 함유된 오염물질 및 특정 유해물질에 대한 성분 분석 실시 •구조물의 부식, 콘크리트 강도 및 철근 부식에 영향을 줄 수 있는 성분의 함량비를 분석하여 유해성 검증

시험위치 및 현황



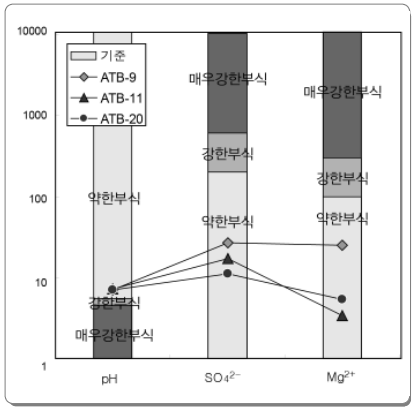
지하수 수질기준 및 분석결과

시험항목		생활용수	농·어업용수	공업용수	분석결과 기본설계 NTB-5	분석결과 기본설계 NTB-20	분석결과 실시설계 ATB-9	분석결과 실시설계 ATB-11	분석결과 실시설계 ATB-20	판정 (생활용수 기준)
일반 오염 물질	수소이온농도(pH)	5.8~8.5	6.0~8.5	5.0~9.0	7.1	6.2	6.9	7.1	6.9	적합
	질산성질소(NO_3^-N)	20 이하	20 이하	40 이하	0.13	1.9	불검출	4.1	1.7	적합
	염소이온(Cl^-)	250 이하	250 이하	500 이하	48	27	49.3	28.3	13.1	적합
특정 유해 물질	카드뮴(Cd)	0.01 이하	0.01 이하	0.02 이하	0.005	불검출	불검출	불검출	불검출	적합
	비소(As)	0.05 이하	0.05 이하	0.1 이하	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	적합
	시안(CN)	0.01 이하	0.01 이하	0.2 이하	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	적합
	수은(Hg)	0.001 이하	0.001 이하	0.001 이하	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	적합
	유기인화합물	0.0005 이하	0.0005 이하	0.0005 이하	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	적합
	페놀	0.005 이하	0.005 이하	0.01 이하	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	적합
	납(Pb)	0.1 이하	0.1 이하	0.2 이하	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	적합
	6가크롬(Cr^{6+})	0.05 이하	0.05 이하	0.1 이하	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	적합
	트리클로로에틸렌(TCE)	0.03 이하	0.03 이하	0.06 이하	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	적합
	테트라클로로에틸렌(PCE)	0.01 이하	0.01 이하	0.02 이하	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	적합
	트리클로로에탄	0.15 이하	0.3 이하	0.5 이하	불검출	불검출	불검출	0.013	불검출	적합
	벤젠(Benzene)	0.015 이하	–	–	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	적합
	톨루엔(Toluene)	1 이하	–	–	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	적합
	에틸벤젠(Etylbenzene)	0.45 이하	–	–	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	적합
	크실렌(Xylene)	0.75 이하	–	–	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	적합

분석결과	•수질분석 결과 생활용수 기준에 모두 적합한 것으로 나타남

콘크리트 부식정도(DIN 4030)

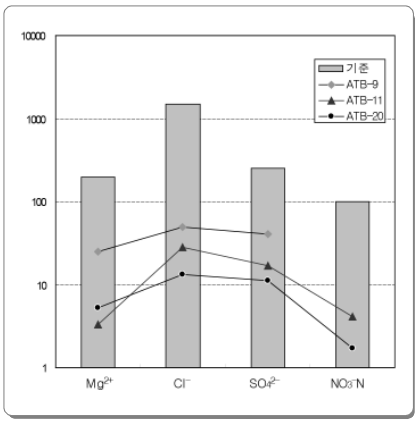
항 목	분 석 기 준			분 석 결 과				
				기본설계		실시설계		
	약한 부식	강한 부식	매우 강한부식	NTB-5	NTB-20	ATB-9	ATB-11	ATB-20
pH	5.5~6.5	4.5~5.5	4.5이하	7.1	6.2	6.9	7.1	6.9
SO_4^{2-} (mg/l)	200~600	600~3,000	3,000이상	24	97	40.7	16.9	11.1
Mg^{2+} (mg/l)	100~300	300~1,500	1,500이상	8.82	9.75	25.02	3.33	5.27



분석결과	•수소이온농도는 6.9~7.1로 부식에 영향이 없는 것으로 나타남 •SO_4^{2-}는 11.1~40.7mg/l의 범위로 모든 지역에서 영향이 없는 것으로 나타남 •Mg^{2+}는 3.33~25.02mg/l로 모든 지역 모두 영향이 없는 것으로 나타남

콘크리트 배합수의 수질 분석(Rump and Krist, 1988)

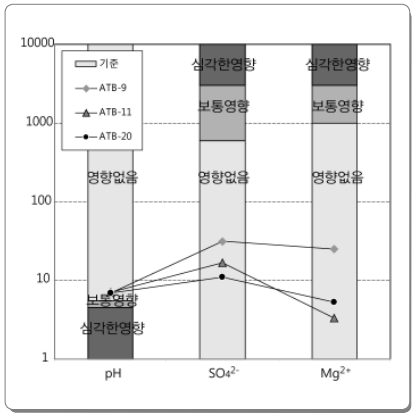
항 목	검토기준 한계값	분 석 결 과				
		기본설계		실시설계		
		NTB-5	NTB-20	ATB-9	ATB-11	ATB-20
pH	7.0	7.1	6.2	6.9	7.1	6.9
Mg^{2+}(mg/l)	200이하	8.82	9.75	25.02	3.33	5.27
Cl^-(mg/l)	1,500이하	48	27	49.3	28.3	13.1
SO_4^{2-}(mg/l)	250이하	24	97	40.7	16.9	11.1
NO_3^-N(mg/l)	100이하	0.13	1.9	불검출	4.1	1.7



분석결과	•콘크리트 배합수의 추천수질에서 pH는 기준치와 유사한 6.9~7.1의 값으로 나타남 •Mg^{2+}, Cl^-, SO_4^{2-}, NO_3^-N 모두 검토기준 한계값에 만족하는 것으로 나타남

배수구 막힘현상 유발(독일)

항 목	검 토 기 준			분 석 결 과				
				기본설계		실시설계		
	영향 없음	보통 영향	심각한 영향	NTB-5	NTB-20	ATB-9	ATB-11	ATB-20
pH	5.5~6.5	4.5~5.5	4.0~4.5	7.1	6.2	6.9	7.1	6.9
SO_4^{2-} (mg/l)	200 ~ 600	600 ~ 3,000	3,000 ~ 6,000	24	97	40.7	16.9	11.1
Mg^{2+} (mg/l)	300 ~ 1,000	1,000 ~ 3,000	3,000 이상	8.82	9.75	25.02	3.33	5.27



분석결과	•pH는 6.9~7.1의 범위로 모든 지역에서 배수구 막힘 현상이 발생되지 않을 것으로 검토기준에 만족 •SO_4^{2-}는 11.1~40.7mg/l, Mg^{2+}는 3.33~25.02의 범위로 모두 영향이 없는 것으로 나타남

5.8.3 라돈농도 측정

기본방향	•지반물질(공내가스, 암석, 토양, 지하수) 분석을 통한 위해성 평가 •실내공기질관리지침 (4pCi/L)에 준하는 설계 환기량을 산정하여 환경 친화적 설계의 기초 자료로 활용

조사내용 및 분석방법

(1Bq /m³ = 0.027pCi / L)

국가(단체)	기 준
미 국 (EPA권고)	•대기중 라돈 : ≤ 4pCi/L •음용수중 라돈 : ≤ 300pCi/L •지하수 EPA 대체기준 : 4,000pCi/L (정화시스템 사용시)
미국 뉴저지	•대기중 라돈 : ≤2pCi/L
한 국	•대기중 라돈 : ≤4pCi/L •라돈자핵종 농도 : 없음

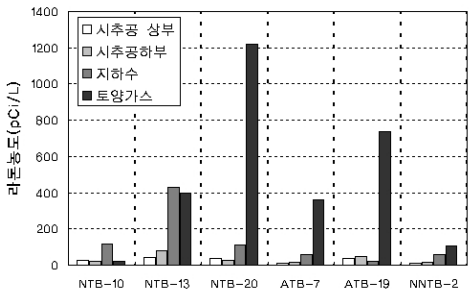
국가(단체)	기 준
독 일	•자연방사선피폭에 대한 선량한도는 없으나 현재 ICRP-60
ASHRAE	•대기중 라돈 : ≤2pCi/L
NCRP	•대기중 라돈 : ≤8pCi/L
스 웨 덴	•규제 : ≤10.8pCi/L •농도저감화후 : ≤5.4pCi/L •신축주택 : ≤1.89pCi/L

분석결과

라돈농도(pCi / L)

구 분		시추공 가스				지하수	토양가스
		상부		하부			
		농도	심도(m)	농도	심도(m)		
기본설계	NTB-10	24	2.0	20	8.0	116	23.5
	NTB-13	41	2.0	80	8.0	432	400
	NTB-20	35	2.0	29	8.0	111	1,222
실시설계	ATB-7	9.34	1.0	17.7	4.0	58	361
	ATB-19	35.5	1.0	45.1	10.0	22	738
	NNTB-2	12.9	1.0	17.7	10.0	58	108

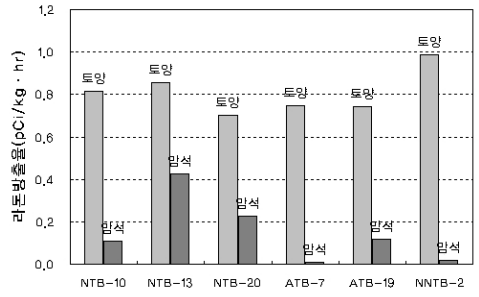
라돈농도



라돈방출율(pCi / kg·hr)

구 분		토양시료		암석시료	
		채취심도(m)	방출율	채취심도(m)	방출율
기본설계	NTB-10	23.0~27.0	0.814	49.0~49.2	0.107
	NTB-13	21.0~25.0	0.856	66.7~67.0	0.425
	NTB-20	21.0~24.0	0.701	64.5~64.7	0.228
실시설계	ATB-7	20.0~24.0	0.749	26.7~26.9	0.008
	ATB-19	26.0~30.0	0.744	39.7~40.0	0.118
	NNTB-2	8.0~12.0	0.987	19.3~19.5	0.019

라돈방출율

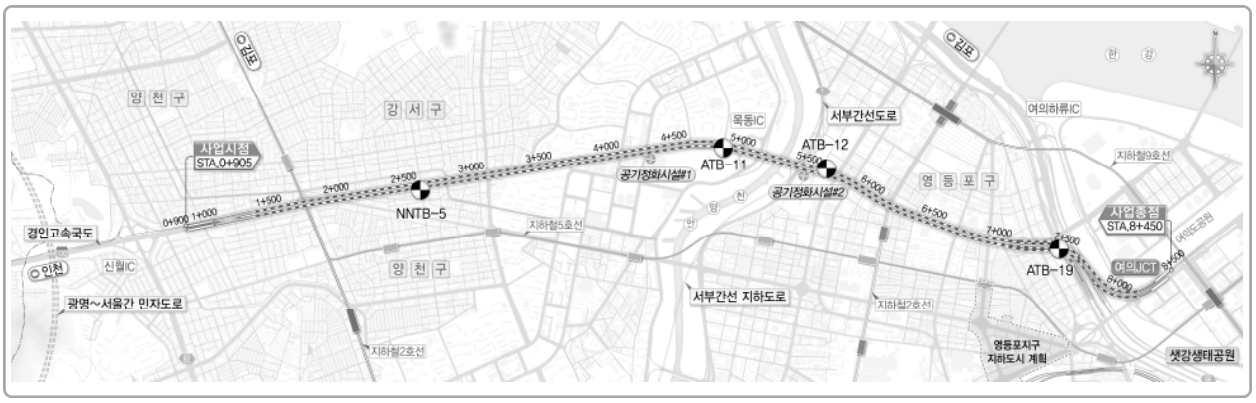


분석결과	•지하수내 라돈농도는 22~58pCi/L로 음용수 관리기준치(300pCi/L(미국))를 만족함 •토양가스내 라돈농도는 108~738pCi/L로 실내공기질 관리지침(4pCi/L(한국))을 상회함

5.8.4 시추공시험발파

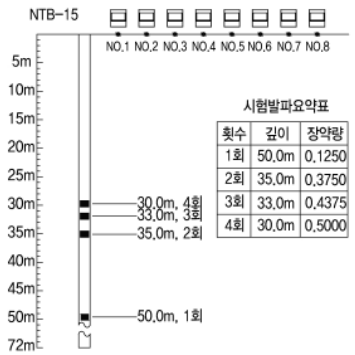
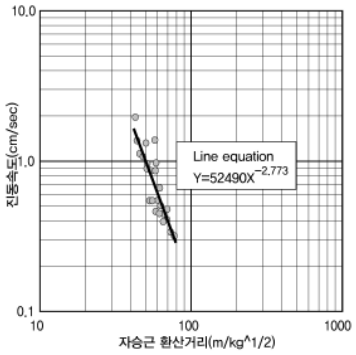
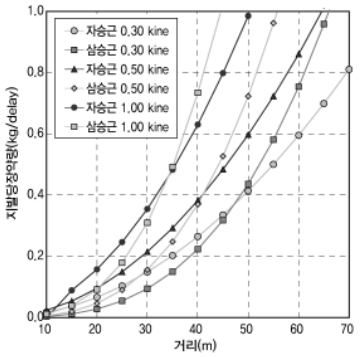
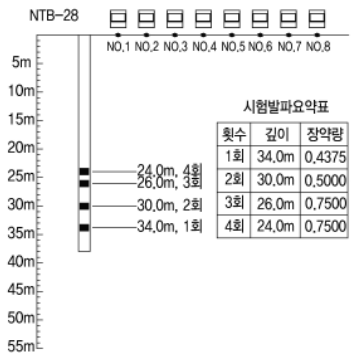
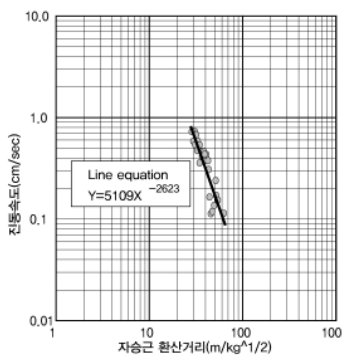
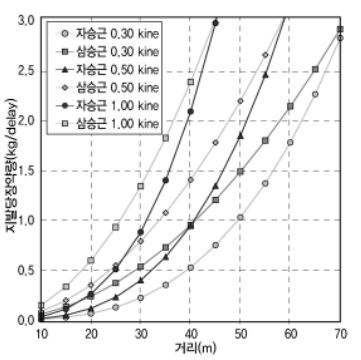
기본방향	•사업구간 현지암반의 특성이 고려된 발파설계 및 시공을 위한 최적의 발파설계인자를 도출하기 위한 현장시험

시험발파 위치 및 주변현황

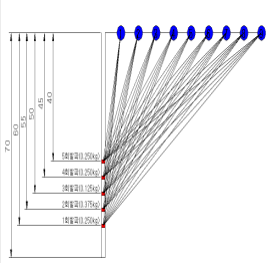
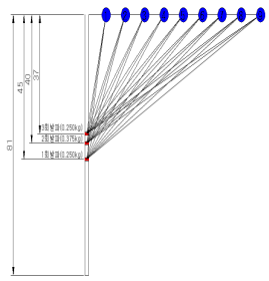
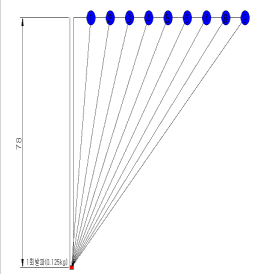
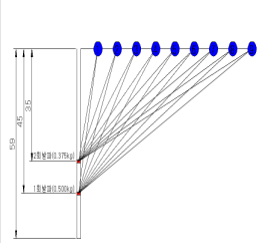


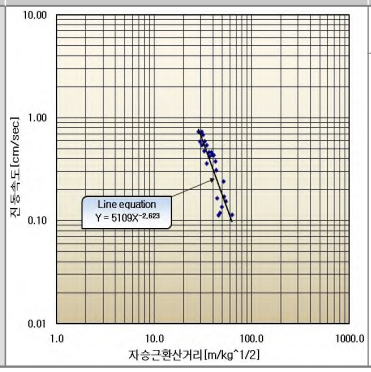
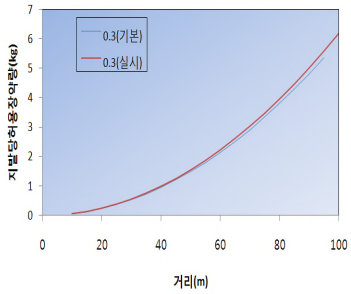
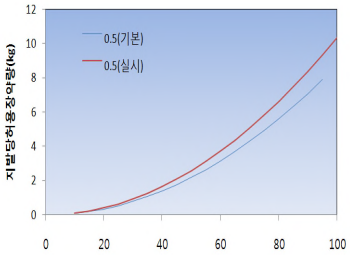
구 분	사업구간 특성
사회·환경적 현황	•노선주변에 상가, 아파트, 일반주택 등 보안물건이 산재하여 있음 •노선상부 지하에 지하철 및 상하수도 등 콘크리트 구조물이 존재 함
지질공학적 특성	•선캠브리아기 호상편마암과 화강편마암을 기반암으로 편마암류로 구성 됨 •사업구간은 호상편마암이 우세한 지역으로 편마암 내 엽리구조(우백대, 우흑대) 발달 됨
설 계 방 향	•굴착공사에 의한 주변환경에 피해를 미치지 않는 친환경적이고 경제적인 시공조건제시

발파결과 및 진동·소음 추정식 도출(기본설계)

구 분		시추공발파패턴	회귀분석결과(자승근)	거리별 지발당장약량
발파 진동 추정식 (기본)	NTB-15			
	NTB-28			

발파결과 및 진동·소음 추정식 도출(실시설계)

구 분	NNTB-5	ATB-11	ATB-12	ATB-19
시추공 발파 패턴				

구 분	회귀분석결과(자승근)	거리별 지발당장약량(기본-실시)	거리별 지발당장약량(기본-실시)
		0.3 kine(cm/sec)	0.5 kine(cm/sec)
발 파 진 동 추정식 (실시)			

구 분	적용사유 및 예측식 선정
소 음 예측식	•공사중 민원발생 후 분쟁조정시 환경분쟁조정위에서 관할하는 점을 고려하여 환경분쟁조정위식 선정 •예측식 ⇒ $dB(A) = -16.02\log\left(\frac{D}{W^{1/3}}\right) + 117.695$ [방음벽재질에 따른 소음저감 : 18~31dB(A)]

발파 진동·소음 관리기준 선정

구 분	적용법규 시방서 및 기준
발파설계	•소음·진동관리법 시행규칙(2014), 터널표준시방서(2009) •중앙환경분쟁조정위원회(2002, 2007)

진동	구 분	문화재 및 진동예민시설	주택·상가		
			1등급	2등급	3등급
	허용기준(cm/sec)	0.20이상	0.30이상	0.50이상	1.00이상

소음	구 분	저녁(18:00~22:00)	주간(07:00~18:00)
	허 용 기 준	60dB(A) 이하	75dB(A) 이하

분석결과	•자승근과 3승근의 지발당 허용장약량 비교 결과 자승근의 안전율이 30m정도 높으므로 자승근 적용 •실시설계시 기본설계대비 지발당 허용장약량이 약간 상회하는 것으로 분석

제6장 중점검토사항 및 종합분석

6.1 지질이상대 분석

기본방향	•사업노선과 교차하는 지질이상대의 지질학적 특성, 영향범위 등을 파악하여 노선과의 연관성 규명 •정량적으로 평가된 지질이상대 특성을 분석하여 터널 및 개착구간 구조물 안정성 평가

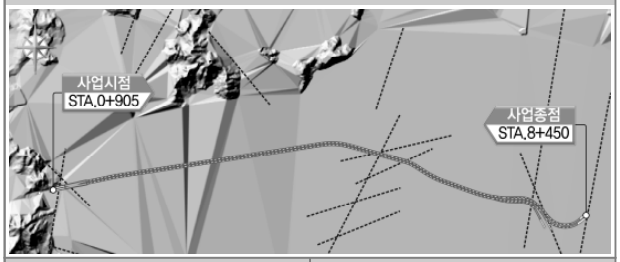
6.1.1 수행흐름

선구조 및 지질특성 분석	이상대 분포확인	코아 확인/공내검층	공간적 분포 파악
•광역적 선구조 발달 특성 및 교차선구조 분석 •지질도 및 지표지질조사시 분석된 단층 연관성 파악	•전기비저항탐사에 의한 저비저항 이상대 확인 •선구조와의 연관성 및 방향성 추정	•시추조사 및 검층을 통한 이상대 주향/경사 파악 •단층점토 함유여부, 암석코아 상세분석	•지질이상대 공간적 위치 및 영향범위 결정 •시추코아 화학분석을 통한 유해요소 분석

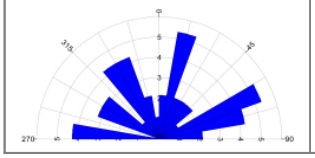
6.1.2 지형 · 지질정보 분석

선구조 분포에 따른 이상대 파악

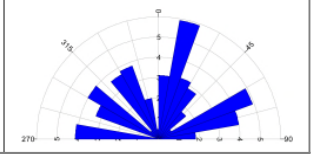
사업구간 교차 선구조



빈 도



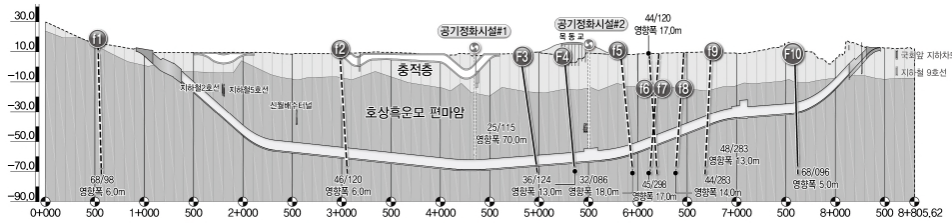
연 장 성



구 분	방 향	연장(km)	교차 위치	노선 교차각
L – 1	N9E	3.06	STA. 0+275	70°
L – 2	N51W	1.54	STA. 0+582	51°
L – 3	N77E	1.75	STA. 5+260	29°
L – 4	N24E	4.72	STA. 5+285	81°
L – 5	N66E	1.29	STA. 5+700	40°
L – 6	N73E	1.50	STA. 6+320	39°
L – 7	N70E	1.33	STA. 6+700	42°
L – 8	N10E	3.89	STA. 7+580	71°
L – 9	N27W	2.83	STA. 8+140	63°
L–10	N11E	4.05	STA. 8+660	11°

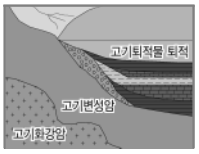
지질분포 및 지질이상대 특성분석

•사업구간은 화성암의 관입 및 분출, 고생대 변성작용으로 편마암이 우세하게 분포

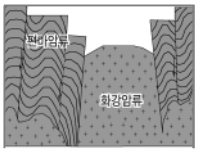


•하천인접지역은 퇴적층이 비교적 두꺼우며, 선구조 방향으로 단층대 발달 분포

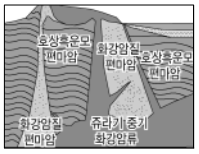
1 단계



2 단계

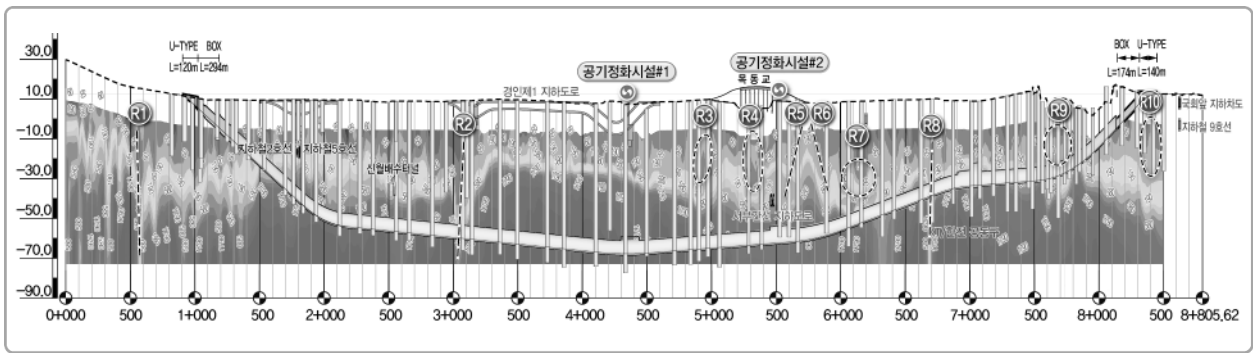


3 단계



4 단계

6.1.3 물리탐사를 통한 지질이상대 구간확인

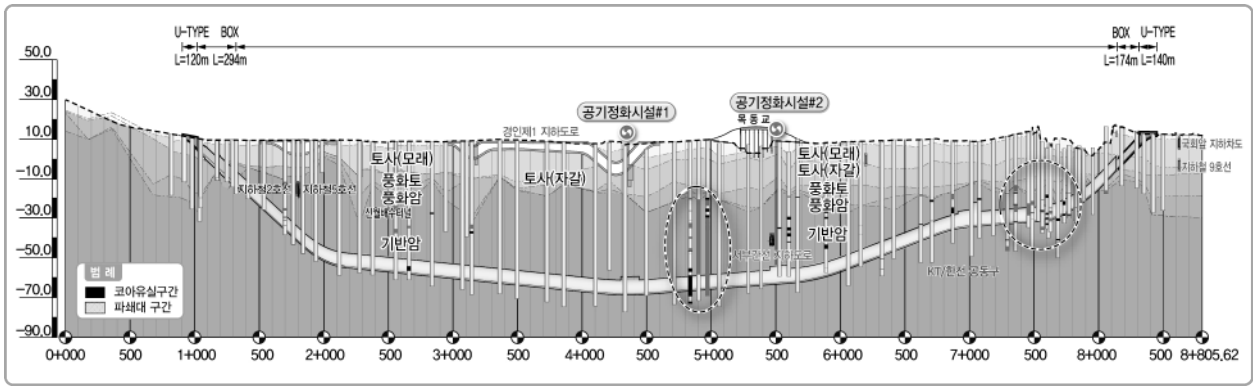


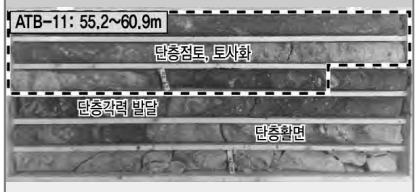
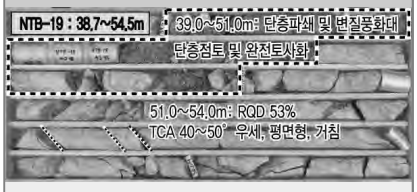
분석결과	•저비저항대 및 저속도 이상대 분포구간의 지질이상대구간 분포 예상지 10개소 확인 → 선구조와의 연관성 및 개략적인 연장 방향 측정 ⇨ 시추조사 위치 결정

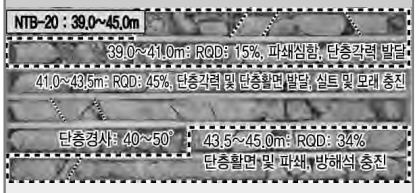
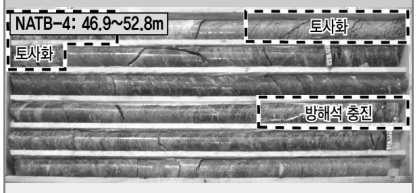
6.1.4 시추조사를 통한 지질이상대 규명

단계별 지질이상대 규명 계획

선구조 및 지질특성 분석	시추조사	보완조사	수침시험
•광역적 선구조 발달 특성 및 지표지질조사시 분석된 단층 연관성 파악 •예상단층대 시추조사계획	•지질구조 및 지층 분포 특성 분석을 통한 지층급변구간 등 지질이상대 분포여부 파악	•NATB-2, 3 추가 시추조사 •단층파쇄대 원인 및 영향범위 파악	•단층대 분포 범위 및 영향구간 파악 •단층대 강도특성 파악

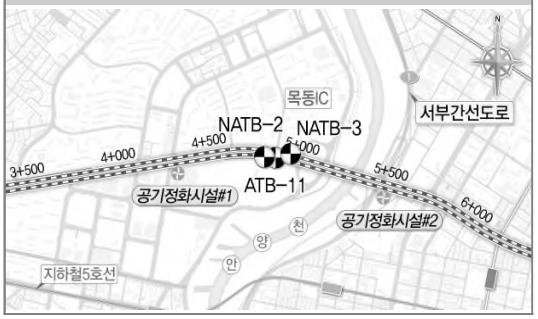
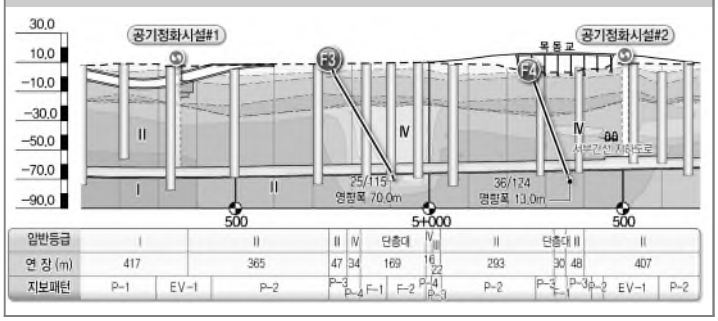


ATB-11(F3, F4)	NTB-18(f5)	NTB-19(f6, f7)
		
•RQD: 0%의 단층대 및 파쇄대 분포 •단층점토, 단층각력 및 토사화 •단층경사: 20~30°	•RQD: 0~37%의 단층파쇄대 분포 •단층각력, 단층활면, 점토충진 및 토사화 •단층경사: 40~50°	•39.0~51.0m: 단층파쇄로 인한 변질 풍화대, 단층점토 및 토사화 구간 •단층대 하부는 RQD 53%로 암질 양호

NTB-20(f8)	NATB-4(f9)	NTB-27(F10)
		
•f7단층대로 단층각력 및 단층활면 발달 •단층파쇄구간 RQD: 15~45% •단층경사 40~50° 우세, 하부영향 적음	•RQD: 40~77%, 소규모 파쇄 발달, 일부 토사화 및 단층각력 분포, 방해석 충진 •터널 하부영향 적음, RQD: 60~98%	•단층인지구간 RQD: 0~35% •점토충진, 단층각력, 단층활면 발달 •단층경사: 60~70° 고각 발달

분석결과	•선구조 분석 및 전기비저항 탐사시 출현한 지질이상대에 대한 상세 시추조사 결과 사업구간내 총 10개소의 단층 파쇄대가 교차(단층점토, 단층각력, 단층활면 존재, f1~F10) •터널하부까지 단층점토 및 단층각력이 분포하는 지질이상대 3개소 확인(F3, F4, F10)

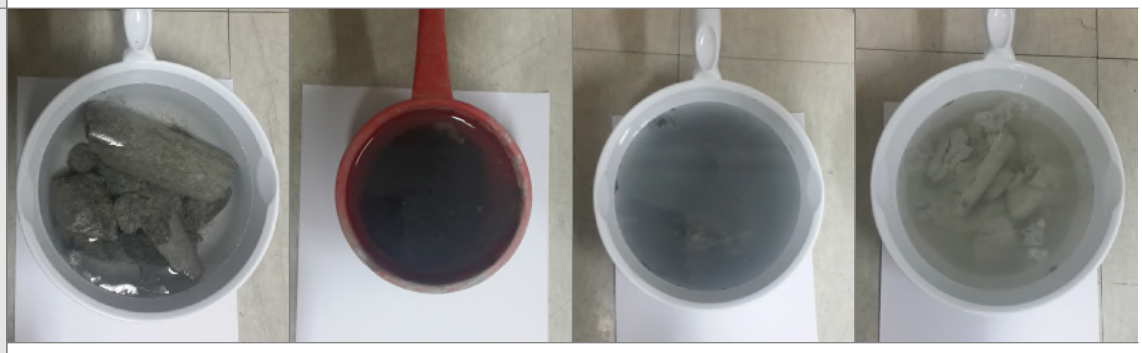
단층대(F3) 수침시험

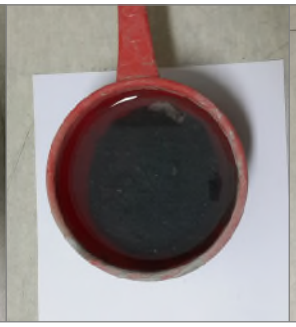
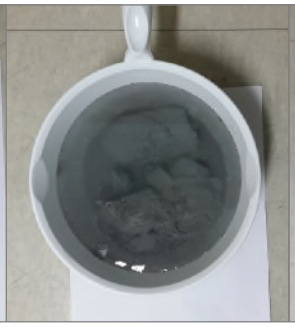
시험위치도	종단면도
	

구 분	공 번	STA.	시험심도	터널 통과구간	시험구간
S - 1	NATB-2	여의도방향4+840.0(우 9.0m)	76.6~76.8m	68.4~75.0m	터널하부
S - 2	ATB-11	여의도방향4+903.5(우 5.9m)	57.5~57.7m	68.5~75.1m	단층점토
S - 3	ATB-11	여의도방향4+903.5(우 5.9m)	66.2~66.4m	68.5~75.1m	상부1D
S - 4	NATB-3	인천방향4+986.7(우 10.4m)	69.4~69.6m	68.4~75.0m	터널통과구간

구 분	S-1	S-2	S-3	S-4
수 침 전				

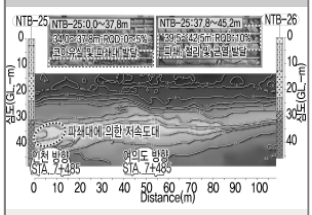
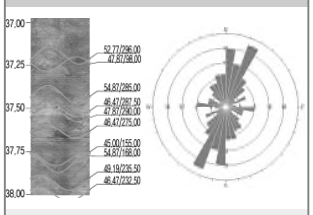
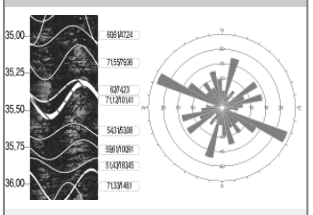
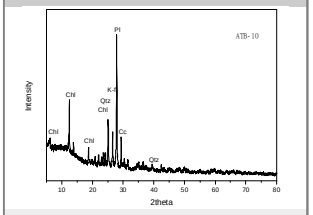
•S-1 시료는 손으로 꺾었을 때 쉽게 부서지지 않고 코아의 형태 유지
•채취된 시료는 core의 형태를 보이며 토사화 진행
•절리면은 단층활면(Slickenside)이 분포하며 점토 및 사질토 충진

구 분	S-1	S-2	S-3	S-4
수 침 1 시 간				
	•S-2 시료는 수침시 흑색을 띠며 즉시 토사화 진행 •S-3, S-4 시료는 절리면에 충진된 토사가 분리되며, 코아형태의 시료도 시간이 경과함에 따라 균열 발생			
수 침 2 시 간				
	•S-1시료는 절리면 충진 토사만 분리 •S-2 시료는 토사화 완료 •S-3, S-4 시료는 균열이 증가하면서 토사화 진행			
수 침 3 시 간				
	•S-1 시료는 균열이 증가하며 절리면 주변 연약화 •S-3, S-4 시료는 코아의 형태를 확인할 수 없을 정도로 토사화 진행			
수 침 4 시 간				
	•S-1 시료는 균열 증가 •S-3, S-4 시료는 토사화 진행			

구 분	S-1	S-2	S-3	S-4
수 침 18시간				
	•S-1 시료는 core 단부에서 탈락 발생 •S-3, S-4 시료는 토사화 완료			
수 침 20시간				
	•S-1 시료는 균열 및 단부 탈락 증가			
수 침 24시간				
	•S-1 시료도 토사화 진행			
수 침 24시간 후 강도 확 인				
	•S-1 시료는 균열이 증가되어 양손으로 쉽게 꺾을수 있으며 자갈 및 굵은 모래로 분해 •S-2 시료는 손으로 눌렀을 때 점토로 분해 •S-3, S-4 시료는 손으로 눌렀을때 사질토로 분해			

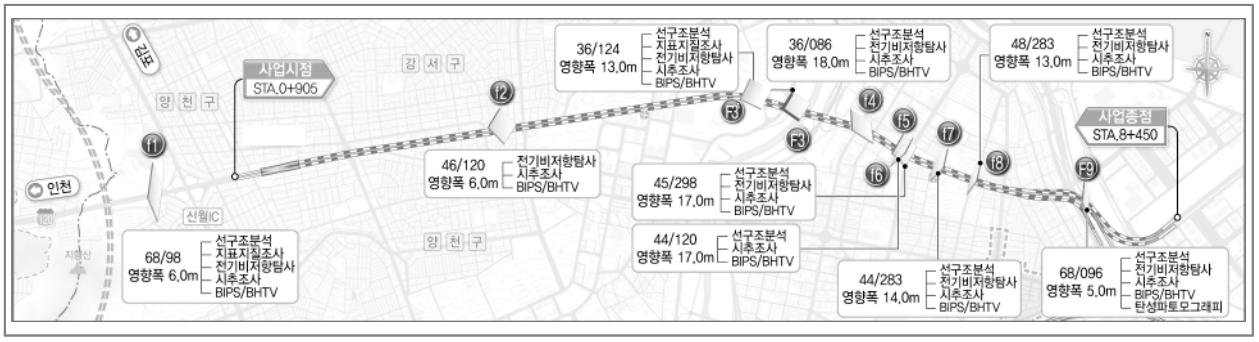
분석결과	•S-1 시료는 수침시 코아의 형태를 유지하나 균열이 증가되어 손으로 쉽게 부서짐 •단층의 중심부로 판단되는 S-2 시료는 수침즉시 단층점토로 변질되어 약한 강도 •S-3 S-4 시료는 수침시 균열이 증가되어 사질토로 분해 •단층대(F3)는 NATB-2 상부부터 NATB-3 하부 터널통과 구간까지 넓은 폭으로 분포하며 단층점토와 사질파쇄대가 혼재되어 나타남

6.1.5 단층파쇄대 방향성 및 단층폭 분석

탄성파 토모그래피 탐사	공내영상촬영(BIPS)	초음파주사검층(BHTV)	XRD 분석
			
•파쇄대에 의한 저속도층 분포	•f7단층파쇄대 경사방향 확인	•F9단층파쇄대 경사방향 확인	• 팽창성 점토광물인 녹니석 함유

분석결과	•BIPS, BHTV에 의한 단층파쇄대 분석결과, 55~68° 의 중~고각 특성을 나타냄 •F3, F4 통과구간 단층점토의 XRD분석결과 팽창성 점토광물인 녹니석이 21.7~34.1% 함유

6.1.6 단층파쇄대 입체적 분석



구 분	선구조	지표지질	전기비저항탐사	시추조사	BIPS/BHTV	탄성파토모그래피
f 1	L2	S6	R1	–	–	–
f 2	–	–	R2	–	–	–
F 3	–	S1~S3 간접	R3	ATB–11, NATB–1,2	–	–
F 4	L3	S1~S3 간접	R4	NTB–15	O	–
f 5	L5	–	R6	NTB–18	O	–
f 6, 7	L6, L7 간접 영향	–	R7	NTB–19	O	–
f 8		–	–	NTB–20	O	–
f 9		–	R8	NTB–23, NATB–4	O	–
F 1 0	L8	–	R9	NTB–27	O	NTB–25~26

구 분	교차구간(STA.)	방향성	영향폭(m)	영향구간	구 분	교차구간(STA.)	방향성	영향폭(m)	영향구간
f 1	0+530	68/98	6.0	기존도로	f 6	6+150	45/298	17.0	터널상부
f 2	3+045	46/120	6.0	터널상부	f 7	6+170	44/120	17.0	터널상부
F 3	4+950	25/115	70.0	터널하부	f 8	6+415	44/283	14.0	터널상부
F 4	5+340	36/124	13.0	터널하부	f 9	6+700	48/283	13.0	터널상부
f 5	5+920	32/086	18.0	터널상부	F 1 0	7+605	68/096	5.0	터널하부

분석결과	•사업구간을 교차하는 단층파쇄대는 총 10개소가 분포하며 기존도로에 저촉되는 f1을 제외한 9개소의 단층파쇄대가 주요 지하구조물에 저촉되고 총 3개소에서 터널하부까지 연장성이 확인됨 •F3~f9 밀집구간은 단층대 및 변질대가 25~48° 의 중각으로 발달하며, 영향폭이 13.0~70.0m의 주요 국지 광역 파쇄대에 해당하므로 안양천~샛강구간은 터널 지보패턴 계획시 보강영역 계획

6.2 터널구간 성과분석

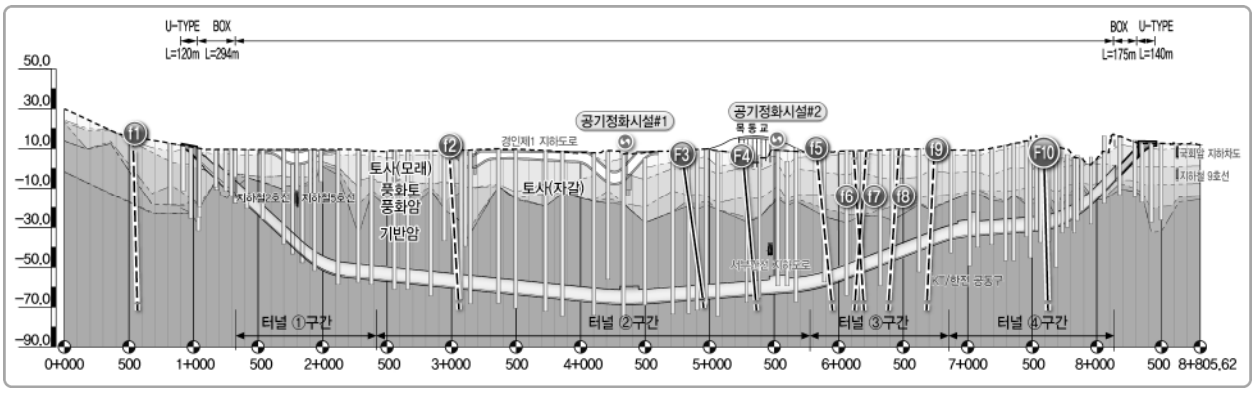
기본방향	•지중 굴착 대상인 기반암의 특성 평가를 위해 강도 및 변형특성, 수리 및 동적특성 상세 평가 •터널 지보패턴의 안정성 및 적정성 확보를 위한 상세 암반등급도, 균질절리영역 상세 분석

6.2.1 기본방향

중점고려사항	분석항목	설계활용
•분포 기반암인 호상흑운모 편마암의 공학적 특성 •단층대 등 지질 취약구간을 반영한 암반등급 분석 •암종, 지질구조, 방향성을 고려한 균질절리영역 분석	•강도/변형특성, 수리/동적시험, 수압파쇄, AE/DRA •BHTV, BIPS, 절리면전단, 기본마찰각, JRC, JCS 측정자료 •시추구간 암반분류, 미시추구간 암반분류, 3차원 단열도를 통한 단층파쇄대 입체화 분석	•안정성 및 내진, 차수설계 •최적단면/지보재 설계 •단층구간 지보패턴 하향조정 •발파 및 지보패턴 설계 •불연속체 해석 구간 선정

6.2.2 지반의 지층 특성 분석

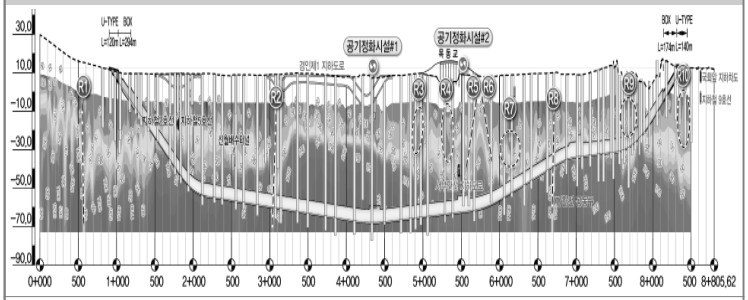
시추조사 및 상시미진동 굴절법 탄성파 탐사



구 분	터널①구간 (STA.1+410~2+420)	터널②구간 (STA.2+420~5+794.2)	터널③구간 (STA.5+794.2~6+873)	터널④구간 (STA.6+873~8+160)
지 층 현 황	•0.5D구간 RQD 20~100% •통과구간 RQD 41~100%	•0.5D구간 RQD 12~100% •통과구간 RQD 41~100%	•0.5D구간 RQD 0~91% •통과구간 RQD 31~100%	•0.5D구간 RQD 0~87% •통과구간 RQD 7~87%
종단선형 이 상 대	•Ⅰ~Ⅲ등급으로 편차가 심함 •지하철2, 5호선 하부통과	•f2~F4 단층파쇄대 분포 •NTB-16 단층대 분포 •ATB-11, NATB-2, 3 단층대	•f5~f9 단층 파쇄대 밀집 •소규모의 단층파쇄대 •F3, F4, F10 터널하부까지 연장	•F10 단층파쇄대 분포 •터널통과구간 파쇄연암 •종점부 풍화대, 토사구간 통과

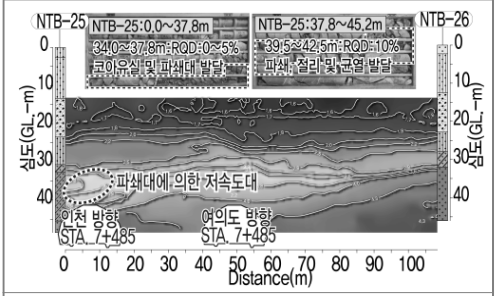
전기비저항 탐사 및 탄성파 토모그래피 탐사

고출력전기비저항 탐사



•등급이 낮거나 연암이 깊어지는 구간에 저비저항대 분포

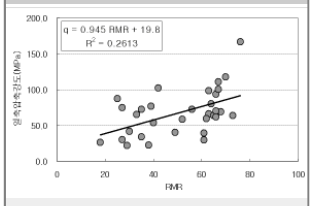
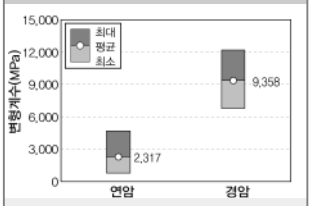
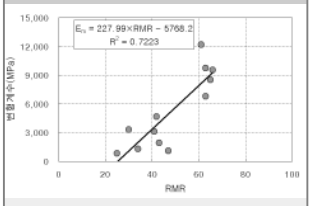
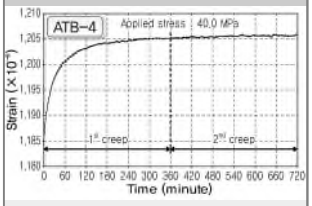
탄성파토모그래피 탐사



•탐사결과 저속도대 코아유실 및 파쇄대 발달

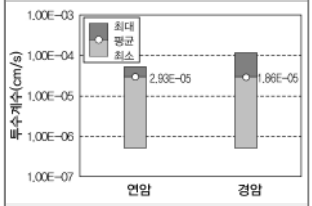
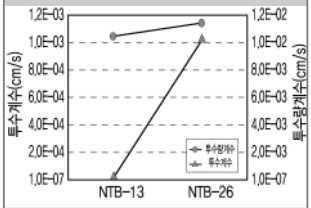
6.2.3 지반의 공학적 특성 분석

강도 및 변형특성

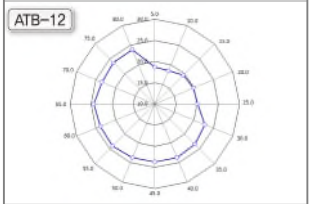
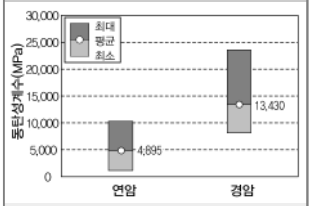
RMR-일축압축강도	등급별 변형계수	RMR-변형계수	구조물 장기안정성
			
•q_u= 0.945×RMR+19.8	•경암: 6,804~12,196MPa	•E_m= 227.99×RMR-5,768.2	•2차 creep비=0.85~0.89×10^{-7}/m

분석결과	•일축강도는 연암 22.4~166.8MPa, 경암 22.2~100.4MPa의 범위를 보임

수리특성

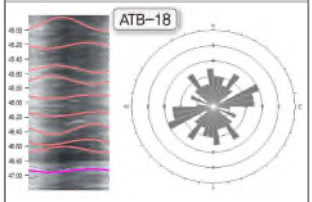
지층별 투수계수	양수시험
	
•경암 : k=1.86×10^{-5}cm/s	•투수량계수 T=0.0105~0.0114

동적특성

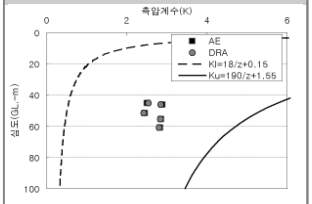
지층별 밀도검층	등급별 동탄성계수
	
•연암γ =23.4~23.8kN/m^3	•경암 : E_d=8,102~23,541MPa

분석결과	•수리특성 파악 및 지층별 투수계수 산정 → 굴착시 유입수량 검토 및 침투 안정해석 •지층별 동적특성 및 반복전단응력비 산정 → 구조물 내진 안정성 검토

불연속면 특성

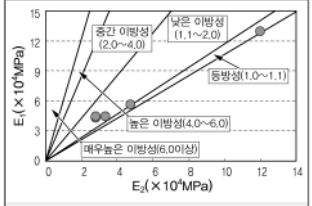
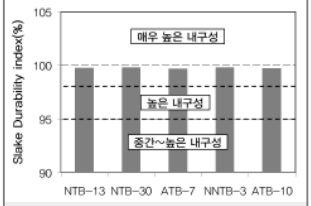
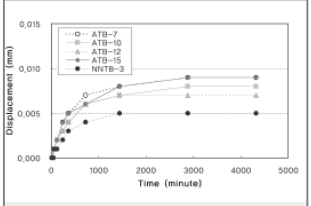
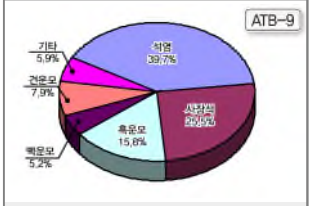
BHTV/BIPS	3D JRC측정
	
•단층파쇄대 방향성 확인	•JRC : 4.9~12.8

지중응력 및 측압특성

수압파쇄시험	AE/DRA 시험
	
•측압계수 K=1.37~1.97	•측압계수 : 2.43~2.89

분석결과	•단층경사는 32~68° 로 발달하며, JRC 4.9~12.8로 파악됨 → 터널 불연속체 해석시 활용 •터널 계획심도의 단면방향 측압계수 1.37~1.80 터널 진행방향 측압계수 1.39~1.97로 분석됨

이방성 및 풍화특성

편마암의 이방성	풍화내구성	팽창성	풍화취약광물 분석
			
•E_1/E_2=1.08~1.57	•흑운모편마암: 높은내구성	•Seed분류 : 낮은 팽창성	•석영함량 높음

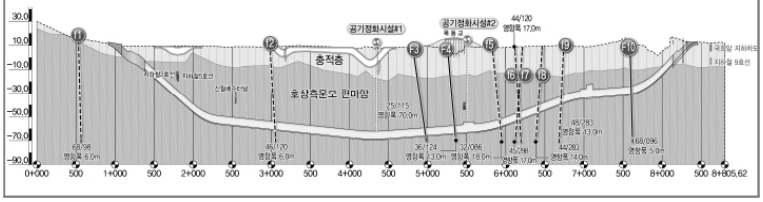
분석결과	•편마암의 이방성비는 1.08~1.57으로 등방성~낮은이방성에 해당되며, 석영 등 내구성이 강한 광물 함유

6.2.4 동질성 분포에 따른 균질절리영역 분석

균질절리영역 산정흐름

1단계 : 암종 및 지질구조	2단계 : 방향성	3단계 : JCS/JRC 분류	4단계 : HFD 분류
•호상흑운모편마암 •지질구조(단층, 관입) –지표지질조사 –시추공 및 물리탐사	•시추공번별 방향성의 상관성 비교 · 평가 – 지표지질 및 시추자료 – BHTV, BIPS 등	•불연속체의 공학적 특성을 적용하여 동질성 추가적 보완 – 시추코아 상세분석	•1~3단계의 종합적 통계 분석 적용 •HFD별 불연속체 발달 양상을 정량화

제1단계–암종 및 지질구조에 따른 분류

암종경계분류	암종에 따른 경계구분
•사업구간 전 구간 호상흑운모 편마암의 단일암종 •추가령 지구대 발달로 형성된 단층과 연관된 2차 전단대 및 선구조(R_1, R_2 type) 발달	

단층파쇄대 분석

구분	교차구간(STA.)	방향성	영향폭(m)	비고
f 1	0+530	68/98	6.0	L2
f 2	3+045	46/120	6.0	R2
F 3	4+950	25/115	70.0	시추조사
F 4	5+340	36/124	13.0	시추조사
f 5	5+920	32/086	18.0	L5

구분	교차구간(STA.)	방향성	영향폭(m)	비고
f 6	6+150	45/298	17.0	L6 연장
f 7	6+170	44/120	17.0	L6 연장
f 8	6+415	44/283	14.0	L6 연장
f 9	6+700	48/283	13.0	L7 연장
F 10	7+605	68/096	5.0	L8

분석결과 •단층파쇄대의 경사방향을 입체적 분석 결과 f1~F4, f5~f8 및 f9~F10구간으로 세분되어 공간적 동질성을 지님

제2단계–방향동질성 분류

개 요

•지표노두의 절리방향을 조사선법(Scanline Method)으로 측정함

•시추공을 이용한 암반 내부의 절리방향성 조사는 BIPS와 BHTV를 이용하여 조사함

•절리의 방향을 분석하고자 하는 위치의 노두나 시추공을 기준으로 인접한 노두나 시추공내의 절리방향과의 상호 연관성을 분석

•위치별 비교대상의 절리방향을 다음과 같이 비교하여 동질성 파악

동질성 판단법

•각 절리군을 3차원 벡터 공간상에서 불연속면의 법선벡터량의 차이(δ)를 구하여 일정한 배점을 부여함

$\delta \Rightarrow \leq$ 10도 : 3점, 10 $< \delta \leq$ 20도 : 2점, 20 $< \delta \leq$ 30도 : 1점, 30 $< \delta$: 0점

•두 시추공의 대표 절리군수 중 최대 절리군 수에 최대 점수 3을 곱한 것을 분모로 하여 점수의 합을 분자로 한 비율을 기준으로 동질성을 판단함

•이 비율이 높을수록 절리방향의 동질성이 높은 것으로 정의함

➲ 시추공 절리방향 동질성

동질성 분석 4/9, 동질		TB-3(J1~J3)		
		150/21	009/57	099/67
TB-10 (J1~J3)	268/50	90	55	63
	108/52	45	53	16
	032/52	89	14	35

동질성 분석 4/9, 동질		TB-10(J1~J3)		
		268/50	108/52	032/52
NTB-7 (J1~J2)	263/48	4	78	71
	004/34	68	72	27

동질성 분석 2/9, 동질		NTB-7(J1~J2)	
		263/48	004/34
TB-12 (J1~J3)	122/46	80	82
	294/47	21	53
	330/50	42	30

동질성 분석 4/9, 동질		TB-12(J1~J3)		
		122/46	294/47	330/50
NTB-12 (J1~J3)	114/59	14	74	67
	354/61	65	36	17
	221/42	66	50	69

동질성 분석 2/9, 동질		NTB-12(J1~J3)		
		114/59	354/61	221/42
NTB-15 (J1~J2)	124/36	24	75	71
	318/49	70	23	64

동질성 분석 0/9, 비동질		NTB-15(J1~J2)	
		124/36	318/49
NTB-16 (J1~J3)	149/40	77	43
	351/62	75	22
	196/62	50	60

동질성 분석 4/9, 동질		NTB-16(J1~J3)		
		149/40	351/62	196/62
NTB-18 (J1~J3)	013/51	12	16	67
	285/53	61	35	45
	86/59	45	43	48

동질성 분석 5/9, 동질		NTB-18(J1~J3)		
		013/51	285/53	086/59
TB-22 (J1~J3)	321/44	35	25	67
	298/45	48	12	73
	067/43	37	79	20

동질성 분석 5/9, 동질		TB-22(J1~J3)		
		321/44	298/45	067/43
NTB-20 (J1~J3)	255/55	43	29	82
	288/59	25	15	73
	273/29	41	25	76

동질성 분석 0/9, 비동질		NTB-20(J1~J3)		
		255/55	288/59	273/29
NTB-21 (J1~J2)	176/63	39	47	67
	358/56	53	36	64

동질성 분석 4/9, 동질		NTB-21(J1~J2)	
		176/63	358/56
NTB-25 (J1~J3)	166/56	9	68
	135/27	45	89
	314/63	50	23

동질성 분석 3/9, 동질		NTB-25(J1~J3)		
		166/56	135/27	314/63
NTB-27 (J1~J3)	038/67	51	68	33
	096/68	33	47	46
	158/59	5	36	57

분석결과 •시추공간 주절리군들 법선벡터량에 따라 차별 점수를 부여하여 동질성여부 판단한 결과 NTB-16~17 및 NTB-21~22 사이의 방향 비동질성 외에는 주방향의 경향은 다소 다르나 동질성이 우수

제3단계-JCS동질성 구분

•절리면을 슈미트 해머로 타격하여 측정한 코아 절리면 압축강도 JCS(joint wall compressive strength)로 각 시추공의 절리면 강도 특성을 통계적 검증을 통하여 구분, 여기서 특성 이라함은 평균값 및 통계적 분포형상의 동일성을 말하며, 174개의 절리면 강도를 측정하였음

➲ t-분포 검증 통계량에 의한 JCS 동질성 분석

구 분	NTB-15↔NTB-18	NTB-18↔NTB-20	NTB-20↔NTB-21	TB-21↔NTB-25	NTB-25↔NTB-27
t 통 계 량	1.608	-1.378	2.231	-0.980	0.469
P(T<=t) 단측 검정	0.061	0.090	0.019	0.168	0.321
t 기각치 단측 검정	1.714	1.708	1.734	1.703	1.697
P(T<=t) 양측 검정	0.122	0.180	0.039	0.336	0.642
t 기각치 양측 검정	2.069	2.060	2.101	2.052	2.042
동 질 성	동질	동질	비동질	동질	동질

분석결과 •t-분포 검증결과 JCS 동질성은 NTB-21~NTB-22 사이의 비동질성을 제외한 모든 구간에서 동질성을 보임

제4단계-JRC동질성 구분

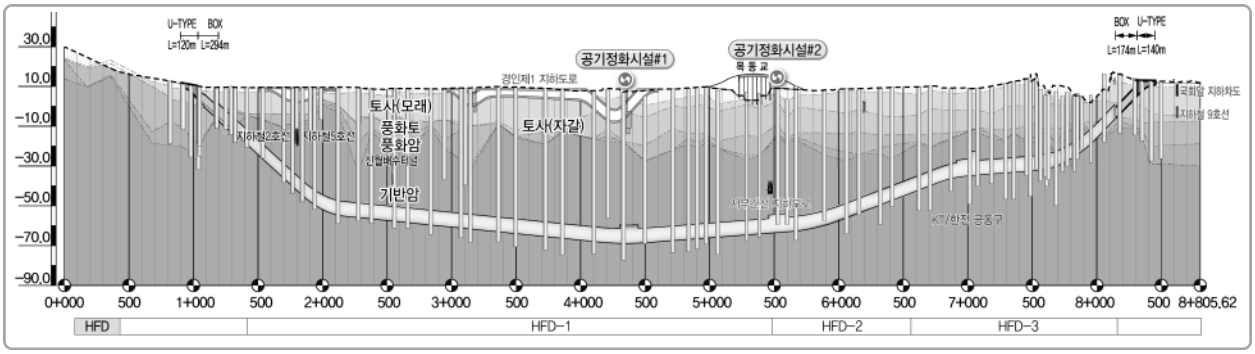
•절리면 거칠기 JRC(joint roughness coefficient)를 절리면 프로파일게이지(profilegage)로 측정하고 이를 표준거칠기곡선과 비교하여 절리면의 거칠기를 구함 (절리면의 거칠기를 측정한 절리면의 총 갯수는 174개임)

JRC 측정현황 및 분석결과

구 분	NTB-7	NTB-12	NTB-15	NTB-16	NTB-18	NTB-20	NTB-21	NTB-25	NTB-27
임 계 치		2.67	7.22	10.65	0.99	2.69	4.29	0.90	2.55	
통 계 량		5.99	7.81	7.81	3.84	5.99	5.99	3.84	5.99	
동 질 성		동질	동질	비동질	동질	동질	동질	동질	동질	
영 역 구 분	R1			R2						

•카이제곱분포 검증결과 JRC 동질성은 NTB-16~NTB-17 사이의 비동질성을 제외한 모든 구간에서 동질성을 보임

균질절리영역 설정 및 불연속체 특성 분석



균열절리면 전단특성 분석

구 분		심 도 (GL.-m)	점착력(MPa) 최 대	점착력(MPa) 잔 류	내부 마찰각(°) 최 대	내부 마찰각(°) 잔 류	JRC	JCS (MPa)	수직강성 K_n (MPa/mm)	전단강성 K_s (MPa/mm)
기본 설계	NTB-10	59.7~60.0	0.04	0.01	33.72	27.80	4~6	15.8	13.80	1.23
	NTB-12	51.0~51.3	0.09	0.04	43.55	40.62	14~16	13.6	11.34	0.92
	NTB-13	68.1~68.5	0.10	0.04	33.34	28.46	6~8	14.5	12.43	1.18
	NTB-19	52.0~52.4	0.07	0.04	38.87	35.30	10~12	14.8	12.73	0.70
	NTB-20	54.1~54.4	0.06	0.03	32.54	28.17	10~12	16.7	12.90	1.20
	NTB-25	46.6~47.0	0.07	0.01	40.15	34.53	14~16	16.6	13.03	1.78
실시 설계	ATB-2	26.4~26.7	0.08	-	32.13	28.67	4.9	43.7	18.19	1.36
	ATB-7	33.1~33.4	0.08	-	34.40	29.92	12.2	49.5	17.97	1.45
	NNTB-3	50.0~50.3	0.06	-	31.72	28.67	12.8	34.7	14.68	1.23
	ATB-20	41.4~41.8	0.08	-	33.77	30.02	8.6	42.0	16.67	1.23
	NNTB-7	61.5~61.8	0.06	-	32.32	28.57	12.2	33.07	14.42	1.26

균열절리영역 분석결과 요약

구 분			방향성 (Dip/Dir)	JRC	JCS (MPa)	간격 (cm)	연장성 (cm)	점착력 (kPa)	내 부 마찰각(°)	수직강성 K_n (MPa/mm)	전단강성 K_s (MPa/mm)
HFD-1	0+000 ~ 5+480	J1	46/122	11	14.8	20	63	40	35.30	12.73	0.70
		J2	48/270	16	15.4	49	71	51	34.70	13.15	0.78
		J3	60/350	9	15.2	52	87	45	35.00	12.94	0.74
HFD-2	5+480 ~ 7+000	J1	44/283	16	16.7	39	72	30	28.17	12.90	1.20
		J2	50/340	15	16.2	136	90	27	28.64	12.78	1.15
		J3	63/176	14	17.3	60	84	34	27.87	13.14	1.24
HFD-3	7+000 ~ 8+200	J1	58/160	15	16.6	20	116	10	34.53	13.03	1.78
		J2	67/63	18	17.2	52	129	25	36.42	14.05	1.94
		J3	63/314	13	18.8	71	144	54	38.15	14.47	2.07

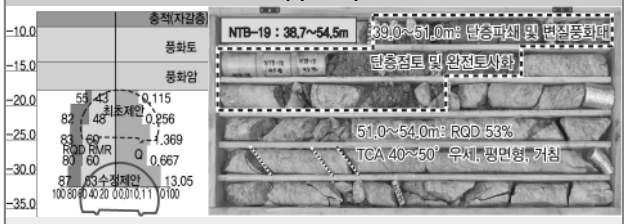
6.2.5 지반등급 산정

기본방향

- 시추코아 암반분류(RQD, RMR, Q) ➡ 상관관계 분석(RMR–Resistity, RMR–Vp) ➡ 지반등급 산정
- 위험예상구간 검토 결과를 이용, 단층 및 이상대의 영향을 고려하여 지반등급 조정
- 3차원 입체화 분석을 통한 2차원 지반등급 산정 결과의 신뢰도 향상

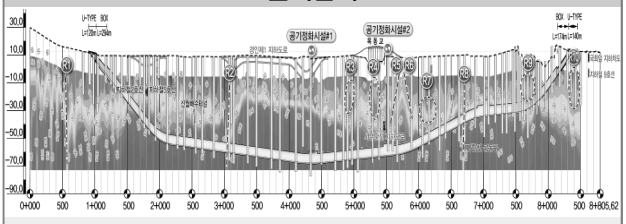
수행흐름

시추조사



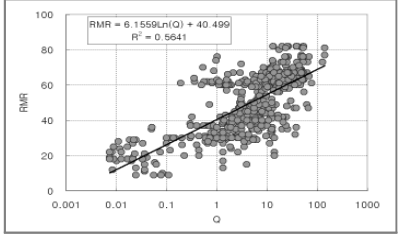
- 암반분류 인자보정 및 RQD, RMR, Q–System 분류

물리탐사



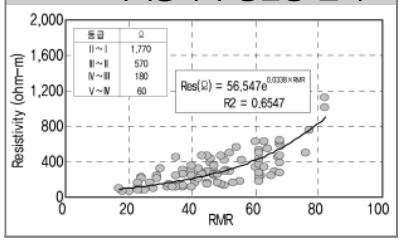
- 미시추구간 전기비저항탐사에 의한 성과 검토

RMR–Q 분류의 상관성 분석

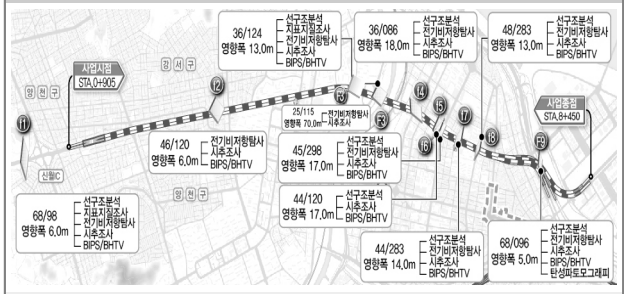


- RQD, RMR, Q값 기준
- 물리탐사와 시추조사 결과 분석을 통한 상관관계식 파악
- 상관관계식을 통해 산출된 등급별 전기비저항에 따른 미시추구간의 지반등급 산정

RMR–비저항치의 상관성 분석

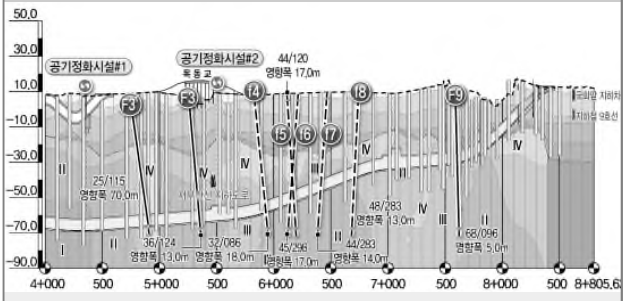


종합분석을 통한 단층파쇄대 입체화



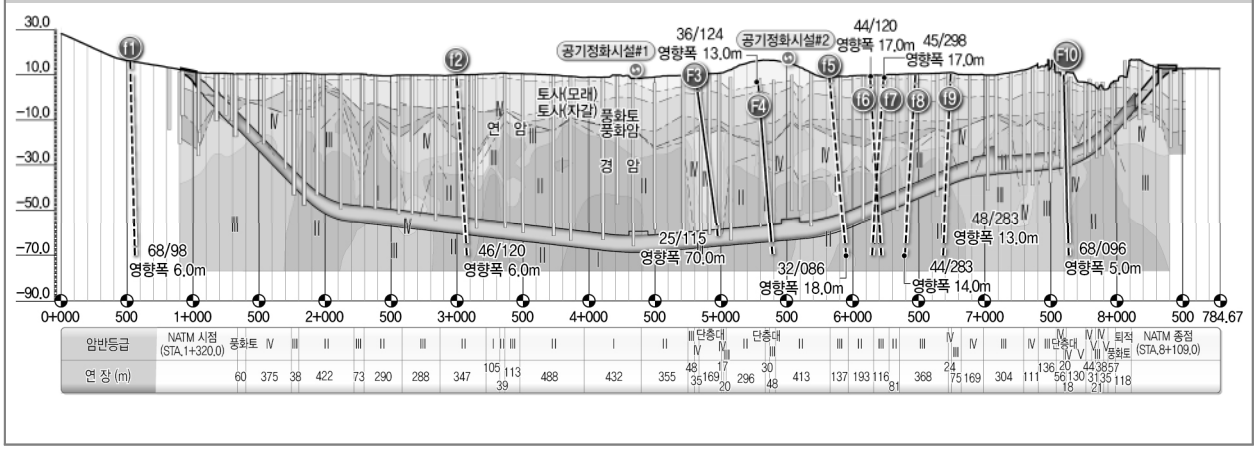
- 3차원 입체화 분석을 통한 단층파쇄대 규모 및 방향성 파악

취약구간 집중분석



- 조사결과 종합분석 ➡ 단층파쇄대 및 이상대 구간 영향 범위 선정

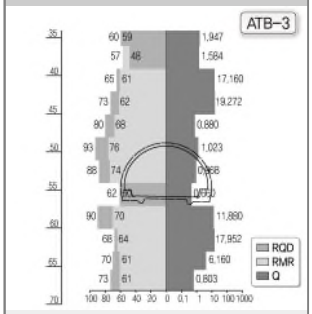
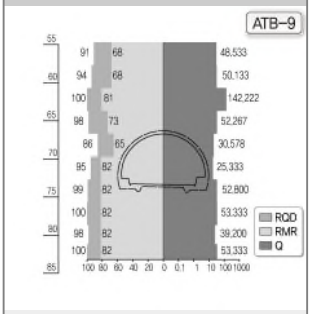
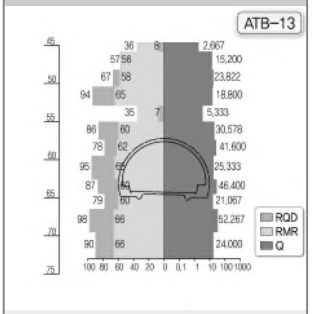
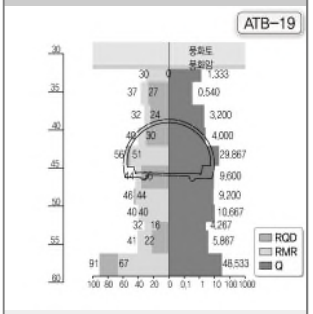
지반등급도 작성



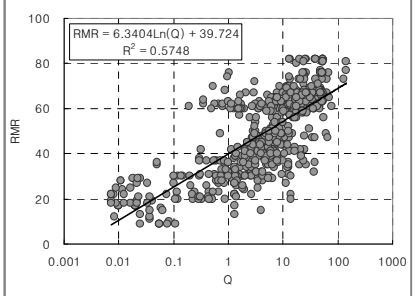
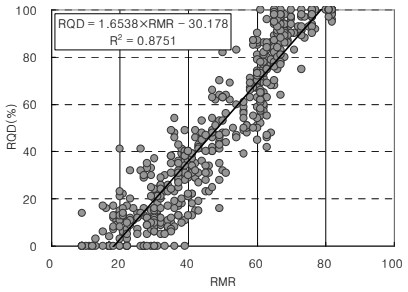
시추구간 암반분류

기본방향	•시추조사에 의한 기반암의 공학적 특성을 반영한 암반분류 시행

주요 시추구간 암반분류

ATB-3	ATB-9	ATB-13	ATB-19
			
•상부 0.5H :RMR-68~76, Q-42.67~198.4 •통과구간 :RMR-62~76, Q-7.92~198.4	•상부 0.5H :RMR-73~81, Q-52.27~142.2 •통과구간 :RMR-65~82, Q-25.33~52.80	•상부 0.5H :RMR-35~60, Q-5.33~30.58 •통과구간 :RMR-60~65, Q-25.33~46.40	•상부 0.5H :RMR-32~37, Q-0.54~3.20 •통과구간 :RMR-40~51, Q-4.00~29.87

암반분류 상관성 분석

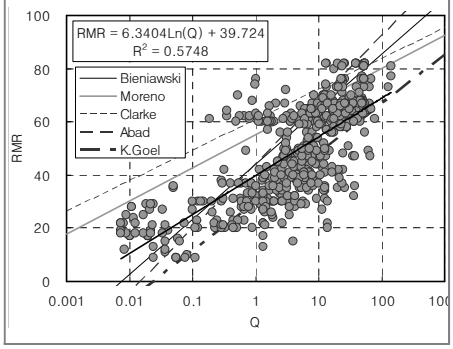
RMR-Q	RQD-RMR
	
RMR = 6.3404Ln(Q)+39.724, R^2=0.5748	RQD = 1.6538×RMR-30.178, R^2=0.8751

지반등급	RMR	Q
Ⅰ등급	81~100	147~1,726
Ⅱ등급	61~80	11~129
Ⅲ등급	41~60	0.82~9.60
Ⅳ등급	21~40	0.06~0.72
Ⅴ등급	0~20	0.004~0.05

기존 제안식 검토 및 암반등급 기준산정

제 안 자	상 관 식
Bieniawski(1976)	RMR=9LnQ+44
Moreno(1980)	RMR=5.4LnQ+55.2
Clarke(1981)	RMR=5LnQ+60.8
Abad(1984)	RMR=10.5LnQ+44
K.Goel(1995)	RMR=8LnQ+30

본 사업구간의 상관관계



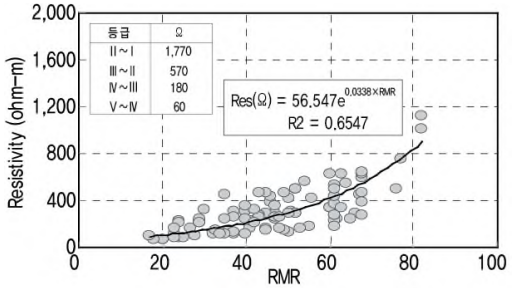
분석결과	•사업구간 일대에 분포하는 절리, 단층 등 불연속면의 분포 특성을 조사

미시추구간 암반분류

기본방향	•미시추 구간에 대한 정량적인 암반분류를 위하여 시추결과 및 고출력전기비저항 탐사의 상관성 분석 •RMR과 전기비저항탐사 결과의 상관성 및 시추조사의 영향범위를 고려하여 암반분류

RMR과 전기비저항 상관성 분석

기본설계



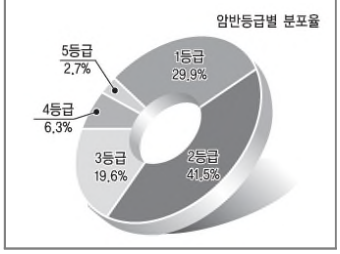
지반등급별 분류기준

지 반 등 급	RMR	Q	전기비저항
I 등 급	81~100	400이상	1,870~5,530
II 등 급	61~80	10~40	600~1,770
III 등 급	41~60	4~10	190~570
IV 등 급	21~40	1~4	60~180
V 등 급	0~20	10이하	20~60

분석결과	•RMR과 전기비저항치(ohm-m)의 상관성 분석결과 : Resistivity=$56.547e^{0.0338XRMR}$, R^2=0.6547 •지반등급 분류기준은 RMR 및 Q분류의 지반등급별 분포범위를 고려하여 산정

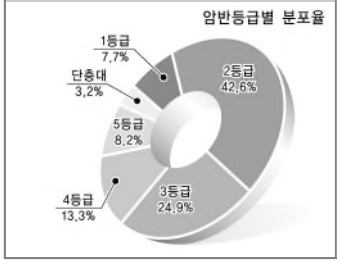
미시추구간 암반등급 분포 비율

기본설계



구분		I 등급	II 등급	III 등급	IV 등급	V 등급
상부 0.5H	연 장 (m)	1,784	2,480	1,170	378	163
	비 율 (%)	29.9	41.5	19.6	6.3	2.7

실시설계

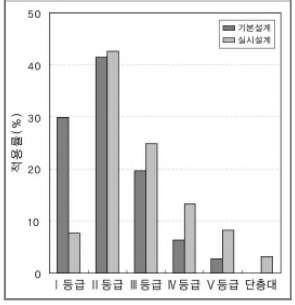


구분		I 등급	II 등급	III 등급	IV 등급	V 등급	단층대
상부 0.5H	연 장 (m)	523	2,878	1,684	898	552	219
	비 율 (%)	7.7	42.6	24.9	13.3	8.2	3.2

기본설계 및 실시설계 지반등급 비교

분석결과

상부 0.5H



분석결과

•상부 0.5H 및 터널통과구간에 대한 지반등급 분류결과(개착구간 제외됨)

기본설계 대비

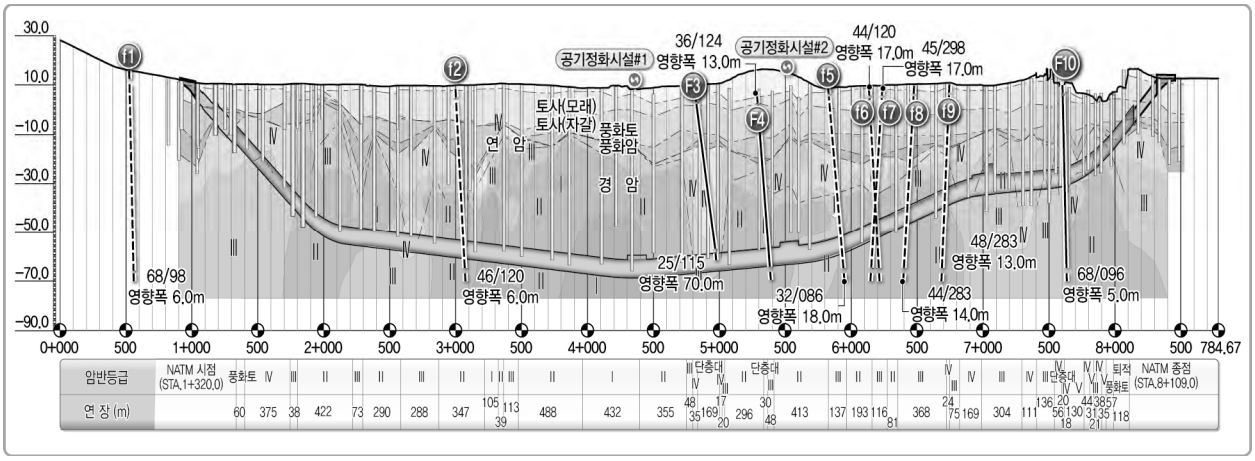
I 등급은 22.2% 감소

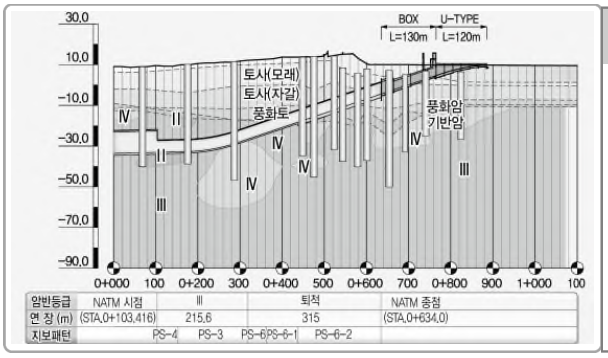
II, III, IV, V등급은 1.1~7.0% 증가한 것으로 파악

➡ 상세지반조사(기본설계 38공, 실시설계 48공)를 통한 지반등급 산정결과 기본설계보다 암질상태 불량(IV, V등급 우세)

최종 지반등급도

여의도 방향

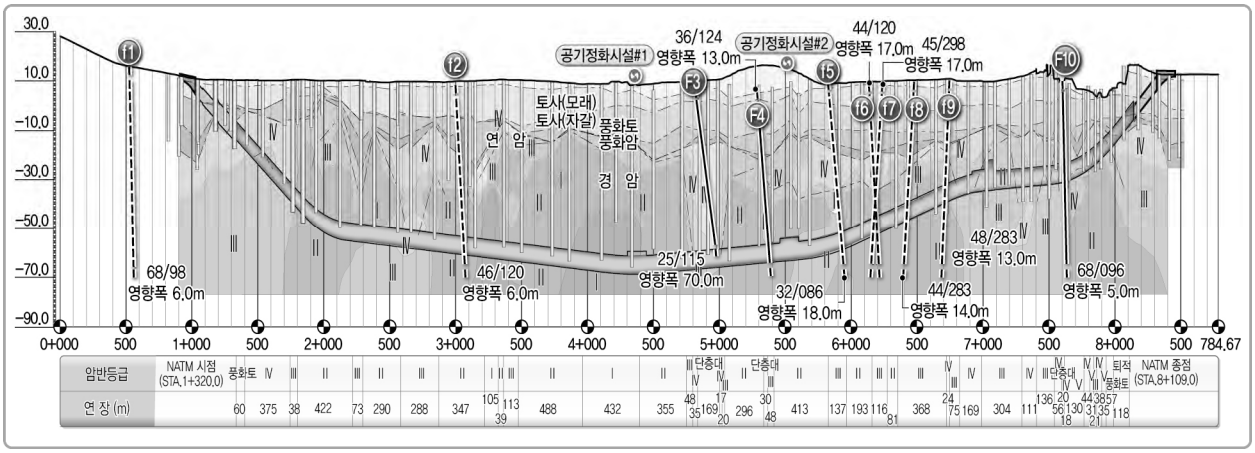


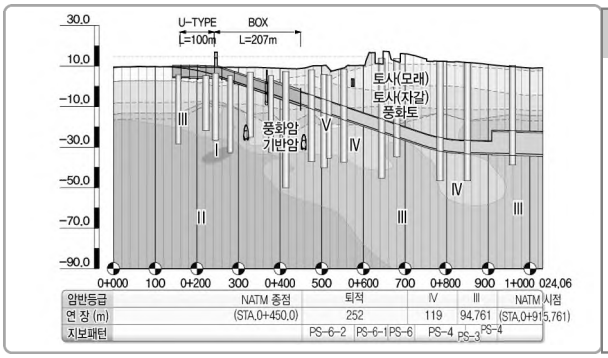


결 과 분 석

- 터널 상부 0.5H 및 터널통과구간 지반등급도는 Ⅱ등급, Ⅲ등급이 우세함(Ⅰ등급:7.7%, Ⅱ등급:42.6%, Ⅲ등급:24.9%, Ⅳ등급:13.3%, Ⅴ등급:8.2%, 단층대:3.2%)
- 상세지반조사를 통한 지반등급 산정결과 기본설계 대비 암질상태가 불량함

인천 방향





결 과 분 석

- 터널 상부 0.5H 및 터널통과구간 지반등급도는 Ⅱ등급, Ⅲ등급이 우세함(Ⅰ등급:8.0%, Ⅱ등급:42.7%, Ⅲ등급:26.9%, Ⅳ등급:11.5%, Ⅴ등급:7.6%, 단층대:3.3%)
- 상세지반조사를 통한 지반등급 산정결과 기본설계 대비 암질상태가 불량함

6.3 시·종점부 개착구간 성과분석

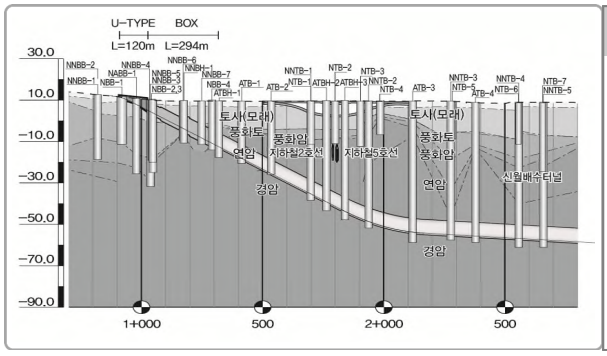
기본방향	•도심지 근접시공을 고려한 가시설 설계 및 연도변 건물 침하 검토를 위한 공학적 특성 분석 •차수공법 적용을 위한 설계지하수위 및 지하지장물 보호대책 검토를 위한 상세 분석

6.3.1 기본방향

중점고려사항	분석항목	설계활용
•가시설 안정성 검토를 위한 토사, 기반암 공학적 특성 •지층의 수리특성 및 구조물 내진안정성 검토 •지장물/지하구조물 파악 •기반암 굴착 난이도 분석	•공내재하, 공내전단, 암석강도 시험, 직접전단, 다짐/CBR •투수/수압시험, 양수시험, 유향·유속, 장기지하수위 관측 •GPR탐사 •물리탐사 P파 분석, 일축압축, 절리간격	•가시설 안정해석 및 인접 구조물 침하분석 •지층의 수리/동적 특성을 고려한 내진 및 차수설계 •지장물 이설 및 보호대책 •지반굴착 공법 선정

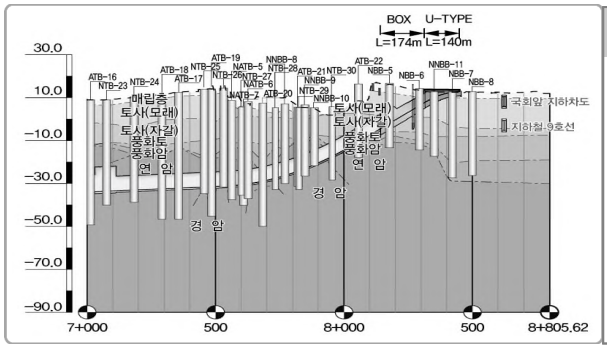
6.3.2 지층 특성 분석

본선시점 개착구간(0+920~1+380)



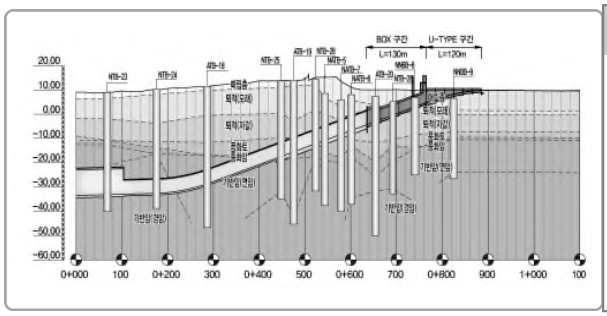
결 과 분 석
•퇴적 자갈층 분포두께: 0.5~1.0m 풍화암 출현심도 7.0~28.0m, 기반암 출현심도: 7.8~43.0m하부 • U-Type~Box구간 N값 3/30이상의 연약~보통견고 점성토 분포, 영업소구간, BOX 풍화대 발달,

본선종점 개착구간(Ramp-A, Ramp-B)



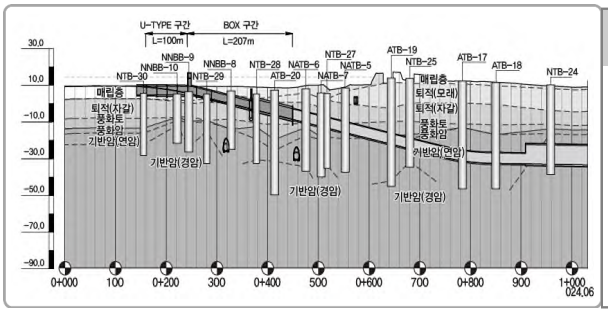
결 과 분 석
•퇴적 자갈층 분포두께: 3.8~12.7m(∅=1.0~20.0cm), 풍화암 출현심도: 12.7~33.0m, 기반암 출현심도: 14.0~33.0m하부 •종단 계획상 기초저면부는 퇴적 자갈 및 모래층이 분포하며 상부 매립층 분포 •Box구간 기초저면부 퇴적 자갈층 및 모래 분포, U-Type구간 실트질 모래 및 자갈층 분포

램프 개착구간(여의도방향(Ramp-C))



결 과 분 석
•퇴적 자갈층 분포두께: 7.1~12.5m(∅=1.0~20.0cm), 풍화암 출현심도: 16.0~31.5m, 기반암 출현심도: 17.0~33.0m하부 •종점 Box~U-Type구간 기초저면부는 퇴적 자갈층 분포 •지하수위(EL) -3.0~1.3m로 기복없음, 종단계획상 터널 출구부 막장면 하부에 위치

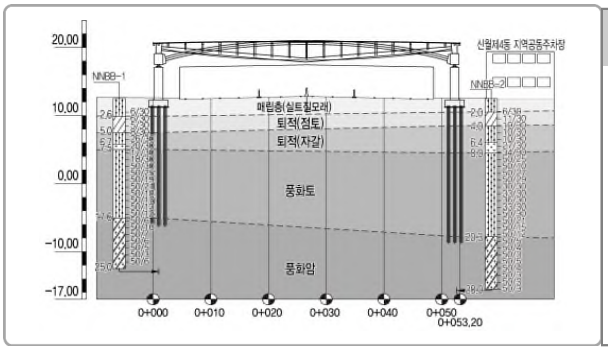
램프 개착구간(인천방향(Ramp-D))



결 과 분 석

- 퇴적 자갈층 분포두께: 7.1~12.7m(∅=1.0~20.0cm), 풍화암 출현심도: 12.7~31.5m, 기반암 출현심도: 14.5~33.0m하부
- Box 구간 N값 13/30~50/6의 퇴적 자갈층이 주로 분포, U-Type 구간 매립 모래층이 분포

신당보도육교



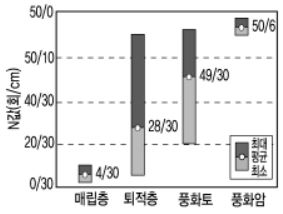
결 과 분 석

- 퇴적 점토, 모래 지표하 5.5m하부까지 분포
- 견고한 점성토가 2.0~2.4m의 층후로 분포, 지지층(풍화암)의 출현심도는 17.6~20.3m로 분포

6.3.3 지반의 공학적 특성 분석

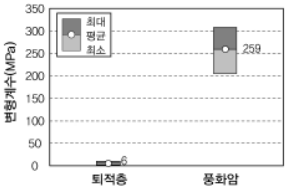
토사 및 풍화대 특성

지층별 N값



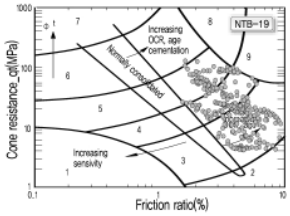
- 풍화토N값=20/30~50/11

지층별 변형계수



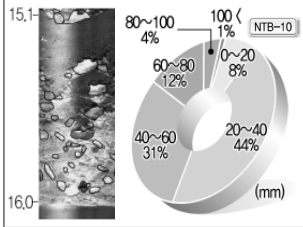
- 퇴적층 E_m=1.8~10.2MPa

시점부 연약지반 특성



- 점토 내지 실트질 점토

종점부 자갈입경 분석

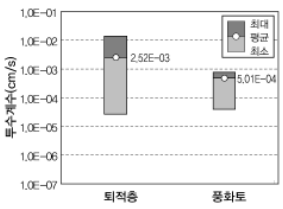


- ϕ28~38mm 자갈분포

분석결과 •상대밀도를 고려한 설계지반정수 산정→가시설 안정성 및 되메우기 재료 다짐특성 검토

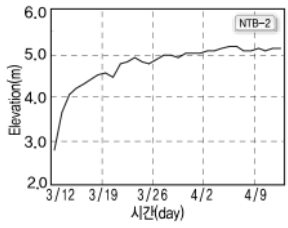
수리특성

지층별 투수계수



- 퇴적층 : 2.52×10^{-3}cm/s

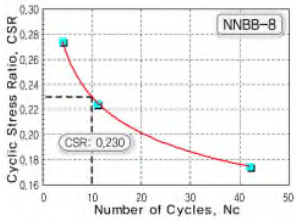
장기지하수위



- EL. 2.80~5.15m로 분포

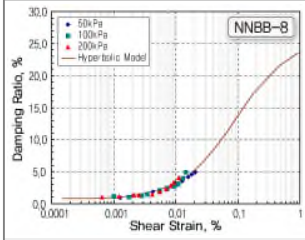
동적특성

액상화 검토



- N=10→CSR=0.230~0.253

토사공진주



- 감쇠비=0.88~4.88%

분석결과 •수리특성 파악 및 지층별 투수계수 산정→굴착시 유입수량 검토 및 침투 안정해석

6.4 쌓기재 특성 및 재료원 조사

6.4.1 흙쌓기재 특성 분석

기본방향	•개착구간 유용토를 활용한 쌓기재 계획수립 •현장·실내시험 결과를 종합 분석하여 쌓기재의 적부판정 실시

현장밀도시험

구 분		심 도 (GL.-m)	지 층	함수비 (%)	비 중 (Gs)	불교란상태밀도(kN/㎥)		교란상태밀도(kN/㎥)		L값
						습윤	건조	습윤	건조	
기본설계	TP-1	1.5	매립층	9.8	2.673	17.67	16.09	15.57	14.18	1.135
	TP-2	1.5	매립층	8.2	2.675	15.54	14.36	11.94	11.04	1.301
	TP-3	2.0	매립층	1.0	2.664	17.66	17.49	14.10	13.96	1.253
	TP-4	2.0	매립층	5.9	2.668	18.11	17.10	14.45	13.64	1.254
실시설계	NTP-1	1.5	매립층	8.4	2.653	18.42	16.99	16.35	15.09	1.126
	NTP-2	1.5	매립층	9.7	2.659	18.11	16.50	16.02	14.60	1.130
	NTP-3	2.0	매립층	9.0	2.659	18.13	16.63	14.55	13.35	1.246
	NTP-4	2.0	퇴적층	9.0	2.693	17.56	16.11	14.34	13.16	1.224
	NTP-5	2.0	퇴적층	9.0	2.661	17.41	15.97	14.23	13.05	1.223

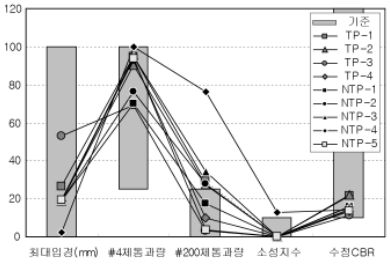
실내다짐 및 CBR시험

구 분		심 도 (GL.-m)	함수비 (%)	A다짐		D다짐		CBR(%)	USCS
				γ_{dmax}(kN/㎥)	OMC(%)	γ_{dmax}(kN/㎥)	OMC(%)		
기본설계	TP-1	1.5	9.8	18.84	12.8	20.08	10.3	21.5	SM
	TP-2	1.5	8.2	18.92	11.2	20.13	8.7	22.0	SM
	TP-3	2.0	1.0	16.23	12.3	17.18	10.1	11.2	SP
	TP-4	2.0	5.9	17.94	11.5	18.82	9.4	13.4	SW-SM
실시설계	NTP-1	1.5	8.4	18.13	12.1	19.37	9.4	15.6	SM
	NTP-2	1.5	9.7	17.56	13.3	18.87	10.7	14.2	SM
	NTP-3	2.0	9.0	17.31	12.3	18.78	9.8	15.6	SM
	NTP-4	2.0	9.0	16.85	14.7	18.33	11.8	13.9	ML
	NTP-5	2.0	9.0	16.76	15.4	18.27	12.1	13.5	SM

쌓기재 적부판정 결과

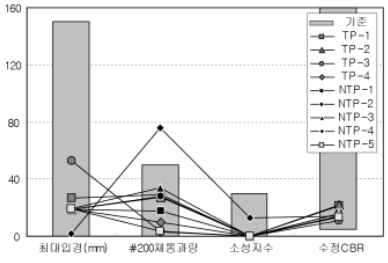
구 분			최대입경(mm)	#4체 통과량(%)	#200체 통과량(%)	#4체 통과분에 대한 소성지수	수정CBR(%)
기 준		상부노상	100 이하	25~100	0~25	10 이하	10 이상
		하부노상	150 이하	–	50 이하	30 이하	5.0 이상
		노 체	150 이하	–	–	–	2.5 이상
시험결과	기본설계	TP-1	26.5	94.8	29.1	–	21.5
		TP-2	19.0	90.5	27.2	–	22.0
		TP-3	53.0	69.3	3.2	–	11.2
		TP-4	19.0	93.3	9.8	–	13.4
	실시설계	NTP-1	19.0	70.2	17.6	–	15.6
		NTP-2	19.0	76.2	27.8	–	14.2
		NTP-3	19.1	94.5	34.0	–	15.6
		NTP-4	2.0	100.0	76.1	12.7	13.9
		NTP-5	19.1	93.8	3.7	–	13.5

상부노상 재료의 적부판정



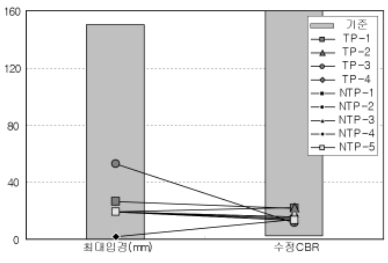
•상부노상 검토결과 TP-3, 4, NTP-1, 5만 적합

하부노상 재료의 적부판정



•하부노상 검토결과 NTP-4를 제외한 모두 기준에 적합

노체 재료의 적부판정



•노체 검토결과 모두 기준에 적합

분석결과

•노체에 대한 검토 결과 전 시험굴이 모든 기준에 적합
•상부노상은 TP-3, 4, NTP-1, 5만 모든 기준에 적합하며 하부노상에 대한 검토결과 NTP-4를 제외한 전 시험굴이 기준에 적합
•2m 내외의 표층에 대한 시험결과이므로 시공시 혼합하여 적부판정을 추가 실시하여 사용

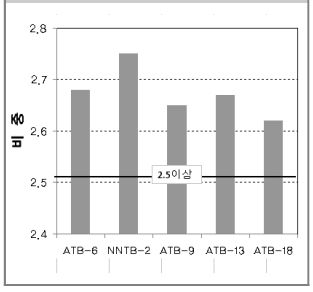
6.4.2 발생암 유용성 시험

기본방향	•시추조사시 회수된 코아를 대상으로 한국산업규격(KS F)에 의거 암 유용성시험 실시 •사업구간에서 발생하는 본선암의 유용성 검토

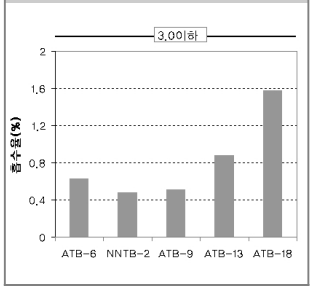
발생암 유용성 적부판정 결과

항 목	시험 규정	용도		품질 기준	기본설계				실시설계									
					NTB-13		NTB-23		ATB-6		NNTB-2		ATB-9		ATB-13		ATB-18	
					결과	판정	결과	판정	결과	판정	결과	판정	결과	판정	결과	판정	결과	판정
비 중	KS F 2503	콘크리트용		2.5이상	2.69	O.K	2.69	O.K	2.68	O.K	2.75	O.K	2.65	O.K	2.67	O.K	2.62	O.K
		포 장 용																
흡수율 (%)	KS F 2503	콘크리트용		3.0이하	0.85	O.K	0.84	O.K	0.63	O.K	0.48	O.K	0.51	O.K	0.88	O.K	1.58	O.K
		포 장 용																
마모율 (%)	KS F 2508	콘크리트용		40이하	20.5	O.K	19.6	O.K	26.2	표층 N.G	15.4	O.K	18.3	O.K	23.7	O.K	32.8	표층 N.G
		포장용	기층	40이하														
			표층	25이하														
안정성 (%)	KS F 2507	콘크리트용		10이하	4.2	O.K	4.4	O.K	5.8	O.K	3.9	O.K	4.5	O.K	5.2	O.K	7.8	O.K
		포 장 용		12이하														
적 합 여 부					적합		적합		표층 부적합		적합		적합		적합		표층 부적합	

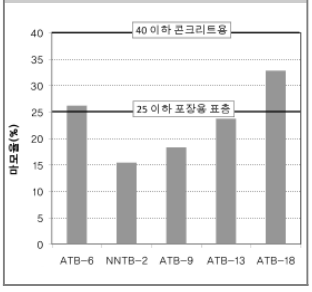
비 중



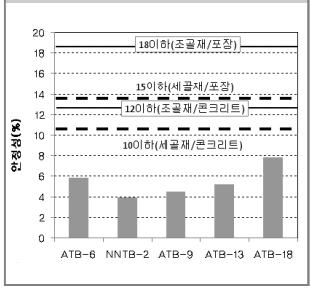
흡수율



마모율



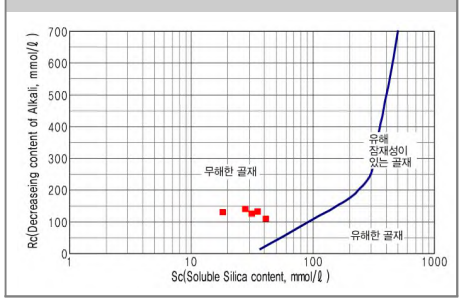
안정성



알칼리 골재반응 평가

구 분		실리카의 농축도 Sc(mmol/L)	알칼리도의 감소량 Rc(mmol/L)	판정결과
기본	NTB-13	32.0	113.3	무해
	NTB-23	31.0	133.3	무해
실시	ATB-6	35.1	131.8	무해
	NNTB-2	18.4	129.6	무해
	ATB-9	28.1	138.9	무해
	ATB-13	31.8	124.9	무해
	ATB-18	41.4	108.6	무해

알칼리 골재반응 평가



분석결과	•일부 파쇄가 심한 암반에서 포장용 표층의 마모율만 부적합하며 품질기준에 모두 적합한 것으로 나타남 •터널굴착 및 개착시 발생하는 본선암의 암버력 유용계획 수립

6.4.3 재료원조사

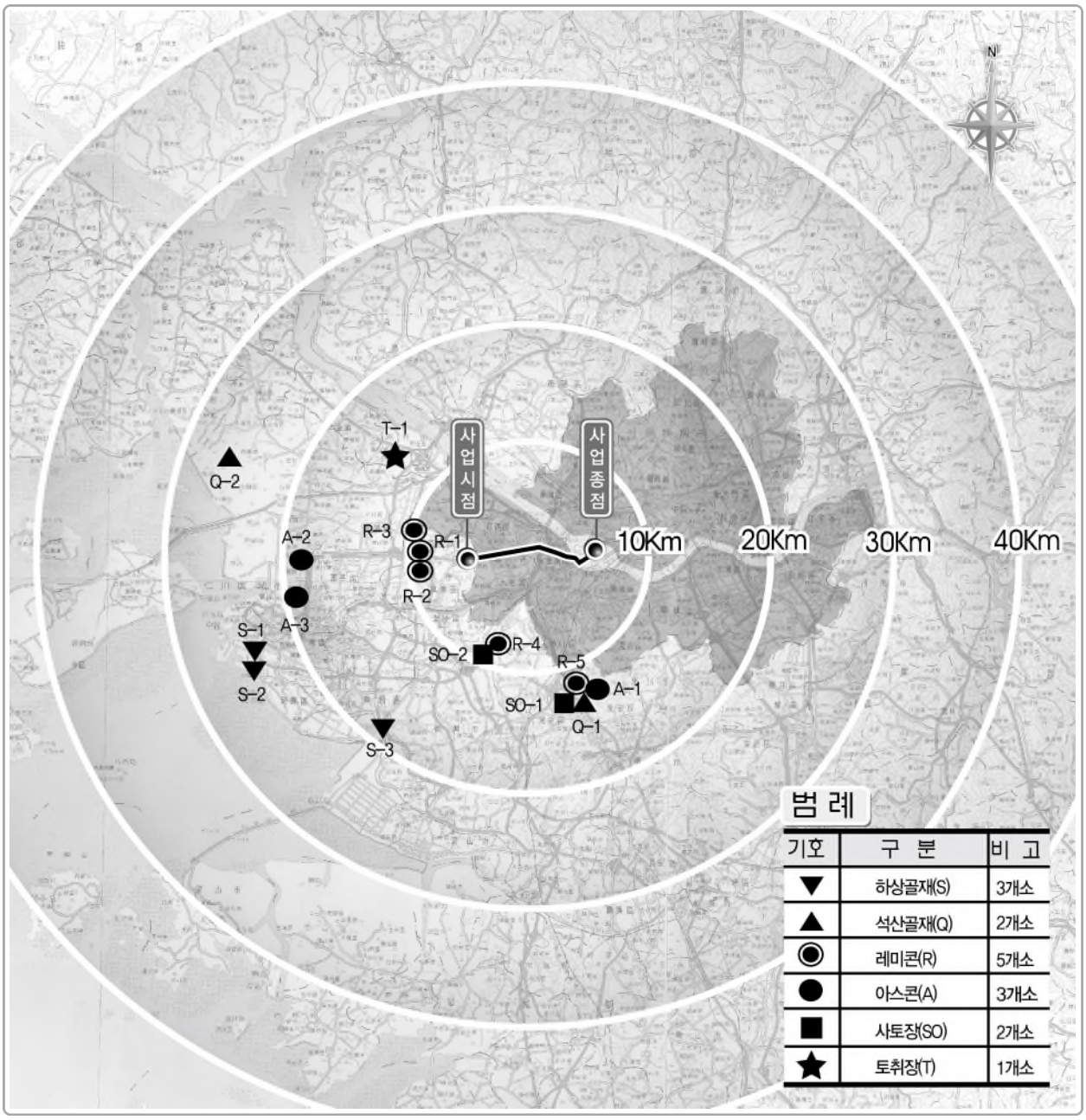
기본방향	•본 사업에 사용될 골재 재료의 원활한 수급과 품질, 적정성, 경제성 확보를 위해 실시 •재료원의 위치, 생산량, 운반경로 등을 종합적으로 조사 분석

조사개요

재료원조사 흐름도

골재원 수급계획	골재원 현황파악	현장답사	검 토	선 정
•레미콘, 아스콘 •석산 및 하상골재 •사토장 및 토취장	•관련업체 협조 •골재종류별 분포	•매장량, 허가량 •운반거리	•품질시험 및 적정성 검토	•경제성을 고려한 골재원, 사토장 및 토취장 선정

조사위치도



재료원 현황

레미콘

구 분	업 체 명	위 치	생산량(m^3/일)	운반거리(km)
R – 1	유진레미콘(주)	경기도 부천시 오정구 삼정동 52–6	420	11.1
R – 2	(주)부국레미콘	경기도 부천시 오정구 삼정동 24–6	360	11.1
R – 3	쌍용양회(주)	경기도 부천시 오정구 삼정동 60–9	360	11.2
R – 4	아주레미콘(주)	경기도 광명시 옥길동 410–5	360	11.6
R – 5	한일레미콘(주)	경기도 안양시 석수동 477–10	420	15.4

아스콘

구 분	업 체 명	위 치	생산량(m^3/일)	운반거리(km)
A – 1	(주)제일산업개발	경기도 안양시 석수2동 477–10	360	15.4
A – 2	인천아스콘(주)	인천광역시 서구 신현동 284–19	360	20.3
A – 3	한밭산업(주)	인천광역시 서구 가좌동 574–1	360	23.8

골재원

구 분	업 체 명	위 치	생산량(m^3/년)	운반거리(km)
Q – 1	제일산업개발(주)	경기도 안양시 석수2동 477–10	1,000,000	15.4
Q – 2	(주)인광기업	인천광역시 서구 오류동 1536	800,000	33.3
S – 1	(주)영진공사	인천광역시 중구 항동7가 92–1	5,000,000	31.8
S – 2	세원산업(주)	인천광역시 남동구 고잔동 971	1,000,000	32.2
S – 3	한아해운(주)	인천광역시 중구 항동7가 112–10	2,000,000	32.8

사토장 및 토취장

구 분	업 체 명	위 치	운반거리(km)	비고
SO–1	(주)제일산업개발	경기도 안양시 석수2동 477–10	15.4	암버력
SO–2	대일골재	경기도 시흥시 과림동 194	10.0	암버력
T – 1	–	경기도 김포시 고촌읍 태리 산82	18.2	토 사

재료 품질 평가

항 목	사용골재	품질기준	석산골재		하상골재	
			Q–1	Q–2	S–2	S–3
비 중	잔 골 재	2.5이상	–	–	2.65	2.61
	굵 은 골 재	2.5이상	2.70	2.60	–	–
흡수율(%)	잔 골 재	2.0이하	–	–	1.06	0.79
	굵 은 골 재	3.0이상	0.51	0.63	–	–
조립율(%)	잔 골 재	2.3~3.1	–	–	2.60	2.65
마모율(%)	굵 은 골 재	35이하	19.8	21.5	–	–
안 정 성	잔 골 재	10이하	–	–	5.2	3.2
	굵 은 골 재	12이하	4.3	4.5	–	–
적 합 여 부			적합	적합	적합	적합

분석결과 •재료원 품질 평가 결과 석산, 하상골재 모두 품질 기준에 만족하는 것으로 나타남

6.5 시공계획 및 환경영향 검토를 위한 분석

기본방향	•시공시 발생되는 지하수 유동, 소음·진동 저감대책을 위한 상세분석 •환경적 요인에 의한 구조물 유해성 및 환기설계, 지하수 재활용성에 대한 상세분석

6.5.1 기본방향

중점고려사항	분석항목	설계활용
•발파진동 및 소음영향 검토 •지하수거동 및 오염확산 분석 •구조물 위해성, 지하수 활용 환기 대책 수립을 위한 분석 •굴착암반 유용/사토 여부 검토	•시추공시험발파 •3차원 지하수 수리 모델링 •기반암 화학 및 광물 분석 •토양 및 수질분석, 라돈농도 분석 •암유용성분석, 체적분석	•발파규모/공법, 소음/진동저감 대책 •수위 변화, 유입수량, 차수대책 •구조물 내구성 영향 검토 •지하수 재활용 여부 파악 •사토량 파악, 암유용구간 판정

6.5.2 발파진동 및 소음영향 검토

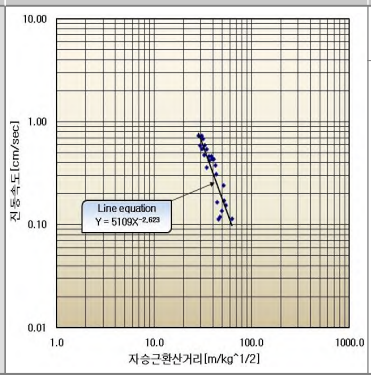
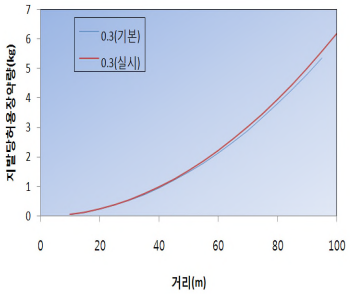
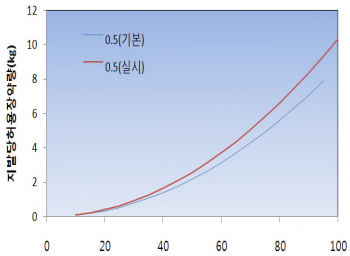
적용기준 설정

	구 분		소음/진동
소음/진동 기준 적용	문화재 및 진동예민시설		0.2kine 이상
	주택·상가	1등급	0.3kine 이상
		2등급	0.5kine 이상
		3등급	1.0kine 이상
	저녁(18:00~22:00)		60dB(A) 이하
	주간(07:00~18:00)		75dB(A) 이하

주변현황 분석

구 간	현 황 특 성
사회·환경적 현 황	•노선주변 상가, 아파트, 일반주택 등 보안물건 산재 •노선상부 지하 지하철 등 콘크리트 구조물이 존재
지질공학적 특 성	•사업구간은 호상편마암이 우세한 지역으로 편마암 내 엽리구조(우백대, 우흑대) 발달 됨
설 계 방 향	•굴착공사에 의한 주변환경에 피해를 미치지 않는 친환경 및 경제적 시공조건을 반영

진동 산출을 위한 시험발파

구 분	회귀분석결과(자승근)	거리별 지발당장약량(기본-실시)	거리별 지발당장약량(기본-실시)
발 파 진 동 추정식 (실시)		0.3 kine(cm/sec) 	0.5 kine(cm/sec) 

소음 추정식 산출

구 분	적용사유 및 예측식 선정
소 음 예측식	•공사중 민원발생 후 분쟁조정시 환경분쟁조정위에서 관할하는 점을 고려하여 환경분쟁조정위식 선정 •예측식 ⇒ $dB(A) = -16.02\log\left(\frac{D}{W^{1/3}}\right) + 117.695$ [방음벽재질에 따른 소음저감 : 18~31dB(A)]

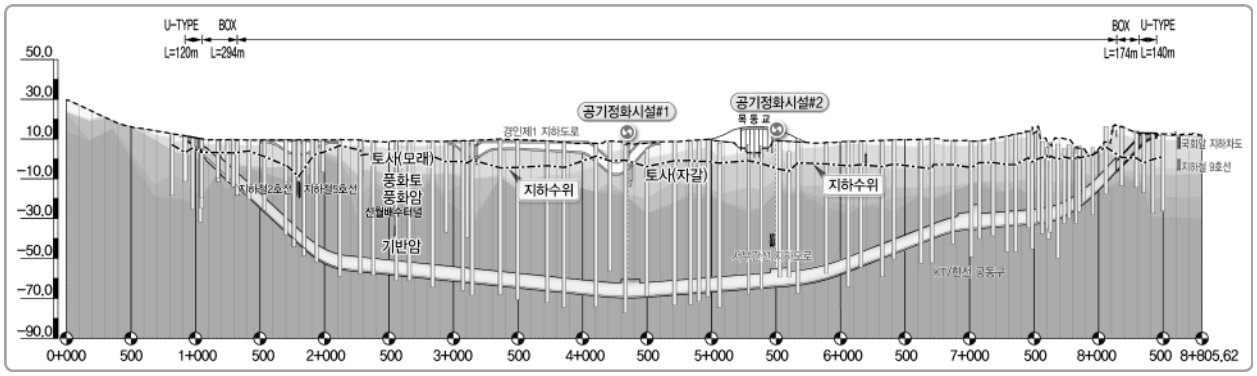
분석결과	•본선터널 및 램프구간 발파시 진동예측치가 기준치를 상회할 경우 굴진장 축소 및 조절발파공법 적용

6.5.3 지하수 수리특성 분석

기본방향	•지층별 투수특성 및 기반암의 그라우팅 효과 파악 •터널 굴착에 따른 사업구간 지하수 유동 및 오염물질 거동 해석을 위한 입력자료 산정

지하수위

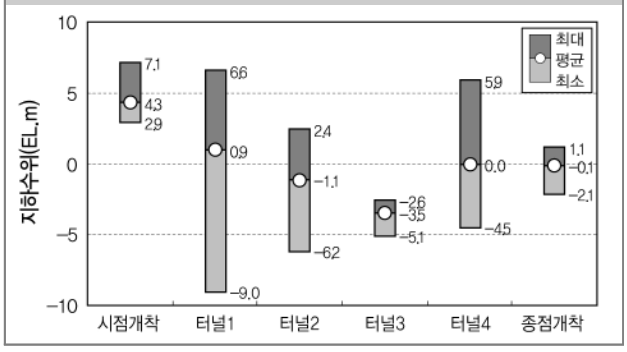
구 분	표 고(EL.m)	지하수위	
		GL.-m	EL.m
시 점 개 착 구 간	9.5~12.5	5.2~8.5	2.9~7.1
터 널 ① 구 간	8.8~9.6	2.8~18.4	-9.0~6.6
터 널 ② 구 간	3.6~10.1	6.2~14.5	-6.2~2.4
터 널 ③ 구 간	8.5~10.3	11.1~15.1	-5.1~-2.6
터 널 ④ 구 간	5.2~16.2	3.7~15.5	-4.5~5.9
종 점 개 착 구 간	12.5~16.5	11.6~15.8	-2.1~1.1



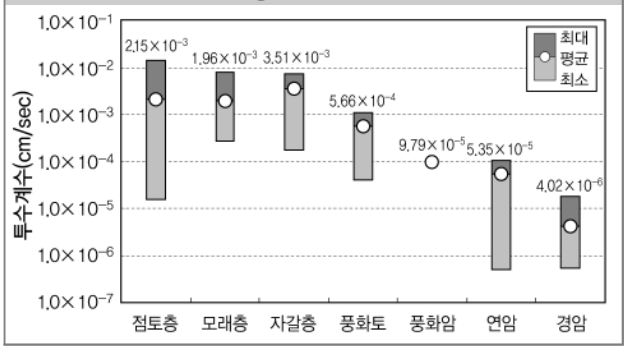
투수계수

구 분		현장투수시험	암반수압시험	양수시험	순간충격시험
퇴적층	점 토	1.58×10^{-5}~1.40×10^{-2}	-	7.98×10^{-6}~4.98×10^{-4}	1.15×10^{-6}~5.68×10^{-3}
	모 래	2.76×10^{-4}~7.52×10^{-3}	-		
	자 갈	1.72×10^{-4}~7.15×10^{-3}	-		
풍 화 토		3.94×10^{-5}~1.09×10^{-2}	-		
풍 화 암		9.79×10^{-5}	-		
연 암		-	5.15×10^{-7}~1.05×10^{-4}		
경 암		-	5.21×10^{-7}~1.85×10^{-5}		

지하수위



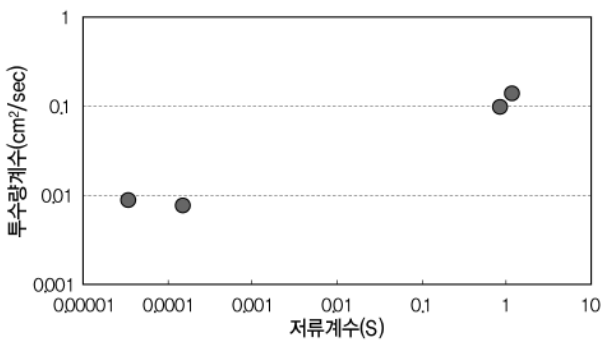
지층별 투수계수



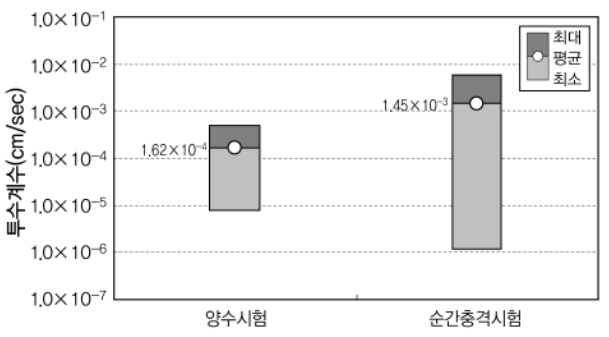
투수량 및 저류계수

구 분	투수량계수(cm^2/sec)	저류계수(S)
분 포 범 위	0.0075~0.136	3.52×10^{-5}~1.17
평 균	0.0536	0.51

저류계수-투수량계수



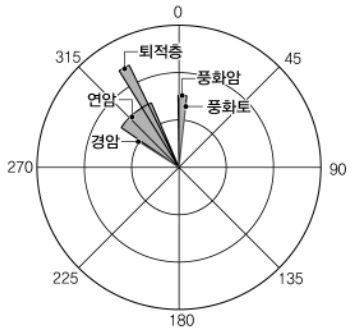
대수성시험



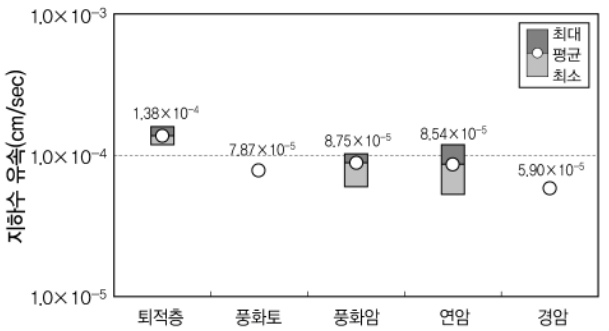
유향유속

구 분	지하수 유향(°)	지하수 유속(cm/sec)	RQD(%) 또는 N값
퇴 적 층	328.2~334.0	1.18×10^{-4}~1.59×10^{-4}	37/30~50/19
풍 화 토	6.3	7.87×10^{-5}	50/12
풍 화 암	6.3~359.3	6.02×10^{-5}~1.02×10^{-4}	50/7~50/3
연 암	304.5~336.8	5.32×10^{-5}~1.18×10^{-4}	15~82%
경 암	302.7	5.90×10^{-5}	91%

지층별 유향



지층별 유속



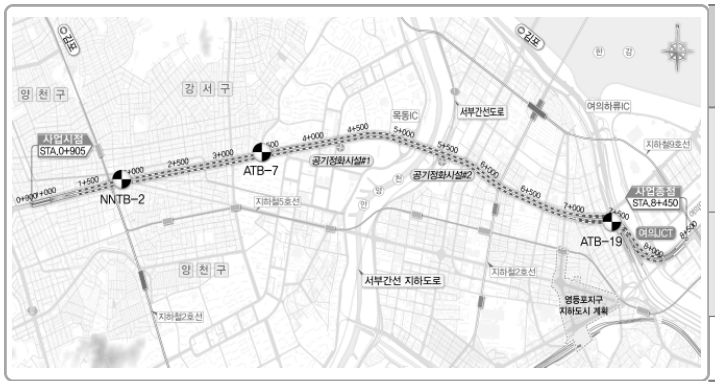
분석결과	•지하수위는 안양천과 샛강의 수두선과 유사하며 퇴적층에 분포 •지하수의 유향은 한강의 흐름방향인 북서쪽의 흐름이 우세 •터널통과부는 대부분 경암으로 구성되며 5.21~10^{-7}~5.90×10^{-5}cm/sec의 투수계수로 분포

6.5.4 환경 및 구조물 유해성 분석

기본방향	•지하수의 라돈농도측정을 통해 인체 유해영향분석 및 지하수 활용여부 파악 •유입지하수의 활용계획 수립 및 역사내 환기대책 수립시 반영 •수질 및 토양분석 결과를 활용하여 철근콘크리트 구조물 유해성분 파악

라돈농도 분석

조사위치



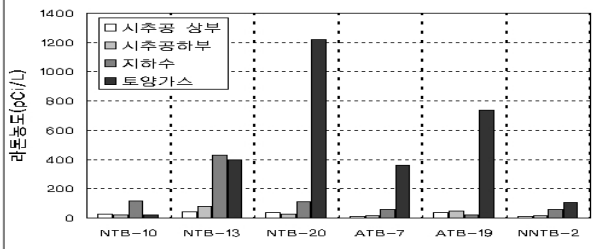
라돈규제기준

구 분	미국환경보호청(EPA)	미국방사선방호위원회(NCRP)	한 국
대 기 중 라돈농도	4pCi/L이하	8pCi/L이하	4pCi/L이하
음 용 수 라돈농도	300pCi/L 이하	–	–

•국내 음용수 기준은 규정이 되지 않아 미국기준 적용

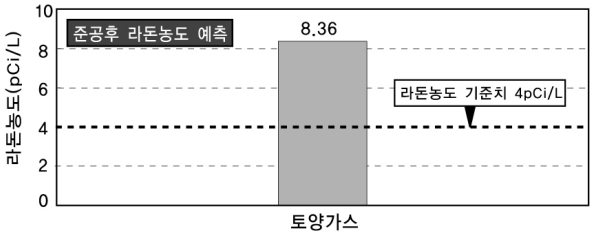
조사결과

라돈농도 측정



•토양가스 : 23.5~1,222pCi/L

라돈농도 예측



•토양가스 예측값 : 8.36pCi/L

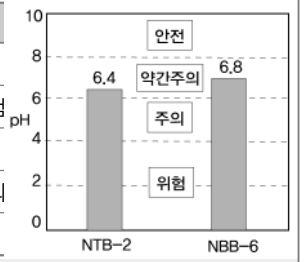
분석결과	•지하수의 라돈농도는 22~432pCi/L로 규제 권고치 300pCi/L를 약간 초과하는 것으로 분석됨 •토양 라돈농도 예측값 8.36pCi/L로 관리기준치 4.0pCi/L를 초과하는 것으로 분석됨

토양 및 수질 분석

토양분석

염분이온량분석

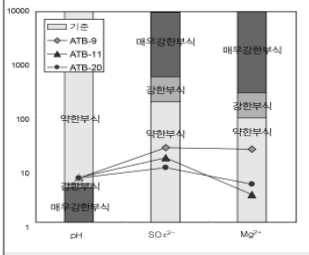
PH	콘크리트 영향	판정
4.0이하	용해되어 분해	위험
4.1~5.0	표면 요철화	약간위험
5.1~6.0	표면 약화	주의
6.1~7.9	재령시 주의 요망	약간주의
8.0이상	안전	안전



•pH는 6.9~7.1로 약간 주의를 요함

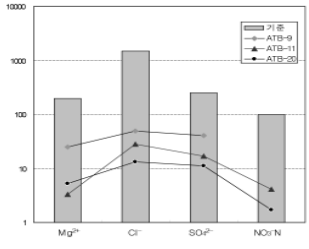
수질분석

콘크리트 부식 영향 검토



•약한부식으로 영향 미소

콘크리트 배합수 영향 검토



•콘크리트 배합수로 적합

분석결과	•염분이온량 분석결과 콘크리트 재령시 약간의 주의를 요함 •토양 및 수질분석 결과 대체적으로 기준을 만족하며 구조물 부식 및 배수구 막힘 현상에 대해 안정

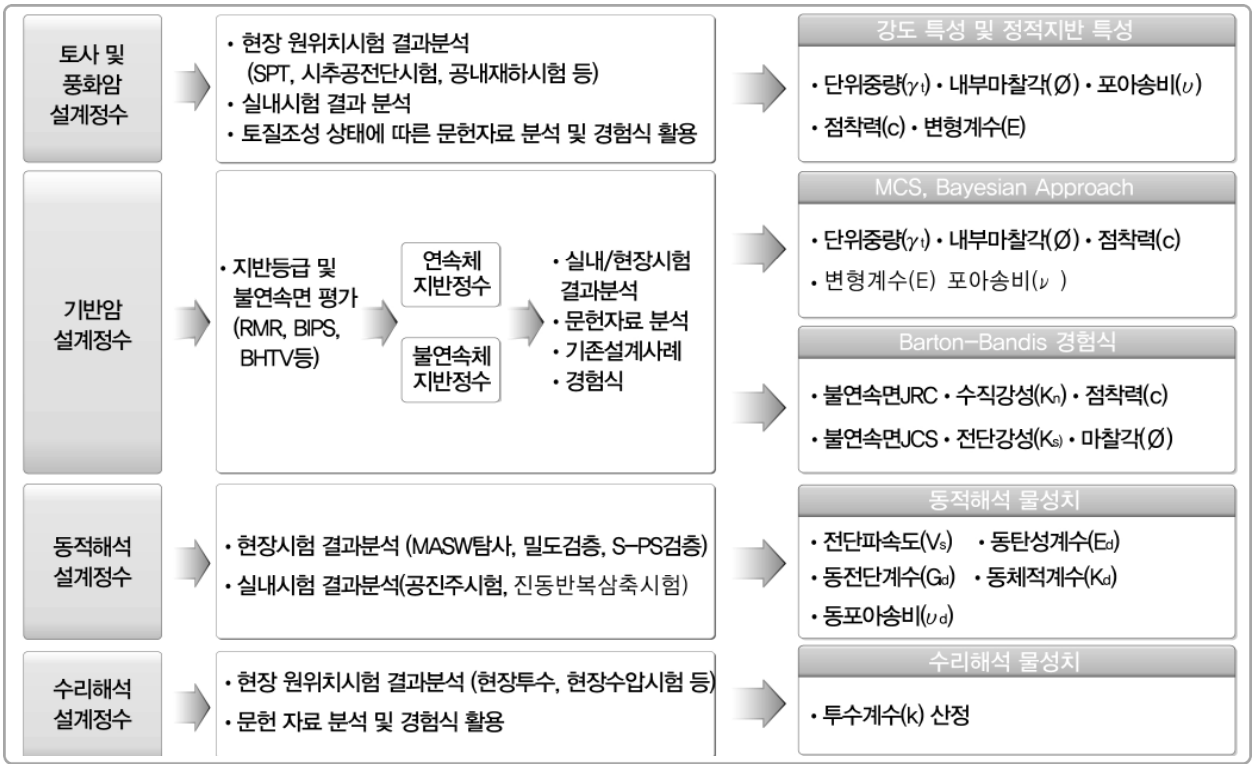
제7장 설계지반정수 산정

7.1 개요

7.1.1 기본방향

기본방향	•기존문헌 및 기본설계 분석과 현장 및 실내시험 자료를 종합분석 설계지반정수의 신뢰성 향상 •설계지반정수 산정의 신뢰도 향상을 위하여 MCS 및 베이시안 통계 기법 활용

주요 설계지반정수



7.1.2 신뢰성 향상을 위한 분석방법 검토

구 분	착 안 사 항	분 석 방 법
인근자료및 경험식 활용	•사업구역과 유사한 인근지역 설계사례 검토 ➔ 설계지반정수 적정성 검토	•현장시험 및 실내시험 결과를 우선적으로 적용 •문헌자료 및 경험식을 비교 검증 자료로 이용
지 질 별 특 성 분 석	•지역별 풍화대의 분포특성의 상이성 검토 •호상편마암의 광물조성 차이에 따른 공학적 상이성 검토 및 단층파쇄대 구간 공학적 특성파악	•지질 분포별 특성 분석 수행, 적용대상 선정 •단층파쇄대 특성을 고려한 균질절리영역(HFD) 분석을 활용하여 불연속체 설계지반정수 산정
Bayesian 이 론 적 용	•삼축압축시험에 의한 전단강도는 무결암값으로서 과대하게 나타나므로 신뢰구간 95%적용	•Bayesian 이론과 Monte Carlo Simulation을 적용하여 설계지반정수의 객관성 및 신뢰성 확보
지 중 응 력 특 성 파 악	•지중에 작용하는 응력 및 방향은 터널구조물의 안정성에 영향을 미침	•현장수압파쇄시험 및 실내 AE/DRA시험을 수행하여 설계적용 지반정수의 신뢰도 확보
지 반 수 리 특 성 파 악	•안양천 및 여의샛강 주변 터널굴착시 유입수 등에 의한 지하수위강하 및 인근관정에 미치는 영향 파악	•현장투수시험, 암반수압시험, 양수시험 및 순간충격시험 결과를 반영하여 구간별 지하수위 변동량 분석
지 반 동 적 특 성 파 악	•S-PS검층, DHT, MASW탐사 등의 시험 특성상 지반의 전단파 속도(V_s) 산출값 상이	•주파수 대역과 장비특성을 고려하여 시험값 차등 적용하여 지층별 동적물성치 산정

7.2 연속체 설계지반정수

7.2.1 토사구간 설계지반정수

문헌자료 분석

단위중량 및 강도정수

흙의 일반적인 물성(Roy E, Hunt. 1987)

토질의 종류		다짐정도	Dr(%)	N값	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각(°)
ML	무기질 실트, 매우고운 모래	조밀/중간/느슨	75/50/25	35/20/<4	14.9/14.1/13.5	33/31/27
SW	입도분포 양호한 모래, 자갈섞인 모래	조밀/중간/느슨		65/35/<15	18.9/17.9/17.0	37/34/30
SP	입도분포 불량한 모래, 자갈섞인 모래	조밀/중간/느슨		50/30/<10	17.6/16.7/15.9	36/33/29
SM	실트질 모래	조밀/중간/느슨		45/25/<8	16.5/15.6/14.9	35/32/29
GW	입도분포 양호한 자갈, 자갈-모래 혼합	조밀/중간/느슨		90/55/<28	22.1/20.8/19.7	40/36/32
GP	입도분포 불량한 자갈, 자갈-모래 혼합	조밀/중간/느슨		70/50/<20	20.4/19.2/18.3	38/35/32

원지반의 개략적인 토질정수(도로설계실무편람, 2001)

구 분	통일분류	재료의 상태	단위중량(kN/㎥)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)
점 성 토	ML, CL	굳은 것/약간 무른 것/무른것(손가락이 쉽게 들어감)	18/17/17	50/30/15 이하	25/20/20
모 래	SW, SP	조밀하거나 입도가 좋은 것/조밀하지 않거나 입도가 나쁜 것	20/18	0.0/0.0	35/30
사 질 토	SM, SC	조밀한 것/조밀하지 않은 것	19/17	30 이하/0.0	30/25
자갈섞인모래	GW, GP	조밀한 것/조밀하지 않은 것	21/19	0.0/0.0	40/35
자 갈	GW, GP	조밀하거나 입도가 좋은 것/조밀하지 않거나 입도가 나쁜 것	20/18	0.0/0.0	40/35

풍화대의 일반적인 물성

구 분	단위중량(kN/㎥)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	비 고
지 반 조 사 편 람	17~20	0.0~100	25~30	서울특별시(1996)
지 반 학 술 발 표 회	20	20	25	지반공학회(1991, 1998)
사면안정학술발표회	18	10	30	지반공학회(1996, 1997)

변형계수 및 포아송비

구 분	지 층	상 태	변형계수(MPa)	포아송비
Hunt (1984)	자 갈	느슨	30.0~80.0	0.3~0.4
		중간조밀	80.0~100.0	
		조밀	100.0~120.0	
	모 래	느슨	10.0~30.0	0.2~0.35
		중간조밀	30.0~50.0	
		조밀	50.0~80.0	

구 분	지 층	변형계수(MPa)	포아송비
Das (1995)	느슨한 모래섞인 자갈	69.0~172.0	0.15~0.35
	조밀한 모래섞인 자갈		
	느 슨 한 모 래	10.0~24.0	0.20~0.40
	보 통 굳 기 모 래	24.0~28.0	0.25~0.40
	조 밀 한 모 래	35.0~55.0	0.30~0.45
	실 트 질 모 래	10.0~24.0	0.20~0.40

풍화대의 변형계수 및 포아송비

구 분	변형계수(MPa)	포아송비	비 고
지 반 조 사 편 람	20~40	0.50	서울특별시(1996)

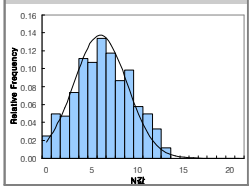
경험식 분석

기본방향	•본 사업구간의 구조물(교량, U-TYPE, BOX, 영업소 구간)에 대하여 매립층, 퇴적층, 풍화토로 분류 •현장 및 실내시험 결과를 이용 각 지층에 해당하는 물리적 특성 범위 선정

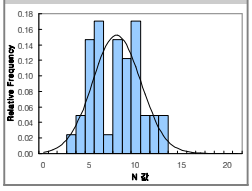
지층별대표 N값 산정

구 분	매립층	퇴적층			풍화토
		점성토	모래	자갈	
보정전 N값	2~15(평균 6.9)	3~24(평균 8.3)	3~41(평균 14.0)	15~50(평균 45.9)	10~50(평균 40.9)
보정후 N값	2~14(평균 6.0)	3~25(평균 8.1)	3~44(평균 14.5)	16~50(평균 46.4)	11~50(평균 41.6)
대 표 N값	6	8	14	40	41

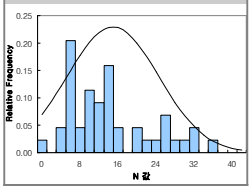
매립층



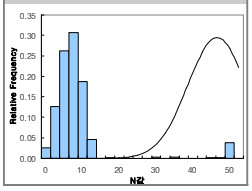
퇴적층(점토)



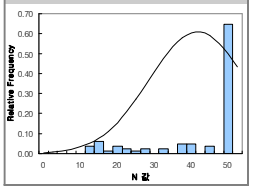
퇴적층(모래)



퇴적층(자갈)



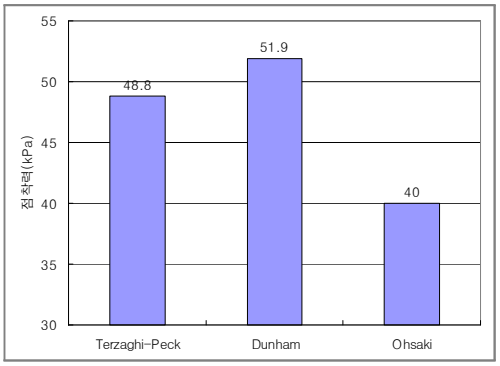
풍화토



경험식 분석

점착력

구 분	관계식(kPa)	퇴적층(점성토)	
		대표N값	점착력, c(kPa)
Terzaghi-Peck	$c = \frac{100N}{8.2\times2}$	8	48.8
Dunham	$c = \frac{100N}{7.7\times2}$	8	51.9
Ohsaki	$c = \frac{40+(10N/2)}{2}$	8	40.0



내부마찰각

구 분	관 계 식	구 분	관 계 식
Dunham	$ø = \sqrt{12N} + 20$	Ohsaki	$ø = \sqrt{20N} + 15$
Meyerhof	$ø = 0.25N + 32.5$	도로교시방서	$ø = \sqrt{15N} + 15$
Peck	$ø = 0.3N + 27$		

지 층 명		N값	Dunham	Meyerhof	Peck	Ohsaki	도로교시방서
매 립 층		6	28.5	34.0	28.8	26.0	24.5
퇴적층	점 토	8	29.8	34.5	29.4	27.6	26.0
	모 래	14	33.0	36.0	31.2	31.7	29.5
	자 갈	45	43.2	43.8	40.5	45.0	41.0
풍 화 토		41	42.2	42.8	39.3	43.6	39.8

변형계수

구 분	관 계 식 (단위: kPa)
Schmertmann	E_m=0.01α ·N, α =40～150(토질별 구분사용)
Bowles	E_m=0.5·(N+5) – 모래 E_m=0.32·(N+15) – 점토질 모래 E_m=0.3·(N+6) – 실트질 모래 E_m=1.20·(N+6) – 자갈질 모래
Hisatake	E_m=0.5·N+7
도로교시방서	E_m=0.28·N

지층명		N값	Schmertmann	Bowles	Hisatake	도로교시방서
매립층		6	4.2	10.0	10.5	16.8
퇴적층	점토	8	3.2	7.4	11.0	22.4
	모래	14	9.8	9.3	14.0	39.2
	자갈	45	58.5	19.2	29.5	126.0
풍화토		41	41.0	17.9	27.5	114.8

인근설계자료 분석

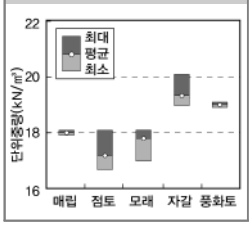
기존 적용사례

구 분		최초제안	광명～서울	서부간선도로	수원～광명	909공구	910공구
매립층	단위중량(kN/m³)	18.0	18.0	18.0	18.0	17.9	–
	점착력(kPa)	20.0	10.0	10.0	10.0	10.0	–
	내부마찰각(°)	32.0	28.0	28.0	30.0	26.7	–
	변형계수(MPa)	38.0	20.0	9.0	14.0	10.0	–
	포아송비	0.20	0.34	0.35	0.36	0.36	–
퇴적층(점토)	단위중량(kN/m³)	17.0	18.0	17.0	–	16.7	–
	점착력(kPa)	10.0	10.0	20.0	–	30.0	–
	내부마찰각(°)	30.7	28.0	15.0	–	21.7	–
	변형계수(MPa)	31.0	20.0	10.0	–	9.0	–
	포아송비	0.23	0.34	0.35	–	0.38	–
퇴적층(모래)	단위중량(kN/m³)	17.0	18.0	18.0	18.0	17.7	–
	점착력(kPa)	0.0	10.0	0.0	0.0	10.0	–
	내부마찰각(°)	28.0	28.0	30.0	30.0	28.2	–
	변형계수(MPa)	41.0	20.0	25.0	15.0	11.0	–
	포아송비	0.24	0.34	0.34	0.35	0.32	–
퇴적층(자갈)	단위중량(kN/m³)	20.0	–	19.0	–	19.0	–
	점착력(kPa)	0.0	–	0.0	–	0.0	–
	내부마찰각(°)	35.0	–	35.0	–	34.2	–
	변형계수(MPa)	99.0	–	70.0	–	44.0	–
	포아송비	0.22	–	0.33	–	0.30	–
풍화토	단위중량(kN/m³)	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0	19.0
	점착력(kPa)	50.0	20.0	30.0	20.0	10.0	10.0
	내부마찰각(°)	31.7	31.0	28.0	31.0	35.0	35.0
	변형계수(MPa)	90.0	50.0	100.0	40.0	38.0	50.0
	포아송비	0.28	0.32	0.32	0.33	0.30	0.35

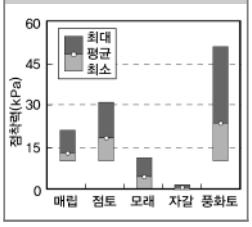
➲ 기존 설계지반정수의 범위 및 평균

지 층 명		단위중량(kN/m³)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)	포아송비
매 립 층		17.9~18.0	10.0~20.0	26.7~32.0	9.0~38.0	0.20~0.36
퇴적층	점 토	16.7~18.0	10.0~30.0	15.0~30.7	9.0~31.0	0.23~0.38
	모 래	17.0~18.0	0.0~10.0	28.0~30.0	11.0~41.0	0.24~0.35
	자 갈	19.0~20.0	0.0	34.2~35.0	44.0~99.0	0.22~0.33
풍 화 토		19.0	10.0~50.0	28.0~35.0	36.0~100.0	0.28~0.35

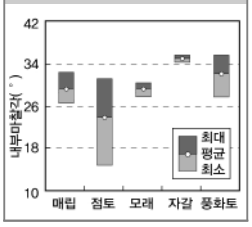
단위중량(kN/m³)



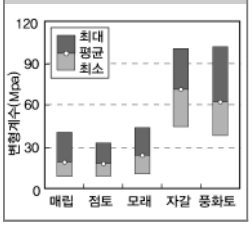
점착력(kPa)



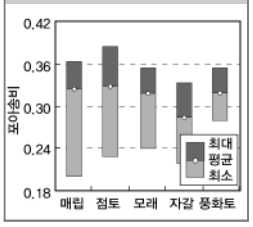
내부마찰각(°)



변형계수(MPa)



포아송비



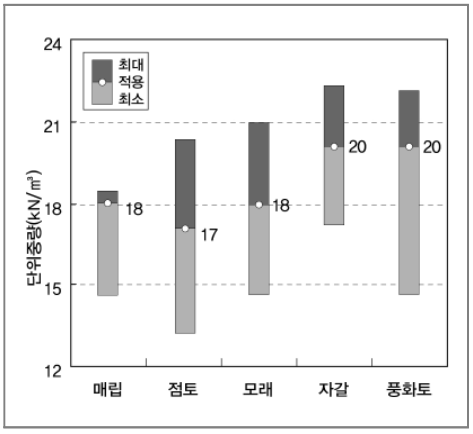
➲ 현장시험 결과

지 층 명		공내밀도검층	공내전단시험		공내재하시험
		단위중량(kN/m³)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)
매 립 층		17.6~19.9	–	–	–
퇴적층	점 토	17.7	–	–	1.8~8.7
	모 래	17.4~19.8	–	–	10.2
	자 갈	18.0~21.6	–	–	–
풍 화 토		18.8~23.9	16.7~25.6	26.8~29.9	–

↗ 토사층 설계지반정수 산정

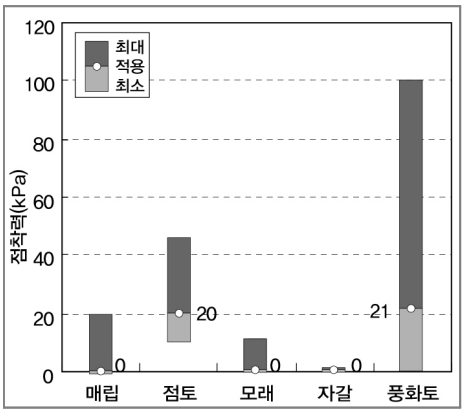
➲ 단위중량(kN/m³)

지 층 명		문헌자료	경험식	적용사례	시험결과	기본설계	설계적용
매 립 층		14.6~17.0	–	17.9~18.0	17.6~19.9	18.0	18.0
퇴적층	점토	13.2~18.1	–	16.7~18.0	17.7	17.0	17.0
	모래	14.6~17.7	–	17.0~18.0	17.4~19.8	18.0	18.0
	자갈	17.2~19.6	–	19.0~20.0	18.0~21.6	20.0	20.0
풍 화 토		14.6~19.6	–	19.0	18.8~23.9	20.0	20.0



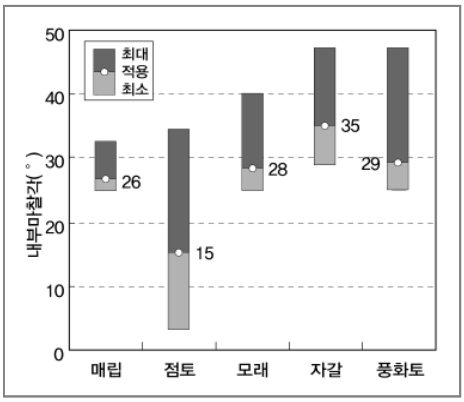
➲ 점착력(kPa)

지 층 명		문헌자료	경험식	적용사례	시험결과	기본설계	설계적용
매 립 층		0.0	–	10.0~20.0	–	0.0	0.0
퇴적층	점토	15.0~30.0	40.0~51.9	10.0~30.0	–	20.0	20.0
	모래	0.0	–	0.0~10.0	–	0.0	0.0
	자갈	0.0	–	0.0	–	0.0	0.0
풍 화 토		0.0~100.0	–	10.0~50.0	16.7~25.6	21.0	21.0



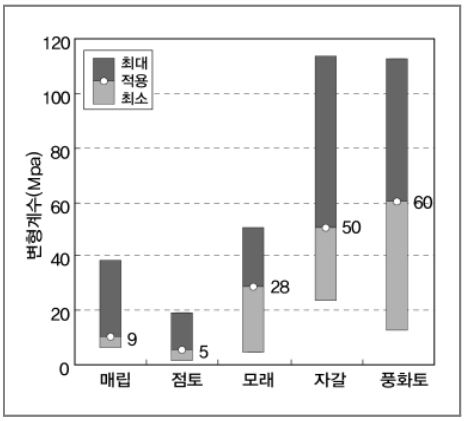
➲ 내부마찰각(°)

지 층 명		문헌자료	경험식	적용사례	시험결과	기본설계	설계적용
매 립 층		25.0~29.0	24.5~34.0	26.7~32.0	–	26.0	26.0
퇴적층	점토	3.0~27.0	26.0~34.5	15.0~30.7	–	15.0	15.0
	모래	25.0~32.5	30.0~36.3	28.0~30.0	–	28.0	28.0
	자갈	29.0~40.5	40.5~45.0	34.2~35.0	–	35.0	35.0
풍 화 토		25.0~37.5	39.3~43.6	28.0~35.0	28.3~29.1	29.0	29.0



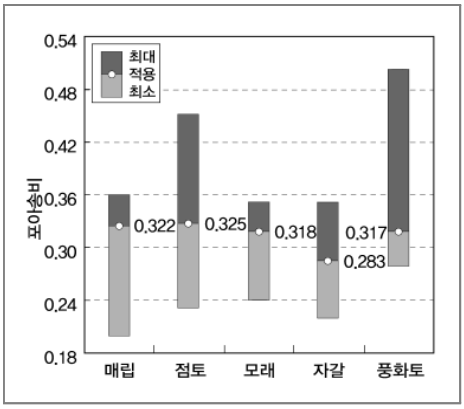
➲ 변형계수(MPa)

지 층 명		문헌자료	경험식	적용사례	시험결과	기본설계	설계적용
매 립 층		12.5~19.6	4.2~16.8	9.0~38.0	–	9.0	9.0
퇴적층	점토	10.8~13.5	3.2~22.4	9.0~31.0	1.8~8.7	5.0	5.0
	모래	12.5~39.2	9.6~42.0	11.0~41.0	10.2	28.0	28.0
	자갈	53.9~150.0	19.2~126.0	44.0~99.0	–	50.0	50.0
풍 화 토		12.5~63.7	17.9~114.8	38.0~100.0	–	60.0	60.0



➲ 포아송비

지 층 명		문헌자료	경험식	적용사례	시험결과	기본설계	설계적용
매 립 층		0.28~0.33	–	0.20~0.36	–	0.32	0.32
퇴적층	점토	0.33~0.45	–	0.23~0.38	–	0.33	0.33
	모래	0.30~0.33	–	0.24~0.35	–	0.32	0.32
	자갈	0.25~0.35	–	0.22~0.33	–	0.28	0.28
풍 화 토		0.30~0.50	–	0.28~0.35	–	0.32	0.32



7.2.2 풍화암구간 설계지반정수

기본방향	•종단계획상 터널구간 시·종점 통과부 및 Box구간 기초저면부 하부에 위치하며 지지력 산정에 활용 •문헌자료, 경험식 및 설계적용 사례를 검토하고 현장시험결과를 종합분석하여 설계지반정수 산정

문헌자료 분석

단위중량 및 강도정수

구 분	단위중량(kN/m³)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	비 고
지 반 조 사 편 람	20~22	10~30	30~35	서울특별시(1996)
지 반 학 술 발 표 회	20/26	50/80~90	25~30	지반공학회(1991, 1998)
사면안정학술발표회	19	30	35	지반공학회(1996, 1997)
도로설계 실무편람	–	100	30	TCR<20%, RQD<10%의 암반파쇄

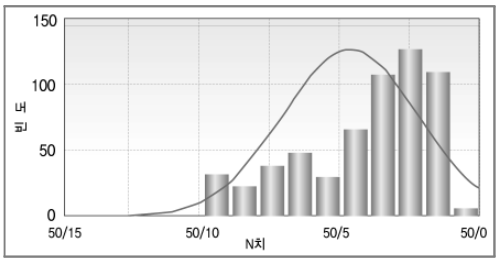
변형계수 및 포아송비

구 분	변형계수(MPa)	포아송비	비 고
지 반 조 사 편 람	100~200	0.30~0.35	서울특별시(1996)
Tuschiya(1984)	–	0.27~0.28	
지반공학회 학술발표	200	0.2	지반공학회(1998)

경험식 분석

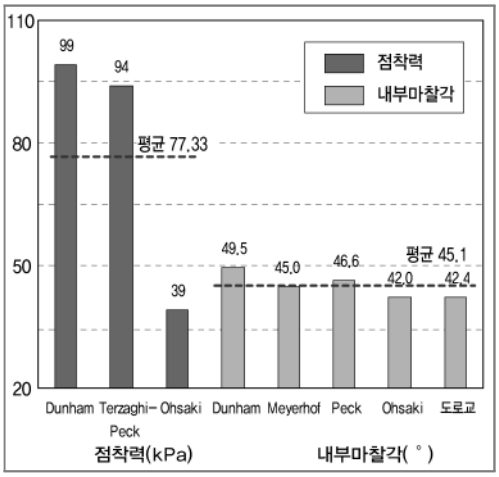
대표 N값 산정

구 분	풍 화 암
N 값 범 위	50/10~50/1(평균 50/5)
대 표 N 값	50/10(안전측 설계를 위하여 하한값 적용)



강도정수 분석

구 분	제안자	N값	제안값
점 착 력 (kPa)	Dunham	50/10	99.0
	Terzaghi-Peck		94.0
내부마찰각 (°)	Ohsaki	50/10	39.0
	Dunham		48.5
	Meyerhof		45.0
	Peck		46.6
	Ohsaki		42.0
	도로교시방서		42.4



기존 설계자료 분석

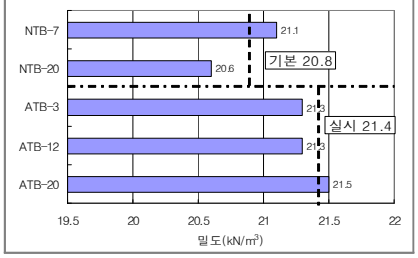
구 분	단위중량(kN/m³)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)	포아송비
최 초 제 안	19.0	10.0	31.7	103	0.33
광 명 ~ 서 울	20.0	50.0	33.0	200	0.30
서부간선도로	20.0	30.0	32.0	300	0.30
수 원 ~ 광 명	20.0	30.0	34.0	200	0.30
9 0 9 공 구	20.0	20.0	35.0	313	0.29
9 1 0 공 구	20.0	50.0	35.0	100	0.30

현장 및 실내시험 결과

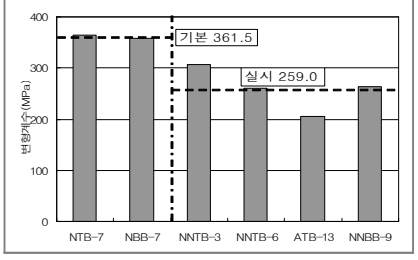
구 분	밀도검층	공내재하시험
단위중량(kN/㎥)	19.8~22.8	–
변형계수(MPa)	–	205~307

구 분	공내전단시험
점착력(kPa)	30.4
내부마찰각(°)	33.0

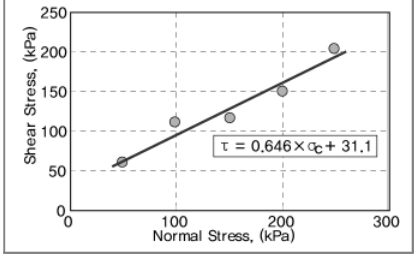
밀도검층



공내재하시험



공내전단시험



풍화암 설계지반정수 산정

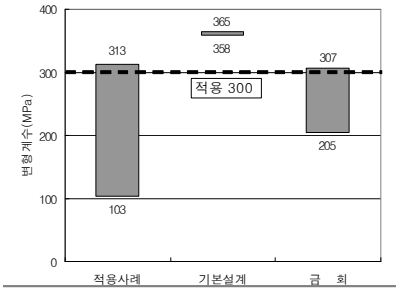
단위중량 및 강도정수 산정

구 분	문헌자료	경험식	적용사례	시험결과	기본설계	적 용
단위중량(kN/m³)	19.0~26.0	–	19.0~20.0	19.8~22.8	21.0	21.0
점착력(kPa)	30.0~100.0	39.0~99.0	10.0~50.0	30.4	30.0	30.0
내부마찰각(°)	25.0~35.0	42.0~48.5	31.7~35.0	33.0	33.0	33.0

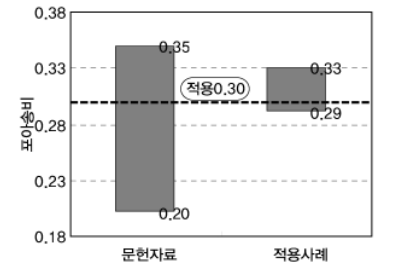
변형계수 및 포아송비 산정

구 분	변형계수(MPa)	포아송비
문헌자료	100~200	0.20~0.35
경 험 식	–	–
적용사례	103~313	0.29~0.33
시험결과	205~307	–
기본설계	350	0.30
설계적용	300	0.30

변형계수



포아송비



7.2.3 쌓기재 설계지반정수

기본방향	•개착구조물 구간에서 발생되는 토사의 쌓기재 적용시 설계지반정수 산정 •문헌자료와 기존 설계시 적용된 사례를 조사하고, 실내시험 결과와 비교·검토하여 산정

토사쌓기재 설계지반정수

쌓기재료 강도정수기준(도로설계요령, 2009)

흙의 종류 (통일분류)	재료의 상 태	단위중량 (kN/m³)	점착력 (kPa)	마찰각 (°)
GW, GP	다진것	20	0.0	40
SW, SP	입도좋음	20	0.0	35
	입도불량	19	0.0	30
SM, SC	다진것	19	30이하	25
ML, MH, CL, CH	다진것	18	50이하	15

다짐토의 특성 NAVFAC(DM 7.2~3.9)

흙의 종류 (통일분류)	γ_{dmax} (kN/m³)	최 적 함수비(%)	점착력(kPa)		마찰각 (°)
			다짐	포화	
SC	17~20	11~19	76	11	31
ML	15~19	12~24	68	9	32
ML, CL	16~19	12~22	66	22	32
GM	19~22	8~12	–	–	>34
GC	18~21	9~14	–	–	>31
SM	18~20	11~16	51	21	34
SM-SC	18~21	11~15	51	15	33

다짐토사의 평균 전단강도(Huang, 1983)

흙의 종류 (통일분류)	γ_{dmax} (kN/m³)	최 적 함수비(%)	점착력(kPa)		내부마찰각 (°)
			다짐	포화	
SW	19.1±8	13.3±2.5	44±4	–	38±1
SP	17.6±3	12.4±1.0	25±6	–	37±1
SM	18.3±2	14.5±0.4	57±6	25±8	34±1
SM-SC	19.1±2	12.8±0.5	23±8	16±6	33±3
SC	18.4±2	14.7±0.4	84±17	13±6	31±3

현장시험 및 실내시험 결과

구 분	지 층	단위중량 (kN/m³)	점착력 (kPa)	내부마찰각 (°)
NTP-1	매립층	17.91	–	–
NTP-2	매립층	18.29	–	–
NTP-3	매립층	17.50	–	–
NTP-4	매립층	17.39	–	–
NTP-5	퇴적층	17.41	–	–

토사 쌓기재 설계지반정수 적용

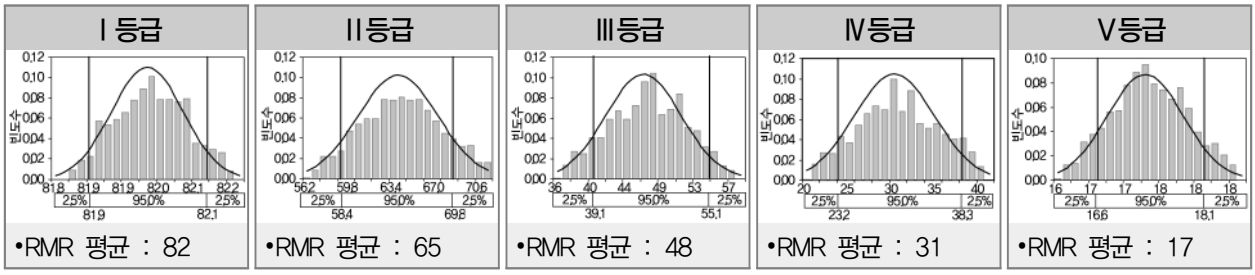
구 분	관 련 문 헌			적용사례	시험결과	기본설계	설계적용
	도로설계요령	NAVFAC	Huang				
단위중량(kN/m³)	19.0~20.0	17.0~21.0	18.9~19.3	19	17.39~18.29	19.0	19.0
점 착 력(kPa)	0.0~30 이하	11.0~21.0	10.0~22.0	10~17	–	15.0	15.0
내부마찰각(°)	25.0~35.0	31.0 이상	30.0~36.0	25~33	–	25.0	25.0
비 고	SM~SP	SM~SC	SM~SC	SM	SM	SM	–

•단위중량 및 점착력은 문헌자료 적용사례 및 시험결과 값을 종합적으로 고려하여 안전측으로 반영

7.2.4 암반등급별 설계지반정수

기반암의 공학적 대표값 산정

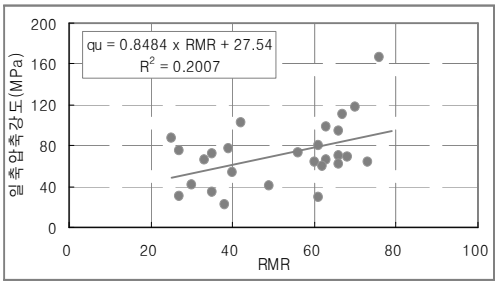
암반등급별 특성분석



Ⅰ등급	Ⅱ등급	Ⅲ등급	Ⅳ등급	Ⅴ등급
•RMR 평균 : 82	•RMR 평균 : 65	•RMR 평균 : 48	•RMR 평균 : 31	•RMR 평균 : 17

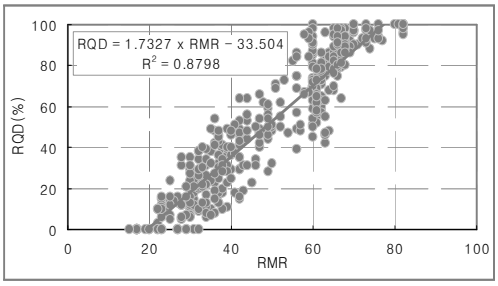
암반등급별 일축압축강도(MPa) 분석

구 분	Ⅰ등급	Ⅱ등급	Ⅲ등급	Ⅳ등급	Ⅴ등급
평균/표준편차	–	82.4/33.5	67.4/26.7	56.3/24.0	–
상 관 관 계 값	97.1	82.7	68.3	53.8	36.0
적 용	97	82	65	50	30
결 과 분 석	•q_u = 0.8484 × RMR + 27.54, R^2 = 0.2007				

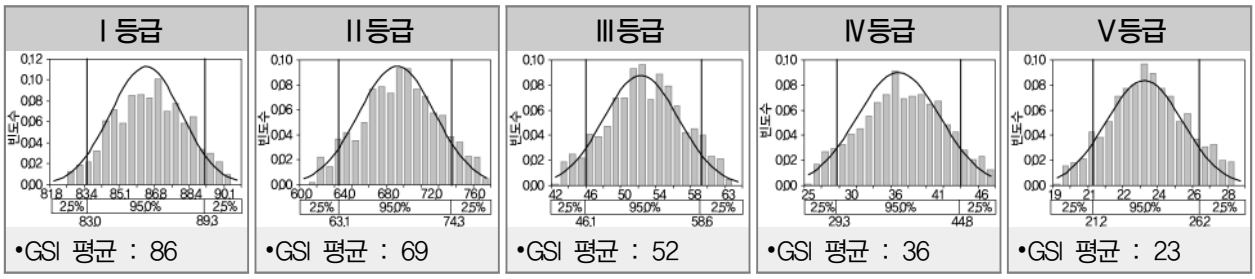


암반등급별 RQD(%) 분석

구 분	Ⅰ등급	Ⅱ등급	Ⅲ등급	Ⅳ등급	Ⅴ등급
평균/표준편차	99.0/1.6	79.1/14.0	51.5/18.6	20.0/13.5	0/0
상 관 관 계 값	100.0	79.1	49.7	20.2	0.0
적 용	95.0	70.0	50.0	20.0	0.0
결 과 분 석	•RQD = 1.7327 × RMR –33.504, R^2 = 0.8798				



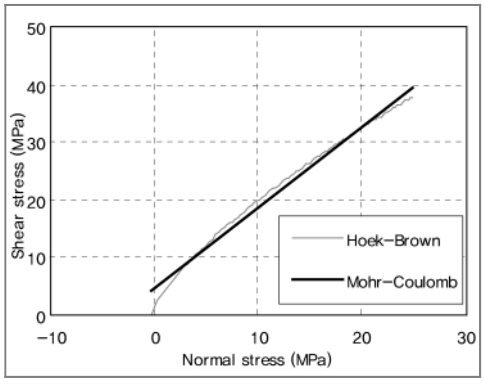
암반등급별 GSI값 산정



Ⅰ등급	Ⅱ등급	Ⅲ등급	Ⅳ등급	Ⅴ등급
•GSI 평균 : 86	•GSI 평균 : 69	•GSI 평균 : 52	•GSI 평균 : 36	•GSI 평균 : 23

삼축압축시험을 활용한 m_i값 산정

구 분		σ_3(MPa) 0	4.9	9.8	14.7	σ_{ci} (MPa)	mi
σ_1 (MPa)	NNTB-2	–8.1	143.4	165.5	197.7	78.8	24.7
	ATB-02	–6.3	93.7	108.5	126.8	26.2	35.8
	ATB-04	–6.4	115.7	131.9	155.7	83.5	12.9
	ATB-05	–12.3	101.9	122.0	144.9	45.4	24.2
	ATB-06	–10.3	119.3	146.7	163.2	79.6	14.7
	ATB-09	–9.1	97.6	117.2	139.4	65.0	11.9
	ATB-12	–12.0	134.8	152.3	182.4	109.6	9.2
	ATB-20	–6.8	103.3	119.5	142.1	74.8	10.9



단위중량 및 포아송비 산정

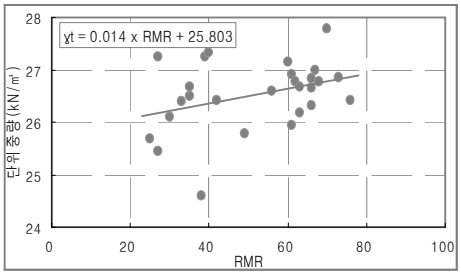
단위중량(kN/m³)

기존자료 검토

구 분	Ⅰ등급	Ⅱ등급	Ⅲ등급	Ⅳ등급	Ⅴ등급
최 초 제 안	27.0	26.0	24.0	21.0	19.0
광 명 ~ 서 울	27.0	26.0	24.0	23.0	21.0
서부간선도로	27.0	26.0	25.0	23.0	21.0
수 원 ~ 광 명	26.0	25.0	24.0	22.0	21.0
9 0 9 공 구	27.0	27.0	25.0	25.0	20.0
9 1 0 공 구	–	25.0	24.0	22.0	20.0

현장 및 실내시험 분석

구 분	Ⅰ등급	Ⅱ등급	Ⅲ등급	Ⅳ등급	Ⅴ등급
밀 도 검 층	26.6~27.5	25.8~26.6	22.0~26.5	21.7~25.1	22.5~25.7
암 석 시 험	–	25.9~27.8	25.8~27.3	24.6~27.3	–
상 관 관 계 값	27.0	26.7	26.5	26.2	26.0
결 과 분 석	•γ_t = 0.014 × RMR + 25.803 , R^2=0.1212				



단위중량 산정

구 분	Ⅰ등급	Ⅱ등급	Ⅲ등급	Ⅳ등급	Ⅴ등급
기존적용사례	26.0~27.0	25.0~27.0	24.0~25.0	21.0~25.0	19.0~21.0
현장 및 실내시험	26.6~27.5	25.8~26.8	22.0~27.6	21.7~26.6	22.5~25.7
기 본 설 계	27.0	26.0	24.0	22.0	21.0
설 계 적 용	27.0	26.0	24.0	22.0	21.0

포아송비

기존자료 검토

구 분	Ⅰ등급	Ⅱ등급	Ⅲ등급	Ⅳ등급	Ⅴ등급
최 초 제 안	0.16	0.21	0.24	0.29	0.33
광 명 ~ 서 울	0.20	0.22	0.25	0.27	0.30
서부간선도로	0.21	0.20	0.24	0.27	0.30
수 원 ~ 광 명	0.20	0.22	0.24	0.27	0.31
9 0 9 공 구	0.22	0.22	0.25	0.25	0.29
9 1 0 공 구	–	0.20	0.25	0.30	0.30

지반등급별 경험식에 의한 포아송비 산정

구 분	Ⅰ등급	Ⅱ등급	Ⅲ등급	Ⅳ등급	Ⅴ등급
Tsuchiya	0.212~0.221 (0.219)	0.210~0.235 (0.218)	0.210~0.235 (0.219)	0.210~0.235 (0.221)	0.219
김 교 원	0.162~0.178 (0.164)	0.173~0.235 (0.207)	0.213~0.282 (0.251)	0.273~0.391 (0.313)	0.440

◉ 지층별 경험식에 의한 포아송비 산정

구 분	연암	경암
Tsuchiya	0.210~0.235 (0.220)	0.210~0.235 (0.218)
김 교 원	0.188~0.440 (0.306)	0.162~0.340 (0.214)

◉ 시험결과 분석

구 분	지층별		지반등급별				
	연 암	경 암	Ⅰ등급	Ⅱ등급	Ⅲ등급	Ⅳ등급	Ⅴ등급
실내암석시험	0.19~0.30 (0.23)	0.19~0.30 (0.24)	0.23~0.28 (0.26)	0.19~0.30 (0.24)	0.19~0.30 (0.24)	0.19~0.30 (0.24)	–

◉ 포아송비 산정

구 분	Ⅰ등급	Ⅱ등급	Ⅲ등급	Ⅳ등급	Ⅴ등급
기존적용사례	0.16~0.22	0.20~0.22	0.24~0.25	0.25~0.30	0.29~0.33
경 험 식	0.16~0.22	0.21~0.22	0.22~0.24	0.22~0.31	0.43
실 내 시 험	–	0.20~0.30	0.19~0.23	0.19~0.30	–
기 본 설 계	0.21	0.23	0.26	0.28	0.30
설 계 적 용	0.21	0.23	0.26	0.28	0.30

구 분	연암	경암
경 험 식	0.21~0.44	0.21~0.34
실 내 시 험	0.19~0.30	0.19~0.30
설 계 적 용	0.27	0.23

Bayesian Approach기법을 활용한 강도정수 및 변형계수 산정

➲ 초기추정치 산정

◉ 문헌자료 검토

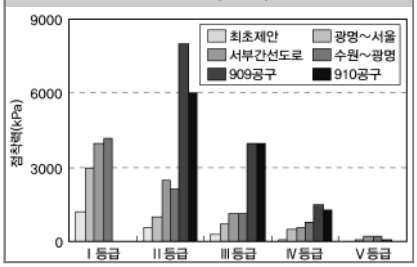
구 분		Ⅰ등급	Ⅱ등급	Ⅲ등급	Ⅳ등급	Ⅴ등급
도로설계 실무편람	점착력(kPa)	400 이상	300~400	200~300	100~200	100 이하
	내부마찰각(°)	45 이상	35~45	25~35	15~25	15 이하

◉ 기존적용사례 검토

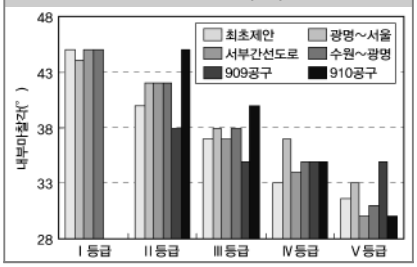
구 분		Ⅰ등급	Ⅱ등급	Ⅲ등급	Ⅳ등급	Ⅴ등급
최초제안	점착력(kPa)	1,200	600	300	100	10
	내부마찰각(°)	45.0	40.0	37.0	33.0	31.7
	변형계수(MPa)	43,900	15,000	8,400	1,130	103
광명~서울	점착력(kPa)	3,000	1,000	700	500	100
	내부마찰각(°)	44.0	42.0	38.0	37.0	33.0
	변형계수(MPa)	20,000	15,000	4,000	2,000	400
서부간선	점착력(kPa)	4,000	2,500	1,100	600	200
	내부마찰각(°)	45.0	42.0	37.0	34.0	30.0
	변형계수(MPa)	20,000	15,000	8,100	3,200	600
수원~광명	점착력(kPa)	4,200	2,100	1,100	800	200
	내부마찰각(°)	45.0	42.0	38.0	35.0	31.0
	변형계수(MPa)	16,000	12,000	4,400	1,500	500

구 분		Ⅰ등급	Ⅱ등급	Ⅲ등급	Ⅳ등급	Ⅴ등급
909공구	점착력(kPa)	–	8,000	4,000	1,500	50.0
	내부마찰각(°)	–	38.0	35.0	35.0	35.0
	변형계수(MPa)	15,060	15,060	2,655	2,655	313
910공구	점착력(kPa)	–	6,000	4,000	1,300	30.0
	내부마찰각(°)	–	45.0	40.0	35.0	30.0
	변형계수(MPa)	–	12,000	2,840	684	165

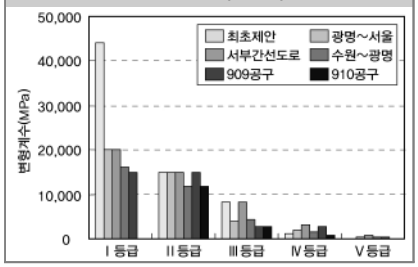
점착력(kPa)



내부마찰각(°)



변형계수(MPa)



◉ 지반등급별 경험식 분석

구 분		Ⅰ등급	Ⅱ등급	Ⅲ등급	Ⅳ등급	Ⅴ등급
점 착 력 (kPa)	Bieniawski	374.9~380.0 (379.2)	308.5~366.6 (326.0)	215.5~304.5 (254.4)	95.6~210.1 (172.50	75.3
	김교원	5,408.5~9,468.6 (8,886.70	1,092.0~6,347.0 (2,527.4)	418.1~1,911.7 (871.5)	99.1~490.7 (277.2)	66.4
	Trueman	13,649.5~15,085.1 (14,859.6)	5,021.4~11,748.3 (6,495.8)	1,847.3~4,776.5 (2,874.2)	679.6~1,757.2 (1,298.3)	584.9
내부마찰각 (°)	Bieniawski	43.2~43.8 (43.7)	36.1~42.3 (37.9)	26.5~35.7 (30.5)	14.5~26.0 (22.1)	12
	김교원	45.0~46.8 (46.5)	40.0~45.5 (42.3)	37.0~41.8 (39.0)	32.5~37.5 (35.5)	14
	Trueman	45.0~46.0 (45.8)	35.0~43.5 (37.3)	25.0~34.5 (29.0)	15.0~24.5 (21.2)	31
변 형 계 수 (MPa)	Bieniawski	61,183.0~65,261.8 (64,264.5)	20,394.3~55,064.7 (29,973.8)	5,734.3~18,354.9 (9,679.2)	1,813.3~5,413.5 (3,816.2)	1,525.7
	Aydan	52,931.0~57,766.1 (57,008.2)	19,117.3~46,232.7 (25,432.0)	4,550.6~18,013.1 (9,245.1)	391.2~4,160.5 (2,335.1)	220
	김교원	41,081.2~67,057.6 (63,365.5)	10,130.5~47,254.7 (20,893.4)	4,373.4~16,536.2 (8,213.3)	1,240.5~5,030.7 (3,009.0)	874.2

◉ 지층별 경험식 분석

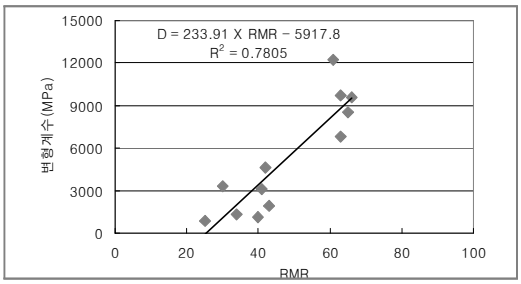
구 분		연 암	경 암
점 착 력 (kPa)	Bieniawski	75.3~338.3 (186.1)	152.9~380.0 (313.3)
	김교원	66.4~3,927.4 (420.7)	173.4~9,468.6 (2,604.4)
	Trueman	584.9~7,491.0 (1,644.4)	1,065.8~15,085.1 (6,278.0)
내부마찰각 (°)	Bieniawski	12.4~39.2 (23.5)	20.2~43.8 (36.7)
	김교원	31.3~44.0 (36.0)	34.3~46.8 (41.9)
	Trueman	13.5~39.0 (22.5)	19.5~46.0 (36.1)
변 형 계 수 (MPa)	Bieniawski	1,525.7~36,709.8 (5,093.7)	3,044.2~65,251.8 (27,773.1)
	Aydan	220.1~29,775.1 (3,778.7)	1,457.7~57,766.1 (24,015.6)
	김교원	874.2~31,048.5 (4,087.1)	2,025.0~67,057.6 (21,917.7)

➔ 최대우도치 산정

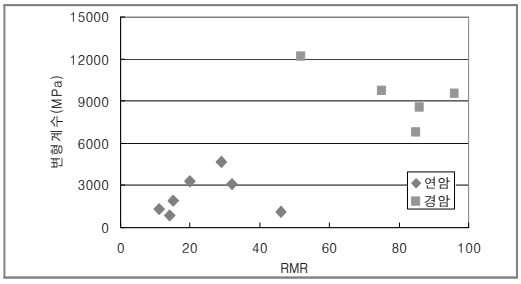
•강도정수 : 실내시험 결과로부터 MCS 통계기법을 적용하여 신뢰도 높은 최대우도치 산출
•변형계수 : 암반등급별 공내재하시험 결과를 분석하여 최대우도치 산출

◉ 현장시험(공내재하시험) 결과

구 분	Ⅰ등급	Ⅱ등급	Ⅲ등급	Ⅳ등급	Ⅴ등급
현장시험값(평균)	–	9,358	3,228	1,634	–
상 관 관 계 값	15,134	10,455	5,777	1,099	–
결 과 분 석	•상관관계 : E_m = 233.91×RMR–5917.8 R^2=0.78				



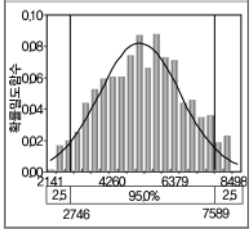
구 분	연 암	경 암
현 장 시 험	827~4,658	6,804~12,196
평 균	2,317	9,358
표 준 편 차	1,414	1,965



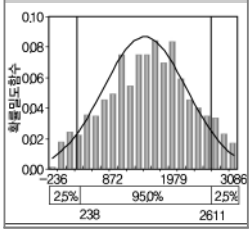
◉ MCS에 의한 최대우도치 산정결과

구 분	점착력(kPa)		내부마찰각(°)		변형계수(MPa)	
	평 균	표준편차	평 균	표준편차	평 균	표준편차
Ⅰ 등 급	2,343	200	45.8	0.9	19,510	2,990
Ⅱ 등 급	1,235	313	40.3	1.1	10,430	2,488
Ⅲ 등 급	623	240	38.6	2.1	4,918	1,658
Ⅳ 등 급	356	177	35.0	1.6	1,052	177
Ⅴ 등 급	102	18	33.9	2.4	430	50

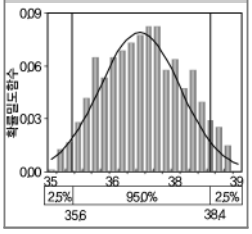
Ⅰ등급 점착력



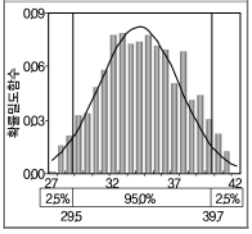
Ⅱ등급 점착력



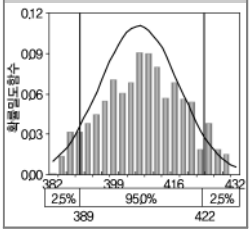
Ⅲ등급 내부마찰각



Ⅳ등급 내부마찰각



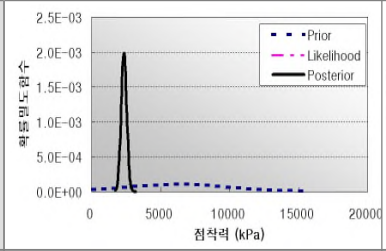
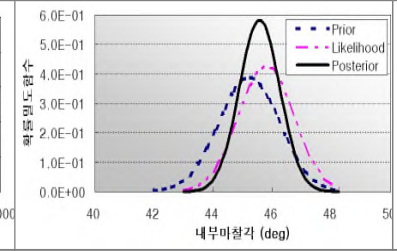
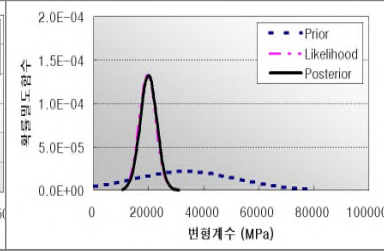
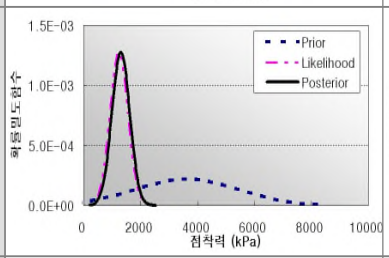
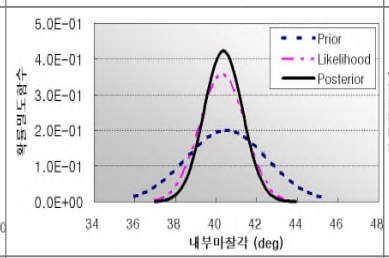
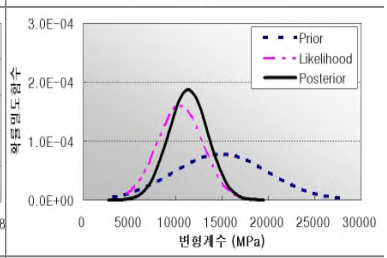
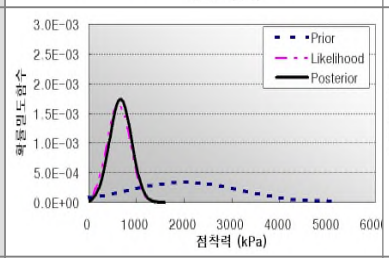
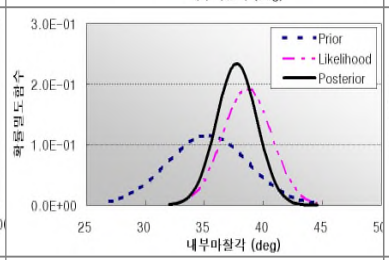
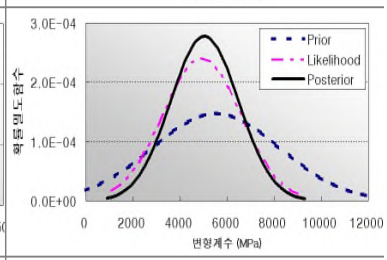
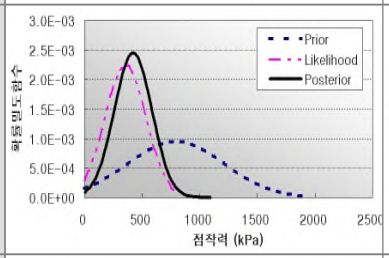
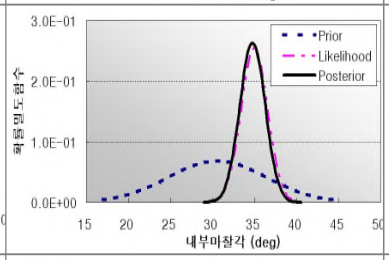
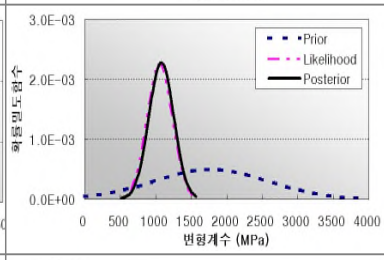
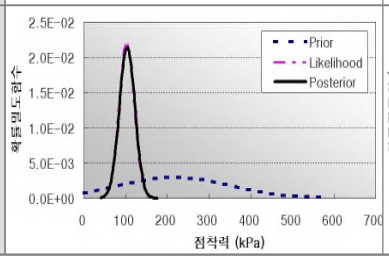
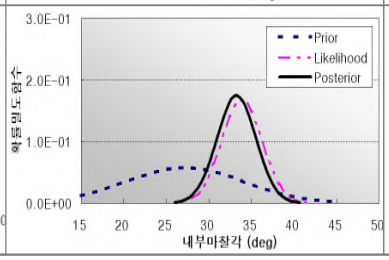
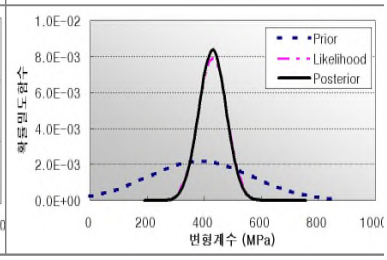
Ⅴ등급 변형계수



➔ Bayesian Approach에 의한 전단강도 및 변형계수 산정

기본방향	• 초기추정치 및 MCS결과로부터 추출된 최대우도치를 선별하여 재추출한 평균과 표준편차를 대표값으로 선정, Bayesian 이론을 적용하여 최후도값으로 산정

구 분	점착력(kPa)			내부마찰각(°)			변형계수(MPa)		
	평 균	표준편차	적 용	평 균	표준편차	적 용	평 균	표준편차	적 용
Ⅰ 등급	2,353	200	2,500	45.5	0.7	45.0	19,875	2,951	20,000
Ⅱ 등급	1,305	308	1,300	40.4	1.0	40.0	11,303	2,236	12,000
Ⅲ 등급	679	235	600	37.8	1.8	37.0	5,086	1,414	5,000
Ⅳ 등급	423	163	400	34.7	1.5	34.0	1,085	173	1,000
Ⅴ 등급	104	18	100	33.2	2.2	33.0	427	48	400

구 분	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)
Ⅰ등급			
Ⅱ등급			
Ⅲ등급			
Ⅳ등급			
Ⅴ등급			

기반암의 설계지반정수 산정결과

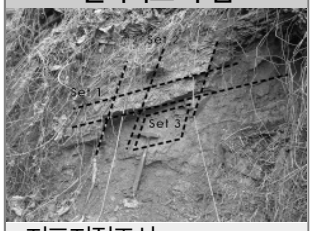
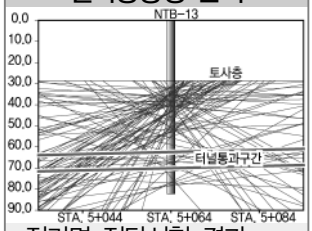
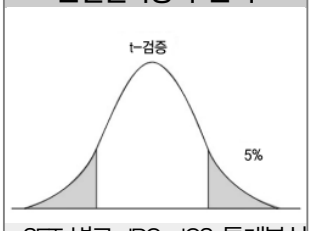
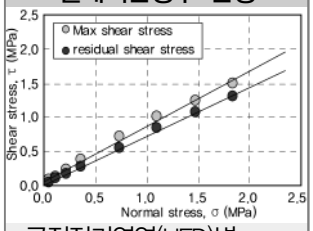
구 분		단위중량(kN/㎥)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)	포아송비
지층	연 암	23.0	400	36.0	2,000	0.27
	경 암	26.0	1,300	40.0	12,000	0.23
지반 등급	Ⅰ등급	27.0	2,500	45.0	20,000	0.21
	Ⅱ등급	26.0	1,300	40.0	12,000	0.23
	Ⅲ등급	24.0	600	37.0	5,000	0.26
	Ⅳ등급	22.0	400	34.0	1,000	0.28
	Ⅴ등급	21.0	100	33.0	400	0.30

분석결과

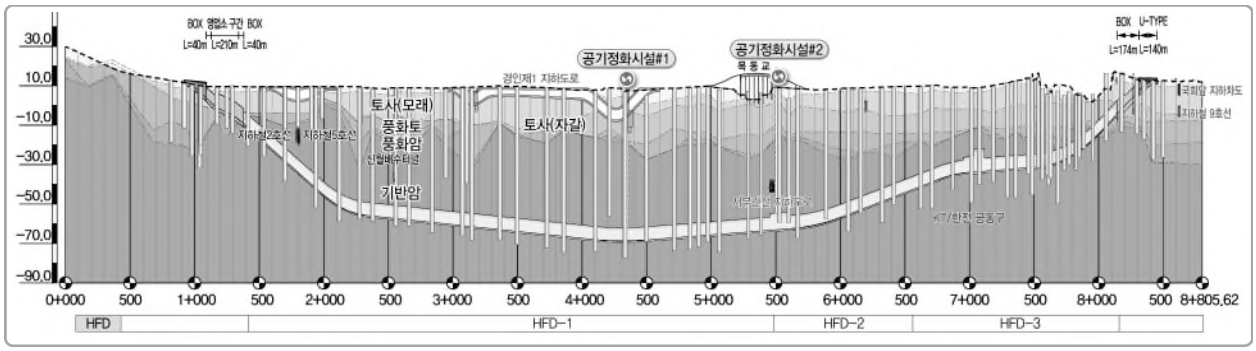
- Bayesian Approach를 통하여 등급별로 산정
- 산정된 사후정보에 대하여 95% 신뢰구간 범위 내에서 적정 설계지반정수 산정

7.3 불연속체 설계지반정수

기본방향	• 토공구간은 계획고내 기반암이 분포하지 않으므로 터널구간에 대해서만 불연속면 특성 분석 • 터널구간에 대하여 불연속면의 특성(방향, 연장성, JCS, JRC 등)이 서로 동질인 구간을 총 4개소로 구분하고, 각 균질절리영역(HFD)에 대하여 불연속체 설계지반정수 산정

절리자료 수집	절리방향성 분석	균질절리영역 분석	설계지반정수 산정
			
•지표지질조사 •불연속면 특성 조사	•절리면 전단시험 결과 : JRC, JCS, Φ_r, K_n, K_s	•SET 별로 JRC, JCS 통계분석	•균질절리영역(HFD)별 불연속면 특성 분석

7.3.1 균질절리영역(HFD) 분석



7.3.2 절리면전단시험 결과

공 번	심 도 (m)	점착력 (kPa)	내부마찰각(°)		JRC	JCS (MPa)	수직강성(K_n) (MPa/mm)	전단강성(K_s) (MPa/mm)
			최대	잔류				
ATB-02	26.4~26.7	80	32.13	28.67	4.9	43.67	18,190	1,360
ATB-07	33.1~33.4	80	34.40	29.92	12.2	49.47	17,970	1,450
NNTB-3	50.0~50.3	60	31.72	28.67	12.8	34.74	14,680	1,230
ATB-20	41.4~41.8	80	33.77	30.02	8.6	41.97	16,670	1,230
NNTB-7	61.5~61.8	60	32.32	28.57	12.2	33.07	14.420	1.260

7.3.3 불연속체 설계지반정수 산정

구 분			방향성 (Dip/Dir)	JRC	JCS (MPa)	간격 (cm)	연장성 (cm)	점착력 (kPa)	내 부 마찰각(°)	수직강성 (MPa/mm)	전단강성 (MPa/mm)
HFD-1	0+000 ~ 5+480	J_1	46/122	11	14.8	20	63	40	35.30	12.73	0.70
		J_2	48/270	16	15.4	49	71	51	34.70	13.15	0.78
		J_3	60/350	9	15.2	52	87	45	35.00	12.94	0.74
HFD-2	5+480 ~ 6+560	J_1	44/283	16	16.7	39	72	30	28.17	12.90	1.20
		J_2	50/340	15	16.2	136	90	27	28.64	12.78	1.15
		J_3	63/176	14	17.3	60	84	34	27.87	13.14	1.24
HFD-3	6+560 ~ 8+130	J_1	58/160	15	16.6	20	116	10	34.53	13.03	1.78
		J_2	67/63	18	17.2	52	129	25	36.42	14.05	1.94
		J_3	63/314	13	18.8	71	144	54	38.15	14.47	2.07

7.4 측압계수 산정

기본방향	•암반의 응력 및 거동특성을 파악하여 터널구조물의 안정성 해석에 필요한 측압계수 산정 •AE/DRA, 수압파쇄시험 결과와의 비교·분석을 통한 지반의 측압계수 산정

7.4.1 수압파쇄시험 결과

심 도 (GL.-m)		응력방향별 측압계수			터널방향에 대한 측압계수			결과분석	터널과 주응력 교차각
		K_h	K_H	K_H/K_h	K_{axi}	K_{sec}	평균		
기본설계	40.7	1.50	1.59	1.06	1.56	1.53	1.55	•터널진행방향 : N81.0E •최대수평응력방향 : N62.5W •교차각 : 약 36.5°	
	52.9	1.49	1.52	1.02	1.51	1.50	1.51		
	64.5	1.41	1.48	1.05	1.46	1.44	1.45		
	67.5	1.39	1.46	1.05	1.44	1.42	1.43		
	72.1	1.35	1.40	1.04	1.39	1.37	1.38		
	평균	1.43	1.49	1.04	1.47	1.45	1.46		
실시설계	39.2	2.22	2.92	1.31	2.65	2.48	2.57	•터널진행방향 : N74W •최대수평응력방향 : N68E •교차각 : 약 38°	
	54.9	1.70	2.53	1.49	2.22	2.01	2.12		
	60.9	1.58	2.32	1.47	2.04	1.86	1.95		
	67.4	1.52	2.25	1.49	1.97	1.80	1.89		
	평균	1.75	2.50	1.44	2.22	2.04	2.13		

※ K_h/K_H : 최소/최대주응력방향 측압계수, K_{axi}/K_{sec} : 터널진행방향/터널단면방향 측압계수

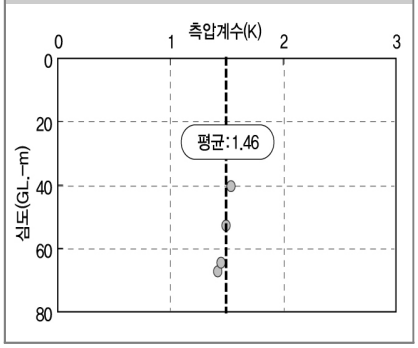
7.4.2 AE/DRA 시험 결과

공 번		심도 (m)	시험방법	수직암반응력 (MPa)	수평암반응력 (MPa)		측압계수 (K)
				σ_v	σ_{h1}	σ_{h2}	
기본설계	NTB-10	67.6~67.8	AE	1.75	3.61	3.02	1.89
			DRA	1.76	3.56	2.97	1.86
	NTB-25	30.0~31.1	AE	0.70	1.41	1.71	2.23
			DRA	0.67	1.42	1.74	2.36
실시설계	ATB-05	45.0~45.2	AE	1.20	2.82	3.20	2.51
			DRA	1.21	3.01	3.14	2.54
	ATB-07	51.5~51.7	AE	1.36	3.22	3.45	2.45
			DRA	1.35	3.06	3.51	2.43
	ATB-10	60.7~60.9	AE	1.59	4.37	4.63	2.83
			DRA	1.59	4.40	4.52	2.81
	ATB-14	55.4~55.6	AE	1.45	3.97	4.32	2.86
			DRA	1.44	3.77	4.40	2.84
	ATB-17	46.1~46.3	AE	1.20	3.43	3.51	2.89
			DRA	1.23	3.47	3.55	2.85

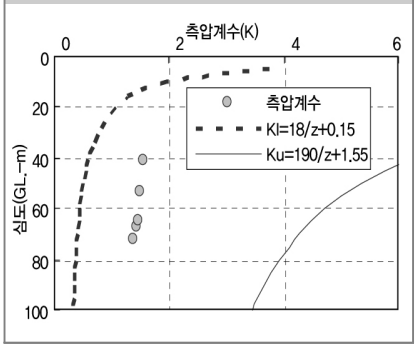
7.4.3 터널구간 측압계수

➲ 기본설계

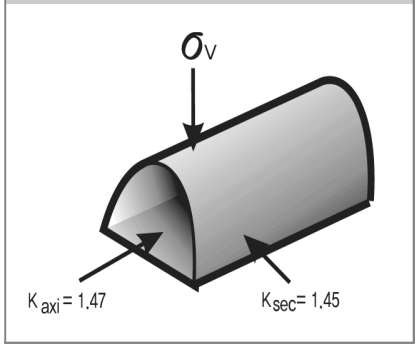
측압계수 분포측정



최대 주응력 작용방향

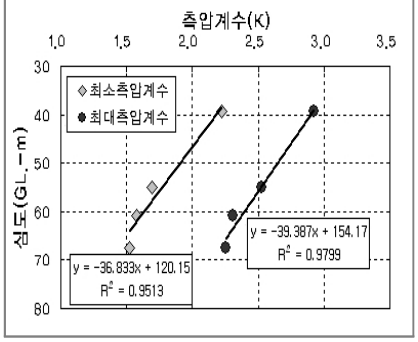


터널 방향에 따른 측압계수

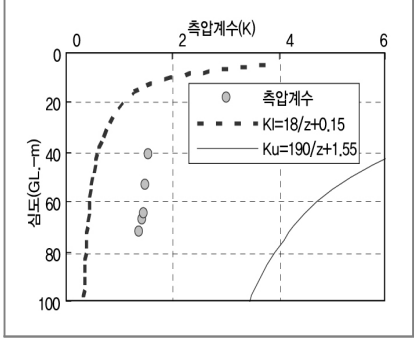


➲ 실시설계

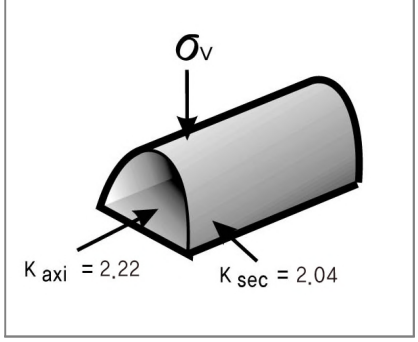
측압계수 분포측정



최대 주응력 작용방향



터널 방향에 따른 측압계수



7.4.4 측압계수 산정

위 치		심 도(m)	측압계수 범위	터널축방향(K_{axi})	터널단면방향(K_{sec})	비 고
기본설계	NTB-10	67.6 ~ 67.8	1.86 ~ 1.89	-	-	AE/DRA
		40.7 ~ 72.1	1.38 ~ 1.55	1.39 ~ 1.56	1.37 ~ 1.53	수압파쇄
	NTB-25	30.0 ~ 31.1	2.23 ~ 2.36	-	-	AE/DRA
실시설계	ATB-05	45.0 ~ 45.2	2.51 ~ 2.54	-	-	AE/DRA
	ATB-07	51.5 ~ 51.7	2.43 ~ 2.45	-	-	AE/DRA
	ATB-10	60.7 ~ 60.9	2.81 ~ 2.83	-	-	AE/DRA
	ATB-14	55.4 ~ 55.6	2.84 ~ 2.86	-	-	AE/DRA
	ATB-17	46.1 ~ 46.3	2.85 ~ 2.89	-	-	AE/DRA
	ATB-12	39.2 ~ 67.4	1.52 ~ 2.92	1.97 ~ 2.65	1.80 ~ 2.48	수압파쇄

분석결과 •측압계수 산정결과 심도가 깊어질수록 1.0에 수렴하며 터널통과 심도의 측압계수는 1.37~1.97로 측정됨

7.5 내진해석을 위한 설계지반정수

기본방향	•동적 지반특성을 파악하기 위하여 MASW탐사, 다운홀 시험 및 S-PS검층 실시 •터널 구간의 암반등급별 동적 지반정수를 산정하여 내진해석 입력자료로 활용 •공진주시험을 통하여 지반의 감쇠비를 산정하고 액상화 상세예측을 위하여 진동반복삼축시험 수행

7.5.1 동적선형특성

내진해석을 위한 동적지반정수 산정방법

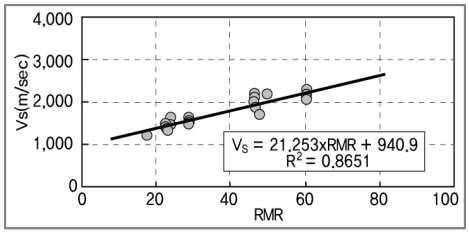
동적지반정수	산정법	산정 Parameter	
동 포 아 송 비 ν_d	$\nu_d = \frac{(V_p/V_s)^2-2}{2(V_p/V_s)^2-2}$	ρ : 밀도	G_d : 동전단계수
동 전 단 탄 성 계 수 G_d	$G_d = \rho V_s^2$	V_s : S파(전단파) 속도	E_d : 동탄성계수
동 탄 성 계 수 E_d	$E_d = 2G_d(1+\nu_d)$	V_p : P파(압축파) 속도	K_d : 동체적계수
동 체 적 계 수 K_d	$K_d = \frac{E_d}{3(1-2\nu_d)}$	ν_d : 동포아송비	

현장시험 및 물리탐사 결과

지 층	탄성파 속도(평균)		지층별 동적물성치				비 고 (시험)
	V_p (m/sec)	V_s (m/sec)	G_d (MPa)	E_d (MPa)	K_d (MPa)	ν_d	
매 립 층	333	110	54	38	171	0.44	DHT
	498	145	39.5	115	416	0.453	S-PS
	449	198	73	201	277	0.38	MASW(기본)
퇴 적 층	841	389	293	798	976	0.36	MASW(기본)
	918	238	118	339	1,650	0.445	S-PS
	410	169	112	92	235	0.40	DHT
풍 화 토	1,055	493	520	1,415	1,688	0.36	MASW(기본)
	1,358	517	556	1,547	3,187	0.397	S-PS
	637	294	302	346	577	0.36	DHT
풍 화 암	1,338	642	878	2,371	2,640	0.35	MASW(기본)
	914	427	978	363	1,174	0.35	DHT
	1,633	681	1,000	2,751	4,663	0.376	S-PS
연 암	1,431	736	1,316	3,474	3,217	0.32	MASW(기본)
	2,344	1,108	3,003	7,959	9,113	0.344	S-PS
	1,427	751	2,667	1,831	2,817	0.31	DHT
경 암	1,744	932	2,334	6,068	5,056	0.30	MASW(기본)
	3,197	1,587	6,793	17,671	17,418	0.329	S-PS
	3,092	1,750	23,025	9,190	15,914	0.27	DHT

RMR과 전단파속도(V_s) 상관분석

•RMR과 전단파속도(V_s) 상관분석
V_s = 21.253 × RMR + 940.9 , R^2=0.865
•암반등급(RMR)과 전단파속도를 이용하여 암반등급별 동전단탄성계수, 동탄성계수, 동체적계수 등의 동적특성치 산정



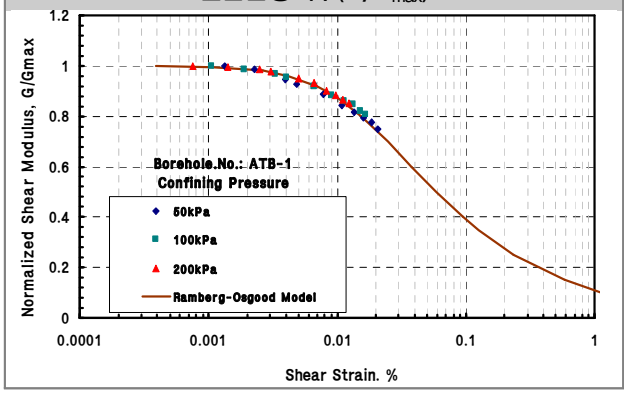
➲ 동적선형특성 산정결과

지 층	V_p (m/sec)	V_s (m/sec)	밀도 (kN/㎥)	지층별 동적물성치 분포			
				G_d (MPa)	E_d (MPa)	K_d (MPa)	ν_d
매 립 층	494	156	18	58	144	279	0.440
퇴 적 층	942	289	19	182	480	1,652	0.431
풍 화 토	1,156	424	20	405	1,052	2,409	0.408
풍 화 암	1,537	631	21	952	1,828	2,826	0.387
연 암	2,200	1,216	23	3,610	8,640	6,550	0.280
경 암	3,450	2,059	26	13,004	27,994	18,124	0.243

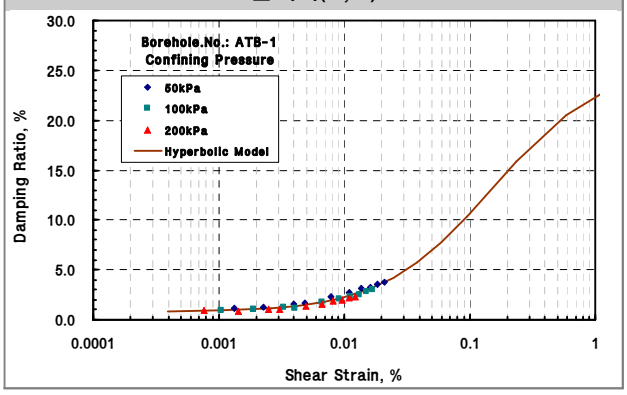
7.5.2 동적비선형특성

➲ 토사공진주 시험결과

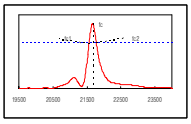
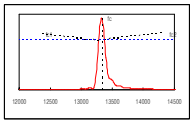
전단탄성계수(G/G_{max})



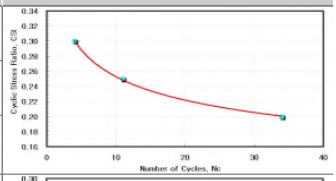
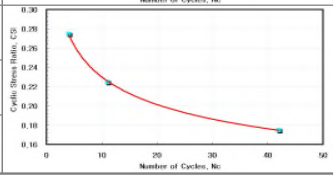
감쇠비(D,%)



➲ 암석공진주 시험결과

공번	심도	압 축 파				전 단 파				ATB-04	
		f_r (Hz)	V_c (㎞/sec)	E_d (GPa)	D (%)	f_r(Hz)	V_s (㎞/sec)	G_d (GPa)	D (%)	압축파	전단파
ATB-04	48.4~48.6	21,710	4,598	57.05	0.52	13,329	2,823	21.50	0.34		
NNTB-6	50.3~50.5	23,534	4,961	67.19	0.38	14,437	3,043	25.29	0.31		

➲ 진동반복삼축압축 시험결과

구 분	심도 (m)	σ_3' (kPa)	응력비 (CSR)	액상화 발생 재하횟수		액상화 발생 가능곡선 Nc-CRS(10%)
				DA=5%기준	DA=10%기준	
A T B - 0 1	1.0	60	0.300	3	4	
		50	0.250	10	11	
		40	0.200	33	34	
N N B B - 8	6.0	55	0.275	3	4	
		45	0.225	10	14	
		35	0.175	40	42	

분석결과	•지진규모 M=6.5에 해당하는 N=10회의 반복전단응력비(CSR)는 0.230~0.253으로 나타남

7.6 수리해석을 위한 설계지반정수

•현장투수시험, 암반수압시험, 양수시험 및 순간충격시험을 수행하여 산출된 투수계수는 수리해석을 통한 지하수 거동특성분석, 가시설 및 차수계획등에 활용

7.6.1 문헌자료 검토

통일분류(USCS)에 의한 투수계수

토 질	투수계수(cm/sec)	토 질	투수계수(cm/sec)
GW	> 1.0×10^{-2}	SC	$1.0\times10^{-6}\sim1.0\times10^{-8}$
GP	> 1.0×10^{-2}	ML	$1.0\times10^{-3}\sim1.0\times10^{-6}$
GM	$1.0\times10^{-3}\sim1.0\times10^{-6}$	CL	$1.0\times10^{-6}\sim1.0\times10^{-8}$
GC	$1.0\times10^{-6}\sim1.0\times10^{-8}$	OL	$1.0\times10^{-4}\sim1.0\times10^{-8}$
SW	> 1.0×10^{-3}	MH	$1.0\times10^{-4}\sim1.0\times10^{-8}$
SP	> 1.0×10^{-3}	CH	$1.0\times10^{-6}\sim1.0\times10^{-8}$
SM	$1.0\times10^{-2}\sim1.0\times10^{-5}$	OH	$1.0\times10^{-6}\sim1.0\times10^{-8}$

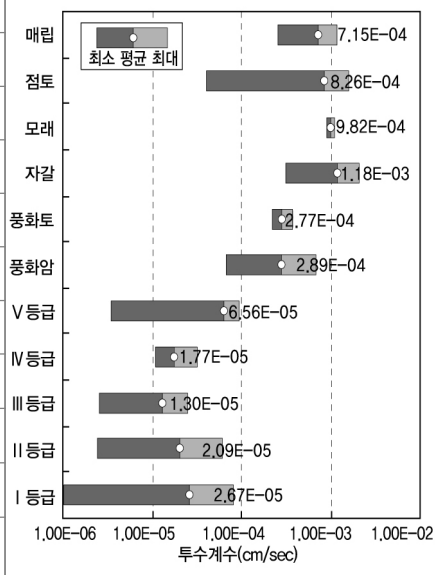
암반 균열빈도에 따른 투수계수

균열간격	특 징	투수계수(cm/sec)
매우넓음	높은투수성	$1.0\times10^{-2}\sim1.0\times10^{2}$
보 통	보통투수성	$1.0\times10^{-5}\sim1.0\times10^{-2}$
매우좁음	약간투수성	$1.0\times10^{-9}\sim1.0\times10^{-5}$
간격없음	불투수성	1.0×10^{-9} 이하

7.6.2 기존자료 분석

구 분		원제안	광명~서울	서부간선도로	수원~광명
매 립 층		–	1.20×10^{-3}	6.90×10^{-4}	2.55×10^{-4}
퇴적층	점토	1.61×10^{-3}	–	4.11×10^{-5}	–
	모래	9.77×10^{-4}	–	9.87×10^{-4}	–
	자갈	3.10×10^{-4}	–	2.04×10^{-3}	–
풍 화 토		–	3.80×10^{-4}	2.22×10^{-4}	2.3×10^{-4}
풍 화 암		–	6.70×10^{-5}	6.95×10^{-4}	1.06×10^{-4}
기반암	V 등급	9.64×10^{-5}	6.70×10^{-5}	3.42×10^{-6}	9.56×10^{-5}
	IV 등급	1.40×10^{-5}	1.40×10^{-5}	1.10×10^{-5}	3.18×10^{-5}
	III 등급	1.70×10^{-5}	7.80×10^{-6}	2.47×10^{-5}	2.50×10^{-6}
	II 등급	1.56×10^{-5}	2.40×10^{-6}	6.03×10^{-5}	5.47×10^{-6}
	I 등급	2.24×10^{-5}	4.15×10^{-7}	8.10×10^{-5}	3.12×10^{-6}

지층별 투수계수 범위



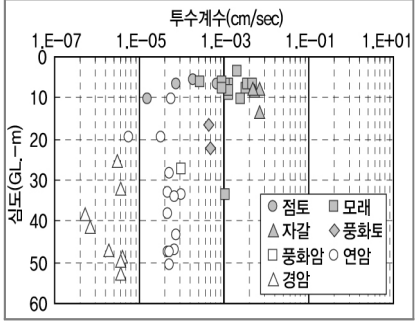
7.6.3 현장시험 결과

현장투수시험, 암반수압시험에 의한 지층별 투수계수 산정

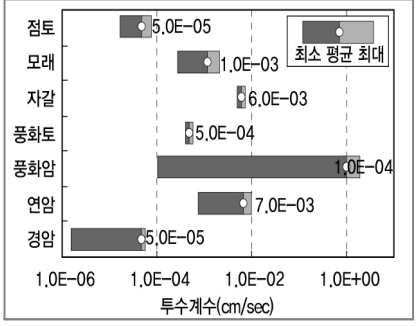
토 질		투수계수(cm/sec)	평 균
매립층		–	–
퇴적층	점 토	2.72×10^{-5}~5.95×10^{-5}	4.34×10^{-5}
	모 래	4.51×10^{-4}~7.52×10^{-3}	2.01×10^{-3}
	자 갈	1.72×10^{-4}~5.84×10^{-3}	2.03×10^{-3}
풍화토		3.94×10^{-5}~7.52×10^{-4}	5.01×10^{-4}
풍화암		9.79×10^{-5}	9.79×10^{-5}

구 분	RMR	투수계수(cm/sec)
Ⅰ 등 급	>81	1.53×10^{-6}~1.57×10^{-6}
Ⅱ 등 급	61–80	5.36×10^{-7}~3.93×10^{-6}
Ⅲ 등 급	41–60	7.23×10^{-7}~7.86×10^{-5}
Ⅳ 등 급	21–40	3.40×10^{-5}~9.62×10^{-5}
Ⅴ 등 급	0–20	–
•RMR–K 상관식 : $K=0.0005e^{-0.0777}RMR$		

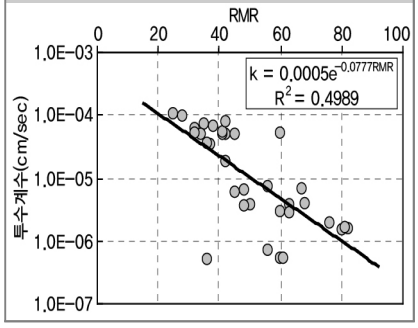
심도별 투수계수



지층별 투수계수

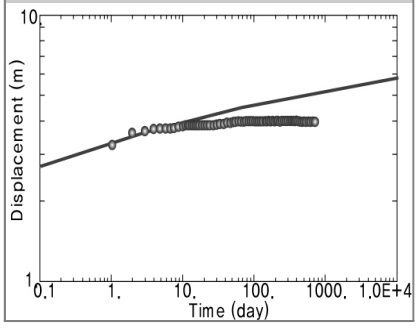


RMR – 투수계수 분석

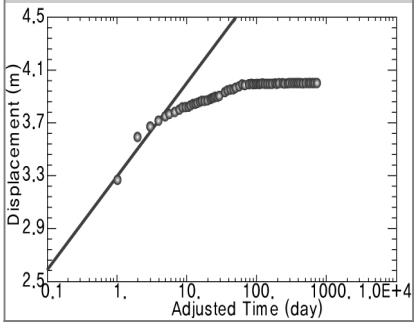


양수시험 및 순간충격시험

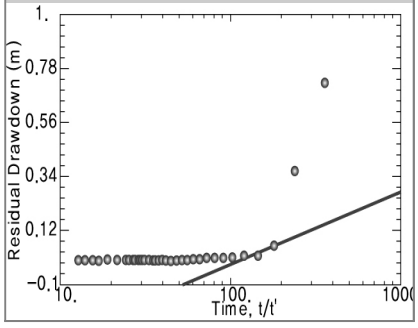
Theis



Cooper–Jacob



Theis Recovery



구 분	양수시험		회복시험	순간충격시험
	Theis	Cooper–Jacob	Theis Recovery	
투수량계수, T(cm^2/sec)	2.37×10^{-4}~1.36×10^{-1}	2.07×10^{-4}~9.81×10^{-2}	4.98×10^{-4}	–
저류계수, S	3.52×10^{-5}~1.17	1.54×10^{-4}~8.47×10^{-1}	–	–
수리전도도, K (cm/sec)	7.98×10^{-6}~2.37×10^{-4}	8.5×10^{-6}~2.07×10^{-4}	1.28×10^{-5}~4.98×10^{-4}	1.15×10^{-6}~5.68×10^{-3}

수리해석 설계지반정수 산정

지 층		문헌자료	적용사례	현장시험	기본설계	설계반영
매 립 층		$1.0 \sim 1.0\times10^{-4}$	$2.55\times10^{-4} \sim 1.20\times10^{-3}$	–	4.44×10^{-4}	4.44×10^{-4}
퇴적층	점 토	$1.0 \sim 1.0\times10^{-8}$	$4.11\times10^{-5} \sim 1.61\times10^{-3}$	$2.72\times10^{-5} \sim 5.95\times10^{-5}$	4.71×10^{-5}	4.53×10^{-5}
	모 래	$1.0\times10^{-2} \sim 1.0\times10^{-6}$	$9.77\times10^{-4} \sim 9.87\times10^{-4}$	$4.51\times10^{-4} \sim 7.52\times10^{-3}$	9.58×10^{-4}	1.48×10^{-3}
	자 갈	$1.0\times10^{-2} \sim 1.0\times10^{-6}$	$3.10\times10^{-4} \sim 2.04\times10^{-3}$	$1.72\times10^{-4} \sim 5.84\times10^{-3}$	6.11×10^{-3}	4.07×10^{-3}
풍 화 토		–	$2.22\times10^{-4} \sim 3.80\times10^{-4}$	$3.94\times10^{-5} \sim 7.52\times10^{-4}$	4.68×10^{-4}	4.85×10^{-4}
풍 화 암		–	$6.70\times10^{-5} \sim 6.95\times10^{-4}$	–	9.79×10^{-5}	9.79×10^{-5}
연 암		–	$2.22\times10^{-4} \sim 3.80\times10^{-4}$	$3.94\times10^{-5} \sim 7.52\times10^{-4}$	–	5.16×10^{-5}
터널구간	Ⅰ등급	$1.0\times10^{-9} \sim 1.0\times10^{-5}$	$4.15\times10^{-7} \sim 8.10\times10^{-5}$	–	1.50×10^{-6}	1.50×10^{-6}
	Ⅱ등급	$2.40\times10^{-6} \sim 6.03\times10^{-5}$	$5.21\times10^{-7} \sim 6.84\times10^{-6}$	2.62×10^{-6}	3.00×10^{-6}	
	Ⅲ등급	$2.50\times10^{-6} \sim 2.47\times10^{-5}$	$6.37\times10^{-6} \sim 1.85\times10^{-5}$	3.06×10^{-5}	2.07×10^{-5}	
	Ⅳ등급	$1.0\times10^{-5} \sim 1.0\times10^{-2}$	$1.10\times10^{-5} \sim 3.18\times10^{-5}$	$5.15\times10^{-7} \sim 1.05\times10^{-4}$	6.00×10^{-5}	5.41×10^{-5}
	Ⅴ등급	$3.42\times10^{-6} \sim 9.64\times10^{-5}$	–	8.00×10^{-5}	8.00×10^{-5}	

분석결과	•문헌자료와 적용사례 등의 범위를 고려하여 현장시험 평균값을 적용

7.7 설계지반정수 요약

연속체 설계지반정수

구 분		단위중량(kN/m³)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)	포아송비	투수계수(cm/sec)
토사쌓기재		19.0	15.0	25.0	–	–	–
매 립 층		18.0	0.0	26.0	9	0.32	4.44×10^{-4}
퇴적층	점 토	17.0	20.0	15.0	5	0.33	4.53×10^{-5}
	모 래	18.0	0.0	28.0	28	0.32	1.48×10^{-3}
	자 갈	20.0	0.0	35.0	50	0.28	4.07×10^{-3}
풍 화 토		20.0	21.0	29.0	60	0.32	4.85×10^{-4}
풍 화 암		21.0	30.0	33.0	300	0.30	9.79×10^{-5}
연 암		23.0	400.0	36.0	2,000	0.27	5.16×10^{-5}
경 암		26.0	1,300.0	40.0	12,000	0.23	2.25×10^{-6}
터널구간	Ⅴ등급	21.0	100.0	33.0	400	0.30	8.00×10^{-5}
	Ⅳ등급	22.0	400.0	34.0	1,000	0.28	5.41×10^{-5}
	Ⅲ등급	24.0	600.0	37.0	5,000	0.26	2.07×10^{-5}
	Ⅱ등급	26.0	1,300.0	40.0	12,000	0.23	3.00×10^{-6}
	Ⅰ등급	27.0	2,500.0	45.0	20,000	0.21	1.50×10^{-6}

불연속체 설계지반정수

구 분			방향성 (Dip/Dir)	JRC	JCS (MPa)	간격 (cm)	연장성 (cm)	점착력 (kPa)	내 부 마찰각(°)	수직강성 (MPa/mm)	전단강성 (MPa/mm)
HFD-1	0+000 ~ 5+480	J_1	46/122	11	14.8	20	63	40	35.30	12.73	0.70
		J_2	48/270	16	15.4	49	71	51	34.70	13.15	0.78
		J_3	60/350	9	15.2	52	87	45	35.00	12.94	0.74
HFD-2	5+480 ~ 6+560	J_1	44/283	16	16.7	39	72	30	28.17	12.90	1.20
		J_2	50/340	15	16.2	136	90	27	28.64	12.78	1.15
		J_3	63/176	14	17.3	60	84	34	27.87	13.14	1.24
HFD-3	6+560 ~ 8+130	J_1	58/160	15	16.6	20	116	10	34.53	13.03	1.78
		J_2	67/063	18	17.2	52	129	25	36.42	14.05	1.94
		J_3	63/314	13	18.8	71	144	54	38.15	14.47	2.07

동적 설계지반정수

지 층	V_p (m/sec)	V_s (m/sec)	밀 도 (kN/㎥)	지층별 동적물성치 분포			
				G_d (MPa)	E_d (MPa)	K_d (MPa)	ν_d
매 립 층	494	156	18	58	144	279	0.440
퇴 적 층	942	289	19	182	480	1,652	0.431
풍 화 토	1,156	424	20	405	1,052	2,409	0.408
풍 화 암	1,537	631	21	952	1,828	2,826	0.387
연 암	2,200	1,216	23	3,610	8,640	6,550	0.280
경 암	3,450	2,059	26	13,004	27,994	18,124	0.243

제8장 구조물 기초 안정성 검토

8.1 검토개요

8.1.1 기본방향

기본방향	• 국 · 내외 설계기준 분석 후 안전측 설계기준 적용 • 지반조건, 안정성, 경제성 및 시공성을 고려하여 기초형식 선정 • 현장시험 및 시험결과를 반영하여 최적의 지하차도 기초설계 • 선정된 기초형식에 대한 시공성을 평가하고 품질관리 및 유지관리 계획 수립

설계 수행흐름

지반특성분석 및 지지층 선정
- 기초 지지층의 심도파악을 위해 시추조사 시행
- 상부하중의 응력범위 고려
- 기초 지반의 역학적 특성파악
- 합리적인 지반정수 산정

기초형식 및 공법선정
- 상부하중 및 지반조건을 고려한 기초형식의 선정
- 시공성 및 경제성 분석
- 시공중 인접구조물 영향을 최소화한 공법선정
- 친환경적 기초공법 선정

기초 안정성 검토
- 다양한 방법에 의한 기초 지지력 및 침하량 검토
- 기초의 부등침하 검토
- 특수조건 및 시공성을 고려한 안정성 검토
- 지지하중에 대한 검토

시공 및 유지관리
- 기초의 합리적 시공을 위한 품질관리 계획 수립
- 시공사례 분석을 통한 시공개선사항 제시
- 지지력 검증을 위한 재하시험 계획

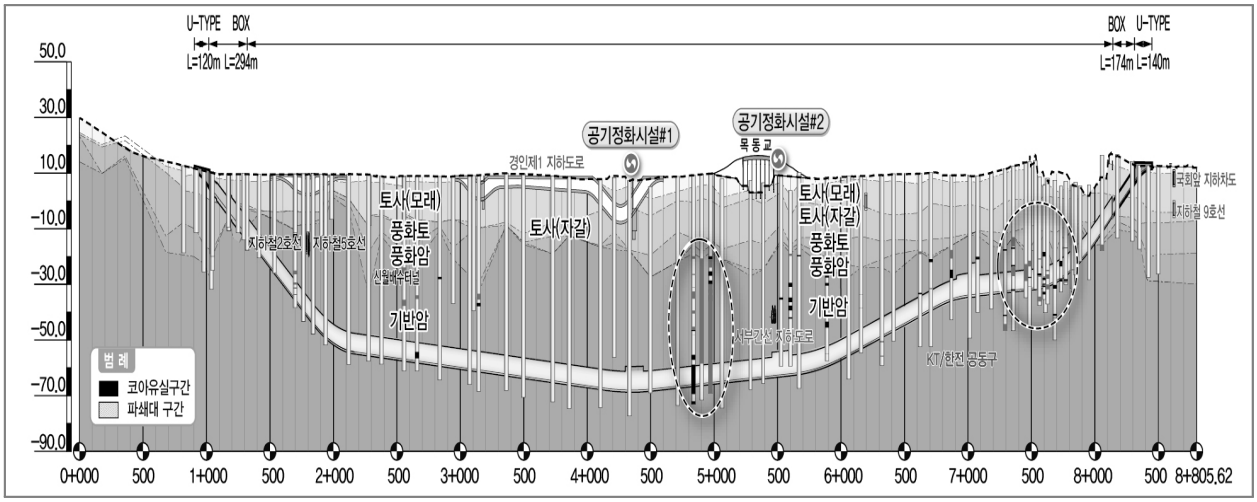
중점검토 사항

구 분	중점검토사항
지반조사 분석 및 설계기준 선정	• 상세 지반조사 분석을 통한 지반특성 파악 • 전 구간 시추조사(100m~200m 간격) 및 물리탐사 병행으로 지지층 변화 파악 • 퇴적특성 분석 및 지지층 평가시험 수행 • 설계기준 비교 후 안전측 설계기준 적용 (안전율, 침하량, 부등침하량)
지하차도 기초형식선정	• 기초저면 지반평가를 통한 기초계획의 적정성 파악 • 지하차도 전 구간에 대해 지내력이 확보 가능한 직접기초 선정
지하차도 안정성검토	• 지하차도 구간 경제적인 기초설계 계획 • 하부 지지층을 고려한 직접기초 안정성 검토 • 부등침하 안정성 검토 및 최소화 대책 수립 • 가시설 시공단계 고려하여 공동구 및 연도변 구조물 안정성 검토
말뚝기초 검토	• 지지력, 침하량 검토 • 말뚝기초의 안정성 확보 방안 계획
유지관리 계획	• 재하시험 및 암석시험 계획으로 기초 지지력 확보 • 기초 시공시 품질확보 방안 수립 및 반영

8.1.2 과업구간 현황

과업현황

지층분석현황



검토결과	• 지반은 매립층, 퇴적층, 풍화토, 풍화암, 연/경암 순으로 분포 • 퇴적자갈은 8.0~11.4m, 풍화토는 대부분이 모래질 실트층으로 5.2~11.0m의 두께로 분포

8.1.3 설계기준 검토

허용지지력 안전율 기준

구 분	도로교 설계기준 (2001)	구조물기초 설계기준(2009)	한국도로공사 도로설계편람	일본도로교 시 방 서	설계적용
상 시	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
지 진 시	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0

허용침하량 기준

Terzaghi & Peck	도로설계기준 (2001)	구조물기초 설계기준(2009)	국도건설공사 설계실무요령(2013)	설계적용
25.4mm	13.0mm(암반)	40~60.0mm(사질토) 60.0mm(점성토)	25.0~50.0mm	25.0mm 13.0mm(암반)

허용부등침하량 기준

구 분	도로설계요령 (2009)	구조물기초 설계기준(2009)	국도건설공사 설계 실무요령 (2013)	Skempton & McDonald	설계적용
각 변 위 기 준	1/200~1/250	1/500	1/200~1/300	1/300	1/500
최대부등침하량	20.0mm	–	20.0~40.0mm	점 토: 44mm(38mm) 사질토: 32mm(25mm)	20.0mm

적용 설계기준

구 분	허용 지지력		침 하 량		수평변위 (구조물기초설계기준)
	상 시	지 진 시	허용 침하량	부등 침하량	
설 계 적 용	3.0	2.0	25.0mm	20.0mm	B ≤ 1.5m : 15㎜ B 〉 1.5m : D×1%

8.2 기초형식 선정

8.2.1 기초형식 선정

기본방향	• 기초형식 결정은 내적(구조물 특성, 지반조건 등) 및 외적(현장조건, 시공성) 요인에 의해 선정 • 상세 지반조사를 통한 지층분포, 지지층 심도, 주변여건(소음 및 진동), 구조물의 특성 및 하중규모, 수심 등을 분석하여 안정성 및 시공성, 경제성을 확보할 수 있는 기초형식 선정 • 지하차도의 기초형식 선정을 위해 지층분포 및 지지층 심도, 주변지형 및 설계하중 등을 종합적으로 고려하여 선정기준을 만족하는 최적의 기초형식 선정

기초 형식 선정시 고려사항

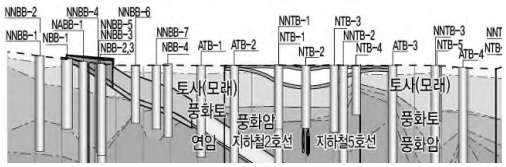
구 분	고 려 사 항
환 경 적 측 면	• 설계구간의 환경 오염방지에 유리한 기초형식 선정 • 인접 주거지의 소음진동영향 적은 기초공법 검토
지 반 분 포 조 건	• 기초 위치별 지층현황 분석 • 하중지지력 개념에 타당한 기초형식 및 지지층 선정
안 정 성	• 이론적, 경험적 방법 등 을 이용한 안정성 검토
시 공 성	• 현장상황을 고려한 기초의 형식 선정 • 시공기간을 최소화 할 수 있는 기초공법 검토
경 제 성	• 기초형식 및 규격별 공사비 검토를 통한 경제적인 형식 선정

기초 형식 선정기준

기 초 형 식	선 정 기 준
직 접 기 초	• 상부 구조물을 안전하게 지지하고 적절한 기초 시공이 가능한 지층 • 전단파괴나 과도한 침하 없이 충분히 지지할 수 있는 지층
깊 은 기 초	• 하부에 단층파쇄대등 연약층 위치로 직접기초 안정성 유지하기 어려운 경우 • 시공시 터파기 용지 확보 및 가설공사, 인근 지장물 영향 등 시공성 및 경제성 측면에서 직접기초보다 유리한 경우

지반현황

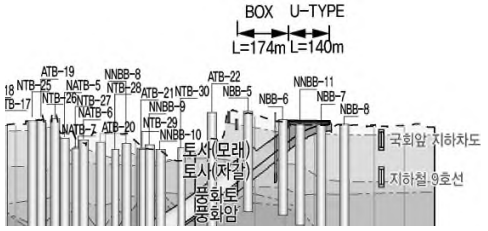
본선시점 개착구간(0+905~1+319)



결 과 분 석

- 퇴적 자갈층 분포두께: 0.5~1.0m 풍화암 출현심도 7.0~28.0m, 기반암 출현심도: 7.8~43.0m하부
- U-Type~Box구간 N값 3/30이상의 연약~보통견고 점성토 분포, 영업소구간 풍화대 발달, Box:15.7m이후 기반암 출현

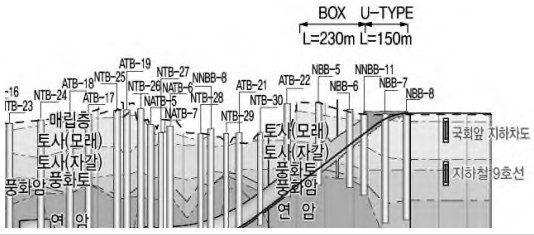
본선종점 개착구간(연결로-A)



결 과 분 석

- 퇴적 자갈층 분포두께: 3.8~12.7m(∅=1.0~20.0cm), 풍화암 출현심도: 12.7~33.0m, 기반암 출현심도: 14.0~33.0m하부
- 종단 계획상 기초저면부는 퇴적자갈 모래층이 분포
- 지하수위(EL), -0.3~1.9m로 지하구조물의 영향 없음, 종단계획상 터널 출구부 막장면 중~하부에 위치

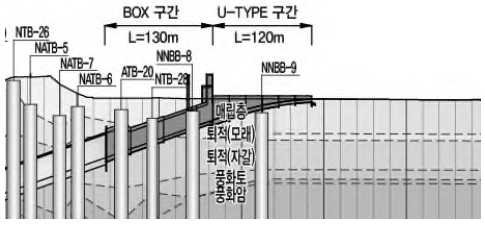
본선종점 개착구간(연결로-B)



결 과 분 석

- 퇴적 자갈층 분포두께: 3.8~12.7m(∅=1.0~20.0cm), 풍화암 출현심도: 14.4~33.0m, 기반암 출현심도: 15.2~33.0m하부
- Box구간 기초저면부 퇴적 자갈층 및 모래 분포, U-Type구간 N값 7이상 보통견고이상의 실트질 모래 및 자갈층 분포

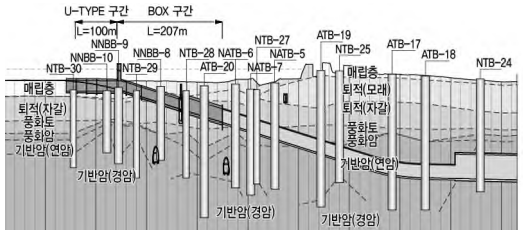
램프 개착구간(연결로-C)



결 과 분 석

- 퇴적 자갈층 분포두께: 7.1~12.5m(∅=1.0~20.0cm), 풍화암 출현심도: 16.0~31.5m, 기반암 출현심도: 17.0~33.0m하부
- 종점 Box~U-Type구간 기초저면부는 퇴적 자갈층 분포
- 지하수위(EL) -3.0~1.3m로 기복없음, 종단계획상 터널 출구부 막장면 하부에 위치

램프 개착구간(연결로-D)



결 과 분 석

- 퇴적 자갈층 분포두께: 7.1~12.7m(∅=1.0~20.0cm), 풍화암 출현심도: 12.7~31.5m, 기반암 출현심도: 14.5~33.0m하부
- BOX 구간 N값 13/30~50/6의 퇴적 자갈층이 주로 분포, U-Type 구간 매립 모래층이 분포
- NNBB-9(BOX 1구간)의 심도 6.6m까지 N값은 3~6으로 분포

검토결과	• Box 구간 기초저면부는 주로 N값 13/30~50/6의 퇴적 자갈층 및 모래 분포 • U-Type 구간 기초저면부는 주로 N값 7이상 보통견고이상의 실트질 모래 및 자갈층 분포 • 구간별 적용된 기초형식의 적정성 검증위해 검토단면에 대한 안정해석 수행 • 연결로-D의 BOX 1구간은 기초저면에 N값이 10이하로 U-Type 5구간~BOX 1구간은 0.5~1.0m 쇄석으로 치환함

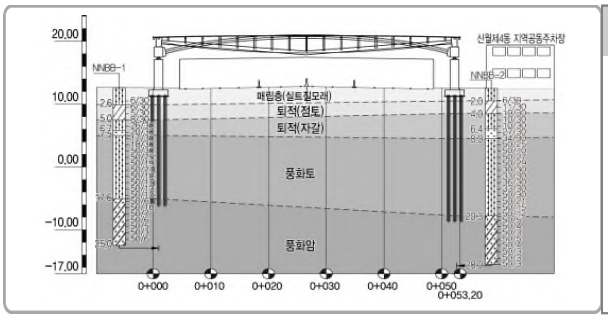
8.3 말뚝재료 및 시공법 선정

기본방향	• 말뚝기초 적용구간에 대하여 지반조건, 상부구조물의 하중, 시공성을 고려하여 말뚝재료를 비교 검토한 후 적절한 말뚝재료를 선정 • 자갈층이 깊게 분포되어 있으며, 도심지로 항타공법의 적용이 불가능 하므로 매입공법으로 선정

8.3.1 기초형식 선정조건

지반조건

신당보도육교



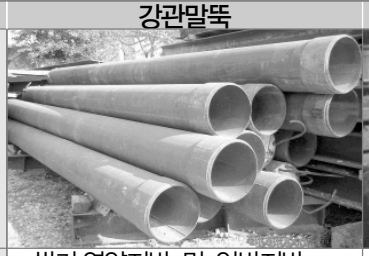
결 과 분 석

•퇴적 점토, 모래 지표하 5.5m하부까지 분포

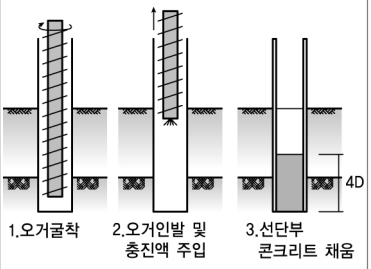
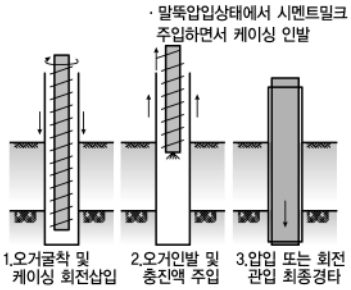
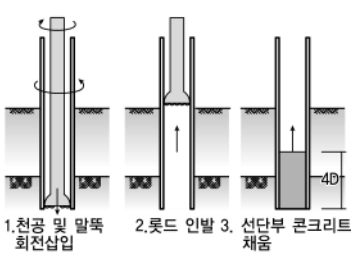
•견고한 점성토가 2.0~2.4m의 층후로 분포, 지지층(풍화암)의 출현심도는 17.6~20.3m로 분포

검토결과	• 직접기초 적용이 가능한 퇴적 모래 · 자갈층이 대부분의 구간에서 분포 • 심도 17.6m부터 출현하는 풍화암층을 말뚝기초 지지층으로 계획

8.3.2 말뚝기초 재료선정

구 분	강관말뚝	복합말뚝(HCP)	고강도 콘크리트말뚝(P.H.C)
공 법 개 요			
적 용 범 위	• 쌓기,연약지반 및 일반지반 • 지지층이 깊은 경우 • 10cm 이하의 자갈층 및 풍화암까지 항타가능	• 쌓기,연약지반 및 일반지반 적용 가능 • 말뚝길이 10m 이상일 경우 경제성 양호	• 15m 이하 지지층에 양호 • 지하수위가 높은 지역 불리 • 횡압이 비교적 작은 교각 기초말뚝에 주로 사용
시 공 방 법	• 항타기를 이용한 직타 또는 천공후 항타 • 매입말뚝 시공시 별도의 시멘트풀 주입 불필요	• 매입말뚝 시공시 별도의 시멘트풀 주입 불필요 • 주면고정액 감소로 환경피해 최소화	• 항타기를 이용한 직타 또는 천공후 항타 • 매입말뚝 적용시 시멘트 풀 주입
시 공 조 건	• Pile 이음, 절단 용이 • 운반과 취급 용이	• 운반과 취급에 주의가 요구됨	• Pile이용 및 절단이 곤란 하므로 15m이하의 심도에 적용
공 법 특 징	• 상부 풍화대까지 항타가 가능하므로 소정의 심도까지 근입가능하나 연암관입 곤란 • 재료특성상 수평력, 모멘트에 대한 저항성이 우수 • 공장제품으로 품질관리 용이 • 항타시 소음과 진동유발 • 부식 우려 있음	• PHC 말뚝을 절단하지 않으므로 구조적 손실없음. • 말뚝구성이 대부분 PHC말뚝으로 구성되어 자재비가 저렴 • 말뚝표면의 마찰계수가 커서 주면마찰력 확보용이 • 양호한 품질관리 곤란 • 지층에 상관없이 굴착가능	• 재료의 부식이 없어 내구성이 비교적 큼 • 수직 하중이 지배적인 구조물에 적합하나, 수평력 및 모멘트에 대한 저항은 상대적으로 떨어짐 • 절단과 연결이 어려워 현장 적용성 결여 • 두부 절단 시 Prestress 손실 발생
적 용	◉	◉	
검 토	• 본 과업 구간은 지지층 심도가 17.6m 이상이므로 매입시 시공 능률이 양호하고, 본당 허용 휨 응력이 우수하며, 횡방향 저항성이 크고, 두부 절단 시 Prestress 손실이 없으며, 시공성 및 경제성이 양호한 강관말뚝과 복합말뚝을 기초로 선정 • 신당보도육교 계단부 기초는 실시설계 기술심의 의견을 반영, 계단기둥을 지지층까지 연장하는 구조를 적용하기 위하여 강관말뚝으로 적용함		

8.3.3 말뚝기초 시공방법

구 분		SIP공법(시멘트밀크공법)	SDA공법	PRD공법
시공순서				
공법개요		• 오거장비를 사용 지지층까지 선굴착 • 시멘트 페이스트 등 주면고결액을 주입후 말뚝을 자중에 의해 관입 • 햄머로 최종 경타	• 내부 오거와 외부 Casing을 이용 굴착 • T4 오거 사용시 전석층 굴착가능 • 1차 시멘트밀크 주입후 오거인발 및 말뚝관입 • 2차 시멘트밀크 주입후 케이싱 인발	• 상호역회전하는 내측 Shaft와 외측 강관말뚝을 이용하여 굴착 • 저압 Air(10kg/cm^2 내외)를 이용 강관 내부를 굴착 배토
공법특징	장점	• 말뚝주변을 고결시키므로 주면마찰과 횡방향 저항에 유리 • 굴착토를 육안으로 확인할 수 있으므로 지지층확인이 가능함	• 굴착토를 육안으로 확인할 수 있으므로 지지층확인이 가능하며 큰 선단지지력 확보가 가능 • 외측 Casing을 이용하여 천공하기 때문에 공벽붕괴 우려 없음	• 지층에 따른 제약 없음 • 대심도(약80m) 시공이 가능 • 강관 선단에 Ring Bit가 부착되어 암반지지층까지 근입하므로 선단지지력 양호
	단점	• 붕괴시 곤란 • 품질관리 요구	• 심도가 깊은 경우 선단부 완전 배토가 어려움 • 작업공정이 다소 복잡	• 약간의 소음·진동 발생 • 공사비 고가 • 말뚝 압입시 말뚝손상 우려
적용			◉	
검토		• 모래, 자갈층이 지표하 8~10.5m 까지 분포하므로 공벽붕괴 우려가 없고 선단지지력 확보에 우수한 SDA 공법 적용		

8.4 기초 안정성 검토

기본방향	• 구간별 적용된 기초형식의 적정성 검증을 위해 검토단면에 대한 다양한 안정해석 수행 • 지층변화 영향 등에 의한 부등침하 검토 실시 • 시공단계별 불안정 요인 발생 여부 검토를 위한 시공 중 안정검토 수행

기초안정성 검토 흐름도

기초형식 분석	→	검토단면 선정	→	기초안정성 검토	→	대책공법 선정
• 기초지지층 특성분석 • 지반공학적 특성분석 • 최대 하중조건 산정		• 상부구조 형식 고려 • 지지층 조건 고려 • 기초 형식 고려		• 이론적인 방법 • 경험적인 방법 • 수치해석적 방법		• 부등침하 방지대책 • 연동침하 방지대책 • 유지관리계획

8.4.1 직접기초 지지력 및 침하량 검토

직접기초 지지력 및 침하량

이론적 지지력 산정

<table>
<tr><th>검토방법</th><th>지지력 산정방법</th><th>고 려 사 항</th></tr>
<tr><td rowspan="3">Terzaghi
지지력 공식</td><td>

$$Q_u = \alpha C N_c + q N_q + \beta \gamma_1 B N_r$$

γ_1 : 기초 아래지반의 단위중량
α , β: 기초의 형상계수
B: 기초의 폭(m)
N_c, N_q, N_r : 지지력 계수
q: 상재하중(kN/㎡), $q = \gamma_2 \cdot D_f$
D_f : 기초의 근입심도 (m)
C: 지반의 점착력(kN/㎡)

</td><td rowspan="3">• 지하수위 영향을 고려
• 편심이 작용하지 않는 수평기초</td></tr>
<tr><td>

형상계수	기초저면의 형상			
	줄기초	정사각형	직사각형	원형
α	1	1.3	1+0.3 B/L	1.3
β	0.5	0.4	0.5–0.1 B/L	0.3

</td></tr>
<tr><td>

$$N_c = \cot\phi' \left[\frac{e^{2(3\pi/4 - \phi'/2)\tan\phi'}}{2\cos^2(\frac{\pi}{4} + \frac{\phi'}{2})} - 1 \right] = \cot\phi'(N_q - 1)$$

$$N_q = \frac{e^{2(3\pi/4 - \phi'/2)\tan\phi'}}{2\cos^2\left(45 + \frac{\phi'}{2}\right)}$$

$$N_\gamma = \frac{1}{2}\left(\frac{K_{p\gamma}}{\cos^2\phi'} - 1\right)\tan\phi' \approx \frac{2(N_q + 1)\tan\phi}{1 + 0.4\sin(4\phi)}$$

ϕ'	N_c	N_q	N_γ^a	ϕ'	N_c	N_q	N_γ^a
0	5.70	1.00	0.00	30	37.16	22.46	19.13
5	7.34	1.64	0.14	35	57.75	41.44	45.41
10	9.61	2.69	0.56	40	95.66	81.27	115.31
15	12.86	4.45	1.52	45	172.28	173.28	325.34
20	17.69	7.44	3.64	50	347.50	415.14	1072.80
25	25.13	12.72	8.34				

</td></tr>
</table>

경험에 의한 지지력 추정

- 개략적인 지지력 예측이 필요하거나 정밀한 토성치 조사를 시행할 여건이 안되는 경우에 사용
- 전단파괴에 대한 적합한 안전율과 과도한 침하에 의한 피해를 피하도록 제시된 것이며, 부등침하가 엄격히 규제되어야 할 경우, 지반조사와 실험을 수반한 이론적 지지력 산정이 반드시 필요
- 인근 구조물 기초성과를 참작하여 검토되어야 함

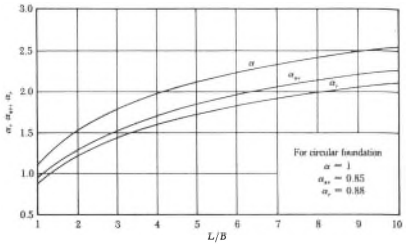
<table>
<tr><th>검토방법</th><th>지지력 산정방법</th><th>고 려 사 항</th></tr>
<tr><td rowspan="2">구조물 기초 설계기준 해설 (2009)</td><td>• 후팅의 크기, 근입 깊이에 따라 경험값을 수정하여 사용
• 연약한 점토로부터 중간 정도 굳은 세립토의 지지력 경험값은 신뢰도가 떨어져 이론적 지지력 산정을 통해 검토
• 지지층 아래 연약하고 압축성이 큰 지층이 있으면 기초 전반의 압밀 침하 검토가 필요</td><td rowspan="2">• 지지층 종류 및 현장 연경도 상태에 따른 확대기초 경험치 제안
• 연한 암반이나 사질토 지반에서는 최소 근입 깊이(0.5m)로부터 근입 깊이가 0.3m 증가할 때마다 공칭 경험값의 5%를 할증하여 사용</td></tr>
<tr><td>
<table>
<tr><th rowspan="2">지지층의종류</th><th rowspan="2">현장연경도상태</th><th colspan="2">허용지지력(kN/㎡)</th></tr>
<tr><th>범 위</th><th>추천값</th></tr>
<tr><td>입도분포가 양호한 세립토 모래자갈의 혼합물: 빙하퇴적물, 하드팬(hardpan),점성토섞인 자갈(GW-GC,GC,SC)</td><td>매우조밀함</td><td>850~1,300</td><td>1,050</td></tr>
<tr><td rowspan="3">자갈,자갈-모래혼합물, 호박돌-자갈혼합물 (GW,GP,SW,SP)</td><td>매우조밀함</td><td>650~1,050</td><td>750</td></tr>
<tr><td>중간정도조밀</td><td>400~750</td><td>500</td></tr>
<tr><td>느슨함</td><td>200~650</td><td>300</td></tr>
<tr><td rowspan="3">입자가 굵거나 중간정도의 모래, 자갈이 약간섞인모래(SW,SP)</td><td>매우조밀함</td><td>400~650</td><td>400</td></tr>
<tr><td>중간정도조밀</td><td>200~400</td><td>300</td></tr>
<tr><td>느슨함</td><td>100~300</td><td>150</td></tr>
<tr><td rowspan="3">가는모래, 실트질이나 점토질 중간정도 입도가 굵은모래(SW,SM,SC)</td><td>매우조밀함</td><td>300~500</td><td>300</td></tr>
<tr><td>중간정도조밀</td><td>200~400</td><td>250</td></tr>
<tr><td>느슨함</td><td>100~300</td><td>150</td></tr>
<tr><td rowspan="3">균질한점토, 모래질이나 실트질, 점토</td><td>굳음</td><td>300~600</td><td>400</td></tr>
<tr><td>중간정도굳음</td><td>100~300</td><td>200</td></tr>
<tr><td>느슨함</td><td>50~100</td><td>50</td></tr>
<tr><td rowspan="3">실트, 모래질실트, 점토질실트, 교호된(varved) 실트-점토-세사층</td><td>매우굳음</td><td>200~400</td><td>300</td></tr>
<tr><td>중간정도굳음</td><td>100~300</td><td>150</td></tr>
<tr><td>연함</td><td>50~100</td><td>50</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

➲ 현장시험에 의한 지지력 산정

<table>
<tr><th>검토방법</th><th>지지력 산정방법</th><th>고 려 사 항</th></tr>
<tr><td>수정
Meyerhof
방법</td><td>$Q_u = 19NK_d$ B < 1.2m
$Q_u = 12NK_d \times (\frac{B+0.3}{B})^2$ B ≥ 1.2m
N: 보정된 SPT 관입치 K_d: 깊이계수
$K_d = 1 + \frac{D_f}{3B}$ D ≤ B
$K_d = 1.3$ D > B
<table>
<tr><td>N'</td><td>5</td><td>10</td><td>20</td><td>40</td><td>60</td></tr>
<tr><td>$\overline{\Phi}$</td><td>28</td><td>30</td><td>33</td><td>39</td><td>43</td></tr>
</table></td><td>• 최대침하량 25mm 전제</td></tr>
</table>

➲ 침하량 산정

<table>
<tr><th>검토방법</th><th>침하량 산정방법</th><th>고 려 사 항</th></tr>
<tr><td>Schmertmann
방법</td><td>• 지반내 연직응력 분포 형태와 유사하게 변형분포를 경험적으로 근사화시킨 것으로, 지층별로 영향계수를 적용하여 그 침하량을 산정 불균질 지반에 적용
$$S_i = C_p C_t \Delta P \sum \frac{I_z}{E} \Delta P$$
$C_p = 1 - 0.5(\sigma'_{v_0} / \Delta P)$: 기초의 근입깊이에 대한 보정계수
$C_p = 1 + 0.2\log_{10}(t/0.1), t =$ 년: 모래의 Creep에 대한 보정계수
I_Z: 변형 영향계수
ΔP: 기초에 작용하는 순연직응력 증가
σ'_{v_0}: 기초바닥부분의 초기 연직응력
E: 기초지반의 변형계수
Δz: 각 토층의 두께
σ'_{v_p}: 최대영향계수를 나타내는 깊이에서의 연직응력
<table>
<tr><td rowspan="2">L/B</td><td>Zmax</td><td>Zp</td><td rowspan="2">Izt</td><td colspan="4">Izp의최대값</td></tr>
<tr><td>B</td><td>B</td><td>Δp/σvp'=1</td><td>2</td><td>4</td><td>10</td></tr>
<tr><td>1</td><td>2.00</td><td>0.50</td><td>0.11</td><td>0.60</td><td>0.64</td><td>0.70</td><td>0.82</td></tr>
<tr><td>2</td><td>2.20</td><td>0.55</td><td>0.13</td><td>0.60</td><td>0.64</td><td>0.70</td><td>0.82</td></tr>
<tr><td>4</td><td>2.65</td><td>0.65</td><td>0.18</td><td>0.60</td><td>0.64</td><td>0.70</td><td>0.82</td></tr>
<tr><td>8</td><td>3.55</td><td>0.90</td><td>0.20</td><td>0.60</td><td>0.64</td><td>0.70</td><td>0.82</td></tr>
<tr><td>≥10</td><td>4.00</td><td>1.00</td><td>0.10</td><td>0.60</td><td>0.64</td><td>0.70</td><td>0.82</td></tr>
</table></td><td>• L/B에 따른 영향계수 사용
• 토사지반에만 적용가능
• 연결로-D의 BOX 1구간, 대표시추주상도 NNBB-9에서 심도 6.6m 까지 N값이 3~6으로 나타남
• 기초의 안정성을 위해 U-Type 5구간~BOX 1구간은 쇄석으로 심도 0.5~1.0m 치환
• 치환 쇄석의 물성은 N=20 적용
• E(kPa) = 766N</td></tr>
<tr><td>Vesic
제안식
(지반계수법)</td><td>• 접지압과 침하량의 관계가 서로 비례한다고 가정한 식에 근거한 방법
$$S_i = \frac{1}{K_s} q$$
$K_s = \frac{E}{B(1-\upsilon^2)}$: 지반반력계수
q: 기초상부 연직응력 E: 기초지반의 변형계수
B: 기초폭 υ: 포와송비</td><td>• 기초지반의 변형계수와 포아송비가 중요</td></tr>
</table>

<table>
<tr><th>검토방법</th><th>침하량 산정방법</th><th>고 려 사 항</th></tr>
<tr><td rowspan="4">Harr
제안식</td><td>• 탄성이론에 의한 침하량 산정</td><td rowspan="4">• 기초지반의 변형계수와 포아송비가 중요</td></tr>
<tr><td>$$S_i = qB\frac{(1-\upsilon^2)}{E}\alpha_r$$
q: 기초상부 작용응력
B: 기초폭
E: 기초지반의 변형계수
υ: 포와송비
α_r: 탄성침하의 영향계수(구조물기초설계표 또는 Harr 도표 이용)</td></tr>
<tr><td>
<table>
<tr><th colspan="2">구 분</th><th>강성기초</th></tr>
<tr><td colspan="2">원형기초</td><td>0.785</td></tr>
<tr><td colspan="2">정방향기초</td><td>0.880</td></tr>
<tr><td rowspan="3">구 형
기 초</td><td>L/B=2</td><td>1.120</td></tr>
<tr><td>L/B=5</td><td>1.600</td></tr>
<tr><td>L/B=10</td><td>2.000</td></tr>
</table>
〈구조물기초 설계기준〉


〈Harr의 제안도표〉
</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Schleicher
방법
(AASHTO)</td><td>• 탄성론에 의거한 방법으로 대상지반을 homogeneous, isotrophic한 탄성체로 가정</td><td rowspan="3">• 일축압축강도와 암질상태를 고려한 침하량 예측</td></tr>
<tr><td>$$S_i = \frac{C_d\, q\, B(1-\upsilon^2)}{E}$$
C_d: 기초저면 형상과 강성에 따라 결정하는 침하계수
B: 기초상부 연직응력
q: 기초폭
E: 기초지반의 변형계수
υ: 포와송비</td></tr>
<tr><td>
<table>
<tr><th>길이/폭</th><th>중심</th><th>모서리</th><th>단변의 중심</th><th>장변의 중심</th><th>평균</th></tr>
<tr><td>Circle</td><td>1.00</td><td>0.64</td><td>0.64</td><td>0.64</td><td>0.85</td></tr>
<tr><td>Circle(rigid)</td><td>0.79</td><td>0.79</td><td>0.79</td><td>0.79</td><td>0.79</td></tr>
<tr><td>Square</td><td>1.12</td><td>0.56</td><td>0.76</td><td>0.76</td><td>0.95</td></tr>
<tr><td>Square(rigid)</td><td>0.99</td><td>0.99</td><td>0.99</td><td>0.99</td><td>0.99</td></tr>
<tr><td>1.5</td><td>1.36</td><td>0.67</td><td>0.89</td><td>0.97</td><td>1.15</td></tr>
<tr><td>2</td><td>1.52</td><td>0.76</td><td>0.98</td><td>1.12</td><td>1.30</td></tr>
<tr><td>3</td><td>1.78</td><td>0.88</td><td>1.11</td><td>1.35</td><td>1.52</td></tr>
<tr><td>5</td><td>2.10</td><td>1.05</td><td>1.27</td><td>1.68</td><td>1.83</td></tr>
<tr><td>10</td><td>2.53</td><td>1.26</td><td>1.49</td><td>2.12</td><td>2.25</td></tr>
<tr><td>100</td><td>4.00</td><td>2.00</td><td>2.20</td><td>3.60</td><td>3.70</td></tr>
<tr><td>1000</td><td>5.47</td><td>2.75</td><td>2.94</td><td>5.03</td><td>5.15</td></tr>
<tr><td>10000</td><td>6.90</td><td>3.50</td><td>3.70</td><td>6.50</td><td>6.60</td></tr>
</table>
</td></tr>
</table>

직접기초 지지력 검토결과

본선시점 개착구간(여의도 방향)

구 분		검토위치 (STA.)		기초지지력 (kN/m²)				지반반력 (kN/m²)	판정	비 고
				Terzaghi	수정 Meyerhof	구조물기초 설계기준	설계적용			
시 점 부 (여의도방향)	U-Type	U1	0+905	357.82	239.31	170.75	170.75	53.68	O.K	
		U2	0+925	418.36	281.14	188.50	188.50	55.43	O.K	
		U3	0+945	497.65	301.52	211.75	211.75	57.43	O.K	
		U4	0+965	577.69	310.63	236.00	236.00	60.31	O.K	
		U5	0+985	876.25	397.53	527.50	527.50	60.62	O.K	
		U6	1+005	760.65	463.19	584.50	584.50	60.24	O.K	
	B O X	B1	1+025	930.02	602.85	645.50	602.85	157.91	O.K	
		B2	1+049	1,009.13	583.73	722.00	583.73	162.98	O.K	
		B3	1+079	1,831.16	733.91	1,991.50	733.91	215.26	O.K	
		B4	1+119	1,997.68	721.30	2,259.83	721.30	259.49	O.K	
		B5	1+159	2,132.86	721.30	2,535.17	721.30	277.72	O.K	
		B6	1+199	2,372.26	813.67	2,851.33	813.67	337.82	O.K	
		B7	1+239	2,528.77	813.67	3,127.83	813.67	379.81	O.K	
		B8	1+279	4,806.35	813.67	5,117.00	813.67	423.32	O.K	
	집 수 정		1+231.4	4,310.49	822.71	4,291.70	822.71	391.19	O.K	
	차량용 피난 연 결 통 로		1+225	3,949.5	825.21	4,145.80	825.21	330.00	O.K	
	집수정점검 통로A-A		1+233.5	4,716.7	872.60	5,656.00	872.60	472.58	O.K	
	집수정점검 통로D-D		1+238.4	3,721.3	933.11	4,285.80	933.11	206.57	O.K	
	대인연결통로1		1+216	3,948.60	820.51	4,049.50	820.51	240.77	O.K	
	대인연결통로2		1+216	3,540.30	901.39	4,049.50	901.39	282.18	O.K	

➲ 본선시점 개착구간(인천 방향)

구 분		검토위치 (STA.)		기초지지력 (kN/m²)				지반반력 (kN/m²)	판정	비 고
				Terzaghi	수정 Meyerhof	구조물기초 설계기준	설계적용			
시 점 부 (인천방향)	U-Type	U1	0+905	347.19	259.93	170.75	170.75	53.68	O.K	
		U2	0+925	405.17	266.17	187.75	187.75	55.43	O.K	
		U3	0+945	489.97	274.15	209.50	209.50	57.43	O.K	
		U4	0+965	569.17	277.50	467.00	277.50	60.31	O.K	
		U5	0+985	257.83	397.05	522.50	257.83	60.62	O.K	
		U6	1+005	288.88	407.19	581.00	288.88	60.24	O.K	
	B O X	B1	1+025	295.56	405.76	645.50	295.56	157.91	O.K	
		B2	1+049	1,009.13	523.86	1,203.33	523.86	162.98	O.K	
		B3	1+079	1,844.48	752.17	2,003.17	752.17	215.26	O.K	
		B4	1+119	1,989.67	737.69	2,270.33	737.69	259.49	O.K	
		B5	1+159	2,172.82	737.69	2,570.17	737.69	277.72	O.K	
		B6	1+199	2,410.89	813.67	4,327.75	813.67	337.82	O.K	
		B7	1+239	4,534.54	813.67	4,714.50	813.67	379.81	O.K	
		B8	1+279	4,804.09	813.67	5,115.25	813.67	423.32	O.K	
	집 수 정		1+231.4	4,364.86	804.50	4,333.88	804.50	393.41	O.K	

➲ 본선종점 개착구간(Ramp-A)

구 분		검토위치 (STA.)		기초지지력 (kN/m²)				지반반력 (kN/m²)	판정	비 고
				Terzaghi	수정 Meyerhof	구조물기초 설계기준	설계적용			
Ramp-A	B O X	B1	8+136	3,303.89	816.42	3,392.32	816.42	278.92	O.K	
		B2	8+160	6,112.31	816.99	2,268.25	816.99	261.64	O.K	
		B3	8+200	5,480.21	816.99	1,961.50	816.99	215.53	O.K	
		B4	8+240	5,642.84	749.47	1,628.25	749.47	252.63	O.K	
		B5	8+280	1,541.26	698.61	783.85	698.61	174.12	O.K	
	U-Type	U1	8+310	1251.33	584.65	640.50	584.65	75.47	O.K	
		U2	8+330	1081.28	390.41	541.95	390.41	61.49	O.K	
		U3	8+350	902.72	384.56	478.25	384.56	50.37	O.K	
		U4	8+370	769.10	318.49	417.40	318.49	51.08	O.K	
		U5	8+390	499.01	372.75	186.70	186.70	53.65	O.K	
		U6	8+410	452.20	367.66	172.98	172.98	52.65	O.K	
		U7	8+430	419.80	364.14	163.48	163.48	52.02	O.K	
	집 수 정		8+261	5,026.86	739.33	1,973.58	739.33	268.22	O.K	

➲ 본선종점 개착구간(Ramp-B)

구 분		검토위치 (STA.)		기초지지력 (kN/m²)				지반반력 (kN/m²)	판정	비 고
				Terzaghi	수정 Meyerhof	구조물기초 설계기준	설계적용			
Ramp-B	B O X	B1	8+110	6,367.96	815.32	5,972.75	815.32	511.14	O.K	
		B2	8+140	6,076.39	815.32	5,572.53	815.32	473.48	O.K	
		B3	8+180	3,259.02	816.42	3,363.85	816.42	410.92	O.K	
		B4	8+220	5,482.56	816.99	2,033.75	816.99	348.10	O.K	
		B5	8+260	4,766.89	818.20	1,686.08	818.20	267.36	O.K	
		B6	8+300	1,643.02	754.45	826.85	754.45	191.71	O.K	
	U-Type	U1	8+340	1,227.91	501.52	649.85	501.52	82.22	O.K	
		U2	8+360	1,031.60	487.38	568.15	487.38	69.32	O.K	
		U3	8+380	865.46	427.30	499.95	427.30	59.17	O.K	
		U4	8+400	694.60	416.58	433.85	416.58	53.73	O.K	
		U5	8+420	595.90	400.06	389.40	389.40	51.40	O.K	
		U6	8+440	509.45	389.54	348.95	348.95	53.54	O.K	
		U7	8+460	337.14	338.31	162.35	162.35	52.42	O.K	
		U8	8+475	312.95	335.81	156.90	156.90	51.93	O.K	
	집 수 정		8+241	3,162.00	806.22	3,269.58	806.22	349.49	O.K	

➲ 램프 개착구간(Ramp-C)

구 분		검토위치 (STA.)		기초 지지력 (kN/m²)				지반반력 (kN/m²)	판정	비 고
				Terzaghi	수정 Meyerhof	구조물기초 설계기준	설계적용			
Ramp-C	B O X	B1	0+635	4,079.65	824.78	1,747.75	824.77	266.39	O.K	
		B2	0+665	3,835.45	538.32	1,565.25	538.32	246.57	O.K	
		B3	0+705	3,556.14	668.24	1,318.17	668.24	192.04	O.K	
		B4	0+745	1,180.30	510.41	642.65	510.41	161.82	O.K	
	U-Type	U1	0+765	776.28	447.84	299.03	299.03	85.66	O.K	
		U2	0+785	657.68	384.56	264.25	264.25	67.33	O.K	
		U3	0+805	514.42	368.91	225.83	225.83	61.30	O.K	
		U4	0+825	430.27	355.46	201.15	201.15	59.21	O.K	
		U5	0+845	352.62	345.19	179.98	179.98	59.47	O.K	
		U6	0+865	300.10	336.57	164.58	164.58	57.09	O.K	
	집 수 정		0+733	3,749.04	740.91	1,570.42	740.91	287.38	O.K	

➲ 램프 개착구간(Ramp-D)

구 분		검토위치 (STA.)		기초지지력 (kN/m²)				지반반력 (kN/m²)	판정	비 고
				Terzaghi	수정 Meyerhof	구조물기초 설계기준	설계적용			
Ramp-D	U-Type	U1	0+142	1,955.17	497.82	274.40	274.40	141.78	O.K	
		U2	0+162	1,944.20	496.90	273.15	273.15	135.39	O.K	
		U3	1+182	1,723.69	478.38	247.98	247.98	129.94	O.K	
		U4	0+202	2,001.07	579.35	277.24	277.24	143.81	O.K	
		U5	0+222	1,965.88	576.00	273.23	273.23	102.42	O.K	치환
	B O X	B1	0+242	949.61	408.59	248.08	248.08	155.87	O.K	치환
		B2	0+206	1,111.82	472.54	914.03	472.54	165.64	O.K	
		B3	0+290	6,632.89	625.68	1,094.21	625.68	193.68	O.K	
		B4	0+330	6,243.24	778.22	1,339.16	778.22	233.14	O.K	
		B5	0+370	5,468.13	691.86	1,569.94	691.86	273.87	O.K	
		B6	0+410	6,106.67	676.63	1,776.57	676.63	320.11	O.K	
	집 수 정		0+364	8,185.57	840.51	1,943.74	840.51	274.43	O.K	

직접기초 침하량 검토결과

직접기초 침하량 검토

구 분		검토위치 (STA.)	침하량 산정결과(mm)				허용침하 (mm)	판정	비 고
			Schmertmann	Vesic-Harr	AASHTO	설계적용			
시점구간 (여의도방향)	U-Type	0+905.00	5.19	6.13	8.35	8.35	25	O.K	
	B O X	1+025.00	4.39	2.75	3.73	4.39	25	O.K	
		1+279.00	-	0.96	1.33	1.33	13	O.K	암반
시점구간 (인천방향)	U-Type	0+905.00	14.12	7.05	9.6	14.12	25	O.K	
	B O X	1+025.00	3.78	7.22	9.80	9.80	25	O.K	
		1+279.00	-	0.97	1.33	1.33	13	O.K	암반
Ramp-A	U-Type	8+430.00	6.01	8.29	11.22	11.22	25	O.K	
	B O X	8+240.00	5.51	5.63	7.75	7.75	25	O.K	
		8+136.00	0.82	1.78	2.43	2.43	25	O.K	
Ramp-B	U-Type	8+475.00	8.84	10.63	14.15	14.15	25	O.K	
	B O X	8+260.00	0.44	0.64	0.88	0.88	25	O.K	
		8+110.00	-	4.65	6.34	6.34	13	O.K	암반
	집 수 정	8+241.00	0.21	0.42	0.34	0.42	25	O.K	
Ramp-C	U-Type	0+865.00	13.39	9.83	13.53	13.53	25	O.K	
	B O X	0+745.00	1.97	2.09	2.80	2.80	25	O.K	
		0+635.00	1.06	1.28	1.74	1.74	25	O.K	
Ramp-D	U-Type	0+142	6.04	8.51	11.73	11.73	25	O.K	
	B O X	0+242	9.89	17.09	22.98	22.98	25	O.K	치환
		0+410	4.11	4.92	6.48	6.48	25	O.K	
	집 수 정	0+364	0.64	0.85	1.16	1.16	25	O.K	

8.4.2 말뚝기초 지지력 및 침하량 검토

말뚝기초 지지력 및 침하량

지지력 산정

<table>
<tr><th>검토방법</th><th>지지력 산정방법</th><th>고 려 사 항</th></tr>
<tr><td rowspan="2">도로교
표준시방서</td><td>

$$Q_a = \frac{1}{F_s}(q_d A + U\,\Sigma l_i f_i)$$

Q_a: 허용 지지력
q_d: 말뚝선단에서의 단위면적당 극한 지지력
A: 말뚝선단 지지면적
U: 말뚝 주면장
l_i: 주면마찰력을 고려하는 층두께
f_i: 상기층의 최대 주면마찰력

</td><td rowspan="2">• 지하수위 영향을 고려
• 편심이 작용하지 않는 수평기초</td></tr>
<tr><td>

<table>
<tr><th>시공법</th><th>선단지지력</th><th>말뚝선단부의 조건</th><th>주면마찰력의 산정식</th></tr>
<tr><td>타격공법</td><td>$Q_p = 30\overline{N}A_p$</td><td>$\overline{N}$는 말뚝 선단부의 평균치$\overline{N_s} \leq 50$</td><td>$Q_f = \left(\frac{1}{5}\overline{N_s}L_s + \frac{1}{2}\overline{q_u}L_c\right)\cdot U$
$\overline{N_s} \leq 50$
$\overline{q_u} \leq 20\left(\overline{q_u} = 1.25N\right)$</td></tr>
<tr><td>시멘트페이스트 주입공법</td><td>$Q_p = 20\overline{N}A_p$</td><td>$\overline{N}$는 말뚝 선단부의 평균치$\overline{N_s} \leq 50$</td><td>$Q_f = \left(\frac{1}{5}\overline{N_s}L_s + \frac{1}{2}\overline{q_u}L_c\right)\cdot U$
$\overline{N_s} \leq 25$
$\overline{q_u} \leq 10\left(\overline{q_u} = 1.25N\right)$</td></tr>
<tr><td>선굴착 고결공법</td><td>$Q_p = 25\overline{N}A_p$</td><td>$\overline{N}$는 말뚝 선단부의 평균치$\overline{N_s} \leq 50$</td><td>$Q_f = \left(\frac{1}{5}\overline{N_s}L_s + \frac{1}{2}\overline{q_u}L_c\right)\cdot U$
$\overline{N_s} \leq 25$
$\overline{q_u} \leq 10\left(\overline{q_u} = 1.25N\right)$</td></tr>
<tr><td>선굴착 최종 타격공법</td><td>$Q_p = 30\overline{N}A_p$</td><td>$\overline{N}$는 1D~4D 선단부의 평균치$\overline{N_s} \leq 50$</td><td>$Q_f = \left(\frac{1}{5}\overline{N_s}L_s + \frac{1}{2}\overline{q_u}L_c\right)\cdot U$
$\overline{N_s} \leq 25$
$\overline{q_u} \leq 10\left(\overline{q_u} = 1.25N\right)$</td></tr>
<tr><td>선굴착 최종 경타공법</td><td>$Q_p = 25\overline{N}A_p$</td><td>$\overline{N}$는 1D~4D 선단부의 평균치$\overline{N_s} \leq 50$</td><td>$Q_f = \left(0.9L_s + 24L_c\right)\cdot U$</td></tr>
</table>

</td></tr>
</table>

말뚝재료에 의한 허용지지력 산정

<table>
<tr><th>검토방법</th><th>지지력 산정방법</th><th>내 용</th><th>적 용 치</th></tr>
<tr><td rowspan="3">

$$Q_a = (1 - \frac{\mu_1 + \mu_2}{100})\sigma_{as}\cdot A$$

μ_1: 세장비에 대한 저감율
μ_2: 현장용접이음 저감율
σ_{as}: 말뚝재료의 허용압축응력
A: 말뚝의 유효순단면적

</td><td>장기허용압축력
σ_c (kgf/cm2)</td><td>• PHC: 20,000
• SS-PHC: 20,000</td><td>• PHC: 20,000</td></tr>
<tr><td>이음 감소율
μ_1(%)</td><td>• 용접식 이음: 5%/개소
• 볼트식 이음: 10%/개소
• 충전식 이음: 최소 2개소 20%/개소
3개소이상 30%/개소</td><td rowspan="2">• 본 설계구간에 적용한 말뚝 기초의 길이가 10m이상으로 이음 및 직경비에 대한 감소율을 검토한 결과 이음 감소율 5% 적용
• 선굴착후 시공된 말뚝의 경우에는 타격에 의한 이음부의 손상이 없으므로 표에 나타난 감소율의 1/2만 적용</td></tr>
<tr><td>세장비 감소율
μ_2(%)</td><td>• $\mu_2 = [\frac{L}{d} - n]\times 100$
L/d: 말뚝길이/말뚝직경 = 장경비
n: L/d의 상한 값(100)</td></tr>
</table>

➲ 수평지지력 산정

<table>
<tr><th>검토방법</th><th>지지력 산정방법</th><th>고 려 사 항</th></tr>
<tr><td rowspan="3">도로교
설계기준
해설
(2008)</td><td>

$$K_H = K_{h_0}\left(\frac{B_H}{30}\right)^{-\frac{3}{4}}$$

$K_{h_0} = \frac{1}{30}\alpha E_0$: 지름 30cm의 강체원판에 의한 재하시험결과에 상당하는 수평방향지반반력계수
B_H : 하중작용방향에 직교하는 기초의 환산재하폭, $\sqrt{D/\beta}$
E_0 : 측정 또는 추정한 설계의 대상이 되는 위치에서의 지반의 변형계수
α : 상시 = 1.0 , 지진시 = 2.0

</td><td rowspan="3">• 지하수위 영향을 고려
• 편심이 작용하지 않는 수평기초</td></tr>
<tr><td>

• 토질조건에 따른 변형계수(E_0 – N)

<table>
<tr><th rowspan="2">흙의 종류</th><th colspan="3">E_o / N</th></tr>
<tr><th>NAVFAC DM-7</th><th>철도교설계기준</th><th>한국지반공학회</th></tr>
<tr><td>실트, 모래질 실트</td><td>4</td><td rowspan="4">28</td><td rowspan="4">12</td></tr>
<tr><td>가는 내지 중간모래</td><td>7</td></tr>
<tr><td>굵은 모래</td><td>10</td></tr>
<tr><td>모래질 자갈, 자갈</td><td>12 ~ 15</td></tr>
</table>

• E_0 와 α 값

<table>
<tr><th rowspan="2">다음의 시험방법에 의한 변형계수 E_o(kgf/㎠)</th><th colspan="2">α</th></tr>
<tr><th>평상시</th><th>지진시</th></tr>
<tr><td>· 지름 30cm의 강체원판에 의한 평판재하시험을 반복시킨 곡선에서 구한 변형계수의 1/2</td><td>1</td><td>2</td></tr>
<tr><td>· 보링공내에서 측정한 변형계수</td><td>4</td><td>8</td></tr>
<tr><td>· 공시체의 1축 또는 3축압축시험에서 구한 변형계수</td><td>4</td><td>8</td></tr>
<tr><td>· 표준관입시험의 N값에서 E_0=28N으로 추정한 변형계수</td><td>1</td><td>2</td></tr>
</table>

• 교대기초말뚝과 같이 군말뚝에 횡방향 하중이 작용할 때 각 말뚝이 지반내 응력을 통하여 상호간섭되기 때문에 각 말뚝의 하중분담정도는 서로 다르고 자체적인 효율도 단일말뚝에 비해 저하되는 경향을 보임
• 최근 연구결과 및 시방서기준을 참고하여 말뚝기초의 지반반력계수는 군말뚝 효과를 고려하여 단말뚝의 0.55를 적용

</td></tr>
<tr><td>

$$H_a = K_h \cdot \frac{D}{\beta} \cdot y$$

H_a : 허용수평지지력
K_h : 수평지반반력계수
D : 말뚝 직경
β : $\sqrt[4]{\frac{K_h \cdot D}{4EI}}$
y : 기준변위량 = 15mm

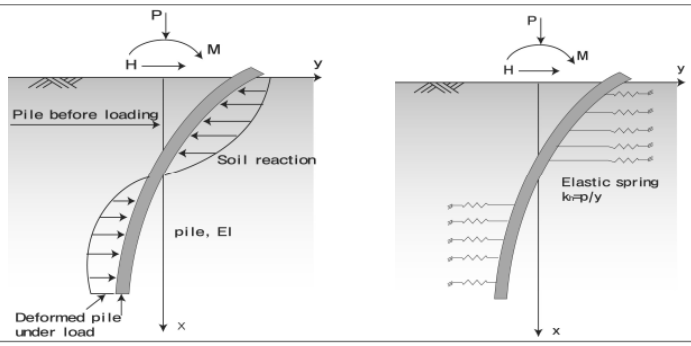
</td></tr>
</table>

➲ 연직 침하량 산정

검토방법	침하량 산정방법	고 려 사 항
구조물 기초 설계기준 해설 (2009)	$S_t = S_s + S_p + S_{ps}$ S_s : 말뚝자체의 길이방향 변형 S_p : 말뚝선단부에 가해지는 하중에 의한 침하량 S_{ps} : 주면마찰력에 의하여 지반에 전달된 하중에 의한 침하량	
	$S_s = (Q_{pa} + \alpha_s \cdot Q_{fa}) \dfrac{L}{A \cdot E_p}$ Q_{pa} : 말뚝에 설계하중이 재하되었을 때 말뚝선단부에 전달되는 하중 Q_{fa} : 말뚝에 설계하중이 재하되었을 때 말뚝주면에 전달되는 하중 L : 말뚝의 길이 A : 말뚝의 단면적(재료의 순단면적) E_p : 말뚝의 탄성계수 α_s : 말뚝의 주면마찰력 분포에 따른 계수	
	$S_p = \dfrac{C_p \cdot Q_{pa}}{B \cdot q_b}$ q_b :말뚝의 단위면적당 극한 선단지지력 B : 말뚝의 폭 또는 직경	
	$S_{ps} = \dfrac{C_s \cdot Q_{fa}}{L_b \cdot q_b}$ $C_s = (0.93 + 0.16\sqrt{(L_b/B)})C_p$ L_b : 땅속에 묻힌 말뚝 길이	
	C_p : 흙의 종류와 말뚝시공법에 따른 경험계수	

흙의 종류	타입 말뚝	굴착 말뚝
모래(조밀 ~ 느슨)	0.02 ~ 0.04	0.09 ~ 0.18
점토(굳은 ~ 연약)	0.02 ~ 0.03	0.03 ~ 0.06
실트(조밀 ~ 느슨)	0.03 ~ 0.05	0.09 ~ 0.12

➲ 수평변위 산정

검토방법	수평변위 산정방법	고 려 사 항
탄성지반 반력법 (Chang)	$y = \dfrac{H_a \cdot \beta}{K_h \cdot D}$ H_a : 허용수평지지력 K_h : 수평지반반력계수 D : 말뚝 직경 β : $\sqrt[4]{\dfrac{K_h \cdot D}{4EI}}$	• 말뚝을 탄성지반에 지지된 보라고 가정하여 말뚝두부에 발생하는 변위로부터 지지력을 산정
		

말뚝기초 연직지지력 검토결과

구 분		상 시(kN)			지진시(kN)			선단 지지조건
		연직하중	지지력	판정	연직하중	지지력	판정	
신당 보도육교	P1	549.97	895.13	OK	441.97	1,342.69	OK	풍화암
	P2	382.28	961.75	OK	404.87	1,442.63	OK	풍화암
	E/V1	471.53	1,209.30	OK	–	–	OK	풍화암
	E/V2	471.53	1,248.47	OK	–	–	OK	풍화암
	계단	270.90	1,350.27	OK	120.30	2,025.41	OK	풍화암

말뚝기초 연직침하량 검토결과

구 분		말뚝길이(m)			구조물 기초 (mm)	경험적 방법 (mm)	허용 침하량 (mm)	침하량 기준 (mm)	검토결과
		강관	PHC	전체길이					
신당 보도육교	P1	5.4	12.0	17.4	5.2	7.6	7.6	25.0	O.K
	P2	5.9	15.0	20.9	3.8	7.0	7.0	25.0	O.K
	E/V1	6.5	10.0	16.5	3.8	7.1	7.1	25.0	O.K
	E/V2	6.0	13.0	19.0	3.8	7.3	7.3	25.0	O.K
	계단	21.0	0.0	21.0	2.4	6.8	6.8	25.0	O.K

말뚝기초 수평지지력 검토결과

구 분		상 시(kN)			지진시(kN)		
		수평하중	지지력	판정	수평하중	지지력	판정
신당보도육교	P1	38.35	65.70	OK	17.44	174.90	OK
	P2	4.96	100.30	OK	4.43	266.80	OK
	E/V1	77.30	83.30	OK	–	–	OK
	E/V2	77.30	127.10	OK	–	–	OK
	계단	23.81	129.30	OK	12.68	344.00	OK

말뚝기초 수평변위 검토결과

구 분		상 시(mm)			지진시(mm)		
		발생	기준	판정	발생	기준	판정
신당보도육교	P1	8.76	15.00	OK	2.24	15.00	OK
	P2	0.74	15.00	OK	0.37	15.00	OK
	E/V1	13.92	15.00	OK	–	15.00	OK
	E/V2	9.12	15.00	OK	–	15.00	OK
	계단	2.76	15.00	OK	0.83	15.00	OK

8.4.3 부등침하 안정성 검토

기본방향	• 기초형식이 동일할지라도 하부 지지층이 다른 경우, 급경사지 편토압 작용에 의한 단일 기초에 대하여 부등침하 상세검토 수행

검토방법 및 기준

구 분	시설안전관리공단 기준(1993)	구조물기초설계기준	Bjerrum(1963)	선 정
검토방향 및 기 준	•구조물의 균열 발생한계 δ /B는 1/500이내 (정기적 계측관리 필요, 원인제거)	<1/500 : 구조물 손상 미발생 <1/300 : 건물기능, 외형상 문제 발생 <1/50 : 구조적 손상발생	1/300 : 내하벽의 균열발생한계 1/500 : 균열미발생한계	1/500

종방향 부등침하 검토결과

구 분	위 치(STA.)	침하량차이 (mm)	경간장 (S, m)	각변위 (A)	허용각변위	판 정
시점(여의도)	0+905.00~1+319.00	2.4	250	9.6×10^{-6}	$1/500(2.0\times10^{-3})$	O.K
시점(인천)	0+905.00~1+319.00	8.47	250	3.39×10^{-5}	$1/500(2.0\times10^{-3})$	O.K
Ramp-A	8+136.00~8+240.00	5.32	104	5.12×10^{-5}	$1/500(2.0\times10^{-3})$	O.K
Ramp-B	8+260.00~8+475.00	13.27	215	6.17×10^{-5}	$1/500(2.0\times10^{-3})$	O.K
Ramp-C	0+745.00~0+865.00	10.73	120	8.94×10^{-5}	$1/500(2.0\times10^{-3})$	O.K
Ramp-D	0+242.00~0+410.00	16.5	168	9.82×10^{-5}	$1/500(2.0\times10^{-3})$	O.K

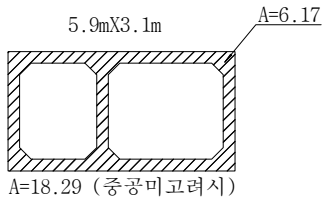
8.4.4 기타 구조물 안정성 검토

기존 구조물(공동구)의 가시설 굴착에 따른 안정성 검토

기본방향	• 공동구 통과구간인 STA. 8+170~8+180에서 가시설 굴착에 따른 시공단계 및 공동구 시공후 시간경과에 따른 구조물 열화 등을 고려하여 공동구의 안정성을 검토함

검토조건 및 해석단면

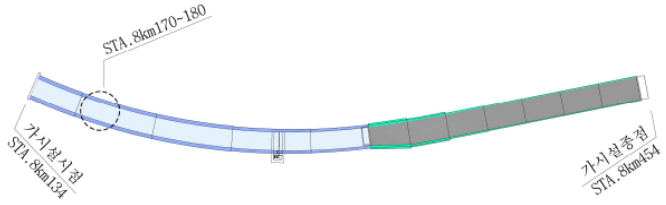
검토 조건

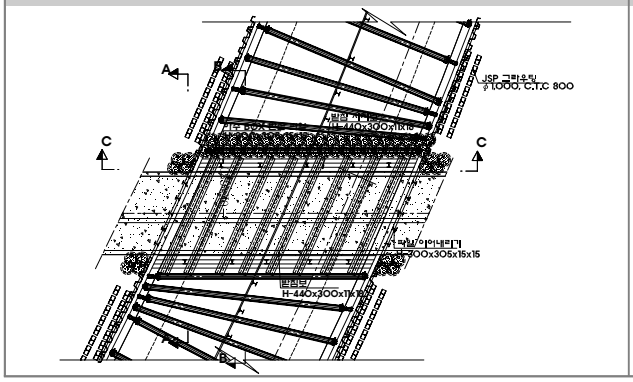
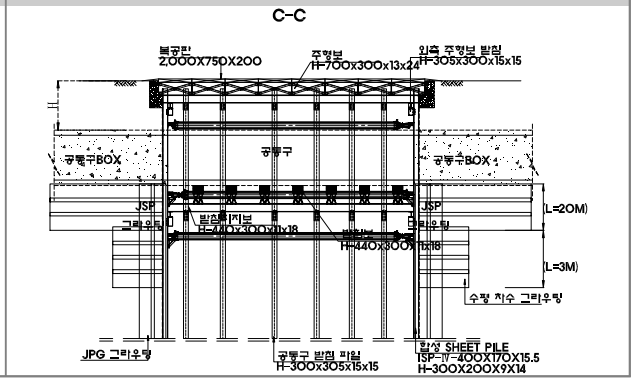


항목	열화 고려전	열화고려후
폭 B(m)	5.9	5.9
높이 H(m)	3.1	3.1
두께 T(m)	0.3	0.21(30% 감소, 부식고려)
강도 fck(MPa)	24.0	24.0
탄성계수 E(MPa)	25,800	18,100(30% 감소, 부식고려)
포아송비	0.18	0.18
단위중량 (kN/m^3)	8.43	8.43

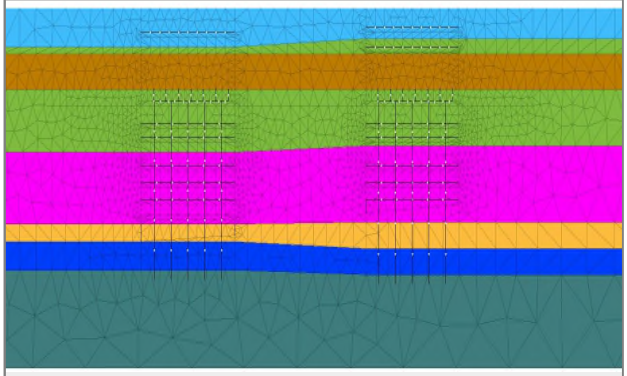
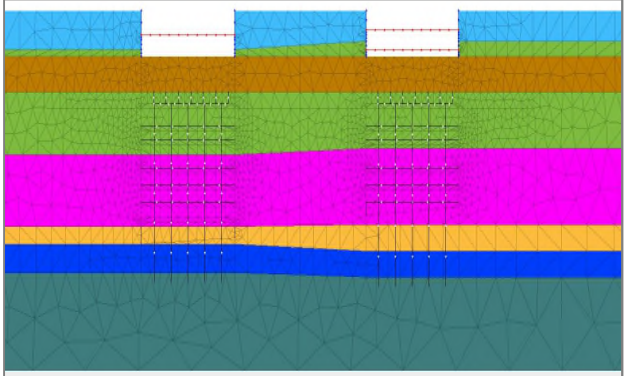
*공동구 중공을 고려하여 콘크리트 단위중량 감소(25kN/m^3 X (6.17÷18.29) = 8.43kN/m^3)

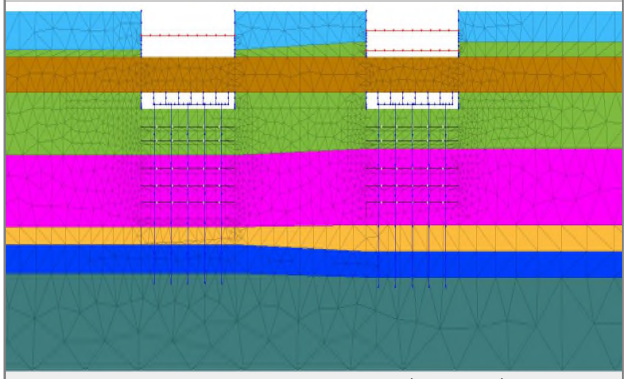
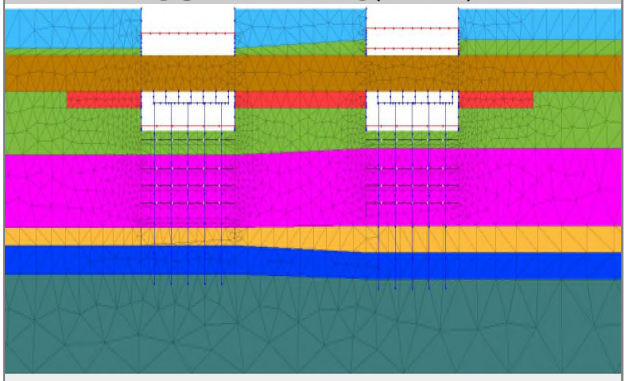
평면현황

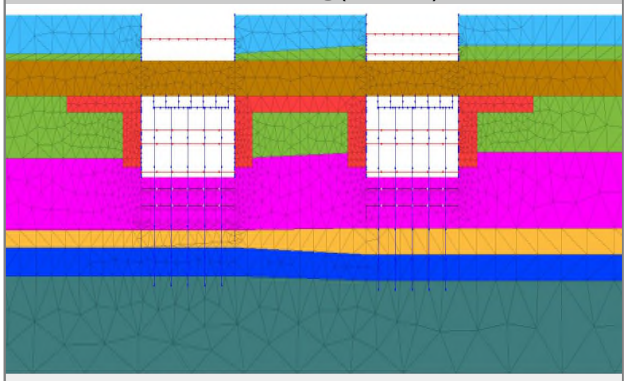
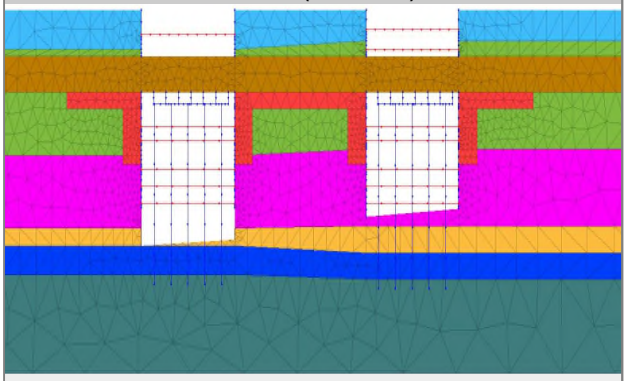


평 면 도	단면 C-C
	

시공순서

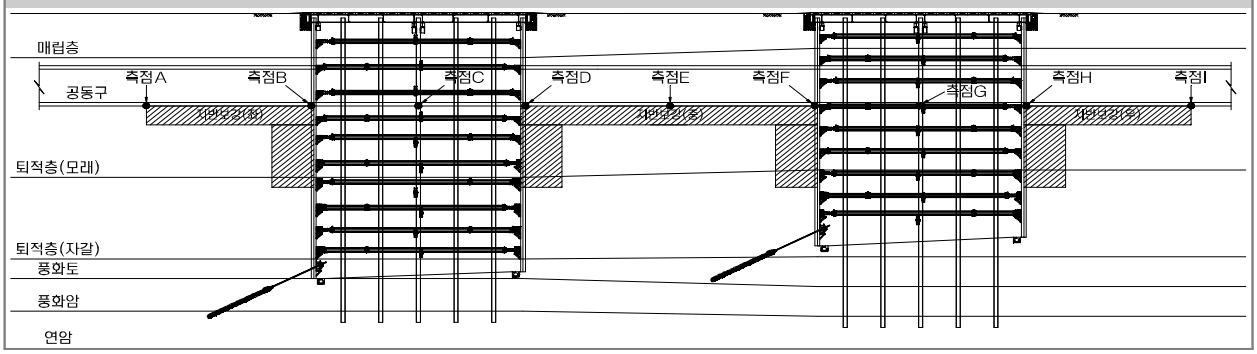
원지반(STEP 1)	굴착 및 가시설(STEP 3)
	
• 원지반 및 지하공동구 모델링	• 지하공동구 상부 굴착(측벽 말뚝 및 버팀보 빔요소 모델링)

공동구 받침 가시설(STEP 4)	공동구하부 지반보강(STEP 5)
	
• 지하공동구 하부 굴착 및 하부가시설(중간말뚝) 암반지지	• 지하공동구 하부 추가굴착 및 원지반 보강

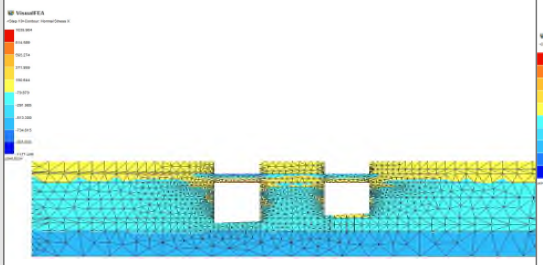
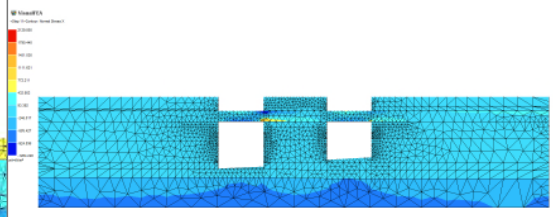
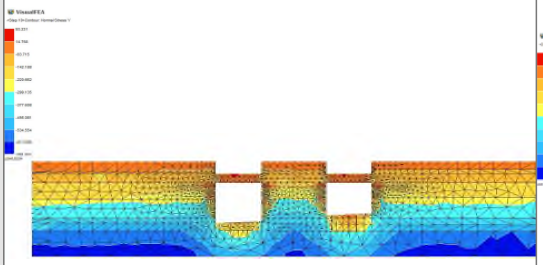
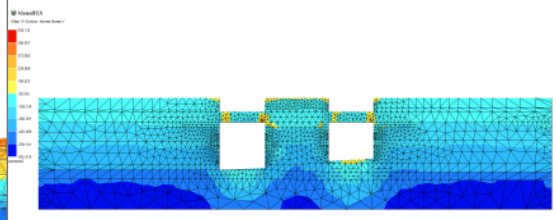
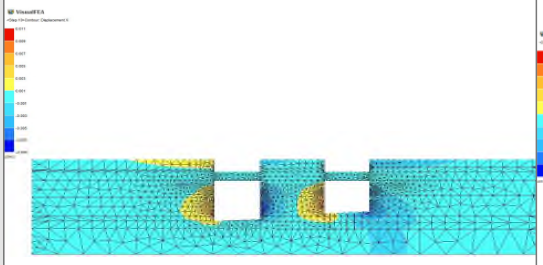
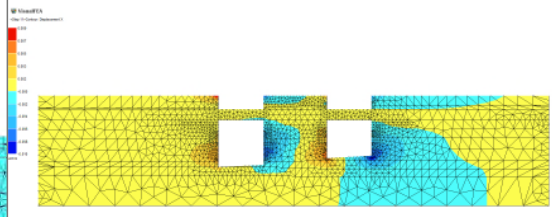
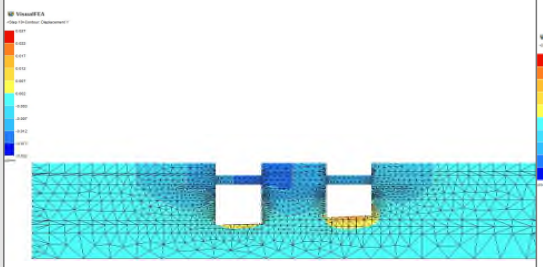
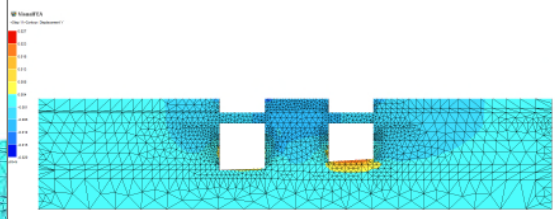
추가 지반보강(STEP 7)	굴착완료(STEP 10)
	
•지하공동구 하부 추가굴착 및 원지반 보강	•지하공동구 하부 추가굴착

검토측점

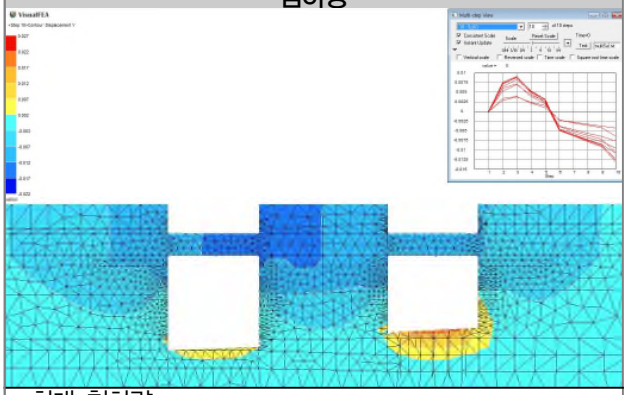
검토 측점



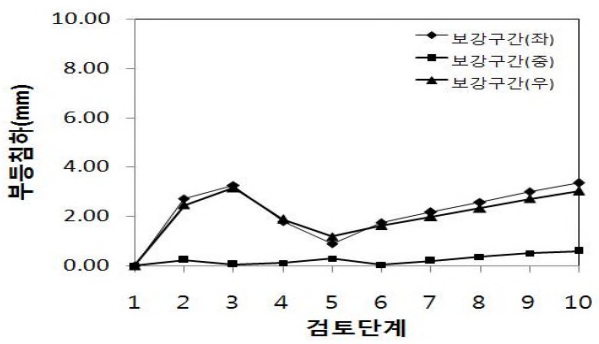
검토결과 및 분석

구 분	열화 고려전	열화 고려후
X방향 응력		
Y방향 응력		
X방향 변위		
Y방향 변위		

침하량



부등침하량



• 최대 침하량

항목	열화 고려전	열화 고려후	허용
측점 A	4.8mm	1.4mm	〈 25mm ∴ O.K
측점 B	8.2mm	3.1mm	
측점 C	9.9mm	4.7mm	
측점 D	10.4mm	7.0mm	
측점 E	10.3mm	7.7mm	
측점 F	9.7mm	6.3mm	
측점 G	8.8mm	5.2mm	
측점 H	7.4mm	5.2mm	
측점 I	4.4mm	4.0mm	

• 최대 부등침하량

항목	열화 고려전	열화 고려후	허용
측점 A~B	1/3,591	1/3,272	〈 1/500 ∴ O.K
측점 D~E	1/31,777	1/15,515	
측점 E~F	1/18,284	1/7,321	
측점 H~I	1/3,802	1/3,606	

검토결과	• 가시설 굴착시 공동구에 미치는 영향을 검토한 결과 최대 침하량은 10.4mm, 최대 부등침하량은 1/3,591의 각변위가 발생하였으나, 공동구 시공후 시간경과에 따른 구조물 열화 등을 규정하여 검토시 최대침하량은 7.7mm, 최대부등침하량은 1/3,272로, 허용치 이내로 검토됨 • 단 본결과는 여러 가정조건을 감안한 수치해석 결과이므로, 현장시공시 불확실성등을 감안하여 계측결과등을 토대로 허용치 만족여부를 재판단하여 안전시공을 수행하여야 함

8.4.5 연도변 인접구조물 안정성 검토

기본방향	• 공사중 지반침하로 인한 건물의 피해와 관련하여 민원 최소화를 위한 관리기준 설정 • 공사의 안정성 및 시공성 확보를 위해 설계단계의 허용기준 설정

최대침하량 및 부등침하량(Sowers, 1962)

•구조물의 최대침하량은 구조물 내의 각 벽체의 최대침하량으로 세분화시킬 수 있으며, 그 정의는 각 벽체내 임의의 지점에서 발생하는 최대침하량을 의미하고 아래식에 의해 표현할 수 있다.

$$\text{구조물 최대침하량}_A = Max[w_1, w_2, w_3, w_4, \ldots, \ldots]$$

• 건물의 부등침하량은 구조물 내의 벽체 양끝점의 지표침하량 차이를 나타내는 값으로 아래식과 같이 표현할 수 있다.

$$\text{부등침하량}_A = w_1 - w_2$$

침하 형태	구조물의 종류	허용 기준치
최대 침하량	배수시설, 출입구	15~30cm
	석적 및 조적구조, 뼈대구조	2.5~5.0cm
	굴뚝, 사이로, 매트	5.0~10.0cm
부등 침하량	철근콘크리트 뼈대 구조	0.003S
	강 뼈대구조(연속)	0.002S
	강 뼈대구조(단순)	0.005S

수평변형율

•수평변형율(ε h)는 각변위와 처짐비와 함께 구조물의 손상정도를 평가하는데 매우 중요한 인자이다. 구조물 내의 벽체 자체에 발생하는 압축, 인장력에 의한 압축, 인장 수평변형율을 의미하며, 아래식으로 표현될 수 있다.

$$\varepsilon_h = \frac{(v_1 - v_2)}{l_A}$$

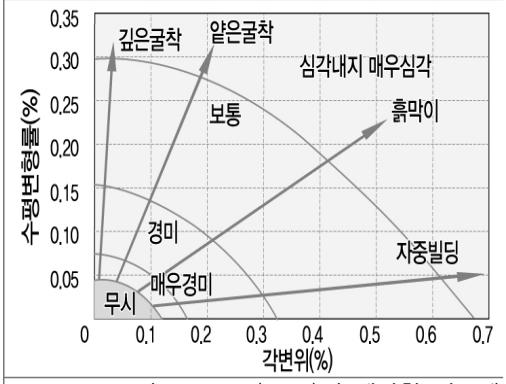
• 여기서, v_1, v_2는 벽체내 양 끝점 각각의 절대 수평변위를 나타낸다.

구 조 물	허용 한계치	Notes	Reference
하중지지벽/피복된 연속 벽돌벽	1/2000(0.0005)	균열발생 시작	Burland and Wroth

안정성 검토기준 적용

구 분	허용 기준	적용근거
최대 침하량	25mm	· 최대 허용 침하량 (Sowers, 1962)
부등 침하량	0.003S	· 철근콘크리트 뼈대 구조 (Sowers, 1962)
각변위량	1/500	· 건물에 균열이 없도록 하는 안정한계 (Bierrum, 1963)
수평 변형율	1/2000	· 균열발생 시작

Boscardin과 Cording(1989)



· Boscardin과 Cording(1989)이 제안한 건물에 대한 균열 손상정도와 각변위, 수평변형율 사이의 관계를 나타낸 표

검토결과

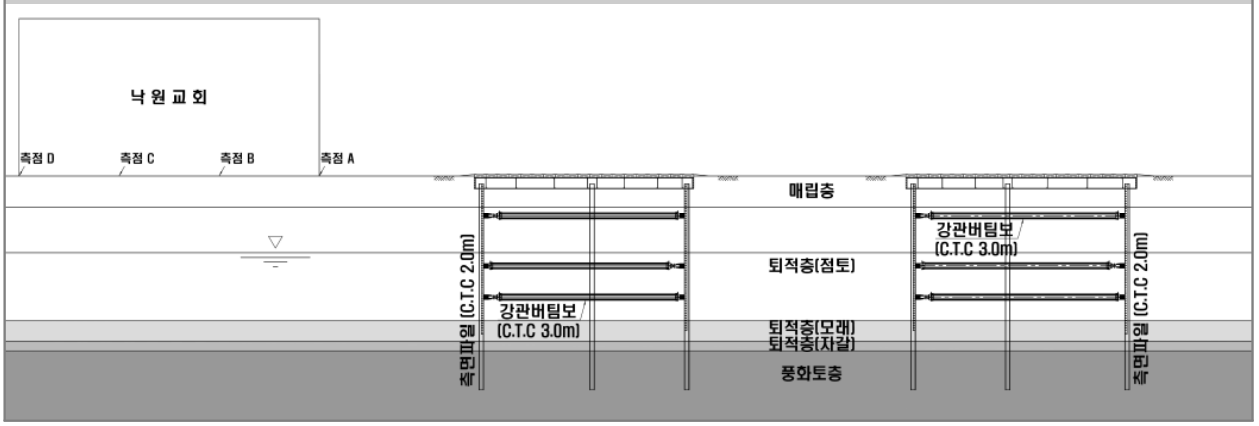
•구조물 안정성 평가를 위한 손상도 판정기준 중 Boscardin & Cording(1989)방법 적용

➜ 수치해석 결과를 토대로 관리기준을 제시한 방법으로 최근 외국에 많이 적용

•구조물의 손상도를 5단계로 예측하여 계측 계획 수립시 활용

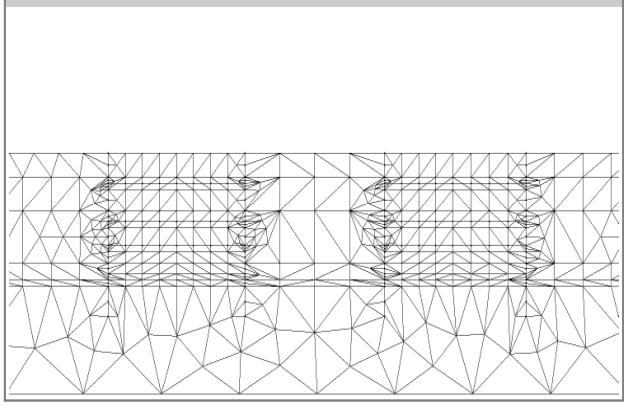
검토단면 선정

검토 구간(STA. 1+130.00)

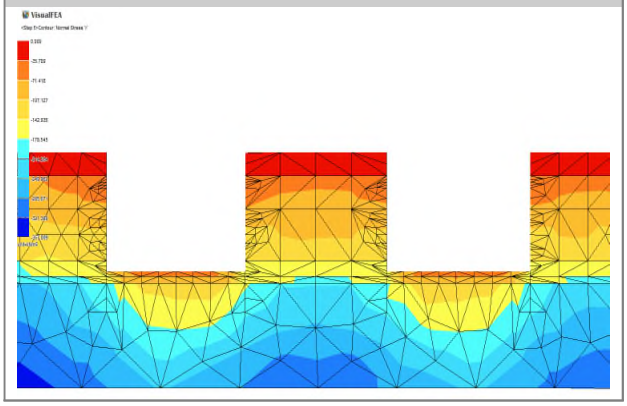


수치해석에 의한 검토결과

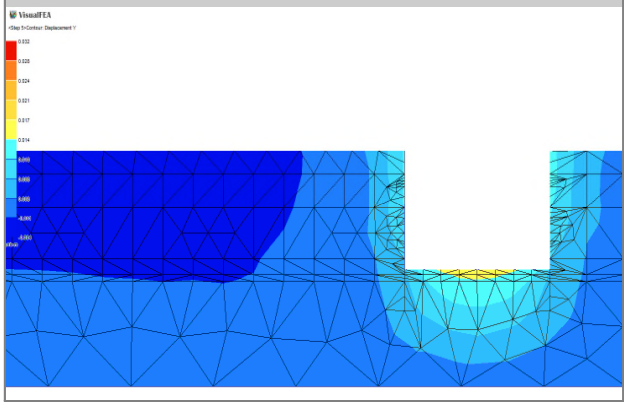
Modeling



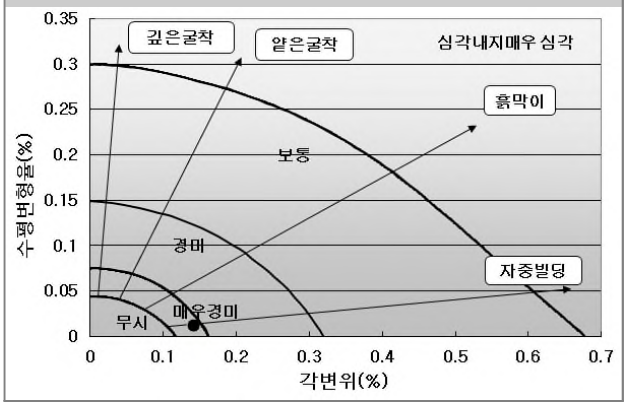
연직 응력



연직 변위



Boscardim & cordin 도표



구분	최대침하량 (mm)	최대부등침하량 (mm)	각변위	수평변형률 (%)	검토결과
낙원교회	4.37	3.54	2.0×10^{-4}	1.3×10^{-4}	매우경미
적용기준	25mm	58.5mm	2.0×10^{-3}	5.0×10^{-4}	

검토결과

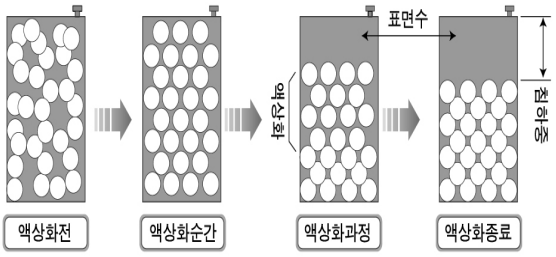
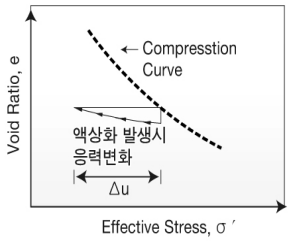
- 최대 침하량은 4.37mm 발생하여 허용치 25mm 이하로 충분히 안정하며 최대 부등침하량은 3.54mm로 허용치 0.003S(S=19.5m)인58.5mm 이하로 충분히 안정함
- 최대 각변위는 2.0×10^{-4} 발생, 허용치 2.0×10^{-3}(1/500), 최대 수평변형률은 1.3×10^{-4} 발생, 허용치 5.0×10^{-4}(1/2000)이하로 충분히 안정함
  ➡ 인접 건물에 미치는 영향이 매우 경미하나 계측관리 등 공사관리를 통하여 안정성 확보

8.4.6 액상화 검토

기본방향

- 토층구성 조건과 입도분포 등의 분석을 통해 액상화 발생 대상영역 검토
- 경제적 평가를 위해 단계적 검토수행(설계기준에 의한 검토➡간편 예측법➡상세예측법)

액상화 발생구조

액상화 개념	액상화 발생시 흙입자 구조	개 념 도
•지진시 과잉간극수압의 상승으로 유효응력이 감소되어 느슨한 포화사질토가 외력에 대한 전단저항력이 소실되어 액체처럼 거동하는 현상		

액상화 평가기준

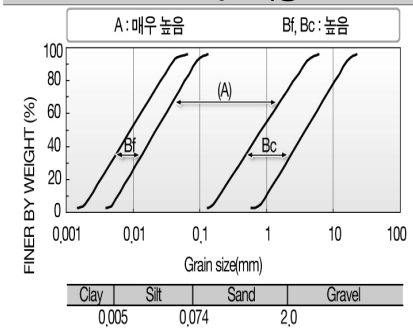
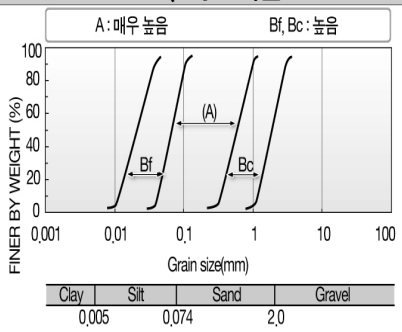
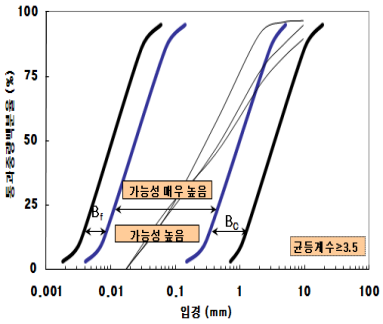
액상화 검토 대상지역	액상화 검토 생략지역
•실트 및 점토 함유량 10% 이하인 지반 •D50(표준입경)이 0.075 ~ 2.0mm인 지반 •Cu < 10 인 빈입도의 모래지반 •PI ≤ 10 인 지반 •느슨하게 다져진 포화사질토 지반, 포화된 사질 매립지반	•대상지반심도가 20m 이상인 지반 •PI가 10 이상, 점토성분이 20% 이상인 지반 •세립토 함유량이 35% 이상인 지반 •Dr ≥ 80% 이상인 지반 •지진구역 II 에서의 내진 2등급 구조물 •주상도상의 표준관입저항치(N값)가 20 이상인 지반

지반조건에 의한 평가대상 선정

• 지하차도 기초 하부지반 중 실트질모래 또는 모래지반으로 판단되는 구간에 대하여 액상화 가능성 판단
• 시종점부 구간의 경우 느슨한 퇴적모래가 분포하므로 입도분포곡선에 의한 평가대상 평가

공 번	지하수위 GL.(−)m	대상심도 GL.(−)m	USCS	N값	세립토 함유량(%)	소성지수 (PI)	액상화 가능성
BBH-7-1	3.8	2.0	SM	5	15.9	–	◎
BBH-28	3.7	9.0	SM	40	15.9	–	◎

입도분포에 의한 평가대상 선정

입도분포기준 (Iai, Koizumi & Tsuchida, 1986)		입도분포곡선 검토결과
Cu ≥ 3.5 이상	Cu 〈 3.5 미만	
		

검토결과	• 상부 사질토층에 대해 입도분포 평가결과, 지하차도 구간의 사질토층 구간은 액상화 발생가능이 높으므로 액상화 간편예측 수행

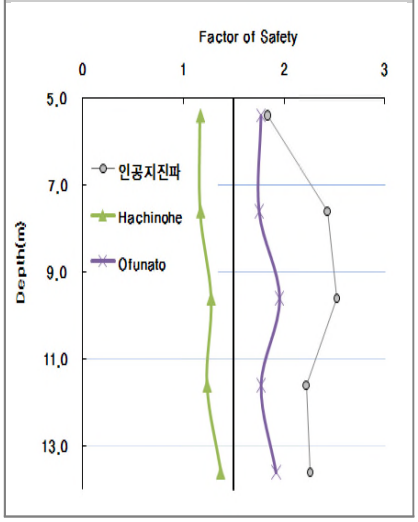
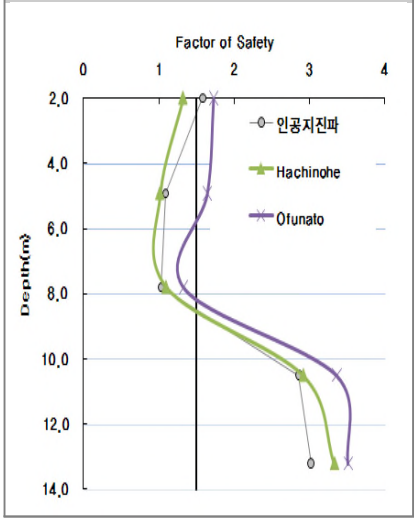
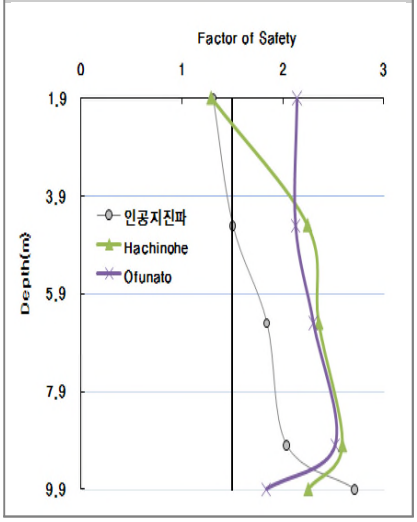
간편 예측법에 의한 액상화 평가

- 표준관입저항치 N값과 액상화 저항강도비와의 관계를 이용하여 간편하게 액상화 가능성 검토 수행
- 기준 안전율 1.5미만인 경우, 진동삼축시험을 이용한 액상화 상세예측 수행

평가방법(수정 Seed & Idriss 방법)

지진에 의한 전단응력비 (CSR)	지반의 저항응력비 (CRR)	액상화 안전율
•장주기 및 단주기 특성을 포함한 실지진 시간이력에 대한 지진응답해석결과로 산정된 평가지층의 최대가속도 이용 $\frac{\tau_d}{\sigma'_v}(CSR) = 0.65(\frac{a_{\max}}{g})(\frac{\sigma_v}{\sigma'_v})\gamma_d$	•액상화 저항응력비 산정곡선 적용 후 지진규모 6.5에 대한 보정계수 1.44를 곱하여 산정 $\frac{\tau_\ell}{\sigma'_v} = \beta \times CRR_{7.5}$	•액상화 발생에 대한 안전율은 지진시 진동전단응력비(CSR)와 액상화에 대한 전단저항응력비 (CRR)의 비로 산정 •FS≥1.5 : 안전, FS<1.5 : 상세예측

평가결과

지하차도구간 시점부(NBB-1)	지하차도구간 종점부(NBB-7)	Ramp 구간(NTB-28)
		

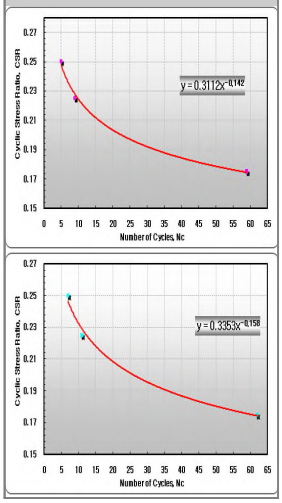
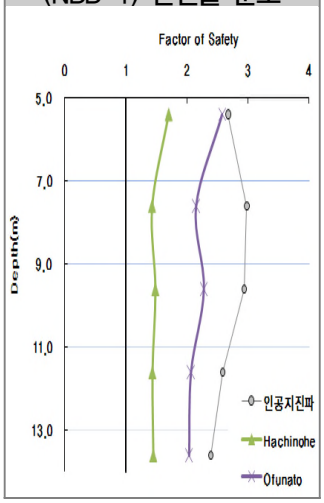
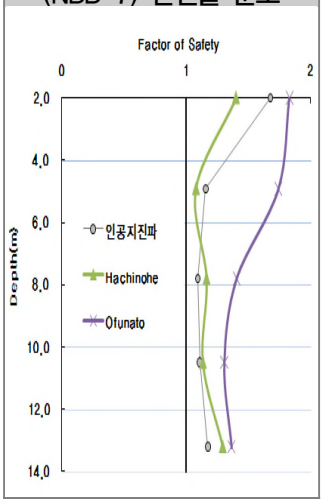
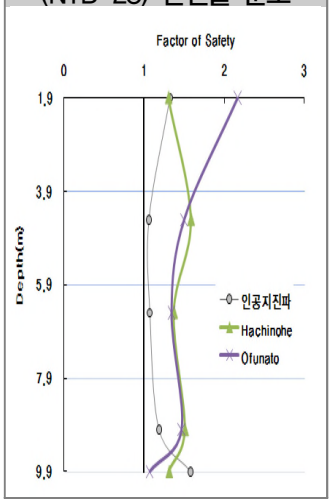
검토결과	• 액상화 간편예측결과, 안전율이 1.5이하로 산정되어 액상화 상세예측법 수행 필요

상세 예측법에 의한 액상화 평가

평가방법(진동삼축시험)

- 진동 삼축시험을 통한 세 점 이상의 전단응력비를 구하여 반복재하시험에 따른 액상화 전단저항응력 산정
- 산정된 액상화 전단저항응력 특성곡선의 반복재하회수 10회일 때의 액상화 전단저항응력 산정(지진규모 6.5에 해당)
- 지진에 의한 전단응력비와 지반의 저항응력비의 비로서 액상화 안전율 산정 (기준안전율 FS = 1.0)

평가결과

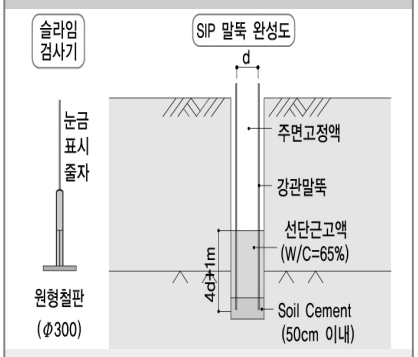
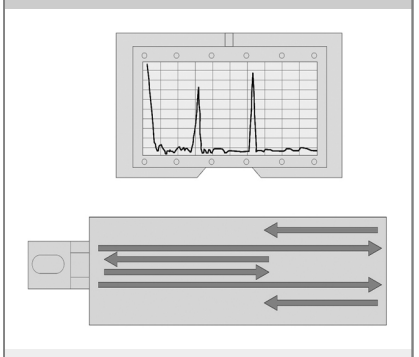
N-CSR	지하차도 구간 시점부 (NBB-1) 안전율 분포	지하차도 구간 시점부 (NBB-7) 안전율 분포	Ramp 구간 (NTB-28) 안전율 분포
			

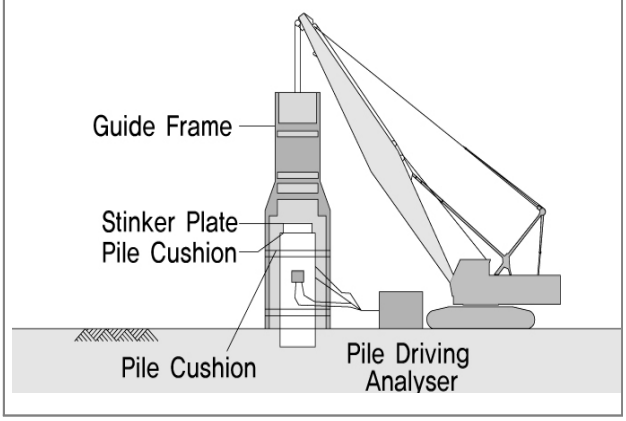
검토결과	• 실지진파 및 인공지진파 적용시 모두 안전율이 1.0 이상으로 액상화에 대해 안정

8.5 기초 품질 및 유지관리계획

기본방향	• 직접기초 시공구간에 대하여 설계지지력 확보를 위한 재하시험 계획 • 기초 시공시 지지력확보를 위한 시험 및 품질확보 방안 계획

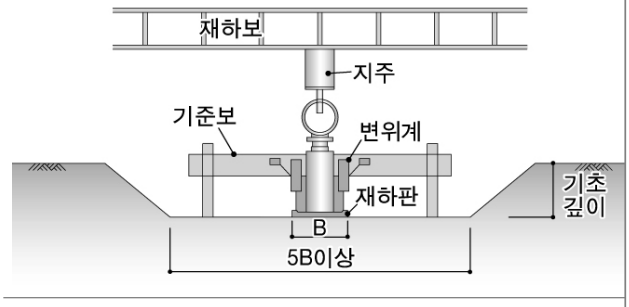
8.5.1 재하시험 계획

연직도 관리	매입말뚝 선단부처리계획	이음검사계획
		
• 굴착중 연직도 관리	• 슬라임 조사후 말뚝삽입 ➡ 지지력 확보	• 초음파 탐사시험을 통한 품질확보

동재하시험	
	• 램 또는 해머에 의한 동적 충격하중 • 공사중 현장시험으로 설계지지력 확인 • 육교당 1회 • 시험결과 사용시 지층(퇴적층)의 영향고려 필요

8.5.2 기초 품질확보 방안

직접기초 품질관리 계획

평판재하시험	구간 적용현황
 •토사층에 대한 설계지지력 확인	•공사 중 현장시험 통한 설계지지력 확인 •평판재하시험 : 13회 (시점부 : 5회, 올림픽대로구간 : 4회, 연결로 AB : 2회, 연결로 CD : 2회) •필요시 일축압축시험 수행 •시험결과 사용시 지반두께의 영향, 지하수위 및 Scale Effect 고려 필요

검토결과	• 시공시 발생될 수 있는 기초저면 지반조건에 대한 불확실성을 고려하여 재하시험 계획 • 직접기초구간에 재하시험을 계획하여 설계지지력 확인을 통한 기초 안정성 확보

제9장 비탈면 안정성 검토

9.1 검토 개요

기본방향	• 연결로-C, D구간 지하차도 시공에 따라 계획되는 비탈면의 안정성을 검토 수행 • 비탈면 안정성 검토는 현장조건(조사 및 시험결과)을 충분히 파악하고 시공성 및 경제성을 고려하여 비탈면의 안정성을 확보하는데 그 목적이 있다.

9.1.1 비탈면 설계

설계 일반사항

• 쌓기 비탈면의 설계는 장 · 단기적으로 비탈면의 안정성을 확보하도록 설계

• 장기적으로 유지관리가 되도록 하여야 하며, 형성된 비탈면은 주변경관과 어울리도록 설계

구 분	고 려 사 항
쌓기 비탈면	• 지형조건에 따른 쌓기 계획 • 비탈면 안정해석 및 경사와 소단의 결정 • 지하수 및 지표수의 배수계획 • 장기적인 비탈면 표면보호 방법 • 유지관리를 위한 점검시설 • 시공 중 관리방안

안정성 검토 필요조건

구 분	흙쌓기 조건
흙 쌓기 자체의 조 건	• 흙쌓기 높이가 한국도로공사의 기준치를 넘는 경우(높은 쌓기 등) • 비탈면 경사가 표준치보다 급한 경우 • 흙쌓기 재료의 함수비가 높고, 특히 전단강도 낮은 경우 • 흙쌓기 재료가 실트와 같이 간극수압이 증가하기 쉬운 흙인 경우
외 적 조 건	• 붕괴되면 인접시설물 등에 중대한 손상을 주는 경우(철도 등) • 붕괴되면 복구에 장기간을 요하고 도로기능을 현저하게 저해하는 경우 • 흙쌓기의 기초가 연약지반이거나 비탈면활동이 염려되는 경우(연약지반, 산사태 등) • 지형조건에 의해 제체속으로 물의 침투가 많은 경우 (경사지반상의 흙쌓기, 계곡사이의 흙쌓기 등) • 홍수시에 침수되거나 비탈끝이 침식되는 경우(예를 들면, 연못가운데의 흙쌓기)

9.1.2 검토기준

표준 비탈면 경사

기본방향	• 쌓기 비탈면 표준경사는 비탈면의 안정성 확보에 필요한 최소 경사를 의미 • 토질조건 및 건설공사 비탈면 설계기준 및 하천설계 기준에서 제시한 표준경사를 기준으로 쌓기 비탈면의 경사를 적용

건설공사 비탈면 설계기준(국토해양부, 2011)

쌓기 재료	비탈면 높이	비탈면 상하부에 고정 시설물이 없는 경우 (도로, 철도 등)	비탈 상하부에 고정 시설물이 있는 경우 (주택, 건물 등)
입도분포가 좋은 양질의 모래, 모래자갈 암괴, 암버력	0 ~ 5m	1 : 1.5	1 : 1.5
	5 ~ 10m	1 : 1.8	1 : 1.8 ~ 1 : 2.0
	10m 초과	별도검토	별도검토
입도분포가 나쁜 모래, 점토질 사질토, 점성토	0 ~ 5m	1 : 1.8	1 : 1.8
	5 ~ 10m	1 : 1.8 ~ 1 : 2.0	1 : 2.0
	10m 초과	별도검토	별도검토

쌓기 비탈면 안전율 기준

건설공사 비탈면 설계기준(국토해양부, 2011)

구 분		기준 안전율	참 조
장 기	건 기	F_S 〉 1.5	• 쌓기체 내에 지하수가 없는 것으로 해석
	우 기	F_S 〉 1.3	• 지하수 조건은 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 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 강우침투가 발생하는 경우에는 설계계획빈도에 따른 해당지역의 강우강도, 강우지속시간 등을 고려하여 강우침투를 고려한 해석실시
	지진시	F_S 〉 1.1	• 지진관성력은 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용시킴 • 지하수위는 우기시 조건과 동일하게 적용
단 기		F_S 〉 1.0	• 기간 1년 미만의 단기적인 비탈면 안정성(시공중 포함) • 지하수 조건은 장기안정성 검토의 우기시 조건과 동일하게 적용

적용 설계기준

기본방향	• 안정성 및 경제성을 고려하여 다음과 같이 쌓기 비탈면 기준 안전율을 안정검토의 기준으로 선정 • 건기시에는 지하수위를 고려하지 않았으며, 우기시에는 강우침투를 고려한 지표포화심도로 가정하여 적용

구 분		적용안전율	비 고
쌓기 비탈면	건 기	F_S > 1.5	• 장기 안전율 적용시 교통하중 q=13 kPa 고려 • 지진하중 0.077 고려
	우 기	F_S > 1.3	
	지진시	F_S > 1.1	

9.2 비탈면 안정성 검토

9.2.1 검토현황

구간별 분석

구 분	비탈면 위치(STA.)	비탈면 높이(m)	기울기	비 고
연 결 로 – C	0+635.00	5.30	1:1.58	노들길(되메우기)
연 결 로 – C	0+880.00	1.61	1:1.56	노들길(U-Type 옹벽)
연 결 로 – D	0+240.00	4.50	–	올림픽대로(U-Type 옹벽)
연 결 로 – D	0+440.00	4.70	1:1.87	올림픽대로(되메우기)

설계 하중

- 비탈면의 상단에 구조물이 존재하는 경우, 실제 접지면에 작용하는 접지압을 적용
- 비탈면에 작용하는 하중은 구조물로 인한 하중 및 차량주행에 따른 교통하중으로 구분

구 분	적용값	참 조
구 조 물 하 중	실제 접지압	• 구조물로 인해 발생하는 고정하중
교 통 하 중	13.0kPa	• 차량주행에 따라 적용되는 활하중(DB-24)
지 진 하 중	0.077	• 지진계수 산정은 도로교 표준시방서를 기준으로 하여 설계지반 운동수준에 따른 지진계수를 산정

비탈면 설계지반정수

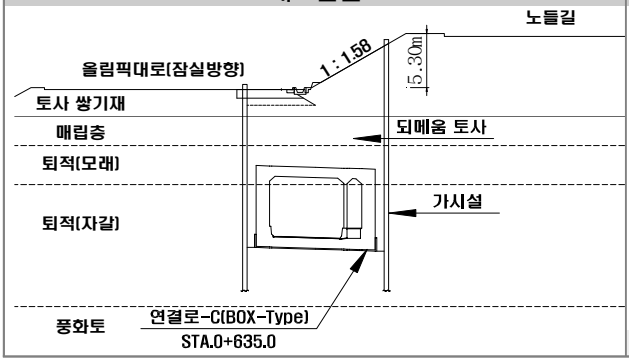
구 분		단위중량(kN/m^3)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)	포아송비	투수계수(cm/sec)
토사쌓기재		19.0	15.0	25.0	–	–	–
매 립 층		18.0	0.0	26.0	9	0.32	4.44×10^{-4}
퇴적층	점 토	17.0	20.0	15.0	5	0.33	4.53×10^{-5}
	모 래	18.0	0.0	28.0	28	0.32	1.48×10^{-3}
	자 갈	20.0	0.0	35.0	50	0.28	4.07×10^{-3}
풍 화 토		20.0	21.0	29.0	60	0.32	4.85×10^{-4}
풍 화 암		21.0	30.0	33.0	300	0.30	9.79×10^{-5}

9.2.2 비탈면 안정성 검토 결과

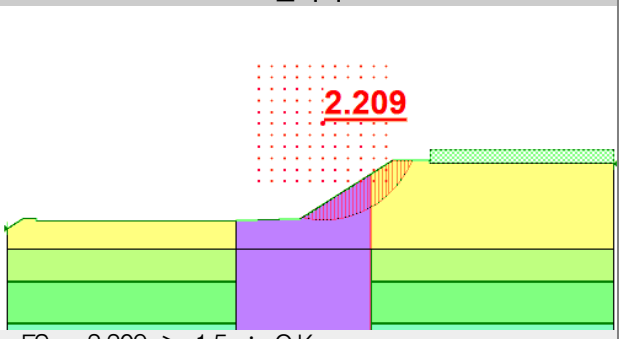
기본방향	• 연결로-C, D구간 지하차도 시공에 따라 계획되는 비탈면 안정성 검토 수행 • 지진강도, 지층조건 및 작용하중 등을 고려한 대표단면에서 내진 안정성 검토 수행

연결로-C(STA.0+635.0) 검토

대표단면

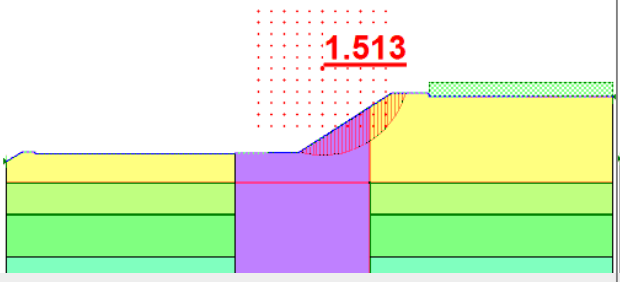


건기시



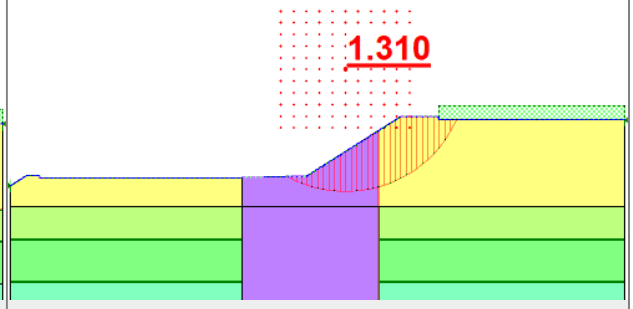
• FS = 2.209 > 1.5 ∴ O.K

우기시



• FS = 1.513 > 1.3 ∴ O.K

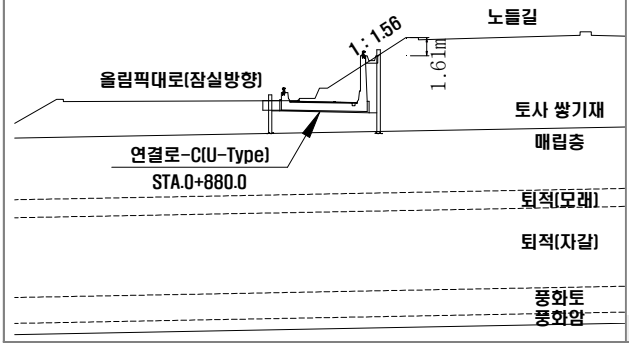
지진시



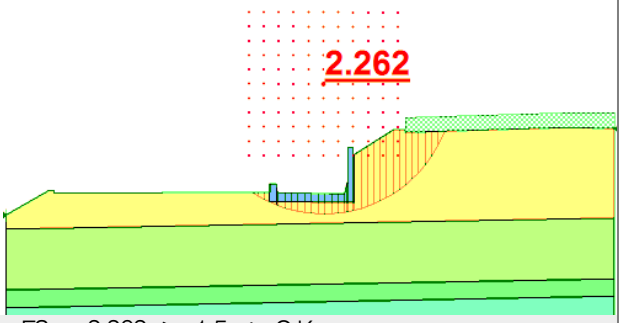
• FS = 1.310 > 1.1 ∴ O.K

연결로-C(STA.0+880.0) 검토

대표단면

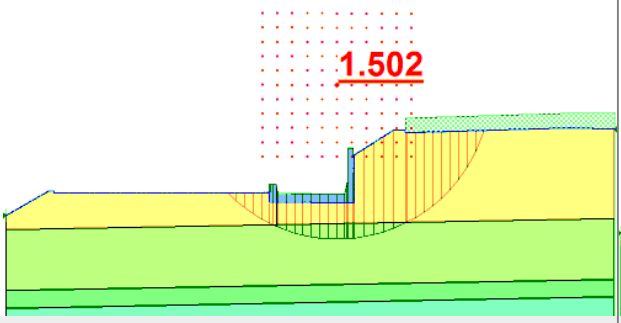


건기시



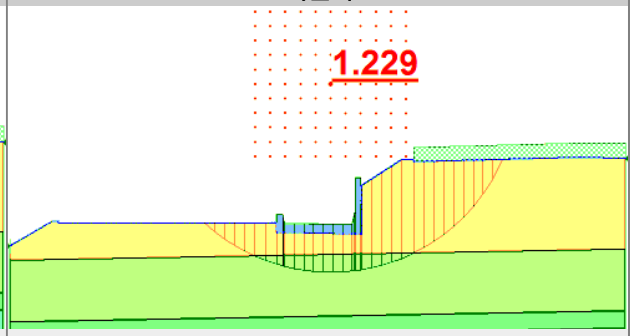
• FS = 2.262 > 1.5 ∴ O.K

우기시



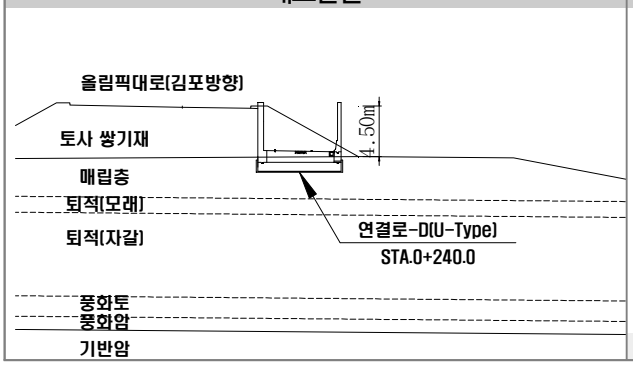
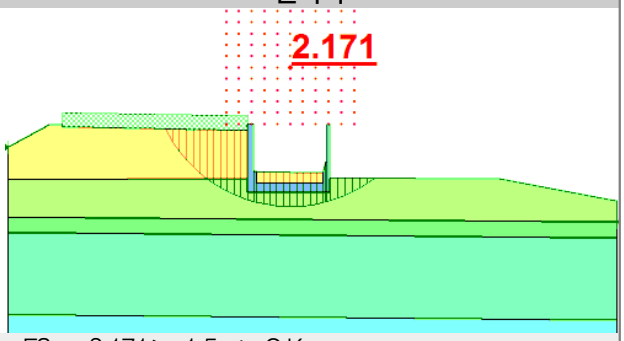
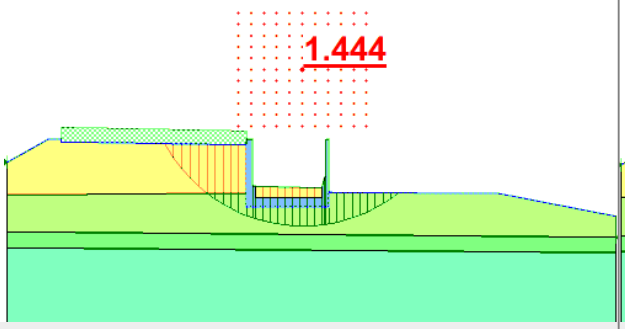
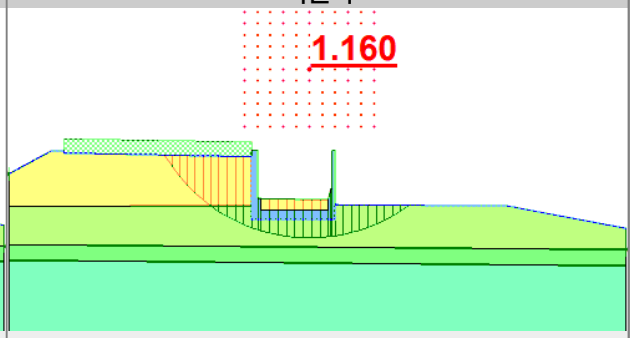
• FS = 1.502 > 1.3 ∴ O.K

지진시

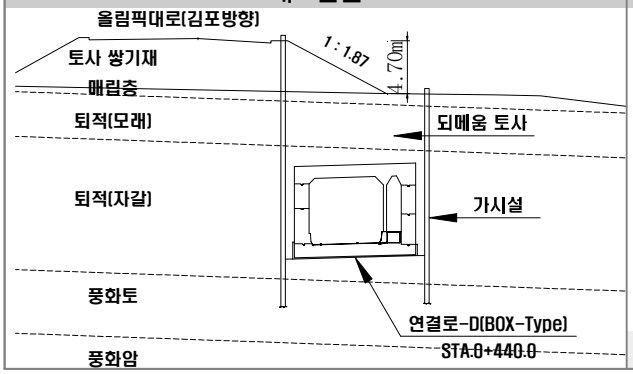
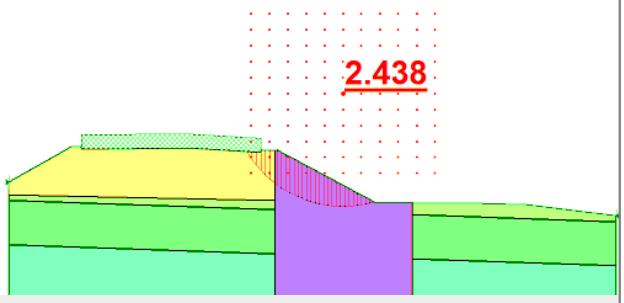
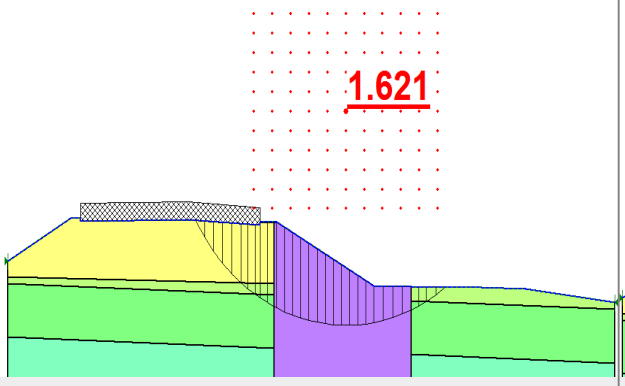
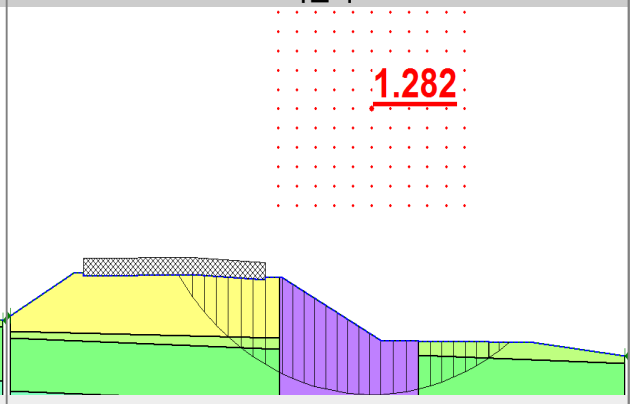


• FS = 1.229 > 1.1 ∴ O.K

연결로-D(STA.0+240.0) 검토

대표단면	건기시
	 • FS = 2.171 > 1.5 ∴ O.K
우기시	**지진시**
 • FS = 1.444 > 1.3 ∴ O.K	 • FS = 1.160 > 1.1 ∴ O.K

연결로-D(STA.0+440.0) 검토

대표단면	건기시
	 • FS = 2.438 > 1.5 ∴ O.K
우기시	**지진시**
 • FS = 1.621 > 1.3 ∴ O.K	 • FS = 1.282 > 1.1 ∴ O.K

검토결과	• 연결로-C, D 지하차도 구간의 비탈면 안정성 검토결과 모든 조건에서 기준 안전율 만족

9.3 비탈면 안전 점검계획

기본방향	• 비탈면에서 발생할 수 있는 우수의 침투 및 토사유실, 동상, 풍화를 방지하여 장기적인 안정을 확보하기 위한 비탈면 보호공법 적용 • 시공 및 운영 중 비탈면 안전점검 계획 수립으로 향후 발생할 수 있는 재해에 대한 예측 및 대비

9.3.1 비탈면 안전점검 계획

시공 중 비탈면 안전점검

• 일부 지반은 대기 중에 노출되면 급속하게 강도저하가 될 가능성이 있으므로 안전점검 필요
• 장기적으로 볼 때 비탈면 붕괴의 요인이 될 수 있으므로 비탈면 보호공법이 조속히 실시되어야 함
• 비탈면 보호공 시공 및 배수시설을 설치하여 강우의 침투를 방지하여야 함

시공 중 비탈면 불안정시 적용 보강공법

구 분	비탈면
보 강 방 안	•비탈면 기울기 완화 및 보호공 설치 •비탈면에 대한 식생공법(줄떼) •배수공 설치

운영 중 비탈면 안전점검

• 보수가 필요할 정도의 위험성 발견시 재해로 발생하지 않도록 조치하고, 상세한 조사를 수행하여 대책을 수립

운영 중 비탈면 점검사항(제안)

구 분		산사태 및 붕괴의 재발생	점검빈도
일 상 점 검		•차량 내에서 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 접근하여 관리구간 전체 상황을 세부적으로 점검	1년 1회
임 시 점 검		•일상점검 혹은 정기점검을 보완하기 위해 필요에 따라 수행 •일상점검에 의한 평가, 판정이 어렵거나 이상 기후 직전 혹은 통보에 의해 점검	필요시