관 리 번 호

사 본 번 호

고속도로 제32호선
옥 산 ~ 오 창 고 속 도 로 민 간 투 자 사 업
지 반 보 고 서
(준 공)

2018. 01

국 토 교 통 부
Ministry of Land, Infrastructure and Transport

목 차

제1장 지반조사 개요

1.1 사업명 ····· 1-1
1.2 지반조사 목적 ····· 1-1
1.3 사업범위 ····· 1-1
1.3.1 공간적 범위 ····· 1-1
1.3.2 사업구간 현황 ····· 1-1
1.4 조사내용 ····· 1-2
1.4.1 예비조사 ····· 1-2
1.4.2 물리탐사 ····· 1-3
1.4.3 현장조사 ····· 1-3
1.4.4 현장시험 ····· 1-4
1.4.5 현장특수시험 ····· 1-4
1.4.6 실내 토질 및 암석시험 ····· 1-5
1.5 조사장비 ····· 1-6
1.6 조사기간 ····· 1-6

제2장 조사 계획

2.1 지반조사 계획 및 현황 ····· 2-1
2.1.1 지반조사 계획 ····· 2-1
2.2 조사항목의 적정성 평가 ····· 2-2
2.2.1 조사항목의 적정성 검토 ····· 2-2
2.3 조사결과 설계반영 계획 ····· 2-3
2.3.1 정밀 지표지질조사 및 물리탐사 ····· 2-3
2.3.2 현장조사 ····· 2-3
2.3.3 현장시험 ····· 2-4
2.3.4 현장특수시험 ····· 2-4
2.3.5 실내토질시험 ····· 2-5
2.3.6 실내암석시험 ····· 2-5
2.4 조사 일반 사항 ····· 2-6
2.4.1 토질 분류 및 기재방법 ····· 2-6
2.4.2 암석 및 암반의 분류 및 기재방법 ····· 2-9
2.4.3 토사, 리핑암, 발파암의 분류기준 ····· 2-18
2.4.4 지표지질조사 방법 및 기재 방법 ····· 2-19

2.5 폐공처리 계획 ····· 2-25
2.5.1 폐공순서 및 방법 ····· 2-25
2.5.2 폐공처리 현황 ····· 2-25
2.6 시공시 확인조사 ····· 2-26
2.6.1 일반사항 ····· 2-26
2.6.2 보완조사 ····· 2-26
2.6.3 시공 중 지반조사 ····· 2-26
2.6.4 시공시 확인조사 수량 ····· 2-30

제3장 예비 조사

3.1 조사개요 ····· 3-1
3.1.1 조사흐름도 ····· 3-1
3.1.2 결과 활용 ····· 3-1
3.2 지형분석 ····· 3-2
3.2.1 산계 및 수계분석 ····· 3-2
3.3 지질분석 ····· 3-3
3.3.1 상세지질분석 ····· 3-3
3.3.2 분포암종 특성분석 ····· 3-4
3.4 지질구조 분석 ····· 3-6
3.4.1 개요 ····· 3-6
3.4.2 영상자료 분석 ····· 3-7
3.4.3 광역지표지질 조사 ····· 3-8
3.4.4 과업구간과 교차하는 선형구조 종합분석 ····· 3-29
3.4.5 Domain 분류 ····· 3-30
3.5 지구조 진화사 ····· 3-39
3.5.1 조사지역 지질학적 성인과정(지체발달사) ····· 3-39

제4장 현장조사 및 결과

4.1 굴절법 탄성파 탐사 ····· 4-1
4.1.1 탐사목적 ····· 4-1
4.1.2 탐사방법 ····· 4-1
4.1.3 탐사현황 및 결과 ····· 4-1
4.1.4 설계활용 ····· 4-16

4.2 현장특수시험 ····· 4-17
4.2.1 시추공영상촬영(BIPS) ····· 4-17
4.2.2 하향식탄성파탐사(Down Hole) ····· 4-22
4.2.3 지표레이더탐사(GPR) ····· 4-26
4.3 현장조사 ····· 4-38
4.3.1 조사목적 ····· 4-38
4.3.2 조사내용 ····· 4-38
4.3.3 시추조사 ····· 4-38
4.3.4 시험굴 조사 및 현장밀도 시험 ····· 4-49
4.3.5 지하수위 측정 ····· 4-52
4.4 현장시험 ····· 4-55
4.4.1 표준관입시험 ····· 4-55
4.4.2 SPT 에너지 효율시험 ····· 4-61
4.4.3 현장투수시험 ····· 4-63
4.4.4 공내재하시험 ····· 4-65
4.4.5 공내전단시험 ····· 4-67
4.5 실내 토질시험 ····· 4-70
4.5.1 기본 물성시험 ····· 4-70
4.5.2 다짐 및 CBR시험 ····· 4-76
4.5.3 직접전단시험 ····· 4-79
4.5.4 공진주시험 ····· 4-82
4.5.5 진동삼축압축시험 ····· 4-84
4.6 실내 암석시험 ····· 4-86
4.6.1 암석기본물성 및 일축압축강도시험 ····· 4-86
4.6.2 삼축압축강도시험 ····· 4-88
4.6.3 점하중강도시험 ····· 4-90
4.6.4 간접인장강도시험 ····· 4-93
4.6.5 절리면 전단시험 ····· 4-94
4.6.6 암유용성시험 ····· 4-96
4.7 재료원 조사 ····· 4-97
4.7.1 재료원 조사개요 ····· 4-97
4.7.2 재료원 조사 위치도 및 현황 ····· 4-97

제5장 공종별 성과분석

5.1 교량구간 성과분석 ····· 5-1
5.1.1 조사개요 ····· 5-1
5.1.2 교량별 지층특성 분석 ····· 5-3
5.1.3 크리깅을 이용한 3차원 지층분석 ····· 5-29
5.2 토공구간 성과분석 ····· 5-31
5.2.1 조사개요 ····· 5-31
5.2.2 구간별 지층특성 및 지반특성 분석 ····· 5-33

제6장 설계지반정수

6.1 설계지반정수 일반사항 ····· 6-1
6.1.1 기본방향 ····· 6-1
6.1.2 항목별 설계지반정수 산정방법 ····· 6-1
6.2 연속체 설계지반정수 산정 ····· 6-2
6.2.1 토사층의 설계지반정수 산정 ····· 6-2
6.2.2 풍화암층의 설계지반정수 산정 ····· 6-7
6.2.3 쌓기재 설계지반정수 산정 ····· 6-8
6.2.4 기반암 설계지반정수 산정 ····· 6-9
6.3 불연속체 설계지반정수 산정 ····· 6-17
6.3.1 불연속체 설계지반정수 산정 방향 ····· 6-17
6.3.2 불연속체 설계지반정수 산정 ····· 6-17
6.4 수리 및 내진해석 설계지반정수 산정 ····· 6-21
6.4.1 수리해석 설계지반정수 산정 ····· 6-21
6.4.2 내진해석 설계지반정수 산정 ····· 6-22
6.5 설계지반정수 요약 ····· 6-23
6.5.1 연속체 설계지반정수 산정 ····· 6-23
6.5.2 내진해석 설계지반정수 산정 ····· 6-23
6.5.3 수리해석 설계지반정수 산정 ····· 6-24
6.5.4 불연속체 설계지반정수 산정 ····· 6-24

제7장 비탈면 설계

7.1 검토개요 ····· 7-1
7.1.1 검토목적 ····· 7-1
7.1.2 검토내용 ····· 7-1
7.1.3 비탈면 설계수행과정 ····· 7-1
7.2 비탈면 검토구간 선정 및 현황 ····· 7-2
7.2.1 선정기준 ····· 7-2
7.2.2 쌓기 비탈면 현황 ····· 7-3
7.2.3 깎기 비탈면 현황 ····· 7-5
7.3 비탈면 설계기준 ····· 7-7
7.3.1 비탈면 경사 및 소단기준 적용계획 ····· 7-7
7.3.2 설계하중 ····· 7-9
7.3.3 지하수위 ····· 7-10
7.3.4 비탈면 허용 안전율 기준 및 적용 ····· 7-10
7.4 비탈면 지반강도정수 ····· 7-12
7.5 비탈면 안정성 분석 방법 ····· 7-13
7.5.1 토사비탈면 안정성 해석 ····· 7-13
7.5.2 암반비탈면 안정성 해석 ····· 7-14
7.6 비탈면 안정성 검토 ····· 7-20
7.6.1 쌓기 비탈면 안정성 검토 ····· 7-20
7.6.2 깎기 비탈면 안정성 검토 ····· 7-36
7.6.3 깎기 비탈면 보강계획 ····· 7-66
7.6.4 비탈면 내진설계 ····· 7-82
7.7 비탈면 녹화공법 ····· 7-90
7.7.1 비탈면 녹화공법 선정 흐름 ····· 7-90
7.7.2 비탈면 보호공법 선정 ····· 7-91
7.7.3 시험시공계획 ····· 7-97
7.7.4 유지관리계획 ····· 7-104
7.8 비탈면 계측 및 유지관리 ····· 7-105
7.8.1 비탈면의 계측계획 ····· 7-105
7.8.2 시공중 비탈면 유지관리 ····· 7-110
7.8.3 시공후 비탈면 유지관리 ····· 7-111

제8장 교량기초 설계

8.1 검토개요 ····· 8-1
8.1.1 기본방향 ····· 8-1
8.1.2 기초설계 수행과정 ····· 8-1
8.1.3 교량현황 ····· 8-2
8.1.4 교량구간 지반조사 설계활용 ····· 8-3
8.1.5 설계 검토사항 ····· 8-3
8.2 기초형식 선정 ····· 8-4
8.2.1 기초형식 분류 ····· 8-4
8.2.2 기초형식 선정흐름도 ····· 8-5
8.2.3 기초형식 선정기준 ····· 8-5
8.2.4 교량별 기초형식 선정 ····· 8-6
8.2.5 교량별 기초형식 선정결과 ····· 8-28
8.3 말뚝재료의 선정 ····· 8-30
8.4 말뚝기초 시공법 검토 ····· 8-31
8.4.1 말뚝기초 시공법 비교 ····· 8-31
8.4.2 환경영향 검토 ····· 8-32
8.4.3 매입말뚝공법 검토 ····· 8-38
8.4.4 교량별 말뚝시공법 선정결과 요약 ····· 8-39
8.5 직접기초 안정성 검토 ····· 8-40
8.5.1 직접기초 검토항목 및 검토방법 ····· 8-40
8.5.2 직접기초 검토기준 ····· 8-40
8.5.3 직접기초 지지력 검토 ····· 8-41
8.5.4 직접기초 침하량 검토 ····· 8-44
8.6 말뚝기초 안정성 검토 ····· 8-46
8.6.1 말뚝기초 검토항목 및 검토방법 ····· 8-46
8.6.2 말뚝기초 검토기준 ····· 8-46
8.6.3 말뚝기초 지지력 검토 ····· 8-46
8.6.4 말뚝기초 침하량 검토 ····· 8-50
8.6.5 말뚝기초 수평지지력 검토 ····· 8-53
8.6.6 말뚝기초 수평변위 검토 ····· 8-58
8.7 기초의 부등침하 검토 ····· 8-61
8.8 교대기초 안정성 검토 ····· 8-63
8.9 교량기초 액상화 검토 ····· 8-68
8.9.1 지반의 액상화 검토 ····· 8-68
8.10 기초의 재하시험 계획 ····· 8-72

지반조사 보고서 부록

제1장 조사 위치도 및 지층단면도

1.1 조사위치도 ····· 3
1.2 지층단면도 ····· 7

제2장 지질평면도 및 단면도

2.1 지질평면도 및 단면도 ····· 33

제3장 주상도

3.1 교량구간 ····· 35
3.2 깎기구간 ····· 129
3.3 쌓기구간 및 기타구조물구간 ····· 185
3.4 시험굴 주상도 ····· 207

제4장 물리탐사 및 검층

4.1. 굴절법 탄성파 탐사 ····· 221
4.2. 시추공영상촬영(BIPS) ····· 243
4.3 하향식탄성파탐사(Down Hole) ····· 287
4.4 지하투과레이더탐사(GPR) ····· 295

제5장 현장조사 및 시험

5.1 SPT 에너지 효율시험 ····· 309
5.2 현장투수시험 ····· 343
5.3 공내재하시험(PMT/GMJ) ····· 363
5.4 공내전단시험 ····· 397
5.5 현장밀도시험 ····· 415

제6장 실내토질시험

6.1 토질물성시험 ····· 439
6.2 다짐 및 실내CBR시험 ····· 619
6.3 직접전단시험 ····· 641
6.4 토사공진주시험 ····· 663
6.5 진동삼축시험 ····· 679

제7장 실내암석시험

7.1 암석기본물성 및 일축압축강도시험 ····· 701
7.2 점하중강도시험 ····· 753
7.3 삼축압축강도 및 인장강도시험 ····· 767
7.4 절리면전단시험 ····· 787
7.5 암유용성시험 ····· 805

제8장 현장사진

8.1 시추조사 사진첩 ····· 811
8.2 시추코어 사진첩 ····· 943
8.3 현장시험 사진첩 ····· 1013
8.4 폐공 사진첩 ····· 1027

제9장 지시크리깅을 이용한 3차원 지층분석

9.1 지시크리깅을 이용한 3차원 지층분석 ····· 1077

제10장 교량기초 계산서

10.1 직접기초 지지력 ····· 1093
10.2 말뚝기초 지지력 ····· 1127
10.3 침하량 산정 ····· 1203
10.4 말뚝의 수평지지력 및 수평변위 ····· 1309

제11장 착공전 설계도서 검토 결과

11.1 오창JCT Ramp-C교 A2 기초형식변경 ····· 1455
11.2 본선 L형 옹벽 지지력 검토 ····· 1463

제1장 지반조사 개요

1.1 사업명

1.2 지반조사목적

1.3 사업범위

1.4 조사내용

1.5 조사장비

1.6 조사기간

제 1 장 지반조사 개요

1.1 사업명

- 옥산~오창 고속도로 민간투자사업

1.2 지반조사 목적

- 본 조사는 옥산~오창 고속도로 민간투자사업의 계획노선에 대한 시추조사, 각종 현장시험 및 실내시험을 실시하여 지층의 분포상태 및 토성을 파악하고 설계 및 시공에 필요한 지반공학적 기초자료를 수집, 분석하여 경제적이고 합리적인 설계가 될 수 있도록 지반공학적 설계자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

1.3 사업범위

1.3.1 공간적 범위

구 분	내 용	위 치 도
사 업 위 치	• 시점 : 충청북도 청원군 옥산면(경부고속도로) • 종점 : 충청북도 청원군 오창읍(중부고속도로)	
사 업 규 모	• 연 장 : L=12.1km(왕복 4차로) • 교 량 공 : 본선교량 14개소, IC 및 JCT교량 8개소 • 유출입시설 : 분기시설 2개소, 출입시설 1개소 • 영 업 시 설 : 본선 영업소 1개소, IC 영업소 1개소	

1.3.2 사업구간 현황



1.4 조사내용

1.4.1 예비조사

가. 기본자료 분석

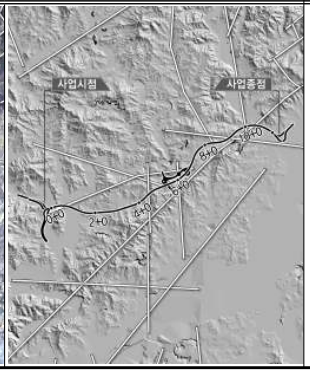
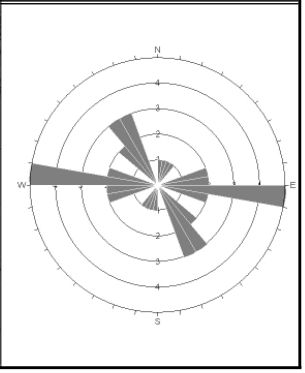
- 문헌조사 및 현장답사를 통하여 계획노선 구간의 지질특성을 개략적으로 파악
- 지질도 및 인접노선 설계 자료를 분석하여 옥산~오창 고속도로 민간투자사업을 위한 지반조사 계획 및 방향 설정에 활용

분석항목	조 사 이 용 자 료
지 질 도	• 1:50,000 병천도폭 등 (한국지질자원연구원 발행, 1989)
지 형 도	• 1:50,000 지형도 (국립지리원 발행)
보 고 서	• 옥산-오창 고속도로 민간투자 최초제안 및 제3자 제안공고 • 청주 테크노폴리스 진입도로 건설공사 • 오창 과학산업단지 조성공사 • 천안시 북부 우회도로 건설공사 • 당진-천안 고속도로 민간투자사업

나. 광역 지질이상대 분석

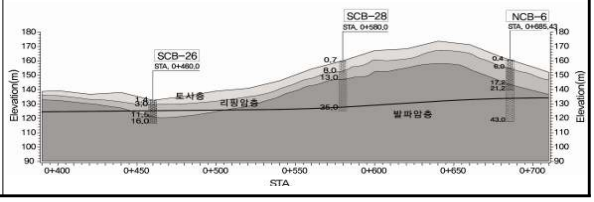
- 사업구간 일대에 분포하는 광역선구조 분석을 통한 선형구조 발달상태 분석
- 암종분포현황, 단층대 등 지질이상대에 대한 정보 획득
- 지질이상대의 방향성을 파악하기 위한 광역 지표지질조사를 실시하여 기본 조사 방향을 설정하고 계획 수립

조 사 항 목	조 사 내 용
지표지질조사	• 지질구조(유상구조, 엽리구조, 절리구조, 단층대 등)의 정밀 분석
위성영상, 음영기복도 분석	• 영상자료를 활용한 선형구조 분석

지 표 지 질 조 사	선 구 조 분 석		불연속면 방향성 조사
			

1.4.2 물리탐사

• 깎기구간의 지질이상대 및 연약대 파악, 암반 물성의 개략적 추정, 지층의 성상 파악, 굴착난이도 결정을 목적으로 실시

조사항목	조 사 내 용	물 리 탐 사 결 과
굴절법탄성파 탐 사	• 전체연장 : 3,075m	

1.4.3 현장조사

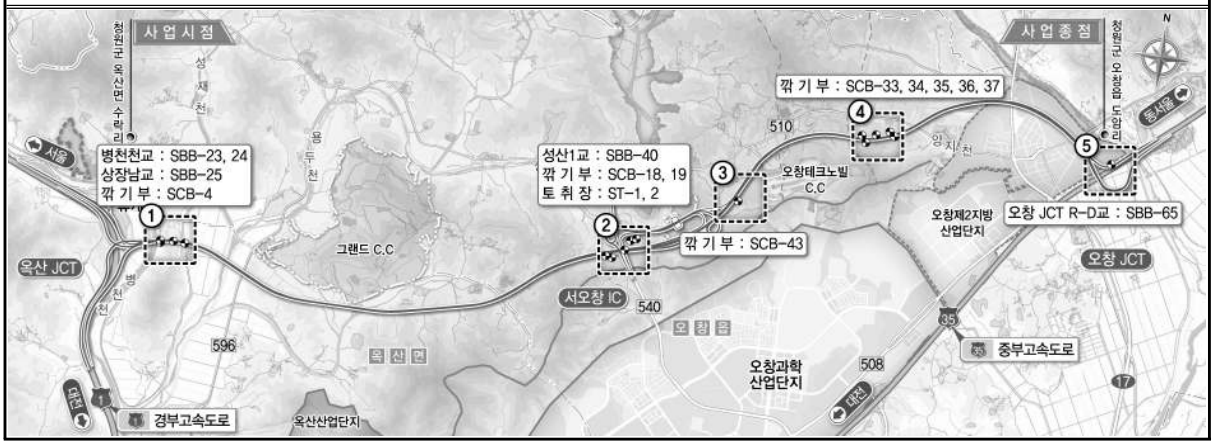
• 교량 및 토공구간에 대해 총 150공(NX Size) 시추조사 계획

• 조사지역은 구조물 계획에 따라 교량, 깎기, 쌓기, 기타구조물 구간 등 4개 구간으로 크게 분류할 수 있으며 설계에 부합할 수 있는 시추공수를 배분함

• 민원 및 진입불가(급경사지, 지형적요인 등)에 의해 16공 조사 불가로 총 134공 조사완료

조 사 항 목	조 사 구 간	조 사 수 량	비 고
시 추 조 사	교 량 구 간	82공	
	깎 기 구 간	33공	
	쌓 기 구 간	18공	
	기타 구조물 구간	1공	
시 험 굴 조 사	깎 기 구 간	20개소	
지 하 수 위 측 정	전 구 간	134개소	
민원 및 진입불가	교 량 구 간	5공	SBB-23, 24, 25, 40, 64
	깎 기 구 간	6공	SCB-4, 18, 19, 33, 34, 35, 36, 37, 43
	토 취 장	2공	ST-1, 2

민원 및 진입불가 위치도



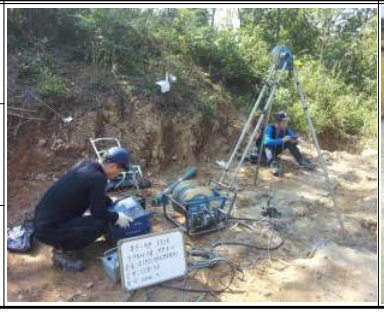
1.4.4 현장시험

• 원위치시험을 통하여 대상지반의 물성 정보 획득을 위한 현장 시험 및 조사 실시

조 사 항 목	조사수량	표 준 관 입 시 험	현 장 투 수 시 험
표 준 관 입 시 험	1,428회		
SPT에너지효율시험	3회		
현 장 투 수 시 험	16회	공 내 재 하 시 험	공 내 전 단 시 험
현 장 밀 도 시 험	20회		
공 내 재 하 시 험 (GMJ)	4회		
공 내 재 하 시 험 (PMT)	26회	SPT 에 너 지 효 율 시 험	현 장 밀 도 시 험
공 내 전 단 시 험	15회		
Block Sample 채취	15회		

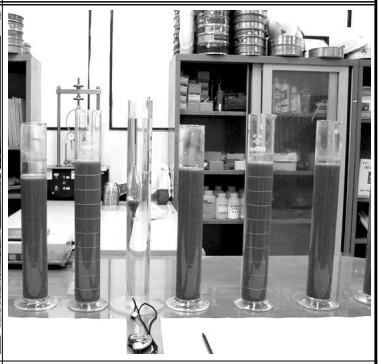
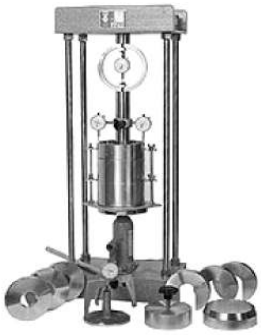
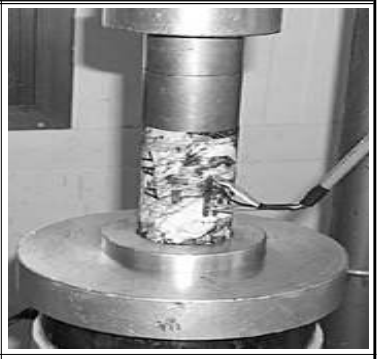
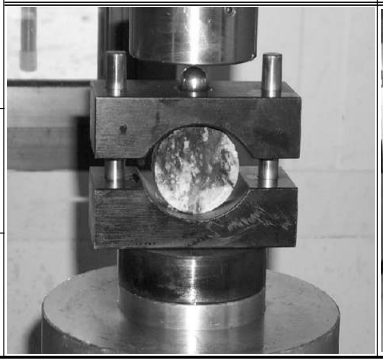
1.4.5 현장특수시험

• 사업구간의 각종 지반 특성값 산정을 위한 현장특수시험 실시

조 사 항 목	조사수량	시추공영상촬영	하향식탄성파탐사
시추공영상촬영	3회		
하향식탄성파탐사	2회		
GPR 탐사	10단면		

1.4.6 실내 토질 및 암석시험

• 토사 및 암석의 실내시험을 통하여 물리·역학적 특성을 파악, 설계지반정수 산정

조 사 항 목		조사수량	입도시험	비중시험
토질시험	토질물성시험	169회		
	다 짐 시 험	20회		
	실내 CBR	20회		
	직접전단시험	20회	**액성한계시험**	**공진주시험**
	공진주시험	2회		
	진동반복삼축시험	2회		
암석시험	암석물성시험	36회	**다짐 및 CBR시험**	**일축압축강도**
	일축압축강도	36회		
	점하중강도시험	181회		
	삼축압축강도	18회	**간접인장강도**	**삼축압축강도**
	간접인장강도	18회		
	절리면전단시험	15회		
	암유용성시험	2회		

1.5 조사장비

구분	조 사 항 목	조 사 장 비 명	수량
광역조사	위성영상, 음영기복도 분석	• LANDSAT-TM 위성영상자료	1식
	정밀지표지질조사	• 지질햄머, 클리노미터, Profile Gage, 슈미트햄머 외	1식
물리탐사	굴절법탄성파탐사	• MARK-6 / ABEM(스웨덴)	1식
현장조사	시추조사	• 시추기(유압식, 수세식) 및 기타 부속자재	3대
	시험굴조사	• 시험굴 조사장비	1식
현장시험	지하수위측정	• KL 010 지하수위측정기	1식
	표준관입시험	• Split Spoon Sampler	3식
	SPT에너지효율시험	• Pile Driving Analyzer	1식
	현장투수시험	• 변수위 투수시험기	3식
	공내재하시험	• Elastmeter-2/OYO(일본), Goodman Jack(미국)	1식
	공내전단시험	• BST(A-103M) / Handy Geotechnical Ins. Co., (미국)	1식
현장특수시험	시추공영상촬영	• Geologger-3 / OYO(일본)	1식
	하향식탄성파탐사	• MARK-6 / ABEM(스웨덴)	1식
	GPR 탐사	• Easy locator(sweden), Shield 350MHz	1식
실내시험	토질시험	• 토질물성 및 역학시험기	1식
	암석시험	• 암석물성 및 역학시험기	1식

1.6 조사기간

조 사 구 분	조 사 기 간
계 획 수 립	2012년 07월 1일~2012년 08월 31일
지 표 지 질 조 사	2012년 07월 20일~2012년 08월 31일
물 리 탐 사	2012년 08월 20일~2013년 01월 08일
현 장 조 사 및 시 험	2012년 08월 20일~2013년 01월 05일
실 내 시 험	2012년 09월 01일~2012년 12월 21일
성 과 분 석 및 보 고 서 작 성	2012년 09월 01일~2013년 04월 26일

제2장 조사계획

2.1 지반조사 계획 및 현황

2.2 조사항목의 적정성 평가

2.3 조사결과 설계반영 계획

2.4 조사 일반사항

2.5 폐공처리 계획

2.6 시공시 확인조사

제 2 장 조 사 계 획

2.1 지반조사 계획 및 현황

2.1.1 지반조사 계획

가. 기본방향

구조물 및 지반특성을 고려한 계획 수립	신뢰성 향상을 위한 지반조사
• 기존자료 분석을 통한 개선사항 검토 • 지형 및 구조물 특성을 고려한 계획 수립	• 지반특성을 고려한 조사항목 및 위치결정 • 지질위험 구간 중점조사 수행 • 주변 민원을 고려한 조사 수행
경제적인 시공을 위한 토질 및 기초 설계	**효율적인 설계를 위한 성과분석**
• 구조물별 지반특성을 고려한 설계수행 • 구조물 안정성 분석을 위한 설계자료 제공 • 통계분석을 통한 설계입력값 획득	• 시추조사 및 현장시험결과의 상호비교 분석 • 지질이상대구간의 지반특성 및 설계지반정수 산정 • 환경 및 안정성을 고려한 중점구간 성과 분석

나. 수행흐름



2.2 조사항목의 적정성 평가

2.2.1 조사항목의 적정성 검토

• 정밀도 높은 최신 조사기법을 적극 도입, 최적 설계 목표에 부합된 구간별 조사항목을 선정하여 조사결과 및 분석의 신뢰도 향상, 합리적인 설계 유도

구 분	설계고려사항	조사항목
공통구간	• 암종분포 및 지질구조대 파악	• 인공위성영상을 이용한 선구조 분석 • 정밀지표지질조사 • 물리탐사(굴절법탄성파탐사)
교량 및 기타구조물	• 기초형식 및 심도 결정	• 시추조사, 굴절법탄성파탐사
	• 기초별 지지력 및 침하량 산정	• 표준관입시험, SPT에너지효율시험, 공내재하시험, 공내전단시험, 일축압축강도시험, 점하중강도시험
	• 지진하중에 대한 안정성 확인	• 하향식탄성파탐사
	• 지질이상대 조사	• 시추조사
토공구간	• 토공량 산정의 신뢰성 확보	• 시추조사, 굴절법탄성파탐사
	• 비탈면 안정검토	• 지표지질조사, 시추조사, 시추공영상촬영, 공내재하시험, 공내전단시험, 절리면전단시험, 일축압축강도시험, 점하중강도시험, 직접전단시험 등
	• 설계지반정수 산정	• 공내재하시험, 공내전단시험 등
	• 쌓기재료 적부 판단	• 시험굴조사, 현장밀도, 다짐 및 CBR, 직접전단시험
	• 지진시 비탈면 안정해석	• 하향식 탄성파탐사
	• 발생암 유용성 파악	• 암유용성시험

2.3 조사결과 설계반영 계획

2.3.1 정밀 지표지질조사 및 물리탐사

구 분	분 석 내 용	설 계 반 영
정 밀 지표지질 조 사	• 지형, 지질특성 및 선구조분석 • 지질이상대 규모 및 방향성, 연장성 분석 • 분포암종 및 지질경계 확인 • 암반불연속면 발달 특성 파악 • 용출수 발생위치 및 용출량 분석	• 지반공학적 지형, 지질구조의 영향정도와 계획 구조물 특성을 고려한 비교노선 검토시 반영 • 암반내 발달된 불연속면의 주향 및 경사 특성을 파악하여 암반 분류에 반영 • 굴절법 탄성파탐사, 시추조사 성과를 종합하여 지질단면도를 작성
굴 절 법 탄성파탐사	• 깎기구간 토사층, 리핑암, 발파암의 경계분석	• 토공방법 및 비탈면 경사 지반평가

2.3.2 현장조사

구 분	분 석 내 용	설 계 반 영
시추조사	• 구간별 풍화대 암선구분 • 코아감정, 암종구분, TCR/RQD 측정 • 불연속면 발달특성 분석	• 기초형식 결정 및 지지력 검토 • 암반분류를 통한 지반등급 결정 • 비탈면 안정해석 및 토공계획 • 지질이상대 확인 및 설계반영
시험굴조사 현장밀도시험	• 깎기구간 토사층의 토질분류 및 단위중량 산정	• 쌓기 재료의 품질분석 • 토량환산계수 산정
지하수위 측 정	• 배수처리대책, 토공굴착에 따른 지하수위 변동 등 파악	• 시공시 지하수 유입량에 따른 배수계획 • 지하수위에 따른 비탈면 안정해석 실시

2.3.3 현장시험

구 분	분 석 내 용	설 계 반 영
표준관입시험	• 토사 및 풍화대 상대밀도 분석 • N값 50회/10cm(풍화토/풍화암) 경계 구분 • 관입에너지 고려 수정 N값 산정	• 토사 및 풍화대층 설계지반정수 산정 • 기초지지층 선정 및 토공계획 수립 • 직접기초 지지력 및 침하량 산정 • N값 관련 지반정수 산정시 활용
SPT에너지 효율시험		
현장투수시험	• 토사층의 투수계수 분석 • 투수패턴 분석	• 토사층 비탈면 안정분석시 지하수 투수성 및 지하수위 상승고 검토 반영 • 배수공법 결정에 반영
공내재하시험	• 압력-변위 곡선분석 • 암종별, 암반분류별 변형계수 산정	• 암종별, 암질별 변형계수를 산정하여 구조물 안정성 검토에 활용 • 기초의 허용지지력 및 침하량 산정에 반영 • 깎기구간 안정성 수치해석시 반영
공내전단시험	• 수직응력-전단응력 선형회귀 분석 • 토사 및 풍화대층의 강도정수 산정	• 깎기구간의 토사 및 풍화대층 강도정수를 결정하여 비탈면 안정분석에 반영

2.3.4 현장특수시험

구 분	분 석 내 용	설 계 반 영
시추공 영상촬영	• 시추공내 암반 불연속면 방향성 측정 • 지표지질조사 성과와 비교 분석	• 깎기 비탈면의 안정성 분석에 반영
하향식 탄성파 탐사	• 교량구간의 탄성파속도 측정 • 지반의 동적 설계지반정수 산정	• 교량 지층별 속도 분포 파악 • 구조물별 내진설계에 반영
GPR 탐사	• 교량 및 기타구조물구간의 지장물 현황 파악	• 시공시 지장물 파손으로 인한 피해 방지 및 이설계획에 반영

2.3.5 실내토질시험

구 분	분 석 내 용	설 계 반 영
기본물성시험	• 지층의 물리적·역학적 특성파악	• 토사 및 풍화대의 설계지반정수 산정
다짐시험 및 실내CBR시험	• 최대건조단위중량 및 최적함수비 • 기준 다짐밀도에서의 CBR산정	• 설계 CBR산정, 도로 포장두께 설계시 반영 • 쌓기 재료의 적합여부 판정
직접전단시험	• 토질의 강도정수 산정	• 비탈면 안정분석에 반영
공진주시험	• 지반의 동적특성 분석	• 구조물의 내진해석시 활용
진동삼축압축시험	• 토질의 진동반복응력비 분석	• 구조물의 액상화평가시 활용

2.3.6 실내암석시험

구 분	분 석 내 용	설 계 반 영
기본물성시험	• 물성값들의 상관관계 분석	• 흙의 분류 및 기본물성 파악
일축압축강도시험	• 암석의 파괴강도 특성 분석	• 구조물기초 지지력 검토시 활용
점하중 강도시험	• 암석의 점하중 강도값 ($Is_{(50)}$) 산정	• 일축압축강도와 점하중강도와의 관계 규명
절리면 전단시험	• 불연속면 강도특성 분석	• 불연속체 해석 및 비탈면 해석시 반영
삼축압축강도시험	• 암석의 강도특성 분석	• 설계지반정수 산정시 입력 자료로 활용
간접인장강도	• 암석의 역학적 특성 분석	• 암종별 역학적 특성값 고려하여 설계지반정수 산정시 입력 자료로 활용
암유용성시험	• 암석 품질기준 항목별 특성값의 적부여부 분석	• 깎기구간 발생하는 유용암의 유용적합성 여부를 판단

2.4 조사 일반 사항

2.4.1 토질 분류 및 기재방법

가. 토질의 분류 방법

• 흙의 분류는 성질이 다른 여러 흙을 간단한 시험을 근거로 몇 가지 무리로 나누어 사전에 흙의 공학적 성질을 파악할 목적으로 시행함

흙의분류	• 흙의 공학적 분류방법(KS F 2324)인 통일분류법(U.S.C.S)을 기준으로 분류
기재방법	• 시추주상도에 지층구분은 통일된 심볼을 사용함 • N값에 의해 상대밀도 및 연경도를 판단하고 채취시료의 육안관찰 및 물성시험에 의하여 통일분류법으로 흙을 분류하여 기재
기술내용	• 연경도 및 사질토의 상대밀도와 습윤상태, 색조, N값 등을 고려하여 기재 • 함수 상태는 건조(Dry), 습윤(Moist), 젖음(Wet) 및 포화상태(Saturated)로 구분 • 색은 흑색, 갈색, 홍색, 적색, 황색 등에 담(연한)과 암(진한)의 접두어를 사용

1) 육안관찰에 의한 분류법(KS F 2430, 한국표준협회)

구 분	토립자의 육안적 판별과 일반적인 상태	손으로 쥐었다 놓음		습윤상태에서 손가락으로 끈 모양으로 꼴때
		건조상태	습윤상태	
모 래 (Sand)	• 개개의 입자크기가 판별되며 입상을 보임 • 건조상태에서 흩어져 내림	• 덩어리지지 않고 흐트러짐	• 덩어리지나 가볍게 건드리면 흩어짐	• 끈 모양으로 꼬아지지 않음
실트섞인 모 래 (Silty Sand)	• 입상이나 실트나 점토가 섞여서 약간 점성이 있음 • 모래질의 특성이 우세함	• 덩어리지나 가볍게 건드리면 흐트러짐	• 덩어리지며 조심스럽게 다루면 부서지지 않음	• 끈 모양으로 꼬아지지 않음
모래석인 실 트 (Sandy Silt)	• 적당량의 세립사와 소량의 점토를 함유하고 실트입자가 반 이상임 • 건조되면 덩어리가 쉽게 부서져서 가루가 됨	• 덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않음 • 부서지면 밀가루와 같은 감촉	• 덩어리지며 자유롭게 다루어도 부서지지 않음 • 물을 부으면 서로 엉킴	• 끈 모양으로 꼬아지나 작게 끊어지고 부드러우며 약간의 점성이 있음
실 트 (Silt)	• 세립사와 점토는 극소량을 함유하고 실트입자의 함량이 80% 이상 • 건조되면 덩어리지나 쉽게 부서져서 밀가루 감촉의 가루가 됨	• 덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않음	• 덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않으며 물에 젖으면 엉킴	• 완전히 꼬아지지는 않으나 작게 끊어지는 상태로 꼬아지고 부드러움
점 토 (Clay)	• 건조되면 아주 딱딱한 덩어리가 됨 • 건조상태에서 잘 부서지지 않음	• 덩어리지며 자유롭게 만져도 부서 지지 않음	• 덩어리지며 자유롭게 만져도 부서지지 않으며 찰흙 상태로 됨	• 길고 얇게 꼬아지며 점성이 큼

2) 흙의 통일분류법

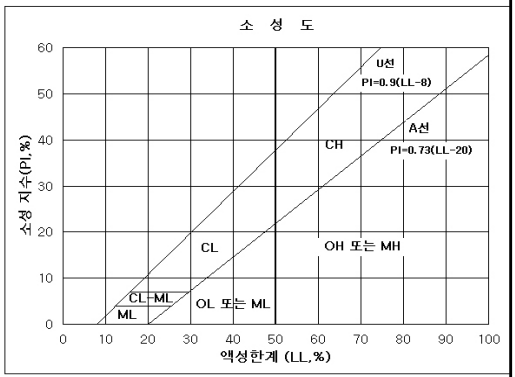
<table>
<tr><th colspan="3">주 요 구 분</th><th>기호</th><th>대표적인 흙</th><th colspan="3">분 류 기 준</th></tr>
<tr><td rowspan="7">조립토
(Coarse-Grained Soil)

200번체 통과량 50% 이하</td><td rowspan="3">자 갈
(Gravel)
4번체 통과량 50% 이하</td><td>세립분이 약간또는 거의없는 자 갈</td><td>GW</td><td>입도분포가 좋은 자갈 또는 자갈과 모래의 혼합토, 세립분이 약간 또는 없음</td><td rowspan="7">세립분의 함유율에 의한 분류:

200번체 통과율 5% 이하 GW, GP, SW, SP

200번체 통과율 12% 이상 GM, GC, SM, SC

200번체 통과율 5-12% 2중 기호로 표시</td><td colspan="2">Cu > 4
1 < Cg < 3</td></tr>
<tr><td>GP</td><td>입도분포가 나쁜 자갈 또는 자갈과 모래의 혼합토, 세립분이 약간 또는 없음</td><td colspan="2">GW의 조건이 만족되지 않을때</td></tr>
<tr><td rowspan="2">세립분을 함 유 한 자 갈</td><td>GM</td><td>실트질의 자갈, 자갈·모래·실트의 혼합토</td><td>Atterberg 한계가 A선 밑에 있거나 소성 지수가 4이하</td><td rowspan="2">소성지수가 4-7이면서 Atterberg 한계가 A선 위에 존재 할 때는 2중 기호로 표시</td></tr>
<tr><td>GC</td><td>점토질의 자갈, 자갈·모래·점토의 혼합토</td><td>Atterberg 한계가 A선 밑에 있거나 소성 지수가 7이상</td></tr>
<tr><td rowspan="3">모 래
(Sand)
4번체 통과량 50% 이상</td><td>세립분이 약간또는 거의없는 모 래</td><td>SW</td><td>입도분포가 좋은 모래 또는 자갈질의 모래, 세립분은 약간 또는 없음</td><td colspan="2">Cu > 6
1 < Cg < 3</td></tr>
<tr><td>SP</td><td>입도분포가 불량한 모래 또는 자갈질 모래</td><td colspan="2">SW의 조건이 만족되지 않을때</td></tr>
<tr><td rowspan="2">세립분을 함 유 한 모 래</td><td>SM</td><td>실트질의 모래, 모래와 실트의 혼합토</td><td>Atterberg 한계가 A선 밑에 있거나 소성 지수가 5이하</td><td rowspan="2">소성지수가 4-7이면서 Atterberg 한계가 A선 위에 존재 할 때는 2중 기호로 표시</td></tr>
<tr><td>SC</td><td>점토질의 모래, 모래와 점토의 혼합토</td><td>Atterberg 한계가 A선 밑에 있거나 소성 지수가 7이상</td></tr>
<tr><td rowspan="6">세립토
(Fine-Grained Soil)

200번체 통과량 50% 이상</td><td colspan="2" rowspan="3">액성한계 50% 이하</td><td>ML</td><td>무기질의 실트, 매우 가는 모래, 암분, 소성이 작은 실트질의 세사나 점토질의 세립사</td><td colspan="3" rowspan="6">소성도(Plasticity chart)는 세립토에 함유된 세립분과 세립토를 분류하기 위해 사용됨
 

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

나. 토질의 기재 방법

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

1) 통일분류법

토질의 종류		제1문자	토질의 속성	제2문자
조립토	자갈 (Gravel)	G	• 입도 분포 양호 세립분 거의 없음	W
	모래 (Sand)	S	• 입도 분포 불량 세립분 거의 없음	P
세립토	실트 (Silt)	M	• 세립분의 12%이상 함유. A선 아래 소성지수 4이하	M
	점토 (Clay)	C	• 세립분의 12%이상 함유. A선 위 소성지수 7이상	C
	유기질의 실트 및 점토	O	• 압축성 낮음(Low Compressibility) WL≤50	L
유기질토	이탄	Pt	• 압축성 높음(High Compressibility) WL≥50	H

2) 상대밀도 및 연경도

사질토의 상대밀도		점성토의 연경도	
관입저항값(N값)	상대밀도	관입저항값(N값)	연경도
4이하	매우느슨(Very Loose)	2이하	매우연약(Very Soft)
4~10	느슨(Losse)	2~4	연약(Soft)
10~30	보통조밀(Medium Dense)	4~8	보통견고(Medium Stiff)
30~50	조밀(Dense)	8~15	견고(Stiff)
50이상	매우조밀(Very Dense)	15~30	매우견고(Very Stiff)
		30이상	고결(Hard)

3) 함수상태

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

4) 색깔

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

2.4.2 암석 및 암반의 분류 및 기재방법

가. 암석의 분류

• 암석의 분류는 생성 원인과 광물조성에 따라 화성암, 퇴적암, 변성암으로 분류하며, 지질구조 및 암석의 기본 특성을 파악할 목적으로 시행함

암석의 분류	암석의 생성원인과 광물 조성지질 연대에 따라 분류
분 류 방 법	• 지질연대에 따라 고생대, 중생대, 신생대 및 하부 상세 구분 • 암석명에 의한 분류 – 조암광물의 종류, 함량비, 형태, 산출상태, 조직 구조에 의해 분류 • 생성원인에 의한 분류 – 화성암, 퇴적암, 변성암
분 류 내 용	• 생성시기 • 주성분 광물 및 부성분 광물 • 암상의 색, 입자크기, 형태, 배열 등

1) 화성암의 분류

색		←———— 담색 ———— 검은색 ————→				
		산성암	중성암		염기성암	초염기성암
SiO_2(%)		>65	65~60	60±	55±	52~45	40±
광물성분		석 영 정장석 흑운모 백운모 각섬석	정장석 사장석 석영, 흑운모 각섬석, 백운모	정장석 흑운모 백운모 각섬석	사장석 각섬석 흑운모	사장석 휘 석 감람석	감람석 휘 석 자철석 크롬철석
심 성 암		화강암	화강섬록암	섬장암	섬록암	반려암	감람암 듀나이트
반심성암		화강반암 석영반암	화강섬록반암	섬장반암 반암	섬록반암 반암	반려반암 조립현무암	
화 산 암		유문암 석영조면암	석영안산암	조면암	안산암	현무암	
비현정질암맥		←———— 조면암 ————→			←———— 현무암		
유리질	유 리 질	←———— 흑요암 ————→				분석 다공상 행인상 현무암	
	다공상 구 조	←———— 부 석 ————→					
	행인상 구 조	←———— 행인상 부석 ————→					

2) 변성암의 분류

원래의 암석	접촉변성암	광역변성암
셰일,사암 ————→ 혼펠스 ————→		슬레이트→천매암→편암→편마암
석회암 ————→ 결정질 석회암(대리암)————→		결정질 석회암(대리암)
셰일, 사암 ————→ 규암 ————→		규암 및 규질편암
석회질 셰일, 응회암, 현무암 —→ 녹염석 혼펠스 ——→		각섬암 및 각섬석편암
화강암 ————————————→		화강편마암

3) 퇴적암의 분류

조 직	성 인	암석의 종류
쇄설성 퇴적암	수성쇄설암	역암, 사암, 미사암, 이암
	풍성쇄설암	풍성사암(삼릉석 포함) 및 황토
	화성쇄설암	화산분출시 분출된 입자들(화산탄, 화산암괴, 화산력, 화산회)로 형성
	빙성쇄설암	빙성암, 호상점토층(주로 빙하말단 부근의 호수에 퇴적)
비쇄설성 퇴적암	탄산염암	석회암, 고회암
	화학적퇴적암	암염, 석고 및 경석고, 쳐어트
	유기적퇴적암	석회암, 백악, 규조토, 쳐어트, 석탄, 아스팔트

나. 암반의 분류

1) 개략적 분류 및 기재방법

암반 분류	• 한국도로공사 분류기준에 따라 풍화토, 풍화암, 연암, 보통암 및 경암으로 분류 • 터널구간은 Rock Type으로 표시하되 RMR 및 Q 분류에 의해 암반을 분류하고 분석을 수행함
기술 내용	• 암석의 풍화상태, 불연속면의 간격(절리나 파쇄대의 간격) : 강도 및 암질표시는 ISRM(국제암반역학회)의 분류방법에 의거 분류 • 색, 불연속면(Discontinuity)의 간격과 상태, 풍화상태, 강도, 암석명 등 • 강도, 풍화정도, 파쇄정도는 암석분류 기준에 의거하여 분류

2) 국내의 암반분류

구 분	분류목적	분류요소	검 토	비 고
한국도로공사 분류기준	터 널	• RQD, TCR • RMR • Q-System • 탄성파속도 • 일축압축강도	• 기존 암반분류 기준을 이용하며, RQD 및 일축압축 강도 등 개별요소에 의해 지반등급 결정 가능성 제공	한국도로공사
토목표준품셈	토 공	• 탄성파속도(자연, 암석) • 내압강도 • 암석종류	• 암편 일축압축강도 기준이 너무 높음 • 연암이하의 일축압축강도는 가공의 수치임	건설교통부
용역협회기준	시 추 암석분류	• 탄성파속도 • 일축압축강도	• 시추주상도상의 암석종류 기재시 이용	한국기술용역협회
서울시 표준지반분류	토목공사	• SPT, TCR, RQD • 일축압축강도 • 절리면 간격	• 정성적 기준임	서울특별시
서울지하철 분류기준	터 널	• SPT, TCR, RQD • 일축압축강도 • 절리면 간격 • RMR과 연계	• 서울시 표준지반분류를 근간으로 한것으로 RMR과 연계시 등급 간격이 일정치 않음	서울지하철 9호선 설계기준 (1997)
고속철도 분류기준	터 널	• 일축압축강도 • 탄성파속도 • 변형계수 • 지반강도비 • TCR, RQD • 현장 육안관찰	• RQD 및 일축압축강도 등 개별요소에 의해 지반등급 결정 가능성 제공	고속철도 시방서 지반분류

3) 건설교통부 토목품셈 기준

가) 현장에서의 암반분류 방법

암석의 종류	극경암	경 암	보통암	연 암	풍화암
1. 일축압축강도 건조상태(MPa)	160 이상	130~160	100~130	70~100	30~70
2. 점하중강도 (MPa)	8.8 이상	5.6~8.8	3.7~5.6	1.8~3.7	0~1.8
3. Schmidt hammer	60 이상	51~60	44~51	34~44	10~45
4. 햄머에 의한 타격	• 큰 햄머로 타격시 튕기며 용이하게 깨지지 않음	• 큰 햄머로 타격시 약간 깨짐	• 큰 햄머로 타격시 균열을 따라 크게 떨어짐	• 보통 햄머로 타격시 비교적 용이하게 깨짐	• 보통 햄머로 타격시 용이하게 소편으로 깨어지며 때로는 손으로도 쪼개짐

나) 탄성파 속도에 따른 암석 분류

구 분	A그룹	B그룹
대 표 적 인 암 석 명	편마암, 사질편암, 녹색편암, 역암, 석회암, 사암, 휘록응회암, 역암, 화강암, 섬록암, 감람암, 사문암, 유문암, 셰일, 안산암, 현무암	흑색편암, 녹색편암, 휘록응회암, 셰일, 이암, 응회암, 집괴암
함유물 등에 의한 시각판정	사질분, 석영분을 다량 함유하고 암질이 단단한 것, 결정도가 높은것	사질분, 석영분 및 응회분이 거의 없는 암석, 천매상의 암석
500~1,000g 해머의 타격에 의 한 판 정	타격점의 암은 작은 평평한 암으로 되어 비산하나, 거의 암분을 남기지 않는것	타격점에 암 자신이 부서지지 않고 분상이 되어 남고 암편이 별로 비산되지 않는 암석

암석의 분류	그룹	자연상태의 탄성파속도 V_p(km/s)	암편의 탄성파속도 V_p(km/s)	암편내압강도 (MPa)
풍화암	A	0.7~1.2	2.0~2.7	30~70
	B	1.0~1.8	2.5~3.0	10~20
연 암	A	1.2~1.9	2.7~3.9	70~100
	B	1.8~2.8	3.0~4.3	20~50
보통암	A	1.9~2.9	3.7~4.7	100~130
	B	2.8~4.1	4.3~5.7	50~80
경 암	A	2.9~4.2	4.7~5.8	130~160
	B	4.1이상	5.7이상	80이상
극경암	A B	4.2이상	5.8이상	160이상

4) 한국도로공사 암반분류 기준

암 질	특 징	RMR	Q값	RQD (%)	탄성파 속 도 (km/s)	일축압축 강 도 (MPa)	코 아 회수율 (%)
경 암	• 안정성이 있고 풍화, 변질 및 물리적, 화학적 영향을 거의 받지 않은 신선한 대괴상의 암질	81 ~ 100	40 이상	70 이상	4.5 이상	120이상	90 이상
보통암	• 균열 및 편리가 다소 발달되어 있으며, 일반으로 절리가 존재하는 층상의 암질	61 ~ 80	10 ~ 40	40 ~ 70	4.0 ~ 4.5	80 ~120	70 ~ 90
연 암	• 층리, 절리 및 편리 등이 매우 발달된 상태이며, 파쇄대가 존재하는 소괴상의 암질	41 ~ 60	4 ~ 10	20 ~ 40	3.5 ~ 4.0	60 ~80	40 ~ 70
풍화암	• 물리적, 화학적 영향으로 파쇄대가 매우 발달되고 절리가 불규칙으로 발달된 파쇄상의 풍화된 암질	21 ~ 40	1 ~ 4	20 이하	2.0 ~ 3.5	25 ~60	40 이하
풍화토	• 풍화작용이 심하고 일부가 토괴화된 상태이며, 매우 쉽게 부서지고 쉽게 뜯어낼 수 있는 암질	20 이하	1 이하	20 이하	2.0 이하	25이하	-

다. 기재 방법

1) 암석의 현장 기재 방법

특 성		현 장 기 재 방 법
암 종		• 암종, 암석명, 주 구성광물, 고결물질 등
색 조		• 기본색(황색, 회색, 청색 또는 녹색)에 담(연한)과 암(진한)의 명암 및 혼색에 대한 접두어 사용
구성입자		• 조립, 중립, 세립에 강조를 위한 접두어 사용
조직	입도형태	• 등립질, 반정질, 판상, 등방성, 이방성
	입자방향성	• 수평, 수직, 경사(경사도 기재)
절리 상태	표면형태	• 계단형, 파도형, 평탄형 등
	표면거칠기	• 매우 거침, 거침, 중간, 매끄러움, 매우 매끄러움
	틈새정도	• 개구성(폭 기재), 폐쇄성
	충진물질	• 없음, 모래, 점토, 각력, 기타 광물
	풍 화 도	• 신선, 약한 풍화, 중간 풍화, 심한 풍화, 완전 풍화
기타 불연속면		• 단층, 활동면, 엽리, 구조대, 벽개, 층리, 공동 등과 지하수 조건

2) 불연속면의 간격에 의한 구분

기 호	용 어	절리 간격	절리 상태
F1	괴상(Massive)	100cm 이상	Very Wide
F2	약간 균열 (Slightly Fractured)	20~100cm	Wide
F3	보통 균열 (Moderately Fractured)	10~20cm	Moderately Close
F4	심한 균열 (Fractured)	5~10cm	Close
F5	매우 심한 균열 (Highly Fractured)	5cm 이하	Very Close

3) 풍화상태에 대한 구분

기호	용 어	설 명
D1	신선한 암반 (Fresh)	• 풍화작용의 흔적이 없는 상태
D2	약간 풍화 (Slightly Weathered)	• 기반암중에 발달된 불연속면을 따라 미약한 풍화작용이 시작되고 있으나 암석자체에는 아무런 풍화작용이 일어나지 않는 상태
D3	보통 풍화 (Moderately Weathered)	• 전 암석표면에서부터 풍화가 진행중이며, 색조는 변하였으나, 손으로 부러뜨릴 수 없는 상태
D4	심한 풍화 (Highly Weathered)	• 암석의 내부까지 풍화가 진행중이며, 점토물질이 협재되어 있어 부분적으로 쉽게 부러뜨릴 수 있는 상태
D5	완전 풍화 (Completely Weathered)	• 암석 전체가 완전히 풍화되어 흙으로 변화되었으나 모암의 원조직과 구조를 가지며, 간혹 풍화를 받지 않은 암편을 함유하는 상태

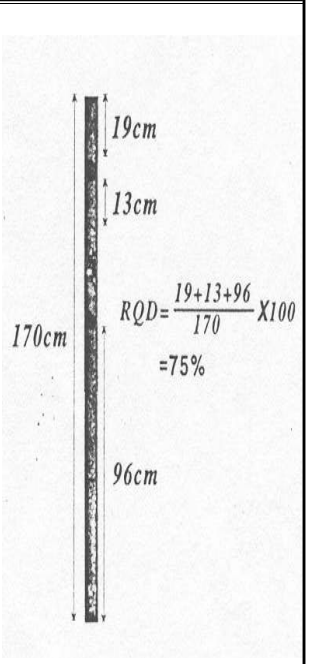
4) 강도에 대한 구분

기호	용 어	설 명
S1	매우 강함 (Very Strong)	• 여러 번의 해머타격으로 패각상의 조각으로 깨지며 날카로운 각
S2	강 함 (Strong)	• 1~2회의 강한 해머타격으로 깨지거나 모서리가 각이 지는 정도
S3	보통강함 (Moderately Strong)	• 1회의 약한 해머타격으로 쉽게 깨지며 모서리가 으스러지는 정도
S4	약 함 (Weak)	• 해머로 눌러 으스러지는 정도
S5	매우 약함 (Very Weak)	• 손가락 또는 엄지손가락의 압력으로 눌러 으스러지는 정도

5) RQD에 의한 분류

가) 개 요

• 암반의 양호도와 RQD의 관계로부터 현지 암반의 탄성계수를 추정할 수 있으며, 지보설계에 대한 일반적인 기준도 명시

제 안	Deere (1967)	
평가방법	• 채취된 시추코어중 10cm 이상인 코아 길이의 합	
장 점	• 매우 간단하며 암반특성을 판단하기에 비교적 적합 • 시추코어가 없는 경우 단위 체적당 포함된 절리의 수(Jn) • 시추코아의 주상도 작성시 표준요소로 적용 • RMR 및 Q-System 적용시 기본요소 • 주관적인 차이가 적음	
단 점	• 터널설계시 RQD값 하나만으로 고려하지 않음 • 절리의 방향이나 견고성, 충진물질 등을 고려하지 못함 • 절리가 얇은 점토 충진물 또는 풍화물질을 함유하는 지역에서는 제한적임	
RQD 산정시 주의할 점	• 코어의 형상에 따라 암질이 다를수 있음 • 오른쪽 그림에서 코아 상태를 볼 때 10cm 이상의 코어 길이의 합만을 고려하면 이 암반의 RQD값이 크게 되나, 암반상태는 아래쪽이 더 불량하므로 주상도에 암반의 풍화상태, 절리간격, 절리형태, 거칠기 등을 기재해야 함	

나) Deere에 의한 암반 지보 등급 분류기준 및 지보분류

RQD등급 (%)	암질상태	지 보 형 식			이완영역
		Steel Rib	Rock Bolt	Shotcrete	
Ⅰ 100>RQD≧90	매우양호 (Vear good)	• 불필요	• 불필요	• 불필요	(0.0~ 0.3)B
Ⅱ 90>RQD≧75	양호 (good)	• 경량 • 간격:1.5~1.8m	• System Bolt • 간격:1.5~1.8m	• 필요한 경우 • 국부적으로 5~8cm	(0.3~ 0.6)B
Ⅲ 75>RQD≧50	보통 (Fair)	• 경량~중량 • 간격:1.2~1.5m	• System Bolt • 간격:0.9~1.5m	• Crown & Wall 10cm 이상	(0.6~ 1.3)B
Ⅳ 50>RQD≧25	불량 (Poor)	• 경량~중량 • 간격:0.6~1.2m	• System Bolt • 간격:0.6~1.2m	• Crown & Wall 15cm 이상	(1.3~ 2.0)B
Ⅴ RQD<25	매우불량 (Vear Poor)	• 중량 도형 • 간격:0.9m	• System Bolt • 간격 : 0.9m	• 전단면:15cm이상 • Steel Rib와 체결	(2.0~ 2.8)B

6) RMR 분류

가) 암반분류 요소와 평점

- Geomechanics Classification으로 불리는 RMR 분류방법은 암반을 평가할 때 현장과 실험실에서 측정되는 6가지 변수 즉, 신선암의 일축압축강도, RQD, 불연속면 간격, 불연속면의 상태, 지하수 상태, 불연속면의 방향 등의 변수에 점수를 주어 그 합계 점수에 의해 암반의 등급을 결정함
- RMR에 의한 분류기준을 적용하여 암반분류기준으로 설계에 필요한 지반정수를 제공하였음

평 가 항 목			평		점				
1	신선암 (Intact Rock) 강도(MPa)	점하중강도	> 10	4~10	2~4	1~2	일축압축강도 적용		
		일축압축강 도	> 250	100~250	50~100	25~50	5~25	1~5	<1
	점 수		15	12	7	4	2	1	0
2	R Q D (%)		90~100	75~90	50~75	25~50	< 25		
	점 수		20	17	13	8	3		
3	절 리 간 격		>2m	0.6~2m	0.2~0.6m	60~200mm	<60mm		
	점 수		20	15	10	8	5		
4	불연속면 상태	굴 곡	매우거침	약간거침	약간거침	경면보임			
		연 속 성	짧 음	–	–	매우길음	상당히 길음		
		틈	없 음	1 mm	1 mm	1~5 mm	> 5 mm		
		충진물두께	–	–	–	< 5 mm	> 5 mm (단층점토 존재)		
		풍화상태	신 선	약간풍화	약간풍화	–	–		
	점 수		30	25	20	10	0		
5	지하수	터널길이 10m당 유입량(ℓ/min)	없음	< 10	10~25	25~125	> 125		
		절리수압/ 최대주응력비	0	< 0.1	0.1~0.2	0.2~0.5	> 0.5		
		일반적인 조건	완전건조	습 함	습함 (간헐적용출)	물방울이 떨어짐	용출이 심함		
	점 수		15	10	7	4	0		

나) 절리방향에 따른 평점 보정표

절리주향/경사		매우양호	양 호	보 통	불 량	매우불량
점 수	터 널	0	-2	-5	-10	-12
	기 초	0	-2	-7	-15	-25
	사 면	0	-5	-25	-50	-60

다) 평점에 따른 암반의 등급

구 분	Ⅰ등급	Ⅱ등급	Ⅲ등급	Ⅳ등급	Ⅴ등급
평점합계	81~100	61~80	41~60	21~40	20 이하
평 가	매우 양호 (Very Good)	양 호 (Good)	보 통 (Fair)	불 량 (Poor)	매우 불량 (Very Poor)
자립시간	15m당 10년	10m당 1년	5m당 1주일	2.5m당 10시간	1.0m당 30분
점착력(kPa)	400 이상	300~400	200~300	100~200	100 이하
마찰각(°)	45 이상	35~45	25~35	15~25	15 이하

라) 불연속면 상태의 평점

변 수	평 점 기 준				
연 장 성 (Persistence Continuity)	< 1m	1~3m	3~10m	10~20m	> 20m
	6	4	2	1	0
틈 새 (Aperture)	없음	< 0.1mm	0.1~1.0mm	1~5mm	> 5mm
	6	5	4	1	0
거칠기 (Roughness)	매우거칠다	거칠다	다소거칠다	평평하다	매끄럽다
	6	5	3	1	0
충진물질 (Gouge)	없음	< 5mm(견고)	> 5mm(견고)	< 5mm(연약)	> 5mm(연약)
	6	4	2	2	0
풍화상태 (Weathering)	신선	약간풍화	보통풍화	심한풍화	완전풍화
	6	5	3	1	0

마) RMR 평가 항목별 지반조사 자료 활용 내용

• 암반평가를 합리적으로 수행하기 위하여 평가항목별로 활용한 지반조사 자료는 다음과 같음

No	분류항목		지반조사 자료의 활용
1	일축압축강도		• 실내암석시험(일축압축시험) 시험값을 우선 적용 • 시추코아 관찰, 해머 타격에 의한 정성적인 분석
2	RQD		• 시추코아 로깅(Logging) 결과
3	불연속면 간격		• 균열부 로깅(Fracture Logging) 자료를 우선적으로 반영 • RQD와 불연속면 간격과의 상관관계 검토(Priest & Hudson, 1976) • 지표지질조사 자료 참조
4	불연속면상태	연속성	• 지표지질조사 자료 참조
		간극	• 시추코아 관찰 • 지표지질조사 자료 참조
		충전물	• 시추코아 관찰 • 지표지질조사 자료 참조
		거칠기	• 시추코아 관찰 • 실내시험시 JRC 측정 결과 • 지표지질조사시 거칠기 정도 평가
		풍화도	• 시추코아 관찰 • 시추코아에 대하여 햄머타격 등 정성적인 분석
5	지하수상태		• 수압시험에 의한 투수계수 활용 • 불연속면의 빈도, 점토 물질, 충전물, 파쇄대의 발달상태 참조
6	불연속면 방향에 대한 점수 보정		• 지표지질조사, 구역별 주요절리군의 통계처리 자료 활용 • 지질평면, 단면도상에서의 지질구조 검토

바) RMR 값의 이용

• 터널 및 공동의 자립시간과 최대 안정 폭 제시

• 암반등급별 장기간 안전성 확보를 위한 천반지보 선택에 대해 지침 제공

• 암반기초 부분에서 RMR이용 원위치 변형계수(E_m) 산정

• 암반비탈면 적용시 암반의 점착력과 마찰각 추정

• 설계 적용 RMR 89은 1989년도 제안식을 기준, GSI값 산정시 채택

• RMR 89에서 지하수의 영향을 배제한 값 변형계수 추정에 사용(김교원, 1993)

2.4.3 토사, 리핑암, 발파암의 분류기준

- 비탈면 시공시 시공 방법 및 비용을 산출하기 위하여 굴착난이도를 토사, 리핑암, 발파암으로 구분
- 굴착 난이도는 암석의 강도뿐만 아니라 불연속면의 발달 빈도에 따라 다름
- 암석의 구성물질, 강도, 균열상태 등에 따라 탄성파 속도가 변하므로 탄성파 속도 측정은 굴착난이도의 경계를 구분하는데 효과적인 방법임

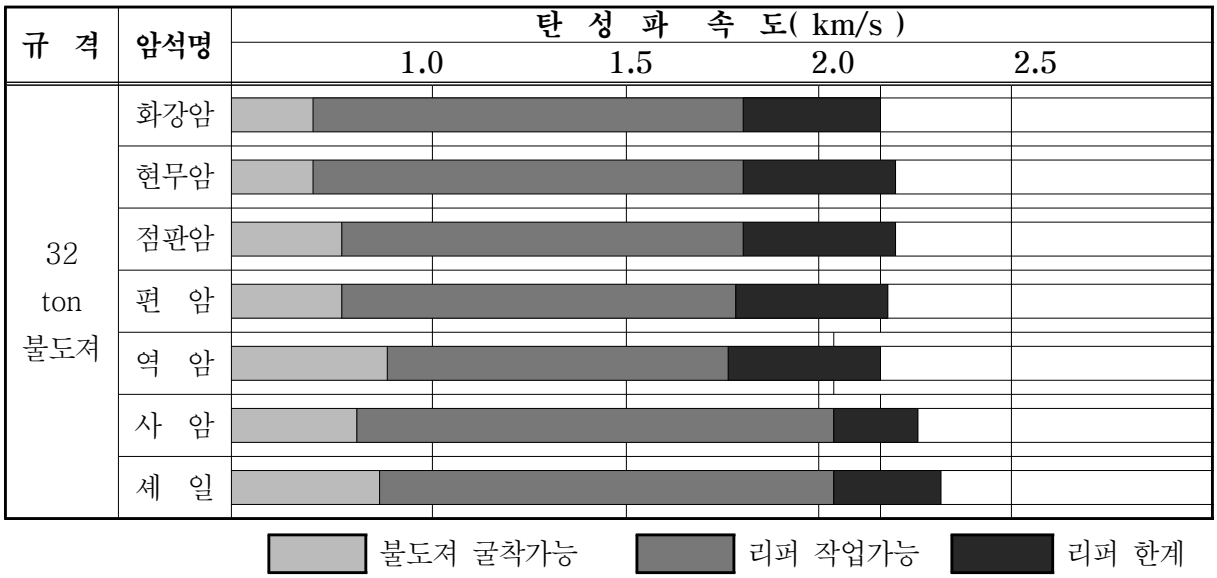
1) N값 및 불연속면 발달에 따른 분류

구 분		토 공 작 업		
		토 사	리 핑 암	발 파 암
표준관입시험 (N값)		50/10 미만	50/10 이상	-
불연속면의 발달빈도	BX 크기	-	TCR=5%이하이고 RQD=0%정도	TCR=5~10%이상이고 RQD=0~10%이상
	NX 크기	-	TCR=20%이하이고 RQD=10%이하	TCR=20%이상이고 RQD=10%이상
탄 성 파 속 도	A 그룹	700m/s 미만	700~1,200m/s 미만	1,200m/s 이상
	B 그룹	1,000m/s 미만	1,000~1,800m/s 미만	1,800m/s 이상

2) 탄성파속도에 따른 리핑암과 발파암의 분류

암종그룹	탄성파속도(m/s)			비 고
	토 층	리핑암반	발파암반	
A그룹	700 이하	700~1,200	1,200 이상	• 편마암, 사질편암, 석회암, 사암, 역암, 화강암, 섬록암, 안산암, 현무암, 녹색편암, 감람암 등
B그룹	1,000 이하	1,000~1,800	1,800 이상	• 흑색편암, 셰일, 이암, 응회암, 집괴암 등

3) 탄성파속도에 의한 리퍼빌리티 분류



2.4.4 지표지질조사 방법 및 기재 방법

가. 지표지질 조사 방법

1) 지표지질조사 과정

자료수집 검토	답사 계획	현장 조사	실내 작업
• 지질도 • 기타 문헌자료	• 일정 및 노선 검토	• 노두, 단층 이상대 등 • Route Map 작성	• 조사결과 정리 및 검토 • 조사보고서작성

2) 지질의 관찰 항목

지 형	노두의 관찰·조사항목
미 고 결 퇴 적 물	• 종류(표토, 애추, 선상지 퇴적물, 단구 자갈층 등), 성인, 성상(입도배합, 자갈의 암종, 형상, 다짐상태, 함수상태 등), 분포(두께, 범위, 성층, 연속성 등)
암 질	• 암석의 종류 및 명칭과 경연의 정도
지 층 의 층 리	• 주향/경사(절취면이 지층의 주향/경사와 일치하면 붕괴가 일어나기 쉬움), 퇴적상황, 습곡구조, 정합·부정합·관입 등의 상황과 지층경계면의 성상
암 의 균열 절리	• 균열의 개구 정도, 주향, 경사, 간격, 연속성, 밀착성, 점토의 존재 유무, 비탈면과의 각도, 물이 배어 나옴, 용수, 편리면의 특성
풍화변질	• 규모, 분포, 연약성, 점토화, 용수상황(특히 제3기층), 마사, 안산암, 사문암, 온천변질, 비탈면과의 각도
파 쇄 대 단 층	• 주향, 경사, 범위, 파쇄 정도, 폭, 충전물의 상태, 점토 협재의 유무, 물의 배어나옴, 용수, 비탈면과의 각도
지 하 수 표 면 수	• 지하수(용수의 위치, 수온, 양, 압력의 관찰, 수질, 계절 변화, 대수층, 차수층, 지하수면·표면수의 위치 및 분포, 토질의 함수상태 및 겨울철의 동결융해 상황, 음료수, 관개용수 등의 현황), 온천, 분기(양, 온도, 함유 성분, 분포 등)

나. 불연속면의 암반공학적 표현

1) 방향성(Orientation)

구 분	기 호
주향/경사	: 45° 경사와 선방향의 주향을 가진 불연속면 : 수평의 불연속면을 나타냄 : 선방향의 주향을 가진 수직 불연속면
불연속면의 종류	: 절리(Joint) : 층리(Bedding) : 편리(Foliation) _____ : 연속적인 불연속면(확인단층) - - - - - - - - - - - - : 연속성이 보이지 않는 불연속면(추정단층)
방향 표시법	주향/경사(Strike/Dip) : N30E/60SE 우수향법(Strike/Dip(r)) : 30° /60° 경사/경사방향(Dip/Dip Direction) : 60° /120°

2) 절리 간격(Spacing)

- 최소, 평균, 최대간격(Smin, Savg, Smax)은 각각의 절리군에 대해서 기록
- 다수의 절리간격 자료의 통계처리 방법→각각의 절리군에 대해 빈도를 Histogram에 표현
- 절리간격은 절리빈도(절리수/m)의 역수

절리간격의 표현(ISRM)		간 격(mm)	절리간격의 표현(ISRM)		간 격(mm)
극도로 좁다	Extremely Close	<20	넓다	Wide	600~2,000
매우 좁다	Very Close	20~60	매우 넓다	Very Wide	2,000~6,000
좁다	Close	60~200	극도로 넓다	Extremely Wide	>6,000
보통	Moderate	200~600	-	-	-

3) 절리의 연속성(Persistance)

- 절리의 연장성은 암반의 공학적 성질을 지배하는 중요한 요소이며, 노두의 크기 때문에 현장에서 조사하기 어려움
- 암반비탈면 안정성 검토시 절리의 연속성 정도를 추정하는 것이 매우 중요

절리 연속성의 표현(ISRM)		간 격	절리 연속성의 표현(ISRM)		간 격
매우 낮다	Very Low	<1m	높 다	High	10~20m
낮 다	Low	1~3m			
보 통	Medium	3~10m	매우 높다	Very High	>20m

4) 절리 거칠기(Roughness)

- 불연속면의 거칠기는 불연속면에 나타나는 작은 규모의 요철(Uneveness)과 큰 규모의 만곡(Waviness) 으로 정의
- 요철과 만곡으로 절리면의 전단강도를 추정(전형적인 JRC값을 보여주는 거칠기 Profile)
- 절리면의 충진물이 없는 경우에는 정확한 추정이 가능하며 Profile Gauge를 이용하여 측정

구 분	표 현		상 태	거칠기 종단면과 JRC 값 (Barton & Choubey, 1977)
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		Silckensided	경면, 파상면	10 - 12
Ⅶ	Planar	Rough	거침, 평면	12 - 14
Ⅷ		Smooth	부드러움, 평면	14 - 16
Ⅸ		Silckensided	경면, 평면	16 - 18
				18 - 20
				0 5 cm 10

5) 불연속면의 간극(Aperture)

- 간극은 하나의 불연속면에 대해 서로 인접한 암석간의 분리된 수직거리로 정의되며, 그 간극의 공간은 물이나 공기와 같은 것으로 충진되어 있음
- 간극의 영향은 투수시험에 의해 가장 잘 평가될 수 있음
- 불연속군에 대한 평균(가장 공통적인)간극은 반드시 기록
- 평균간극보다 더 큰 값을 갖는 불연속면에 대해서는 불연속면의 방향, 위치도 함께 기록
- Extremely Wide 또는 Cavernous인 경우 사진 첨부

간 극	표 현		간 극	표 현	
<0.1mm 0.1~0.25mm 0.25~0.5mm	Very Tight Tight Partly Open	폐쇄형 (Closed Features)	1~10cm 10~100cm >1m	Very Wide Extremely Wide Cavernous	개방형 (Open Features)
0.5~2.5mm 2.5~10mm >10mm	Open Moderately Wide Wide	틈새형 (Gapped Features)			

6) 절리 강도(Wall Strength)

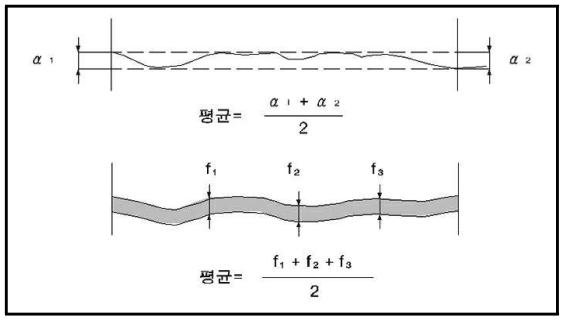
- 절리강도 : 절리면 부근에 있는 암석의 일축압축강도로 정의
- 절리면이 거의 벌어지지 않고 절리 사이에 충전물질이 없는 경우에 절리면의 압축강도는 전단강도에 중요한 영향을 미침

등급	표 현	특 징	일축압축강도(MPa)
R0	Extremely Weak	손톱에 의해 파짐	0.25~1
R1	Very Weak	햄머 타격에 의해 부스러짐	1~5
R2	Weak	햄머 타격에 의해 움푹 파짐	5~25
R3	Medium Strong	햄머 1회 타격으로 깨짐	25~50
R4	Strong	햄머 1회 이상의 타격에 의해 깨짐	50~100
R5	Very Strong	햄머의 다수타격에 의해 깨짐	100~250
R6	Extremely Strong	햄머타격에 의해 약간 깨짐	>250

7) 충전 물질(Filling)

- 형태 : 폭(Width), 벽면거칠기(Wall Roughness), 현장스케치(Field Sketch)
- 충전물 종류 : 광물조직, 입자크기, 풍화등급
- 충전물 강도 : 전단강도, 과압밀비, 선행변위의 유무
- 충전된 절리의 공학적 성질은 충전물질의 종류에 따라 다양한 성질을 나타냄

8) 벽면 거칠기의 크기와 충전물의 폭



9) 용수(Seepage)

- 지질도에 지하수 흐름 패턴 표시, 가능하면 강우량, 기온 기록
- 불투수층을 지하수위와 같이 지질도와 단면도에 표시
- 절리, 절리군, 암반에 대한 용수 등급을 표시

가) 암체의 누수등급

등 급	방 법
Ⅰ	• 건조한 벽면과 천반, 누수현상을 볼 수 없음
Ⅱ	• 약간의 누수, 불연속적으로 물방울이 떨어짐
Ⅲ	• 물의 유입이 있고, 계속적인 물의 흐름이 있는 불연속면에 있음 (굴착길이 10m 및 분당 ℓ로 표시)
Ⅳ	• 많은 물의 유입, 강한 물의 흐름이 있는 불연속면이 있음
Ⅴ	• 극히 많은 물의 유입, 예외적인 유수의 근원이 있음

나) 충전되지 않은 불연속면의 누수 등급

등 급	특 성
Ⅰ	• 불연속면이 빈틈이 없고 건조하며, 누수의 가능성이 없음
Ⅱ	• 불연속면이 건조하고 누수의 흔적이 없음
Ⅲ	• 불연속면이 건조하나 누수의 흔적이 있음(착색되어 있음)
Ⅳ	• 불연속면이 젖어 있으나 현재 물의 흐름은 없음
Ⅴ	• 불연속면의 누수가 있고 부분적으로 물이 떨어지고 있으나 계속적인 흐름이 없음
Ⅵ	• 불연속면에서 연속적인 물의 흐름이 있음

다) 충전된 불연속면의 누수 등급

등 급	특 성
Ⅰ	• 충전물이 과압밀되어 있고 건조, 낮은 투수성 때문에 물의 흐름이 불가능해 보임
Ⅱ	• 충전물이 젖어 있으나 현재 물의 흐름은 없음
Ⅲ	• 충전물이 젖어 있고 부분적으로 물이 떨어짐
Ⅳ	• 충전물이 씻겨 나간 흔적이 있고 계속적으로 물이 떨어짐(수 ℓ/min 측정 가능)
Ⅴ	• 충전물이 부분적으로 씻겨 나갔고 상당한 양의 누수 (수 ℓ/min 측정과 수압을 기재할 수 있음)
Ⅵ	• 충전물이 완전히 씻겨 나갔고 특히 초기 상당히 높은 수압 (수 ℓ/min 측정과 수압을 기재할 수 있음)

10) 절리군의 수(Number of Sets)

- 상호 교차하는 절리계를 이루고 있는 절리 종류의 숫자
- 굴착시에 발파로 인하여 과도하게 파쇄되는 양을 결정
- 암반 비탈면 안정성을 결정
- 절리발달 간격이 좁은 여러개의 종류로 이루어진 암반은 원형의 파괴형태를 보임
- 한 방향(Set) 절리군 : 평면파괴(Plane Failure), 전도파괴(Toppling Failure)가 발생
- 두개 이상의 절리군 : 쐐기파괴(Wedge Failure)가 발생

가) 불연속면의 수를 나타내는 절리 등급

구 분	표 현	구 분	표 현
Ⅰ	• 괴상(Massive), 가끔 불규칙한 절리	Ⅵ	• 3개의 절리군
Ⅱ	• 1개의 절리군	Ⅶ	• 3개의 절리군에 불규칙한 절리
Ⅲ	• 1개의 절리군에 불규칙한 절리	Ⅷ	• 3개 이상의 절리군
Ⅳ	• 2개의 절리군	Ⅸ	• 파쇄암, 토사상태
Ⅴ	• 2개의 절리군에 불규칙한 절리	-	-

11) 암괴의 크기(Block Size)

- 암괴의 크기는 암반거동을 계측할 수 있는 지표로 활용할 수 있음
- 암괴의 크기와 모양은 서로 교차되는 불연속면의 상호 방향과 각 불연속면군간의 간격, 불연속면군의 수, 불연속면의 연속성에 의해 결정

가) 암괴 크기와 절리수

정 의	절리수(J_v, 개수/m^2)
매우 큰 암괴(Very Large Blocks)	<1
큰 암괴(Large Blocks)	1~3
중간 크기 암괴(Medium Sized Blocks)	3~10
작은 암괴(Small Blocks)	10~30
매우 작은 암괴(Very Small Blocks)	>30

나) 암반 형태의 표시 방법

등 급	정 의
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 작은 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

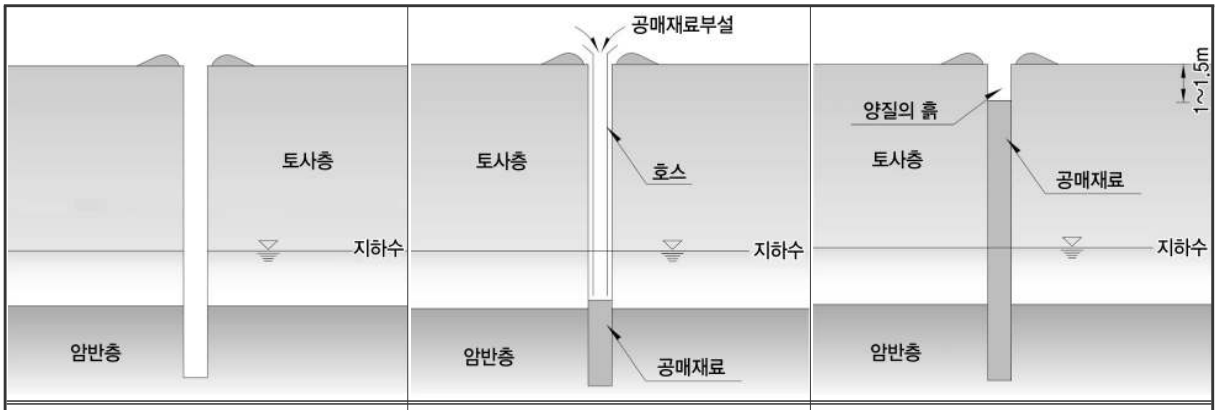
다. 설계 활용 방안

- 선구조, 절리, 단층, 암상의 개략적인 추정 및 광역적 지질특성을 파악
- 깎기비탈면의 안정성 검토 및 리퍼빌러티 산정에 활용

2.5 폐공처리 계획

- 본 사업구간에서 실시된 모든 시추공을 대상으로 공내로 유입되는 지표오염원 및 오염원의 수직적 이동통로를 차단하여 지하수 오염방지
- 지반조사를 위하여 시행한 시추조사 및 각종 현장시험 등을 실시한 후 시추공에 대하여 오염물질을 유입에 의한 지하수 유입과 지하수위 저하 방지를 위하여 폐공처리를 수행

2.5.1 폐공순서 및 방법



• 공매재료의 양 결정 시추공 – 직경, 깊이, 지하수위 파악 • 시추공내 접지 – Casing 및 측 P.V.C Pipe 제거	• 공매재료의 충전 – 시멘트 + 물 – 호스설치 후 공매재료 충전 – 충전시 호스를 올리면서 공매재료 주입	• 상부구간 마무리 – 공매재료를 지표면하 1.0~1.5m까지 충전 후 그 상부에 영농작업과 식생을 고려하여 양질의 흙으로 되메움 실시

2.5.2 폐공처리 현황

구 분	시추공수(공)	폐공처리(공)	미처리
교 량 구 간	82	82	–
깎 기 구 간	33	33	–
쌓 기 구 간	18	18	–
기타구조물 구간	1	1	–
계	134	134	–

폐공처리 전	폐공처리 중	폐공처리 후
		

2.6 시공시 확인조사

2.6.1 일반사항

- 설계단계에서 수행한 조사결과에 대한 확인과 깎기시공 중에 예상치 못한 불량한 암질상태, 구조적 연약대에 의한 비탈면의 파괴가능성에 대비하고 비탈면의 안정성을 재검토하기 위한 보완조사와 대책방안 수립을 위해 시공단계에서 지반조사를 실시하여야 한다. 보완조사와 시공단계에서의 지반조사 결과는 향후 비탈면 유지관리를 위해 관련 자료를 보관해야 한다.

2.6.2 보완조사

- 설계단계에서의 지반조사 결과가 시공중 지반상태와 동일할 수 없으므로 시공 중에 파괴를 유발시킬 수 있는 잠재적 요인을 찾거나 시공중 비탈면 파괴가 발생한 경우에 실시한다. 보완조사는 표면보호공 등의 시공이전에 비탈면 표면을 조사하여 설계를 보완한다.

1) 시공 전 조사는 설계단계에서 용지문제, 법적인 문제, 지형여건상 문제로 실시하지 못한 구간이나 경제적 이유로 최소 수량만 실시한 대규모 비탈면에 대해 시공중 접근로를 개설하고 상세조사를 실시하여 실제 비탈면을 재설계 및 검토한다.
2) 시공 후 조사는 비탈면 녹화 등 표면보호공의 시공 이전에 노출되어 있는 비탈면 표면에 대한 암질상태와 절리분포기록으로부터 비탈면의 안정성을 재검토하는 것으로서 주로 비탈면 지표지질조사에 중점을 두며, 필요한 경우에 추가적인 시추조사 및 현장시험(공내시험) 및 물리탐사, 흙과 암석에 대한 물리, 역학시험을 통해 안정성 해석에 필요한 검토를 실시하여 설계를 보완한다.
3) 1), 2) 항에 의한 보완조사가 발주자의 사유에 발생한 경우에는 이에 대한 비용을 계산하여야 한다.

2.6.3 시공 중 지반조사

가. 지반조사의 수행

1) 시공 중 지반조사의 빈도, 현장시험 및 실내시험 기준은 설계단계와 동일하다.
2) 시공단계에서는 비탈면의 검토를 위해 시추조사, 물리탐사, 공내시험, 현장시험, 흙 및 암석에 대한 물리, 역학시험을 수행하며 필요시 산성배수 발생여부 등을 조사한다.
3) 지반조사 결과는 지반분야 특급기술자의 의견을 종합하여 감독자(또는 감리자)가 판단해야 한다.

나. 비탈면 지표지질조사

1) 시공단계에서의 지표지질조사는 지형, 지반조사, 대상비탈면의 공학적인 특성, 지반의 물성파악, 지하수상황, 식생상태 및 단층파쇄대 여부, 산사태 발생여부, 과거 붕괴가 많이 일어난 지역 또는 약한 암질로 이루어진 지역인지의 여부를 파악하기 위해 실시한다.

2) 지표지질조사는 암석해머(rock hammer), 클리노컴파스(clinocompass), 프로파일게이지(profile gauge), 고도계, 도면과 야장 등 간단한 도구를 사용하여 조사하는 방법이외에 지구물리탐사, 지구화학탐사, 시추조사 등의 방법이 있으며 그 목적과 특성에 따라서 이러한 조사방법을 병행 · 실시하여야 한다.

3) 지표지질조사 결과 획득한 자료는 비탈면 현황도에 반영하여야 한다.

4) 지표지질조사 기준

- 조사대상 비탈면
  - 지표지질조사는 시공 후 붕괴요인이 있는 지질구조로 이루어진 비탈면을 대상으로 실시하며 비탈면이 안정되도록 비탈면 경사 설정 및 대책방안을 고려하여야 한다.
  - 비탈면규모가 20m 이상 비탈면에 대해서는 반드시 지표지질조사를 실시하고, 20m 미만 비탈면 중에서 붕괴요인을 지닌 지질구조로 이루어진 비탈면 및 지질구조상 문제가 발생할 가능성이 있는 비탈면에 대해서는 선택적으로 실시하여야 한다.
- 조사자의 자격

  지표지질 조사자는 지반분야에 대한 전문지식이 필요하며, 비탈면 붕괴에 대한 많은 경험을 가진 특급기술자이어야 한다.
- 조사항목
  - 지표지질조사시의 조사항목은 정성적으로 표현되지만 불연속면의 방향성과 이들 자료를 종합적으로 판단하여 비탈면의 안정성을 평가하는 기초자료로 활용하여야 한다.
  - 지표지질조사항목 중에서 사용빈도가 높은 것은 비탈면의 스케치, 전체적인 지질구조, 불연속면(단층, 절리, 암맥, 습곡 등)의 방향과 경사, 구조대의 방향과 연장성, 풍화정도 및 풍화특성, 지하수의 용수여부 등이다.
  - 불연속면에 대한 조사는 불연속면의 간격, 강도, 절리연속성, 절리거칠기, 절리틈새, 절리방향, 절리충전물, 절리군의 개수 등으로 표시되는데 암반비탈면의 안정성 평가를 위해서는 충분히 정량적 또는 정성적으로 암반 내에 분포하는 절리의 공학적인 성질을 파악, 표현하여야 한다.

5) 비탈면 지표지질조사 결과의 활용

지반조사 결과 단층 및 파쇄대 등 잠재 불연속면의 발달로 경사 및 보강·보호공법의 적용이 불가능해진 경우 불안정 비탈면에 대한 조사결과, 안정성 분석, 대책공법, 검토서 등을 작성하여 감독자(또는 감리자)의 승인을 얻은 후 변경할 수 있다.

다. 시추조사

1) 일반적으로 시공초기에는 대상 비탈면의 지층 분포와 구조적 연약대의 분포범위를 확인하기 위한 시추조사를 실시한다.
2) 시추빈도는 개소 당 1개를 기준으로 한다.
3) 깎기비탈면 구간에 최소 1개소를 실시하되 연장이 긴 경우, 200m 간격으로 추가하며 시추는 대표적인 비탈면 단면에 대해 비탈면 경계부 위치에서 부지계획면 아래 2m이상 실시한다.
4) 불안정한 요인을 갖는 지형, 지질에 해당하는 경우에는 추가적으로 실시할 수 있다.
5) 시추조사 시 파악해야 할 사항

- 지질상태 : 지층분포, 층 두께, 단층 파쇄대의 심도 및 규모
- 지반상태
  - 흙의 입도, 입자모양, 색, 굳기, 다짐정도, 함유물, 냄새 등
  - 암석의 풍화, 변질정도, 절리상태 등
  - 암석코어 회수율(TCR)과 RQD에 의한 절리간격 평가
  - 굴진속도
  - 절리면의 간극, 점토 등의 충전물의 상태
- 지하수 상황(시추공내 공내수위)

라. 물리탐사

1) 물리탐사는 지반의 물리특성을 조사하여 지층의 연속적인 특성과 이상구간 등을 파악하기 위하여 실시한다. 물리탐사에서 측정되는 값은 지반의 역학적, 공학적 성질을 나타내는 것이 아니며 물리적인 값의 연속적인 분포만을 나타내는 것이다.
2) 비탈면의 지층분포 특성 및 지질이상대 조사를 위해 물리탐사 방법은 탄성파탐사, 전기탐사 등이 있다. 비탈면 내진설계 필요시에는 지반 동적 특성을 평가하기 위하여 크로스홀 시험, 다운홀 시험이나 MASW, SASW 탐사 등을 수행한다. 이 경우 지층의 연속적인 현장 밀도 값을 측정하기 위하여 밀도 검층을 수행하여야 한다.

3) 깎기비탈면에서의 물리탐사는 불안정 요인을 갖는 지형, 지질에 해당하는 경우에 실시한다. 물리탐사 수행시에는 대상 비탈면의 종단, 횡단면의 상태를 확인할 수 있도록 측선을 설정하여야 한다.

4) 쌓기비탈면에서는 일반적으로 실시하지 않으나 원지반의 지하공동, 연약지반분포, 지질구조선의 분포 등을 파악하기 위하여 필요한 경우에 실시한다.

마. 시공 중 비탈면 안정해석

1) 시공 중 안정해석을 위한 조사는 비탈면 건설 중에 파괴를 유발시킬 수 있는 잠재적인 요인을 찾거나 파괴가 발생한 경우에 실시한다. 조사방법은 기본적으로 깎기면 현황도 작성(face mapping)을 실시하고, 위험요인이 있는 경우에는 지형조건, 비탈면규모, 지질상태, 토질 및 암반상태에 따라 본조사의 방법을 조합하여 실시한다.

2) 조사빈도는 일반 깎기비탈면(연직높이 20m 미만)은 깎기가 완료되는 시점전에 1회 이상 실시하고, 대규모 깎기비탈면(연직높이 20m 이상)은 중간정도 높이(약 20m 내외)까지 깎았을 때 1회, 깎기가 완료되는 시점까지 1회 이상을 실시한다.

3) 비탈면 안정해석은 비탈면 지표지질조사에서 명시한 동일한 자격을 가진 기술자가 실시하여야 한다.

4) 토층 및 풍화암층의 비탈면 안정성검토는 수치해석, 한계평형해석을 이용하여 안정해석을 하여야 하며 한계평형해석을 이용하여 안정해석을 수행할 경우, 강우를 고려한 침투해석, 불포화 흐름 해석 등을 연계하여 수행할 수 있다.

5) 암반의 비탈면 안정해석은 암반의 불연속면을 고려하여 평사투영법에 의한 1차 안정성을 평가하고, 파괴 또는 잠재적 파괴가능성을 가진 비탈면에 대하여는 한계평형식 또는 수치해석법에 의하여 비탈면 안정해석을 하여야 한다.

6) 비탈면 경사는 설계도서에 명시된 비탈면 표준경사를 적용한다. 다만, 시공과정에서 당초 설계도서에서 예상했던 지반특성과 상이한 결과가 나타날 경우, 추가 지반조사를 실시하고 조사결과에 따른 비탈면 경사완화 또는 보강에 따른 안정해석 결과를 반영하여 결정한다.

7) 붕괴요인을 가진 비탈면은 감독자(또는 감리자)의 승인을 받아 적절한 경사완화, 보강공법 등을 적용하여야 한다.

8) 발주자의 귀책사유로 발생한 추가적인 비탈면 안정해석 및 이에 따른 추가비용은 설계변경을 통해 계상해야 한다.

2.6.4 시공시 확인조사 수량

• 계획노선 일대의 기존자료를 수집 분석하고 토질조사 및 시험을 수행하여 그 성과는 설계에 반영하여 합리적이고 경제적인 설계가 되도록 하였다. 그러나 현장여건과 설계시 토질조사를 정위치에서 수행하지 못한 구간과 조사 및 시험의 한계성, 지층의 다양한 변화 등을 고려할 때 시공전 또는 시공후 필요한 사항에 대하여는 정위치 재조사 및 확인조사를 실시하도록 계획하였으며, 깎기비탈면의 경우 Face mapping을 실시하고 비탈면의 안정성을 재분석하여 설계경사의 적정성을 확인토록 비탈면 안정분석 비용을 설계에 반영하였다. 시공시 확인조사 사항은 다음 표에 요약하였다.

가. 교량부

시험종류	암반 및 지형특성	기초형식	수량기준	수량
시추조사	모든 지반 및 기초형식		• 실시설계시 미 시행한 기초갯수 및 기시행 기초갯수의 1/2	• 총수량 : 46 공 – 미시추 : 5 공 – 기시행 기초갯수의 1/2 : 41공
공내재하시험	풍화암 심도가 매우 깊어 심도결정시 침하량이 푸팅심도 결정 요소인 경우	직접기초	• 시추조사 시행시 직접기초 직하부 풍화암에서 1회	• 총수량 : 5 회
시추공 영상촬영	급경사지의 연암 및 보통암	직접기초	• 급경사지 시추조사 시행시 직접기초위치에서 실시설계시 수행한 평균공당 조사깊이	• 총수량 : 2 회

나. 깎기부

시험종류	수량기준	수량
시추조사	• 미시추구간 공수 + 높이20m 이상 비탈면 구간별 1회	• 총수량 : 22 공 – 미시추 : 9공 – 높이 20m 이상 : 13공
시추공영상촬영	• 미시추구간 공수 + 높이20m 이상 비탈면 구간별 1회	• 총수량 : 13 회 – 미시추 암반구간 : 3공 – 높이 20m 이상 : 10공
절리면전단시험	• 미시추구간 공수 + 높이20m 이상 비탈면 구간별 1회	• 총수량 : 13 회 – 미시추 암반구간 : 3공 – 높이 20m 이상 : 10공
공내재하시험	• 미시추구간 공수 + 높이20m 이상 비탈면 구간별 1회	• 총수량 : 13 회 – 미시추 암반구간 : 3공 – 높이 20m 이상 : 10공
Face mapping	• 높이20m 이상 비탈면 구간별 1회	– 높이 20m 이상 : 12공

※ 시공시 확인조사 수량은 설계를 보완하여 확인이 필요한 최소수량을 반영하였으므로 실제 시공시 필요한 부분은 감독자(또는 감리자)와 협의하여 조정할 수 있다.

제3장 예비조사

3.1 조사개요

3.2 지형분석

3.3 지질분석

3.4 지질구조 분석

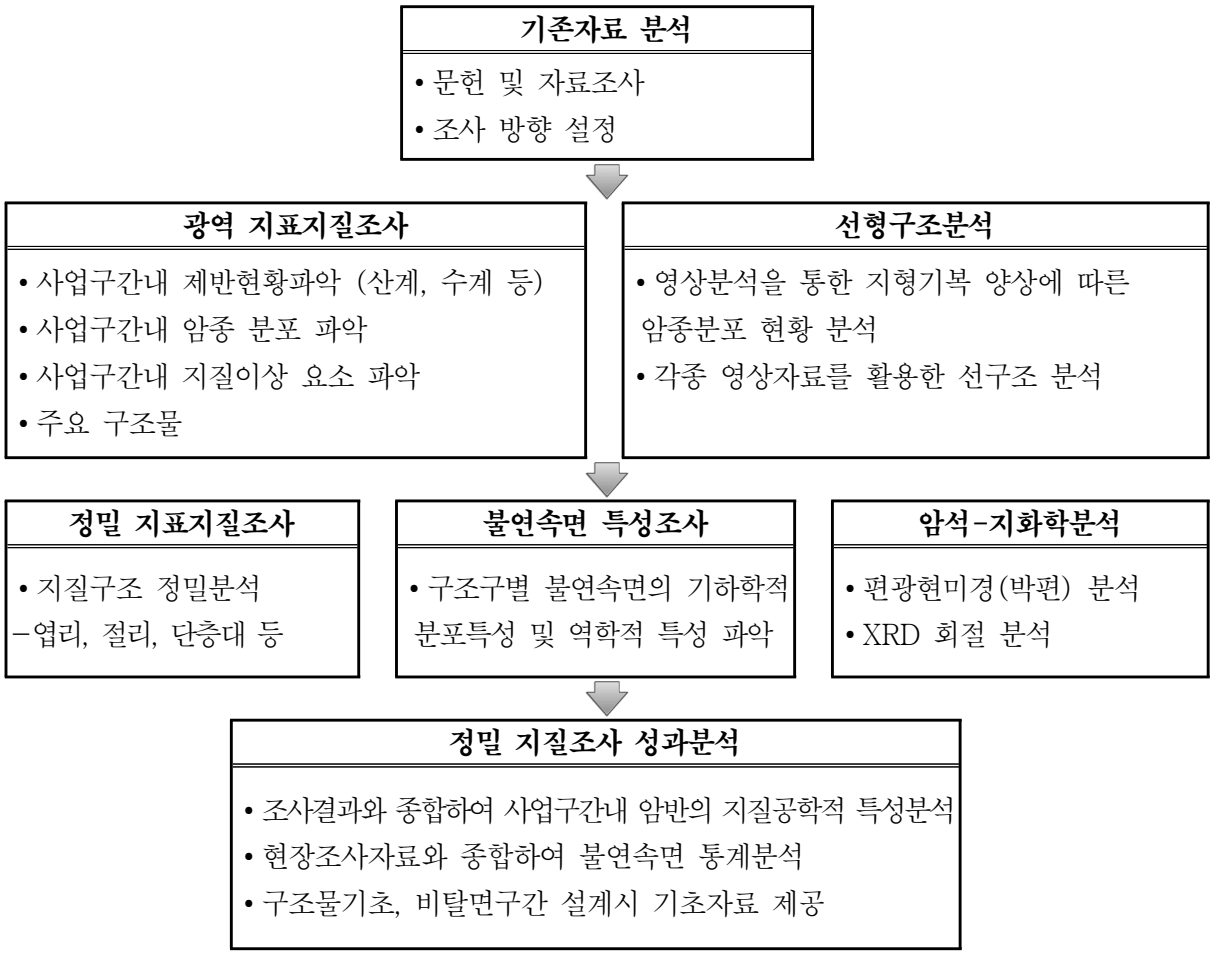
3.5 지구조 진화사

제 3 장 예 비 조 사

3.1 조사개요

- 사업구간의 평면적인 구성과 구조물계획에 영향을 미치는 토질 및 지질공학적인 자료획득
- 사업구간 구조물에 영향을 미칠 우려가 있는 지질이상대(단층, 파쇄대)의 공학적 특성 조사
- 정밀지표지질조사 수행으로 사업구간 내에서의 불연속면 분포 현황 파악 및 통계적 분석을 통해 암반 구조물 안정성해석에 활용

3.1.1 조사흐름도



3.1.2 결과 활용

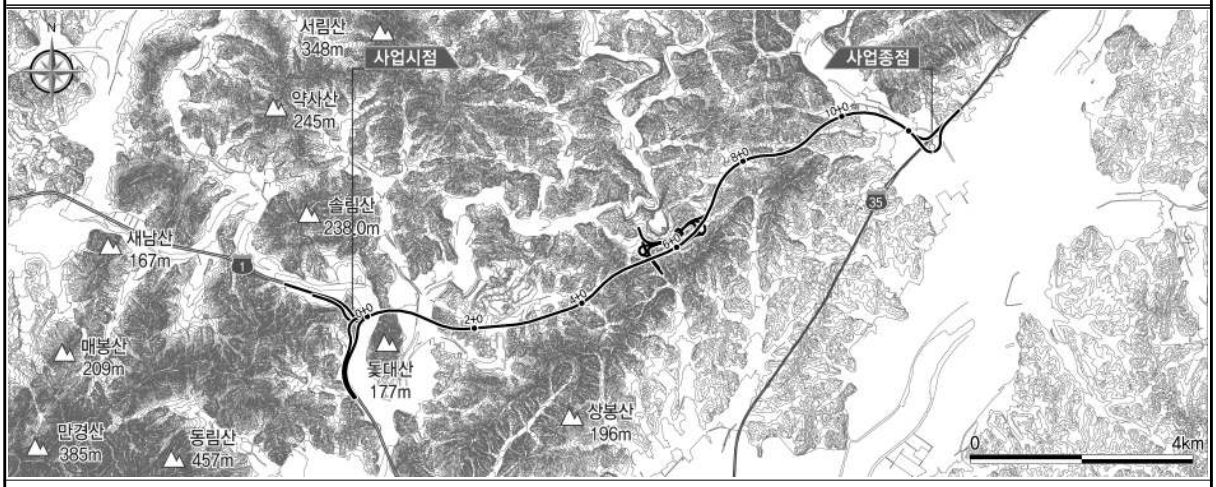
구 분	지표지질 조사 결과	결과 활용 방안
교량기초 설계분야	• 노선과 교차하는 선구조 규명 • 기반암의 지질학적, 공학적 특성 파악	• 물리탐사 결과와 비교검토후 시추조사위치 선정 • 구조물계획시 기초자료제공
비탈면 구간	• 노선내의 불연속면 및 파쇄대 규명 • 기반암의 지질학적, 공학적 특성 파악	• 암반비탈면 설계시 불연속면의 방향성, 공학적 특성 제공 및 파쇄대 구간 파악

3.2 지형분석

3.2.1 산계 및 수계분석

가) 산계 분석

산 계

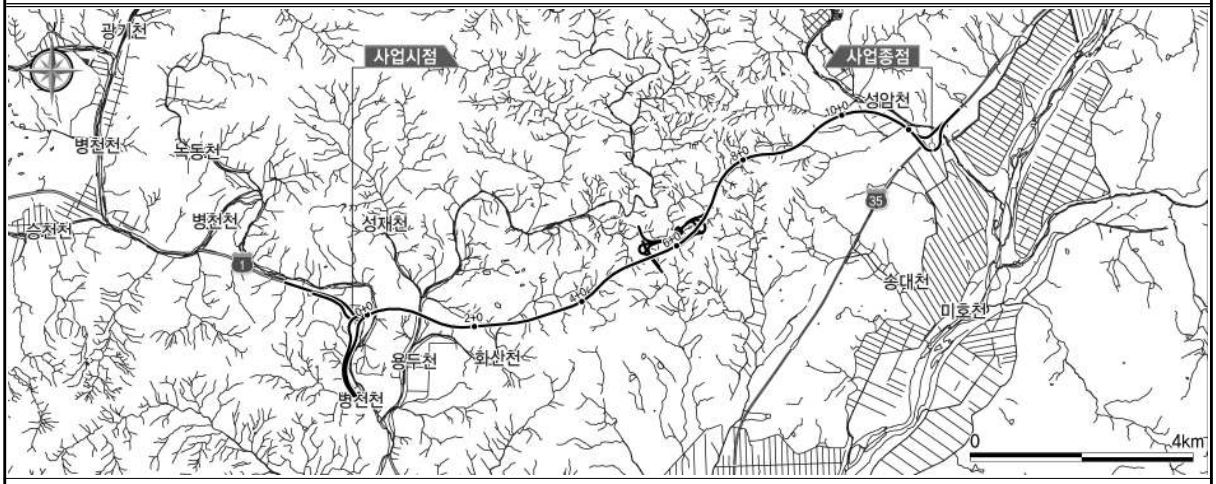


• 조사지역의 주 산계는 북동-남서방향으로 발달하고 있으며, 시점부 일대는 변성암류로 비교적 기복의 차가 심한 험준한 지형을 이루며, 종점부 일대는 풍화 및 침식에 약한 화강암류의 영향으로 지형적으로 평탄한 지형을 이루고 있다.

• 조사구간의 남서쪽의 만경산(385.0m), 매봉산(209.5m)의 경우 비교적 높은 고도로 발달하는 반면 노선구간 주변의 돛대산(177.1m), 상봉산(196.3m)경우 비교적 낮은 고도로 발달하고 있다.

나) 수계 분석

수계



• 주 수계는 시점부에서 병천천, 용두천, 성재천, 화산천이 종점부에서 송대천, 미호천이 발달하며, 병천천, 용두천, 화산천, 송대천은 노선과 교차하는 수계에 해당

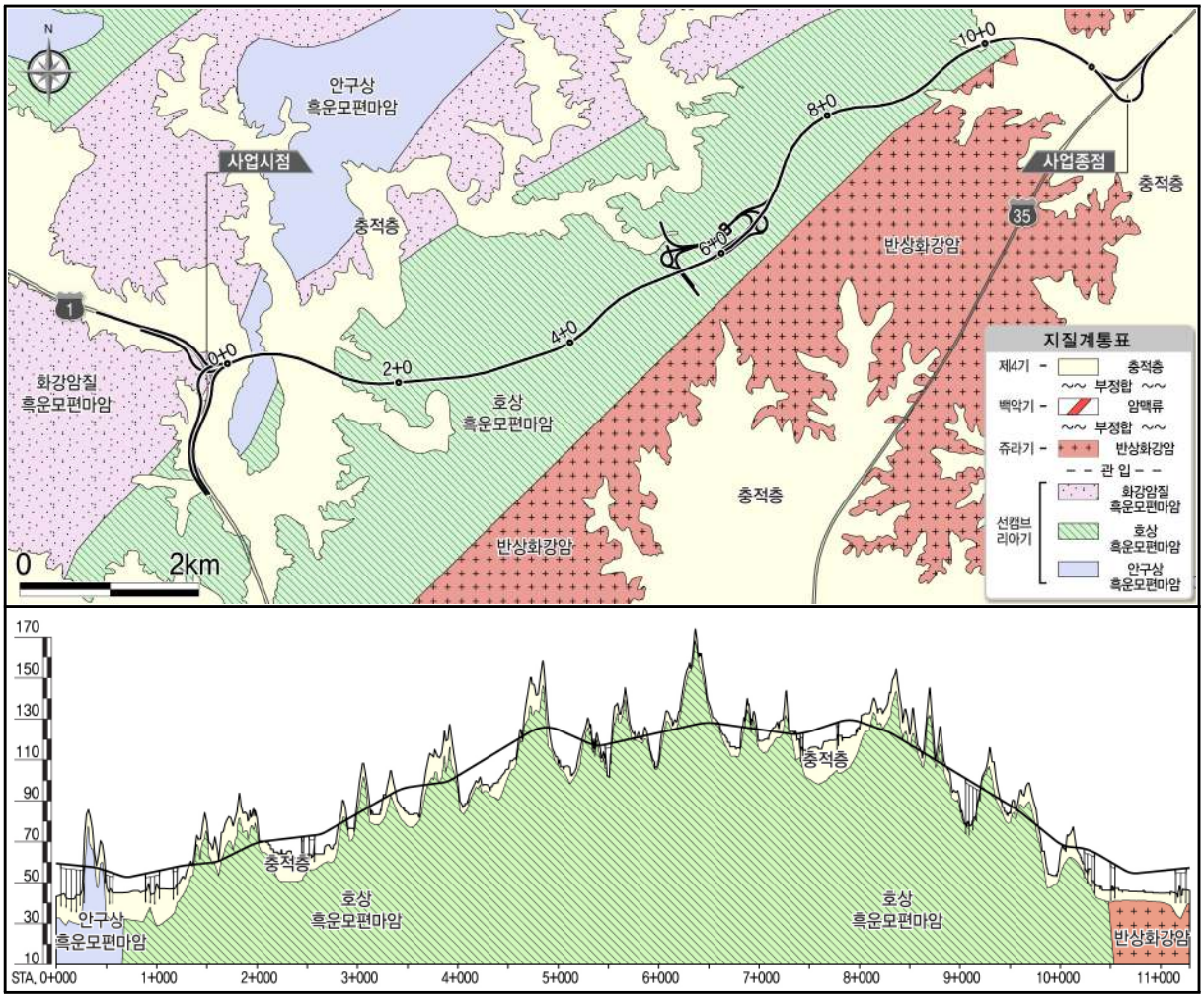
• 주 수계는 사행하천으로 발달하고, 대부분의 하천이 수지상으로 발달

• 시점부와 중앙부의 경우 중밀도의 수계망을 보이며, 종점부로 갈수록 저밀도의 수계망을 보임

3.3 지질분석

3.3.1 상세지질분석

가. 상세지질도 및 종단



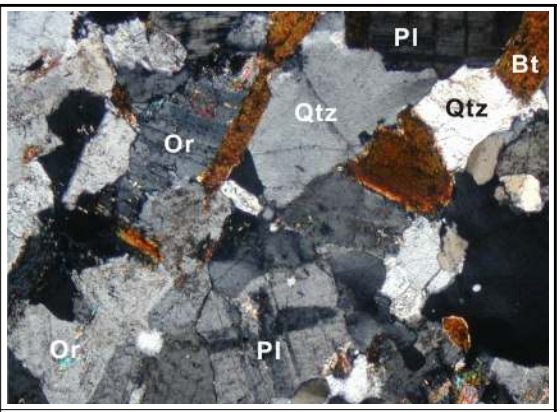
나. 지질개요 및 지질각론

• 선캠브리아기의 흑운모편마암류를 기반암으로 이를 관입한 쥬라기의 반심성 화강암류와 이들을 관입한 암맥류가 산재하며, 이를 제4기 충적층이 부정합으로 피복.

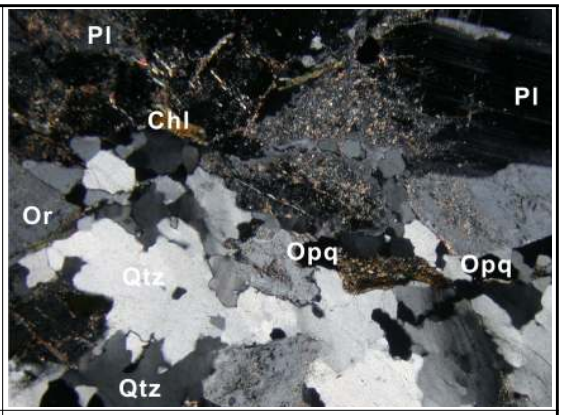
구 분	특 징
반상화강암	• 괴상으로 지표에 노출된 노두는 풍화되어 신선한 상태의 암반을 관찰할 수 없고 대부분 모암의 구조를 보여주는 풍화암 내지 풍화토로 분포
화강암질 흑운모편마암	• 흑운모는 신장되어 엽리상의 구조가 발달하며 화강암과 조성과 구조가 유사한 중립 내지 조립질의 화강임질 흑운모편마암에 해당
호상 흑운모편마암	• 석영, 장석, 흑운모가 우세하며, 2~3cm 두께의 우흑대(melanosome)와 우백대(leucosome)가 교호하는 엽리구조가 발달
안구상 흑운모편마암	• 석영, 흑운모, 사장석 등으로 구성되며, 화성기원의 변성암에 해당 • 노선구간에 분포하는 암석 중 가장 신선한 상태를 보임

3.3.2 분포암종 특성분석

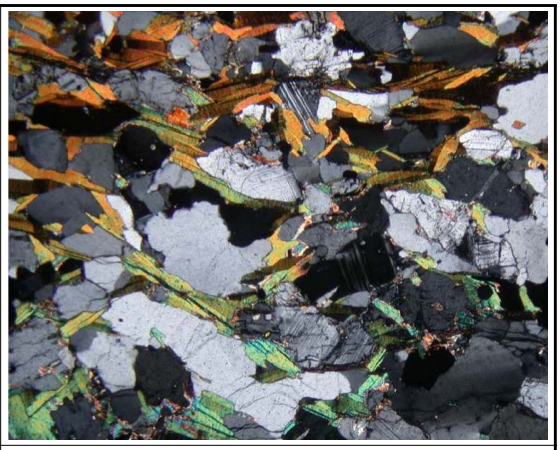
가. 반상화강암 야외 노두 및 현미경 관찰 결과

사 진		
	반상화강암의 노두사진	반상화강암의 현미경 분석
분 포 위 치	• 노선의 종점부에 광역 분포	
지 질 특 성	• 세립질 석리를 가지며, 소규모의 석영 및 산성암맥이 발달 • 절리의 발달이 양호하나, 대부분 간극이 닫혀있는 절리로 관찰	
공 학 특 성	• 사업노선의 종점부로 갈수록 풍화심도가 깊고, 위치에 따라 심한 풍화정도를 보임 • 전반적으로 풍화에 약한 양상을 보이며 깊은 풍화대를 형성하고 있음	
현미경 분 석	• 사장석과 정장석의 함량은 유사하며, 흑운모는 우백질 광물에 비하여 세립으로 관찰	

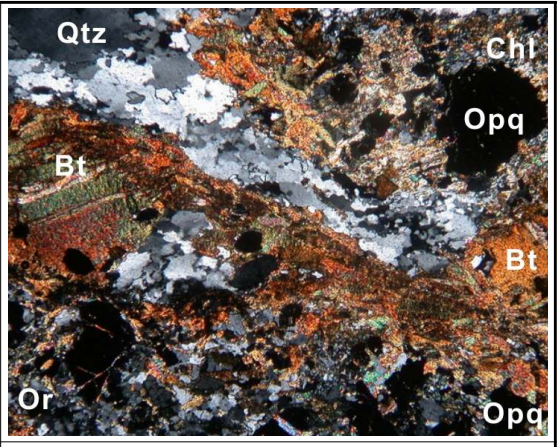
나. 화강암질 흑운모편마암 야외 노두 및 현미경 관찰 결과

사 진		
	화강암질 흑운모편마암의 노두사진	화강암질 흑운모편마암의 현미경 분석
분 포 위 치	• 노선 시점부에 북동-남서방향으로 분포	
지 질 특 성	• 석영, 사장석, 정장석, 흑운모로 구성 • 호상흑운모편마암에 비하여 엽리구조의 발달이 빈약하여 화강암과 유사한 구조를 보임	
공 학 특 성	• 관찰되는 노두의 산상은 변형작용에 의해 변질되어 있고, MW-HW의 풍화상태를 보임 • 부분적으로 깊은 풍화대를 형성하며, 풍화에 일부 약한 경향을 보임	
현미경 분 석	• 장석류의 부분적인 변질에 의한 일라이트가 관찰되며, 대부분의 흑운모는 녹니석으로 변질	

다. 호상 흑운모편마암 야외 노두 및 현미경 관찰 결과

사 진		
	호상 흑운모편마암의 노두사진	호상 흑운모편마암의 현미경 분석
분 포 위 치	• 노선의 중앙부에 광역 분포	
지 질 특 성	• 석영, 정장석, 미사장석, 사장석, 흑운모로 구성 • 석영, 장석류의 광물로 된 우백질 부분과 흑운모로 된 유색 부분이 호상구조를 보임	
공 학 특 성	• 흑운모화강암과의 관입접촉부에 상대적으로 연약대를 형성 • 풍화저항력이 약한 우흑대는 변질에 의한 녹니석 및 점토광물을 형성, 풍화작용에 약함	
현미경 분 석	• 자형 내지 반자형을 보이는 다량의 흑운모가 일정한 방향성을 가지며 엽리를 형성	

라. 안구상 흑운모화강암 야외 노두 및 현미경 관찰 결과

사 진		
	안구상 흑운모편마암의 노두사진	안구상 흑운모편마암의 현미경 분석
분 포 위 치	• 노선의 시점부에 국부적으로 분포	
지 질 특 성	• 석영, 흑운모, 사장석 등으로 구성 • 석영, 장석등으로 이루어진 결정들이 안구상으로 발달하며, 화성기원의 변성암에 해당함	
공 학 특 성	• 안구상의 편리구조가 전단면으로 발달하여 이방성 특징을 보임 • 흑운모는 녹니석 등의 점토광물로 변질되어 있으나 풍화저항력이 강한 석영은 신선한 상태	
현미경 분 석	• 반정의 운모류는 파쇄되어 있고, 재결정작용에 의한 반상변정이 관찰	

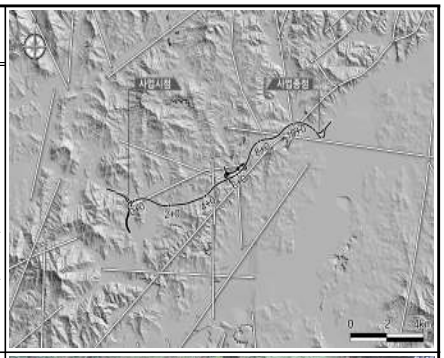
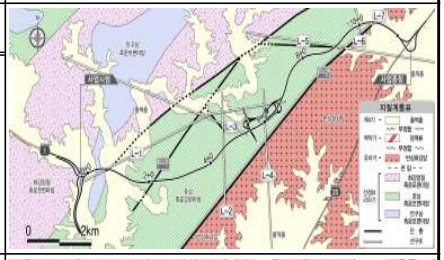
3.4 지질구조 분석

3.4.1 개요

가. 조사개요

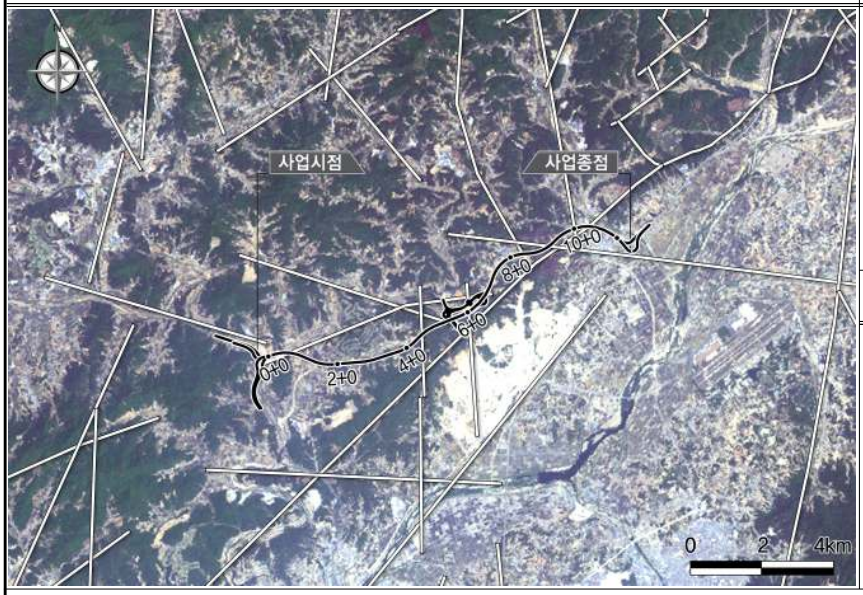
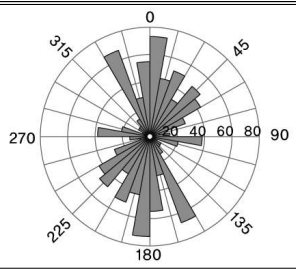
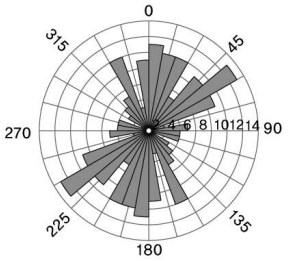
- 사업구간 관련된 기 논문자료를 분석하여 사업구간의 지질경향 파악 및 현장조사의 신뢰성 향상
- 위성영상 및 음영기복도에서 파악된 선구조 및 이상대 구간을 판독하여 사업구간의 지질경향 파악 및 현장조사의 신뢰성 향상
- 위성영상 및 음영기복도에서 파악된 선구조의 현황을 야외지질조사를 통하여 확인
- 단층, 분포 암종 분석 등 지반조사 방향 설정의 기초 자료 제공
- 최종적으로 사업구간과 교차하는 선구조의 분포특성을 파악하고 불연속면의 Domain 분류

나. 분석 흐름도

1 단계	**영상자료 분석 (위성사진, 음영기복도)**	
⇩	• 인공위성 영상분석: 가시광선 및 적외선 영역 밴드비율 조정(1,2,3)밴드(Blue, Green Red)의 조합을 이용한 공간강조 • 음영기복도 분석: 1:25.000 수치지형도를 이용한 3차원 음영기복도 작성, 광원의 방향을 이용한 선구조의 육안추출	
2 단계	**야외지질 조사**	
⇩	• 위성영상 및 음영기복도에서 파악된 선형구조의 현황을 야외지질조사를 통하여 확인함 • 불연속면 해석을 위한 지표지질 조사 실시	
3 단계	**선구조 종합분석**	
⇩	• 영상자료, 기존 논문자료, 야외지질조사 결과를 바탕으로 사업구간에 영향을 미치는 선형구조의 분포 특성 파악 • 노선의 구조물 계획수립에 기초자료 제공	
4 단계	**불연속면 Domain 분류**	
	• 사업구간에 분포하는 불연속면의 방향성에 따른 Domain 분류 • 구간별 분류된 Domain을 기준으로 불연속면 설계지반정수 산정의 기초자료 제공	

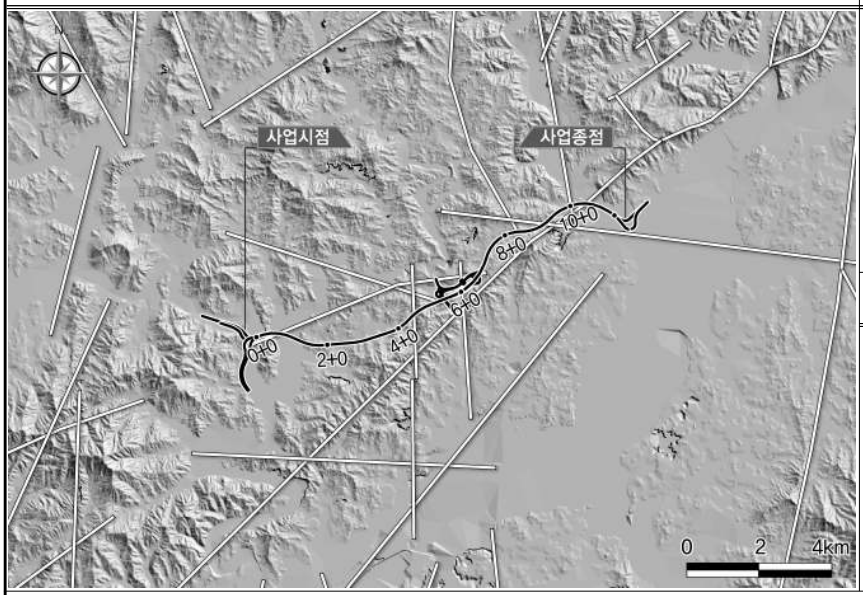
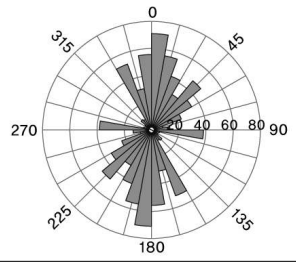
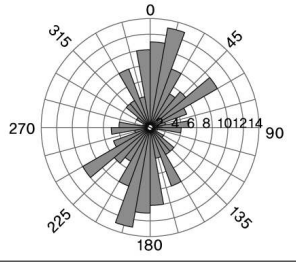
3.4.2 영상자료 분석

가. 위성영상자료 분석

위성영상	연 장 성
	
	빈 도 수
	

- 위성영상에 의한 선구조는 연장성 및 빈도수 분포결과 주방향 N60E, N5E, 부방향 N30W의 방향성을 보임
- 사업구간 노선으로 교차하는 선구조는 7개조로 나타나고 있다.

나. 음영기복도(DEM) 분석

위성영상	연 장 성
	
	빈 도 수
	

- 음영기복도에 의한 선구조는 연장성 및 빈도수 분포결과 주방향 N60E, N5~15E, 부방향 N30W의 방향성을 보이고 위성영상 방향성과 비슷한 경향을 보임
- 사업구간 노선으로 교차하는 선구조는 7개조로 나타나고 있다.

3.4.3 광역지표지질 조사

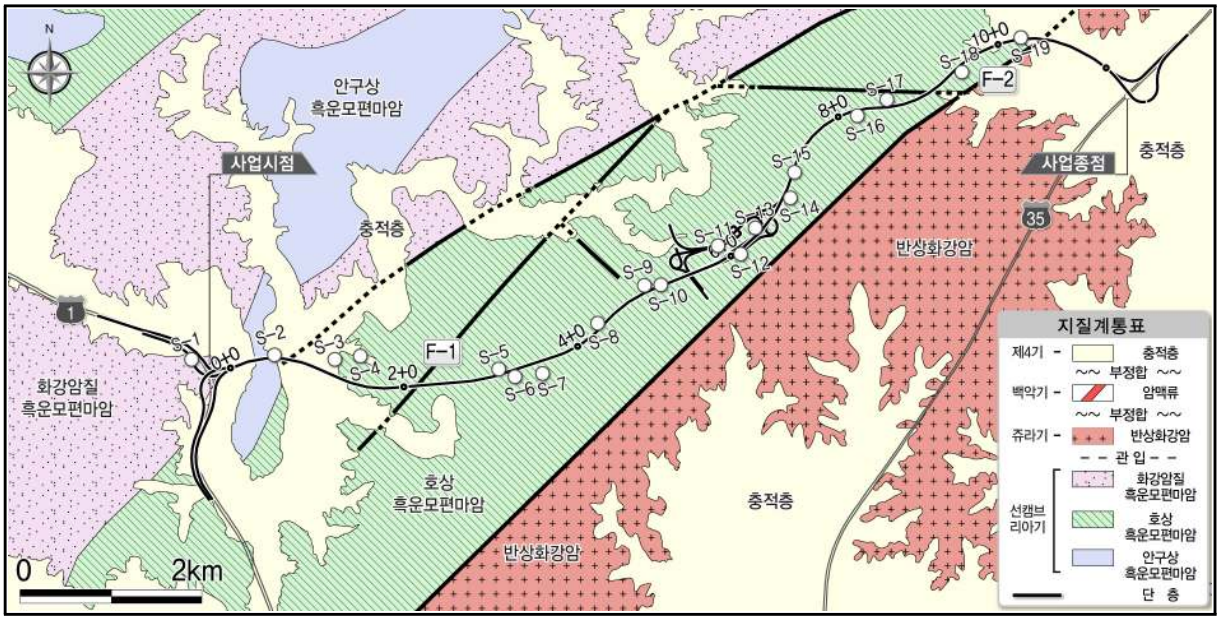
가. 기본개요

- 기존 논문자료 및 영상자료분석의 분석결과를 바탕으로 야외조사의 방향 설정
- 위성영상 및 음영기복도에서 파악된 선형구조의 현황을 야외지질조사를 통하여 확인함
- 19개소에서 획득한 불연속면의 자료를 이용하여 조사 지점별 확률변수(방향성, 간격, 연장, 거칠기, 벽면 강도 등)의 확률밀도 함수를 결정함으로써 불연속면의 분포 특성 파악

나. 분석방법

- 사업지역에서 정밀 지표지질 조사를 통해 지질구조 자료 획득
- 사업지역에 발달한 절리에 대한 방향성 자료는 선택적 방법(Selective Method)으로 획득
- 획득한 지질구조요소들을 등면적투영법(Stereographic net)에 투영하여 방향성 분석
- 지질구조 자료를 종합 분석하여 사업노선과의 영향관계 분석
- 불연속면 자료와 지질구조 자료를 종합하여 사업구간의 Domain 분류

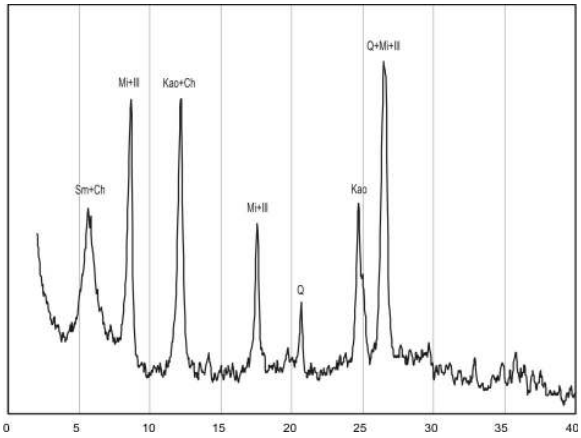
다. 조사위치 및 현황



구 분	지표지질 조사지점	비 고
화강암질 흑운모편마암	1	• 편마암류는 호상흑운모편마암이 주를 이루나 일부 화강암질과 안구상 흑운모편마암이 관찰됨 • 화강암류는 충적층으로 피복되어 노두 미확인
안구상 흑운모편마암	1	
호상 흑운모편마암	17	
총 계	19	

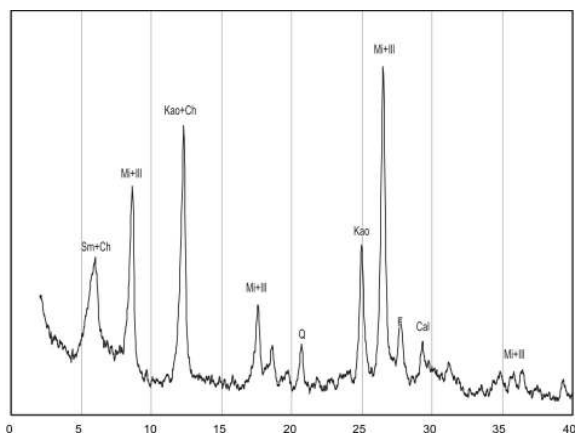
라. 단층조사

1) F-1 단층(STA. 2+150)

노 두 사 진	광 물 분 석
	

- 호상 흑운모편마암에 발달하는 북동방향 주향의 주향이동단층
- 변질대의 범위가 수십m에 달하며, 단층대 주변으로 풍화심도가 일정하지 않고 기복의 변화가 심하게 분포
- 변질물 중 일라이트의 함량이 가장 높고, 팽윤성점토에 해당하는 스멕타이트의 함량이 높게 관찰되며, 이는 관입한 중성암맥의 변질에 의한 것

2) F-2 단층(STA. 10+485)

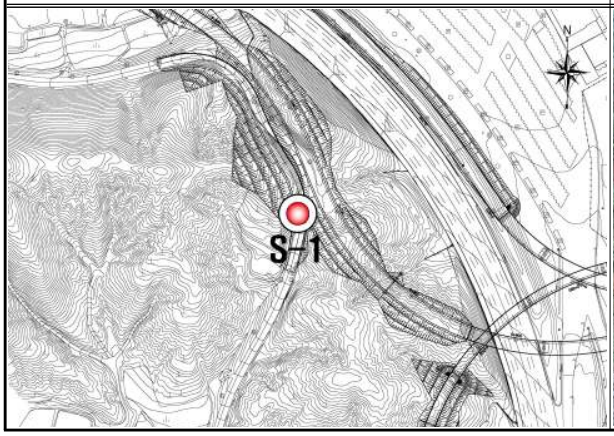
노 두 사 진	광 물 분 석
	

- 호상 흑운모편마암과 반상화강암의 경계단층으로 북동방향 주향의 주향이동단층
- 단층에 의한 파쇄대는 5~10m정도의 폭으로 수반, 단층대 주변으로 손상대의 범위가 넓어 차별침식대가 발달
- 변질물에서 일라이트와 카올린의 함량이 높고, 팽윤성점토의 함량은 낮게 관찰

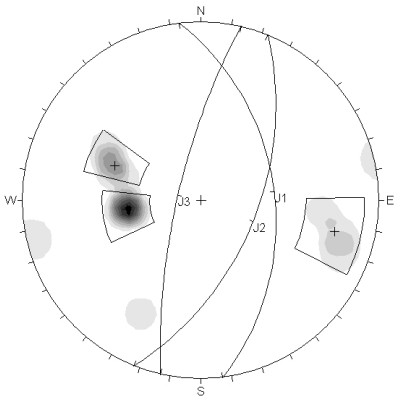
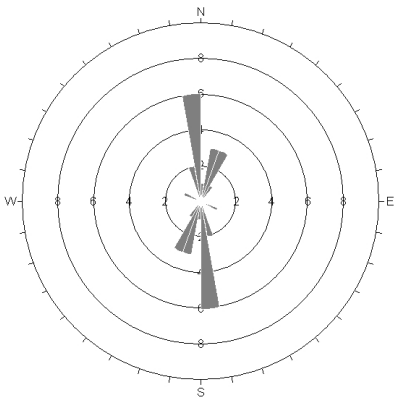
마. 불연속면 특성 조사

1) 인접노두 조사 (S-1)

가) 상세조사위치 및 현장전경

위치도	현장전경
	

나) 불연속면 현황

Stereonet	Rose diagram
	

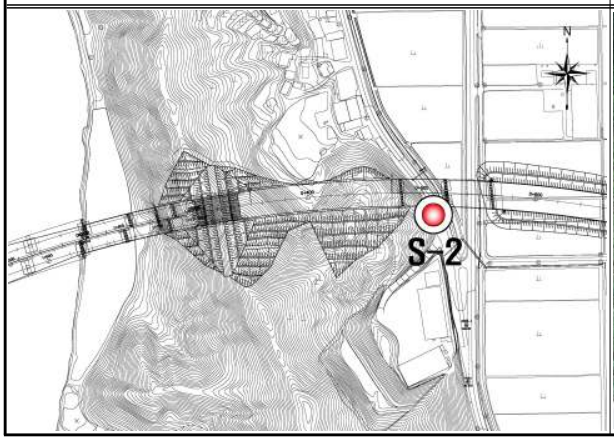
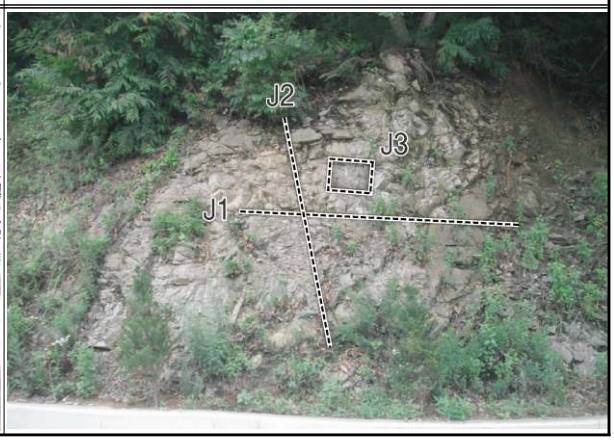
다) 불연속면의 특성분석

구 분	방 향	K	간격(m)	연장(m)	틈새(mm)	풍화상태	JRC	JCS(MPa)
J1	45/083	421	0.2~0.5	3.0~5.0	0.1~1.0	HW	8~10	5~7
J2	55/112	108	0.3~0.5	1.0~2.0	0.1~0.5	HW	8~10	5~7
J3	75/283	70	0.5~1.0	0.5~1.0	0.1~0.5	HW	10~12	5~7

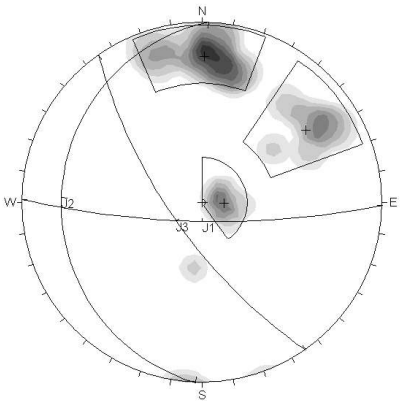
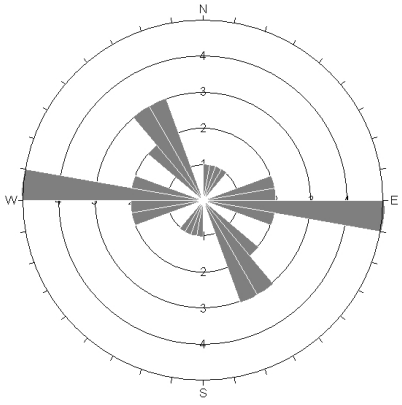
분 석 결 과	• 청원휴계소 맞은편의 리도 202호선 절개사면으로 화강암질 흑운모편마암이 분포 • 풍화상태는 심한풍화, 강도는 5~7MPa로 매우약한 강도이며, 거칠기는 8~12로 약간 거친편임 • 대표 절리군은 45/083, 55/112, 75/283으로 분포하고, 절리간격은 약 0.2~1.0m, 연장은 0.5~5.0m로 나타남

2) 인접노두 조사 (S-2)

가) 상세조사위치 및 현장전경

위치도	현장전경
	

나) 불연속면 현황

Stereonet	Rose diagram
	

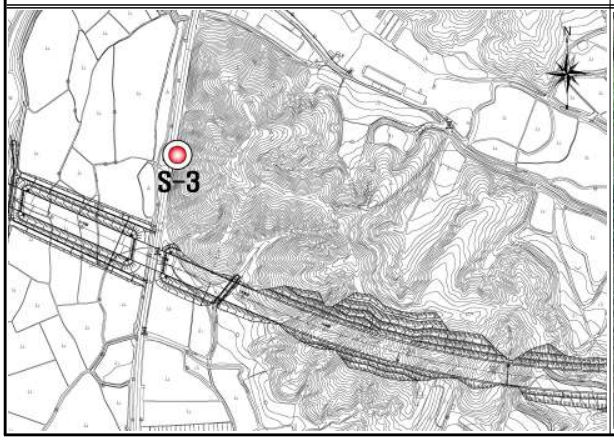
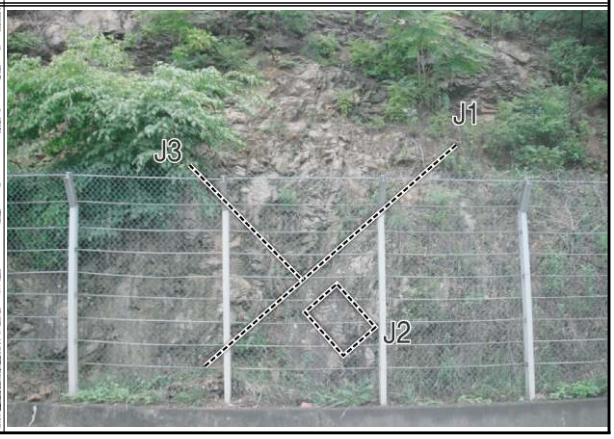
다) 불연속면의 특성분석

구 분	방 향	K	간격(m)	연장(m)	틈새(mm)	풍화상태	JRC	JCS(MPa)
J1	78/181	40	0.1~0.3	2.0~5.0	0.1이하	SW~MW	6~10	36~86
J2	14/265	72	0.1~0.5	2.0~5.0	0.1이하	SW~MW	6~8	21~41
J3	70/235	40	1.0~1.5	1.0~2.0	0.1이하	SW~MW	6~8	21~41

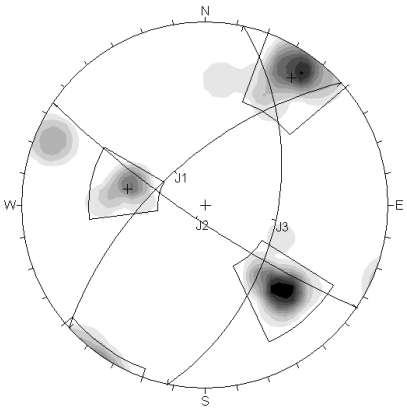
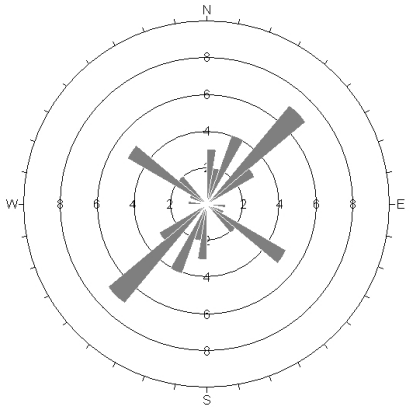
분 석 결 과	• 장남리의 군도 23호선 절개사면으로 안구상 흑운모편마암이 분포 • 풍화상태는 약간풍화~보통풍화, 강도는 21~86MPa이며, 거칠기는 6~10로 약간 거친편임 • 대표 절리군은 78/181, 14/265, 70/235로 분포하고, 절리간격은 약 0.1~1.5m, 연장은 1.0~5.0m로 나타남

3) 인접노두 조사 (S-3)

가) 상세조사위치 및 현장전경

위치도	현장전경
	

나) 불연속면 현황

Stereonet	Rose diagram
	

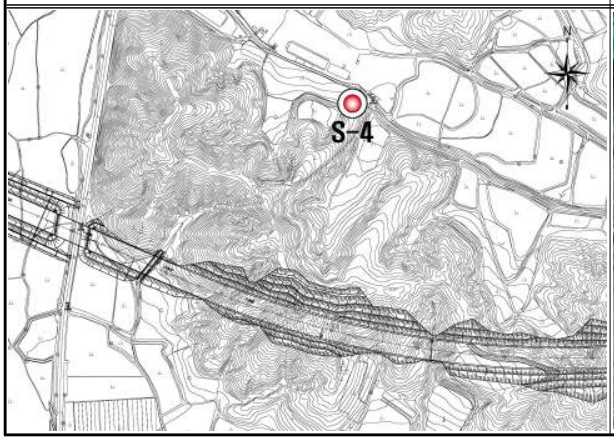
다) 불연속면의 특성분석

구 분	방 향	K	간격(m)	연장(m)	틈새(mm)	풍화상태	JRC	JCS(MPa)
J1	62/318	88	0.5~1.0	1.0~5.0	0.5~1.0	MW	8~10	30~43
J2	80/214	72	0.5~1.0	1.0~2.0	0.5~1.0	MW	8~10	16~23
J3	47/102	72	1.0~2.0	0.5~1.0	0.5~1.0	MW	6~8	10~13

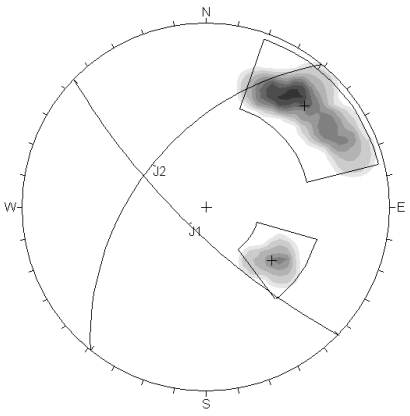
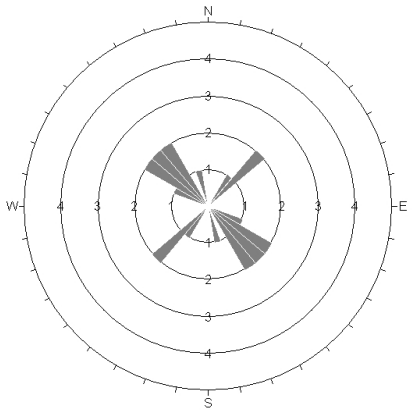
분 석 결 과	• 호죽리의 지방도 596호선 절개사면으로 호상 흑운모편마암이 분포 • 풍화상태는 보통풍화 상태를 보이고 강도는 10~43MPa이며, 거칠기는 6~10로 거친 편임 • 대표 절리군은 62/318, 80/214, 47/102로 분포하고, 절리간격은 약 0.5~2.0m, 연장은 0.5~5.0m로 나타남

4) 인접노두 조사 (S-4)

가) 상세조사위치 및 현장전경

위치도	현장전경
	

나) 불연속면 현황

Stereonet	Rose diagram
	

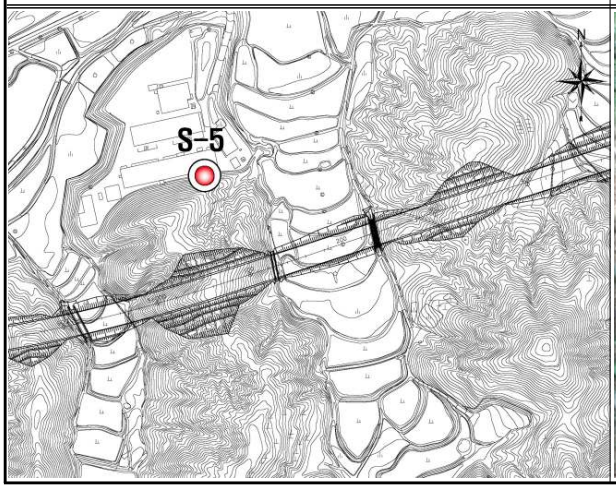
다) 불연속면의 특성분석

구 분	방 향	K	간격(m)	연장(m)	틈새(mm)	풍화상태	JRC	JCS(MPa)
J1	75/224	26	0.2~0.5	1.0~2.0	0.5~1.0	HW	6~8	5~6
J2	49/309	80	0.2~0.5	1.0~2.0	0.5~1.0	HW	6~8	5~6

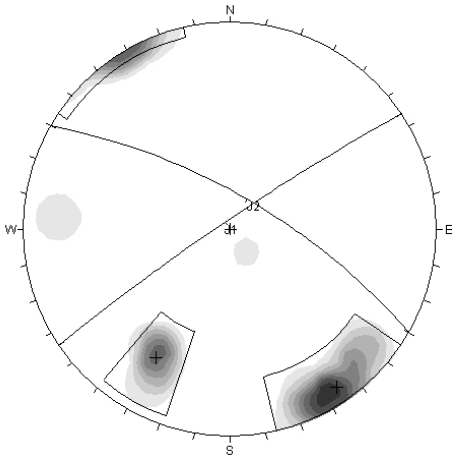
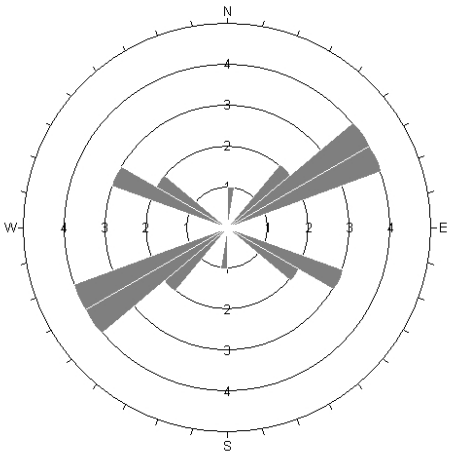
분 석 결 과	• 호죽리 구릉성 산지의 노출사면으로 호상 흑운모편마암이 분포하고, 석영맥이 발달해 있음 • 풍화상태는 심한풍화, 강도는 5~6MPa로 매우 약한 편이며, 거칠기는 6~8로 약간거친편임 • 대표 절리군은 75/224, 49/309로 분포하고, 절리간격은 약 0.2~0.5m, 연장은 1.0~2.0m로 나타남

5) 인접노두 조사 (S-5)

가) 상세조사위치 및 현장전경

위치도	현장전경
	

나) 불연속면 현황

Stereonet	Rose diagram
	

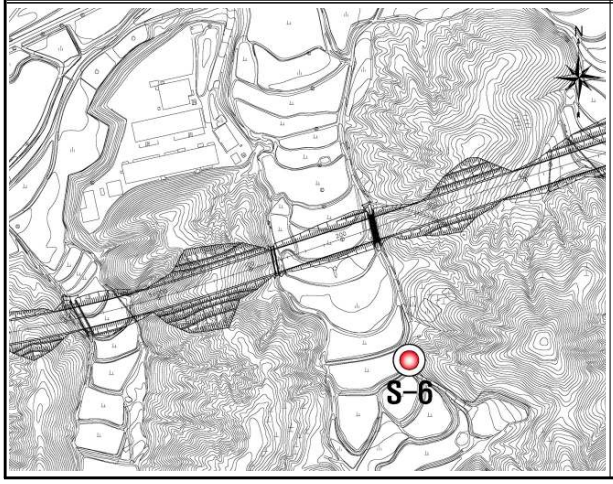
다) 불연속면의 특성분석

구 분	방 향	K	간격(m)	연장(m)	틈새(mm)	풍화상태	JRC	JCS(MPa)
J1	85/326	63	0.2~0.5	2.0~5.0	0.1~0.5	MW	4~6	30~60
J2	71/030	114	0.3~0.5	0.5~1.0	0.1~0.5	MW	6~8	30~43

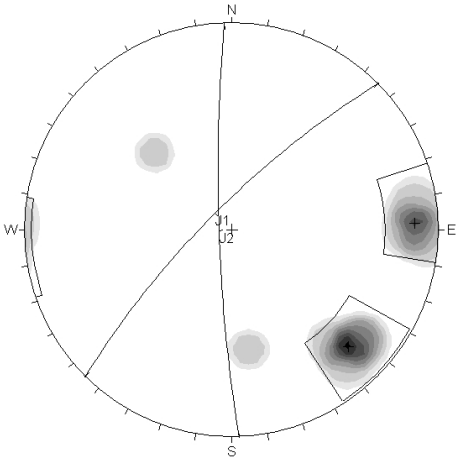
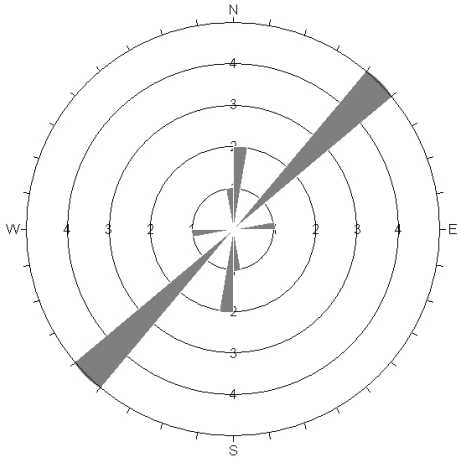
분 석 결 과	• 호죽리의 공장부지 절개지로 호상 흑운모편마암이 분포 • 풍화상태는 보통풍화, 강도는 30~60MPa이며, 거칠기는 4~8로 약간거친편임 • 대표 절리군은 85/326, 71/030으로 분포하고, 절리간격은 약 0.2~0.5m, 연장은 0.5~5.0m로 나타남

6) 인접노두 조사 (S-6)

가) 상세조사위치 및 현장전경

위치도	현장전경
	

나) 불연속면 현황kjh

Stereonet	Rose diagram
	

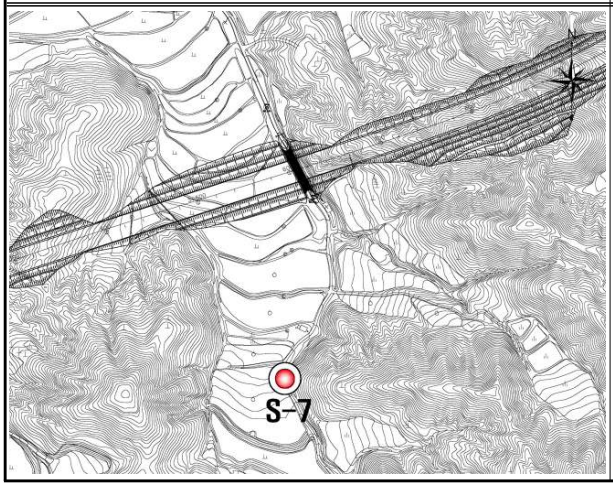
다) 불연속면의 특성분석

구 분	방 향	K	간격(m)	연장(m)	틈새(mm)	풍화상태	JRC	JCS(MPa)
J1	77/315	168	0.2~0.5	1.0~1.5	0.2~0.5	MW~HW	8~10	6~8
J2	83/268	179	0.2~0.5	0.5~1.0	0.2~0.5	MW~HW	8~10	6~8

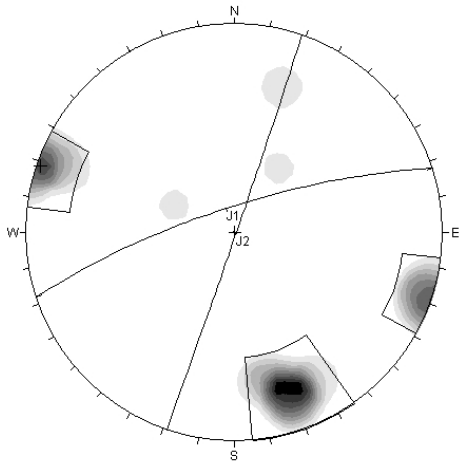
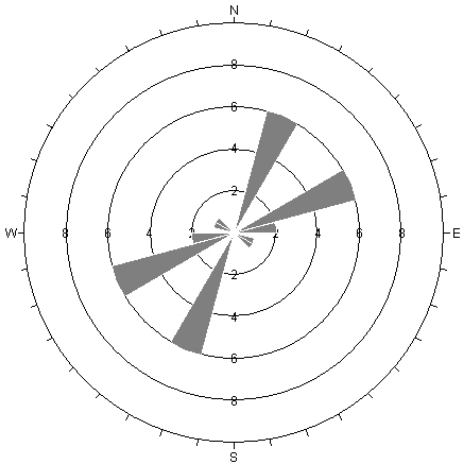
분 석 결 과	• 호죽리의 구릉성 산지 노출사면으로, 엽리가 발달한 호상 흑운모편마암이 분포 • 풍화상태는 보통풍화~심한풍화, 강도는 6~8MPa로 매우 약한 강도를 보이며, 거칠기는 8~10으로 거친편임 • 대표 절리군은 77/315, 83/268로 분포하고, 절리간격은 약 0.2~0.5m, 연장은 0.5~1.5m로 나타남

7) 인접노두 조사 (S-7)

가) 상세조사위치 및 현장전경

위치도	현장전경
	

나) 불연속면 현황

Stereonet	Rose diagram
	

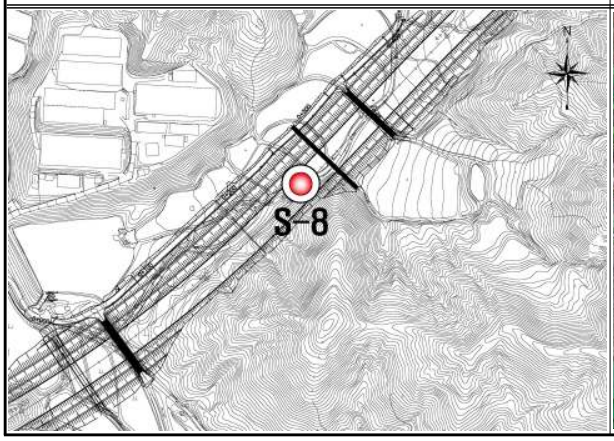
다) 불연속면의 특성분석

구 분	방 향	K	간격(m)	연장(m)	틈새(mm)	풍화상태	JRC	JCS(MPa)
J1	76/342	131	0.5~1.0	2.0~5.0	0.1내외	SW~MW	8~10	86~163
J2	89/109	198	0.5~1.0	1.0~2.0	0.1~0.5	SW~MW	8~10	61~115

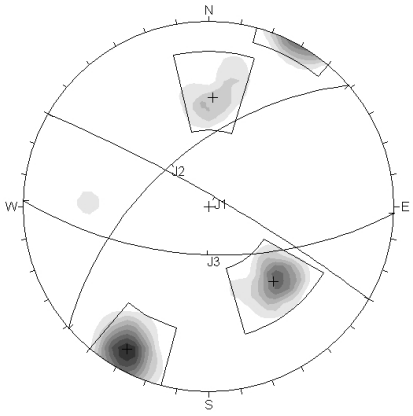
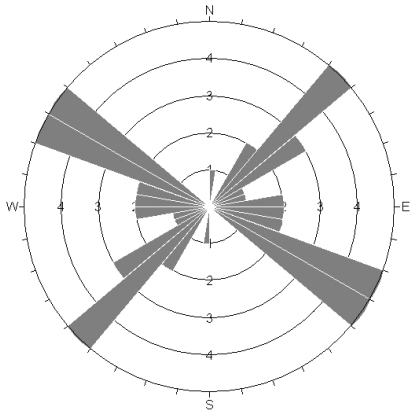
분 석 결 과	• 호죽리 구릉성 산지의 계곡부 노출사면으로 호상 흑운모편마암이 분포 • 풍화상태는 약간풍화~보통풍화, 강도는 61~163MPa로 높은강도를 보이며, 거칠기는 8~10로 거친편임 • 대표 절리군은 76/342, 89/109로 분포하고, 절리간격은 약 0.5~1.0m, 연장은 1.0~5.0m로 나타남

8) 인접노두 조사 (S-8)

가) 상세조사위치 및 현장전경

위치도	현장전경
	

나) 불연속면 현황

Stereonet	Rose diagram
	

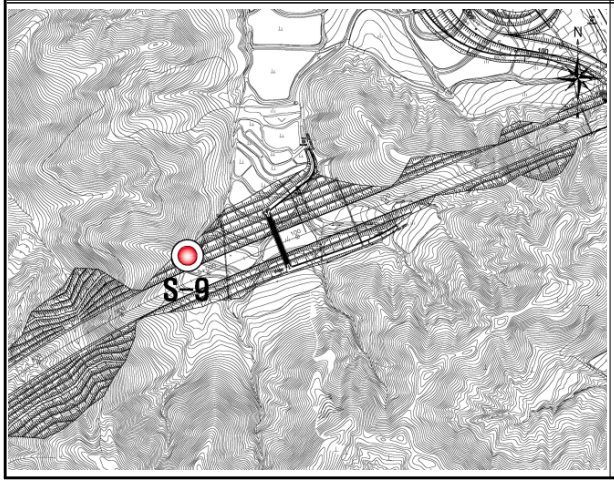
다) 불연속면의 특성분석

구 분	방 향	K	간격(m)	연장(m)	틈새(mm)	풍화상태	JRC	JCS(MPa)
J1	83/030	175	0.5~1.0	1.0~2.0	0.1~0.5	MW	8~10	24~40
J2	56/319	66	0.5~1.0	1.0~1.5	0.1~0.5	MW	8~10	21~30
J3	61/182	55	0.5~1.0	0.5~1.0	0.1~0.5	MW	6~8	20~30

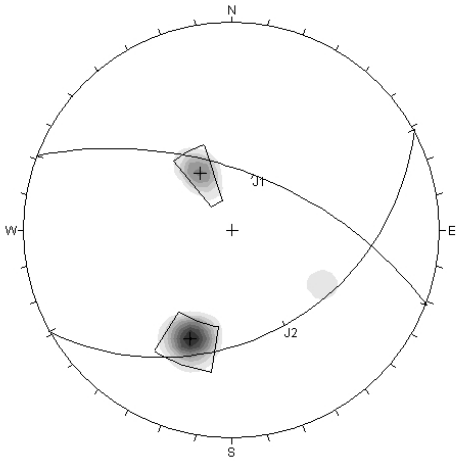
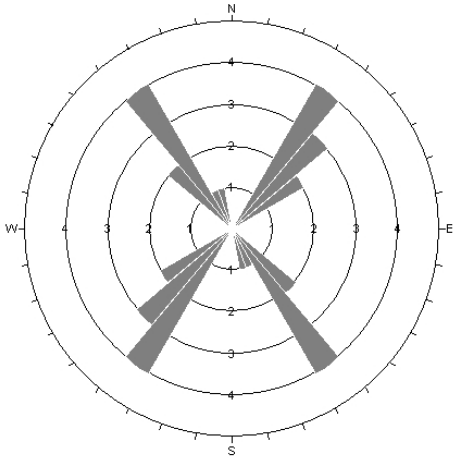
분 석 결 과	• 화산리 구릉성 산지의 계곡부 노출사면으로 엽리가 발달한 호상 흑운모편마암이 분포 • 풍화상태는 보통풍화, 강도는 20~40MPa을 보이며, 거칠기는 6~10으로 거친편임 • 대표 절리군은 83/030, 56/319, 61/182로 분포하고, 절리간격은 약 0.5~1.0m, 연장은 0.5~2.0m로 나타남

9) 인접노두 조사 (S-9)

가) 상세조사위치 및 현장전경

위치도	현장전경
	

나) 불연속면 현황

Stereonet	Rose diagram
	

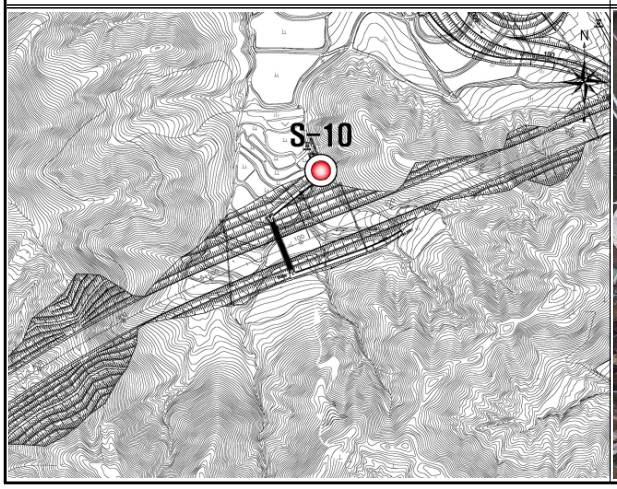
다) 불연속면의 특성분석

구 분	방 향	K	간격(m)	연장(m)	틈새(mm)	풍화상태	JRC	JCS(MPa)
J1	70/133	152	0.2~0.3	1.0~3.0	0.5~1.0	MW~HW	6~8	32~61
J2	55/052	58	0.2~0.3	1.0~2.0	0.5이하	MW~HW	8~10	32~46

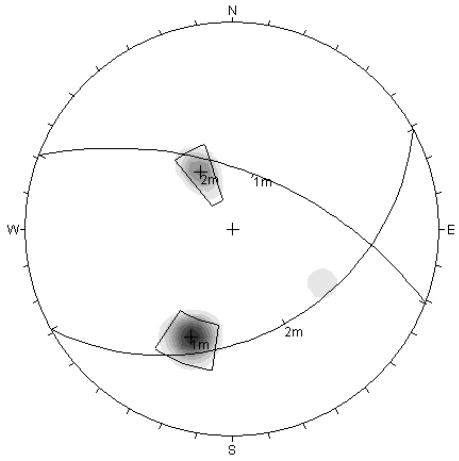
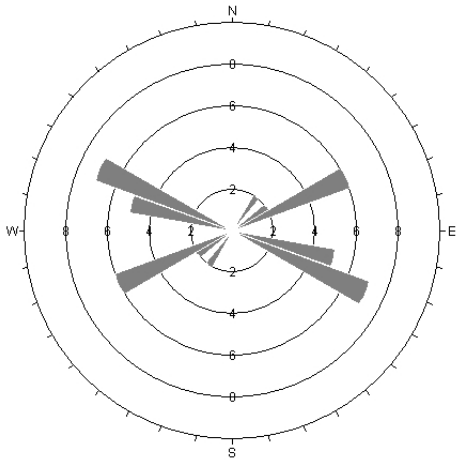
분 석 결 과	• 성산리 구릉성 산지의 계곡부 노출사면으로 호상 흑운모편마암이 분포 • 풍화상태는 보통풍화~심한풍화, 강도는 32~61MPa을 보이며, 거칠기는 6~10으로 거친편임 • 대표 절리군은 70/133, 55/052로 분포하고, 절리간격은 약 0.2~0.3m, 연장은 1.0~3.0m로 나타남

10) 인접노두 조사 (S-10)

가) 상세조사위치 및 현장전경

위치도	현장전경
	

나) 불연속면 현황

Stereonet	Rose diagram
	

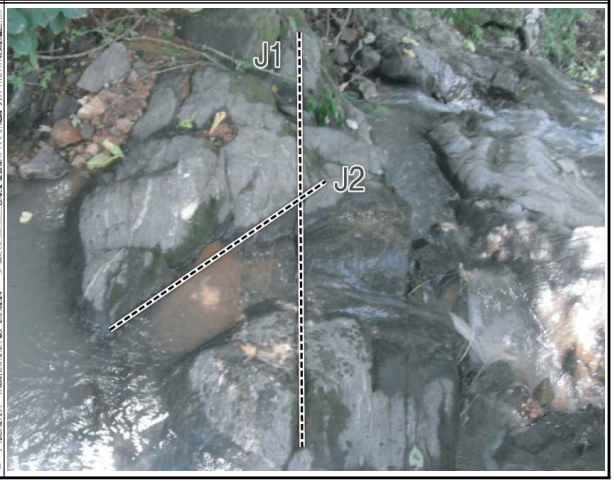
다) 불연속면의 특성분석

구 분	방 향	K	간격(m)	연장(m)	틈새(mm)	풍화상태	JRC	JCS(MPa)
J1	58/021	241	0.3~0.5	1.0~2.0	0.3~0.5	SW~MW	6~8	142~202
J2	35/151	128	0.2~0.3	2.0~3.0	0.1~0.5	SW~MW	8~10	132~250

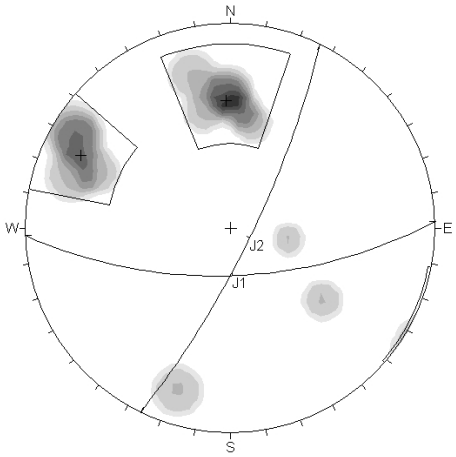
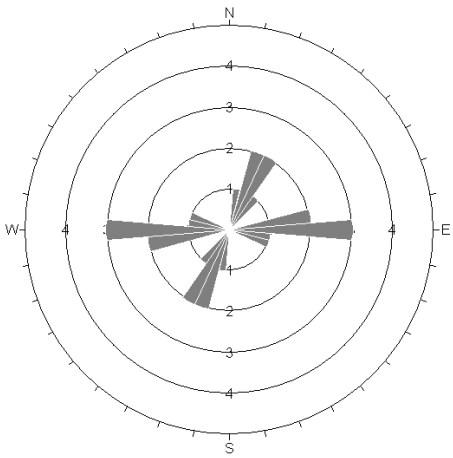
분 석 결 과	• 성산리 구릉성 산지의 계곡부 노출사면으로 호상 흑운모편마암이 분포 • 풍화상태는 약간풍화~보통풍화, 강도는 132~250MPa로 매우 강한 편이며, 거칠기는 6~10으로 약간거친편임 • 대표 절리군은 58/021, 35/151로 분포하고, 절리간격은 약 0.2~0.5m, 연장은 1.0~3.0m로 나타남

11) 인접노두 조사 (S-11)

가) 상세조사위치 및 현장전경

위치도	현장전경
	

나) 불연속면 현황

Stereonet	Rose diagram
	

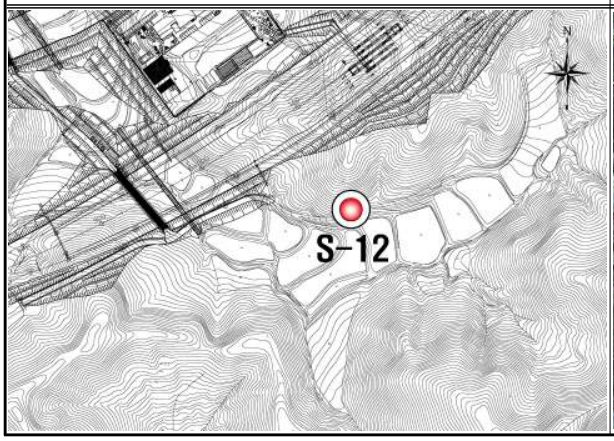
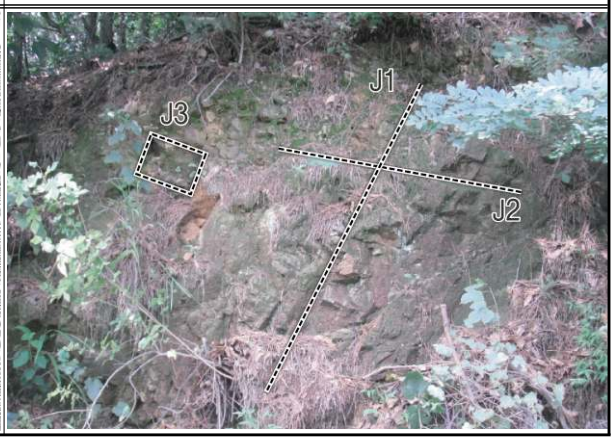
다) 불연속면의 특성분석

구 분	방 향	K	간격(m)	연장(m)	틈새(mm)	풍화상태	JRC	JCS(MPa)
J1	64/178	51	0.2~0.5	1.5~3.0	0.1~0.3	SW~MW	8~10	100~152
J2	78/116	86	0.2~0.5	1.0~2.0	0.1내외	SW~MW	8~10	93~132

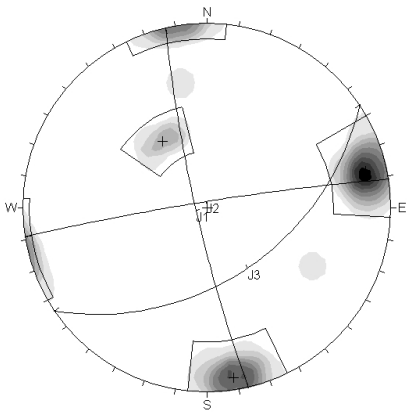
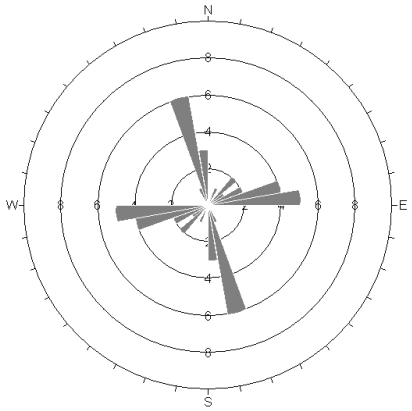
분 석 결 과	• 성산리 구릉성 산지의 계곡부 노출사면으로 호상 흑운모편마암이 분포 • 풍화상태는 약간풍화~보통풍화, 강도는 93~152MPa로 강한 편이며, 거칠기는 8~10으로 거친편임 • 대표 절리군은 64/178, 78/116으로 분포하고, 절리간격은 약 0.2~0.5m, 연장은 1.0~3.0m로 나타남

12) 인접노두 조사 (S-12)

가) 상세조사위치 및 현장전경

위치도	현장전경
	

나) 불연속면 현황

Stereonet	Rose diagram
	

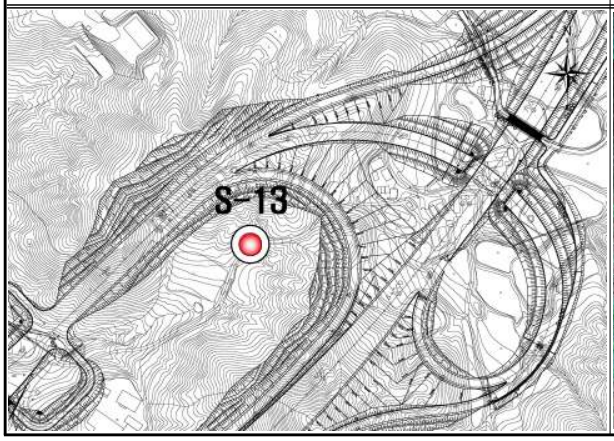
다) 불연속면의 특성분석

구 분	방 향	K	간격(m)	연장(m)	틈새(mm)	풍화상태	JRC	JCS(MPa)
J1	83/257	129	0.2~0.5	1.0~3.0	0.1~0.5	HW	8~10	11~21
J2	86/351	133	0.2~0.5	0.5~1.0	0.1~0.5	HW	8~10	7~12
J3	47/146	84	0.2~0.5	0.2~0.5	0.1~0.5	HW	8~10	7~12

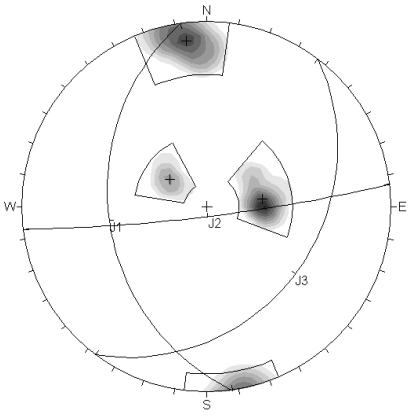
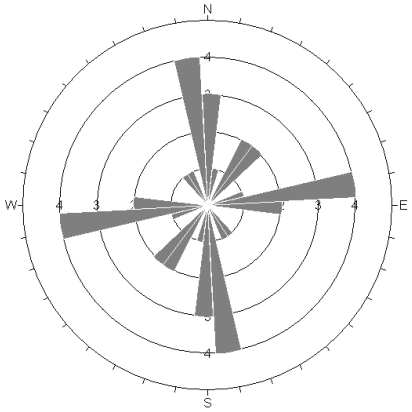
분 석 결 과	• 성산리 산지의 농로길 절개사면으로 호상 흑운모편마암이 분포 • 풍화상태는 심한풍화, 강도는 7~21MPa로 매우 약한 편이며, 거칠기는 8~10으로 거친편임 • 대표 절리군은 83/257, 86/351, 47/146으로 분포하고, 절리간격은 약 0.2~0.5m, 연장은 0.2~3.0m로 나타남

13) 인접노두 조사 (S-13)

가) 상세조사위치 및 현장전경

위치도	현장전경
	

나) 불연속면 현황

Stereonet	Rose diagram
	

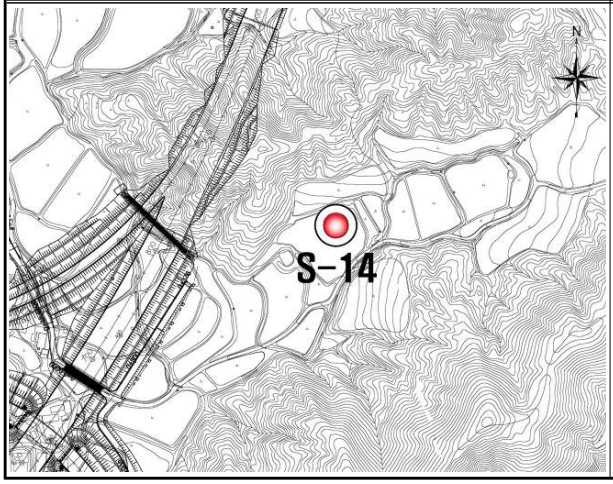
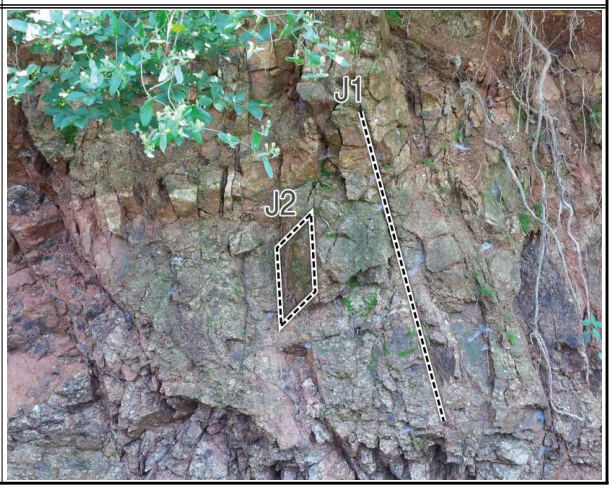
다) 불연속면의 특성분석

구 분	방 향	K	간격(m)	연장(m)	틈새(mm)	풍화상태	JRC	JCS(MPa)
J1	34/262	73	0.2~1.0	1.0~5.0	0.5~1.0	HW	6~8	7~10
J2	84/173	132	0.5~1.0	1.0~3.0	0.5~1.0	HW	8~10	7~10
J3	28/127	116	0.5~1.0	0.5~1.5	0.5~1.0	HW	8~10	5~7

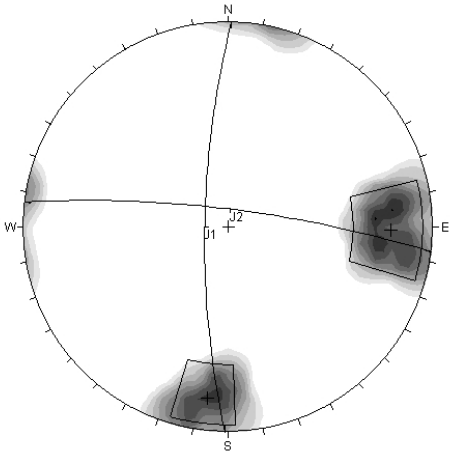
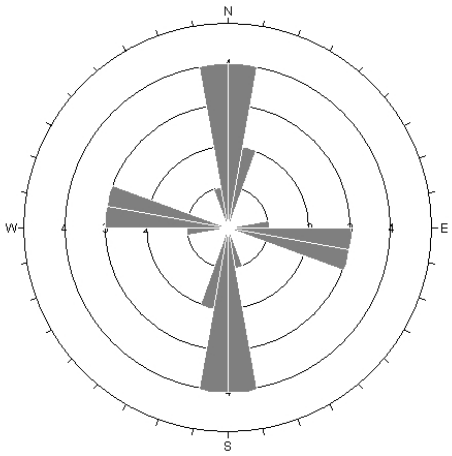
분 석 결 과	• 성산리 산지의 임도 절개사면으로 호상 흑운모편마암이 분포 • 풍화상태는 심한풍화, 강도는 5~10MPa로 매우 약한 편이며, 거칠기는 6~10으로 거친편임 • 대표 절리군은 34/262, 84/173, 28/127로 분포하고, 절리간격은 약 0.2~1.0m, 연장은 0.5~5.0m로 나타남

14) 인접노두 조사 (S-14)

가) 상세조사위치 및 현장전경

위치도	현장전경
	

나) 불연속면 현황

Stereonet	Rose diagram
	

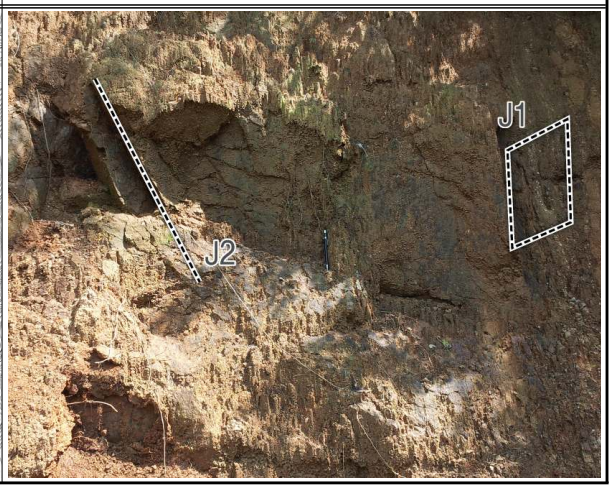
다) 불연속면의 특성분석

구 분	방 향	K	간격(m)	연장(m)	틈새(mm)	풍화상태	JRC	JCS(MPa)
J1	77/271	47	0.2~0.5	1.0~5.0	1.0~2.0	MW~HW	8~10	34~50
J2	80/007	68	0.5~1.0	1.0~5.0	0.5~1.0	MW~HW	8~10	31~40

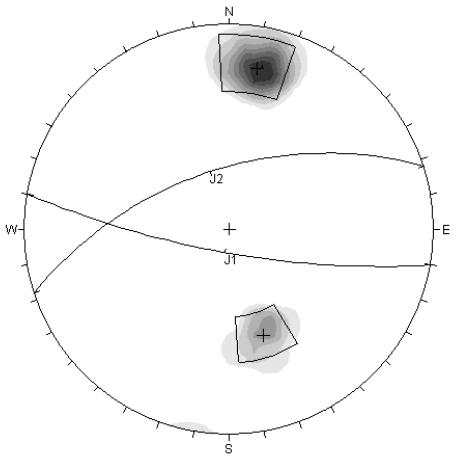
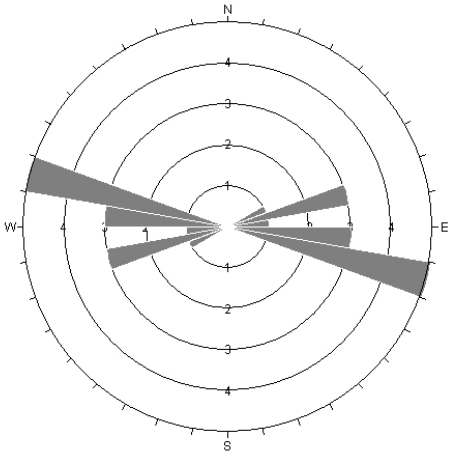
분 석 결 과	• 성산리 구릉성 산지의 농로 절개사면으로 엽리가 발달한 호상 흑운모편마암이 분포 • 풍화상태는 보통풍화~심한풍화, 강도는 31~50MPa로 약한 편이며, 거칠기는 8~10으로 거친편임 • 대표 절리군은 77/271, 80/007로 분포하고, 절리간격은 약 0.2~1.0m, 연장은 1.0~5.0m로 나타남

15) 인접노두 조사 (S-15)

가) 상세조사위치 및 현장전경

위치도	현장전경
	

나) 불연속면 현황

Stereonet	Rose diagram
	

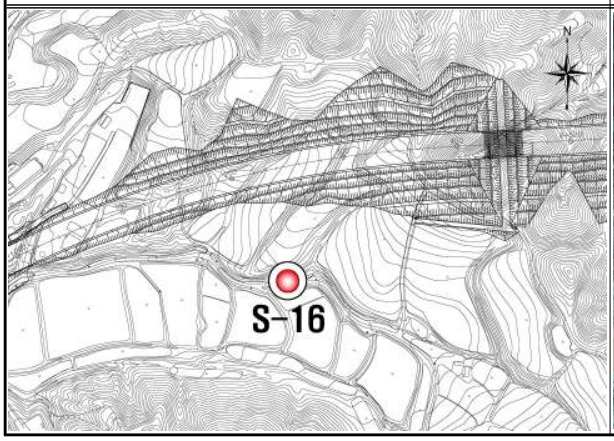
다) 불연속면의 특성분석

구 분	방 향	K	간격(m)	연장(m)	틈새(mm)	풍화상태	JRC	JCS(MPa)
J1	77/190	108	0.2~0.5	1.0~1.5	0.5~1.0	MW~HW	8~10	6~8
J2	57/342	72	0.5~1.0	0.5~1.0	0.5~1.0	MW~HW	8~10	6~8

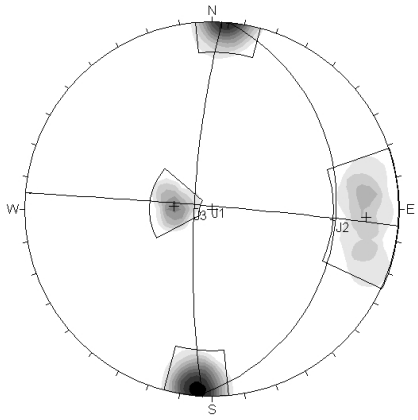
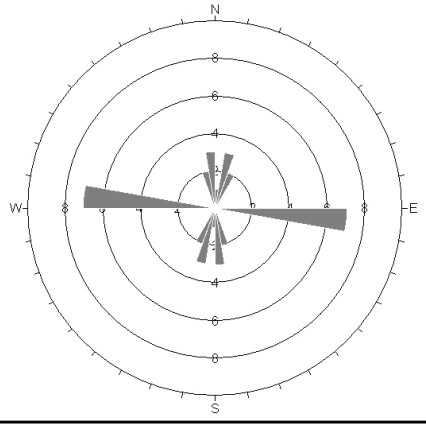
분 석 결 과	• 성산리 구릉성 산지의 절개사면으로 엽리가 발달한 호상 흑운모편마암이 분포 • 풍화상태는 보통풍화~심한풍화, 강도는 6~8MPa로 매우 약한 편이며, 거칠기는 8~10으로 거친편임 • 대표 절리군은 77/190, 57/342로 분포하고, 절리간격은 약 0.2~1.0m, 연장은 0.5~1.5m로 나타남

16) 인접노두 조사 (S-16)

가) 상세조사위치 및 현장전경

위치도	현장전경
	

나) 불연속면 현황

Stereonet	Rose diagram
	

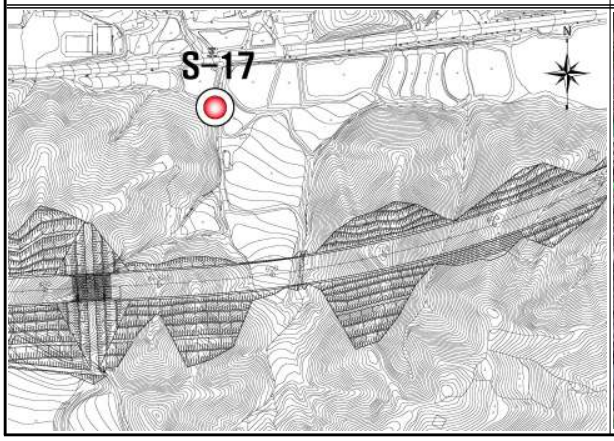
다) 불연속면의 특성분석

구 분	방 향	K	간격(m)	연장(m)	틈새(mm)	풍화상태	JRC	JCS(MPa)
J1	88/005	266	0.5~1.0	0.5~2.0	1.0내외	MW~HW	8~10	12~17
J2	23/095	107	0.5~1.0	0.5~1.0	1.0내외	MW~HW	8~10	9~10
J3	79/273	40	0.5~1.0	0.5~1.0	0.5~1.0	MW~HW	8~10	9~10

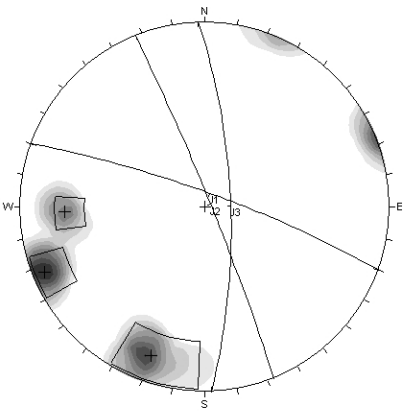
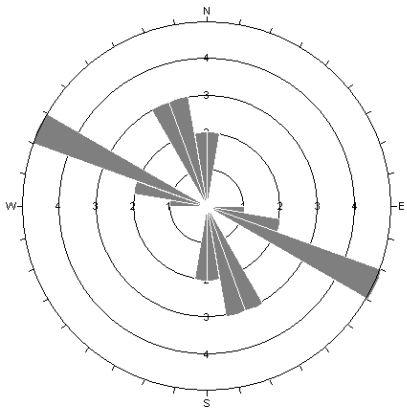
분 석 결 과	• 성산리 구릉성 산지의 농로 절개사면으로 엽리가 발달한 호상 흑운모편마암이 분포 • 풍화상태는 보통풍화~심한풍화, 강도는 9~17MPa로 매우 약한 편이며, 거칠기는 8~10으로 거친편임 • 대표 절리군은 88/005, 23/095, 79/273으로 분포하고, 절리간격은 약 0.5~1.0m, 연장은 0.5~2.0m로 나타남

17) 인접노두 조사 (S-17)

가) 상세조사위치 및 현장전경

위치도	현장전경
	

나) 불연속면 현황

Stereonet	Rose diagram
	

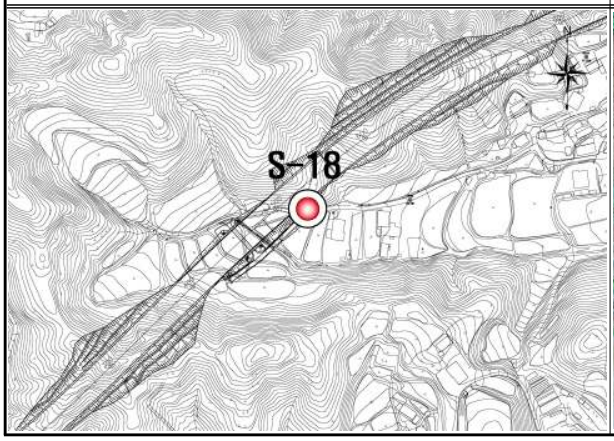
다) 불연속면의 특성분석

구 분	방 향	K	간격(m)	연장(m)	틈새(mm)	풍화상태	JRC	JCS(MPa)
J1	81/020	82	0.2~0.5	1.0~3.0	0.5~1.0	MW~HW	8~10	7~10
J2	86/068	360	0.2~0.5	0.5~1.0	0.5~1.0	MW~HW	8~10	7~10
J3	74/088	243	0.2~1.0	0.5~1.0	1.0내외	MW~HW	8~10	5~8

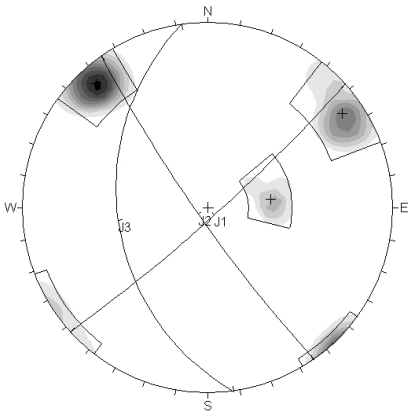
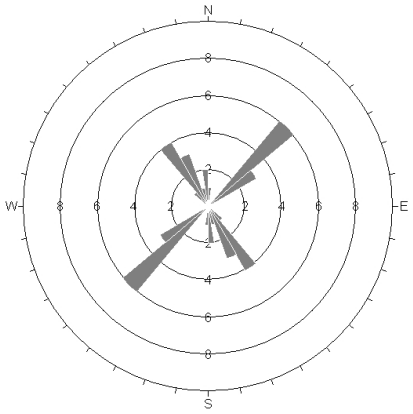
분 석 결 과	• 양지리 구릉성 산지의 농로 절개사면으로 엽리가 발달한 호상 흑운모편마암이 분포 • 풍화상태는 보통풍화~심한풍화, 강도는 5~10MPa로 매우 약한 편이며, 거칠기는 8~10으로 거친편임 • 대표 절리군은 81/020, 86/068, 74/088로 분포하고, 절리간격은 약 0.2~1.0m, 연장은 0.5~3.0m로 나타남

18) 인접노두 조사 (S-18)

가) 상세조사위치 및 현장전경

위치도	현장전경
	

나) 불연속면 현황

Stereonet	Rose diagram
	

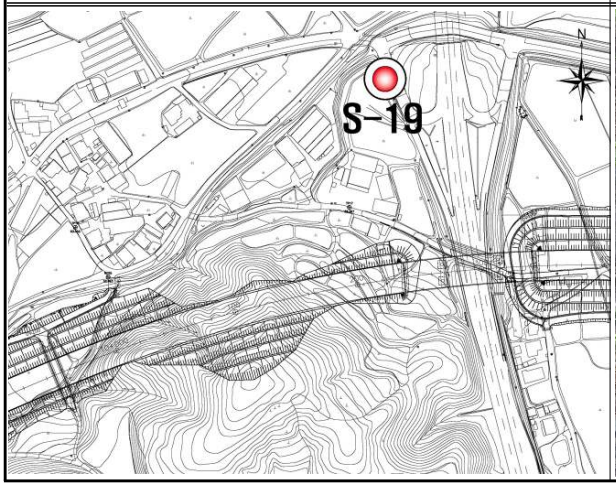
다) 불연속면의 특성분석

구 분	방 향	K	간격(m)	연장(m)	틈새(mm)	풍화상태	JRC	JCS(MPa)
J1	84/138	266	0.2~0.5	0.5~1.0	0.5~1.0	HW	6~8	5~6
J2	83/235	101	0.2~0.5	0.2~0.5	0.5~1.0	HW	6~8	5~6
J3	38/262	74	0.3~0.8	0.2~0.5	0.5~1.0	HW	6~8	5~6

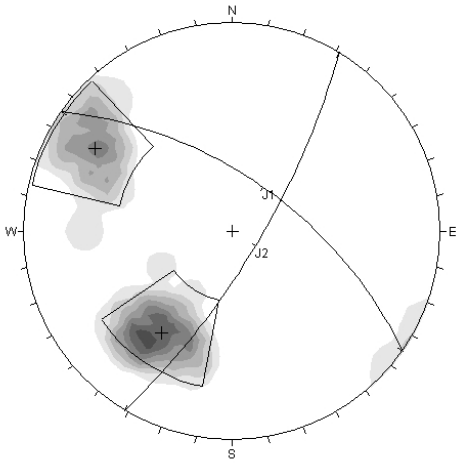
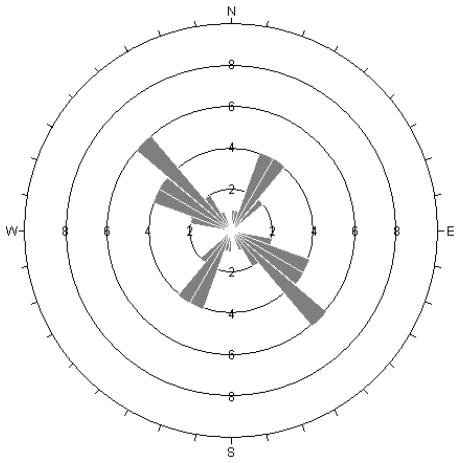
분 석 결 과	• 복현리 구릉성 산지의 농로 절개사면으로 엽리가 발달한 호상 흑운모편마암이 분포 • 풍화상태는 심한풍화, 강도는 5~6MPa로 매우 약한 편이며, 거칠기는 6~8로 약간거친편임 • 대표 절리군은 84/138, 83/235, 38/262로 분포하고, 절리간격은 약 0.2~0.8m, 연장은 0.2~1.0m로 나타남

19) 인접노두 조사 (S-19)

가) 상세조사위치 및 현장전경

위치도	현장전경
	

나) 불연속면 현황

Stereonet	Rose diagram
	

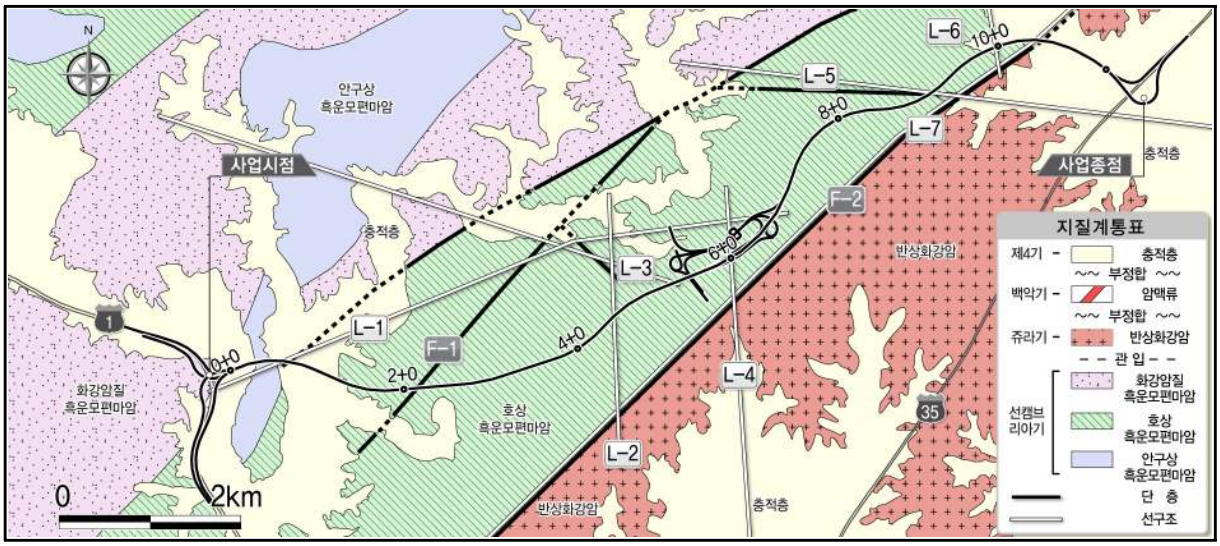
다) 불연속면의 특성분석

구 분	방 향	K	간격(m)	연장(m)	틈새(mm)	풍화상태	JRC	JCS(MPa)
J1	61/035	35	0.2~0.5	1.0~5.0	0.5~1.0	SW~MW	8~10	93~142
J2	75/121	40	0.5~1.0	1.0~5.0	0.5~1.0	SW~MW	8~10	57~65

분 석 결 과	• 국도 17호선 복현교차로의 절개사면으로 호상 흑운모편마암이 분포 • 풍화상태는 약간풍화~보통풍화, 강도는 57~142MPa로 강한 편이며, 거칠기는 8~10으로 거친편임 • 대표 절리군은 61/035, 75/121로 분포하고, 절리간격은 약 0.2~1.0m, 연장은 1.0~5.0m로 나타남

3.4.4 사업구간과 교차하는 선형구조 종합분석

가. 분포현황 종합



나. 사업구간과 교차하는 선형구조 상세 분석

구 분	조 사 결 과			방 향	연 장(km)	교차지점 (STA.)	비 고
	선구조	노두조사	시추조사				
L-1	O	-	-	N68E	6.8	0+621	토공구간
	O	-	-	N82E	6.8	6+705	
L-2	O	-	-	N2W	3.0	4+578	
L-3	O	-	-	N72W	6.1	5+336	
L-4	O	-	-	N4W	4.2	6+040	
L-5	O	-	-	N83W	17.8	9+141	산수교
L-6	O	-	-	N10W	27.8	10+021	토공구간
L-7	O	O	-	N46~55E	22.2	10+435	F-2단층(암종경계)

분 석 결 과	• 총 7개 선구조가 사업노선과 교차하며, 지표조사결과 L-7 선구조는 암종경계를 따른 단층으로 확인됨 • 시추조사 결과 단층파쇄대 및 연약대는 미분포

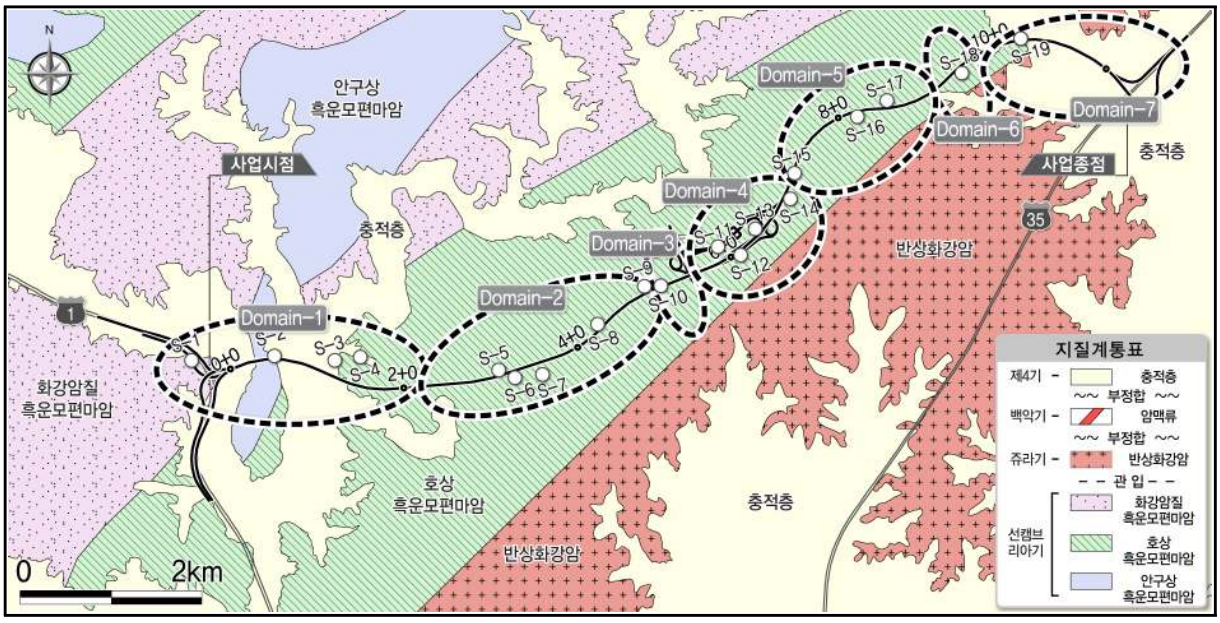
3.4.5 Domain 분류

- 전체노두에 대한 불연속면 자료를 분석후 절리의 방향성, 간격, 연장성에 대한 통계적 입력자료 선정
- 사업구간에 분포하는 불연속면의 방향성에 따른 Domain 분류

가. 수행흐름도

문헌자료 분석	광역지표지질조사	상세지표지질조사
• 기존 지질도 검토 • 각종 문헌자료 검토 • 위성영상 선구조 분석	• 기존지질도 및 지형도를 이용한 선형구조분석 • 광역적 암종분포·지체구조 조사 • 구조물에 영향을 미칠수 있는 선구조 분석	• Domain별 불연속면특성 상세파악 • 통계분석을 통한 절리군 분포특성 분석 • 시추결과와의 상호 비교분석

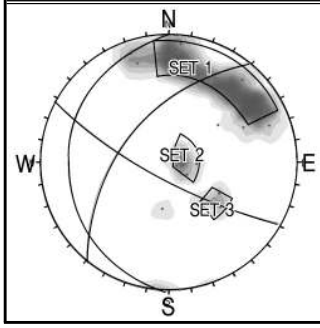
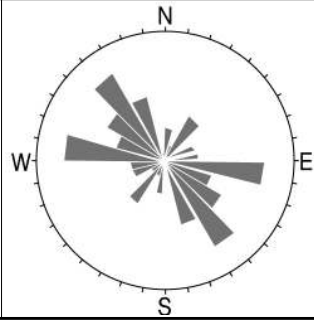
나. Domain별 조사현황

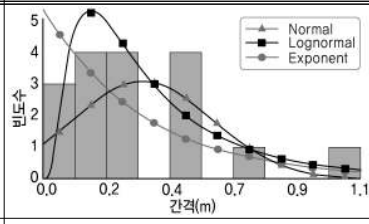
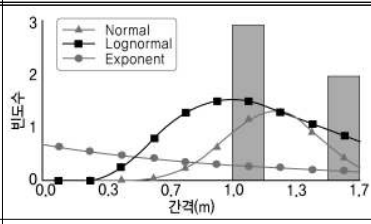
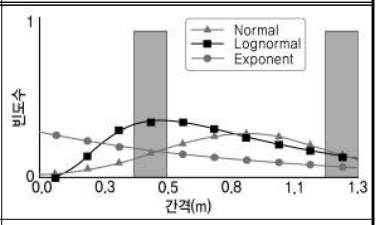


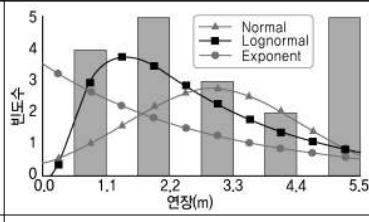
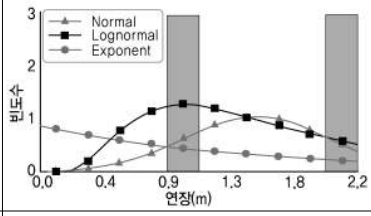
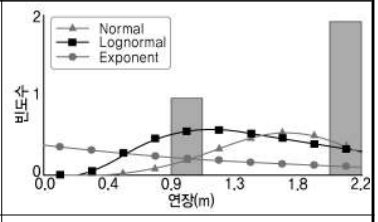
구 분	조 사 지 점	STA.	분 포 암 종
Domain-1	S-1, 2, 3, 4	시점부~2+100	안구상 흑운모편마암, 호상 흑운모편마암
Domain-2	S-5, 6, 7, 8, 9	2+100~5+100	호상 흑운모편마암
Domain-3	S-10	5+100~5+500	호상 흑운모편마암
Domain-4	S-11, 12, 13, 14	5+500~7+100	호상 흑운모편마암
Domain-5	S-15, 16, 17	7+100~9+100	호상 흑운모편마암
Domain-6	S-18	9+100~9+900	호상 흑운모편마암
Domain-7	S-19	9+900~종점부	호상 흑운모편마암

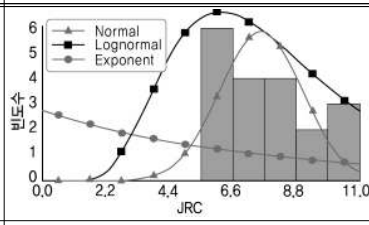
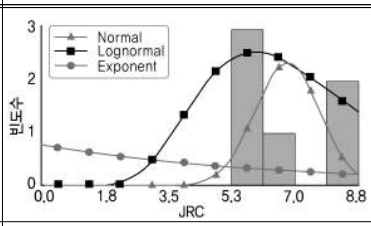
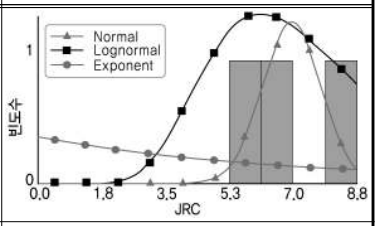
다. Domain별 조사결과

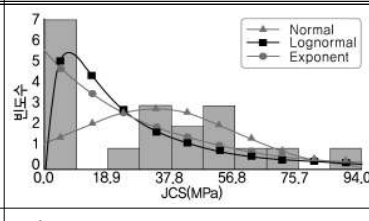
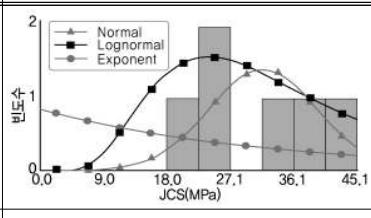
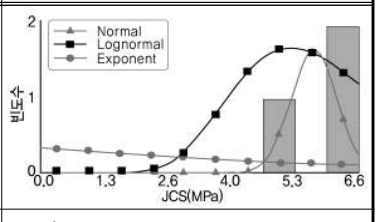
1) Domain-1

Stereonet	Rose diagram	구 분	SET 1	SET 2	SET 3
		방 향	75/208	15/271	60/309
		간격(m)	0.35±0.24	1.20±0.25	0.85±0.35
		연장(m)	2.95±1.50	1.50±0.50	1.67±0.47
		JRC	7.58±1.43	6.83±0.90	7.00±0.81
		JCS (MPa)	32.79±25.11	6.83±0.90	7.00±0.81

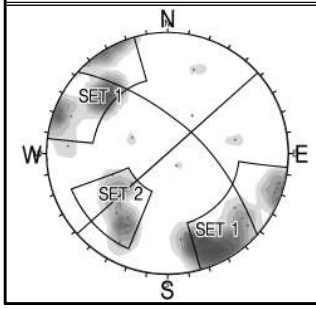
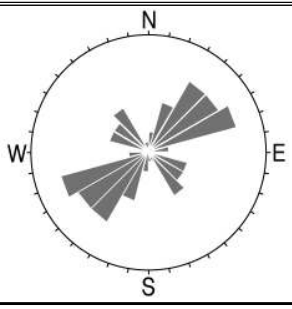
구 분	SET 1	SET 2	SET 3
간 격 (m)			
적 용	정규, m=0.35, σ=0.24	정규, m=1.20, σ=0.25	정규, m=0.85, σ=0.35

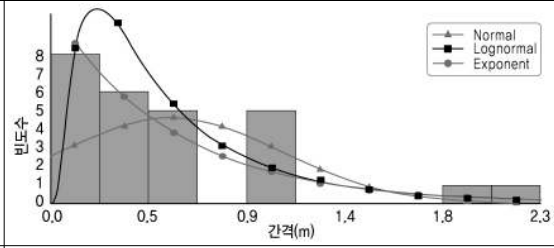
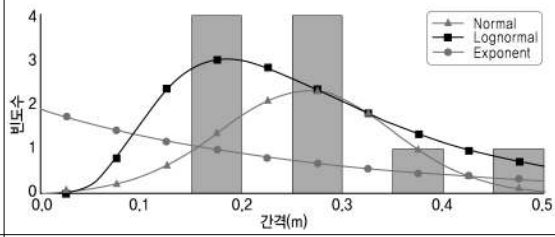
구 분	SET 1	SET 2	SET 3
연 장 (m)			
적 용	정규, m=2.95, σ=1.50	정규, m=1.50, σ=0.50	정규, m=1.67, σ=0.47

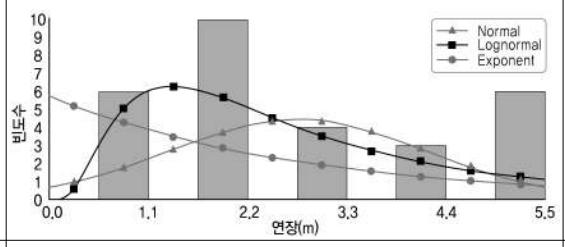
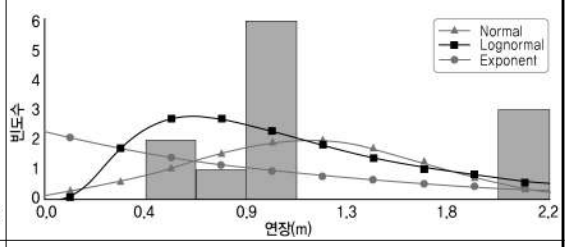
구 분	SET 1	SET 2	SET 3
JRC			
적 용	정규, m=7.58, σ=1.43	정규, m=6.83, σ=0.90	정규, m=7.00, σ=0.81

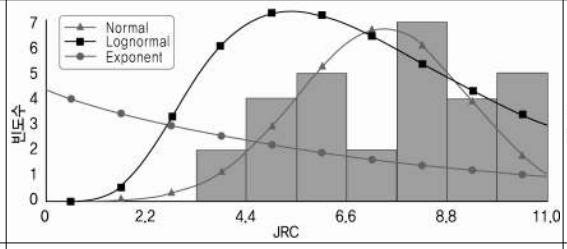
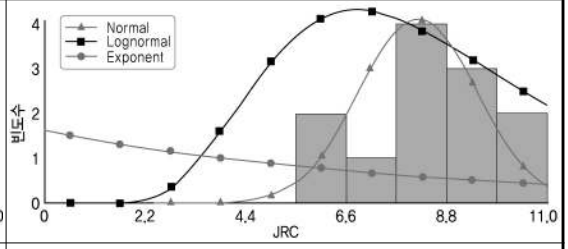
구 분	SET 1	SET 2	SET 3
JCS (MPa)			
적 용	정규, m=32.79, σ=25.11	정규, m=31.67, σ=7.70	정규, m=5.67, σ=0.47

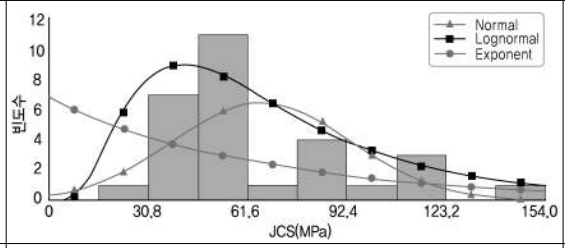
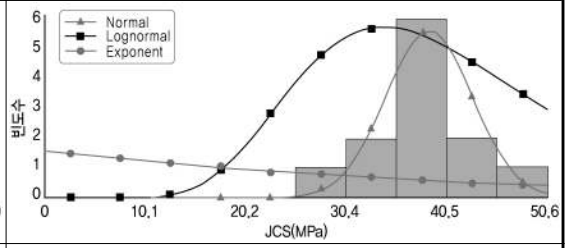
2) Domain-2

Stereonet	Rose diagram	구 분	SET 1	SET 2
		방 향	89/138	61/042
		간격(m)	0.57±0.52	0.29±0.09
		연장(m)	2.76±1.43	1.14±0.53
		JRC	7.38±1.88	8.17±1.28
		JCS (MPa)	66.10±27.40	38.67±4.35

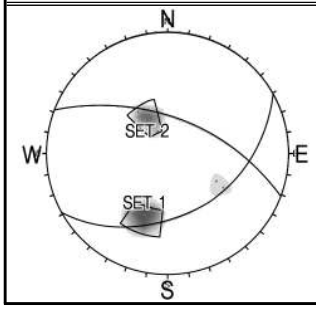
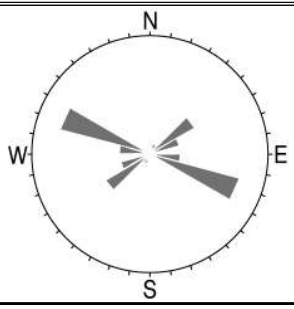
구 분	SET 1	SET 2
간 격 (m)		
적 용	정규, m=0.57, σ=0.52	정규, m=0.29, σ=0.09

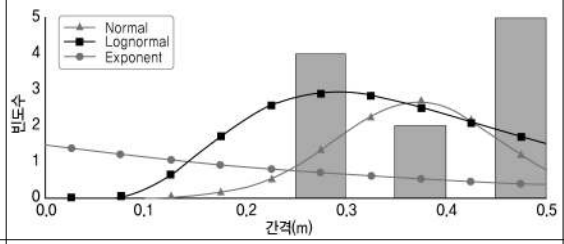
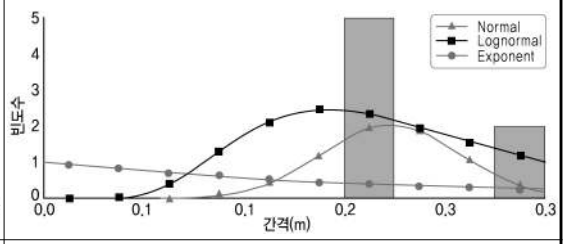
구 분	SET 1	SET 2
연 장 (m)		
적 용	정규, m=2.76, σ=1.43	정규, m=1.14, σ=0.53

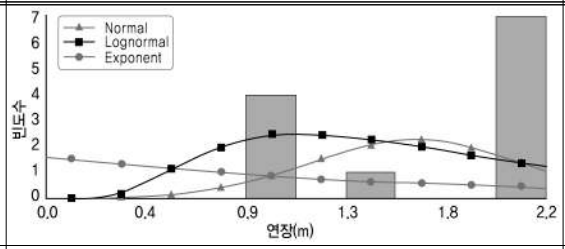
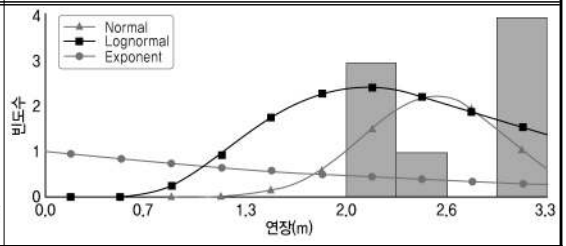
구 분	SET 1	SET 2
JRC		
적 용	정규, m=7.38, σ=1.88	정규, m=8.17, σ=1.28

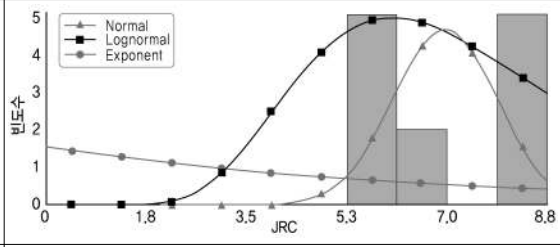
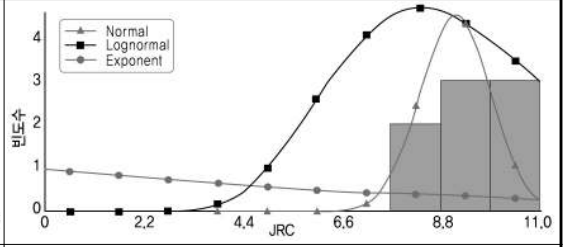
구 분	SET 1	SET 2
JCS (MPa)		
적 용	정규, m=66.10, σ=27.40	정규, m=38.67, σ=4.35

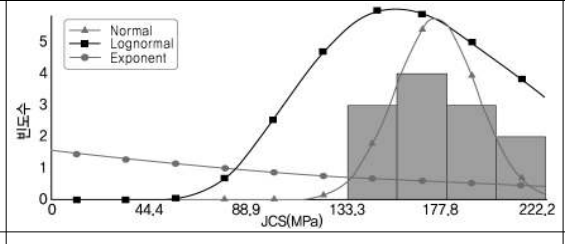
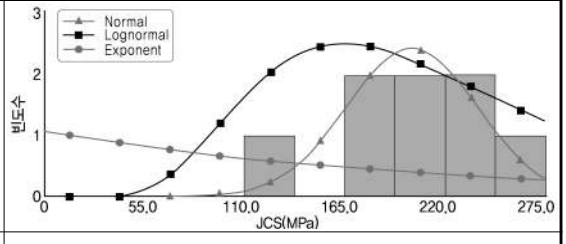
3) Domain-3

Stereonet	Rose diagram	구 분	SET 1	SET 2
		방 향	58/020	45/150
		간격(m)	0.41±0.09	0.23±0.05
		연장(m)	1.63±0.46	2.56±0.46
		JRC	7.00±0.91	9.13±0.78
		JCS (MPa)	172.83±18.51	201.50±35.72

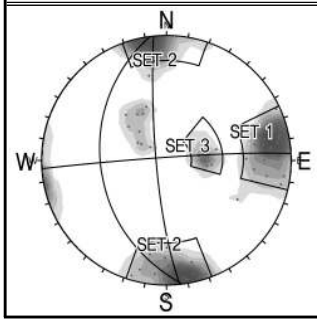
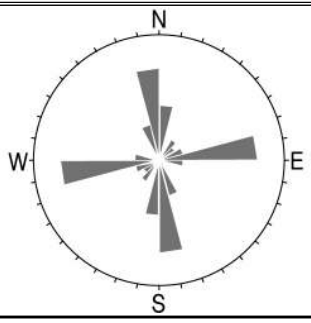
구 분	SET 1	SET 2
간 격 (m)		
적 용	정규, m=0.41, σ=0.09	정규, m=0.23, σ=0.05

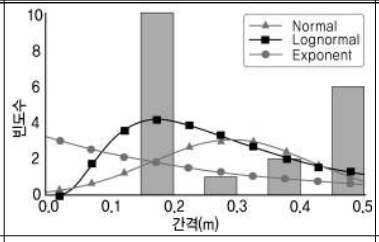
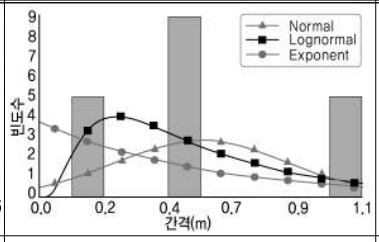
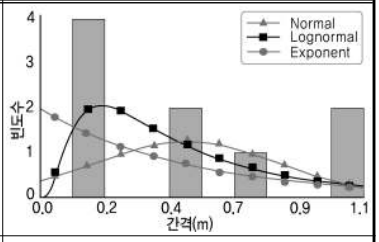
구 분	SET 1	SET 2
연 장 (m)		
적 용	정규, m=1.63, σ=0.46	정규, m=2.56, σ=0.46

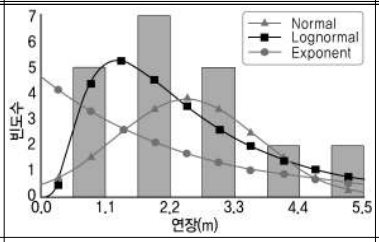
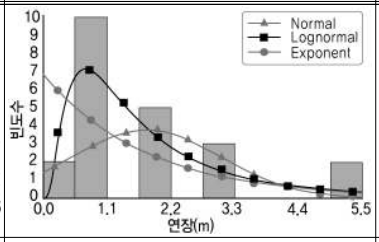
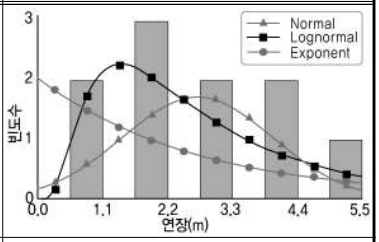
구 분	SET 1	SET 2
JRC		
적 용	정규, m=7.00, σ=0.91	정규, m=9.13, σ=0.78

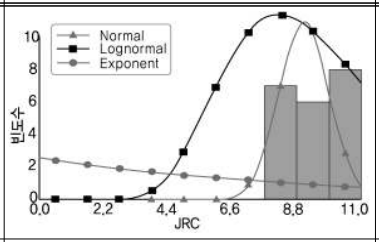
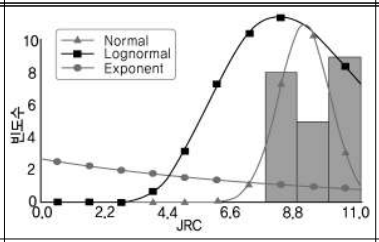
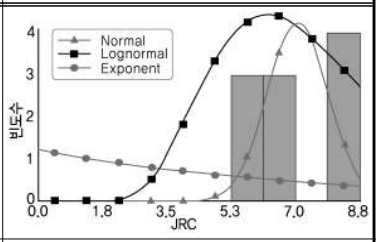
구 분	SET 1	SET 2
JCS (MPa)		
적 용	정규, m=172.83, σ=18.51	정규, m=201.50, σ=35.72

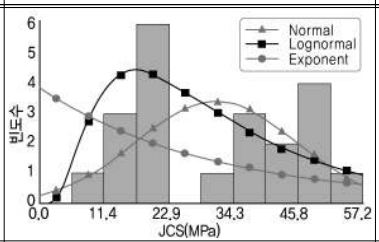
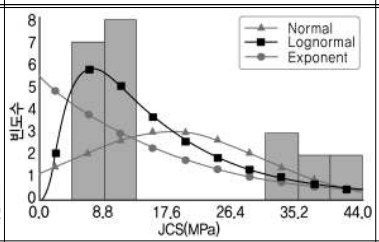
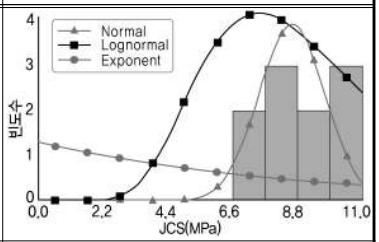
4) Domain-4

Stereonet	Rose diagram	구 분	SET 1	SET 2	SET 3
		방 향	80/264	88/356	34/262
		간격(m)	0.32±0.14	0.55±0.29	0.50±2.00
		연장(m)	2.48±1.22	1.78±1.28	2.70±1.27
		JRC	9.05±0.84	9.05±0.88	7.10±0.83
		JCS (MPa)	31.29±14.07	17.64±12.77	8.60±1.11

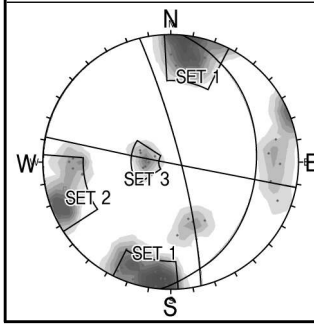
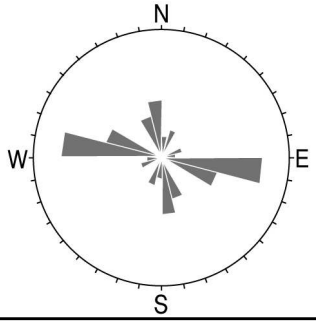
구 분	SET 1	SET 2	SET 3
간 격 (m)			
적 용	정규, m=032, σ=0.14	정규, m=0.55, σ=0.29	음지수, m=0.50, σ=2.00

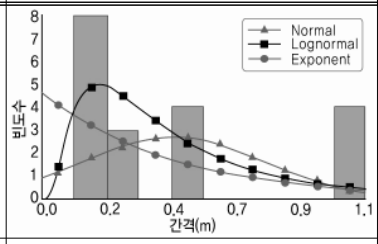
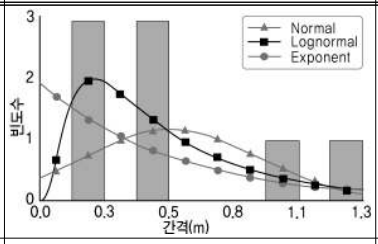
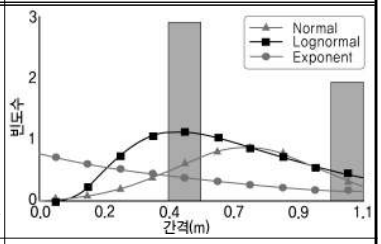
구 분	SET 1	SET 2	SET 3
연 장 (m)			
적 용	정규, m=2.48, σ=1.22	정규, m=1.78, σ=1.28	정규, m=2.70, σ=1.27

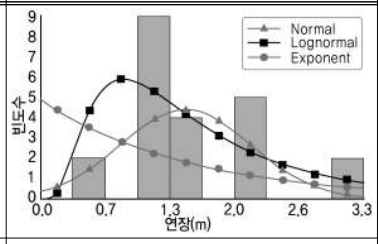
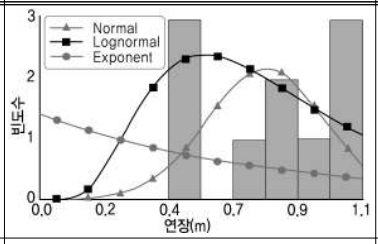
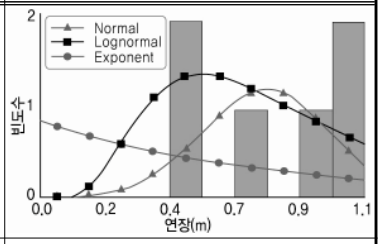
구 분	SET 1	SET 2	SET 3
JRC			
적 용	정규, m=9.05, σ=0.84	정규, m=9.05, σ=0.88	대수정규, m=7.10, σ=0.83

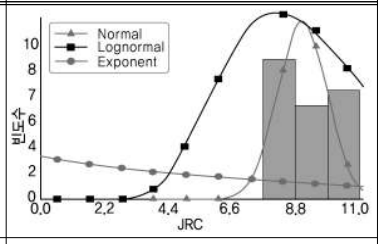
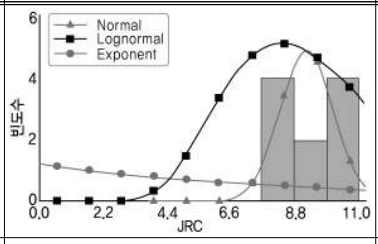
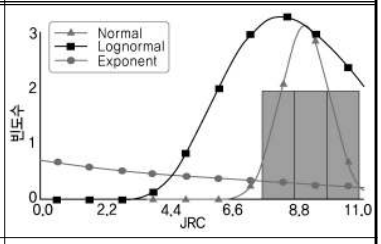
구 분	SET 1	SET 2	SET 3
JCS (MPa)			
적 용	대수정규, m=31.29, σ=14.07	정규, m=17.64, σ=12.77	정규, m=8.60, σ=1.11

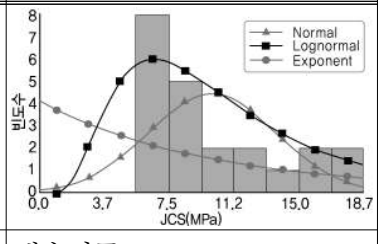
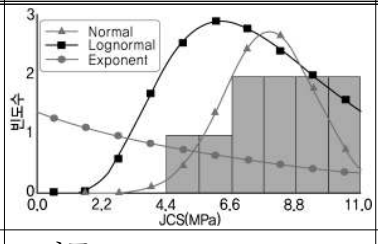
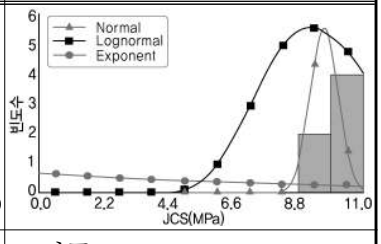
5) Domain-5

Stereonet	Rose diagram	구 분	SET 1	SET 2	SET 3
		방 향	89/191	82/075	23/095
		간격(m)	0.45±0.31	0.54±0.35	0.70±0.25
		연장(m)	1.48±0.66	0.77±0.20	0.77±0.21
		JRC	8.91±0.85	9.00±0.89	9.00±0.82
		JCS (MPa)	9.35±0.35	7.90±158	9.67±0.47

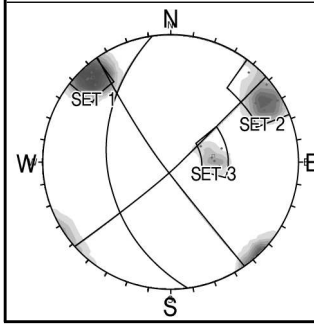
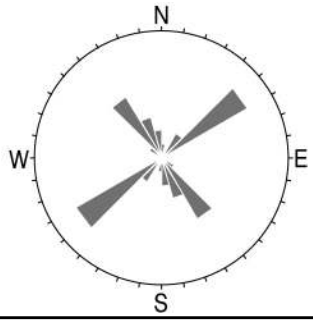
구 분	SET 1	SET 2	SET 3
간 격 (m)			
적 용	정규, m=0.45, σ=0.31	음지수, m=0.54, σ=0.35	정규, m=0.70, σ=0.25

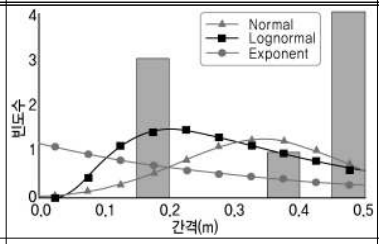
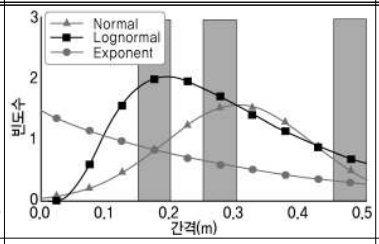
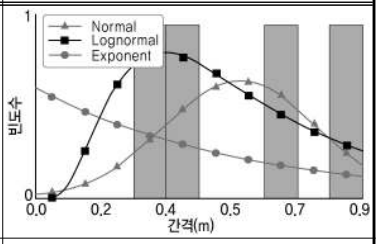
구 분	SET 1	SET 2	SET 3
연 장 (m)			
적 용	정규, m=1.48, σ=0.66	정규, m=0.77, σ=0.20	정규, m=0.77, σ=0.21

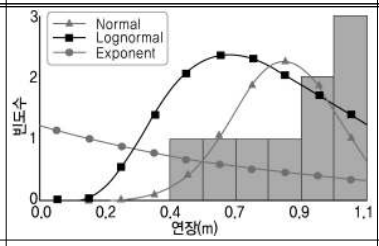
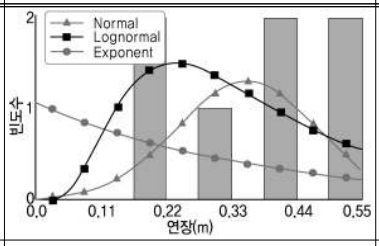
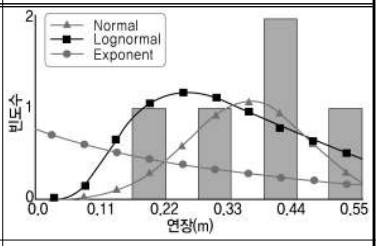
구 분	SET 1	SET 2	SET 3
JRC			
적 용	정규, m=8.91, σ=0.85	정규, m=9.00, σ=0.89	정규, m=9.00, σ=0.82

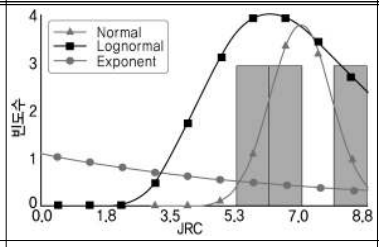
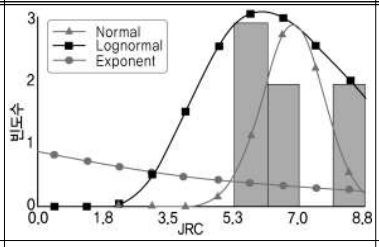
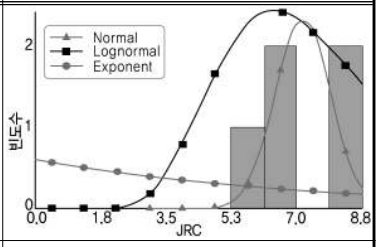
구 분	SET 1	SET 2	SET 3
JCS (MPa)			
적 용	대수정규, m=9.35, σ=0.35	정규, m=7.90, σ=1.58	정규, m=9.67, σ=0.47

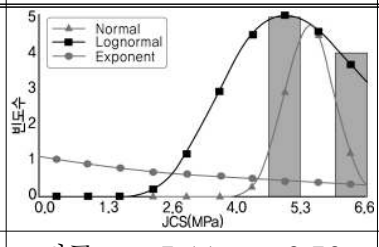
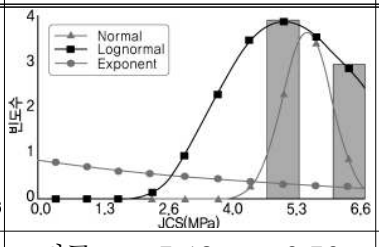
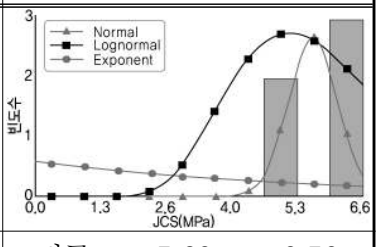
6) Domain-6

Stereonet	Rose diagram	구 분	SET 1	SET 2	SET 3
		방 향	84/137	84/234	38/261
		간격(m)	0.38±0.14	0.33±0.12	0.55±0.21
		연장(m)	0.82±0.18	0.36±0.12	0.36±0.10
		JRC	7.00±0.82	6.86±0.63	7.20±0.75
		JCS (MPa)	5.44±0.50	5.43±0.50	5.60±0.50

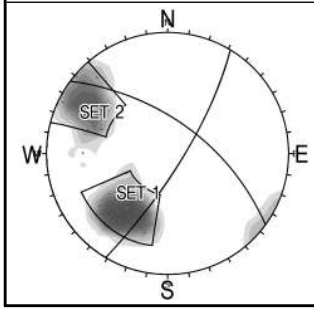
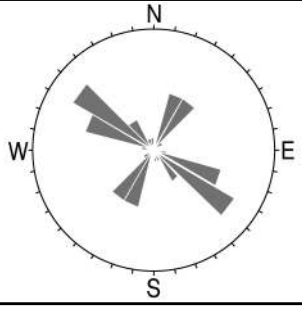
구 분	SET 1	SET 2	SET 3
간 격 (m)			
적 용	정규, m=0.38, σ=0.14	정규, m=0.33, σ=0.12	정규, m=0.55, σ=0.21

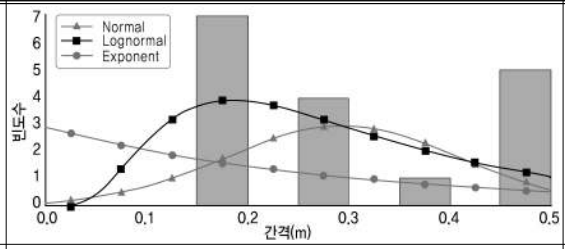
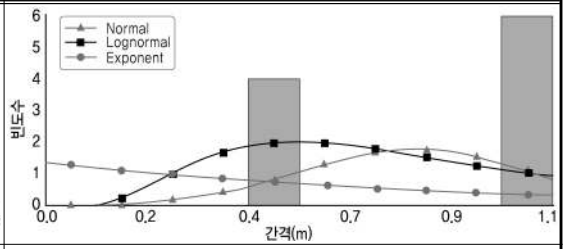
구 분	SET 1	SET 2	SET 3
연 장 (m)			
적 용	정규, m=0.82, σ=0.18	정규, m=0.36, σ=0.12	정규, m=0.36, σ=0.10

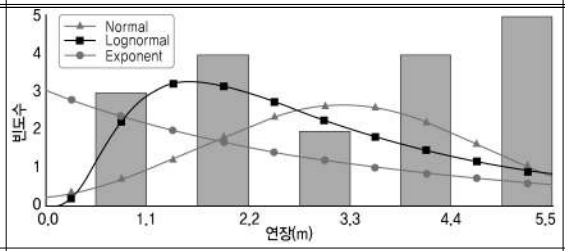
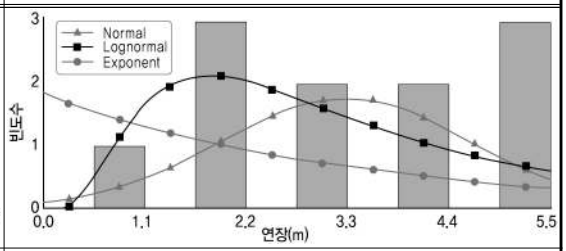
구 분	SET 1	SET 2	SET 3
JRC			
적 용	정규, m=7.00, σ=0.82	정규, m=6.86, σ=0.83	정규, m=7.20, σ=0.75

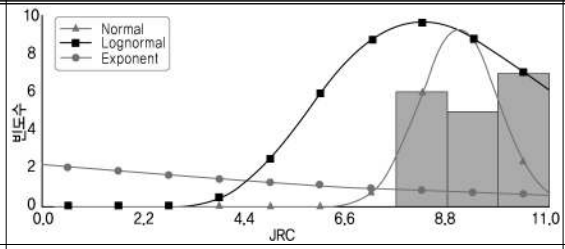
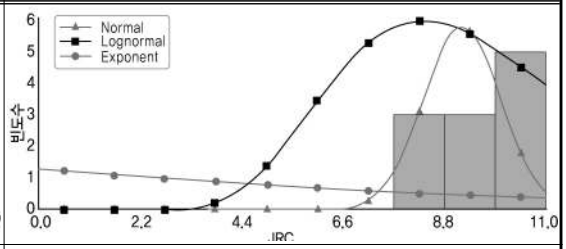
구 분	SET 1	SET 2	SET 3
JCS (MPa)			
적 용	정규, m=5.44, σ=0.50	정규, m=5.43, σ=0.50	정규, m=5.60, σ=0.50

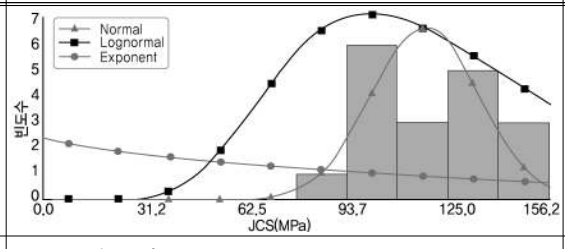
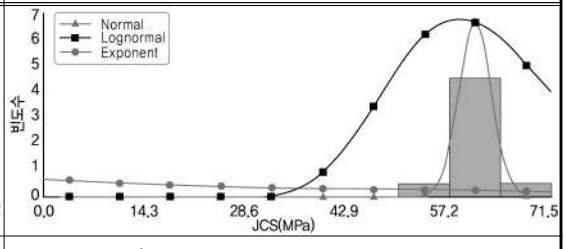
7) Domain-7

Stereonet	Rose diagram	구 분	SET 1	SET 2
		방 향	60/036	76/121
		간격(m)	0.32±0.13	0.80±0.24
		연장(m)	3.22±1.45	3.27±1.35
		JRC	9.06±0.85	9.18±0.83
		JCS (MPa)	118.06±16.81	60.73±2.38

구 분	SET 1	SET 2
간 격 (m)		
적 용	정규, m=0.32, σ=0.13	정규, m=0.80, σ=0.24

구 분	SET 1	SET 2
연 장 (m)		
적 용	대수정규, m=3.22, σ=1.45	정규, m=3.27, σ=1.35

구 분	SET 1	SET 2
JRC		
적 용	정규, m=9.06, σ=0.85	정규, m=9.18, σ=0.83

구 분	SET 1	SET 2
JCS (MPa)		
적 용	대수정규, m=118.06, σ=16.81	정규, m=60.73, σ=2.38

라. Domain별 분포특성 요약

- 사업구간에 분포하는 불연속면의 방향성에 따른 Domain 분류
- 구간별 분류된 Domain을 기준으로 불연속면 설계지반정수 산정의 기초자료 제공

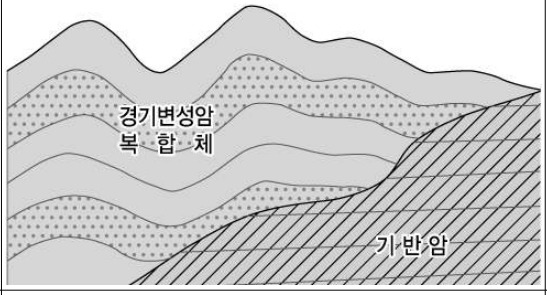
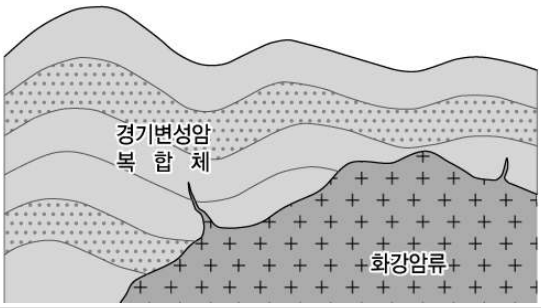
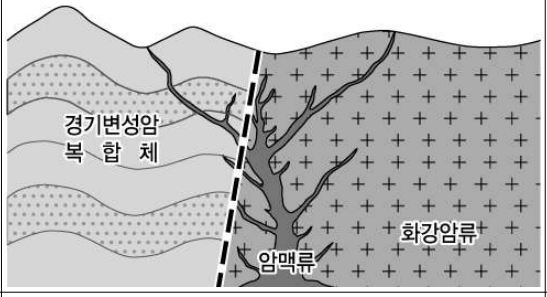
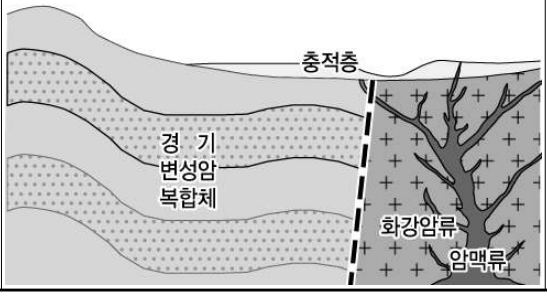
구 분		경사/경사방향	간격(m)	연장(m)	JRC	JCS(MPa)
Domain-1	SET 1	75/208	0.35±0.24	2.95±1.50	7.58±1.43	32.79±25.11
	SET 2	15/271	1.20±0.25	1.50±0.50	6.83±0.90	6.83±0.90
	SET 3	60/309	0.85±0.35	1.67±0.47	7.00±0.81	7.00±0.81
Domain-2	SET 1	89/138	0.57±0.52	2.76±1.43	7.38±1.88	66.10±27.40
	SET 2	61/042	0.29±0.09	1.14±0.53	8.17±1.28	38.67±4.35
Domain-3	SET 1	58/020	0.41±0.09	1.63±0.46	7.00±0.91	172.83±18.51
	SET 2	45/150	0.23±0.05	2.56±0.46	9.13±0.78	201.50±35.72
Domain-4	SET 1	80/264	0.32±0.14	2.48±1.22	9.05±0.84	31.29±14.07
	SET 2	88/356	0.55±0.29	1.78±1.28	9.05±0.88	17.64±12.77
	SET 3	34/262	0.50±2.00	2.70±1.27	7.10±0.83	8.60±1.11
Domain-5	SET 1	89/191	0.45±0.31	1.48±0.66	8.91±0.85	9.35±0.35
	SET 2	82/075	0.54±0.35	0.77±0.20	9.00±0.89	7.90±158
	SET 3	23/095	0.70±0.25	0.77±0.21	9.00±0.82	9.67±0.47
Domain-6	SET 1	84/137	0.38±0.14	0.82±0.18	7.00±0.82	5.44±0.50
	SET 2	84/234	0.33±0.12	0.36±0.12	6.86±0.63	5.43±0.50
	SET 3	38/261	0.55±0.21	0.36±0.10	7.20±0.75	5.60±0.50
Domain-7	SET 1	60/036	0.32±0.13	3.22±1.45	9.06±0.85	118.06±16.81
	SET 2	76/121	0.80±0.24	3.27±1.35	9.18±0.83	60.73±2.38

분 석 결 과	• 사업구간의 Domain은 총7개의 구조구로 구분되며, 암반비탈면의 암종은 편마암이 분포하고 있다. • 구조구별 방향성, 절리면 벽면강도 및 거칠기 등 불연속면 특성을 반영한 불연속체 설계지반정수를 산정하여 깎기 비탈면의 안정해석시 입력 자료로 활용

3.5 지구조 진화사

기 본 개 요	• 문헌자료 및 영상자료 분석, 야외조사결과를 종합하여 사업구간의 지질학적 성인을 규명함 • 지체발달사를 도시함으로 사업의 전반적인 지질특성 이해를 도모함

3.5.1 조사지역 지질학적 성인과정(지체발달사)

순 서	형 성 과 정	설 명
1단계 (선캠브리아기)		• 호성환경에서 육원성의 이암/사암의 호층대 퇴적 • 변성퇴적암류(경기변성암복합체)의 퇴적 및 변성
2단계 (쥬라기 중~말기)		• 화성활동(대보조산운동)에 의한 화강암류의 관입
3단계 (백악기 중~말기)		• 산성 및 염기성암맥의 관입 및 단층활동
4단계 (제3기~현재)		• 지반의 융기 및 침식 • 제4기 충적층 퇴적

분 석 결 과	• 과업구간은 선캠브리아 변성암류를 기저로하여 이를 관입한 중생대 쥬라기 화강암류 및 암맥류로 구성됨 • 중생대 쥬라기~백악기를 거치는 동안 수반된 지구조운동(단층작용)에 의해 단열대와 풍화변질대가 광범위하게 발달함

제4장 현장조사 및 결과

4.1 굴절법 탄성파 탐사

4.2 현장특수시험

4.3 현장조사

4.4 현장시험

4.5 실내 토질시험

4.6 실내 암석시험

4.7 재료원 조사

제 4 장 현장조사 및 결과

4.1 굴절법 탄성파 탐사

4.1.1 탐사목적

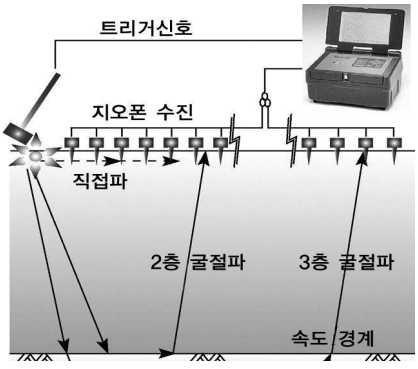
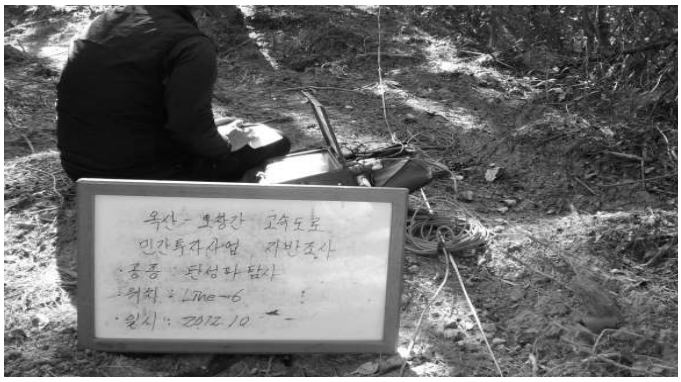
• 지질 구조 및 연약대 파악, 지층의 성상 파악, 굴착 난이도 등의 결정을 목적으로 실시

• 탄성파탐사는 각 지층에 대한 탄성파 속도 분포에 의해서 지하구조를 간접적으로 파악하여 깎기구간 설계시 합리적이며 경제적인 설계를 목적으로 실시

4.1.2 탐사방법

• 해머를 사용하여 인공적인 탄성파를 발생시켜 직접파 및 지층 경계면에서 굴절되어 지표에 최초로 도달한 굴절파(Head wave)의 도달시간을 측정, 분석함으로써 지층구조를 파악하고, 지하에 대한 정보를 얻음

구 분	내 용	탐사 장비
탄성파 탐사기	• MCSEIS-SX (일본 OYO사)	
탄성파 발생원	• Sledge hammer	
수진기	• Vertical geophone	
전개당 발파수	• 기본 5~7회	
자료처리 해석 S/W	• GMI Program	

탐사 모식도	탐사 전경
	

4.1.3 탐사현황 및 결과

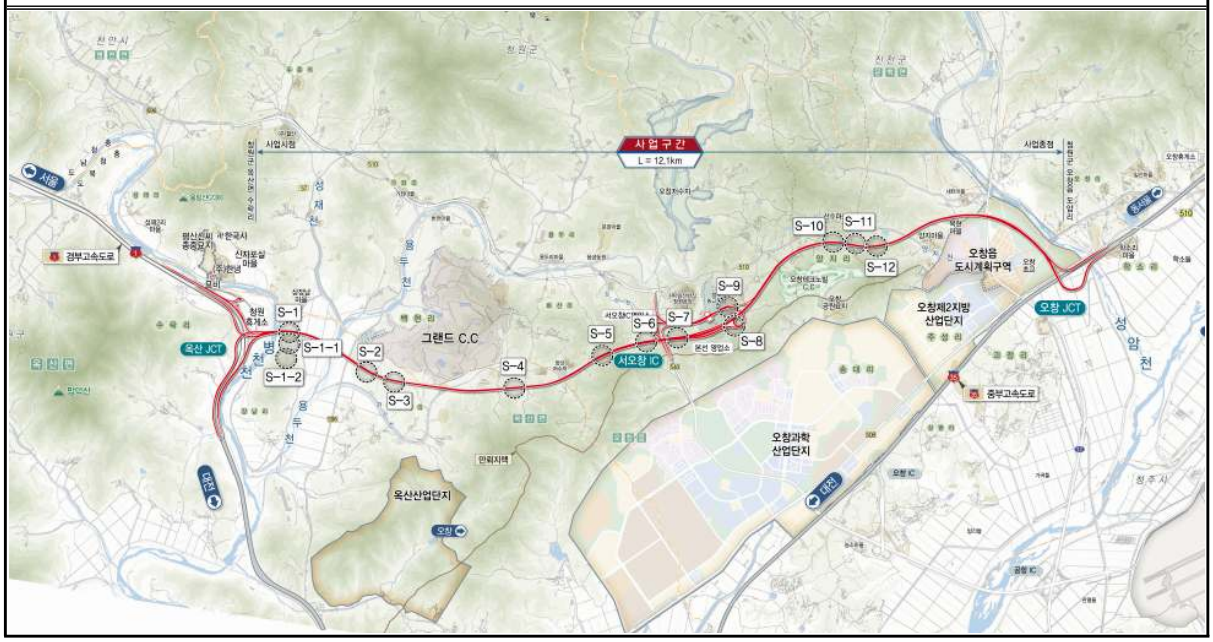
• 건설공사 비탈면 설계기준(국토해양부, 2011.12 및 2009.12) 탄성파 속도 및 시공성에 의한 분류를 적용하였으며, 시추조사 결과 대비 탄성파 탐사 속도층은 토사층 700m/s 이하, 리핑암 700~1,200m/s, 발파암 1,200m/s 이상의 기준으로 분석

• 지층의 탄성파속도(V_p) 분포로부터 저속도 분포층, 속도분포 변화지점 등을 파악하여 지하 단층파쇄대와 같은 이상 구조대 존재유무를 파악

가. 탐사현황

구분	측선	탐사위치(STA.)	측선방향	전극간격(m)	탐사연장(m)
깎기구간	S-1	0+228~0+490	종방향	10.0	262
	S-1-1	0+276~0+447	종방향	10.0	171
	S-1-2	0+258~0+520	종방향	10.0	262
	S-2	1+360~1+560	종방향	10.0	200
	S-3	1+760~1+970	종방향	10.0	210
	S-4	3+740~3+940	종방향	10.0	200
	S-5	4+700~4+900	종방향	10.0	200
	S-6	5+210~5+410	종방향	10.0	200
	S-7	5+560~5+760	종방향	10.0	200
	S-8	0+390~0+710	종방향	10.0	320
	S-9	0+990~1+230	종방향	10.0	240
	S-10	8+210~8+360	종방향	10.0	150
	S-11	8+360~8+580	종방향	10.0	220
	S-12	8+640~8+880	종방향	10.0	240

탐사현황

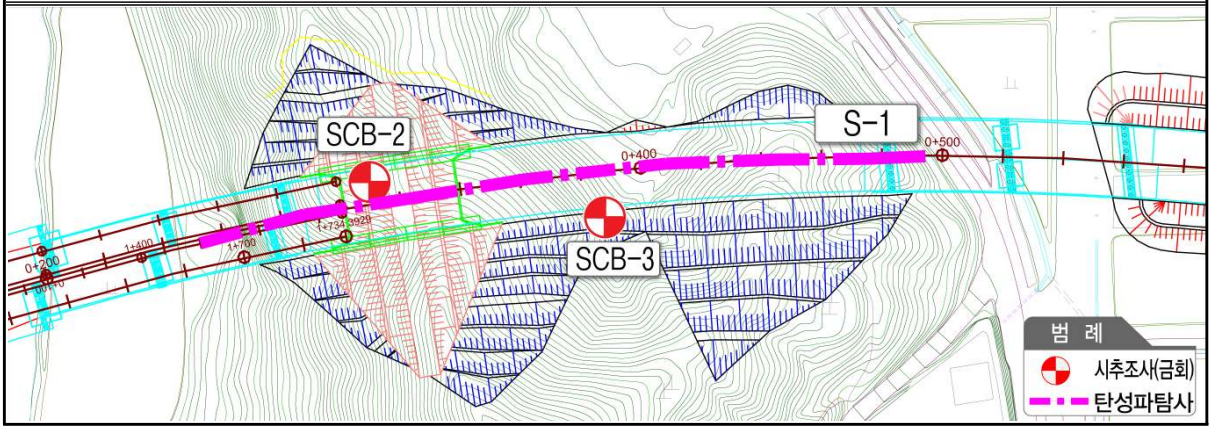


나. 깎기구간 탐사결과 분석

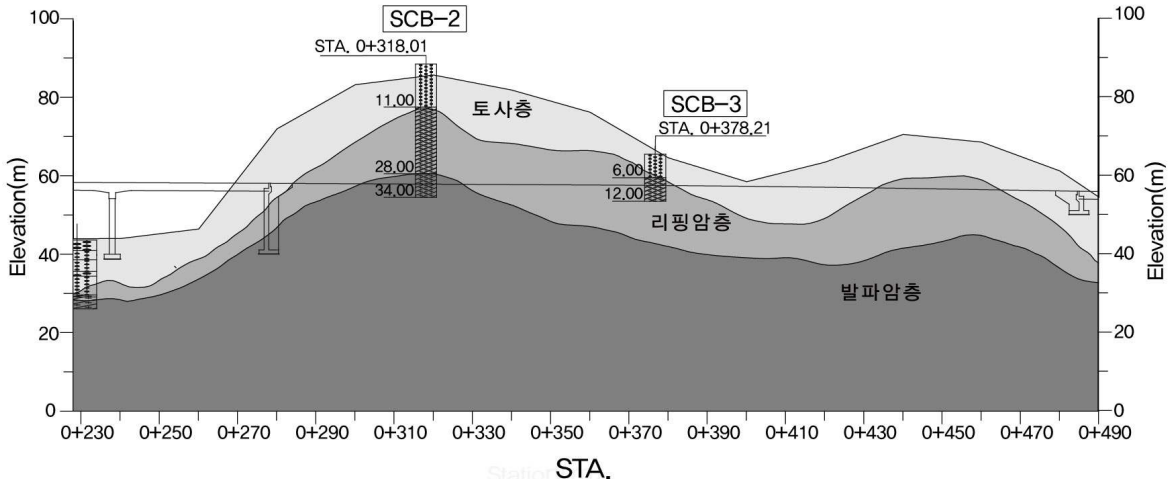
1) STA. 0+228~0+490(S-1측선, L=262m)

가) 탐사결과

탐사위치



탐사결과



나) 분석결과

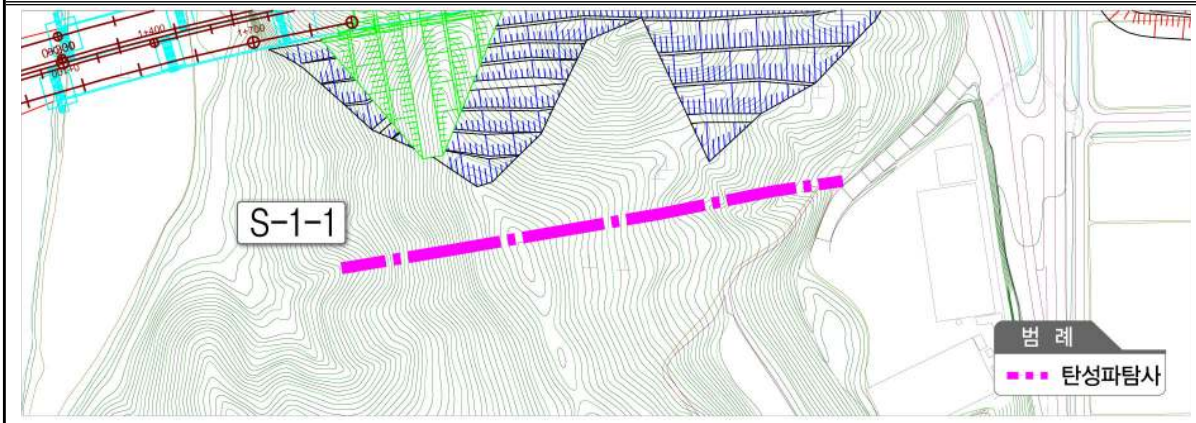
구 분	토사층 층후(m)			리핑암층 층후(m)			발파암층 출현심도(GL.-m)		
속 도	700m/s 이하			700~1,200m/s			1,200m/s 이상		
층 후	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균
	6.0	18.1	11.8	0.5	19.9	11.7	14.5	28.0	-

- 토사층은 평균 11.8m의 층후로 분포하고, 조사구간 내에 비교적 일정한 양상을 보이고 있으며, 리핑암층은 0.5~19.9m의 층후로 분포할 것으로 판단됨
- 발파암층은 GL.(-)14.5~28.0m에서 출현할 것으로 판단됨

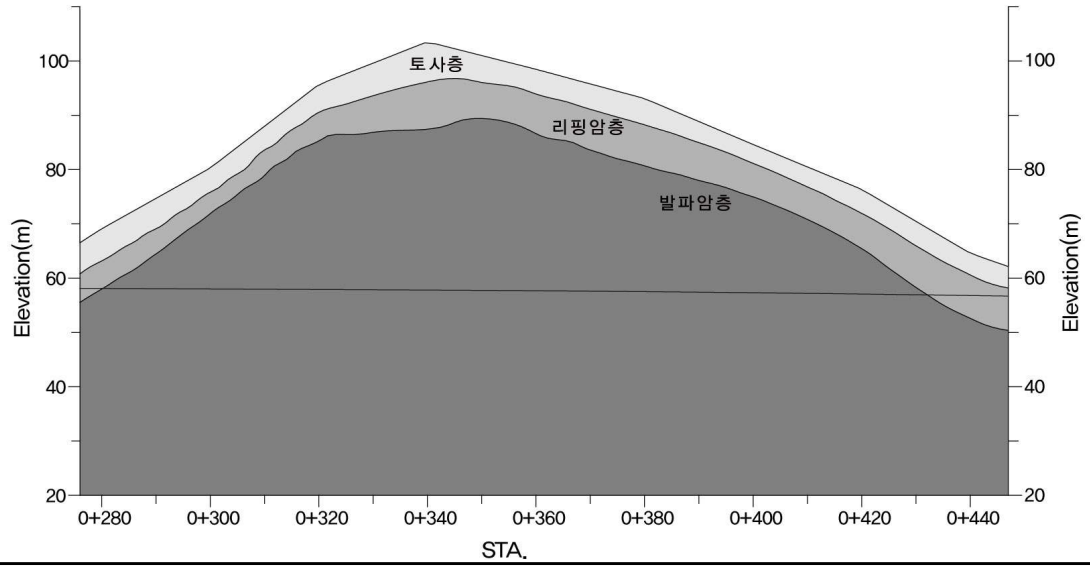
2) STA. 0+276~0+447(S-1-1측선, L=171m)

가) 탐사결과

탐사위치



탐사결과



나) 분석결과

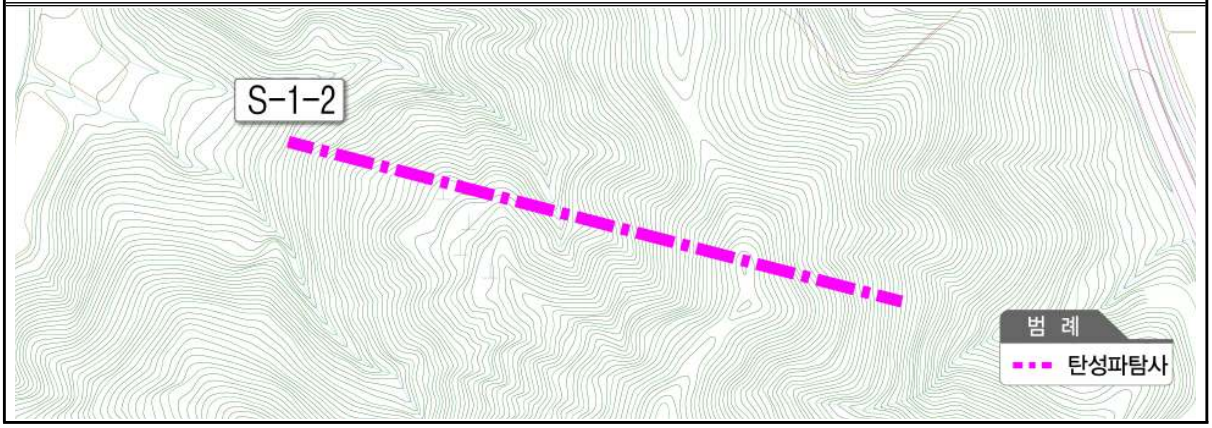
구 분	토사층 층후(m)			리핑암층 층후(m)			발파암층 출현심도(GL.-m)		
속 도	700m/s 이하			700~1,200m/s			1,200m/s 이상		
층 후	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균
	3.3	7.6	4.8	3.2	9.0	6.4	9.7	16.2	-

- 리핑암층은 STA. 0+276~0+320 구간에서는 평균 4.3m 정도의 층후로 얇게 분포하고, STA. 0+320 이후 구간에서는 평균 7.3m 정도로 일정한 층후를 보이며 분포함
- 측선 시점부와 종점부를 제외한 STA. 0+280~0+432 구간에서 1,200m/s 이상의 발파암층이 존재할 것으로 판단됨

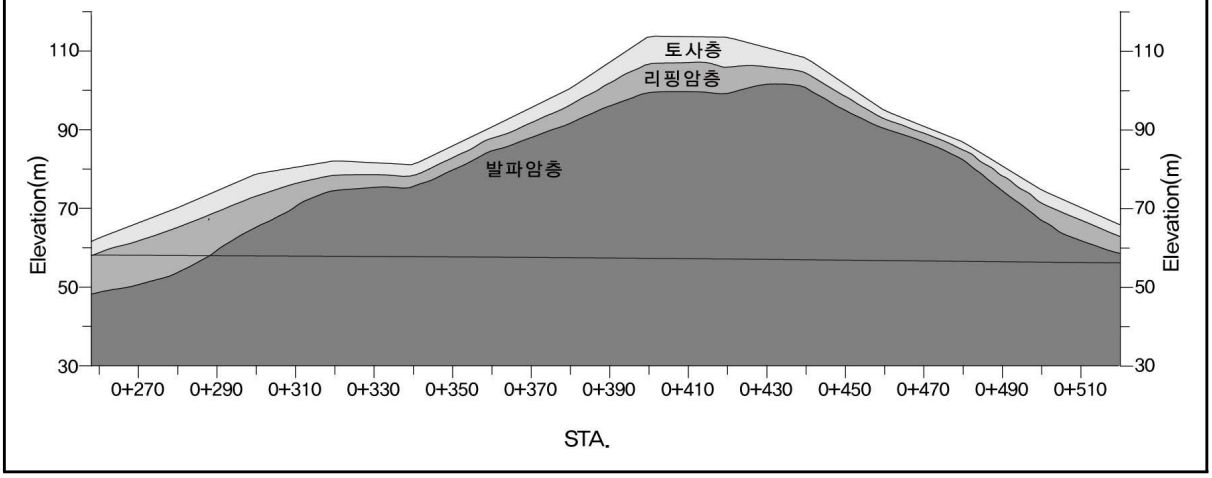
3) STA. 0+258~0+520(S-1-2측선, L=262m)

가) 탐사결과

탐사위치



탐사결과



나) 분석결과

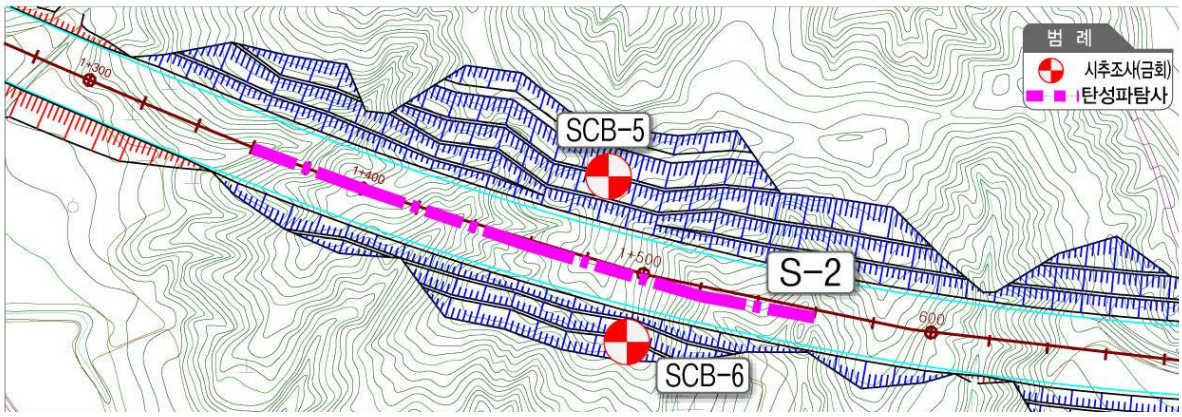
구 분	토사층 층후(m)			리핑암층 층후(m)			발파암층 출현심도(GL.-m)		
속 도	700m/s 이하			700~1,200m/s			1,200m/s 이상		
층 후	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균
	1.9	7.8	3.9	1.7	12.3	5.4	5.3	14.3	-

- 토사층은 평균 3.9m의 층후로 노선에 나란하게 분포하다가 STA. 0+390~0+430 구간에서 6.4m 정도로 두꺼워지는 경향을 보이고 있으며, 리핑암층의 평균 층후는 STA. 0+258~0+313 구간에서 9.8m 정도로 타 구간에 비해 두껍게 나타남
- STA. 0+288 이후 구간에서 1,200m/s 이상의 발파암층이 존재할 것으로 판단됨

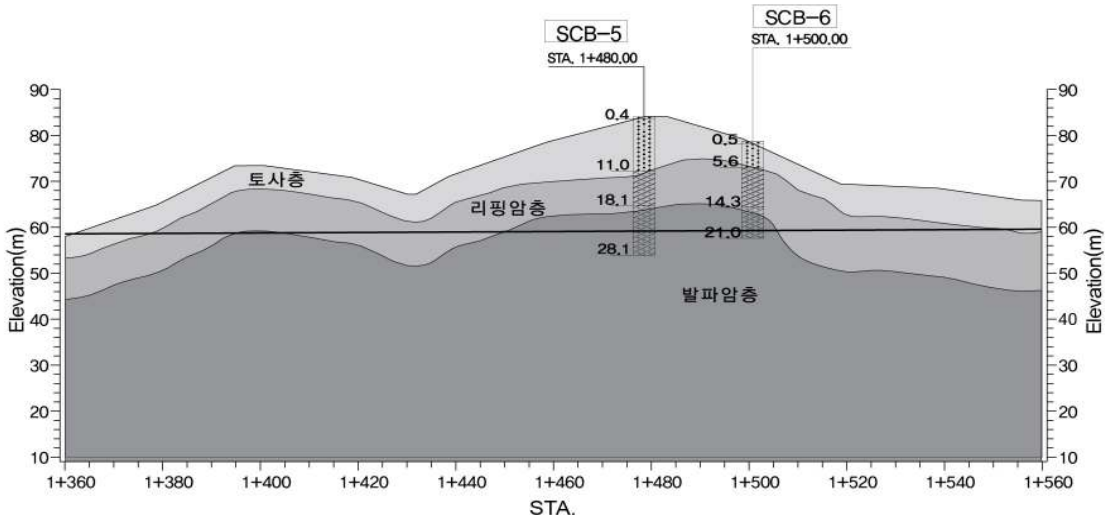
4) STA. 1+360~1+560(S-2측선, L=200m)

가) 탐사결과

탐사위치



탐사결과



나) 분석결과

구 분	토사층 층후(m)			리핑암층 층후(m)			발파암층 출현심도(GL.-m)		
속 도	700m/s 이하			700~1,200m/s			1,200m/s 이상		
층 후	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균
	4.6	12.7	7.1	6.5	11.7	8.9	12.6	20.0	-

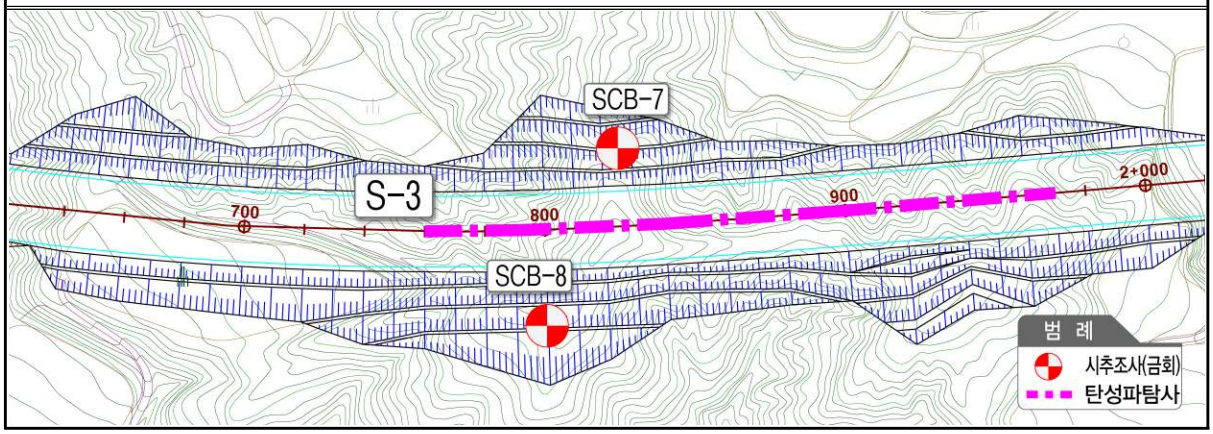
- 토사층은 평균 7.1m의 층후로 분포하고, 조사구간 내에서 비교적 일정한 양상을 보이고 있으며, 리핑암층은 6.5~11.7m의 층후로 분포할 것으로 판단됨
- 발파암층은 GL.(-)12.6~20.0m에서 출현할 것으로 판단됨
- 조사측선의 시점부에 비해 종점부가 상대적으로 토사층 및 리핑암층의 층후가

두껍게 나타나고 있으며, 발파암층의 출현 심도도 깊을 것으로 판단됨

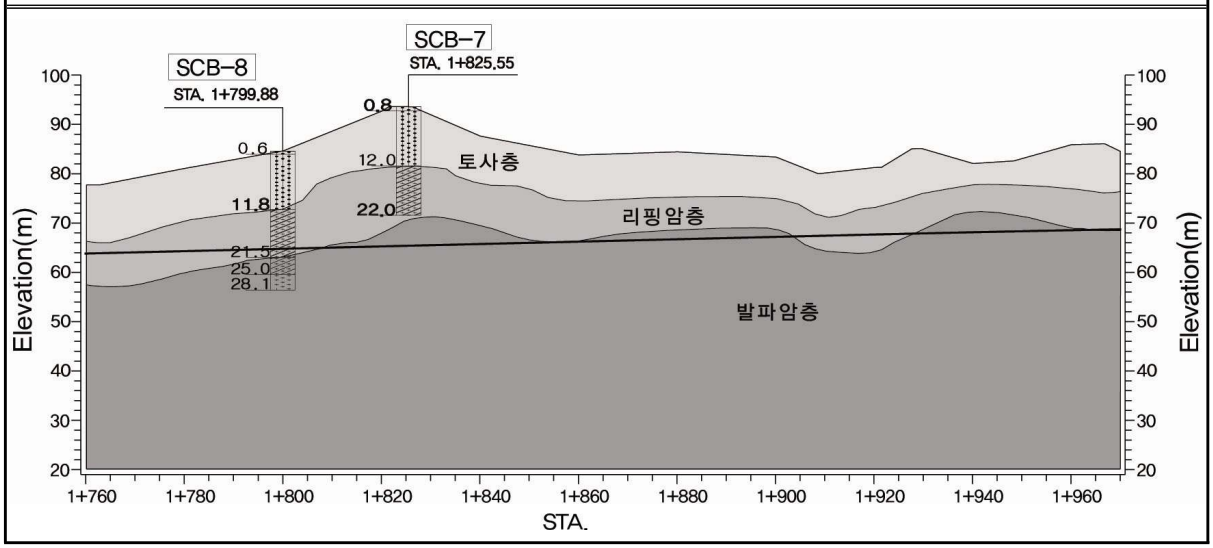
5) STA. 1+760~1+970(S-3측선, L=210m)

가) 탐사결과

탐사위치



탐사결과



나) 분석결과

구 분	토사층 층후(m)			리핑암층 층후(m)			발파암층 출현심도(GL.-m)		
속 도	700m/s 이하			700~1,200m/s			1,200m/s 이상		
층 후	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균
	5.4	12.8	10.4	5.5	13.2	8.6	10.9	25.7	-

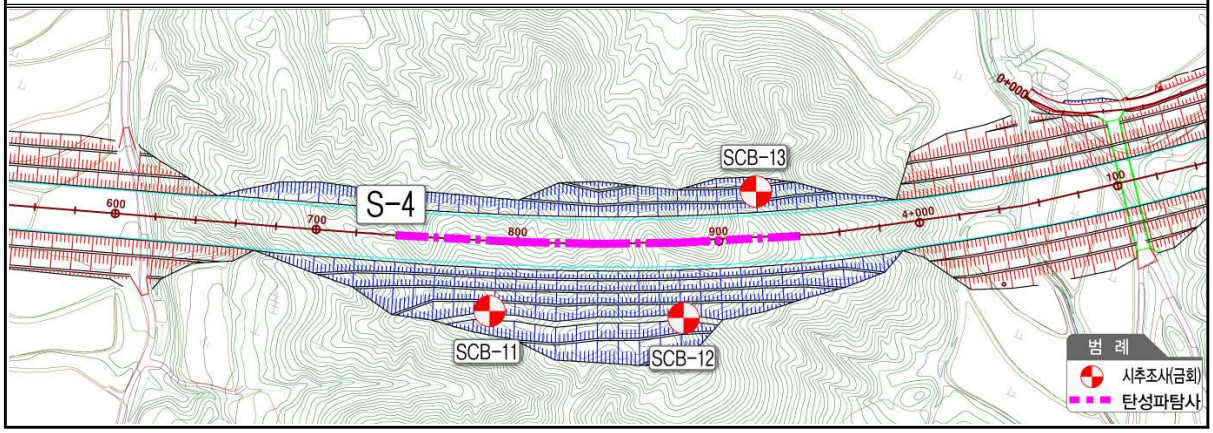
- 토사층은 평균 10.4m의 층후로 분포하고, 조사구간 내에서 비교적 일정한 양상을 보이고 있으며, 리핑암층은 5.5~13.2m의 층후로 분포할 것으로 판단됨
- 발파암층은 GL.(-)10.9~25.7m에서 출현할 것으로 판단됨
- 시점부에서는 토사층 및 리핑암층의 층후가 상대적으로 두껍게 나타나는 양상을 보이고 있으며,

STA. 1+860 이후 구간에서는 리핑암층의 층후가 상대적으로 얇게 분포하는 양상을 보임

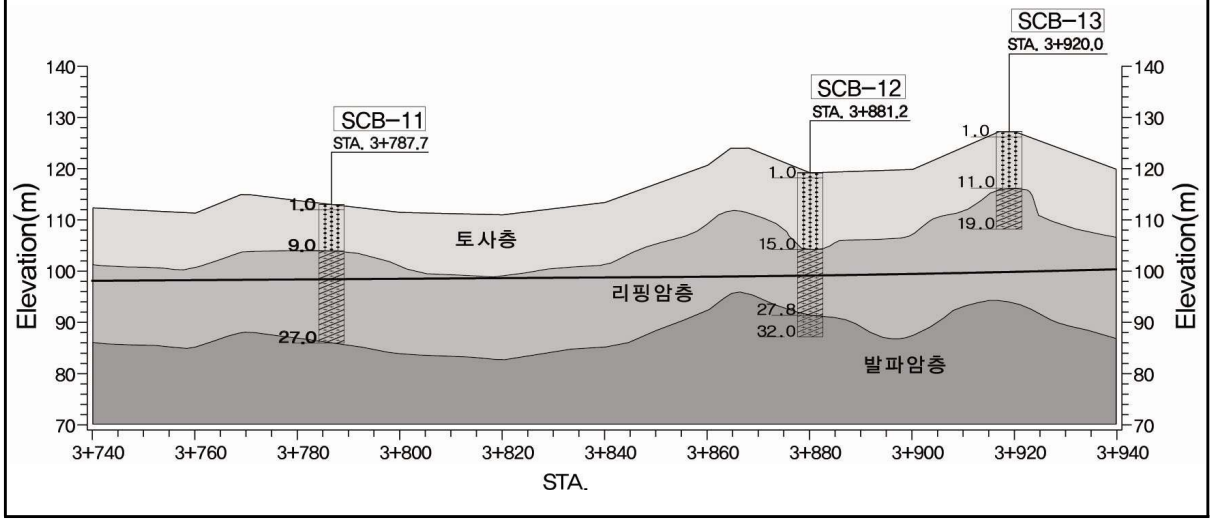
6) STA. 3+740~3+940(S-4측선, L=200m)

가) 탐사결과

탐사위치



탐사결과



나) 분석결과

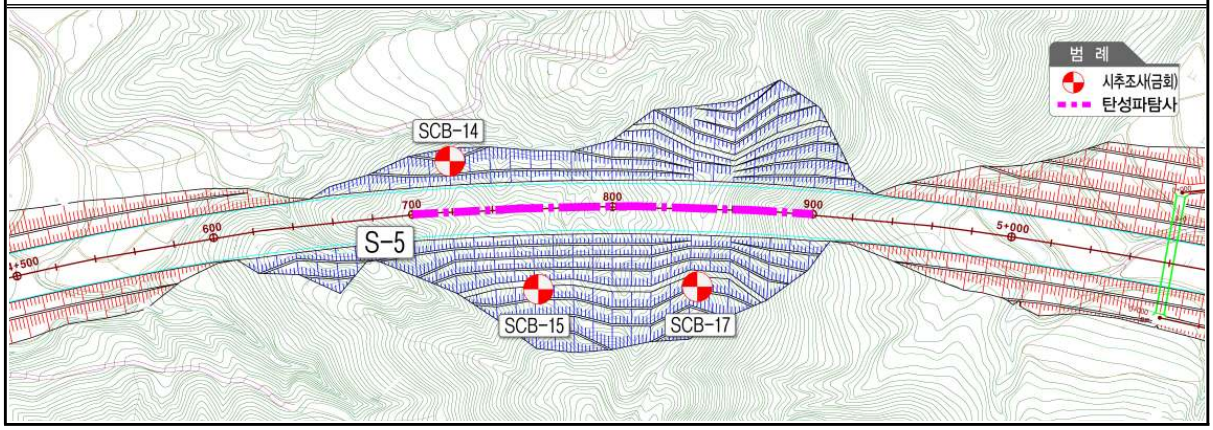
구 분	토사층 층후(m)			리핑암층 층후(m)			발파암층 출현심도(GL.-m)		
속 도	700m/s 이하			700~1,200m/s			1,200m/s 이상		
층 후	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균
	9.8	15.9	11.9	12.8	22.4	17.2	26.2	33.5	-

- 토사층은 평균 11.9m의 층후로 분포하고, 조사구간 내에서 비교적 일정한 양상을 보이고 있으며, 리핑암층은 12.8~22.4m의 층후로 분포할 것으로 판단되며, 비교적 일정한 층후로 분포하고 있음
- 발파암층은 GL.(-)26.2~33.5m에서 출현할 것으로 판단됨

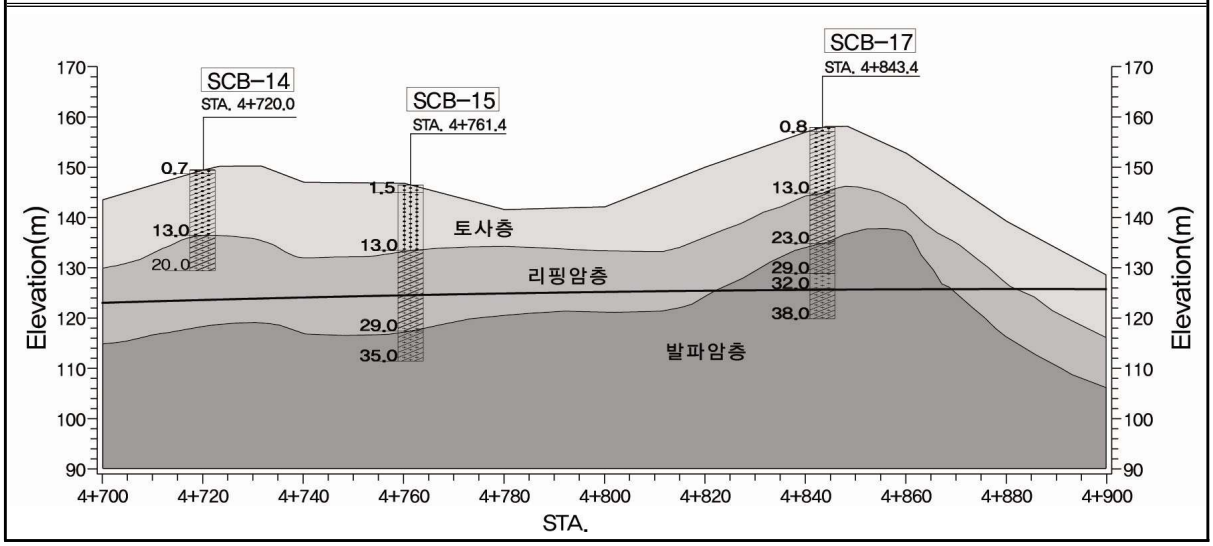
7) STA. 4+700~4+900(S-5측선, L=200m)

가) 탐사결과

탐사위치



탐사결과



나) 분석결과

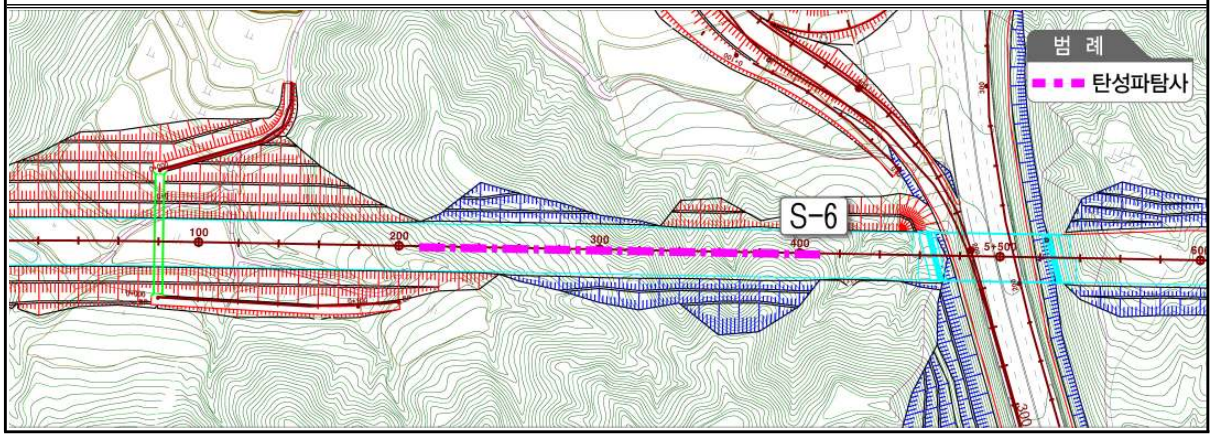
구 분	토사층 층후(m)			리핑암층 층후(m)			발파암층 출현심도(GL.-m)		
속 도	700m/s 이하			700~1,200m/s			1,200m/s 이상		
층 후	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균
	7.4	15.1	12.1	5.2	18.1	12.6	15.6	31.1	-

- 토사층은 평균 12.1m의 층후로 분포하고, 조사구간 내에서 비교적 일정한 양상을 보이고 있으며, 리핑암층은 5.2~18.1m의 층후로 분포할 것으로 판단됨
- 발파암층은 GL.(-)15.6~31.1m에서 출현할 것으로 판단되고, 조사측선의 시점부에서는 리핑암층의 층후가 상대적으로 두껍게 나타내고 있으며, 특히 STA. 4+830~4+880 구간에서는 리핑암층 층후가 상대적으로 얇게 분포하는 양상을 보임

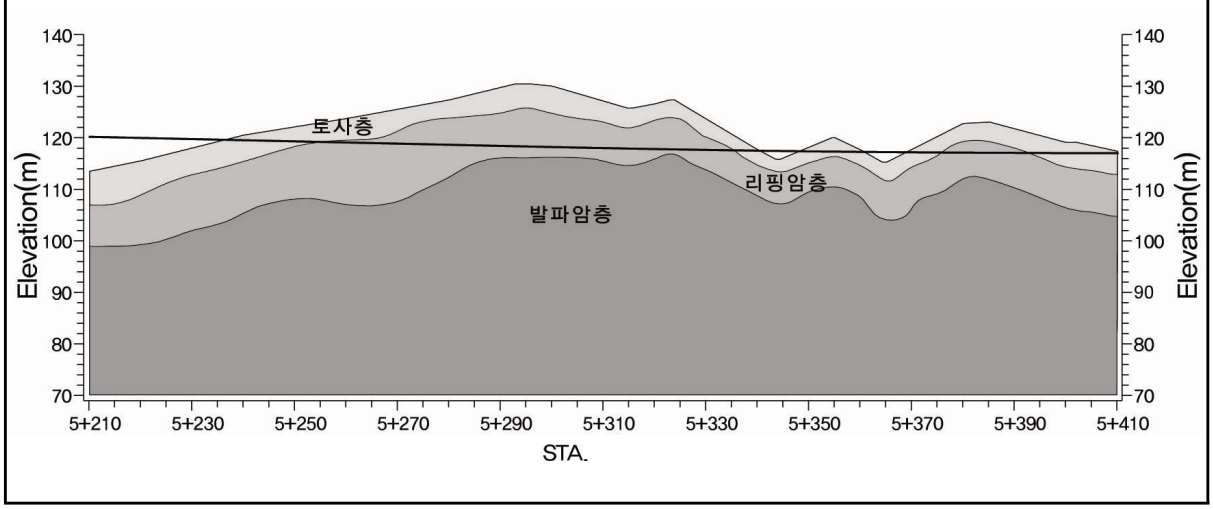
8) STA. 5+210~5+410(S-6측선, L=200m)

가) 탐사결과

탐사위치



탐사결과



나)분석결과

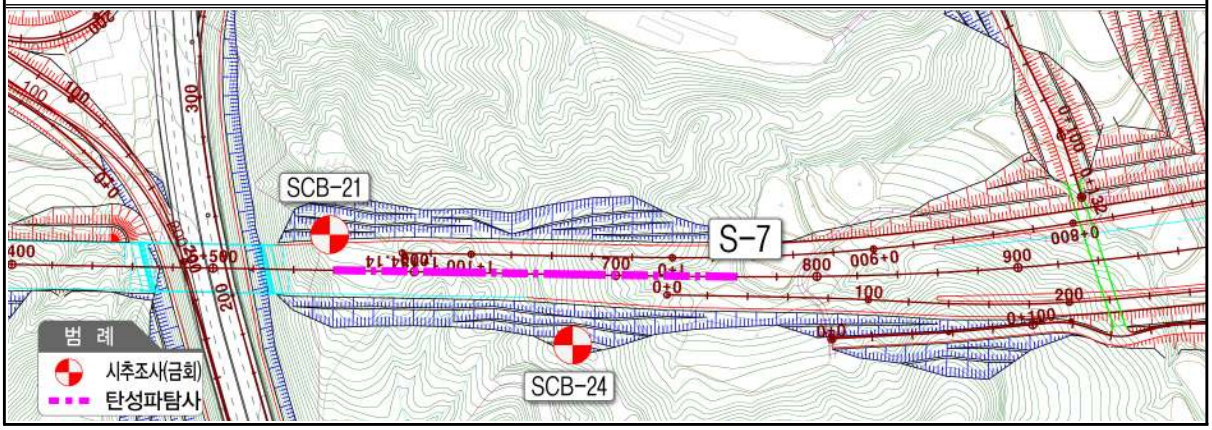
구 분	토사층 층후(m)			리핑암층 층후(m)			발파암층 출현심도(GL.-m)		
속 도	700m/s 이하			700~1,200m/s			1,200m/s 이상		
층 후	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균
	3.0	6.5	4.3	5.7	13.6	8.5	8.7	17.9	-

- 토사층은 평균 4.3m의 층후로 분포하고, 조사구간 내에서 시점부에서는 상대적으로 두꺼운 양상을 보이고 있으며, 리핑암층은 5.7~13.6m의 층후로 분포할 것으로 판단되고, 발파암층은 GL.(-)8.7~17.9m에서 출현할 것으로 판단됨
- 민원으로 인해 시추조사를 시행하지 못한 구간으로 시공전 확인시추조사를 통한 지층분포 확인이 필요함

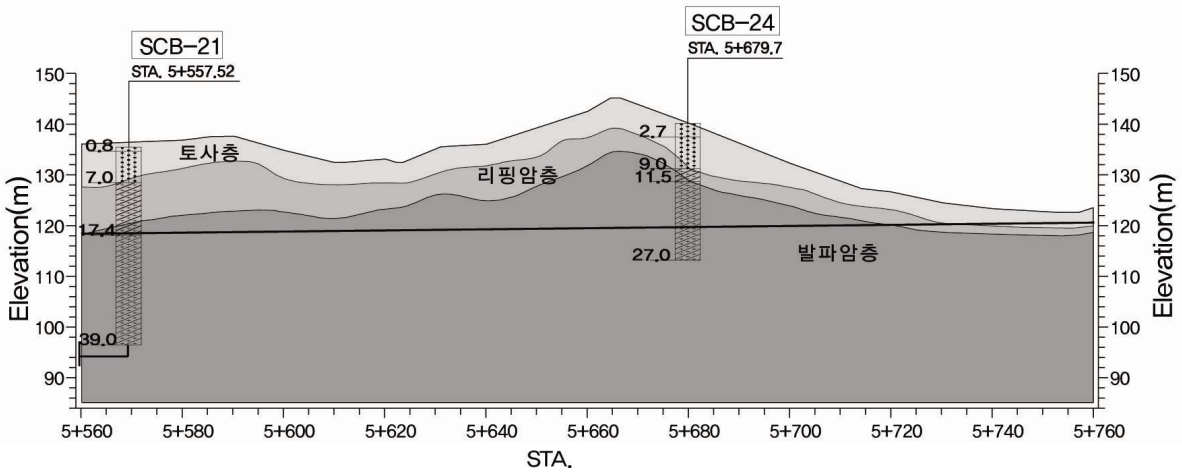
9) STA. 5+560~5+760(S-7측선, L=200m)

가) 탐사결과

탐사위치



탐사결과



나) 분석결과

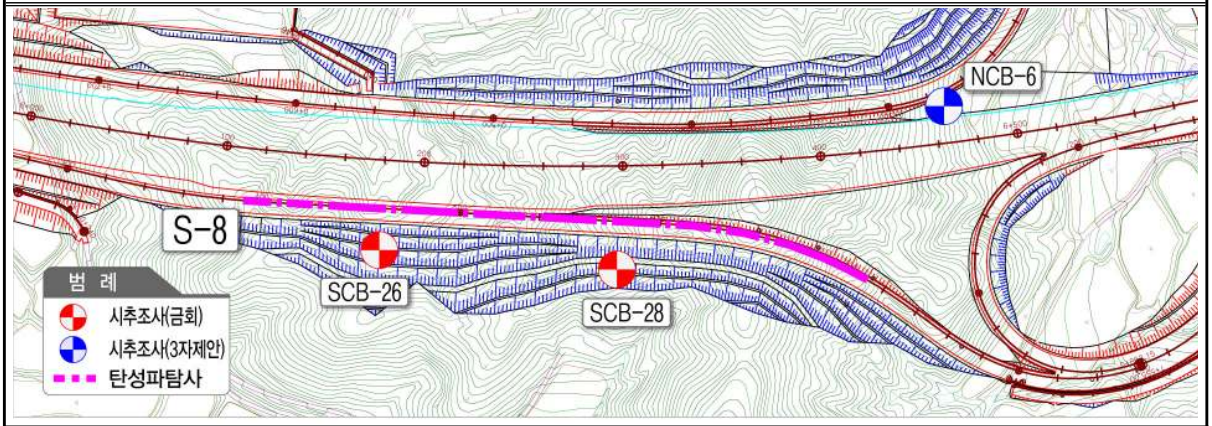
구 분	토사층 층후(m)			리핑암층 층후(m)			발파암층 출현심도(GL.-m)		
속 도	700m/s 이하			700~1,200m/s			1,200m/s 이상		
층 후	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균
	3.4	8.8	5.3	1.3	9.5	5.0	4.9	17.9	-

- 토사층은 평균 5.3m의 층후로 분포하고, 조사구간 내에서 비교적 일정한 양상을 보이고 있으며, 리핑암층은 1.3~9.5m의 층후로 분포할 것으로 판단됨
- 발파암층은 GL.(-)4.9~17.9m에서 출현할 것으로 판단되며, 조사측선의 시점부에서는 리핑암층의 층후가 상대적으로 두껍게 나타나고, STA. 5+660 이후 구간에서는 리핑암층 층후가 상대적으로 얇게 분포하는 양상을 나타냄

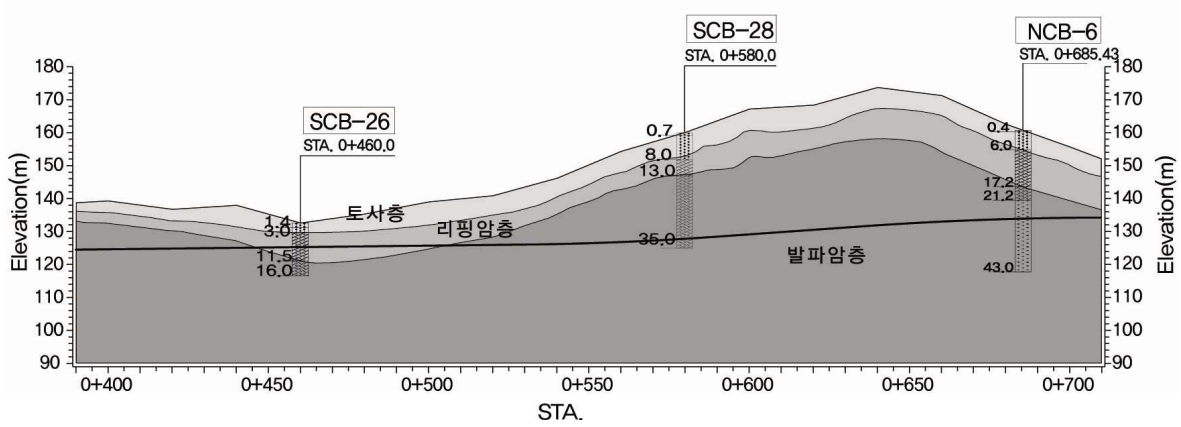
10) STA. 0+390~0+710(S-8측선, L=320m, 서오창IC RAMP-C)

가) 탐사결과

탐사위치



탐사결과



나) 분석결과

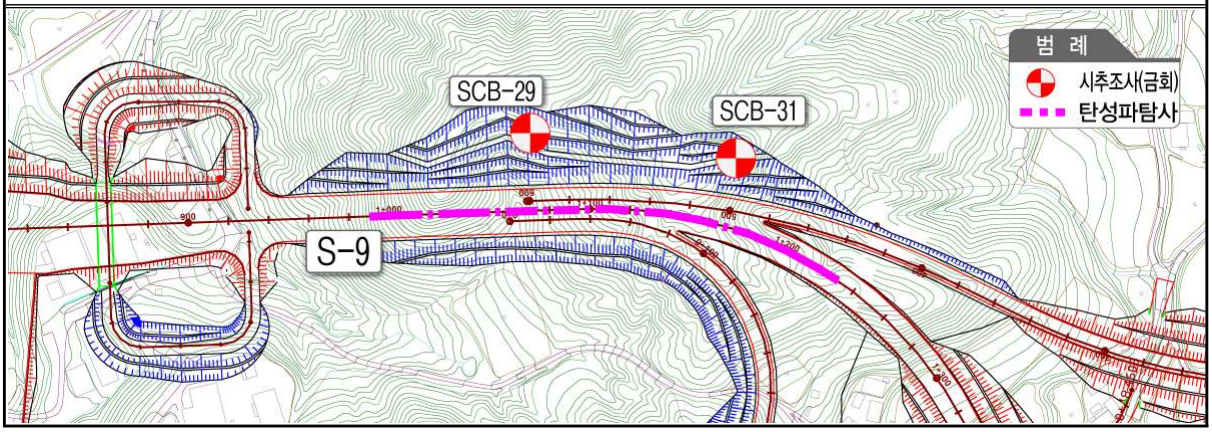
구 분	토사층 층후(m)			리핑암층 층후(m)			발파암층 출현심도(GL.-m)		
속 도	700m/s 이하			700~1,200m/s			1,200m/s 이상		
층 후	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균
	2.6	7.5	5.6	3.0	11.0	7.0	5.6	17.0	-

- 토사층은 평균 5.6m의 층후로 분포하고, 조사구간 내에서 비교적 일정한 양상을 보이고 있으며, 리핑암층은 3.0~11.0m의 층후로 분포할 것으로 판단됨
- 발파암층은 GL.(-)5.6~17.0m에서 출현할 것으로 판단됨
- 조사측선의 STA. 0+440~0+480, STA. 0+660~0+710 구간은 상대적으로 탄성파속도가 낮게 분포하고 있으며, 리핑암층이 두껍게 나타나는 양상을 나타내고 있음

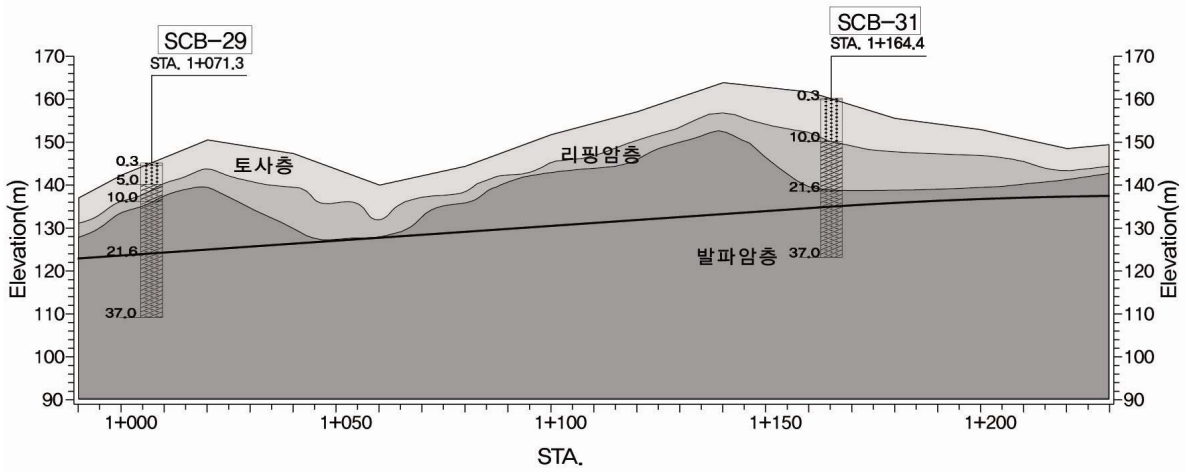
11) STA. 0+990~1+230(S-9측선, L=240m, 서오창IC RAMP-A)

가) 탐사결과

탐사위치



탐사결과



나)분석결과

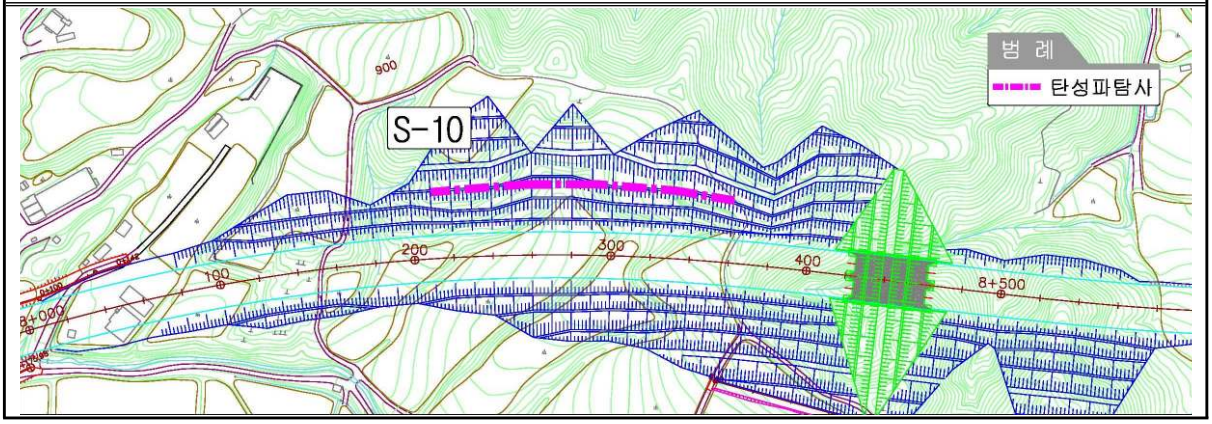
구 분	토사층 층후(m)			리핑암층 층후(m)			발파암층 출현심도(GL.-m)		
속 도	700m/s 이하			700~1,200m/s			1,200m/s 이상		
층 후	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균
	5.0	9.5	6.8	1.8	10.6	5.5	6.9	20.1	-

- 토사층은 평균 6.8m의 층후로 분포하고, 조사구간 내에서 비교적 일정한 양상을 보이고 있으며, 리핑암층은 1.8~10.6m의 층후로 분포할 것으로 판단됨
- 발파암층은 GL.(-)6.9~20.1m에서 출현할 것으로 판단됨
- 조사측선의 STA. 1+070~1+140 구간은 리핑암층의 층후가 상대적으로 얇게 분포하는 양상을 나타냄

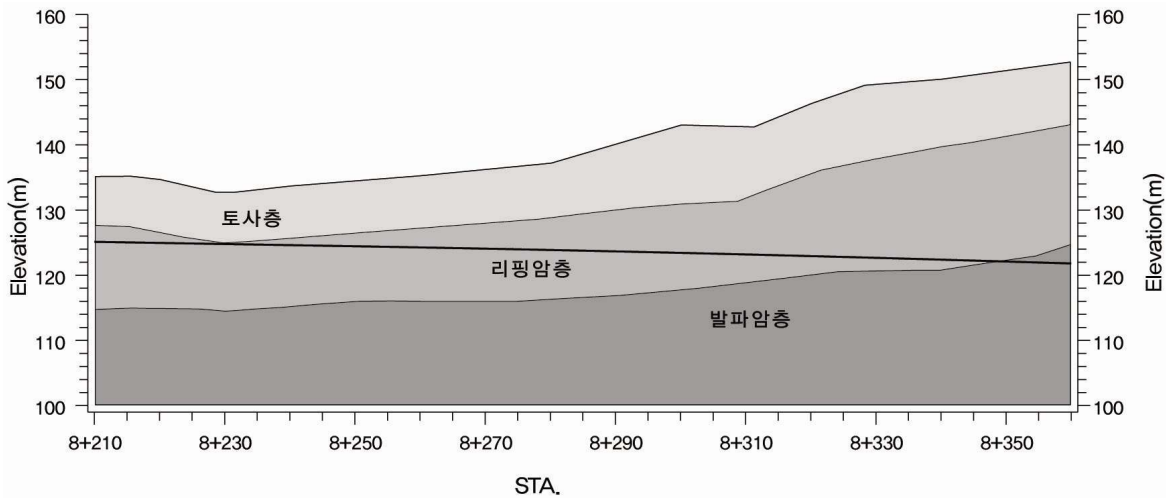
12) STA. 8+210~8+360(S-10측선, L=150m)

가) 탐사결과

탐사위치



탐사결과



나) 분석결과

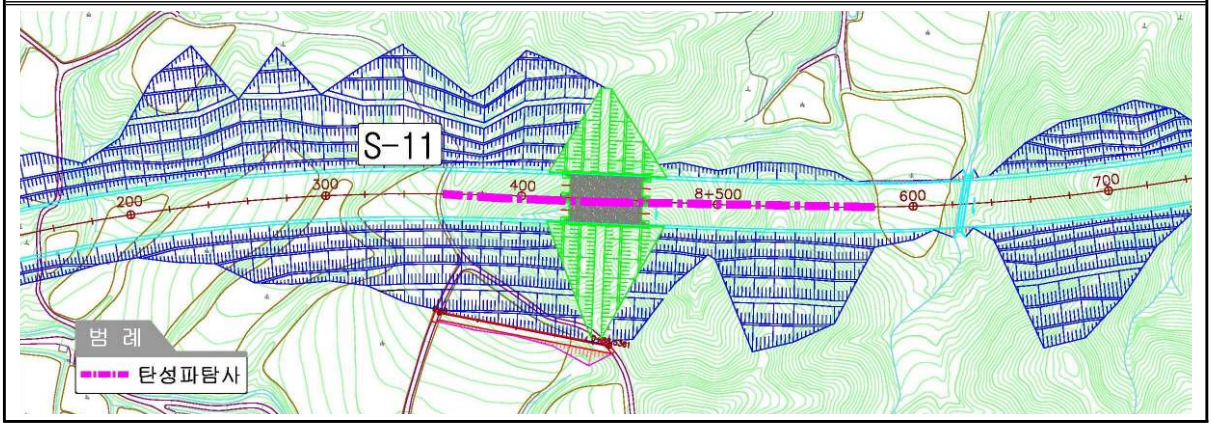
구 분	토사층 층후(m)			리핑암층 층후(m)			발파암층 출현심도(GL.-m)		
속 도	700m/s 이하			700~1,200m/s			1,200m/s 이상		
층 후	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균
	7.5	11.4	9.3	10.5	19.0	13.5	18.2	29.1	-

- 토사층은 평균 9.3m의 층후로 분포하고, 조사구간 내에서 비교적 일정한 양상을 보이고 있으며, 리핑암층은 10.5~19.0m의 층후로 분포할 것으로 판단됨
- 발파암층은 GL.(-)18.2~29.1m에서 출현할 것으로 판단됨
- 민원으로 인하여 시추조사를 시행하지 못한 구간으로 시공전 확인시추조사를 통한 지층분포 확인이 필요함

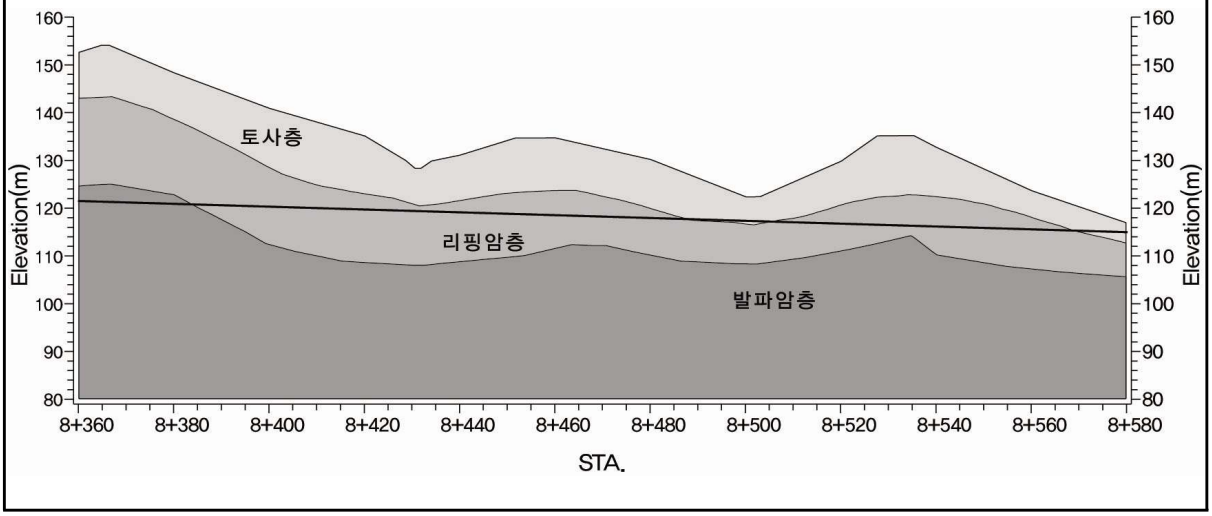
13) STA. 8+360~8+580(S-11측선, L=220m)

가) 탐사결과

탐사위치



탐사결과



나)분석결과

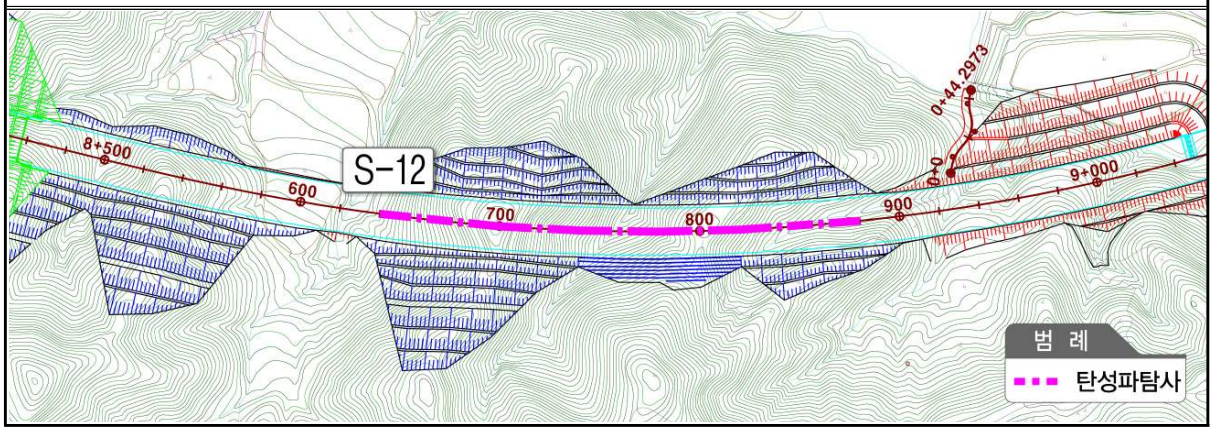
구 분	토사층 층후(m)			리핑암층 층후(m)			발파암층 출현심도(GL.-m)		
속 도	700m/s 이하			700~1,200m/s			1,200m/s 이상		
층 후	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균
	4.3	12.4	9.2	7.1	18.4	12.3	11.4	28.5	-

- 토사층은 평균 9.2m의 층후로 분포하고, 조사구간 내에서 비교적 일정한 양상을 보이고 있으며, 리핑암층은 7.1~18.4m의 층후로 분포할 것으로 판단됨
- 발파암층은 GL.(-)11.4~28.5m에서 출현할 것으로 판단됨
- 장비진입이 곤란하여 시추조사를 시행하지 못한 구간으로 시공전 확인시추조사를 통한 지층분포 확인이 필요함

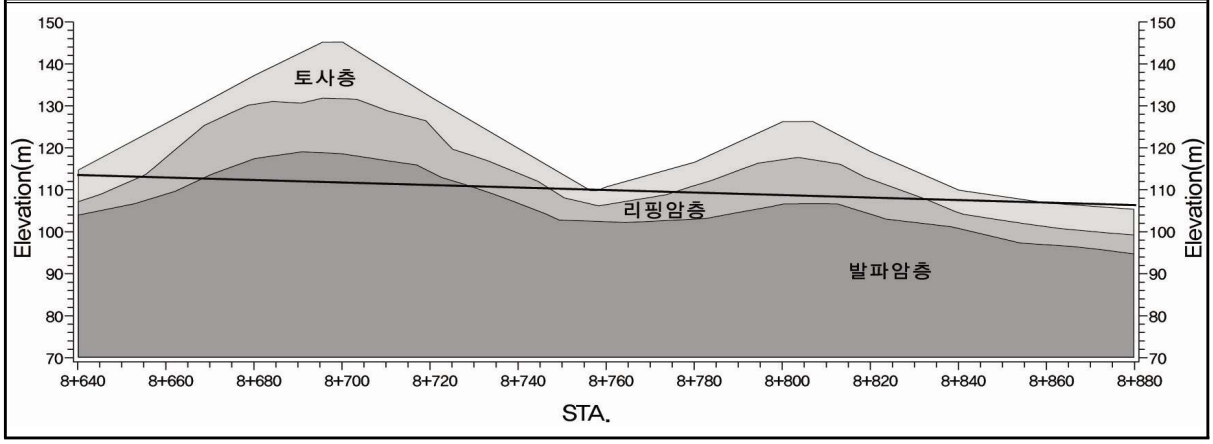
14) STA. 8+640~8+880(S-12측선, L=240m)

가) 탐사결과

탐사위치



탐사결과



나) 분석결과

구 분	토사층 층후(m)			리핑암층 층후(m)			발파암층 출현심도(GL.-m)		
속 도	700m/s 이하			700~1,200m/s			1,200m/s 이상		
층 후	최소	최대	평균	최소	최대	평균	최소	최대	평균
	3.2	12.5	6.4	3.2	13.1	7.7	7.3	25.6	-

- 토사층은 평균 6.4m의 층후로 분포하고, 조사구간 내에서 비교적 일정한 양상을 보이고 있으며, 리핑암층은 3.2~13.1m의 층후로 분포할 것으로 판단됨
- 발파암층은 GL.(-)7.3~25.6m에서 출현할 것으로 판단됨
- 장비진입이 곤란하여 시추조사를 시행하지 못한 구간으로 시공전 확인시추조사를 통한 지층분포 확인이 필요함

4.1.4 설계활용

- 깎기구간에 대한 연속적인 지층 분포상태 및 공학적 특성 등을 파악하여 설계의 기초자료로 활용

4.2 현장특수시험

4.2.1 시추공영상촬영(BIPS)

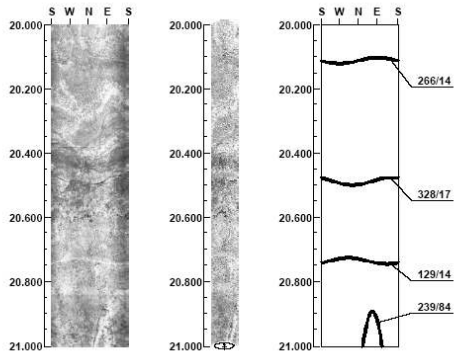
가. 탐사목적

- 암반내 불연속면 발달상태(주향, 경사, 간격 등) 및 충진물 유무파악
- 공벽영상을 Real Color로 재현, 암반종류 및 상태, 불연속면의 분포상태 등을 파악

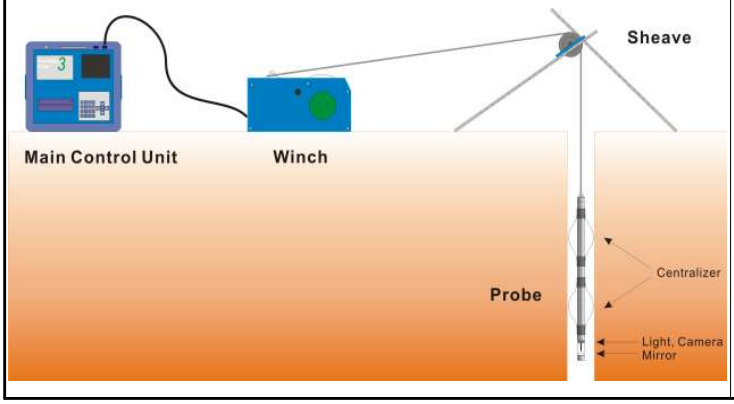
나. 탐사방법

- 광학적 촬영방법으로서 광원과 Camera가 부착된 Probe를 시추공 내에 삽입한 후 Cone Mirror를 이용하여 공벽을 360° 촬영하는데, 이때 Probe 내에 자기센서가 내장되어 있어 촬영 중 북쪽을 기준으로 촬영되며, 심도 기록장치에 의해 촬영심도가 기록됨
- 촬영된 기록은 Image Processing을 통해 처리되고, 처리 결과를 통해 시추공벽에 나타난 지층면이나 절리면의 주향, 경사 및 절리간격 등 불연속면에 대한 정보를 입체적으로 파악

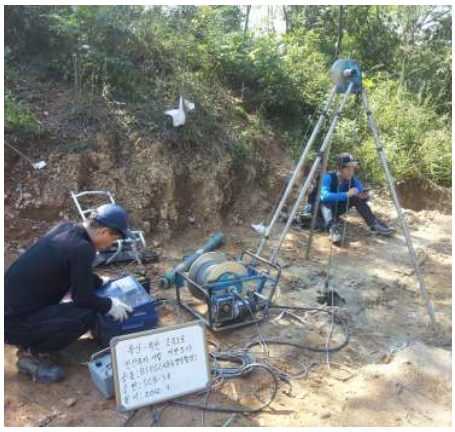
촬영 기록의 예



촬영 모식도



촬영 전경

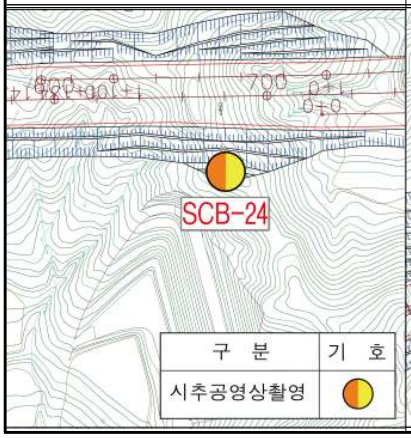
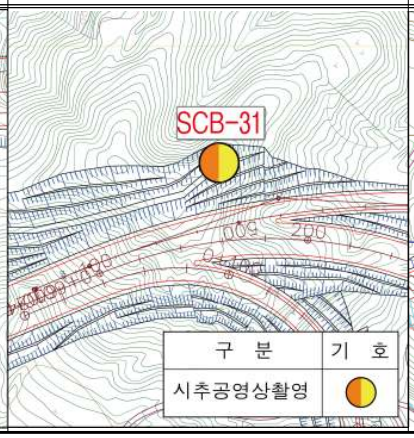
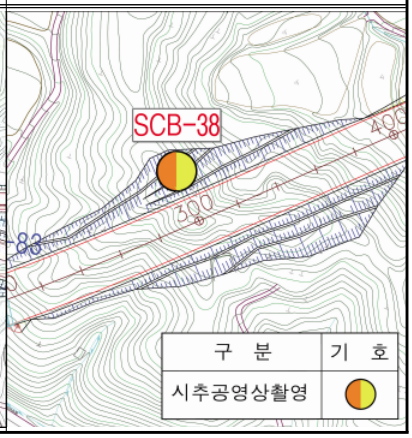


다. 탐사현황 및 결과

- 시추조사로부터 얻을 수 있는 불연속면(절리, 층리, 편리 등)의 분포상태 뿐만 아니라, 시추조사시 획득하기 어려운 균열내 충진물의 유무, 절리면의 opening 정도 및 방향성에 대한 정보 획득

1) 탐사현황

구분	공번	굴진심도(GL.-m)	촬영구간(GL.-m)	지하수위(GL.-m)
깎기구간	SCB-24	27.0	1.3 ~ 27.0	16.4
	SCB-31	37.0	1.3 ~ 36.4	20.2
	SCB-38	23.0	1.1 ~ 18.2	12.8

SCB-24	SCB-31	SCB-38
		

2) 탐사결과 요약

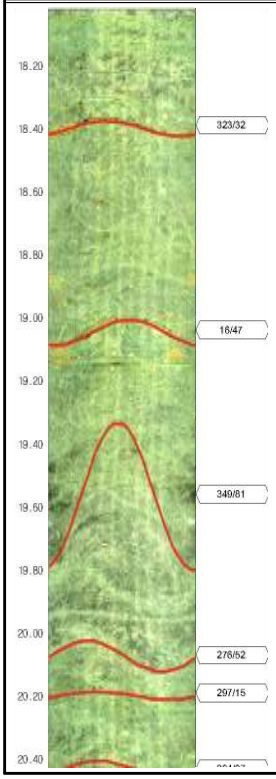
- 깎기구간 3개소를 조사하였으며, 기반암은 주로 편마암(Gneiss)으로 구성되어 있음
- 각 시추공별 특성을 요약하면 다음과 같음

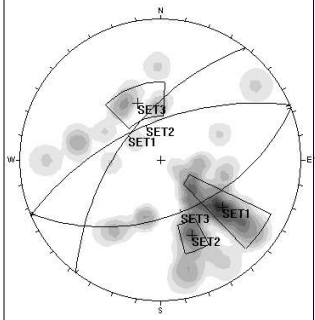
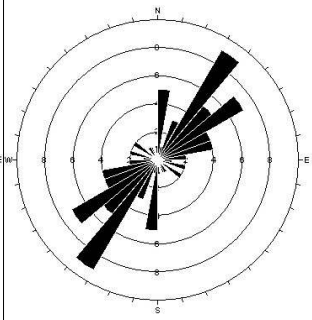
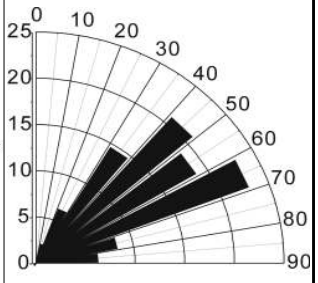
구 간	공 번	구 분	방향성	Fisher's K	절리간격(m) (평균±표준편차)
깎기 구간	SCB-24	SET 1	58/307	28.499	1.40±1.12
		SET 2	60/337	112.063	4.01±4.88
		SET 3	47/158	32.932	1.63±1.01
	SCB-31	SET 1	66/185	73.956	1.22±1.22
		SET 2	16/29	101.428	2.89±6.71
		SET 3	67/308	165.456	6.52±5.86
	SCB-38	SET 1	60/326	61.376	0.27±0.45
		SET 2	63/290	77.390	0.31±0.28

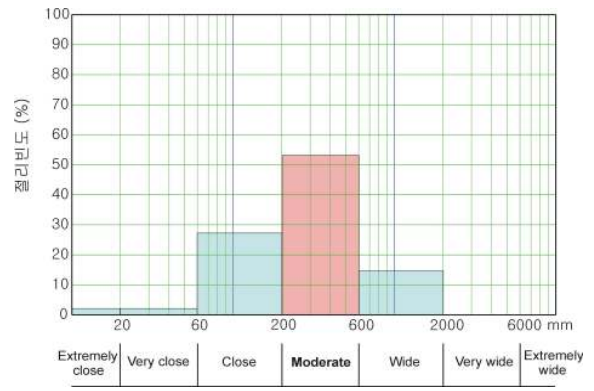
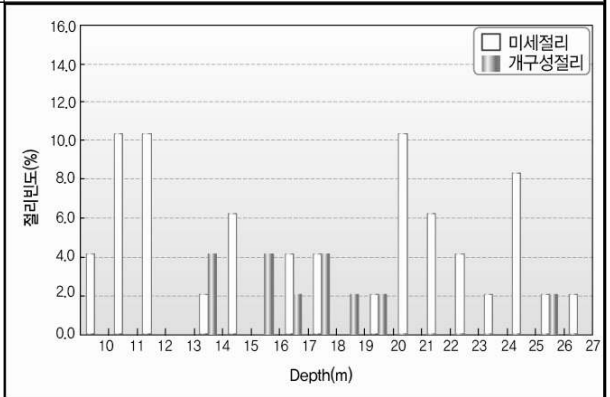
3) 탐사결과 분석

가) SCB-24

• 절리특성

절리면전개도	대표절리군	SET1	SET2	SET3
	방 향 성	58/307	60/337	47/158
	절리갯수	12	5	5
	절리간격 (평균±표준편차)	1.40±1.12	4.01±4.88	1.63±1.01
	Fisher'K	28.499	112.063	32.932

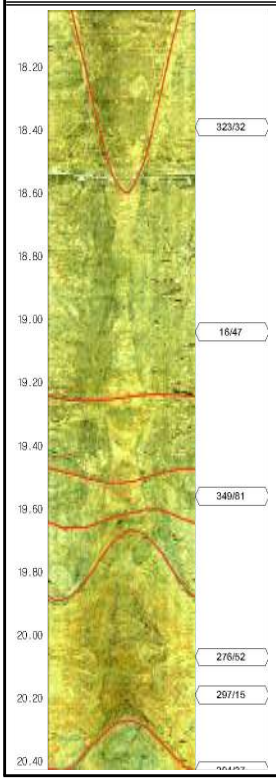
Stereonet	Rose diagram	절리면 경사분석
		
• 주 방향성 : 58/307	• 주향 : N37E	• 경사각 : 60° ~ 70°

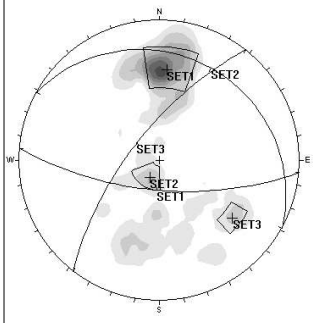
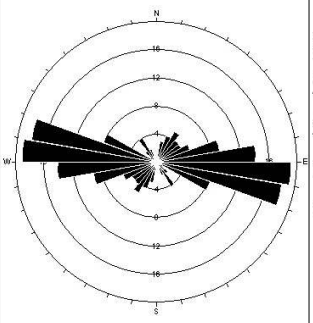
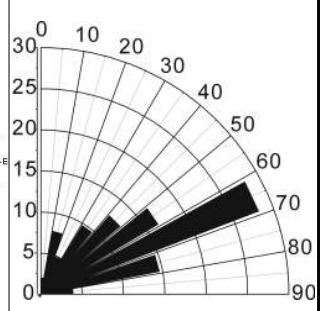
전체 절리간격 분석	전체 절리간극 분석
	
절리간격은 ISRM 표기상 Moderate에 해당됨	미세절리 79.2%, 개구성절리 20.8%

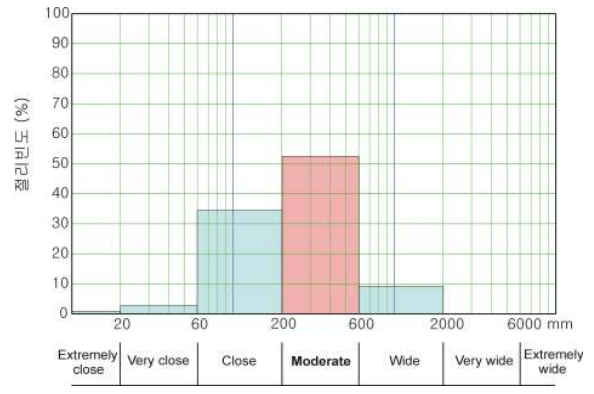
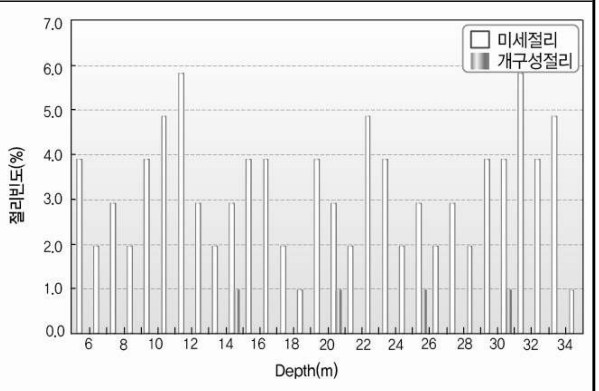
검토결과	
	• 절리군의 주 방향성은 58/307(N37E/58NW)의 경사각과 경사 방향(주향/경사)을 보임 • 절리군의 경사각은 주로 60° ~ 70°가 우세하게 발달함 • 절리간격 최고빈도는 0.2~0.6m 간격이 주 분포 양상을 보임(ISRM 표기 : Moderate) • 전체절리에서 미세절리가 79.2%를 차지하고, 개구성절리가 20.8%를 차지함

나) SCB-31

• 절리특성

절리면전개도	대표절리군	SET1	SET2	SET3
	방 향 성	66/185	16/29	67/308
	절리갯수	24	9	5
	절리간격 (평균±표준편차)	1.22±1.22	2.89±6.71	6.52±5.86
	Fisher'K	73.956	101.428	165.456

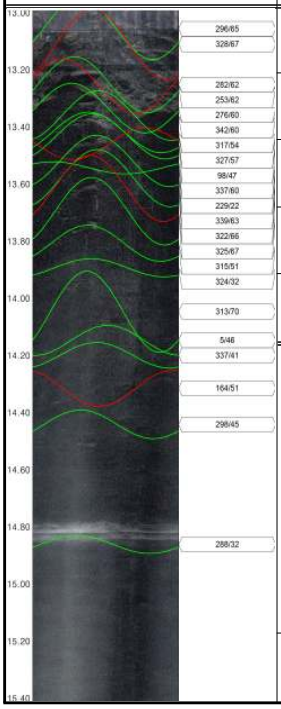
Stereonet	Rose diagram	절리면 경사분석
		
• 주 방향성 : 66/185	• 주향 : N85W	• 경사각 : 60° ~ 70°

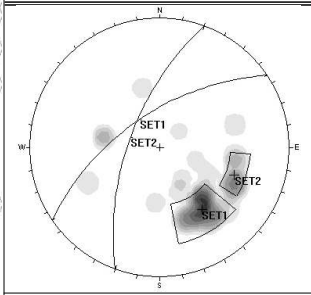
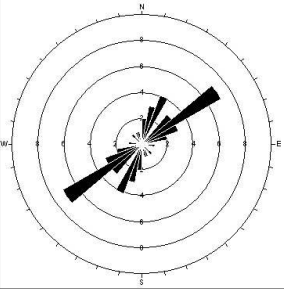
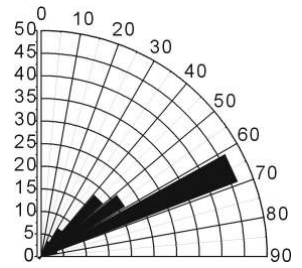
전체 절리간격 분석	전체 절리간극 분석
	
절리간격은 ISRM 표기상 Moderate에 해당됨	미세절리 96.1%, 개구성절리 3.9%

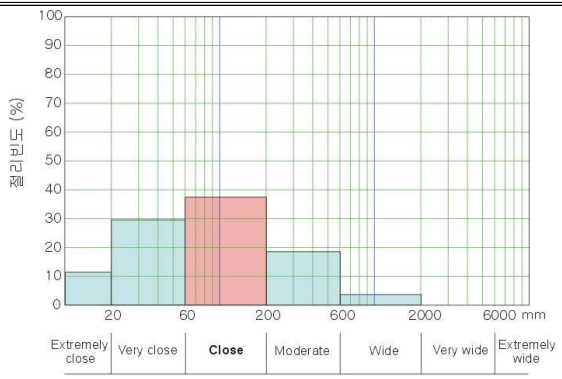
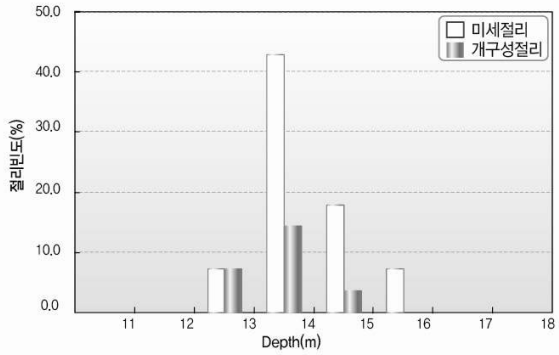
검토결과	• 절리군의 주 방향성은 66/185(N85W/66SW)의 경사각과 경사 방향(주향/경사)을 보임 • 절리군의 경사각은 주로 60° ~ 70°가 우세하게 발달함 • 절리간격은 0.2~0.6m 간격이 주 분포 양상을 보임(ISRM 표기 : Moderate) • 전체절리에서 미세절리가 96.1%를 차지하고, 개구성절리가 3.9%를 차지함

다) SCB-38

• 절리특성

절리면전개도	대표절리군	SET1	SET2
	방 향 성	60/326	63/290
	절리갯수	12	5
	절리간격 (평균±표준편차)	0.27±0.45	0.31±0.28
	Fisher'K	61.376	77.390

Stereonet	Rose diagram	절리면 경사분석
		
• 주 방향성 : 60/326	• 주향 : N56E	• 경사각 : 60° ~ 70°

전체 절리간격 분석	전체 절리간극 분석
	
절리간격은 ISRM 표기상 Moderate에 해당됨	미세절리 75.0%, 개구성절리 25.0%

검토결과	• 절리군의 주 방향성은 60/326(N56E/60NW)의 경사각과 경사 방향(주향/경사)을 보임 • 절리군의 경사각은 주로 60° ~ 70°가 우세하게 발달함 • 절리간격은 0.06~0.2m 간격이 주 분포 양상을 보임(ISRM 표기 : close) • 전체절리에서 미세절리가 75.0%를 차지하고, 개구성절리가 25.0%를 차지함

라. 설계활용

• 불연속면이 발달한 암반깎기 비탈면의 단층, 파쇄대 및 연약암반대, 암반 위에 시공되는 교대의 안정성 등을 판단하기 위한 수치해석의 입력치로 활용

4.2.2 하향식탄성파탐사(Down Hole Test)

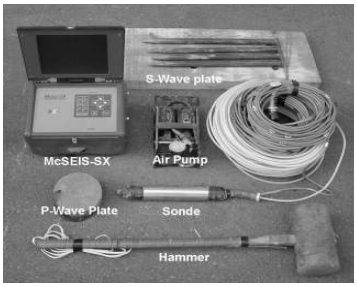
가. 탐사목적

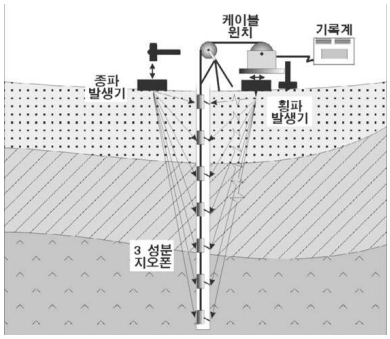
- 정밀도 높은 지반의 심도별 P파 및 S파 속도 산출
- 내진설계를 위한 지반의 동적물성치(포아송비 υ_d, 동전단탄성계수 G_d, 동탄성계수 E_d, 동체적계수 K_d)산정

나. 탐사방법

- 지표에서 탄성파를 발생시키고 시추공 내에 삽입된 수신기(3성분 지오폰)를 통하여 심도별로 탄성파 도달시간을 기록 및 분석하여 원지반의 지층별 탄성파속도(종파 및 횡파)를 측정
- 탄성파 발생 : 지표에 고정된 플레이트를 해머를 이용하여 수직 혹은 수평 양방향으로 타격
- 탄성파의 수신 : 3성분(수직성분 1, 수평성분 2) clamping geophone을 이용하여 수신
- 자료처리 과정

전처리	⇒	초동주시 발췌	⇒	주시곡선 작성	⇒	구간속도 산출
• 자료변환, 트레이스 정리 및 신호향상을 위한 필터링		• 자동발췌 • 수동발췌		• 초동주시 보정 및 심도별 plotting • 주시보정		• 주시곡선에서의 기울기 선택 • 지층별 종·횡파속도 산출

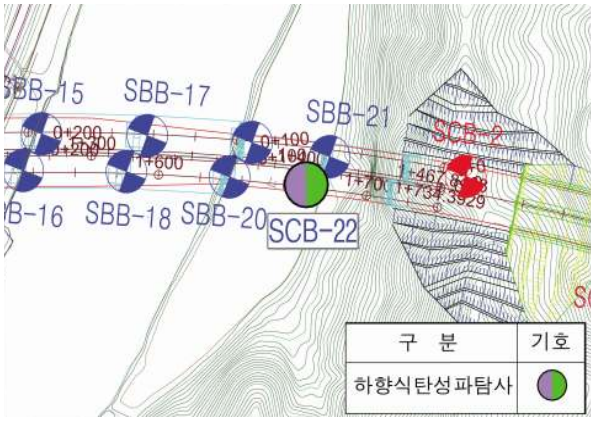
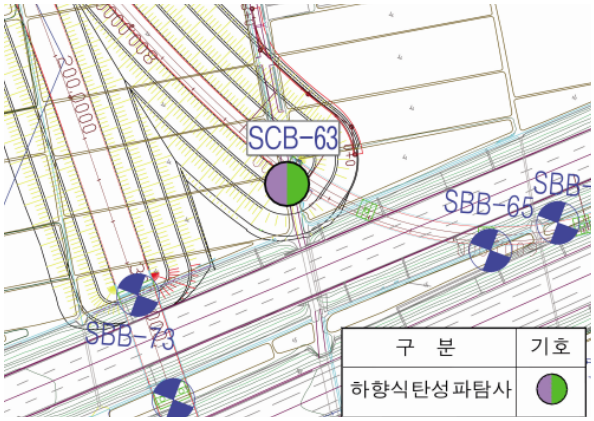
구 분	내 용	탐사 장비
지표 탄성파 발생장치	• 슬레지 햄머 • 탄성파 발생용 플레이트 • 트리거링(Triggering) 장치	
시추공 지오폰 시스템	• 시추공 지오폰(New Borehole Pick, 일본 OYO사) • 지오폰 Controller • 공기주입 펌프	
탄성파 측정기	• 24채널 Seismograph(McSeis, 일본 OYO사)	

탐사 모식도	탐사 전경
	

다. 탐사현황 및 결과

1) 탐사현황

구 분	공 번	굴진심도(GL.-m)	탐사구간(GL.-m)	지하수위(GL.-m)
교량구간	SBB-22	13.5	0.0~13.5	2.5
	SBB-63	14.0	0.0~14.0	2.4

SBB-22	SBB-63
	

2) 탐사결과 요약

- 교량구간에서 총 2개소를 조사하였으며, 기반암은 주로 편마암(Gneiss)으로 구성되어 있음
- 시추공별 하향식탄성파탐사 결과는 다음과 같음

공 번	지층 구분	심도 (GL.-m)	탄성파속도		동적물성치			
			V_p (m/s)	V_s (m/s)	G_d (MPa)	E_d (MPa)	K_d (MPa)	υ_d
SBB-22	충적층(모래)	0.0~4.3	423	197	7.25E+01	1.98E+02	2.38E+02	0.361
	충적층(자갈)	4.3~6.5	944	253	1.25E+02	3.65E+02	1.69E+03	0.453
	충적층(모래)	6.5~9.8	1,412	349	2.33E+02	6.83E+02	3.48E+03	0.467
	풍화암	9.8~10.5	1,491	374	2.90E+02	8.50E+02	4.21E+03	0.466
	연 암	10.5~13.5	2,716	1,170	3.16E+03	8.75E+03	1.27E+04	0.387
SBB-63	충적층(모래)	0.0~2.5	577	204	8.00E+01	2.25E+02	5.20E+02	0.427
	충적층(자갈)	2.5~5.6	881	282	1.53E+02	4.43E+02	1.30E+03	0.443
	풍화토	5.6~9.0	1,481	522	5.38E+02	1.53E+03	3.61E+03	0.428
	풍화암	9.0~11.0	2,452	871	1.55E+03	4.42E+03	1.03E+04	0.425
	연 암	11.0~14.0	3,874	1,786	7.19E+03	1.96E+04	2.42E+04	0.364

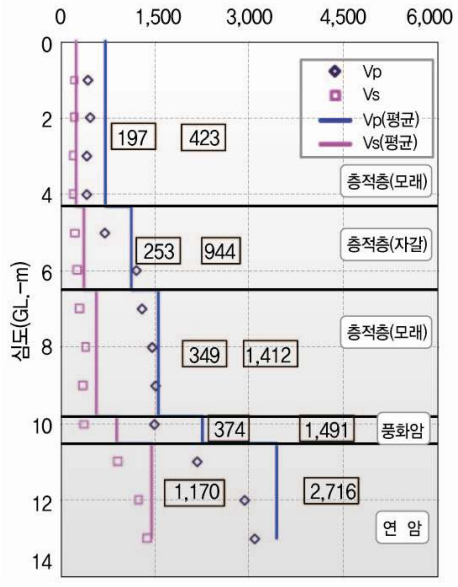
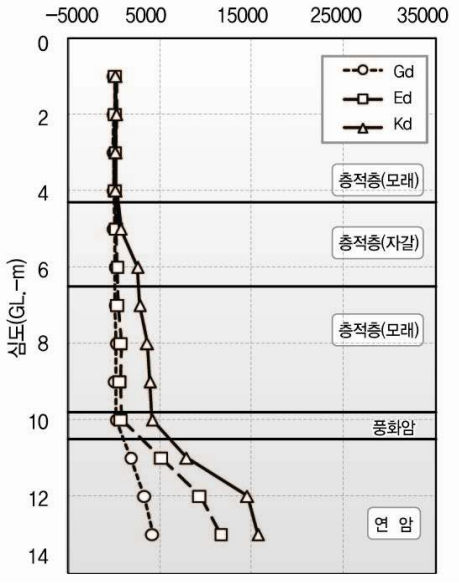
3) 탐사결과 분석

가) SBB-22

• 지층별 하향식탄성파탐사

심도 (m)	지층	탄성파속도		동적물성치			
		V_p(m/s)	V_s(m/s)	G_d(MPa)	E_d(MPa)	K_d(MPa)	υ_d
0.0~1.0	충적층 (모래)	429	208	8.00E+01	2.20E+02	2.40E+02	0.347
1.0~2.0		457	207	8.00E+01	2.20E+02	2.80E+02	0.371
2.0~3.0		403	186	6.00E+01	1.60E+02	2.00E+02	0.364
3.0~4.3		403	188	7.00E+01	1.90E+02	2.30E+02	0.360
4.3~5.0	충적층 (자갈)	687	238	1.10E+02	3.20E+02	7.80E+02	0.432
5.0~6.5		1,201	269	1.40E+02	4.10E+02	2.59E+03	0.474
6.5~7.0	충적층 (모래)	1,288	303	1.70E+02	5.00E+02	2.84E+03	0.471
7.0~8.0		1,446	383	2.80E+02	8.20E+02	3.63E+03	0.462
8.0~9.8		1,502	361	2.50E+02	7.30E+02	3.96E+03	0.469
9.8~10.5	풍화암	1,491	374	2.90E+02	8.50E+02	4.21E+03	0.466
10.5~11.0	연암	2,157	912	1.87E+03	5.20E+03	7.96E+03	0.391
11.0~12.0		2,910	1,224	3.37E+03	9.39E+03	1.46E+04	0.392
12.0~13.5		3,082	1,374	4.24E+03	1.17E+04	1.57E+04	0.376

• 하향식탄성파탐사 결과도

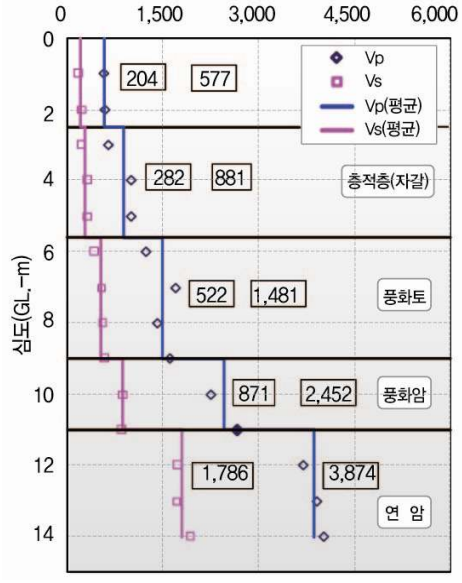
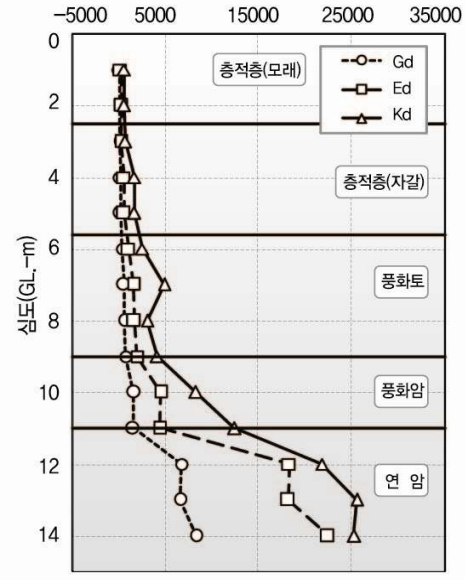
구간 속도(m/s)	심도별 동적지반물성치 분포(MPa)
	

나) SBB-63

• 지층별 하향식탄성파탐사

심도 (m)	지층	탄성파속도		동적물성치			
		V_p (m/s)	V_s(m/s)	G_d(MPa)	E_d(MPa)	K_d(MPa)	υ_d
0.0~1.0	충적층 (모래)	567	176	6.00E+01	1.70E+02	5.30E+02	0.447
1.0~2.5		586	231	1.00E+02	2.80E+02	5.10E+02	0.408
2.5~3.0	충적층 (자갈)	638	208	8.00E+01	2.30E+02	6.40E+02	0.440
3.0~4.0		1,004	320	1.90E+02	5.50E+02	1.63E+03	0.444
4.0~5.6		1,000	318	1.90E+02	5.50E+02	1.63E+03	0.444
5.6~6.0	풍화토	1,239	425	3.50E+02	1.00E+03	2.50E+03	0.433
6.0~7.0		1,688	526	5.40E+02	1.56E+03	4.84E+03	0.446
7.0~8.0		1,401	547	5.80E+02	1.64E+03	3.04E+03	0.410
8.0~9.0		1,598	591	6.80E+02	1.93E+03	4.06E+03	0.421
9.0~10.0	풍화암	2,250	882	1.59E+03	4.48E+03	8.22E+03	0.409
10.0~11.0		2,653	860	1.51E+03	4.35E+03	1.24E+04	0.441
11.0~12.0	연암	3,697	1,728	6.71E+03	1.83E+04	2.17E+04	0.360
12.0~13.0		3,907	1,709	6.56E+03	1.81E+04	2.55E+04	0.382
13.0~14.0		4,019	1,922	8.29E+03	2.24E+04	2.52E+04	0.352

• 하향식탄성파탐사 결과도

구간 속도(m/s)	심도별 동적지반물성치 분포(MPa)
	

라. 설계활용

• 교량 기초지반에 대한 지층별 탄성파속도를 측정하여 동적지반 물성치 산정에 활용

• 각 구조물별 내진설계시 입력자료로 활용

4.2.3 지표레이더탐사(GPR)

가. 탐사목적

• 계획노선이 기존도로를 통과하는 지역에 대해 지반내 지하매설물(송유관, 통신관로, 상·하수도관로)의 2차원 영상단면을 획득, 위치 및 심도정보를 제공하여 시공 시 지하매설물에 의한 민원제기 및 공사 지연요소를 사전에 파악

나. 탐사방법

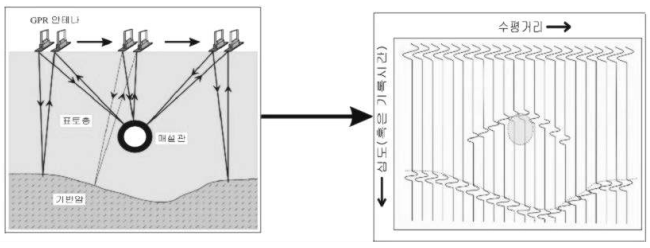
• 지하매질에서 반사된 전자기파 속도 측정 후 속도분포를 심도로 변환, 거리 및 심도를 단면도상의 음영도로 표현하여 지하구조를 영상화

• 전자기파를 지하로 방사시킨 후 지하매설물 등에서 반사 또는 회절되어 돌아오는 전자기파를 측정하여 지하구조를 영상화

• 반사된 파는 포물선 형태로 나타나며, 전자기파의 거동은 매질의 유전율과 전기전도도 등에 의해 좌우

현장자료측정	⇒	자료처리	⇒	해석결과 분석
조사지역 선정 → 가탐심도 결정 → 자료획득		테이터편집 → 신호포화보정 → 필터링 → 구조보정 → 이득보정		해석결과 분석 → 지장물의 위치 및 심도 도출

구 분	내 용	탐사 장비
주장비	Easy locator(Sweden)	
측정안테나	Shield 350MHz	
해석용	RADAN(Windows Version), Prism(Windows Version)	
실내 분석 장치	Prism for window 1.04.8.23 Radar System 사	

탐사 모식도	탐사 전경
	

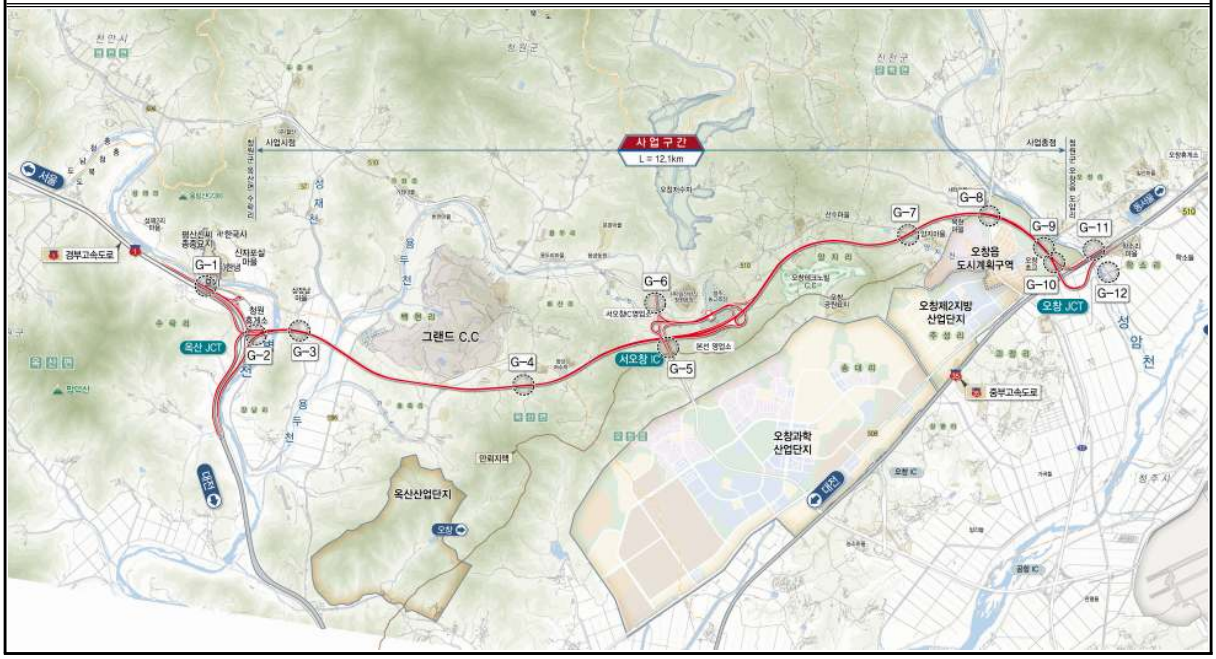
다. 탐사현황 및 결과

1) 탐사현황

• 본 노선에서 총 12개소를 조사할 계획 이였으나, 경사지 진입불가로 G-1, 11등 2개소는 미시행

위 치(STA.)	탐사매설물	측선길이(m)	비 고
1+290 (옥산JCT R-D)	한전관로	17.5	G-1(미시행)
옥산JCT R-A,C,D 종점	고속도로광통신관로	48.0	G-2
0+500 (상장남교)	상수도관로, 송유관, KT통신관로	12.0	G-3
3+600 (본선)	용수관로	17.0	G-4
5+500 (성산교)	KT통신관로, 상수도관로	22.0	G-5
0+460 (서오창IC R-I)	상수도관로	11.0	G-6
9+120 (산수교)	KT통신관로, 상수도관로	12.0	G-7
10+520 (복현2교)	하수도관로, 상수도관로	10.5	G-8
11+080 (본선)	상수도관로	9.5	G-9
11+220 (복현3교)	상수도관로	11.0	G-10
0+300 (오창JCT R-D)	KT통신관로	12.0	G-11(미시행)
0+450 (오창JCT R-C)	상수도관로, 하수도관로	20.0	G-12

탐사현황(옥산JCT~서오창IC)



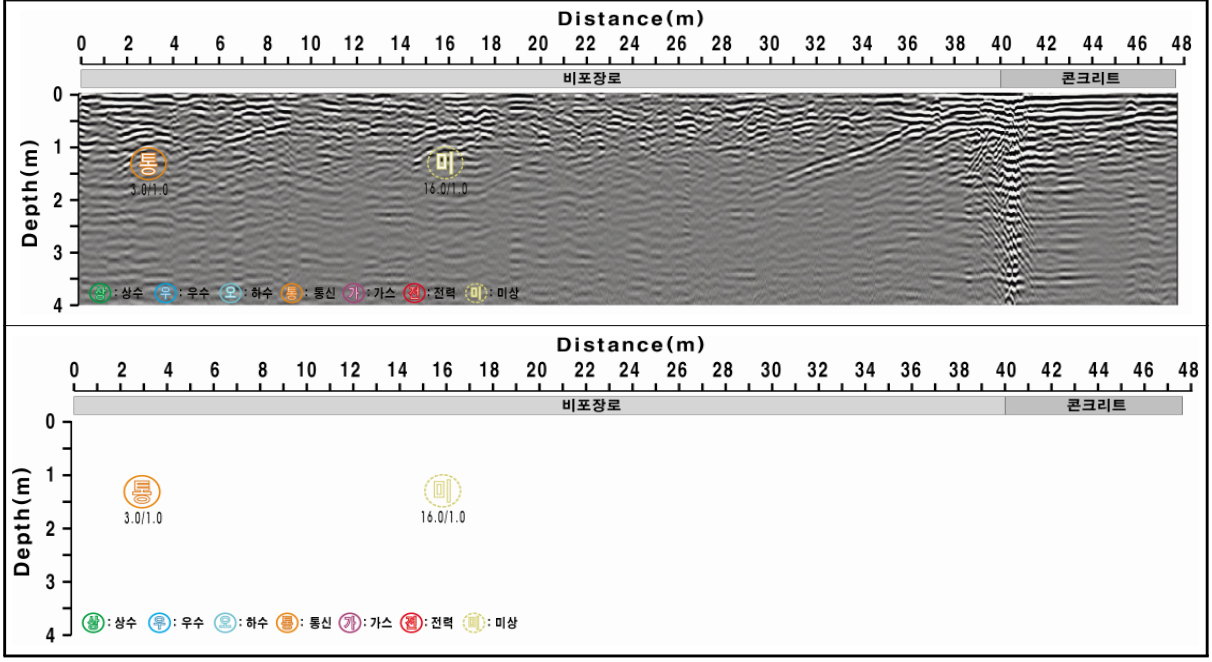
2) 탐사결과 및 분석

가) 옥산JCT R-A, C, D 종점(G-2측선, L=48.0m)

탐사위치



탐사결과



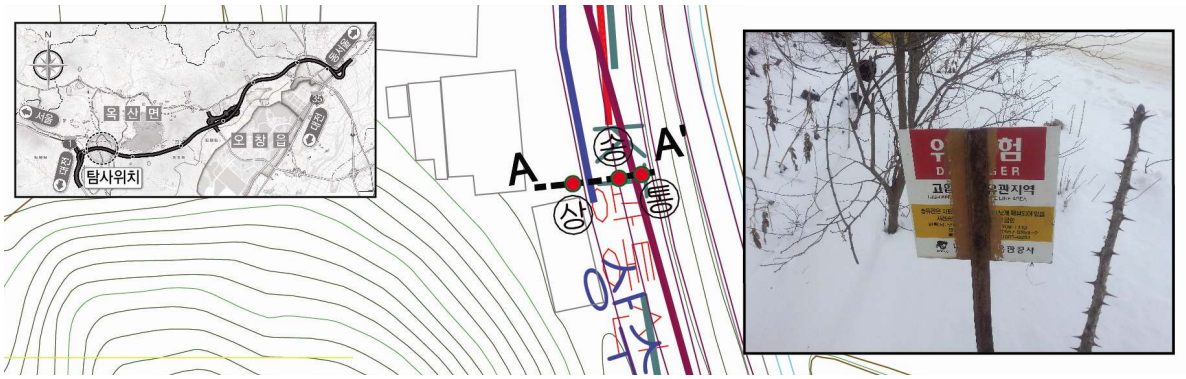
분석결과

매설물	거 리(m)	심 도(m)	비고	매설물	거 리(m)	심 도(m)	비고
광통신관로	3.0	1.0		미상	16.0	1.0	

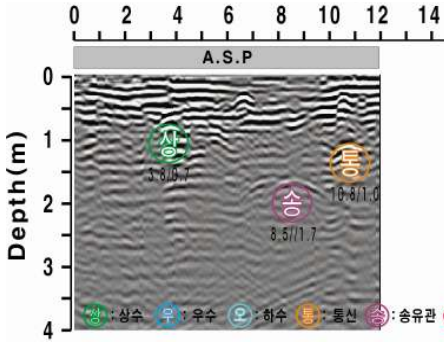
- 노면조건이 양호한 구간으로 이동하여 탐사를 시행하였고, 현장조사 및 참고자료를 근거로 하여 관종을 표기하였으며, 탐사결과 탐사측선과 교차되는 매설물관 일부를 확인함
- 탐사결과 고속도로광통신관로는 지장물도상의 위치보다 옥산휴게소 안쪽으로 약 2.0m에 위치하고 있는 것으로 확인되었으며, 지장물도 및 현장조사 시 나타나지 않은 지하매설물은 미상으로 처리하였으므로 시공시 면밀한 주의가 필요함

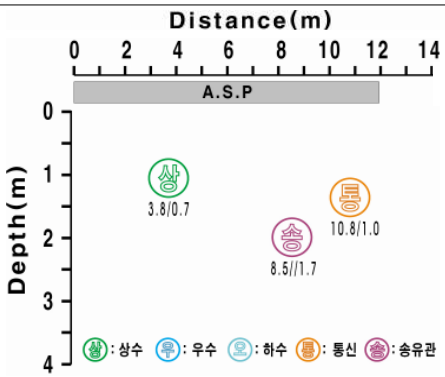
나) STA. 0+500(G-3측선, L=12.0m, 상장남교)

탐사위치



탐사결과





분석결과

매설물	거 리(m)	심 도(m)	비고	매설물	거 리(m)	심 도(m)	비고
상수도관로	3.8	0.7		KT통신관로	10.8	1.0	
송유관	8.5	1.7		-			

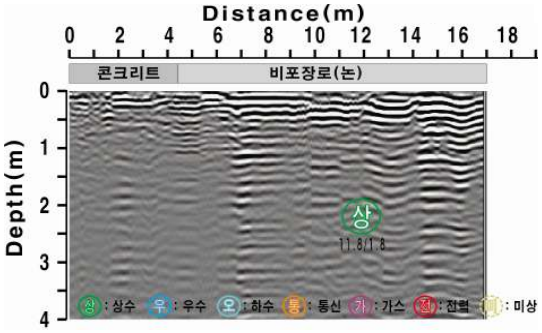
- 노면조건이 양호한 구간으로 이동하여 탐사를 시행하였고, 현장조사 및 참고자료를 근거로 하여 관종을 표기하였음
- 탐사결과 상수도관로, 송유관 및 KT통신관로 모두 지장물도상의 위치보다 약 1.6m 내외의 인근에 위치하고 있는 것으로 확인되었으며, 송유관의 경우 지표면에 얕게 매설되어 있다는 위험 표지판(탐사위치 사진)을 확인함

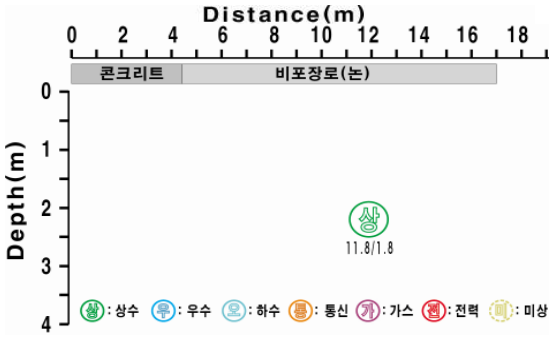
다) STA. 3+600(G-4측선, L=17.0m, 본선)

탐사위치



탐사결과





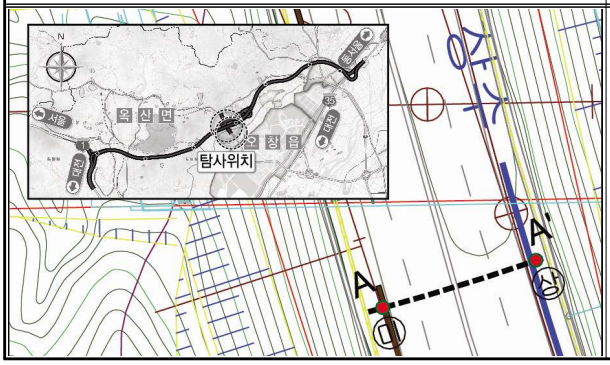
분석결과

매설물	거 리(m)	심 도(m)	비고	매설물	거 리(m)	심 도(m)	비고
용수관로	11.8	1.8		-			

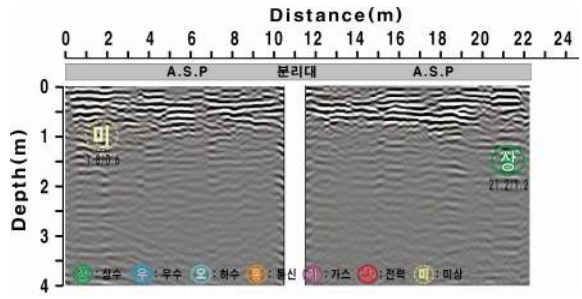
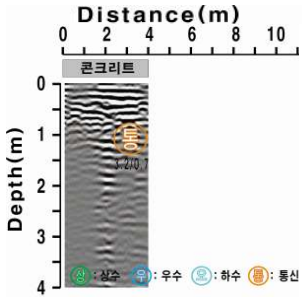
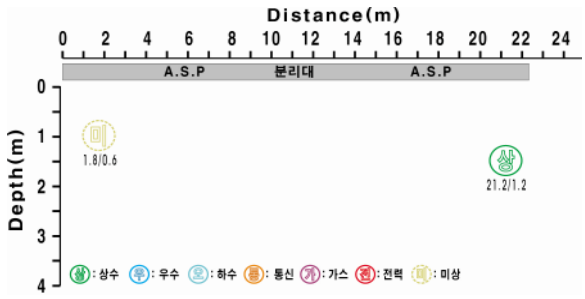
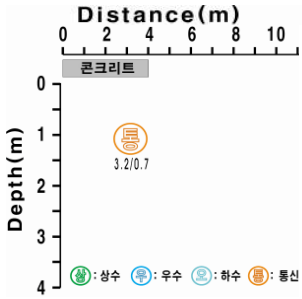
- 노면조건이 양호한 구간으로 이동하여 탐사를 시행하였고, 현장조사 및 참고자료를 근거로 하여 관종을 표기하였으며, 탐사결과 탐사측선과 교차되는 매설물 관 확인함
- 탐사결과 용수관로는 지장물도상의 위치에서 약 0.5m 도로 바깥쪽으로 1.8m의 심도에 위치하고 있는 것으로 확인되었으며, 인근에서 용수관로관거(탐사위치 사진)로 여겨지는 구조물 확인함

라) STA. 5+500(G-5측선, L=22.0m, 성산교)

탐사위치

G-5-1 (서오창IC R-G STA. 0+230)	G-5-2 (서오창IC R-G STA. 0+430)
	

탐사결과

G-5-1	G-5-2
	
	

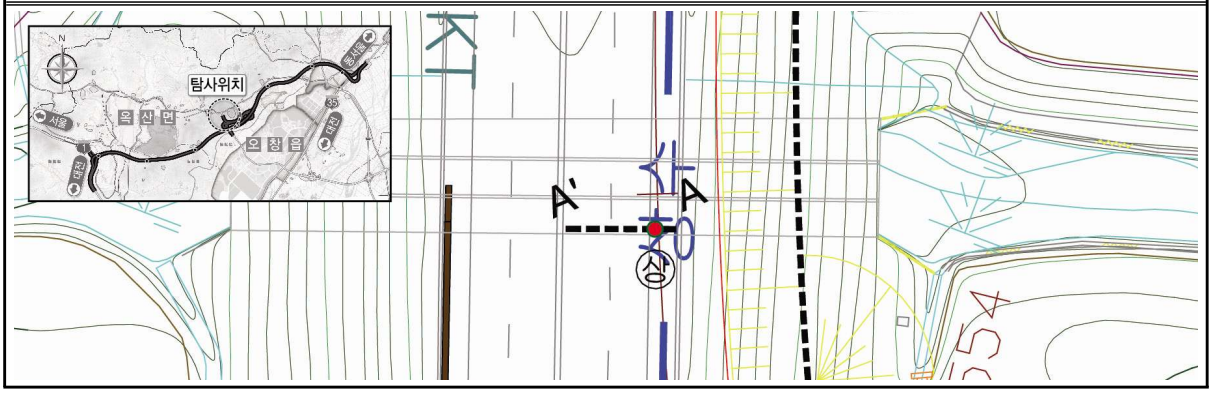
분석결과

G-5-1				G-5-2			
매설물	거 리(m)	심 도(m)	비고	매설물	거 리(m)	심 도(m)	비고
미상	1.8	0.6		KT통신관로	3.2	0.7	
상수도관로	21.2	1.2		–			

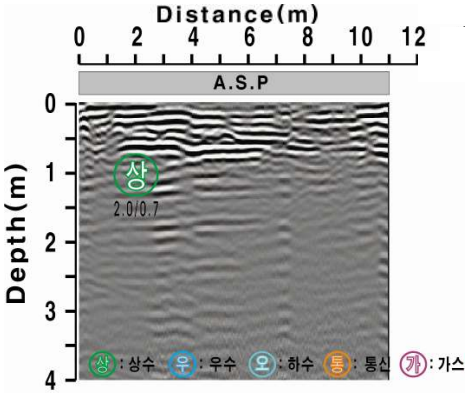
- G-5-1에서 탐사 후 지장물 확인 결과 상수도관로는 지장물도상의 위치보다 약 0.5m 도로 바깥쪽으로 위치하고, 현장조사결과 통신관로에 대한 표지판 및 맨홀 뚜껑이 없는 관계로 미상으로 결정하였으며, 탐사측선에서 다소 이격된 지점에서 통신관로 표지판 확인 후 G-5-2로 다시 탐사를 시행하였음
- G-5-2 탐사결과 KT통신관로는 지장물도상의 위치보다 도로 바깥쪽으로 약 2.5m 이동되어 있는 것으로 확인됨

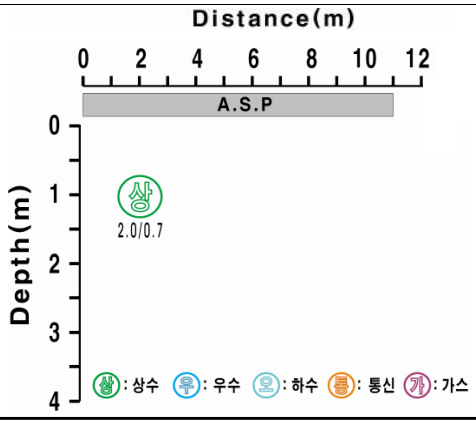
마) STA. 0+460(G-6측선, L=11.0m, 서오창IC R-I)

탐사위치



탐사결과





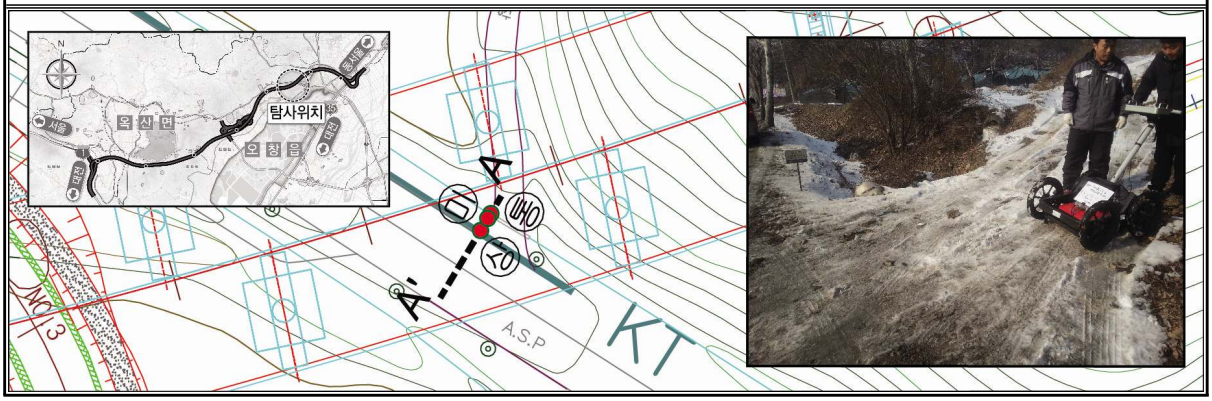
분석결과

매설물	거 리(m)	심 도(m)	비고	매설물	거 리(m)	심 도(m)	비고
상수도관로	2.0	0.7		–			

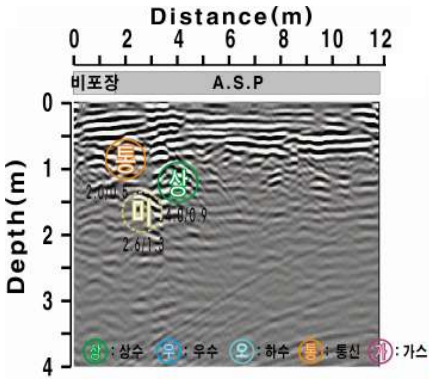
- 현장조사 및 참고자료를 근거로 하여 관종을 표기하였으며, 탐사결과 탐사측선과 교차되는 매설물관 확인함
- 탐사결과 상수도관로는 지장물도상의 위치보다 약 1.2m 도로 안쪽으로 0.7m 심도에 위치하고 있는 것으로 확인함

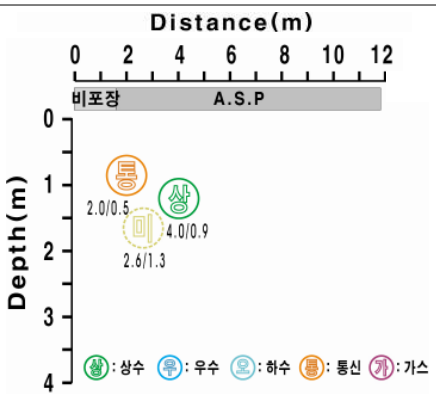
바) STA. 9+120(G-7측선, L=12.0m, 산수교)

탐사위치



탐사결과





분석결과

매설물	거 리(m)	심 도(m)	비고	매설물	거 리(m)	심 도(m)	비고
KT통신관로	2.0	0.5		상수도관로	4.0	0.9	
미상	2.6	1.3		-			

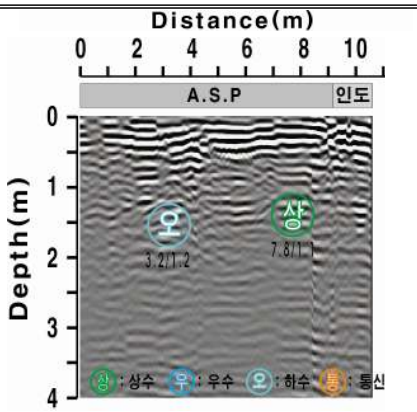
- 탐사결과 KT통신관로는 지장물도상의 위치보다 약 2.3m 도로 바깥쪽으로 0.5m 심도에 위치하고 있는 것으로 확인함
- 현장조사 및 참고자료를 근거로 하여 관종을 표기하였고, 지장물도 및 현장조사 시 나타나지 않은 지하매설물은 미상으로 처리하였으므로, 시공시 면밀한 주의가 필요함

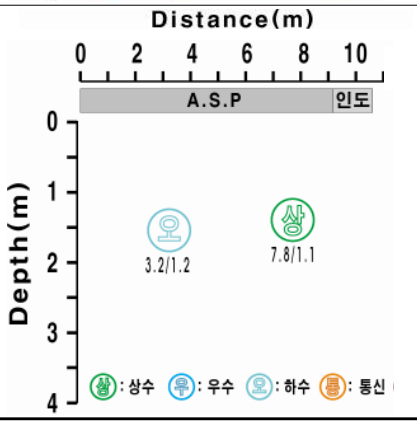
사) STA. 10+520(G-8측선, L=10.5m, 복현2교)

탐사위치



탐사결과





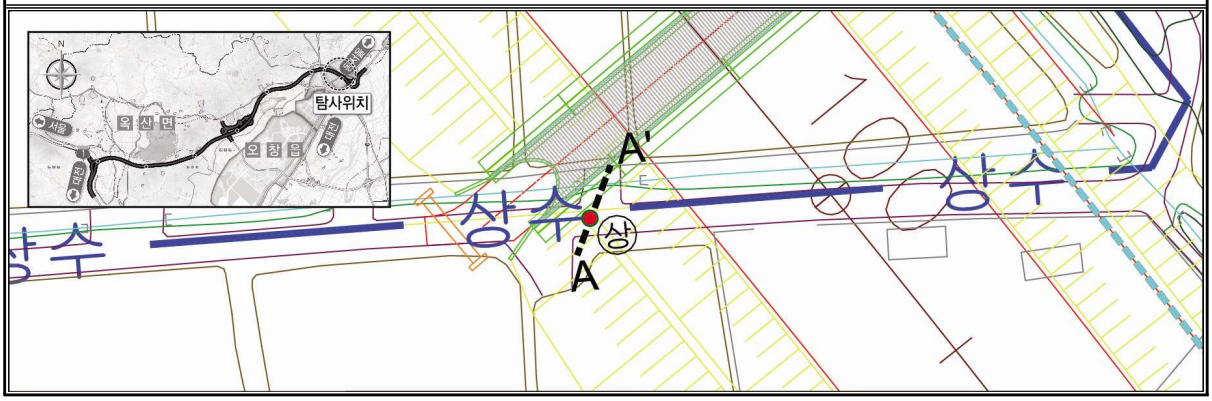
분석결과

매설물	거 리(m)	심 도(m)	비고	매설물	거 리(m)	심 도(m)	비고
하수도관로	3.2	1.2		상수도관로	7.8	1.1	

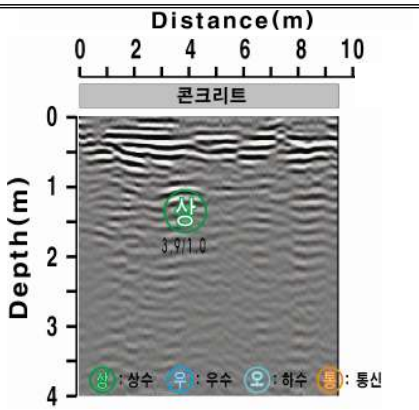
- 현장조사 및 참고자료를 근거로 하여 관종을 표기하였으며, 탐사결과 탐사측선과 교차되는 매설물관 일부를 확인함
- 탐사결과 하수도관로는 지장물도상의 위치보다 약 1.5m 도로 바깥쪽으로 1.2m 심도에 위치하고 있는 것으로 확인되었으며, 상수도관로는 지장물도상의 위치와 일치하는 것으로 확인함

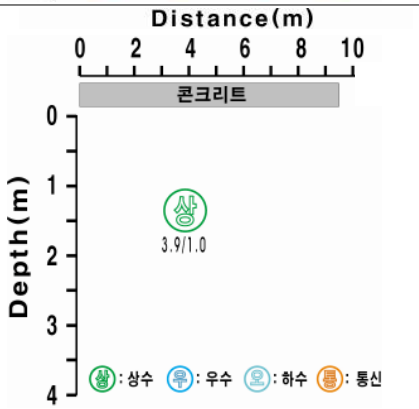
아) STA.11+080(G-9측선, L=9.5m, 본선)

탐사위치



탐사결과





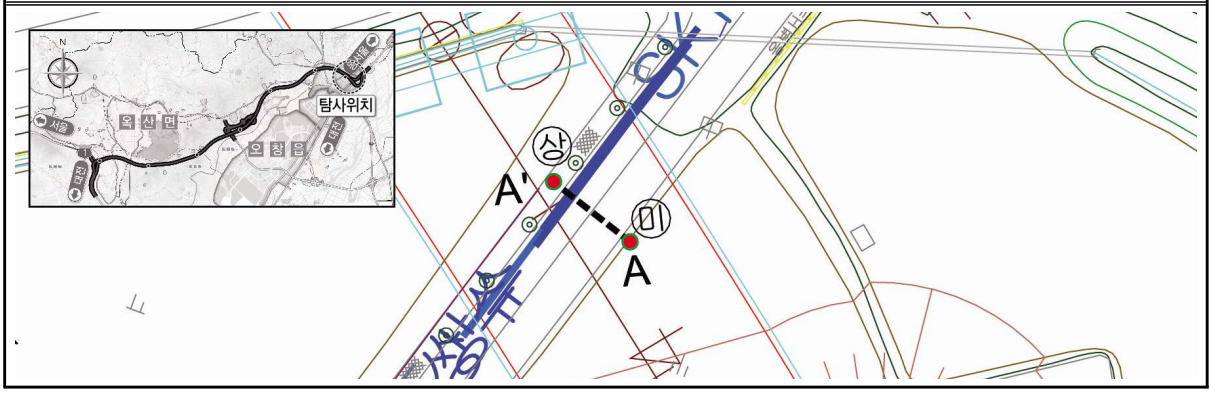
분석결과

매설물	거 리(m)	심 도(m)	비고	매설물	거 리(m)	심 도(m)	비고
상수도관로	3.9	1.0		–			

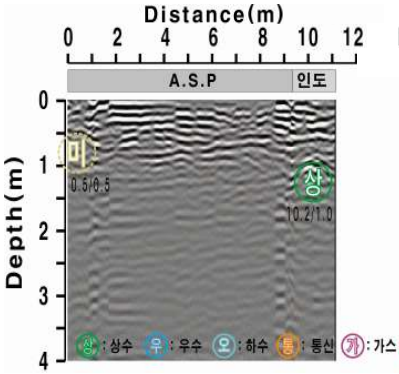
- 현장조사 및 참고자료를 근거로 하여 관종을 표기하였으며, 탐사결과 탐사측선과 교차되는 매설물관을 확인함
- 탐사결과 상수도관로는 지장물도상의 위치보다 약 0.8m 도로 바깥쪽으로 1.0m 심도에 위치하고 있는 것으로 확인함

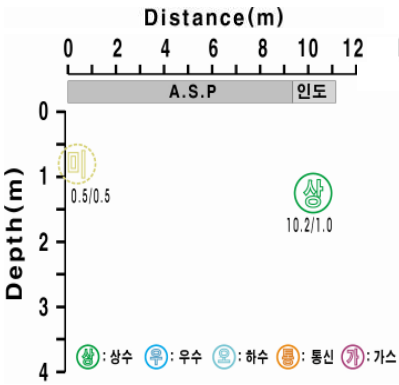
자) STA.11+220(G-10측선, L=11.0m, 복현3교)

탐사위치



탐사결과





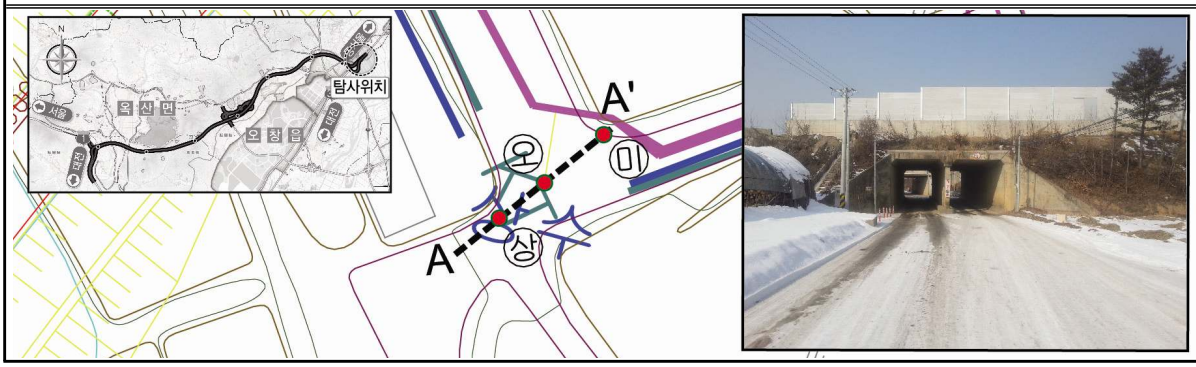
분석결과

매설물	거 리(m)	심 도(m)	비고	매설물	거 리(m)	심 도(m)	비고
미상	0.5	0.5		상수도관로	10.2	1.0	

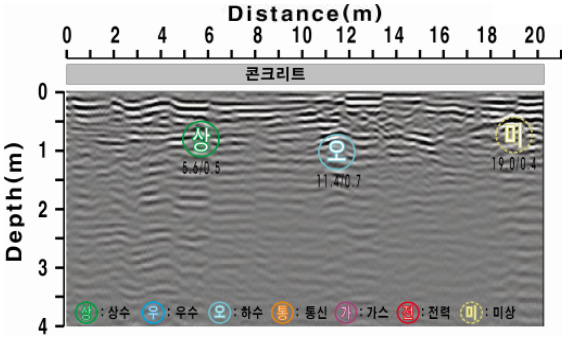
- 탐사결과 상수도관로는 지장물도상의 위치보다 약 2.0m 도로 바깥쪽으로 1.0m 심도에 위치하고 있는 것으로 확인함
- 거리 0.5m, 심도 0.5m에서 지장물이 확인되었으나 현장조사결과 통신관로에 대한 표지판 및 맨홀뚜껑이 없는 관계로 미상으로 결정하였으므로, 시공시 면밀한 주의가 필요함

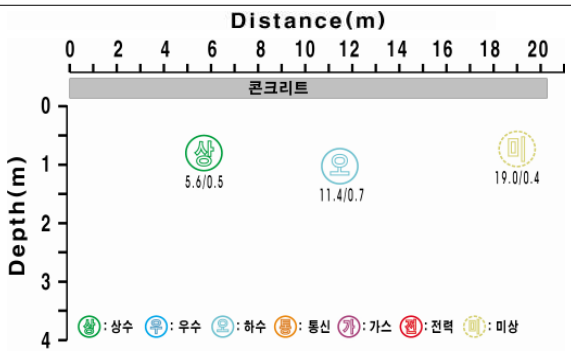
차) STA. 0+450(G-12측선, L=20.0m, 오창JCT R-C)

탐사위치



탐사결과





분석결과

매설물	거 리(m)	심 도(m)	비고	매설물	거 리(m)	심 도(m)	비고
상수도관로	5.6	0.5		미상	19.0	0.4	
하수도관로	11.4	0.7		–			

- 하수도관로는 지장물도상의 위치보다 약 7.4m 도로 중앙으로 0.5m 심도에 위치하며, 상수도관로는 지장물도상의 위치와 일치하는 것으로 확인함
- 현장조사결과 통신관로에 대한 표지판 및 맨홀뚜껑이 없는 관계로 거리 19m, 심도 0.4m에 있는 매설물은 미상으로 결정하였으므로, 시공시 면밀한 주의가 필요함

라. 설계활용

- 지하매설물(송유관, 통신관로, 상·하수도관로)의 위치 및 심도를 파악하여 시공 시 활용

4.3 현장조사

4.3.1 조사목적

- 계획노선구간 지반의 심도별 지층 분포현황과 지하수위, 기반암의 심도 파악
- 원위치 시험을 수행하기 위한 시추공 형성 및 실내시험을 위한 시료채취

4.3.2 조사내용

구 분	계획시추공	시추조사	미실행	
			민원발생	진입불가
교량구간	87공	82공	3공	2공
깎기구간	42공	33공	6공	3공
쌓기구간	18공	18공	-	-
기타구조물	1공	1공	-	-
토취장	2공	-	2공	-
계	150공	134공	11공	5공

4.3.3 시추조사

가. 조사목적

- 계획 노선구간 지층의 분포현황을 조사하고, 시료의 채취 및 각종 원위치 공내시험을 시행하여 설계에 필요한 제반 자료 제공
- 지반의 수직적 분포상태 확인 및 원위치 시험의 시험공 확보
- 깎기, 쌓기 및 구조물 구간의 안정성 검토시 필요한 강도정수 산정을 위한 원위치 시험과 실내시험을 위한 시료채취
- 회수된 코아상태, Slime 상태, 순환수의 색조 및 누수상태 등을 이용하여 기반암 상태 판단

구 분	조 사 목 적	시추구경	시 추 심 도
교량구간	• 교량기초 형식 결정에 활용 • 교량기초 안정 검토	NX	• 풍화암 7.0m 이상, 연암 3.0m 이상, 경암 1.0m이상
깎기구간	• 깎기 비탈면의 경사결정 및 안정대책공법 설계 • 비탈면 설계 반영	NX	• 계획고하 2.0m이상
쌓기구간	• 연약지반 설계에 반영	NX	• N값 50/30이상 3회 확인
기타 구조물	• 구조물 지지층 결정에 활용 • 영업소(건축물) 및 BOX기초 형식 결정에 활용	NX	• 지지층 및 터파기 심도아래 2.0m • 터파기 심도아래 2m까지 기반암이 확인 안된 경우는 일부 조사공에 대해 기반암 2m 확인

나. 조사방법

• 회전수세식(Rotary Wash Type) 시추기를 사용하였으며 시추구경은 NX(φ=76mm) 규격으로 시행

• 시추작업과 병행하여 지층의 상대밀도와 구성성분을 파악하기 위하여 한국산업규격(KS F-2318)에 의거 매 1.0m 간격으로 표준관입시험을 실시

• 기반암층에서는 코아회수율을 높여 정확한 암질상태를 파악하기 위하여 D-3 Core Barrel 및 Diamond Bit를 사용

구 분	내 용	조사 전경
장비명	• 유압시추기	
케이싱(casing)	• 토사층에서 시추공의 붕괴를 방지	
롯드(Rod)	• 회전동력 및 시추수를 비트(Bit)까지 전달	
코아바렐(Core barrel)	• 원지반에서 분리된 코아를 수용	
비트(Bit)	• 롯드 선단에서 직접적으로 지층을 천공하는 가장 중요한 부분	

다. 조사결과의 정리

• 채취된 토질 및 암석시료는 시료상자에 공번, 심도, 지층명, 색상 등을 기록하여 정리 보관

• 채취된 암석시료는 육안관찰에 의하여 절리와 절리면의 충진물 등을 파악하고, 절리의 분포상태, TCR, RQD 등의 암반특성을 평가할 수 있는 자료를 조사하여 시추주상도에 기재

라. 조사위치 선정

• 조사지역에 분포하는 지층현황의 파악 및 분석을 위하여 지형도(축척 1/5,000)상에서 교량구간, 깎기구간, 쌓기구간 및 기타구조물의 구조물 설치 예정지점을 검토하여 구조물의 특성에 부합되도록 조사항목을 선정하고, 현장답사를 실시하여 최종적으로 조사위치를 선정

• 민원 및 장비진입이 불가능하여 시추하지 못한 구간은 지층분포 확인을 위하여 시공전 실시할 수 있는 위치를 재선정하여 지층분포 확인이 필요할 것으로 판단됨

마. 구간별 조사위치

1) 교량구간 조사위치

구 분	공 번	좌 표(X, Y)		지반고(EL,m)
수락천교	SBB-86	455,989.9	231,112.1	42.1
	SBB-87	455,978.3	231,120.2	44.0

교량구간 조사위치(계속)

구 분	공 번	좌 표(X, Y)		지반고(EL,m)
옥산 JCT RAMP-D교	SBB-1	457,371.6	231,151.5	61.6
	SBB-2	457,342.4	231,192.5	52.1
	SBB-3	457,313.9	231,261.9	52.0
	SBB-4	457,317.3	231,315.9	47.0
옥산 JCT RAMP-C교	SBB-35	457,237.3	231,115.2	64.0
	SBB-5	457,256.0	231,130.6	70.5
	SBB-6	457,300.3	231,179.6	58.0
	SBB-7	457,329.8	231,243.8	51.5
	SBB-8	457,345.9	231,317.2	47.0
옥산 JCT RAMP-A교	SBB-9	457,275.8	231,117.5	75.4
	SBB-10	457,260.1	231,193.3	55.5
	SBB-11	45,266.3	231,257.6	51.5
	SBB-12	457,284.4	231,311.3	47.0
병천천교	SBB-13	457,380.3	231,465.1	43.5
	SBB-14	457,360.9	231,464.3	43.5
	SBB-15	457,413.2	231,509.1	41.7
	SBB-16	457,382.9	231,508.8	41.7
	SBB-17	457,539.7	231,558.8	41.7
	SBB-18	457,400.1	231,555.3	41.7
	SBB-19	457,433.5	231,606.8	43.8
	SBB-20	457,415.0	231,602.4	43.8
	SBB-21	457,440.5	231,643.9	43.8
	SBB-22	457,427.0	231,640.6	43.9
	SBB-23	457,450.6	231,685.6	78.9
	SBB-24	457,435.4	231,679.4	69.3
상장남교	SBB-25	457,465.0	231,893.9	48.5
	SBB-26	457,463.5	231,919.6	44.8
	SBB-27	457,462.2	231,951.9	45.8
용두천교	SBB-28	457,406.3	232,281.3	46.8
	SBB-29	457,374.4	232,321.0	45.0
	SBB-30	457,356.5	232,363.4	44.0
	SBB-31	457,338.0	232,403.9	47.0
백현교	SBB-32	457,248.6	232.561.0	49.0
호죽1교	SBB-33	457,192.8	233,800.8	63.0
	SBB-34	457,174.9	233,786.3	64.0
호죽2교	SBB-36	457,183.6	233,857.9	63.4
	SBB-37	457,206.5	233,924.2	64.9
	SBB-38	457,192.3	233,908.5	64.9
성산교	SBB-39	458,384.6	236,485.2	110.5
	SBB-40	458,395.2	236,543.0	113.5

교량구간 조사위치(계속)

구 분	공 번	좌 표(X, Y)		지반고(EL,m)
서오창 IC RAMP-A2교	SBB-41	459,020.5	237,413.6	124.5
	SBB-42	458,998.3	237,454.6	122.2
서오창 IC RAMP-A1교	SBB-43	458,589.0	236,379.4	87.0
	SBB-44	458,619.9	236,422.7	92.0
양청교	SBB-45	459,731.7	237,745.6	115.2
	SBB-46	459,749.2	237,769.8	114.8
양지교	SBB-47	460,002.7	237,984.9	119.9
	SBB-48	460,006.2	237,998.4	121.5
산수교	SBB-81	460,392.9	239,173.4	80.0
	SBB-82	460,393.0	239,189.0	78.5
	SBB-49	460,410.7	239,200.9	80.0
	SBB-50	460,407.2	239,216.3	78.0
	SBB-51	460,434.1	239,233.2	81.0
	SBB-52	460,430.3	239,248.0	80.8
	SBB-53	460,461.4	239,260.1	84.5
	SBB-54	460,455.1	239,279.5	87.4
	SBB-83	460,474.7	239,285.7	94.0
	SBB-84	460,470.0	239,301.6	93.5
복현1교	SBB-55	460,988.0	240,210.3	55.0
	SBB-56	460,994.0	240,254.8	51.0
	SBB-57	460,987.2	240,285.7	49.2
복현2교	SBB-58	460,986.9	240,444.2	46.4
	SBB-59	460,982.4	240,480.6	47.4
복현3교	SBB-60	460,742.4	241,047.1	44.0
	SBB-61	460,734.7	241,098.0	47.7
	SBB-62	460,690.9	241,138.6	46.3
오창 JCT RAMP-A교	SBB-73	460,452.2	241,352.5	42.4
	SBB-74	460,413.1	241,384.5	42.5
	SBB-75	460,374.4	241,416.2	42.0
오창 JCT RAMP-C교	SBB-76	460,530.2	241,731.3	45.6
	SBB-77	460,565.2	241,731.2	41.5
	SBB-78	460,614.5	241,745.8	41.3
	SBB-79	460,657.1	241,759.0	42.3
	SBB-80	460,697.0	241,773.9	43.1
오창 JCT RAMP-D교	SBB-63	460,526.1	241,400.7	43.5
	SBB-64	460,525.1	241,437.7	45.8
	SBB-65	460,528.0	241,496.0	43.2
	SBB-66	460,550.5	241,520.3	43.0
	SBB-85	460,583.2	241,558.4	43.0
	SBB-67	460,609.4	241,588.2	42.2
	SBB-68	460,635.1	241,614.3	45.0

교량구간 조사위치(계속)

구 분	공 번	좌 표(X, Y)		지반고(EL,m)
오창 JCT RAMP-D교	SBB-69	460,664.0	241,646.8	40.9
	SBB-70	460,692.2	241,675.2	40.5
	SBB-71	460,720.4	241,703.5	44.7
	SBB-72	460,737.1	241,721.6	42.9

2) 깎기구간 조사위치

공 번	좌 표(X, Y)		지반고(EL,m)
SCB-1	457,406.6	230,964.1	83.7
SCB-2	457,455.0	231,708.0	88.5
SCB-3	457,444.8	231,787.4	65.5
SCB-4	457,428.4	231,821.7	73.0
SCB-5	457,195.8	232,831,9	86.6
SCB-6	457,139.8	232,837.8	78.8
SCB-7	457,157.6	233,165.1	86.7
SCB-8	457,099.1	233,142.0	92.7
SCB-9	457,248.8	234,390.4	108.7
SCB-10	457,333.0	234,635.0	102.1
SCB-11	457,470.8	235,093.3	125.8
SCB-12	457,504.5	235,183.3	131.0
SCB-13	457,576.2	235,192.7	116.0
SCB-14	458,085.4	235,799.5	140.8
SCB-15	458,054.4	235,870.9	157.6
SCB-17	458,097.6	235,937.6	160.7
SCB-18	458l321.2	236l283.9	130.2
SCB-19	458,299.7	236,365.3	135.4
SCB-20	458,242.3	236,581.7	119.3
SCB-21	458,424.6	236,569.2	138.9
SCB-22	458,348.3	236,595.2	120.7
SCB-23	458,613.5	236,616.1	115.2
SCB-24	458,421.4	236,701.9	143.8
SCB-25	458,474.4	236,818.3	130.1
SCB-26	458,655.4	237,154.0	139.1
SCB-27	458,829.8	237,213.2	154.0
SCB-28	458,727.1	237,251.2	160.5
SCB-29	459,007.6	237,126.0	156.5
SCB-30	458,978.9	237,188.1	146.4
SCB-31	459,066.7	237,211.3	165.3
SCB-32	459,620.0	237,733.0	135.3
SCB-33	460,259.1	238,540.9	155.7

깎기구간 조사위치(계속)

공 번	좌 표(X, Y)		지반고(EL,m)
SCB-34	460,183.3	238,568.9	152.5
SCB-35	460,251.7	238,695.6	117.8
SCB-36	460,294.4	238,865.9	139.1
SCB-37	460,228.8	238,946.9	141.8
SCB-38	460564.5	239351.0	113.4
SCB-39	460,569.3	239,436.4	108.4
SCB-40	460,808.0	239,660.0	100.7
SCB-41	460,819.0	239,748.0	84.9
SCB-42	460,930.6	240,053.3	83.3
SCB-43	459,237.8	237,598.2	143.1

3) 쌓기구간 조사위치

공 번	좌 표(X, Y)		지반고(EL,m)
SSB-1	457,704.0	230,729.0	44.6
SSB-2	457,120.7	231,265.7	45.9
SSB-3	457,422.5	232,163.6	45.9
SsB-4	457,166.5	233,584.0	66.0
SSB-5	457,855.3	235,580.9	100.1
SSB-6	458,247.0	236,169.3	106.5
SSB-7	458,525.3	236,320.4	89.0
SSB-8	458,749.4	236,869.2	95.9
SSB-9	458,590.3	236,978.3	109.9
SSB-10	460,873.2	239,831.3	57.2
SSB-11	460,907.4	240,764.9	45.0
SSB-12	460,585.8	241,238.5	42.0
SSB-13	460,292.5	241,543.1	42.7
SSB-14	456,896.5	231,105.9	44.6
SSB-15	456532.4	231007.3	44.6
SSB-16	459,100.1	237,490.9	116.4
SSB-17	457,650.3	235,361.0	91.8
SSB-18	459,100.1	237490.9	116.5

4) 기타구조물 조사위치

공 번	좌 표(X, Y)		지반고(EL,m)
SNB-1	458,719.5	236,958.8	112.5

5) 토취장 조사위치

공 번	좌 표(X, Y)		지반고(EL,m)
ST-1	458,529.6	236,539.3	106.0
ST-2	458,585.7	236,779.5	125.6

바. 조사결과

• 조사구간의 지층분포상태를 파악하기 위하여 총 134공(교량구간 : 82공, 깎기구간 : 33공, 쌓기구간 : 18공, 기타구조물 : 1공)의 시추조사를 시행하였음

• 조사지역의 개략적인 지층구성은 지표로부터 상부토사층(표토층, 매립층, 전답층, 붕적층, 충적층), 풍화토층, 풍화암층, 연암층, 경암층으로 분포

1) 교량구간 조사결과

구 분	공 번	층 후 (m)					계 (m)	표준관입 시험(회)
		상부토사	풍화토	풍화암	연암	경암		
수락천교	SBB-86	8.5	0.8	0.7	3.0	-	13.0	9
	SBB-87	10.5	1.9	1.1	3.0	-	16.5	13
옥산JCT RAMP-D교	SBB-1	8.4	4.6	7.0	-	-	20.0	20
	SBB-2	2.5	2.3	6.0	3.2	-	14.0	8
	SBB-3	5.0	9.0	0.7	3.0	-	17.7	14
	SBB-4	9.6	2.4	2.5	3.0	-	17.5	14
옥산JCT RAMP-C교	SBB-35	-	1.8	-	8.2	-	10.0	1
	SBB-5	-	12.0	4.8	3.0	-	19.8	12
	SBB-6	3.6	4.0	1.8	3.0	-	12.4	9
	SBB-7	3.6	2.9	-	3.0	-	9.5	6
	SBB-8	11.5	1.0	1.5	3.0	-	17.0	13
옥산JCT RAMP-A교	SBB-9	-	13.0	7.0	-	-	20.0	15
	SBB-10	1.6	1.1	-	-	3.0	5.7	2
	SBB-11	2.5	5.5	5.0	-	3.0	16.0	8
	SBB-12	10.5	3.1	-	3.0	-	16.6	13
병천천교	SBB-13	9.5	3.1	-	3.0	-	15.6	12
	SBB-14	8.5	1.3	-	3.0	-	12.8	9
	SBB-15	8.8	1.5	-	3.0	-	13.3	10
	SBB-16	9.0	1.9	3.6	3.0	-	17.5	12
	SBB-17	7.5	1.4	-	4.0	-	12.9	7
	SBB-18	7.6	0.4	0.7	3.0	-	11.7	8
	SBB-19	10.5	0.5	2.5	3.0	-	16.5	13
	SBB-20	10.4	0.6	1.0	3.0	-	15.0	11
	SBB-21	9.5	0.5	5.5	3.0	-	18.5	15
	SBB-22	9.8	-	0.7	3.0	-	13.5	10
	SBB-23	민원(사업반대)						
	SBB-24	민원(사업반대)						
상장남교	SSB-25	민원(사업반대)						
	SSB-26	7.3	-	-	3.0	-	10.3	7
	SBB-27	7.3	-	-	3.0	-	10.3	6
용두천교	SBB-28	8.5	6.5	4.7	3.0	-	22.7	19
	SBB-29	8.0	-	-	3.0	-	11.0	7

교량구간 조사결과(계속)

구 분	공 번	층 후 (m)					계 (m)	표준관입 시험(회
		상부토사	풍화토	풍화암	연암	경암		
용두천교	SBB-30	5.5	8.5	2.0	3.0	-	19.0	15
	SBB-31	8.5	8.0	-	3.0	-	19.5	16
백현교	SBB-32	8.6	-	-	3.0	-	11.6	8
호죽1교	SBB-33	6.5	3.5	0.6	3.0	-	13.6	10
	SBB-34	6.5	6.5	-	3.0	-	16.0	12
호죽2교	SBB-36	5.5	1.5	-	3.0	-	10.0	6
	SBB-37	5.0	1.7	-	3.0	-	9.7	6
	SBB-38	7.5	1.0	1.5	3.0	-	13.0	9
성산교	SBB-39	2.7	4.3	1.0	3.0	-	11.0	7
	SBB-40	도로사면으로 장비 진입불가						
서오창IC RAMP-A2교	SBB-41	1.0	1.5	0.8	3.0	-	6.3	3
	SBB-42	4.8	-	-	3.0	-	7.8	4
서오창IC RAMP-A1교	SBB-43	3.0	4.0	4.5	3.0	-	14.5	11
	SBB-44	3.5	2.0	-	3.0	-	8.5	5
양청교	SBB-45	3.0	1.0	3.0	3.0	-	10.0	6
	SBB-46	1.5	8.5	8.0	-	-	18.0	17
양지교	SBB-47	6.0	9.0	7.0	-	-	22.0	22
	SBB-48	6.0	12.0	4.7	3.0	-	25.7	22
산수교	SBB-81	0.6	1.2	-	3.0	-	4.8	1
	SBB-82	0.6	1.4	-	3.0	-	5.0	1
	SBB-49	2.6	-	-	3.0	-	5.6	2
	SBB-50	0.6	-	-	3.0	-	3.6	0
	SBB-51	2.0	-	0.3	3.0	-	5.3	2
	SBB-52	1.8	-	0.5	3.0	-	5.3	2
	SBB-53	0.8	-	1.2	3.0	-	5.0	1
	SBB-54	-	5.0	0.5	0.5	1.0	7.0	5
	SBB-83	-	3.0	4.2	3.0	-	10.2	7
	SBB-84	1.0	4.0	-	3.0	-	8.0	4
복현1교	SBB-55	2.0	2.0	3.0	3.0	-	10.0	6
	SBB-56	1.7	2.0	0.7	3.0	-	7.4	4
	SBB-57	5.0	1.5	-	3.0	-	9.5	6
복현2교	SBB-58	4.4	1.6	0.2	3.0	-	9.2	6
	SBB-59	5.3	1.0	-	-	3.0	9.3	6
복현3교	SBB-60	4.6	5.4	3.8	1.2	1.0	16.0	13
	SBB-61	8.5	7.2	6.8	3.0	-	25.5	21
	SBB-62	6.0	1.0	0.5	3.0	-	10.5	7
오창JCT RAMP-A교	SBB-73	4.5	8.5	1.5	3.3	-	17.8	14
	SBB-74	6.5	9.5	3.0	3.0	-	22.0	18
	SBB-75	4.8	9.2	0.7	3.0	-	17.7	14

교량구간 조사결과(계속)

구 분	공 번	층 후 (m)					계 (m)	표준관입 시험(회
		상부토사	풍화토	풍화암	연암	경암		
오창JCT RAMP-C교	SBB-76	8.5	6.5	3.3	3.0	-	21.3	18
	SBB-77	4.7	5.3	3.4	3.0	-	16.4	13
	SBB-78	4.5	2.5	5.0	3.0	-	15.0	11
	SBB-79	4.8	1.2	3.2	3.0	-	12.2	9
	SBB-80	4.8	0.8	-	0.9	2.8	9.3	5
오창JCT RAMP-D교	SBB-63	5.6	3.4	2.0	3.0	-	14.0	10
	SBB-64	급경사지로 장비 진입불가						
	SBB-65	4.8	3.2	1.2	3.0	-	12.2	9
	SBB-66	5.0	1.0	0.6	3.0	-	9.6	6
	SBB-85	5.0	2.0	4.0	2.8	1.5	15.3	10
	SBB-67	4.5	-	0.9	3.0	-	8.4	5
	SBB-68	6.0	-	0.8	3.0	-	9.8	6
	SBB-69	3.2	0.4	-	3.0	-	6.6	3
	SBB-70	4.5	-	0.9	3.0	-	8.4	5
	SBB-71	5.5	1.0	1.3	3.0	-	10.8	7
	SBB-72	1.5	3.0	2.0	3.0	-	9.5	6

• 상부토사층은 본구간의 최상부 층으로 0.6~11.5m의 층후로 분포, 기반암의 상부풍화대인 풍화토층은 0.4~13.0m의 층후로 분포, 기반암의 하부풍화대인 풍화암층은 0.2~8.0m의 층후로 분포하며, 기반암인 연암은 현 지표하 0.6~22.7m 하부에서 0.5m 이상의 층후로 분포하고, 경암은 풍화암 또는 연암 하부에서 1.0m 이상의 층후로 분포

2) 깎기구간 조사결과

공 번	층 후 (m)					계 (m)	표준관입시험(회
	상부토사	풍화토	풍화암	연암	경암		
SCB-1	0.5	11.5	7.0	-	-	19.0	19
SCB-2	-	11.0	17.0	6.0	-	34.0	18
SCB-3	-	6.0	6.0	-	-	12.0	12
SCB-4	민원(사업반대)						
SCB-5	0.4	10.6	7.1	10.0	-	28.1	18
SCB-6	0.5	5.1	8.7	6.7	-	21.0	14
SCB-7	0.8	11.2	10.0	-	-	22.0	22
SCB-8	0.6	11.2	9.7	3.5	3.1	28.1	21
SCB-9	0.7	8.3	16.0	-	-	25.0	25
SCB-10	0.3	9.7	-	-	-	10.0	10

공 번	층 후 (m)					계 (m)	표준관입시험(회
	상부토사	풍화토	풍화암	연암	경암		
SCB-11	1.0	8.0	18.0	-	-	27.0	27
SCB-12	1.0	14.0	12.8	4.2	-	32.0	27
SCB-13	1.0	10.0	8.0	-	-	19.0	19
SCB-14	0.7	12.3	7.0	-	-	20.0	20
SCB-15	1.5	11.5	16.0	6.0	-	35.0	28
SCB-17	0.8	12.2	10.0	12.0	3.0	38.0	23
SCB-18	민원(사업반대)						
SCB-19	민원(사업반대)						
SCB-20	0.6	1.2	0.9	14.3	3.0	20.0	2
SCB-21	0.8	6.2	10.4	15.6	6.0	39.0	17
SCB-22	1.7	3.0	1.6	14.7	-	21.0	6
SCB-23	0.3	1.7	1.3	11.7	-	15.0	3
SCB-24	0.7	8.3	2.5	12.5	3.0	27.0	11
SCB-25	0.3	3.4	2.5	-	4.8	11.0	6
SCB-26	1.4	1.6	8.5	5.1	-	16.6	11
SCB-27	0.8	5.2	6.0	15.5	2.5	30.0	11
SCB-28	0.7	7.3	5.0	18.8	3.2	35.0	12
SCB-29	0.6	4.4	4.0	21.8	4.2	35.0	8
SCB-30	0.3	3.5	0.8	10.4	4.0	19.0	4
SCB-31	0.2	9.8	11.2	11.8	4.0	37.0	21
SCB-32	-	-	6.5	8.0	-	14.5	6
SCB-33	민원(사업반대)						
SCB-34	민원(사업반대)						
SCB-35	급경사지로 장비 진입불가						
SCB-36	급경사지로 장비 진입불가						
SCB-37	급경사지로 장비 진입불가						
SCB-38	0.8	6.8	4.7	10.7	-	23.0	12
SCB-39	0.9	9.1	8.0	-	-	18.0	18
SCB-40	0.3	8.7	14.0	-	-	23.0	23
SCB-41	0.7	7.9	1.4	-	-	10.0	10
SCB-42	0.3	13.7	6.0	-	-	20.0	20
SCB-43	민원(사업반대)						

• 상부토사층은 본구간의 최상부 층으로 0.2~1.7m의 층후로 분포, 기반암의 상부풍화대인 풍화토층은 1.2~14.0m의 층후로 분포, 기반암의 하부풍화대인 풍화암층은 0.8~18.0m의 층후로 분포하며, 기반암인 연암은 현 지표하 2.7~29.0m 하부에서 3.5m 이상의 층후로 분포하고, 경암은 풍화암 또는 연암 하부에서 2.5m 이상의 층후로 분포

3) 쌓기구간 조사결과

공 번	층 후 (m)					계 (m)	표준관입시험(회
	상부토사	풍화토	풍화암	연암	경암		
SSB-1	6.8	-	2.2	-	-	9.0	9
SSB-2	10.0	-	-	2.0	-	12.0	9
SSB-3	6.7	3.3	-	-	-	10.0	10
SSB-4	5.6	9.0	0.4	-	-	15.0	15
SSB-5	2.0	6.0	-	-	-	8.0	8
SSB-6	0.7	6.3	1.0	-	-	8.0	8
SSB-7	1.8	6.0	1.2	-	-	9.0	9
SSB-8	0.5	2.5	2.0	-	-	5.0	5
SSB-9	1.0	0.7	-	2.0	-	3.7	1
SSB-10	0.5	8.5	-	-	-	9.0	9
SSB-11	4.8	-	1.6	-	2.0	8.4	6
SSB-12	4.7	6.3	-	-	-	11.0	11
SSB-13	6.8	7.2	-	-	-	14.0	14
SSB-14	6.8	7.2	3.0	-	-	17.0	17
SSB-15	11.0	1.0	2.0	-	-	14.0	14
SSB-16	3.8	5.2	1.0	-	-	10.0	10
SSB-17	1.8	4.2	2.0	-	-	8.0	8
SSB-18	0.4	1.6	3.0	-	-	5.0	5

• 상부토사층은 본구간의 최상부 층으로 0.4~11.0m의 층후로 분포, 기반암의 상부풍화대인 풍화토층은 0.7~9.0m의 층후로 분포, 기반암의 하부풍화대인 풍화암층은 0.4~3.0m의 층후로 분포

4) 기타구조물 및 토취장 조사결과

공 번		층 후 (m)					계 (m)	표준관입시험(회
		상부토사	풍화토	풍화암	연암	경암		
기타구조물	SNB-1	0.5	2.5	9.2	1.0	-	13.2	12
토취장	ST-1	민원(사업반대)						
	ST-2	민원(사업반대)						

사. 설계활용

• 지층 분포상태 파악(시료채취) 및 주상도 작성을 통해 지층 및 암반 분류에 활용
• 구조물 기초계획 및 토공계획
• 단면도 작성을 통해 비탈면 설계에 활용

4.3.4 시험굴 조사 및 현장밀도 시험

가. 조사목적

- 깎기구간의 지층구성상태 파악 및 쌓기재료의 다짐특성 파악
- 깎기 예정구간에서 발생되는 토사의 쌓기재료 사용가능성 여부 및 흙의 다짐특성 파악
- 도로 노반재료로서의 적합성 판단 및 토공량 산출을 위한 토량 환산계수 산정

나. 조사방법

- 지표면 아래 1.0×2.0m 크기로 0.9~1.5m 심도까지 굴착하고, 흙의 색조, 밀도, 토질분류 및 함수상태 등을 시험굴주상도에 작성한 후 Block Sample채취
- 한국산업규격(KS F 2311)의 모래치환법에 의한 현장밀도 시험을 실시하여 흐트러진 상태 및 자연 상태의 단위중량을 측정하여 토량 변화율 산정
- 채취된 교란시료를 이용하여 기본물성시험, 다짐시험 및 CBR시험을 통해 노반재료 적용여부 판정, 다짐특성파악 및 포장층 두께 결정시 활용

구 분	내 용	조사 및 시험 전경
단위중량	• 장병 및 부속기구	
시험용모래	• No.10체를 통과하고, No.200체에는 남는 모래로 균등계수가 C_u < 2 인 균등한 표준사를 사용	
저울	• 대용량이 10kgf(감도 1.0kgf)과 최대용량 500kgf(감도 0.1gf)인 저울 2대 사용	
항온건조로	• 105±5℃를 장기간 유지가능한 것	

다. 조사결과

1) 시험굴 조사결과

조사번호	좌 표(X, Y)		지반고(EL,m)	지 층 명	심 도 (m)	구 성 상 태
STP-1	457,417.7	231,847.3	79.5	붕적층	0.0~0.3	자갈 섞인 점토질 모래
				풍화암	0.3~0.5	암편 섞인 실트질 모래
STP-2	457,134.4	232,855.2	69.9	붕적층	0.0~0.5	실트질 모래
				풍화토	0.5~1.5	실트질 모래
STP-3	457,147.9	233,139.7	81.4	붕적층	0.0~0.6	실트질 모래
				풍화토	0.6~1.4	실트질 모래
STP-4	457,238.8	234,366.3	100.9	붕적층	0.0~0.4	자갈 섞인 점토질 모래
				풍화토	0.4~1.3	실트질 모래

시험굴 조사결과(계속)

조사번호	좌 표(X, Y)		지반고(EL,m)	지 층 명	심 도 (m)	구 성 상 태
STP-5	457,342.2	234,651.0	102.3	붕적층	0.0~0.5	실트질 모래
				풍화토	0.5~1.5	실트질 모래
STP-6	457,476.9	235,112.0	123.8	붕적층	0.0~0.7	실트질 모래
				풍화토	0.7~1.4	실트질 모래
STP-7	458,054.3	235,858.7	157.5	붕적층	0.0~0.6	실트질 모래
				풍화토	0.6~1.4	실트질 모래
STP-8	458,312.8	236,397.0	131.4	붕적층	0.0~0.2	실트질 모래
				풍화토	0.2~1.0	실트질 모래
				풍화암	1.0~1.1	암편 섞인 실트질 모래
STP-9	458,434.0	236,714.4	139.6	붕적층	0.0~0.3	실트질 모래
				풍화토	0.3~0.7	실트질 모래
				풍화암	0.7~0.8	암편 섞인 실트질 모래
STP-10	458,604.4	236,597.1	123.9	붕적층	0.0~0.2	자갈 섞인 실트질 모래
				풍화토	0.2~1.0	실트질 모래
				풍화암	1.0~1.1	암편 섞인 실트질 모래
STP-11	458,642.3	237,140.9	144.1	붕적층	0.0~0.3	실트질 모래
				풍화토	0.3~0.5	실트질 모래
				풍화암	0.5~0.6	암편 섞인 실트질 모래
STP-12	458,837.7	237,229.0	155.9	붕적층	0.0~0.3	실트질 모래
				풍화토	0.3~1.4	실트질 모래
STP-13	459,030.9	237,153.1	162..9	붕적층	0.0~0.3	실트질 모래
				풍화토	0.3~0.7	실트질 모래
				풍화암	0.7~0.8	암편 섞인 실트질 모래
STP-14	459,249.7	237,596.7	139.6	붕적층	0.0~0.4	자갈 섞인 실트질 모래
				풍화토	0.4~1.4	실트질 모래
STP-15	459,597.8	237,729.6	147.0	붕적층	0.0~0.3	실트질 모래
				풍화토	0.3~0.8	실트질 모래
				풍화암	0.8~0.9	암편 섞인 실트질 모래
STP-16	460,188.3	238,586.2	142.5	붕적층	0.0~0.3	자갈 섞인 실트질 모래
				풍화토	0.3~1.5	점토질 모래
STP-17	460,244.0	238,929.7	129.7	붕적층	0.0~0.4	자갈 섞인 실트질 모래
				풍화토	0.4~1.5	점토질 모래
STP-18	460,560.4	239,420.9	111.8	붕적층	0.0~0.6	실트질 모래
				풍화토	0.6~1.5	점토질 모래
STP-19	460,802.2	239,641.9	102.2	붕적층	0.0~0.5	자갈 섞인 실트질 모래
				풍화토	0.5~1.5	점토질 모래
STP-20	460,932.6	240,050.5	83.0	붕적층	0.0~0.7	자갈 섞인 모래
				풍화토	0.7~1.5	실트질 모래

• 시험굴 조사는 0.2~1.5m의 심도에서 실시하였으며, 구성상태는 자갈 섞인 실트질 모래, 암편 섞인 실트질 모래, 점토질 모래, 실트질 모래로 구성

2) 현장밀도 시험결과

조사 번호	심도 (m)	자연 함수비 (%)	자연상태 단위중량		흐트러진 상태 단위중량		토 량 변화율
			습윤단위중량 (kN/m^3)	건조단위중량 (kN/m^3)	습윤단위중량 (kN/m^3)	건조단위중량 (kN/m^3)	
STP-1	0.3	17.7	15.6	13.25	13.14	11.16	1.19
STP-2	1.5	13.7	18.25	16.05	14.06	12.36	1.30
STP-3	1.4	11.1	18.77	16.90	14.13	12.72	1.33
STP-4	1.3	12.2	17.85	15.91	14.83	13.22	1.20
STP-5	1.5	11.9	18.52	16.55	14.68	13.12	1.26
STP-6	1.4	11.5	18.69	16.77	15.46	13.87	1.21
STP-7	1.4	14.9	17.64	15.35	13.67	11.90	1.29
STP-8	1.0	16.4	18.28	15.7	14.95	12.84	1.22
STP-9	0.7	15.7	19.08	16.49	14.69	12.70	1.30
STP-10	1.0	15.1	17.84	15.50	13.50	11.73	1.32
STP-11	0.5	16.0	18.25	15.74	14.33	12.35	1.27
STP-12	1.4	17.5	19.07	16.23	14.79	12.59	1.29
STP-13	0.6	15.7	18.67	16.14	14.15	12.23	1.32
STP-14	1.4	19.9	18.98	15.83	14.72	12.28	1.29
STP-15	0.8	13.6	18.86	16.60	15.52	13.66	1.22
STP-16	1.5	11.9	16.91	15.11	13.89	12.41	1.22
STP-17	1.5	15.3	16.18	14.03	13.13	11.39	1.23
STP-18	1.5	16.6	16.53	14.18	13.76	11.80	1.20
STP-19	1.5	16.0	16.81	14.49	14.18	12.23	1.19
STP-20	1.5	20.1	17.66	14.71	13.94	11.60	1.27

• 현장밀도 시험결과 자연상태 건조단위중량은 13.13~16.90kN/m^3(평균 15.58kN/m^3)범위이고, 흐트러진 상태 건조단위중량은 11.16~13.87kN/m^3(평균 12.41kN/m^3) 범위로 나타남

• 토량변화율은 1.19~1.33의 범위로 평균 1.26임

라. 설계활용

• 다짐특성을 파악하여 다짐관리기준 제시 및 자연상태의 단위중량을 구하여 비탈면 해석시 적용

• 깎기구간 토사의 토량 환산계수를 구하여 토공사비 산정

4.3.5 지하수위 측정

가. 조사목적

• 교량기초 굴착시 배수처리대책을 위한 지하수위 변동 등을 파악하기 위해 실시

• 비탈면 안정성 검토시 상시 지하수위 조건 및 우기시 지하수위 상승을 파악하기 위해 실시

나. 조사방법

• 지하수위 측정은 지하수체 상면의 위치 또는 시추공에 나타나는 정수면의 위치를 지표면 또는 일정한 기준면부터의 심도를 측정하며, 시추공별 지하수위는 24시간 경과 후 측정

다. 조사결과

1) 교량구간 조사결과

공 번	지반고 (EL. m)	공내지하수위 (GL.-m)
SBB-1	61.6	6.8
SBB-2	52.1	1.1
SBB-3	52.0	3.6
SBB-4	47.0	6.0
SBB-35	64.0	2.5
SBB-5	70.5	5.0
SBB-6	58.0	5.3
SBB-7	51.5	5.5
SBB-8	47.0	5.8
SBB-9	75.4	5.5
SBB-10	55.5	2.5
SBB-11	51.5	3.5
SBB-12	47.0	5.7
SBB-86	42.1	1.8
SBB-87	44.0	2.9
SBB-13	43.5	3.3
SBB-14	43.5	3.7
SBB-15	41.7	1.2
SBB-16	41.7	1.0
SBB-17	41.7	0.0
SBB-18	41.7	0.0
SBB-19	43.8	2.2
SBB-20	43.8	2.4
SBB-21	43.8	3.8
SBB-22	43.9	2.5
SBB-23	민원(사업반대)	

공 번	지반고 (EL. m)	공내지하수위 (GL.-m)
SBB-24	민원(사업반대)	
SBB-25	민원(사업반대)	
SBB-26	44.8	1.5
SBB-27	45.8	1.1
SBB-28	46.8	2.6
SBB-29	45.0	1.1
SBB-30	44.4	0.7
SBB-31	47.0	2.6
SBB-32	49.0	4.3
SBB-33	63.0	0.8
SBB-34	64.0	2.7
SBB-36	63.4	2.2
SBB-37	64.9	2.3
SBB-38	64.9	2.2
SBB-39	110.5	굴진심도이하
SBB-40	도로사면으로 장비 진입불가	
SBB-41	124.5	2.9
SBB-42	122.2	2.3
SBB-43	87.0	1.5
SBB-44	92.0	1.4
SBB-45	115.2	0.7
SBB-46	114.8	1.4
SBB-47	119.9	3.3
SBB-48	121.5	3.5
SBB-81	80.0	0.6
SBB-82	78.5	0.5

교량구간 조사결과(계속)

공 번	지반고 (EL. m)	공내지하수위 (GL.-m)
SBB-49	80.0	0.5
SBB-50	78.0	0.5
SBB-51	81.0	1.0
SBB-52	80.8	1.6
SBB-53	84.5	1.3
SBB-54	87.4	굴진심도이하
SBB-83	94.0	굴진심도이하
SBB-84	93.5	굴진심도이하
SBB-55	55.0	2.7
SBB-56	51.0	1.1
SBB-57	49.0	5.7
SBB-58	46.4	3.0
SBB-59	47.4	2.3
SBB-60	44.0	1.6
SBB-61	47.7	5.1
SBB-62	46.3	3.1
SBB-73	42.4	0.9
SBB-74	42.5	0.8

공 번	지반고 (EL. m)	공내지하수위 (GL.-m)
SBB-75	42.0	0.8
SBB-76	45.6	5.2
SBB-77	41.5	1.2
SBB-78	41.3	1.2
SBB-79	42.3	2.0
SBB-80	43.1	2.8
SBB-63	43.5	2.4
SBB-64	급경사지로 장비 진입불가	
SBB-65	43.2	2.3
SBB-66	43.0	2.7
SBB-85	43.0	3.5
SBB-67	42.2	2.5
SBB-68	45.0	3.5
SBB-69	40.9	0.9
SBB-70	40.5	굴진심도이하
SBB-71	44.7	2.3
SBB-72	42.9	4.1
-		

• 교량구간 공내지하수위 측정결과 GL.(-)0.0~5.8m의 심도에서 분포하며, 일부 시추공은 굴진심도이하에 지하수위가 형성되어 있음

2) 깎기구간 조사결과

공 번	지반고 (EL. m)	공내지하수위 (GL.-m)
SCB-1	83.7	12.1
SCB-2	88.5	19.0
SCB-3	65.5	4.5
SCB-4	민원(사업반대)	
SCB-5	86.6	19.5
SCB-6	78.8	7.2
SCB-7	86.7	12.5
SCB-8	92.7	20.5
SCB-9	108.7	11.7
SCB-10	102.1	4.0
SCB-11	125.8	11.7
SCB-12	131.0	14.7
SCB-13	116.0	13.4
SCB-14	140.8	12.7

공 번	지반고 (EL. m)	공내지하수위 (GL.-m)
SCB-15	157.6	12.4
SCB-17	160.7	13.7
SCB-18	민원(사업반대)	
SCB-19	민원(사업반대)	
SCB-20	119.3	2.5
SCB-21	138.9	13.8
SCB-22	120.7	13.3
SCB-23	115.2	4.4
SCB-24	143.8	16.4
SCB-25	130.1	3.8
SCB-26	139.1	2.7
SCB-27	154.0	8.7
SCB-28	160.5	10.6
SCB-29	156.5	8.6

깎기구간 조사결과(계속)

공 번	지반고 (EL. m)	공내지하수위 (GL.-m)
SCB-30	146.4	2.1
SCB-31	165.3	10.2
SCB-32	135.3	4.0
SCB-33	민원(사업반대)	
SCB-34	민원(사업반대)	
SCB-35	급경사지로 장비 진입불가	
SCB-36	급경사지로 장비 진입불가	

공 번	지반고 (EL. m)	공내지하수위 (GL.-m)
SCB-37	급경사지로 장비 진입불가	
SCB-38	113.4	12.8
SCB-39	108.4	13.2
SCB-40	100.7	8.7
SCB-41	84.9	3.8
SCB-42	83.3	3.1
SCB-43	민원(사업반대)	

• 깎기구간 공내지하수위 측정결과 GL.(-)2.1~20.5m의 심도에서 분포

3) 쌓기구간 조사결과

공 번	지반고 (EL. m)	공내지하수위 (GL.-m)
SSB-1	44.6	2.1
SSB-2	45.8	3.0
SSB-3	45.9	2.1
SSB-4	66.0	1.5
SSB-5	100.1	1.2
SSB-6	106.5	3.5
SSB-7	89.0	2.3
SSB-8	95.9	굴진심도이하
SSB-9	109.9	굴진심도이하

공 번	지반고 (EL. m)	공내지하수위 (GL.-m)
SSB-10	57.2	1.0
SSB-11	45.0	0.8
SSB-12	42.0	2.0
SSB-13	42.7	2.2
SSB-14	44.55	2.2
SSB-15	44.6	4.8
SSB-16	116.4	0.8
SSB-17	83.5	2.1
SSB-18	91.8	0.3

• 쌓기구간 공내지하수위 측정결과 GL.(-)0.3~4.8m의 심도에서 분포하며, 일부 시추공은 굴진심도이하에 지하수위가 형성되어 있음

4) 기타구조물 및 토취장 조사결과

기타구조물		
공 번	지반고 (EL. m)	공내지하수위 (GL.-m)
SNB-1	112.5	4.8

토취장		
공 번	지반고 (EL. m)	공내지하수위 (GL.-m)
ST-1, ST-2	민원(사업반대)	

라. 설계활용

• 지하수위 변화에 따른 수압 및 유효상재하중 산정, 교량기초 터파기시 유입수량 계산 및 배수대책 강구, 비탈면 안정성 검토시 상시 지하수위 조건과 우기시 지하수위 상승에 따른 안정성 검토 수행

• 암반분류(RMR 분류)시 지하수위 조건에 따라 입력 변수 결정

4.4 현장시험

4.4.1 표준관입시험

가. 시험목적

- 지층의 상대밀도, 연경도 및 구성성분 파악
- N값으로부터 지반의 강도특성 및 변형특성을 파악하고, 교란시료를 채취하여 육안판별 및 실내물성시험 시료로 이용

나. 시험 방법

- 한국산업규격(KS F-2318)에 의거 토사 및 풍화대에서 1.0m마다 시행
- Spilt spoon sampler를 boring rod의 하단에 연결하여 boring hole밑에 내리고 rod의 상단에 연결된 knocking block에 표준해머(64kg)를 낙하고 76cm에서 15cm씩 3단계로 시행하며, 2, 3단계에서 sampler를 30cm 관입하는데 소요된 타격회수를 N값으로 산정함
- 지층이 조밀 또는 견고하여 30cm 관입이 곤란할 때는 50회까지 타격하고, 그 때의 관입 심도를 기록(예 50/3 : 50회 타격에 3cm 관입)

표준관입시험 전경



다. 표준관입시험 측정 결과

- 교량구간, 깎기구간, 쌓기구간, 기타구조물에서 1m 간격으로 총 1,428회의 표준관입시험을 실시하였으며 각 구간별 결과는 다음과 같음

1) 교량구간

구 분	공 번	전답층	매립층	붕적층	충적층	풍화토	풍화암
수락천교	SBB-86	-	-	-	1/30~10/30	50/17	-
	SBB-87	-	6/30~7/30	-	3/30~13/30	19/30~50/29	50/7
옥산JCT R-D교	SBB-1	-	8/30~18/30	-	-	12/30~50/15	50/10~50/3
	SBB-2	-	5/30~12/30	-	-	22/30~50/24	50/10~50/6
	SBB-3	-	7/30~10/30	-	-	13/30~50/18	-
	SBB-4	-	9/30~11/30	-	9/30~10/30	18/30~50/25	50/10~50/3
옥산JCT R-C교	SBB-35	-	-	-	-	50/24	-
	SBB-5	-	-	-	-	12/30~50/12	50/8
	SBB-6	-	12/30~18/30	-	-	35/30~50/15	50/5~50/3
	SBB-7	-	4/30~8/30	-	-	30/30~50/15	-
	SBB-8	-	8/30~9/30	-	4/30~33/30	50/13	50/5

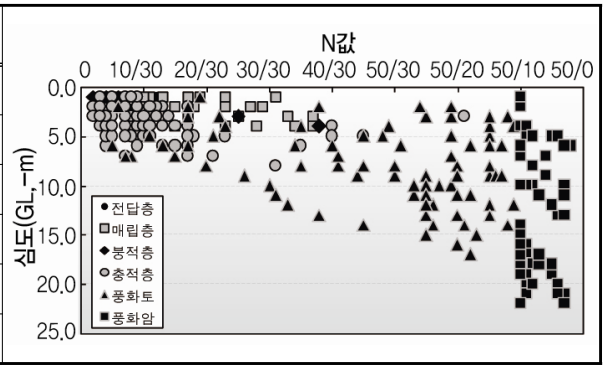
교량구간(계속)

구 분	공 번	전답층	매립층	붕적층	충적층	풍화토	풍화암
옥산JCT R-A교	SBB-9	-	-	-	-	18/30~50/15	50/10~50/4
	SBB-10	-	6/30	-	-	35/30	-
	SBB-11	-	9/30~17/30	-	-	50/15~50/12	50/10
	SBB-12	-	7/30~21/30	-	5/30~8/30	26/30~50/12	-
병천천교	SBB-13	-	-	-	3/30~28/30	50/25~50/13	-
	SBB-14	-	-	-	4/30~21/30	50/18	-
	SBB-15	-	-	-	4/30~23/30	50/30~50/11	-
	SBB-16	-	-	-	4/30~17/30	50/27~50/21	50/10
	SBB-17	-	-	-	3/30~15/30	-	-
	SBB-18	-	-	-	4/30~17/30	-	50/7
	SBB-19	-	-	-	5/30~28/30	-	50/8~50/4
	SBB-20	-	-	-	8/30~24/30	-	50/3
	SBB-21	-	-	-	7/30~41/30	-	50/9~50/3
	SBB-22	-	-	-	7/30~38/30	-	50/3
	SBB-23	민원(사업반대)					
	SBB-24	민원(사업반대)					
상장남교	SBB-25	민원(사업반대)					
	SBB-26	-	-	-	4/30~36/30	-	-
	SBB-27	-	-	-	6/30~12/30	-	-
용두천교	SBB-28	-	6/30	-	9/30~26/30	37/30~50/14	50/9~50/4
	SBB-29	-	-	-	6/30~21/30	-	-
	SBB-30	-	-	-	2/30~24/30	32/30~50/12	50/9~50/7
	SBB-31	-	-	-	7/30~20/30	32/30~50/13	-
백현교	SBB-32	4/30~6/30	-	-	4/30~10/30	-	-
호죽1교	SBB-33	-	-	-	2/30~15/30	50/21~50/15	50/8
	SBB-34	-	4/30	-	3/30~9/30	15/30~50/11	-
호죽2교	SBB-36	-	5/30	-	4/30~10/30	17/30	-
	SBB-37	-	-	-	3/30~13/30	21/30~34/30	-
	SBB-38	-	-	-	5/30~17/30	50/15	50/6
성산교	SBB-39	-	-	6/30~7/30	-	50/15~50/13	50/10
	SBB-40	도로사면으로 장비 진입불가					
서오창IC R-A2교	SBB-41	-	-	-	-	50/29~50/15	50/5
	SBB-42	-	-	4/30~38/30	-	-	-
서오창IC R-A1교	SBB-43	-	-	2/30~5/30	-	17/30~50/29	50/10~50/3
	SBB-44	-	-	4/30~7/30	-	49/30~50/15	-
양청교	SBB-45	-	5/30	-	-	50/12	50/10~50/4
	SBB-46	-	5/30	-	-	6/30~50/7	50/10~50/4
양지교	SBB-47	-	18/30~19/30	-	3/30~4/30	5/30~50/12	50/10~50/8
	SBB-48	-	15/30~17/30	-	3/30~5/30	5/30~50/18	50/10~50/3

교량구간(계속)

구 분	공 번	전답층	매립층	붕적층	충적층	풍화토	풍화암
산수교	SBB-81	-	-	-	-	22/30	-
	SBB-82	12/30	-	-	-	-	-
	SBB-49	3/30~5/30	-	-	-	-	-
	SBB-50	-	-	-	-	-	-
	SBB-51	5/30	-	-	-	-	50/10
	SBB-52	5/30	-	-	-	-	50/10
	SBB-53	-	-	-	-	-	50/10
	SBB-54	-	-	-	-	19/30~50/15	50/9
	SBB-83	-	-	-	-	50/13~50/15	50/10~50/6
	SBB-84	-	-	-	-	42/30~50/13	-
복현1교	SBB-55	-	-	12/30	-	17/30~50/25	50/10~50/2
	SBB-56	-	13/30	-	-	50/26~50/15	50/9
	SBB-57	7/30~8/30	-	-	4/30~13/30	50/21~50/15	-
복현2교	SBB-58	-	-	-	25/30~38/30	50/27	50/2
	SBB-59	-	-	-	7/30~40/30	50/18	-
복현3교	SBB-60	-	-	-	7/30~17/30	11/30~50/13	50/10~50/3
	SBB-61	-	4/30	-	5/30~50/8	26/30~50/25	50/10~50/3
	SBB-62	-	4/30~5/30	-	9/30~23/30	40/30	50/10
오창JCT R-A교	SBB-73	-	23/30~37/30	-	-	31/30~50/13	50/10~50/8
	SBB-74	8/30	-	-	8/30~35/30	41/30~50/17	50/10~50/5
	SBB-75	-	6/30~37/30	-	-	22/30~50/21	50/9
오창JCT R-D교	SBB-63	-	-	-	6/30~18/30	50/25~50/19	50/10~50/5
	SBB-64	급경사지로 장비 진입불가					
오창JCT R-D교	SBB-65	-	17/30~23/30	-	-	14/30~50/21	50/9~50/3
	SBB-66	8/30	-	-	9/30~10/30	37/30	50/8
	SBB-85	-	-	-	6/30~25/30	50/23~50/15	50/9~50/5
	SBB-67	-	-	-	7/30~11/30	-	50/8
	SBB-68	-	-	-	5/30~45/30	-	50/10
	SBB-69	-	-	-	8/30~50/9	-	-
	SBB-70	-	-	-	9/30~17/30	-	50/4
	SBB-71	-	-	-	8/30~17/30	50/13	50/6
	SBB-72	-	31/30	-	-	50/21~50/11	50/8~50/3

구 분	N 값
전답층	3/30~12/30
매립층	4/30~37/30
붕적층	2/30~38/30
충적층	2/30~50/9
풍화토	5/30~50/11
풍화암	50/10~50/2



• 교량구간 표준관입시험 측정 결과 전답층은 3/30~12/30, 매립층은 4/30~37/30, 붕적층은 2/30~38/30, 충적층은 2/30~50/9, 풍화토는 5/30~50/11, 풍화암은 50/10~50/2의 범위로 분포

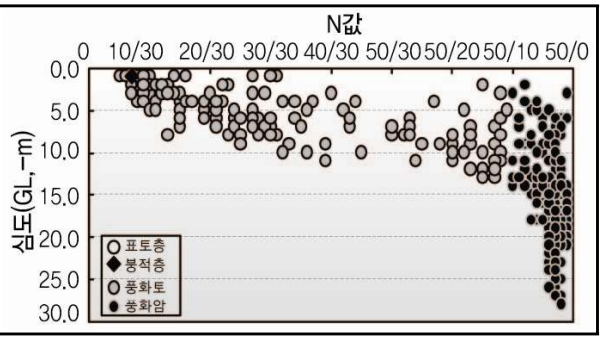
2) 깎기구간

공 번	표토층	붕적층	매립층	풍화토	풍화암
SCB-1	-	-	-	13/30~50/15	50/10~50/1
SCB-2	-	-	-	38/30~50/13	50/10~50/1
SCB-3	-	-	-	50/25~50/13	50/8~50/1
SCB-4	민원(사업반대)				
SCB-5	-	-	-	8/30~50/12	50/10~50/1
SCB-6	-	-	-	7/30~50/18	50/8~50/1
SCB-7	-	-	-	5/30~50/20	50/8~50/1
SCB-8	-	-	-	7/30~50/12	50/8~50/1
SCB-9	-	-	-	10/30~16/30	50/8~50/2
SCB-10	-	-	-	16/30~50/20	-
SCB-11	-	8/30	-	10/30~50/12	50/7~50/2
SCB-12	-	9/30	-	10/30~50/10	50/7~50/2
SCB-13	-	7/30	-	11/30~50/15	50/8~50/2
SCB-14	-	-	-	6/30~50/13	50/10~50/3
SCB-15	7/30	-	-	7/30~50/13	50/9~50/2
SCB-17	-	-	-	6/30~50/17	50/6~50/3
SCB-18	민원(사업반대)				
SCB-19	민원(사업반대)				
SCB-20	-	-	-	31/30	50/8
SCB-21	-	-	-	14/30~50/12	50/9~50/1
SCB-22	-	7/30	-	20/30~50/18	50/7~50/2
SCB-23	-	-	-	30/30	50/8~50/1
SCB-24	-	-	-	7/30~50/17	50/9~50/4
SCB-25	-	-	-	27/30~50/12	50/8~50/1
SCB-26	-	13/30	-	12/30	50/10~50/2
SCB-27	-	-	-	9/30~50/11	50/9~50/2
SCB-28	-	-	-	9/30~32/30	50/10~50/3
SCB-29	-	-	-	8/30~50/15	50/9~50/3
SCB-30	-	-	-	18/30~50/29	50/3
SCB-31	-	-	-	17/30~50/12	50/7~50/1
SCB-32	-	-	-	-	50/5~50/2
SCB-33	민원(사업반대)				
SCB-34	민원(사업반대)				
SCB-35	급경사지로 장비 진입불가				
SCB-36	급경사지로 장비 진입불가				

깎기구간(계속)

공 번	표토층	붕적층	매립층	풍화토	풍화암
SCB-37	급경사지로 장비 진입불가				
SCB-38	-	-	-	13/30~50/13	50/8~50/2
SCB-39	-	-	-	8/30~50/13	50/10~50/3
SCB-40	-	-	-	30/30~50/13	50/9~50/1
SCB-41	-	-	-	10/30~50/17	50/6~50/5
SCB-42	-	-	-	10/30~50/12	50/9~50/2
SCB-43	민원(사업반대)				

구 분	N 값
표토층	7/30
붕적층	7/30~13/30
매립층	-
풍화토	5/30 ~ 50/11
풍화암	50/10 ~ 50/1

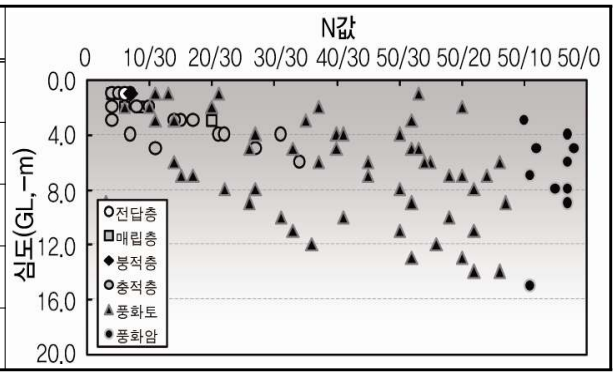


• 깎기구간 표준관입시험 측정 결과 표토층은 7/30, 붕적층은 7/30~13/30, 풍화토는 5/30~50/11, 풍화암은 50/10~50/1의 범위로 분포

3) 쌓기구간

공 번	전답층	매립층	붕적층	충적층	풍화토	풍화암
SCB-1	-	5/30~20/30	-	6/30~9/30	-	50/7~50/2
SCB-2	-	4/30~6/30	-	9/30~11/30	-	-
SCB-3	-	5/30	-	9/30~17/30	40/30~50/15	-
SCB-4	6/30	-	-	4/30~11/30	14/30~50/14	50/9
SCB-5	-	-	7/30	-	10/30~50/18	-
SCB-6	-	-	-	-	11/30~50/14	50/9~50/3
SCB-7	-	-	-	4/30	6/30~50/16	50/5~50/3
SCB-8	-	-	-	-	50/27~50/20	50/10~50/2
SCB-9	-	-	-	-	13/30	-
SCB-10	-	-	-	-	21/30~50/13	-
SCB-11	-	-	-	7/30~31/30	-	50/8~50/3
SCB-12	-	-	-	5/30~21/30	26/60~50/18	-
SCB-13	-	-	-	6/30~34/30	17/30~50/18	-
SCB-14	-	2/30	-	2/30~6/30	12/30~29/30	50/9~50/6
SCB-15	-	5/30~11/30	-	3/30~11/30	28/30~50/20	50/9~50/6
SCB-16	-	6/30	-	-	14/30~50/23	50/8~50/5
SCB-17	-	-	-	-	41/30~50/27	50/8~50/6
SCB-18	-	-	-	2/30~3/30	10/30~50/20	50/8~50/7

구 분	N 값
전답층	6/30
붕적층	7/30
충적층	4/30~34/30
풍화토	3/30 ~ 50/13
풍화암	50/10 ~ 50/2



• 깎기구간 표준관입시험 측정 결과 표토층은 7/30, 붕적층은 7/30~13/30, 풍화토는 5/30~50/11, 풍화암은 50/10~50/1의 범위로 분포

4) 기타구조물

공 번	전답층	매립층	붕적층	풍화토	풍화암
SNB-1	-	-	-	31/30~50/29	50/10~50/2

5) 토취장

공 번	전답층	매립층	붕적층	풍화토	풍화암
ST-1	민원(사업반대)				
ST-2	민원(사업반대)				

라. 설계활용 방안

구 분		설 계 적 용 내 용	
지반에 대한 종합 판정		• 지반구성과 강도 분포 • 기초의 지지층 심도 • 말뚝이나 널말뚝 관입의 가능성 • 연약층 유무, 투수층 유무 • 지반개량 방법과 효과의 판정	
N값에 의한 추정 항목	모래 지반	• 상대밀도 • 액상화 가능성 • 내부마찰각 • 간극비 • 지지력 계수 • 기초의 탄성침하 및 허용지지력	• 말뚝의 연직지지력 • 말뚝의 수평지지력 • 지반반력계수 • 변형계수
	점토 지반	• 컨시스턴시 • 기초지반의 허용지지력 • 일축압축강도 • 파괴에 대한 지지력 • 비배수점착력	

4.4.2 SPT 에너지 효율시험

가. 시험목적

- 시추Rod에 전달되는 타격에너지를 측정하여 이론적 에너지(효율 100%)와 실측 에너지를 비교하여 표준관입시험 해머의 에너지 전달효율을 구함으로써 N값의 신뢰도를 높임
- 현장에 투입된 시추장비를 대상으로 표준관입시험시 Rod에 전달된 실제 타격에너지를 측정한 후 이를 동적 에너지와 비교하여 에너지 전달율 산정

나. 원리 및 시험방법

- 변형율계와 가속도계를 Rod 상단에 연결하여 해머가 시험용 Rod를 타격하는 동안 변형율과 가속도를 측정
- 측정된 아날로그 신호는 PDA를 통해서 디지털화 되어 힘과 입자속도로 변환되고, EF2 적분법과 EFV 적분법으로 Rod에 전달된 에너지를 계산
- 변형율과 입자의 속도를 동시에 측정하므로 힘과 속도 효율을 따로 고려하는 불편과 부정확성을 제거
- 시추조사에 투입된 장비별로 해머에너지 효율을 측정, 해머효율 보정계수를 산정하여 N값 보정시 적용

구 분	내 용	시험 전경
가속도계	• Quartz Crystal로 구성된 Piezo-electic 방식	
변형률계	• Resistance Foil Gauges를 부착한 Frame	
항타분석기	• Maker = Pile Dynamics, inc. U.S.A Model = PAL, Serial No. 4026	
Main cable	• 25m(PDI), Connection Cable	

다. 시험현황 및 결과

- 표준관입시 Rod에 전달된 실제 타격에너지를 측정한 결과 에너지 전달율(ETR,%)은 평균 60.9~66.2% 범위로 나타나며, N_{60} 대비 101.5~110.3% 범위로 나타남
- 측정 평균이 63.8%이므로 설계시 N_{60}은 해머효율 60%로 사용
- 장비별 효율시험 결과를 적용 표준관입시험 값을 보정하여 측정된 N값의 신뢰성 확보

구 분	해머종류	지층	측정심도 GL(-)m	EMX(kN · m)		ETR(%)	
				범위	평균	범위	평균
1호기 (SBB-63)	Auto Hammer	풍화암층	7.0	0.285~0.327	0.307	56.0~67.7	60.9
2호기 (SCB-26)	Auto Hammer	풍화암층	3.0	0.289~0.326	0.311	59.9~67.6	64.5
3호기 (SCB-42)	Auto Hammer	풍화토층	6.0	0.302~0.339	0.319	62.6~70.2	66.2

※EMX(Energy Max Transferred) : ※ETR(Energy Transfer Ratio) : 에너지 전달율
※상세 효율보정 결과는 부록 참조

라. N값의 보정

• N값에 미치는 영향요인은 매우 다양하여 이들을 충분히 반영하기는 어려우나 설계의 내실화와 최적화를 위해서는 일부 영향요인에 대한 고려가 불가피하므로, 이를 위해서 각 영향요인에 대한 N값의 보정(corrections)을 실시함(부록참조)

• N값 보정 제안식(Skempton, 1986)

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

▶ N_{60} : 해머효율 60%로 보정한 표준관입시험 결과

- N : 장비별 표준관입시험 결과
- CN : 유효상재하중에 대한 보정(상부토사층 분포심도가 낮으므로 고려치 않음)
- η_1 : 해머효율 보정계수 (해머효율(60%) = 1.0)
- η_2 : Rod길이 보정계수(상부토사층 분포심도가 낮으므로 고려치 않음)
- η_3 : 샘플러 종류 보정계수(Liner가 있는 경우, 표준샘플러 = 1.0)
- η_4 : 굴착직경에 따른 보정계수(굴착직경 6.5~115mm = 1.0)

마. 설계활용

• 시추조사에 이용된 시추장비별 에너지효율을 측정하여 장비별 표준관입시험 보정계수 산정

• 측정된 N값의 신뢰도를 확보

• 사질토의 지반정수 산정, 연경도 분석에 활용

4.4.3 현장투수시험

가. 조사목적

- 계획노선 구간내 분포하고 있는 토사 및 풍화대층의 투수계수 측정
- 교량기초 터파기시 유입량 계산 및 배수대책 수립
- 비탈면에서 상시 지하수위 조건 및 우기시 지하수위 상승에 맞는 안정성 검토

나. 시험방법

- 지반의 투수성을 파악하기 위해 시추공내에서 수위 강하법(Falling Head Method) 적용
- 시험구간이 지하수면 하부에 위치하는 경우

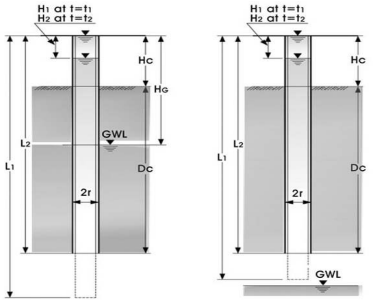
$$k = \frac{d^2 \times \log(2L/D)}{8L \times (t_2 - t_1)} \times \log(H_2 - H_1)$$

k : 투수계수(cm/s) L : 시험구간(cm)
D : 시추공경(cm) d : 케이싱직경(cm)
t_1, t_2 : 경과시간(s) H_1, H_2 : Piezometer Head(cm)

- 시험구간이 지하수면 상부에 위치하는 경우

$$k = \frac{2 \times 30 \times Q}{2\pi L^2} \times \left[\log_{10} \left\{ \frac{L}{r} + \sqrt{1 + (1 + \frac{L}{r})^2} - 1 \right\} \right]$$

r : 케이싱반경(cm)
Q : 주입유량(cm^3/s)

시험 과정	시험 모식도
• 슬러그 또는 계측기, 수위계, 초시계, 줄자를 이용 • 정호의 정보 취득 • 초기정류수위 측정 • 수위변화 유발 • 초기정류수위로 회복될 때까지 수위 측정 • 해석모델을 이용 수리상수 추정	

다. 시험현황 및 결과

1) 교량 구간

공번	시험심도 (GL. -m)	지층	N값	지하수위 (GL. -m)	투수계수 (cm/s)
SBB-32	3.0~4.0	충적층	10/30	4.3	7.21×10^{-4}
SBB-39	3.5~5.0	풍화토	50/15	11.0	$6.02E\times10^{-5}$
SBB-42	2.0~3.0	붕적층	25/30	2.3	4.84×10^{-4}
SBB-44	4.0~5.0	풍화토	49/30	1.4	1.12×10^{-4}
SBB-45	1.0~2.0	매립층	5/30	0.7	8.06×10^{-4}

교량구간(계속)

공번	시험심도 (GL. -m)	지층	N값	지하수위 (GL. -m)	투수계수 (cm/s)
SBB-51	0.5~1.0	전답층	5/30	1.0	5.57×10^{-4}
SBB-84	1.5~3.0	충적층	15/30	0.7	6.34×10^{-4}
SBB-60	5.0~6.0	풍화토	11/30	1.6	3.10×10^{-4}
SBB-62	4.5~5.5	충적층	23/30	3.1	2.82×10^{-3}
SBB-63	1.0~2.0	충적층	7/30	2.4	9.59×10^{-4}
SBB-67	3.0~4.0	충적층	11/30	2.5	4.58×10^{-3}
SBB-71	2.0~3.0	충적층	10/30	2.3	5.52×10^{-4}

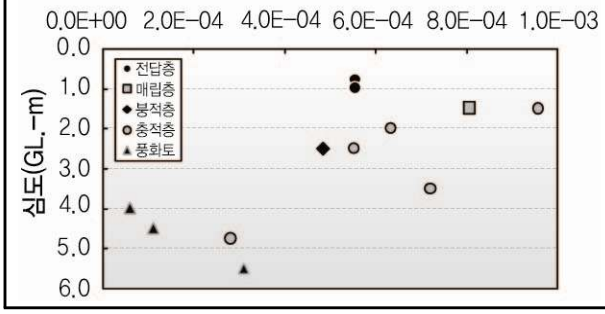
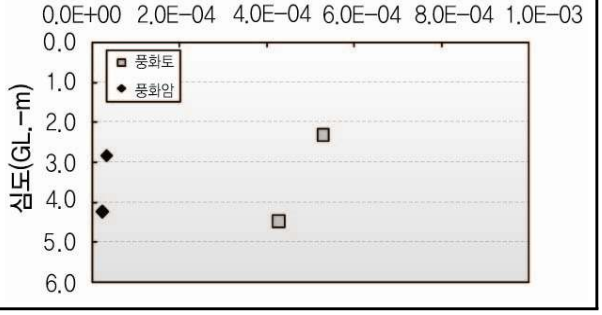
• 교량구간은 전답층 5.57×10^{-4}cm/s, 충적층 4.58×10^{-4}~2.82×10^{-3}cm/s, 풍화토층 3.10×10^{-4}cm/s로 나타남

2) 깎기 구간

공번	시험심도 (GL. -m)	지층	N값	지하수위 (GL. -m)	투수계수 (cm/s)
SCB-7	12.5~13.0	풍화암	50/8	12.5	2.35×10^{-5}
SCB-12	13.0~14.0	풍화토	50/13	14.7	4.29×10^{-4}
SCB-17	6.0~7.5	풍화토	19/30	13.7	5.29×10^{-4}
SCB-38	8.0~9.0	풍화암	50/8	12.8	3.23×10^{-5}

• 풍화토층 5.29×10^{-4}~4.29×10^{-4}cm/s, 풍화암층은 3.23×10^{-5}~2.35×10^{-5}cm/s로 나타남

3) 구간별 투수계수 분포

교량구간	깎기구간
	

라. 설계활용

• 토사지반의 투수계수 k값 산정을 통해 수치해석에 의한 침투류 해석시 입력자료로 적용

• 교량기초 터파기시 유입량을 계산하고, pump 대수 결정

• 구조물구간의 차수공법 검토

4.4.4 공내재하시험

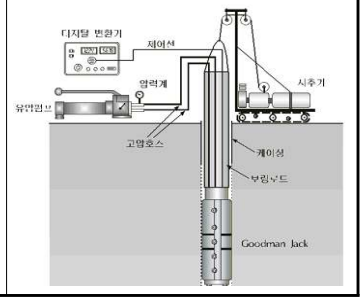
가. 시험목적

- 시추공 벽면 가압시 공벽면의 변형량을 측정함으로써 지반의 변형특성을 조사
- 지층별 변형특성의 파악과 구조물의 기초조사 방법 및 암반분류의 지표를 얻기 위하여 실시

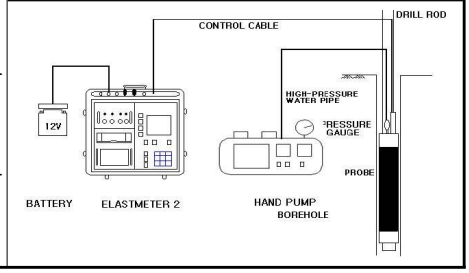
나. 시험방법

- 불균질 지반이나 이방성 지반의 경우에는 재하방법에 따라 시험치가 다르게 될 경우가 있기 때문에 재하방향을 명확히 할 필요가 있음

1) 등변위 재하시험(Goodman Jack)

	시험 모식도
• 가압성능 및 시험의 신뢰성을 고려하여 지층조건에 따라 시험법을 달리함 • 등변위시험은 Probe를 시추공 내에 삽입하고, 유압 Jack으로 공벽에 하중을 가하는 방식 • 시험시의 지반내 응력분포가 복잡하지만 등분포재하법과 비교해서 큰 하중을 가할 수 있는 장점이 있음	

2) 등분포 재하시험(PMT)

	시험 모식도
• 시추공 내에 고무튜브의 측정관을 삽입하고, 측정관에 가압액이나 공기를 빼내는 방법으로 공벽에 등분포하중을 주는 방식 • 시추공 공벽에 대하여 동등한 하중이 가해지기 때문에 응력분포가 축대칭이 되고 이론적인 취급이 용이함 • 불균질지반이나 이방성지반의 경우에 얻어지는 변형계수 등은 시험지점의 공벽 전둘레의 평균값이 됨	

다. 시험현황 및 결과

공 번	심 도 (m)	지층구분	N값/RQD	현장변형계수 D_t(MPa)	현장탄성계수 E_f(MPa)	비고
SBB-6	10.0	경암	72	1.22E+04	1.75E+04	GMJ
SBB-10	3.0	경암	87	1.85E+04	2.33E+04	
SSB-52	3.0	연암	32	3.44E+03	5.31E+04	
SBB-80	8.0	경암	87	9.87E+03	1.31E+04	

공내재하시험(계속)

공 번	심 도 (m)	지층구분	N값/RQD	현장변형계수 D_t(MPa)	현장탄성계수 E_f(MPa)	비고
SBB-2	12.5	연암	42	3.55E+03	4.49E+03	PMT
SBB-3	16.0	연암	53	1.70E+03	2.19E+03	
SBB-4	15.0	연암	45	2.22E+03	3.09E+03	
SBB-8	15.5	연암	38	2.42E+03	3.23E+03	
SBB-13	13.0	연암	29	3.14E+03	4.48E+03	
SBB-16	15.5	연암	22	2.18E+03	3.12E+03	
SBB-21	16.5	연암	29	2.54E+03	3.39E+03	
SBB-29	9.0	연암	53	5.01E+03	6.79E+03	
SBB-31	17.5	연암	5	8.47E+02	1.03E+03	
SBB-32	9.5	연암	17	3.02E+03	4.80E+03	
SBB-33	12.0	연암	32	2.35E+03	3.43E+03	
SBB-36	8.0	연암	15	3.11E+03	5.16E+03	
SBB-39	8.5	연암	48	3.14E+03	4.03E+03	
SBB-42	6.5	연암	14	2.37E+03	3.08E+03	
SSB-43	10.0	풍화암	50/3	3.99E+02	5.37E+02	
SBB-46	17.0	풍화암	50/9	2.53E+02	3.69E+02	
SBB-84	6.5	연암	38	9.15E+02	1.28E+03	
SBB-55	8.5	연암	20	2.31E+03	3.74E+03	
SBB-57	7.0	연암	45	4.25E+03	6.20E+03	
SBB-58	6.5	연암	20	1.10E+03	1.68E+03	
SBB-74	21.0	연암	39	3.42E+03	5.46E+03	
SBB-78	8.0	풍화암	50/4	4.74E+03	6.06E+03	
SBB-79	10.0	연암	42	2.57E+03	3.50E+03	
SBB-63	12.0	연암	35	2.40E+03	3.30E+03	
SBB-67	7.0	연암	33	3.58E+03	5.07E+03	
SBB-71	8.5	연암	31	2.55E+03	3.83E+03	

• 교량구간에 대한 공내재하시험결과 지층별 변형계수는 풍화암 2.53E+02~4.74E+03MPa, 연암 8.47E+02~5.01E+03MPa, 경암 9.87E+03~1.85E+04MPa의 범위를 나타내고 있으며, 탄성계수는 풍화암 3.69E+02~6.06E+03MPa, 연암 1.03E+03~5.31E+04MPa 경암 1.31E+04~2.33E+04MPa의 범위로 나타남

라. 설계활용

• 말뚝기초 수평지지력 및 수평 지반반력계수 산정시 활용

• 교량기초의 허용지지력 추정 및 변형특성 분석자료로 활용

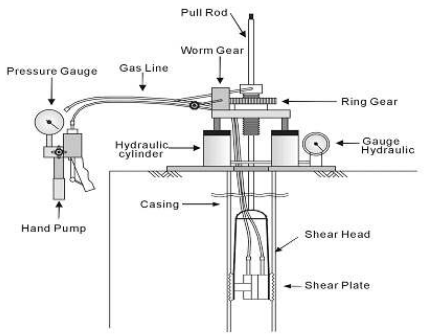
4.4.5 공내전단시험

가. 시험목적

- 풍화대층의 현장 강도정수 파악을 위하여 시추조사와 병행하여 실시
- 현장에서 시추공을 이용한 방법으로서 신뢰성 높은 강도정수 C, ϕ 결정

나. 시험방법

- 전단플레이트에 소정의 압력을 가해서 시추공벽에 압입시키면서 center hole jacky로 Rod를 인발하고, 그때의 인장력을 측정
- 전단플레이트에 가하는 압력을 바꾸어 측정한 인장력으로부터 Mohr-Coulomb의 파괴기준에 근거하여 점착력과 전단저항각을 산정

시험 과정	시험 모식도
• 시험시추공에 전단부를 삽입 • 시추공 상부 주변 지표면에 인발장치(Pulling Device) 저판을 거치 • 시험 심도에 Probe를 삽입한 후 지상에서 핸드펌프를 이용하여 고압호스로 가압 • 시추공내 전단기(Shear Head)에 3~5회 증가시켜 수평 압력(Normal Stress)을 가함 • Probe와 연결된 Rod를 지상에서 유압잭을 이용하여 인발하는 과정을 통해 전단력(Shear Stress)을 가하여 강도정수를 산정	

다. 시험현황 및 결과

1) 교량 구간

공 번	지 층	시험심도 (GL.-m)	연직응력 (MPa)	전단응력 (MPa)	c (MPa)	ϕ (^{o})
SBB-39	풍화토	4.0	0.020	0.035	0.024	31.59
			0.040	0.050		
			0.060	0.065		
			0.080	0.069		
			0.100	0.087		
SBB-43	풍화토	5.0	0.020	0.029	0.021	29.25
			0.040	0.048		
			0.060	0.058		
			0.080	0.060		
			0.100	0.079		

교량구간(계속)

공 번	지 층	시험심도 (GL.-m)	연직응력 (MPa)	전단응력 (MPa)	c (MPa)	ϕ (^{o})
SBB-46	풍화토	5.0	0.020	0.028	0.021	29.68
			0.040	0.047		
			0.060	0.058		
			0.080	0.069		
			0.100	0.073		
			0.120	0.090		
SBB-52	풍화암	2.0	0.030	0.050	0.025	29.99
			0.050	0.055		
			0.070	0.060		
			0.090	0.069		
			0.110	0.090		
			0.130	0.108		
SBB-84	풍화토	2.0	0.020	0.031	0.023	30.11
			0.040	0.045		
			0.060	0.067		
			0.080	0.069		
			0.100	0.077		
SBB-55	풍화암	5.0	0.030	0.044	0.031	36.34
			0.050	0.075		
			0.070	0.087		
			0.090	0.099		
			0.110	0.106		
			0.130	0.126		
SBB-57	풍화토	5.5	0.030	0.042	0.021	30.96
			0.050	0.051		
			0.070	0.069		
			0.090	0.076		
SBB-74	풍화토	9.0	0.020	0.031	0.024	31.23
			0.050	0.057		
			0.070	0.073		
			0.100	0.079		
			0.120	0.096		
SBB-63	풍화토	7.0	0.020	0.033	0.024	31.17
			0.040	0.051		
			0.060	0.061		
			0.080	0.074		
			0.100	0.082		
SBB-67	풍화암	5.0	0.30	0.049	0.031	35.18
			0.50	0.069		
			0.70	0.079		
			0.90	0.098		
			0.11	0.105		

교량구간(계속)

공 번	지 층	시험심도 (GL.-m)	연직응력 (MPa)	전단응력 (MPa)	c (MPa)	ϕ (°)
SBB-71	풍화토	6.0	0.030	0.038	0.023	31.51
			0.050	0.059		
			0.080	0.073		
			0.100	0.079		
			0.120	0.099		

- 풍화토의 경우 점착력은 0.021~0.024MPa, 내부마찰각은 29.25~31.51° 의 범위로 나타남
- 풍화암의 경우 점착력은 0.025~0.031MPa, 내부마찰각은 29.99~36.34° 의 범위로 나타남

2) 깎기구간

공 번	지 층	시험심도 (GL.-m)	연직응력 (MPa)	전단응력 (MPa)	c (MPa)	ϕ (°)
SCB-8	풍화토	8.0	0.020	0.032	0.024	30.19
			0.050	0.053		
			0.070	0.072		
			0.100	0.077		
			0.130	0.099		
SCB-20	풍화토	1.0	0.020	0.029	0.020	27.92
			0.040	0.045		
			0.060	0.053		
			0.080	0.059		
			0.100	0.070		
			0.120	0.087		
SCB-21	풍화암	7.5	0.020	0.043	0.031	35.28
			0.040	0.063		
			0.070	0.077		
			0.090	0.093		
			0.110	0.110		
SCB-23	풍화암	2.0	0.030	0.050	0.030	35.10
			0.050	0.067		
			0.070	0.075		
			0.090	0.099		
			0.110	0.108		
			0.130	0.119		

- 풍화토의 경우 점착력은 0.020~0.024MPa, 내부마찰각은 27.92~31.59° 의 범위로 나타남
- 풍화암의 경우 점착력은 0.030~0.031MPa, 내부마찰각은 35.10~35.28° 의 범위로 나타남

라. 설계활용

- 비탈면 안정성 검토시 풍화암의 점착력 및 내부마찰각 입력치로 적용
- 교량기초의 침하 및 지지력 계산시 설계입력자료로 활용

4.5 실내 토질시험

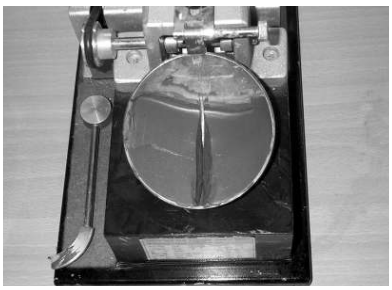
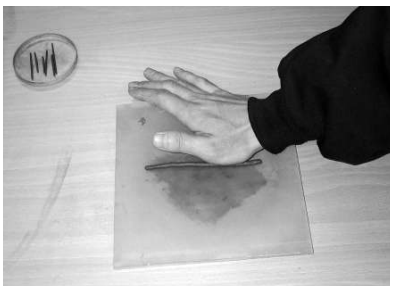
4.5.1 기본 물성시험

가. 시험목적

• 계획노선구간에 분포하는 각 지층의 물리적, 역학적 특성을 파악하기 위하여 교량구간, 깎기구간, 쌓기구간 시추조사 시 표준관입시험과 시험굴조사 과정에서 확보한 시료들 중 대표시료를 선정하여 KS F 관련규정에 의거 실내시험을 실시

나. 시험방법

시험명칭		시험결과값	시험결과의 이용	표준방법
함수비시험		함수비	지반의 자연함수상태 파악	KS F 2306
비중시험		비 중	지반의 단위중량 추정	KS F 2308
입도분석 시험	체분석시험	입도분포곡선	지반의 입도 조성 파악	KS F 2309
	비중계분석시험			KS F 2302
액성한계시험		액성한계	흙의 분류와 공학적 성질 추정	KS F 2303
소성한계시험		소성한계		KS F 2304

비 중 시 험	액 성 한 계 시 험	소 성 한 계 시 험
		

시험명칭	교량구간	토공구간	TP	계
함수비시험	105	44	20	169
비중시험				
입도분석				
액성한계시험				
소성한계시험				

다. 시험결과

1) 교량구간

공번	지층명	심도 (GL.-m)	함수비 (%)	비중	액·소성시험(%)		체분석시험(%)				통일 분류 (USCS)
					LL	Pl	2㎛	#200	#10	#4	
SBB-1	매립층	5.0	19.3	2.67	NP	-	8.6	35.0	86.7	95.3	SM
SBB-1	풍화토	10.0	15.2	2.66	NP	-	8.1	25.6	94.5	100	SM
SBB-2	매립층	1.0	15.5	2.65	NP	-	-	15.3	72.2	86.6	SM
SBB-2	풍화암	5.0	10.9	2.66	NP	-	-	18.4	94.0	100	SM
SBB-3	매립층	3.0	19.1	2.66	NP	-	7.6	22.5	84.2	93.7	SM
SBB-3	풍화토	13.0	15.4	2.66	NP	-	7.7	23.5	93.9	100	SM
SBB-4	매립층	3.0	17.0	2.66	NP	-	7.5	22.3	83.4	91.7	SM
SBB-4	충적층	7.0	26.3	2.68	34.8	13.1	17.8	62.3	97.7	100	CL
SBB-5	풍화토	6.0	27.3	2.67	NP	-	10.2	44.4	96.0	100	SM
SBB-5	풍화암	12.0	17.1	2.67	NP	-	8.6	33.3	89.9	98.2	SM
SBB-6	매립층	2.0	16.0	2.65	NP	-	8.4	26.0	83.9	92.9	SM
SBB-6	풍화토	7.0	9.9	2.65	NP	-	7.3	19.3	93.1	99.8	SM
SBB-7	매립층	2.0	17.1	2.66	NP	-	7.9	22.3	81.7	90.8	SM
SBB-7	풍화토	6.0	9.8	2.66	NP	-	-	16.9	68.6	85.0	SM
SBB-8	충적층	7.0	28.3	2.68	35.5	13.8	16.9	67.4	100	-	CL
SBB-8	충적층	10.0	18.9	2.65	NP	-	-	14.2	99.1	100	SM
SBB-9	풍화토	6.0	17.6	2.67	NP	-	7.6	24.8	93.3	98.0	SM
SBB-9	풍화암	14.0	7.7	2.65	NP	-	-	17.4	64.9	77.8	SM
SBB-10	매립층	1.0	11.3	2.65	NP	-	-	8.9	45.4	57.5	SP-SM
SBB-10	풍화토	2.0	13.0	2.66	NP	-	7.3	20.0	90.0	99.6	SM
SBB-11	매립층	2.0	13.4	2.66	NP	-	8.2	28.0	75.9	81.6	SM
SBB-11	풍화토	7.0	10.4	2.66	NP	-	7.1	21.3	85.8	97.6	SM
SBB-12	매립층	2.0	13.1	2.65	NP	-	8.3	24.6	84.7	91.3	SM
SBB-12	충적층	6.0	22.8	2.68	33.7	12.0	18.4	60.0	97.1	99.1	CL
SBB-13	전답층	5.0	27.0	2.66	NP	-	-	14.6	100	-	SM
SBB-13	풍화토	11.0	13.3	2.66	NP	-	7.6	23.6	88.6	95.2	SM
SBB-14	충적층	4.0	26.8	2.65	NP	-	7.5	23.6	99.7	100	SM
SBB-14	풍화토	9.0	13.6	2.66	NP	-	-	16.2	74.4	89.1	SM
SBB-15	충적층	4.0	21.4	2.65	NP	-	-	2.8	88.0	99.2	SP
SBB-15	풍화토	9.0	8.1	2.66	NP	-	7.7	19.1	85.7	97.4	SM
SBB-16	충적층	3.0	22.6	2.65	NP	-	-	8.9	90.3	99.4	SW-SM
SBB-16	풍화토	10.0	9.2	2.66	NP	-	-	13.2	66.7	80.7	SM
SBB-17	충적층	1.0	11.2	2.65	NP	-	-	12.3	88.9	94.9	SM
SBB-17	충적층	5.0	24.5	2.65	NP	-	-	5.9	93.5	97.9	SP-SM
SBB-18	충적층	2.0	13.9	2.65	NP	-	-	12.2	90.3	95.3	SM
SBB-18	충적층	7.0	11.4	2.65	NP	-	-	6.0	46.5	57.3	SP-SM
SBB-19	충적층	1.0	24.4	2.66	NP	-	8.0	27.2	73.2	83.7	SM

교량구간(계속)

공번	지층명	심도 (GL.-m)	함수비 (%)	비중	액·소성시험(%)		체분석시험(%)				통일 분류 (USCS)
					LL	Pl	2㎛	#200	#10	#4	
SBB-19	충적층	8.0	12.1	2.64	NP	-	-	1.7	32.2	52.5	SW
SBB-20	충적층	2.0	17.1	2.65	NP	-	-	5.4	57.8	71.6	SW-SM
SBB-20	충적층	9.0	12.2	2.65	NP	-	-	4.5	49.3	61.7	SP
SBB-21	충적층	5.0	13.7	2.68	32.3	11.8	12.9	32.2	41.2	49.3	GC
SBB-21	충적층	9.0	8.5	2.65	NP	-	-	11.3	51.4	67.8	SW-SM
SBB-22	충적층	2.0	10.3	2.66	NP	-	-	10.9	41.3	54.7	SW-SM
SBB-22	충적층	5.0	21.8	2.66	NP	-	7.9	24.6	43.6	48.3	GM
SBB-26	충적층	2.0	25.1	2.65	NP	-	-	7.4	76.0	96.9	SW-SM
SBB-26	충적층	6.0	8.7	2.65	NP	-	-	6.7	41.5	57.9	SW-SM
SBB-27	충적층	6.0	33.2	2.68	NP	-	8.5	32.0	98.7	100	SM
SBB-28	충적층	2.0	25.7	2.66	NP	-	7.6	20.5	89.8	94.4	SM
SBB-28	충적층	6.0	10.6	2.64	NP	-	-	2.9	34.7	52.7	SP
SBB-29	충적층	1.0	16.5	2.65	NP	-	-	5.5	69.2	84.2	SW-SM
SBB-29	충적층	7.0	9.1	2.65	NP	-	-	4.2	91.1	97.5	SP
SBB-30	충적층	2.0	21.8	2.65	NP	-	-	7.3	85.1	94.5	SW-SM
SBB-30	풍화토	11.0	12.0	2.66	NP	-	8.3	22.8	87.4	93.4	SM
SBB-31	충적층	2.0	18.4	2.65	NP	-	-	5.6	78.1	90.2	SW-SM
SBB-31	풍화토	10.0	17.7	2.66	NP	-	8.1	23.0	94.0	99.4	SM
SBB-32	충적층	4.0	19.2	2.72	NP	-	-	15.6	91.4	100	SM
SBB-32	충적층	7.0	24.9	2.68	33.6	11.9	10	38.2	93.6	100	SC
SBB-33	충적층	4.0	20.0	2.66	NP	-	-	16.5	93.9	98.9	SM
SBB-34	충적층	3.0	17.8	2.70	NP	-	-	14.1	80.3	90.6	SM
SBB-35	풍화토	1.0	8.6	2.67	NP	-	8.3	20.6	91.5	99.1	SM
SBB-36	매립층	1.0	13.1	2.71	NP	-	-	7.3	60.3	76.8	SW-SM
SBB-37	풍화토	6.0	13.2	2.74	NP	-	-	23.7	80.1	91.3	SM
SBB-38	충적층	6.0	8.8	2.72	NP	-	-	8.1	35.4	38.0	GP-GM
SBB-42	붕적층	1.0	39.8	2.68	41.2	12.7	13.9	54.1	99.3	100	ML
SBB-43	풍화토	4.0	11.9	2.73	NP	-	-	16.7	85.4	97.1	SM
SBB-44	붕적층	2.0	14.1	2.72	NP	-	-	11.5	77.9	96.1	SW-SM
SBB-45	매립층	2.0	16.2	2.70	NP	-	-	14.4	83.5	93.9	SM
SBB-46	풍화토	5.0	10.6	2.72	29.7	3.3	5.0	29.1	86.6	92.9	SM
SBB-47	충적층	4.0	29.9	2.73	30.8	6.1	5.5	36.3	100	100	SM
SBB-48	매립층	2.0	17.5	2.69	29.5	3.8	4.5	27.3	92.4	100	SM
SBB-51	전답층	1.0	17.9	2.68	34.5	12.1	9.0	28.6	82.3	86.2	SC
SBB-52	전답층	1.0	31.2	2.69	36.5	14.6	15.0	61.4	98.2	100	CL
SBB-54	풍화토	2.0	9.8	2.71	NP	-	-	16.2	87.0	97.5	SM
SBB-55	전답층	1.0	17.4	2.70	38.6	17.9	16.0	59.1	94.1	100	CL
SBB-56	매립층	1.0	10.1	2.73	NP	-	-	5.7	27.7	36.6	GW-GM
SBB-57	충적층	4.0	9.4	2.69	NP	-	-	4.2	32.1	39.1	GW

교량구간(계속)

공번	지층명	심도 (GL.-m)	함수비 (%)	비중	액·소성시험(%)		체분석시험(%)				통일 분류 (USCS)
					LL	PI	2㎛	#200	#10	#4	
SBB-58	충적층	2.0	11.0	2.65	NP	-	-	5.4	32.9	47.1	GP-GM
SBB-59	충적층	1.0	24.3	2.71	32.4	10.6	9.0	42.2	97.7	100	SC
SBB-59	충적층	4.0	8.4	2.70	NP	-	-	4.8	25.3	29.6	GP
SBB-60	충적층	3.0	9.7	2.71	NP	-	-	11.7	44.2	50.3	GP-GM
SBB-61	매립층	2.0	15.1	2.71	NP	-	-	14.3	81.8	91.2	SM
SBB-62	충적층	4.0	17.1	2.69	NP	-	-	10.3	86.5	91.1	SW-SM
SBB-63	충적층	4.0	9.9	2.64	NP	-	-	4.2	37.0	46.7	GP
SBB-65	풍화토	5.0	14.5	2.66	NP	-	7.5	20.1	74.3	91.7	SM
SBB-66	풍화암	6.0	9.1	2.65	NP	-	-	16.9	80.1	93.8	SM
SBB-67	충적층	3.0	9.8	2.65	NP	-	-	5.3	38.1	48.3	GP-GM
SBB-68	충적층	4.0	10.9	2.66	NP	-	-	7.5	79.5	89.0	SW-SM
SBB-69	충적층	2.0	11.4	2.65	NP	-	-	10.1	40.0	48.5	GP-GM
SBB-70	충적층	3.0	11.4	2.65	NP	-	-	10.5	40.2	47.5	GP-GM
SBB-71	풍화토	6.0	10.2	2.66	NP	-	-	14.6	79.0	94.2	SM
SBB-72	풍화토	2.0	6.4	2.65	NP	-	-	11.6	77.7	95.9	SW-SM
SBB-73	매립층	4.0	8.8	2.66	NP	-	-	12.6	38.6	47.9	GM
SBB-73	풍화토	5.0	11.1	2.66	NP	-	7.9	21.3	92.3	99.5	SM
SBB-74	충적층	6.0	13.3	2.67	NP	-	-	9.7	69.6	81.1	SW-SM
SBB-75	풍화토	6.0	15.2	2.66	NP	-	8.3	25.7	92.7	99.4	SM
SBB-76	충적층	7.0	10.8	2.66	NP	-	-	7.0	42.4	46.6	GP-GM
SBB-77	매립층	4.0	12.0	2.65	NP	-	-	4.7	43.0	55.5	GP
SBB-78	풍화토	5.0	14.0	2.65	NP	-	-	18.0	82.3	96.2	SM
SBB-79	매립층	3.0	9.1	2.64	NP	-	-	7.7	38.1	48.9	GW-GM
SBB-80	풍화토	6.0	10.2	2.66	NP	-	-	18.3	91.1	99.3	SM
SBB-81	풍화토	1.0	9.7	2.65	NP	-	-	12.4	34.3	57.0	SM
SBB-82	풍화토	1.0	14.4	2.67	NP	-	9.2	21.4	43.3	53.0	SM
SBB-83	풍화암	7.0	9.0	2.66	NP	-	-	12.3	70.0	91.1	SM
SBB-84	풍화토	4.0	10.9	2.67	NP	-	7.7	27.5	95.2	99.1	SM

- 실내시험 결과 교량구간 전답층은 함수비 17.4~31.2%, 비중 2.66~2.70, 액성한계 34.5~38.6%, 소성지수 12.1~17.9, 통일분류는 CL, SM으로 나타났으며, 매립층은 함수비 8.8~19.3%, 비중 2.64~2.73, 통일분류는 GW-GM, GP, GM, SW-SM, SM으로 나타났고, 붕적층은 함수비 14.1~39.8%, 비중 2.68~2.72, 통일분류는 SW-SM, ML로 나타남
- 충적층은 함수비 8.4~33.2%, 비중 2.64~2.73, 액성한계 30.8~35.5%, 소성지수 6.4~27.3, 통일분류는 GP-GM, GW, GM, GC, SW-SM, SP-SM, SP, SM, SC, CL로 나타났으며, 풍화토층은 함수비 6.4~15.2%, 비중 2.65~2.74, 통일분류는 SW-SM, SM으로 나타남

2) 깎기구간

공번	지층명	심도 (GL.-m)	함수비 (%)	비중	액·소성시험(%)		체분석시험(%)				통일 분류 (USCS)
					LL	Pl	2㎛	#200	#10	#4	
SCB-1	풍화토	2.0	12.8	2.65	NP	-	-	15.0	69.2	88.9	SM
SCB-1	풍화토	9.0	14.7	2.67	NP	-	8.5	33.4	92.5	98.6	SM
SCB-2	풍화토	6.0	15.6	2.64	NP	-	8.8	31.7	92.8	97.2	SM
SCB-3	풍화토	3.0	11.6	2.64	NP	-	8.7	30.8	98.1	99.5	SM
SCB-5	풍화토	2.0	14.5	2.71	NP	-	-	14.6	62.3	73.7	SM
SCB-6	풍화토	3.0	10.0	2.74	NP	-	-	15.1	77.3	95.8	SM
SCB-7	풍화토	8.0	10.7	2.73	NP	-	-	21.0	90.6	96.3	SM
SCB-8	풍화토	3.0	17.0	2.73	NP	-	-	18.1	85.3	98.3	SM
SCB-11	풍화토	5.0	12.5	2.72	NP	-	2.0	28.1	98.3	100	SM
SCB-12	풍화토	6.0	10.8	2.70	NP	-	-	15.3	77.7	95.4	SM
SCB-13	풍화토	6.0	9.8	2.70	NP	-	-	20.8	73.8	86.2	SM
SCB-14	풍화토	3.0	24.6	2.72	35.1	13.5	11.0	48.2	100	100	SC
SCB-15	풍화토	10.0	13.0	2.69	NP	-	-	24.1	88.7	100	SM
SCB-17	풍화토	1.0	33.9	2.71	35.4	13.1	10.0	36.8	100	100	SC
SCB-20	풍화토	1.0	16.9	2.69	36.1	13.4	12.0	45.2	92.6	100	SC
SCB-21	풍화토	4.0	12.7	2.65	NP	-	-	19.1	90.9	98.7	SM
SCB-22	붕적층	1.0	20.3	2.68	32.7	10.1	11.5	39.8	93.4	100	SC
SCB-23	풍화토	1.0	10.5	2.70	NP	-	-	12.3	75.0	95.1	SM
SCB-32	풍화암	3.0	16.5	2.63	NP	-	-	0.9	81.7	88.1	SP
SCB-38	풍화토	5.0	18.8	2.68	NP	-	-	18.4	72.8	88.5	SM
SCB-39	풍화토	2.0	19.8	2.73	NP	-	-	23.0	91.6	97.4	SM
SCB-40	풍화토	2.0	32.2	2.67	NP	-	14.0	75.7	100	100	ML
SCB-41	풍화암	9.0	15.3	2.65	NP	-	7.9	29.3	68.2	88.5	SM
SCB-42	풍화토	5.0	34.0	2.68	36.7	8.6	16.5	72.9	99.7	100	ML
STP-1	붕적층	0.5	17.7	2.71	34.2	11.6	14.0	43.7	79.1	89.3	SC
STP-2	풍화토	1.5	13.7	2.73	NP	-	-	16.5	78.4	92.7	SM
STP-3	풍화토	1.4	11.1	2.69	NP	-	-	8.7	73.6	91.9	SW-SM
STP-4	풍화토	1.3	12.2	2.74	NP	-	-	11.1	61.5	81.6	SW-SM
STP-5	풍화토	1.5	11.9	2.72	NP	-	-	9.6	54.9	80.3	SW-SM
STP-6	풍화토	1.4	11.5	2.71	NP	-	-	8.5	56.4	80.3	SW-SM
STP-7	풍화토	1.4	14.9	2.71	NP	-	-	22.5	69.5	83.8	SM
STP-8	풍화토	1.1	16.4	2.71	NP	-	3.5	26.1	72.0	87.3	SM
STP-9	풍화토	0.8	15.7	2.73	NP	-	-	9.6	71.3	88.2	SW-SM
STP-10	풍화토	1.1	15.4	2.74	NP	-	-	9.4	67.1	83.6	SW-SM
STP-11	풍화토	0.6	16.0	2.71	NP	-	-	11.9	72.6	85.5	SW-SM

깎기구간(계속)

공번	지층명	심도 (GL.-m)	함수비 (%)	비중	액·소성시험(%)		체분석시험(%)				통일 분류 (USCS)
					LL	Pl	2㎛	#200	#10	#4	
STP-12	풍화토	1.4	17.5	2.71	NP	-	-	19.3	79.2	93.0	SM
STP-13	풍화토	0.7	15.7	2.71	NP	-	-	14.5	68.9	86.3	SM
STP-14	풍화토	1.4	19.9	2.73	31.0	5.4	5.0	26.6	94.1	100	SM
STP-15	풍화토	0.9	13.6	2.71	NP	-	-	13.1	71.9	92.2	SM
STP-16	풍화토	1.5	11.9	2.71	33.1	10.8	7.0	25.4	68.6	79.5	SC
STP-17	풍화토	1.5	15.3	2.71	34.0	10.9	7.0	24.9	84.6	96.0	SC
STP-18	풍화토	1.5	16.6	2.71	34.4	12.5	7.0	26.4	76.7	98.1	SC
STP-19	풍화토	1.5	16.0	2.72	35.4	12.8	7.5	26.2	73.4	88.4	SC
STP-20	풍화토	1.5	20.1	2.68	30.8	6.7	7.0	48.5	80.2	89.5	SM

- 깎기구간 표준관입시험시료 시험결과 붕적층은 함수비 20.3%, 비중 2.68, 액성한계 32.7%, 소성지수 10.1, 통일분류는 SC로 나타났으며, 풍화토는 함수비 9.8~34.0%, 비중 2.64~2.74, 액성한계 35.1~36.7%, 소성지수 8.6~13.5, 통일분류는 SP, SM, SC, ML로 나타났고, 풍화암은 함수비 15.3~16.5%, 비중 2.63~2.75, 통일분류는 SP, SM으로 나타남
- 시험굴시료 시험결과 붕적층은 함수비 17.7%, 비중 2.71, 액성한계 34.2%, 소성지수 11.6, 통일분류는 SC로 나타났으며, 풍화토은 함수비 11.1~20.1%, 비중 2.68~2.74, 액성한계 30.8~35.4%, 소성지수 5.4~12.8, 통일분류는 SW-SM, SM, SC로 나타남

3) 쌓기구간

공번	지층명	심도 (GL.-m)	함수비 (%)	비중	액·소성시험(%)		체분석시험(%)				통일 분류 (USCS)
					LL	Pl	2㎛	#200	#10	#4	
SSB-1	매립층	3.0	24.5	2.65	NP	-	7.3	20.7	94.0	96.8	SM
SSB-1	충적층	5.0	22.6	2.65	NP	-	-	16.5	93.3	97.4	SM
SSB-2	매립층	2.0	18.3	2.67	NP	-	8.2	23.3	84.1	94.9	SM
SSB-2	충적층	8.0	22.1	2.66	NP	-	11.2	37.7	91.5	96.2	SM
SSB-3	충적층	3.0	16.9	2.65	NP	-	-	6.2	81.6	93.8	SW-SM
SSB-4	충적층	3.0	17.7	2.70	NP	-	-	13.4	72.6	82.5	SM
SSB-5	풍화토	4.0	20.0	2.72	28.7	3.1	5.0	28.6	76.7	89.6	SM
SSB-6	풍화토	4.0	9.6	2.72	NP	-	-	17.3	74.4	86.9	SM
SSB-7	충적층	1.0	14.6	2.71	29.7	5.4	4.5	29.1	79.3	87.0	SM
SSB-8	풍화토	2.0	8.8	2.71	NP	-	-	5.1	23.8	37.1	GP-GM
SSB-9	풍화토	1.0	17.4	2.71	34.9	11.9	13.0	49.0	87.0	90.4	SC

쌓기구간(계속)

공번	지층명	심도 (GL.-m)	함수비 (%)	비중	액·소성시험(%)		체분석시험(%)				통일 분류 (USCS)
					LL	PI	2㎛	#200	#10	#4	
SSB-10	풍화토	5.0	11.2	2.70	30.4	4.7	5.0	27.2	92.9	100	SM
SSB-11	충적층	2.0	15.1	2.69	NP	-	-	6.4	80.1	87.8	SW-SM
SSB-11	충적층	4.0	12.7	2.69	NP	-	-	4.0	38.9	49.2	GP
SSB-12	충적층	3.0	11.3	2.64	NP	-	-	7.0	44.7	57.6	SP-SM
SSB-13	풍화토	9.0	10.8	2.64	NP	-	-	10.5	75.9	94.7	SW-SM
SSB-14	풍화토	8.0	16.9	2.66	NP	-	8.2	28.9	95.5	100	SM
SSB-15	충적층	7.0	29.0	2.66	NP	-	-	15.6	87.6	89.5	SM
SSB-16	풍화토	3.0	15.0	2.65	NP	-	7.7	22.0	92.0	99.5	SM
SSB-17	풍화토	1.0	11.4	2.66	NP	-	-	17.2	70.4	91.2	SM
SSB-18	풍화토	5.0	13.0	2.66	NP	-	7.9	29.8	98.4	100	SM

• 쌓기구간 매립층은 함수비 18.3~24.5%, 비중 2.65~2.67, 통일분류는 SM으로 나타났으며, 충적층은 함수비 11.3~29.0%, 비중 2.64~2.71, 통일분류는 GP, SW-SM, SP-SM, SM으로 나타냈고, 풍화토층은 함수비 8.8~20.0%, 비중 2.64~2.72, 통일분류는 GP-GM, SW-SM, SM, SC로 나타남

라. 설계활용

• 자연함수비 파악
• 지반의 입도 조성 파악
• 지반의 단위중량 추정
• 흙의 공학적 성질 추정

4.5.2 다짐 및 CBR시험

가. 시험목적

• 쌓기구간에 사용되는 재료와 깎기구간의 토사층의 토질정수를 산정하기 위해 실시
• 계획노선구간내 시험굴조사(Test Pit)에서 채취한 시료를 사용하여 KS F 2312와 KS F 2320 규정에 의해 다짐과 실내 CBR시험을 실시

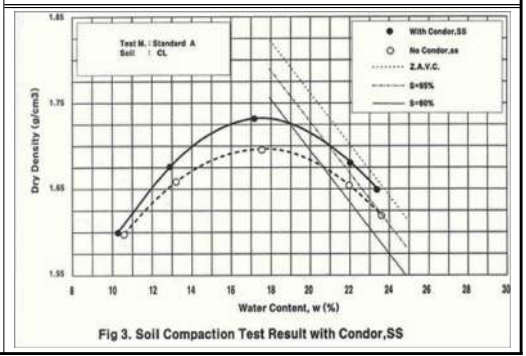
나. 시험방법

1) 다짐시험

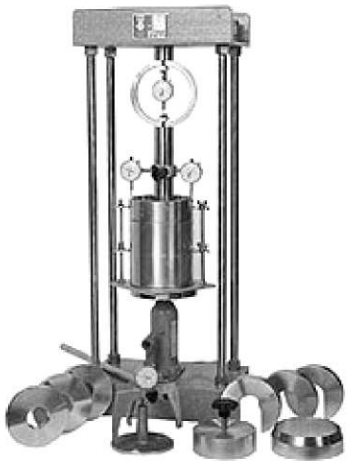
다짐도 산정공식

$$D = \frac{\gamma_d}{\gamma_{max}} \times 100$$

여기서, D : 다짐도 (%)
γ_d : 현장에서 측정된 건조밀도(g/cm^3)
γ_{max} : 다짐시험에서 구한 최대건조밀도 (g/cm^3)

• 다짐시험은 흙구조물의 다짐관리, 다짐방법 및 재료의 선정을 위해 실시 • 다짐방법으로는 2.5kg의 래머를 30cm 높이에서 자유낙하시키는 A다짐과 래머를 45cm에서 자유낙하 시키는 D다짐으로 구분되며, 건조밀도-함수비 곡선에서 최대건조밀도(γ_{dmax}) 및 최적함수비(O.M.C)를 구함 • 보통 다짐도는 95% 이상으로 한 값이 요구됨	**시험의 기록 예**  Fig 3. Soil Compaction Test Result with Condor,SS

2) CBR 시험

• CBR 시험은 도로나 공항 등의 차륜하중을 지지하는 노상토 또는 노반재료의 지지력비를 산정하기 위한 실험으로, 포장두께의 설계, 쌓기재료나 노반재료로서의 적부 판정 등에 이용 • CBR이란 관입량에 대한 시험하중이며, 이를 백분율로 표시한 것임 CBR = (시험하중강도 / 표준하중강도) × 100(%) • 통상 관입량 2.5mm에 대한 값을 기준으로 함 • 시료준비 – 시료의 최대허용입경에 따라 다짐방법 A 또는 D로 결정 – 다짐곡선을 작도하여 γ_{dmax}와 최적함수비 W_{opt}를 산정 – 동일한 흙으로 함수비를 W_{opt}±1%로 조제 – 조제된 시료를 10kg씩 3개 준비하여 밀폐된 그릇에 보관 – 준비된 시료로 타격수 10, 25, 55회로 다짐을 실시	**시험 장비** 

다. 시험결과

시험굴 (No.)	함수비 (%)	비중 (Gs)	A다짐				D다짐				CBR (%)	통일분류 (USCS)
			γ_{dmax} (kN/m^3)	OMC (%)	γ_d 90% (kN/m^3)	C 90%	γ_{dmax} (kN/m^3)	OMC (%)	γ_d 95% (kN/m^3)	C 95%		
STP-1	17.7	2.71	17.34	16.8	15.61	0.85	18.39	13.9	17.47	0.76	11.4	SC
STP-2	13.7	2.73	18.57	13.6	16.71	0.96	19.74	10.4	18.75	0.86	20.4	SM
STP-3	11.1	2.69	18.12	14.2	16.31	1.04	19.32	11.1	18.35	0.92	20.2	SW-SM
STP-4	12.2	2.74	18.81	12.8	16.93	0.94	19.94	9.8	18.94	0.84	24.9	SW-SM
STP-5	11.9	2.72	18.51	13.7	16.66	0.99	19.59	10.2	18.61	0.89	21.7	SW-SM
STP-6	14.9	2.71	18.55	13.6	16.70	1.00	19.74	10.5	18.75	0.89	22.9	SW-SM
STP-7	14.9	2.71	19.14	12.3	17.23	0.89	20.11	9.8	19.10	0.80	25.6	SM

다짐 및 CBR(계속)

시험굴 (No.)	함수비 (%)	비중 (Gs)	A다짐				D다짐				CBR (%)	통일분류 (USCS)
			γ_{dmax} (kN/m^3)	OMC (%)	γ_d 90% (kN/m^3)	C 90%	γ_{dmax} (kN/m^3)	OMC (%)	γ_d 95% (kN/m^3)	C 95%		
STP-8	16.4	2.71	18.27	14.9	16.44	0.95	19.31	11.3	18.34	0.86	17.3	SM
STP-9	15.7	2.73	19.37	13.9	17.43	0.95	19.46	10.6	18.49	0.89	19.5	SW-SM
STP-10	15.4	2.74	18.36	14.2	16.52	0.94	19.58	10.9	18.60	0.83	23.3	SW-SM
STP-11	16.0	2.71	18.43	14.6	16.59	0.95	19.40	11.8	18.43	0.85	18.3	SW-SM
STP-12	17.5	2.71	18.46	14.3	16.61	0.98	19.55	11.1	18.57	0.87	18.9	SM
STP-13	15.7	2.71	18.71	13.7	16.84	0.96	19.84	10.3	18.85	0.86	21.8	SM
STP-14	19.9	2.73	17.96	15.4	16.16	0.98	18.96	11.9	18.01	0.88	16.5	SM
STP-15	13.6	2.71	18.23	14.6	16.41	1.01	19.24	11.4	18.28	0.91	18.2	SM
STP-16	11.9	2.71	18.11	15.1	16.30	0.93	19.17	12.1	18.21	0.83	15.8	SC
STP-17	15.3	2.71	17.52	17.1	15.77	0.89	18.53	13.3	17.60	0.80	10.9	SC
STP-18	16.6	2.71	17.46	16.6	15.71	0.90	18.42	13.2	17.50	0.81	11.9	SC
STP-19	16.0	2.72	17.78	15.7	16.00	0.91	18.70	12.5	17.77	0.82	14.2	SC
STP-20	20.1	2.68	17.94	15.7	16.15	0.91	18.83	12.2	17.89	0.82	15.6	SM

라. 분석결과

- 다짐시험결과 γ_{dmax}는 A다짐의 경우 17.34~19.37kN/m^3, D다짐의 경우 18.39~20.11 kN/m^{3}의 범위를 나타내고, O.M.C는 A다짐의 경우 12.3~17.1%, D다짐의 경우 9.8~13.9%의 범위로 나타남
- 단위중량은 다짐도 90%일 경우는 단위중량은 15.61~17.43kN/m^3, 95%일 경우는 17.47~19.10kN/m^3 범위를 나나냄
- 실내 CBR 시험결과 CBR값은 10.9~25.6%의 범위로 나타남

마. 설계활용

- 쌓기재 및 깎기구간의 지반물성 및 토량변화율 산정
- 쌓기재 다짐에 따른 강도, 압축성, 팽창성, 수축성 결정

4.5.3 직접전단시험

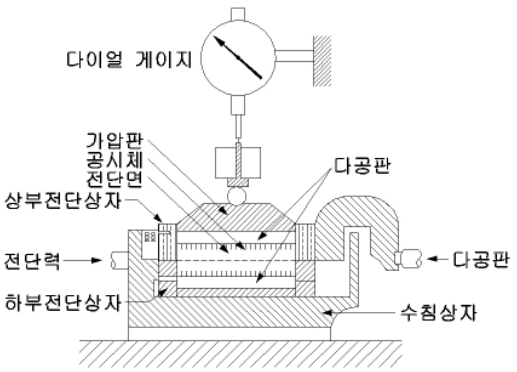
가. 시험목적

- 계획노선구간내 풍화대(풍화토, 풍화암)에 대한 강도특성을 규명하기 위하여 불교란 시료를 채취하여 직접전단시험을 실시
- 수직응력과 전단응력 해석으로 Mohr-Coulomb 파괴기준의 강도정수(c, ϕ) 산정

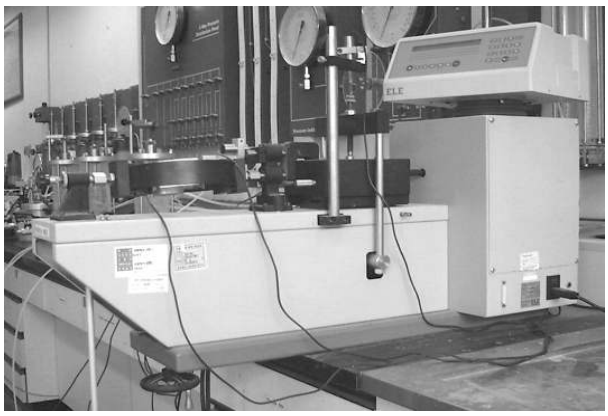
나. 시험방법

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

시험 모식도



- 배수조건에 따른 직접전단시험의 종류
  - 급속시험(Quick Test) : 연직하중으로 인하여 시료가 압밀되기 전에 급속히 전단, 만일 흙이 점착성이 있고 포화되어 있다면 과잉간극수압이 발생
  - 압밀급속시험(Consolidated Quick Test) : 연직하중을 가하고, 연직변위가 정지할 때까지 기다린 다음 흙을 급속히 전단
  - 압밀완속시험(Consolidated Slow Test) : 연직하중을 가한 다음 침하가 정지할 때까지 기다린 다음 간극수압이 발생하지 않도록 천천히 전단

시료 채취 전경	시험 장비
	

다. 시험결과

공번	지층	횟수	함수비 (%)	건조단위중량 (kN/cm^3)	수직응력 (kPa)	최대전단응력 (kPa)	c (kPa)	ϕ (°)
STP-1	풍화암	1	27.3	13.21	50	44.8	17.6	28.2
		2	25.6	13.40	100	70.3		
		3	25.2	13.45	150	98.4		
STP-2	풍화토	1	22.9	14.75	50	40.0	10.2	31.8
		2	20.1	14.70	100	74.8		
		3	24.1	13.38	150	102.1		
STP-3	풍화토	1	18.0	16.08	50	46.3	11.1	36.1
		2	20.0	14.88	100	86.7		
		3	17.0	17.00	150	119.4		
STP-4	풍화토	1	19.6	15.49	50	48.4	9.1	36.7
		2	20.7	15.28	100	79.5		
		3	20.8	15.38	150	122.9		
STP-5	풍화토	1	19.2	15.28	50	45.9	9.9	35.8
		2	20.2	15.15	100	82.2		
		3	19.2	15.27	150	118.1		
STP-6	풍화토	1	21.1	15.35	50	48.8	14.8	34.4
		2	19.6	15.91	100	83.7		
		3	22.8	14.36	150	117.3		
STP-7	풍화토	1	25.8	13.82	50	41.6	12.7	30.6
		2	22.2	14.06	100	73.1		
		3	25.3	13.65	150	100.6		
STP-8	풍화암	1	22.8	15.34	50	49.4	14.3	33.3
		2	23.4	15.51	100	75.6		
		3	23.4	15.20	150	115.1		
STP-9	풍화암	1	29.8	13.02	50	46.5	13.7	32.4
		2	24.0	13.94	100	75.2		
		3	26.2	13.43	150	110.0		
STP-10	풍화암	1	25.2	14.14	50	45.6	11.7	34.1
		2	25.8	13.76	100	79.2		
		3	23.3	14.64	150	113.2		
STP-11	풍화암	1	26.3	13.96	50	43.2	9.7	32.6
		2	24.8	13.68	100	70.2		
		3	33.0	12.48	150	107.1		

시험결과(계속)

공번	지층	횟수	함수비 (%)	건조단위중량 (kN/cm^3)	수직응력 (kPa)	최대전단응력 (kPa)	c (kPa)	ϕ (°)
STP-12	풍화토	1	33.0	12.28	50	39.0	11.6	28.9
		2	31.2	11.86	100	67.3		
		3	29.1	12.72	150	94.2		
STP-13	풍화암	1	26.8	12.96	50	47.8	16.4	31.6
		2	21.6	14.55	100	76.7		
		3	23.4	13.62	150	109.4		
STP-14	풍화토	1	37.2	10.76	50	38.2	13.8	28.6
		2	35.1	11.16	100	69.4		
		3	33.7	11.58	150	92.8		
STP-15	풍화암	1	22.3	13.73	50	38.8	9.2	30.8
		2	22.0	13.81	100	69.3		
		3	21.4	13.82	150	98.5		
STP-16	풍화토	1	23.8	14.20	50	45.7	17.8	29.2
		2	20.4	15.37	100	73.8		
		3	22.6	14.05	150	101.6		
STP-17	풍화토	1	33.7	12.20	50	41.2	16.1	27.1
		2	31.1	12.48	100	68.3		
		3	32.6	11.88	150	92.5		
STP-18	풍화토	1	22.3	14.51	50	46.9	18.9	28.4
		2	21.7	14.90	100	71.3		
		3	22.5	14.44	150	101.1		
STP-19	풍화토	1	22.4	15.09	50	45.7	15.2	31.4
		2	19.7	15.50	100	76.0		
		3	20.0	15.15	150	106.7		
STP-20	풍화토	1	28.2	12.81	50	41.7	11.0	31.3
		2	28.9	12.75	100	71.2		
		3	29.8	12.68	150	102.4		

- 풍화토의 직접전단 시험결과 c : 9.1~18.9kPa , ϕ : 27.1~36.7° 범위로 나타남
- 풍화암의 직접전단 시험결과 c : 9.2~17.6kPa , ϕ : 28.2~34.1° 범위로 나타남

라. 설계활용

- 풍화대(풍화토, 풍화암)의 내부마찰각(ϕ), 점착력(c)를 산정하여 비탈면 안정해석 및 기초지지력 산정에 활용

4.5.4 공진주시험

가. 시험목적

• 주파수 응답곡선에서 공진주파수를 찾고 시험장치의 특성과 시료의 크기 등을 조합하여 전단탄성계수(G)와 전단파속도를 측정하고, 이를 통해 지반의 동적특성물성치(정규화전단탄성계수(G/G_{max}), 감쇠비(D))를 산정

나. 시험방법

• 압축공기를 사용하여 등방의 구속응력을 재하한 후 코일/자석 시스템에 가하는 전압크기 조절을 통해 작은 비틂력에서 큰 비틂력으로 변화시키면서 수행

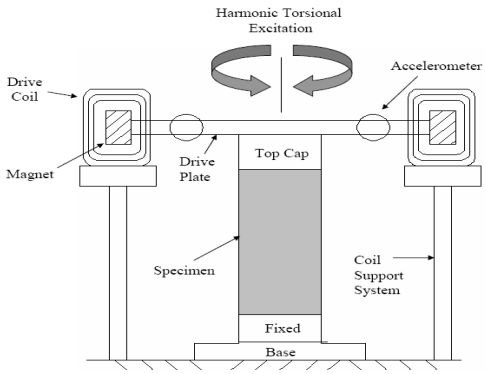
• 비틂력이 변함에 따라 시편의 변형률의 크기가 변화하며, 이를 통해 전단탄성계수의 감쇠비를 선정하고, 다양한 구속응력에 대한 변형특성(전단탄성계수, 감쇠비)을 측정하기 위하여 현장지반의 평균유효응력을 기준으로 1배, 2배, 4배의 구속응력을 가하여 실시

• 성토하중에 대한 시험의 신뢰성을 확보하기 위하여 일부 구속응력 단계를 조절하며, 각 구속응력 단계에서 변형률 크기를 변화시키면서 수행

$$\sigma_m' = \frac{1}{3}\sigma_v' (1 + 2K_o)$$

여기서, σ_m' = 유효평균주응력 σ_v' = 유효수직응력

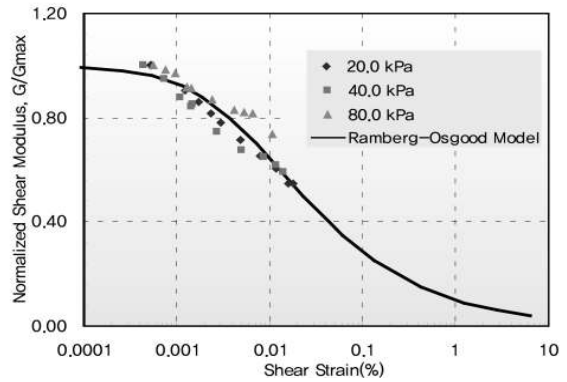
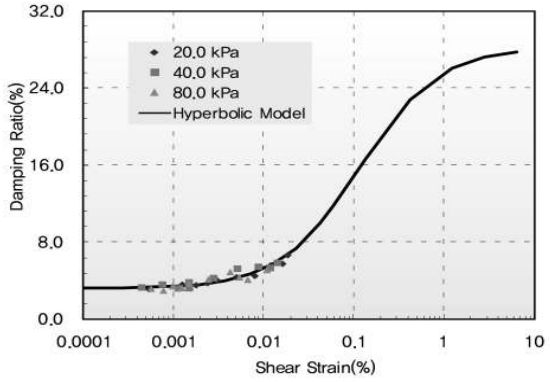
K_o = 정지토압계수

시험 모식도	시험 장비
	

다. 시험결과

1) SBB-36

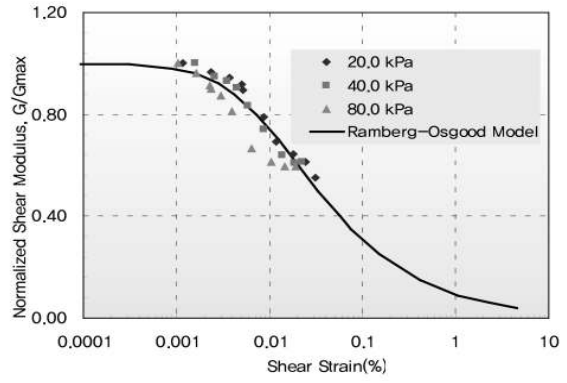
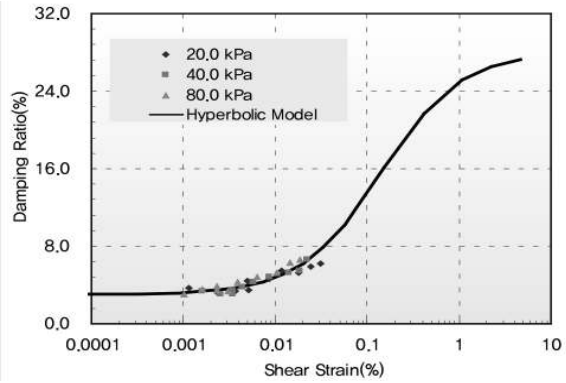
심도(m)	구속압(kPa)	전단탄성계수(MPa)	G/G_{max}	감쇠비(%)	통일분류
3.0	20	110.9~150.1	0.546~1.000	3.18~6.72	SM
	40	140.6~182.8	0.592~1.000	3.28~5.92	
	80	185.9~216.5	0.737~1.000	3.24~5.18	

정규화전단탄성계수 변화	감쇠비 변화
	

• 공진주시험 결과 정규화전단탄성계수는 0.546~1.000, 감쇠비는 3.18~6.72%의 범위를 나타냄

2) SBB-74

심도(m)	구속압(kPa)	전단탄성계수(MPa)	G/G_{max}	감쇠비(%)	통일분류
2.0	20	65.6~88.4	0.551~1.000	3.20~6.17	SM
	40	82.4~105.6	0.608~1.000	3.05~6.63	
	80	99.8~129.4	0.595~1.000	3.05~6.66	

정규화전단탄성계수 변화	감쇠비 변화
	

• 공진주시험 결과 정규화전단탄성계수는 0.551~1.000, 감쇠비는 3.05~6.66%의 범위를 나타냄

라. 설계활용

• 정규화전단탄성계수 및 감쇠비 곡선을 이용하여 지반응답해석시 활용

4.5.5 진동삼축압축시험

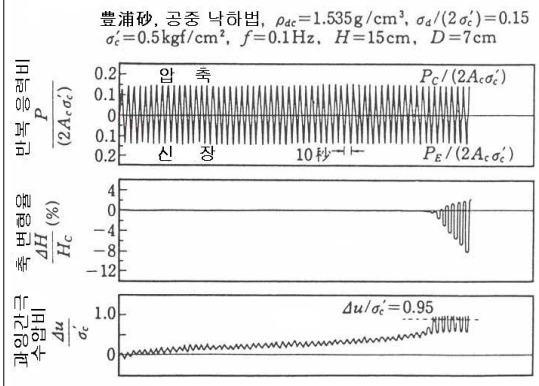
가. 시험목적

• 지진 등에 의한 동적 반복응력을 비배수 조건에서 받는 흙의 액상화 강도특성을 구하기 위해 액상화 평가시 활용되는 진동반복횟수(N)에 대한 반복전단응력비(CSR)를 산정

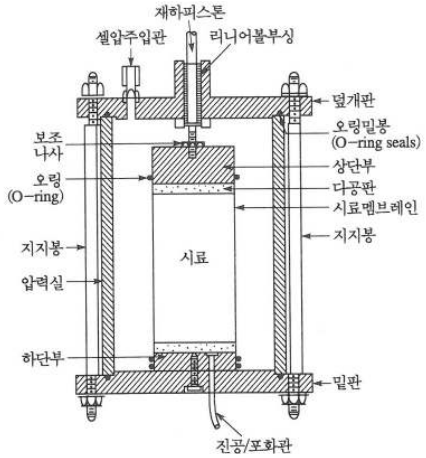
나. 시험방법

• 공시체의 높이(H)를 직경(D)의 1.5~2.5배로 성형
• 0.5, 1.0, 1.5, 2.0kg/cm^{2}의 단계에 대하여 포화도가 95%이상시 다음 단계로 넘어가며, 마지막 단계에서는 실험시작 시간에서 24시간 동안 포화시킨 후 압밀실시
• 모래는 10분, 점토 및 사질토는 30분 정도의 시간 소요
• 반복삼축시 실험자가 적당하다고 생각되는 응력을 가해서 값을 선정
• 반복횟수가 200회, 변형율의 양진폭이 5% 이상이 되면 종료

시험의 기록 예



• 반복 비배수 삼축시험에서 반복 하중 또는 변위에 미치는 방법
– 반복 하중 : 일정한 셀압력 하에서 하중만을 변화시키는 방법, 셀압력과 축하중 양쪽을 변화시키는 방법
– 반복 재하 : 하중의 파형과 주파수 제어, 변위의 파형과 주파수 제어
– 재하 진폭 : 하중의 진폭을 제어, 변위와 진폭을 제어

시험 모식도	시험 장비
	

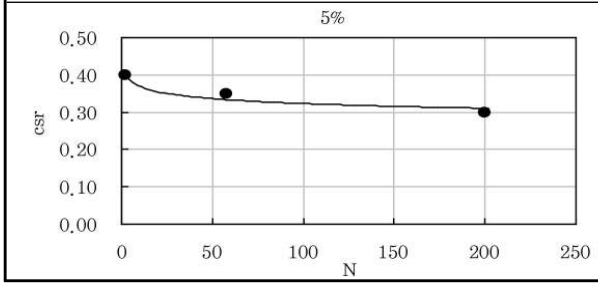
다. 시험결과

1) SBB-36

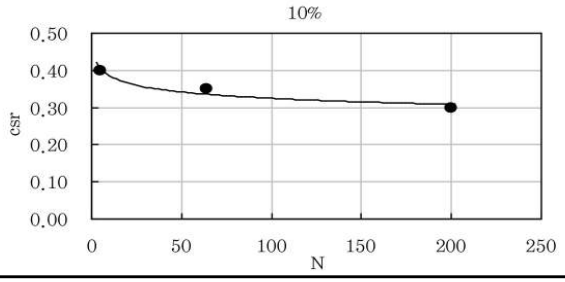
심도 (m)	단위중량 (kN/m^3)	함수비 (%)	축차응력 (kPa)	반복전단응력비 (CSR)	진동반복횟수(N)	
					DA=5%기준	DA=10%기준
3.0	18.0	14.62	60	0.30	200	200
			70	0.35	58	64
			80	0.40	2	5

CSR-N 곡선

DA=5%



DA=10%



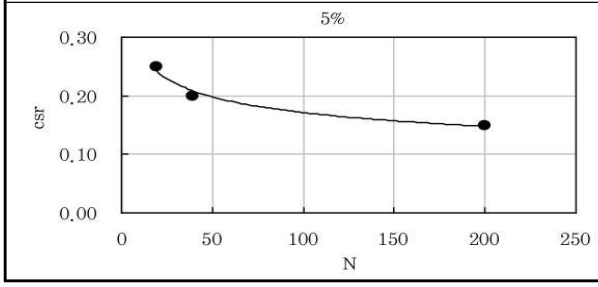
• 진동반복횟수가 10%일 때의 반복전단응력비(CSR)는 0.30~0.40의 값을 나타냄

2) SBB-72

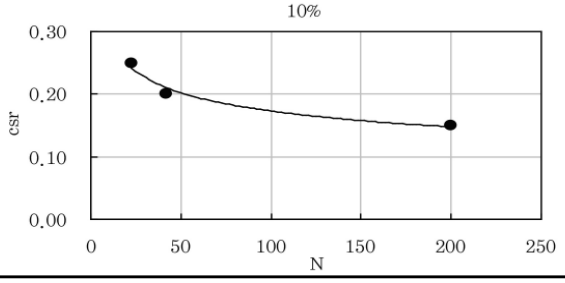
심도 (m)	단위중량 (kN/m^3)	함수비 (%)	축차응력 (kPa)	반복전단응력비 (CSR)	진동반복횟수(N)	
					DA=5%기준	DA=10%기준
2.0	18.0	14.62	30	0.15	200	200
			40	0.20	39	42
			50	0.25	19	23

CSR-N 곡선

DA=5%



DA=10%



• 진동반복횟수가 10%일 때의 반복전단응력비(CSR)는 0.15~0.25의 값을 나타냄

라. 설계활용

• N-CSR 곡선으로 액상화 발생여부를 평가하는 방법을 상세 예측법이라 하며, 이는 원위치 시험과 지반응답해석의 결과를 이용하여 평가하는 단순예측법과 더불어 액상화 평가에 활용

4.6 실내 암석시험

4.6.1 암석기본물성 및 일축압축강도시험

가. 시험목적

- 기본물성 및 일축압축강도 시험을 통하여 암석의 물리적, 역학적 제반 정수를 파악
- 교량구간, 깎기구간의 코아상태가 양호한 암종을 대상으로 시료 선정

나. 시험방법

시험항목	시험방법
일축압축강도 (KS F 2519) (ASTM D2938) (ASTM D3148)	• 공시체에 구속압을 가하지 않은 상태에서 축방향으로 압축력을 가하여 파괴시의 축방향 하중을 측정 • 일축압축강도 = 파괴시의 하중 /시험편의 단면적
비중 및 흡수율 (KS F 2503)	• 겉보기 비중 = 시험편의 완전건조 비중 / 공극을 포함하는 단위외형체적 • 흡수율(%) = (침수된 시험편의 중량−건조된 시험편의 중량)/시험편의 비중
탄성파속도 측정 (ASTM D2845)	• 시험편의 탄성파속도를 측정하기 위하여 Sonic Viewer Model을 사용, 측정방법은 시험편의 양면에 Transducer를 접촉시키고 Pulse를 발생시켜 Compressional Wave(P파) 및 Shear Wave(S파)의 전파시간을 측정하여 다음식에 의하여 속도를 산출 $V_p=L/T_p$, $V_s=L/T_s$ 여기서, V_p : P파 속도 T_p : P파 전파시간 V_s : S파 속도 T_s : S파 전파시간 L : 시험편의 길이

시험항목	시험결과 및 활용	교량	깎기	계
비중 및 흡수율	비중 산출, 암석의 고유 물성 특성 파악	30	6	36
포아송비	포아송비 산출, 암반 변형특성 파악			
탄성파속도	P파, S파 속도 산출, 균열도의 파악			
탄성계수	탄성계수 산출, 암반 변형특성 파악			
일축압축강도	역학적 특성파악, 암반분류, 지반물성값 산정			

다. 시험결과

공 번	심 도 (m)	단위중량 (g/cm^2)	비중	흡수율 (%)	탄성파속도(m/s)		일축강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)	포와송비	지층	구분
					P 파	S 파					
SBB-4	14.5~15.0	2.663	2.67	0.19	4,672	2,345	87.5	4.51E+4	0.18	연암	교량구간
SBB-12	16.4~16.5	2.715	2.72	0.14	4,778	2,397	83.9	4.20E+4	0.20	연암	
SBB-16	14.9~15.0	2.584	2.59	0.77	3,992	1,480	32.3	1.70E+4	0.27	연암	
SBB-21	16.9~17.2	2.587	2.60	1.21	3,050	1,438	13.9	6.26E+3	0.34	연암	
SBB-27	10.0~10.3	2.698	2.71	0.10	5,323	2,658	148.6	5.56E+4	0.19	연암	

시험결과(계속)

공 번	심 도 (m)	단위중량 (g/cm^2)	비중	흡수율 (%)	탄성파속도(m/s)		일축강도 (MPa)	탄성계수 (MPa)	포와 송비	지층	구분
					P 파	S 파					
SBB-30	17.1~17.3	2.660	2.67	0.24	5,102	2,531	82.7	3.97E+4	0.24	연암	교량구간
SBB-32	9.4~9.6	2.661	2.68	0.63	2,670.6	1,655.4	38.9	3.96E+3	0.28	연암	
SBB-33	12.4~12.6	2.609	2.62	0.37	2,722.6	1,676.5	41.8	4.24E+3	0.28	연암	
SBB-34	15.4~15.6	2.668	2.70	0.18	2,374.2	1,447.1	13.4	1.38E+3	0.30	연암	
SBB-35	7.8~7.9	2.509	2.53	2.31	1,583	809	9.9	2.15E+3	0.34	연암	
SBB-36	8.8~9.0	2.734	2.77	0.19	2,871.9	1,742.0	38.9	2.20E+3	0.29	연암	
SBB-37	8.4~8.6	2.696	2.71	0.23	3,307.6	2,042.5	51.5	6.77E+3	0.27	연암	
SBB-38	12.6~12.8	2.707	2.72	0.23	3,726.5	2,297.4	76.6	5.46E+3	0.26	연암	
SBB-43	13.6~13.8	2.590	2.61	0.32	3,811.7	2,376.5	82.7	7.41E+3	0.26	연암	
SBB-44	7.6~7.8	2.706	2.72	0.19	3,197.8	1,972.2	46.0	7.19E+3	0.27	연암	
SBB-45	7.8~8.0	2.593	2.65	0.51	2,519.7	1,521.2	25.9	1.32E+3	0.30	연암	
SBB-52	4.9~5.1	2.740	2.76	0.24	2,425.7	1,491.9	19.8	1.95E+3	0.30	연암	
SBB-53	3.7~3.9	2.698	2.73	0.16	2,506.2	1,531.4	13.4	2.71E+3	0.30	연암	
SBB-54	6.1~6.3	2.676	2.69	0.36	3,276.3	1,966.3	65.9	6.12E+3	0.27	경암	
SBB-55	8.1~8.3	2.629	2.63	1.03	3,269.4	2,006.5	56.7	4.53E+3	0.27	연암	
SBB-56	5.8~6.0	2.783	2.79	0.12	3585.4	2,228.4	63.3	7.25E+3	0.26	연암	
SBB-57	9.1~9.3	2.693	2.73	0.15	2,517.0	1,575.1	17.7	4.31E+3	0.31	연암	
SBB-59	6.8~7.0	2.689	2.71	0.15	4,012.6	2,481.6	85.8	7.95E+3	0.26	경암	
SBB-60	15.8~16.0	2.620	2.66	0.49	2,937.1	1,852.7	51.0	4.69E+3	0.28	경암	
SBB-62	10.2~10.4	2.676	2.72	0.14	3,699.1	2,310.0	85.4	6.54E+3	0.26	연암	
SBB-65	11.2~11.4	2.662	2.64	0.36	4,975.0	2,357.0	146.2	4.08E+4	0.17	연암	
SBB-72	7.6~7.8	2.560	2.60	1.20	1,447.0	758.0	67.5	8.06E+3	0.33	연암	
SBB-73	16.3~16.5	2.629	2.67	0.33	4,791.0	2,338.0	128.8	5.19E+4	0.22	연암	
SBB-74	21.8~22.0	2.645	2.66	0.17	3,460.5	2,071.8	64.4	5.78E+3	0.26	연암	
SBB-79	9.30~9.50	2.605	2.64	0.74	3,906.0	2,424.0	22.4	2.00E+4	0.27	연암	
SCB-8	26.2~26.4	2.677	2.69	0.21	2,956.9	1,806.3	48.5	3.23E+3	0.28	경암	깎기구간
SCB-12	31.3~31.5	2.863	2.87	0.05	3,782.3	2,320.7	70.8	8.65E+3	0.26	연암	
SCB-17	31.3~31.5	2.439	2.65	0.30	2,894.7	1,765.1	50.1	5.41E+3	0.28	경암	
SCB-20	13.8~14.0	2.695	2.70	0.14	2,999.5	1,838.4	48.0	7.45E+3	0.28	경암	
SCB-22	13.6~13.8	2.692	2.70	0.20	2,605.4	1,527.5	25.2	4.16E+3	0.29	연암	
SCB-38	12.8~13.0	2.755	2.76	0.31	3,505.2	2,122.3	67.7	6.18E+3	0.26	연암	

• 실내암석시험결과 교량구간 연암의 일축압축강도는 9.9~148.6MPa, 단위중량은 2.509~2.783g/cm^3, 경암의 일축압축강도는 51.0~85.8MPa, 단위중량은 2.620~2.689g/cm^3이며, 깎기구간 연암의 일축압축강도는 25.2~70.8MPa, 단위중량은 2.692~2.863g/cm^3, 경암의 일축압축강도는 48.0~50.1MPa, 단위중량은 2.439~2.695의 범위로 분포

• SBB-27, 65, 73의 연암 일축압축강도는 무결암 시료에 의해 강도값이 과대 평가됨

라. 설계활용

• 암반의 기본물성 파악 및 암반 분류시 활용

• 실내시험결과를 통해 얻어진 물성치간의 상관관계를 분석하여 데이터의 신뢰성을 판단

4.6.2 삼축압축강도시험

가. 시험목적

• 암반의 실제 응력상태와 가장 유사한 조건을 구현하여 실험을 수행하고, 그 결과를 도출하여 각종 시험결과와 상관관계 및 강도정수 산정 시 보정치로 활용

나. 시험방법

• 삼축시험은 지반의 전단강도를 구하는 시험으로 응력조건과 배수조건을 임의로 조절할 수 있고, 현장지반의 응력이력이나 구속압력 및 압밀압력을 재현하여 시험할 수 있기 때문에 신뢰도가 큰 시험결과를 얻을 수 있음
• 압력실 압력 σ_3를 다르게 하여 수행한 최소 3개(동일한 성질의 시험편)의 시험결과를 Mohr의 응력원으로 표시하고, 이 원들의 공통 접선으로부터 파괴포락선을 구하여 그 기울기인 내부 마찰각 ϕ와 그 절편인 점착력 c를 구함
• 측압 및 축하중을 증가시켜 최대 삼축압축응력의 변화를 구함

시험 장비



다. 시험결과

공번	심도(GL.-m)	구속응력 (MPa)	축차응력 (MPa)	점착력 (MPa)	내부마찰각 (°)	지층	비고
SBB-4	14.5~15.0	5.0	173.2	16.5	58.5	연암	교량 구간
		10.0	235.9				
		15.0	288.3				
SBB-33	13.0~13.3	0.0	34.9	5.6	43.6	연암	
		5.0	55.1				
		10.0	79.1				
SBB-35	8.5~8.9	5.0	183.0	19.8	56.92	연암	
		10.0	240.0				
		15.0	286.1				
SBB-36	9.50~9.80	0.0	33.8	4.5	45.6	연암	
		5.0	51.0				
		10.0	82.9				
SBB-43	13.6~13.9	0.0	64.9	10.0	51.5	연암	
		5.0	99.2				
		10.0	132.7				
SBB-52	2.60~2.90	0.0	46.4	7.4	47.5	연암	
		5.0	67.0				
		10.0	101.5				
SBB-54	6.30~6.60	0.0	45.4	8.0	44.8	경암	
		5.0	71.6				
		10.0	93.1				

시험결과(계속)

공번	심도(GL.-m)	구속응력 (MPa)	축차응력 (MPa)	점착력 (MPa)	내부마찰각 (°)	지층	비고
SBB-55	8.10~8.40	0.0	53.3	8.2	48.5	연암	교량 구간
		5.0	80.9				
		10.0	112.9				
SBB-59	7.30~7.60	0.0	82.1	11.7	48.0	경암	
		5.0	106.4				
		10.0	139.8				
SBB-62	9.60~9.90	5.0	113.1	10.8	52.3	연암	
		10.0	156.2				
		15.0	184.8				
SBB-74	19.7~20.0	0.0	51.9	8.2	48.9	연암	
		5.0	80.1				
		10.0	113.1				
SBB-79	11.5~11.8	5.0	226.0	22.7	59.3	연암	
		10.0	290.2				
		15.0	348.8				
SCB-5	23.3~23.6	0.0	53.2	9.3	48.1	연암	깎기 구간
		5.0	79.8				
		10.0	111.3				
SCB-8	25.0~25.3	5.0	58.4	6.4	47.2	경암	
		10.0	91.4				
		15.0	115.4				
SCB-12	30.1~30.4	0.0	84.0	14.3	49.4	연암	
		5.0	112.9				
		10.0	147.0				
SCB-17	30.0~30.3	5.0	66.7	8.2	47.7	경암	
		10.0	97.2				
		15.0	128.0				
SCB-20	13.0~13.3	0.0	42.3	7.3	48.9	경암	
		5.0	79.3				
		10.0	102.7				
SCB-22	16.5~16.8	5.0	70.9	6.4	48.4	연암	
		10.0	103.7				
		15.0	133.4				

• 삼축압축강도 시험결과 교량구간에서 연암은 점착력 4.5~22.7MPa, 내부마찰각 43.6~59.3°, 경암은 점착력 8.0~11.7MPa, 내부마찰각 44.8~48.0°, 깎기구간에서 연암은 점착력 6.4~14.3MPa, 내부마찰각 48.1~49.43°, 경암은 점착력은 6.4~8.2MPa, 내부마찰각은 47.2~48.9°의 범위로 나타남

라. 설계활용

• 각종 시험결과와의 상관관계 분석 및 강도정수(점착력, 내부마찰각) 산정시 보정치로 활용

• 산정된 점착력 및 내부마찰각을 이용하여 수치해석시 설계지반정수 산정시 반영하고, 수치해석시 입력값으로 활용

4.6.3 점하중강도시험

가. 시험목적

- 암석 시료에 대해 인장력을 가하여 Point load index $Is_{(50)}$값을 선정
- 실내암석시험을 통한 일축압축강도와의 상관관계를 도출하여 과업구간 지반에 대한 강도분포 산정

나. 시험방법

- 암석시료에 점하중을 가하여 시료 내에 인장력을 유발시켜 암석이 파괴에 이르도록 하는 시험방법으로 이 결과를 이용하여 일축압축강도를 산출
- 암반의 분류(RMR 분류)시 암석의 강도를 점하중 시험값을 이용
- Diametral test는 직경방향으로 가압하여 지수를 구하는 시험으로 시료는 길이 대 지름의 비가 1.0 이상인 것이어야 하며, Axial test는 코아시료의 길이 방향으로 가압하는 시험으로 가압점은 시료단면의 중심으로 함
- 강도 계산방법

  $-Is_{(50)}$과 압축강도는 평균 15~25(α)배의 관계가 있는 것으로 알려져 있음

  $(\sigma_{(qu)} = \alpha \times Is_{(50)})$

시험 장비



다. 시험결과

공번	심도 (GL.-m)	지층	$Is_{(50)}$ (MPa)	q_u (MPa)	공번	심도 (GL.-m)	지층	$Is_{(50)}$ (MPa)	q_u (MPa)
SBB-2	11.8	연암	1.13	20.8	SBB-8	14.3	연암	0.93	17.1
SBB-2	12.4	연암	5.96	109.7	SBB-10	4.1	경암	5.35	98.4
SBB-2	13.6	연암	4.81	88.5	SBB-10	5.5	경암	6.52	119.9
SBB-3	15.2	연암	0.98	18.0	SBB-11	13.4	경암	0.71	13.0
SBB-3	16.2	연암	0.92	16.9	SBB-11	14.6	경암	4.98	91.6
SBB-3	17.4	연암	1.17	21.6	SBB-11	15.9	경암	4.45	81.8
SBB-4	15.7	연암	0.48	8.8	SBB-12	13.8	연암	3.94	72.6
SBB-4	16.2	연암	0.31	5.7	SBB-12	14.0	연암	5.84	107.5
SBB-4	17.0	연암	0.86	15.9	SBB-12	16.5	연암	2.21	40.6
SBB-5	17.8	연암	5.12	94.2	SBB-13	12.6	연암	0.78	14.4
SBB-5	19.0	연암	0.63	11.7	SBB-13	15.2	연암	0.99	18.3
SBB-5	19.5	연암	7.32	134.7	SBB-13	16.4	연암	1.21	22.2
SBB-6	9.7	경암	3.62	66.6	SBB-14	10.2	연암	0.48	8.9
SBB-6	11.5	경암	3.61	66.5	SBB-14	11.7	연암	1.05	19.3
SBB-6	12.3	경암	3.59	66.0	SBB-14	12.7	연암	1.53	28.2
SBB-7	6.5	연암	2.74	50.3	SBB-15	10.3	연암	2.42	44.5
SBB-7	8.2	연암	5.63	103.6	SBB-15	10.8	연암	2.07	38.0
SBB-7	9.4	연암	2.61	48.0	SBB-15	13.2	연암	7.08	130.3

시험결과(계속)

공번	심도 (GL.-m)	지층	$Is_{(50)}$ (MPa)	q_u (MPa)	공번	심도 (GL.-m)	지층	$Is_{(50)}$ (MPa)	q_u (MPa)
SBB-16	14.5	연암	1.07	19.6	SBB-32	11.4	연암	0.9	16.4
SBB-16	15.5	연암	0.60	11.1	SBB-33	11.9	연암	0.7	13.4
SBB-16	17.4	연암	0.43	8.0	SBB-33	12.0	연암	1.6	30.4
SBB-17	9.5	연암	0.52	9.5	SBB-33	13.0	연암	1.2	22.7
SBB-17	10.3	연암	3.21	59.0	SBB-34	14.3	연암	1.2	22.2
SBB-17	11.8	연암	5.67	104.3	SBB-35	2.6	연암	1.11	20.4
SBB-18	8.9	연암	0.35	6.5	SBB-35	8.4	연암	1.32	24.3
SBB-18	10.4	연암	0.72	13.3	SBB-35	9.9	연암	1.57	28.9
SBB-18	11.6	연암	2.27	41.7	SBB-36	7.4	연암	1.3	24.1
SBB-19	14.1	연암	0.57	10.5	SBB-36	9.3	연암	0.5	8.7
SBB-19	14.6	연암	1.99	36.6	SBB-36	9.5	연암	3.1	57.2
SBB-19	16.3	연암	2.00	36.7	SBB-37	7.7	연암	3.6	66.5
SBB-20	13.4	연암	2.96	54.5	SBB-37	8.5	연암	6.7	123.2
SBB-20	14.4	연암	3.54	65.1	SBB-37	9.6	연암	3.4	62.8
SBB-20	14.6	연암	1.14	21.0	SBB-38	10.4	연암	0.5	9.6
SBB-21	16.1	연암	0.57	10.5	SBB-38	12.4	연암	0.2	3.8
SBB-21	17.9	연암	2.62	48.2	SBB-38	12.6	연암	1.6	29.4
SBB-21	18.4	연암	0.62	11.5	SBB-43	12.4	연암	0.7	12.6
SBB-22	10.5	연암	1.68	30.9	SBB-43	13.4	연암	3.6	65.4
SBB-22	10.8	연암	0.35	6.4	SBB-43	14.1	연암	3.6	66.5
SBB-22	13.2	연암	0.24	4.3	SBB-44	7.1	연암	3.6	55.1
SBB-26	7.8	연암	1.99	36.6	SBB-44	7.6	연암	3.0	50.7
SBB-26	8.4	연암	5.28	97.1	SBB-44	8.4	연암	4.6	83.8
SBB-26	9.6	연암	5.72	105.3	SBB-45	7.6	연암	2.0	36.8
SBB-27	7.3	연암	2.63	48.5	SBB-45	8.9	연암	1.7	31.9
SBB-27	9.3	연암	2.95	54.3	SBB-45	9.9	연암	1.5	28.3
SBB-27	10.0	연암	5.74	105.6	SBB-48	21.6	풍화암	1.7	31.7
SBB-28	20.1	연암	2.43	44.7	SBB-48	23.8	연암	0.1	2.4
SBB-28	20.4	연암	3.76	69.2	SBB-8	15.8	연암	0.44	8.0
SBB-28	22.3	연암	1.33	24.5	SBB-8	16.5	연암	0.97	17.8
SBB-29	8.4	연암	0.37	6.8	SBB-10	2.7	경암	3.06	56.3
SBB-29	10.1	연암	5.30	97.5	SBB-51	4.9	연암	4.7	86.7
SBB-29	10.9	연암	6.39	117.6	SBB-52	2.6	연암	6.0	111.0
SBB-30	16.6	연암	2.74	50.4	SBB-52	4.2	연암	5.0	91.3
SBB-30	18.9	연암	7.51	138.1	SBB-52	5.2	연암	4.1	74.8
SBB-30	19.5	연암	4.93	90.7	SBB-53	2.8	연암	1.6	29.4
SBB-31	17.1	연암	1.00	18.5	SBB-53	3.7	연암	1.1	19.8
SBB-31	17.5	연암	1.30	23.9	SBB-53	4.0	연암	4.8	87.4
SBB-31	18.4	연암	1.36	25.1	SBB-54	5.7	연암	3.5	64.2
SBB-32	8.9	연암	3.1	58.0	SBB-54	6.1	경암	3.2	58.0
SBB-32	9.9	연암	1.2	22.9	SBB-54	6.3	경암	5.1	93.9

시험결과(계속)

공번	깊이 (m)	지층	$Is_{(50)}$ (MPa)	q_u (MPa)	공번	깊이 (m)	지층	$Is_{(50)}$ (MPa)	q_u (MPa)
SBB-55	9.1	연암	1.4	26.4	SBB-72	8.0	연암	0.9	17.3
SBB-56	5.2	연암	1.2	21.4	SCB-5	21.3	연암	1.0	18.8
SBB-56	5.8	연암	1.8	33.4	SCB-5	23.9	연암	2.7	49.4
SBB-56	7.3	연암	3.3	60.2	SCB-5	27.0	연암	0.9	16.6
SBB-57	7.1	연암	5.7	104.6	SCB-6	15.4	연암	2.8	50.8
SBB-57	7.7	연암	4.7	86.5	SCB-6	16.8	연암	3.6	65.8
SBB-57	9.3	연암	3.7	68.4	SCB-6	19.4	연암	3.0	55.3
SBB-59	6.3	연암	4.0	73.6	SCB-8	25.0	경암	1.4	26.1
SBB-59	7.1	연암	4.7	85.5	SCB-8	26.0	경암	1.0	18.7
SBB-59	9.2	연암	5.3	98.0	SCB-8	27.9	경암	4.3	78.3
SBB-60	14.5	연암	2.2	40.8	SCB-12	30.5	연암	3.5	64.9
SBB-60	15.1	경암	1.3	24.7	SCB-12	31.0	연암	3.1	56.9
SBB-60	15.6	경암	2.5	45.8	SCB-12	31.6	연암	3.5	65.1
SBB-61	25.3	연암	1.7	30.8	SCB-15	32.3	연암	1.3	24.3
SBB-62	8.4	연암	4.3	79.7	SCB-15	33.9	연암	1.6	29.1
SBB-62	9.3	연암	5.9	107.9	SCB-15	34.7	연암	1.7	32.1
SBB-62	10.4	연암	6.0	111.2	SCB-17	29.0	경암	0.8	14.9
SBB-73	15.0	연암	6.0	7.8	SCB-17	30.9	경암	5.1	94.3
SBB-73	16.3	연암	6.0	34.0	SCB-17	31.8	경암	0.5	9.8
SBB-73	16.5	연암	1.9	9.6	SCB-20	12.4	경암	2.8	51.7
SBB-74	20.9	연암	0.9	17.5	SCB-20	14.0	경암	2.8	52.0
SBB-74	21.7	연암	3.0	55.2	SCB-20	14.9	경암	3.8	69.7
SBB-74	21.8	연암	4.1	75.8	SCB-22	9.3	연암	1.1	20.0
SBB-79	9.3	연암	2.4	43.4	SCB-22	11.9	연암	1.5	28.4
SBB-79	10.0	연암	2.5	45.3	SCB-22	15.4	연암	1.4	25.0
SBB-79	11.5	연암	1.9	35.3	SCB-32	9.5	연암	0.7	13.3
SBB-65	11.2	연암	3.9	71.9	SCB-32	10.0	연암	1.9	35.5
SBB-65	11.4	연암	3.6	65.7	SCB-32	14.0	연암	0.2	3.7
SBB-65	11.5	연암	3.0	54.9	SCB-38	13.5	연암	1.3	23.6
SBB-72	7.6	연암	0.8	15.3	SCB-38	14.0	연암	3.4	62.8
SBB-72	7.9	연암	0.6	10.3	SCB-38	14.3	연암	1.3	24.1

- 상관성 분석결과 q_u(MPa)=18.4×$Is_{(50)}$이고, R^2=0.74로 높은 상관도를 보이며, 환산 일축압축강도 산정시 활용
- 점하중강도 시험결과 교량구간 환산일축압축 강도는 연암 2.4~138.1MPa, 경암 13.0 ~119.9MPa의 범위로 나타나며, 깎기구간 환산일축압축 강도는 연암 3.7~65.8MPa, 경암 9.8~94.3MPa의 범위로 나타남

라. 설계활용

- 일축압축강도와 점하중강도의 관계를 통하여 환산 점하중강도지수를 산정 후 $Is_{(50)}$을 통해 시료성형이 어려운 시편의 일축압축강도값 추정(환산 점하중강도지수=18.4)

4.6.4 간접인장강도시험

가. 시험목적

- 암석 시료를 공시체 지름방향으로 선하중을 가함으로서 압열로 인한 암석의 인장강도를 간접적으로 파악
- 직접인장시험보다 경제적이며, 시험이 용이한 간접인장시험(Brazilian Test)인 압열인장시험으로 인장강도를 측정

나. 시험방법

- 시추조사시 채취한 원주형 시료에 대해, 직경에 대한 높이의 비를 0.5~1.0 정도로 한 NX크기 이상의 시료를 이용하여 일축압축시험용 시편과 동일한 방법으로 시료 성형 후 코아의 원주곡면부를 가압함으로써, 파괴시 인장강도를 구함

$$St = \frac{2P}{\pi DL}$$

여기서, S_t : 인장강도　　P : 최대수직하중
D : 공시체 직경　　L : 공시체 길이

시험 장비



다. 시험결과

공 번	심 도 (GL.-m)	인장강도 (MPa)	지층	공 번	심 도 (GL.-m)	인장강도 (MPa)	지층
SBB-4	14.5~15.0	10.39	연암	SBB-62	9.60~9.90	6.29	연암
SBB-33	13.0~13.3	3.63	연암	SBB-74	19.7~20.0	5.12	연암
SBB-35	8.5~8.9	7.79	연암	SBB-79	11.5~11.8	10.65	연암
SBB-36	9.50~9.80	2.39	연암	SCB-5	23.3~23.6	6.55	연암
SBB-43	13.6~13.9	6.17	연암	SCB-8	25.0~25.3	4.80	경암
SBB-52	2.60~2.90	4.78	연암	SCB-12	30.1~30.4	9.78	연암
SBB-54	6.30~6.60	5.71	경암	SCB-17	30.0~30.3	6.10	경암
SBB-55	8.10~8.40	5.01	연암	SCB-20	13.0~13.3	5.05	경암
SBB-59	7.30~7.60	6.71	경암	SCB-22	16.5~16.8	3.55	연암

- 교량구간에서 연암은 2.39~10.65MPa, 경암은 5.71~6.71MPa 범위를 나타내며, 깎기구간에서 연암은 3.55~9.78MPa, 경암은 5.05~6.10MPa 범위로 나타남

라. 설계활용

- 일축압축강도와 함께 Mohr원을 그려 암석의 전단강도를 결정

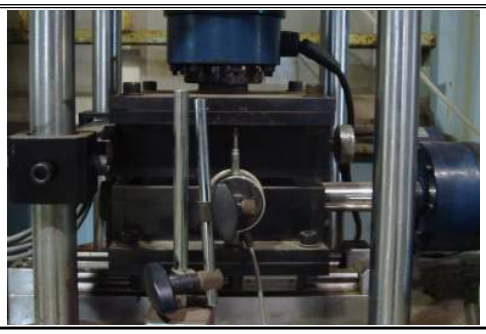
4.6.5 절리면 전단시험

가. 시험목적

• 암석내 절리의 전단특성을 이해하기 위한 시험으로, 최대 전단강도를 구하여 마찰각 등의 절리 특성값들을 산정하기 위하여 실시

나. 시험방법

• 자연상태에서 채취한 시료를 전단상자의 모양인 직육면체 형태로 몰딩시켜 시험
• 전단시험방향은 타원의 전단면에 대해 전단이 용이한 장축방향으로 시험을 실시
• 전단변위 제어를 위해 통상적으로 전단력을 연속적으로 작용시킴
• 전단속도는 가급적 2mm/min이 유지되도록 하고, 임의의 수직하중을 일정하게 유지
• 시험편이 일정한 수직응력하에서 전단되고 1cm의 전단변위에 대해 5% 이하의 전단응력의 변화를 보이는(적어도 4번의 연속적인) 측정값이 나타나면 잔류강도값을 구할 수 있음
• 시험종료 후 전단면을 노출시켜 전단면적을 측정하고, 필요시 사진 촬영
• 암석시료, 충진물질, 전단부위의 부스러기는 Index Test를 위해 보관

구 분	내 용	시험 장비
전단하중	• 일본 Shimadzu사의 200톤 만능재료 시험기 (UDH-200AR)	
측정시스템	• System 5000(미국 Measurement Group사, 만능재료 시험기에 들어오는 하중을 전압형태로 받아들여 처리)	
시편의 변위	• LVDT(스트레인게이지 타입 LVDT)	

<응력계산법>

• 전단응력과 수직응력의 계산

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

여기서, P_s : 전체전단력, P_n : 전체수직력, A : 전단력의 겹침면적

• 변위의 측정값들은 평균전단변위와 평균수직변위를 구하기 위해 평균화 됨
• 각각의 시료에 대해 전단응력과 전단변위의 관계곡선, 수직변위의 관계곡선을 작성하고, 최대강도와 잔류강도, 수직응력, 전단변위와 수직변위의 값들을 요약할 수 있음
• 모든 시료에 대해 종합된 결과값으로부터 최대잔류강도와 수직응력의 관계가 그래프로 표시되며, 이 그래프에서 점착력과 내부마찰각을 구할 수 있음

다. 시험결과

공 번	심 도 (GL.-m)	JRC	JCS (MPa)	내부마찰각(°)		점착력(MPa)		강성(MPa/mm)		지층	구간
				최대	잔류	최대	잔류	K_n	K_s		
SBB-12	13.6~13.8	10~12	45.0	35.84	33.68	0.005	0.001	9.1	1.2	연암	교량구간
SBB-22	12.7~13.0	8~10	40.0	31.51	30.49	0.007	0.001	9.2	1.1	연암	
SBB-30	19.2~19.4	4~6	32.0	33.13	32.04	0.061	0.027	10.4	0.57	연암	
SBB-35	9.3~9.5	10~12	37.0	30.82	19.18	0.075	0.033	11.8	1.71	연암	
SBB-37	8.70~9.00	8~10	103.0	42.15	39.83	0.038	0.006	10.7	1.02	연암	
SBB-44	7.20~7.50	6~8	127.9	44.26	40.05	0.037	0.009	11.4	1.09	연암	
SBB-54	6.80~7.10	4~6	146.2	39.64	38.09	0.037	0.007	12.8	1.17	경암	
SBB-59	6.80~7.10	4~6	131.8	42.47	38.60	0.031	0.006	12.2	1.12	경암	
SBB-62	8.80~9.10	4~6	109.0	41.23	36.85	0.028	0.004	11.5	1.07	연암	
SBB-72	8.00~8.40	6~8	49.2	35.75	33.08	0.080	0.025	10.19	1.59	연암	
SBB-73	16.5~16.7	2~4	23.2	36.95	32.37	0.054	0.012	12.49	1.80	연암	
SBB-81	3.20~3.50	10~12	35.8	38.37	35.97	0.048	0.012	10.7	0.56	연암	
SCB-17	36.0~36.3	8~10	116.7	42.90	41.12	0.042	0.005	11.5	1.09	연암	깎기구간
SCB-21	31.4~31.7	8~10	147.2	44.76	42.18	0.045	0.004	12.2	1.14	연암	
SCB-23	10.4~10.7	6~8	109.5	42.00	38.88	0.031	0.005	11.0	1.02	연암	

- 절리면 전단시험 결과 교량구간의 JRC는 연암에서 2~12, 경암에서 4~6, JCS는 연암에서 23.2~127.9MPa, 경암에서 131.8~146.2MPa 내부마찰각은 연암에서 30.82~44.26°, 경암에서 39.64~42.47°, 점착력은 연암에서 0.005~0.080MPa, 경암에서 0.031~0.037MPa 범위로 분포
- 깎기구간의 연암에서 JRC는 6~10, JCS는 109.5~147.2MPa, 내부마찰각은 42.0~44.76°, 점착력은 0.031~0.045MPa의 범위로 분포

라. 설계활용

- JCS와 JRC 등의 절리강도값을 분석하여 설계자료로 활용
- 불연속면의 물성치 산정의 입력자료로 활용

4.6.6 암유용성시험

가. 시험목적

• 깎기구간에서 회수된 암코아를 대상으로 재료품질시험을 실시하여 암에 대한 유용성 판단

나. 시험방법

• 밀도 및 흡수율 시험은 수중에 진동을 주면서 부착공기를 제거하고, 20±5℃의 물속에 담근 후 건조에 따른 질량변화를 측정하여 밀도 및 흡수율 값 선정
• 마모시험은 골재를 체가름한 후 원통에 넣어 입도에 따라 500, 1000회를 회전시킨 후 건조질량을 측정하여 마모감량을 측정
• 안정성시험은 황산나트륨 포화용액에 골재를 담근 후 건조시켜 감소된 질량을 측정하고, 조립자 파괴상황을 관찰하여 손실 질량을 통하여 안정성 검토를 실시

다. 시험결과

공번	심도(m)	절건밀도 (g/cm^3)	표건밀도 (g/cm^3)	흡수율(%)	안정성(%)	마모(%)	지층
SCB-17	34.5~37.5	2.66	2.67	0.51	5.48	24.9	연암
SCB-20	15.0~18.0	2.69	2.69	0.23	3.49	16.9	경암

• 암유용성시험 결과 연암은 절대건조밀도 2.66g/cm^3, 표면건조밀도 2.67g/cm^3, 흡수율 0.51%, 안정성 5.48%, 마모율 24.9%로 나타났으며, 경암은 절대건조밀도 2.69g/cm^3, 표면건조밀도 2.69g/cm^3, 흡수율은 0.23%, 안정성 3.49%, 마모율 16.9%로 나타남

라. 설계활용

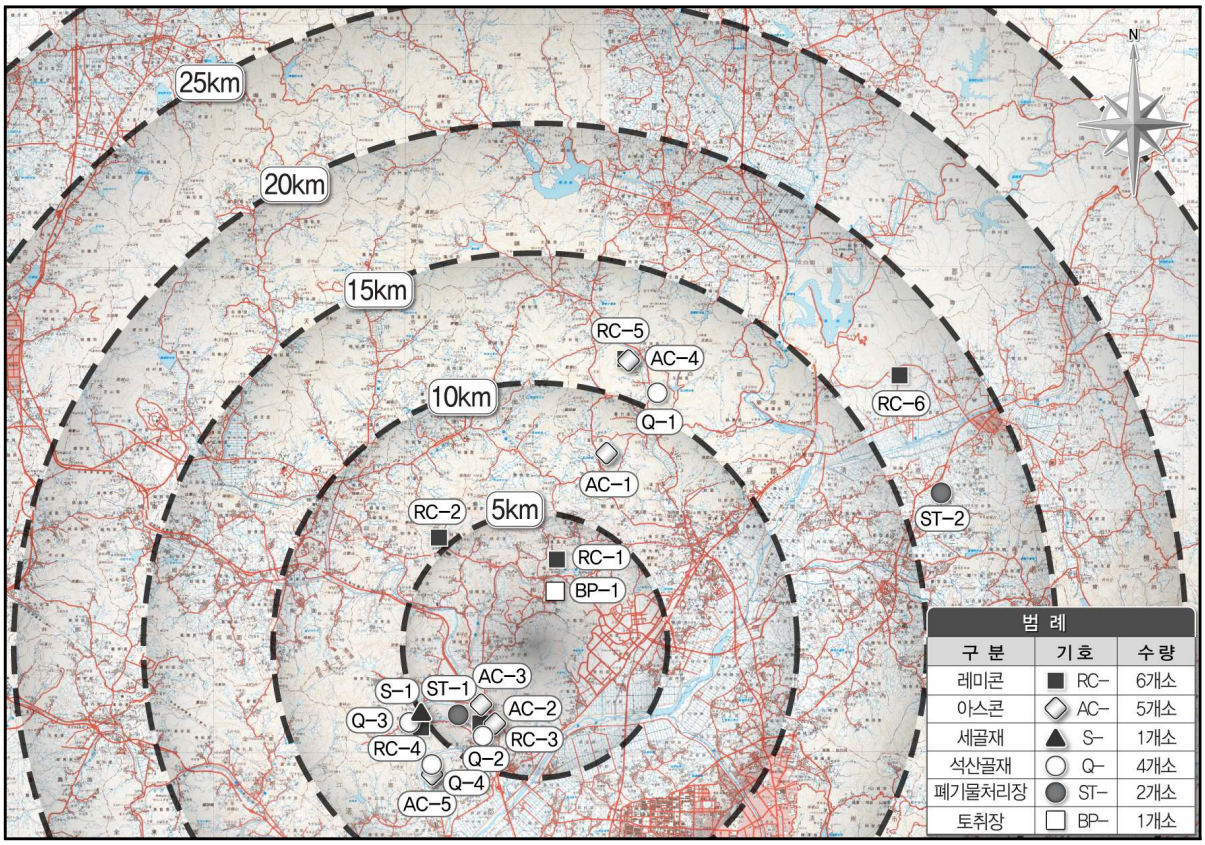
• 암유용성 시험결과를 골재의 품질기준과 비교 분석하여 사용여부 판단

4.7 재료원 조사

4.7.1 재료원 조사개요

- 현장조사를 통한 과업지역 인근에 위치한 재료원 현황을 파악하였으며 매장량 및 거리, 생산량 등을 검토하여 가장 경제적이고 효율적인 재료원 선정 시 활용
- 운반거리는 서오창IC 지방도 540번(오창읍 성산리 262-4도)을 기준으로 산정

4.7.2 재료원 조사 위치도 및 현황



가. 레미콘

구 분	업 체 명	주 소	운반거리 (km)	하루생산량 (m^3/hr)
RC-1	금성네트(주)	충북 청원군 오창읍 성산리 69-2	3.2	210
RC-2	(주)한덕레미콘	충북 청원군 오창읍 두릉리 18-1	6.3	210
RC-3	옥산레미콘(주)	충북 청원군 옥산면 환희리 42-8	12.7	420
RC-4	동양레미콘(주)	충북 청원군 옥산면 금계리 660-1	13.0	210
RC-5	금성개발(주)	충북 진천군 문백면 태락2길 39	13.1	240
RC-6	동성산업(주)	충북 진천군 초평면 용산리 27	17.4	180

나. 아스콘

구 분	업 체 명	주 소	운반거리 (km)	하루생산량 (ton/hr)
AC-1	(주)대아산업	충북 진천군 문백면 송강로 180	11.2	160
AC-2	옥산아스콘(주)	충북 청원군 옥산면 환희리 42-8	12.7	320
AC-3	익산건설(주)	충북 청원군 옥산면 환희리 31-1	12.7	120
AC-4	금성아스콘(주)	충북 진천군 문백면 태락2길 39	13.1	280
AC-5	대성개발(주)	충북 청원군 옥산면 환희리 10	13.2	150

다. 세골제

구 분	업 체 명	주 소	운반거리 (km)	하루생산량 (m^3/day)
S-1	(주)서룡개발	충북 청원군 옥산면 금계리 660-1	13.0	500

라. 조골재(석산골재)

구 분	업 체 명	주 소	운반거리 (km)	매장량 (m^3)
Q-1	금성개발(주)	충북 진천군 문백면 태락리 532	11.5	1,500,000
Q-2	환희개발(주)	충북 청원군 옥산면 환희리 42-8	12.7	2,000,000
Q-3	(주)서룡개발	충북 청원군 옥산면 금계리 660-1	13.0	1,000,000
Q-4	대성개발	충북 청원군 옥산면 환희리 산10	14.3	2,000,000

마. 폐기물 처리장

구 분	업 체 명	주 소	운반거리 (km)	비 고
ST-1	(주)중부환경	충북 청원군 옥산면 환희리 33-1	13.1	
ST-2	우진환경개발(주)	충북 청원군 북이면 금암리 434-1	19.6	

바. 토취장

구 분	업 체 명	주 소	운반거리 (km)	가채량 (m^3)
BP-1	-	충북 청원군 오창읍 화산리 산150-1 외 2필지	1.2	100,000

제5장 공종별 성과분석

5.1 교량구간 성과분석

5.2 토공구간 성과분석

제 5 장 공종별 성과분석

5.1 교량구간 성과분석

5.1.1 조사개요

가. 기본방향

조사항목	조 사 기 본 방 향
지층현황	• 교대, 교각별로 시추조사, 현장 및 실내시험을 실시하여 지층분포상태 및 공학적 특성 파악 • 지층 및 심도별 공학적 특성을 파악하고 기초위치 선정과 안정성 파악 • 시추장비의 에너지효율 측정을 통해 합리적이고 일관성 있는 N값 보정
내진검토	• 하향식탄성파탐사, 공진주시험, 진동삼축압축시험 등 동적물성시험을 이용한 지반의 동적물성값을 산정하여 내진설계에 반영

나. 조사항목 선정 및 흐름도

광 역 조 사	물 리 탐 사	현 장 조 사
• 기존자료 분석 • 인공위성 영상분석	• 미시추구간의 지층분포 현황 파악 (굴절법탄성파탐사) • 지장물 현황 파악(GPR탐사)	• 시추조사 • 지층발달상태 파악 • 지하수위 측정

⇩

현 장 시 험		실 내 시 험	
• 표준관입시험	• 공내영상촬영	• 기본물성시험	• 점하중강도시험
• 공내재하시험	• 하향식탄성파탐사	• 절리면전단시험	• 삼축압축강도시험
• 공내전단시험	• 현장투수시험	• 일축압축시험	• 인장강도시험

⇩

암반등급 결정	동적특성파악	설계지반정수 산정
• 시추코아를 이용한 RMR분류	• 동적물성값 산정	• 설계에 요구되는 각종 설계 지반정수 값 산정

⇩

• 단위중량(γ) • 변형계수(E_m)	• 점착력(c) • 포아송비(υ)	• 내부마찰각(ϕ) • 투수계수(k)	• 절리면 거칠기(JRC) • 절리면전단강도(c, ϕ)	• 동적설계지반정수 (v_d, G_d, E_d, K_d)

⇩

구조물기초설계	내진설계

다. 조사위치 및 수량

1) 교량구간 현황



2) 조사항목 및 수량

구 분	조 사 항 목	단위	수 량	구 분	조 사 항 목	단위	수 량
현장조사	시추조사	공	82	현장시험	공내재하시험	회	30
	지하수위 측정	회	82		공내전단시험	회	11
물리탐사	굴절법탄성파탐사	km	-	실 내 토질시험	기본물성시험	회	105
	GPR탐사	단면	10		공진주시험	회	2
현 장 특수시험	시추공 영상촬영	회	-		진동삼축압축시험	회	2
	하향식 탄성파탐사	회	2	실 내 암석시험	기본물성 및 일축압축강도시험	회	30
현장시험	SPT에너지효율시험	회	1		삼축압축강도 및 인장강도시험	식	12
	현장투수시험	회	12		절리면전단시험	식	12

시 추 조 사	하 향 식 탄 성 파 탐 사	공 내 재 하 시 험
		

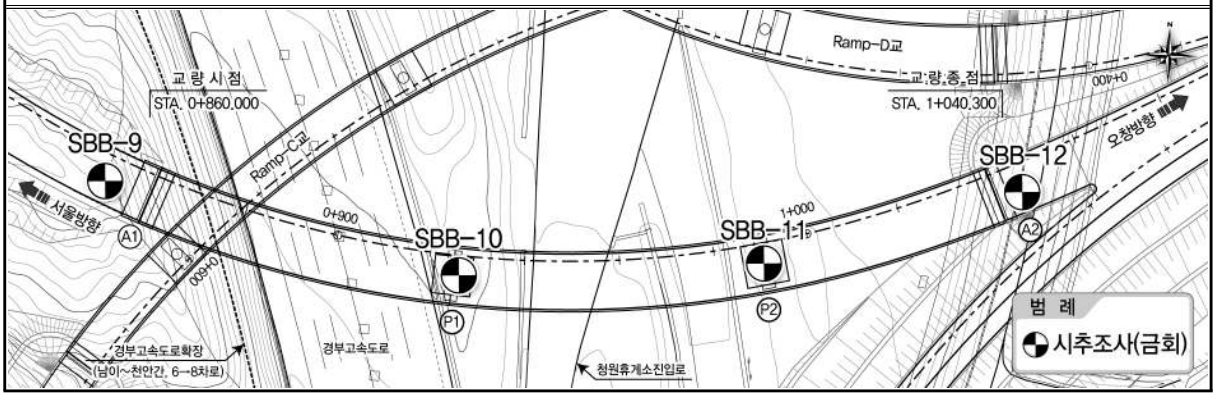
5.1.2 교량별 지층특성 및 지반특성분석

가. 지층특성분석

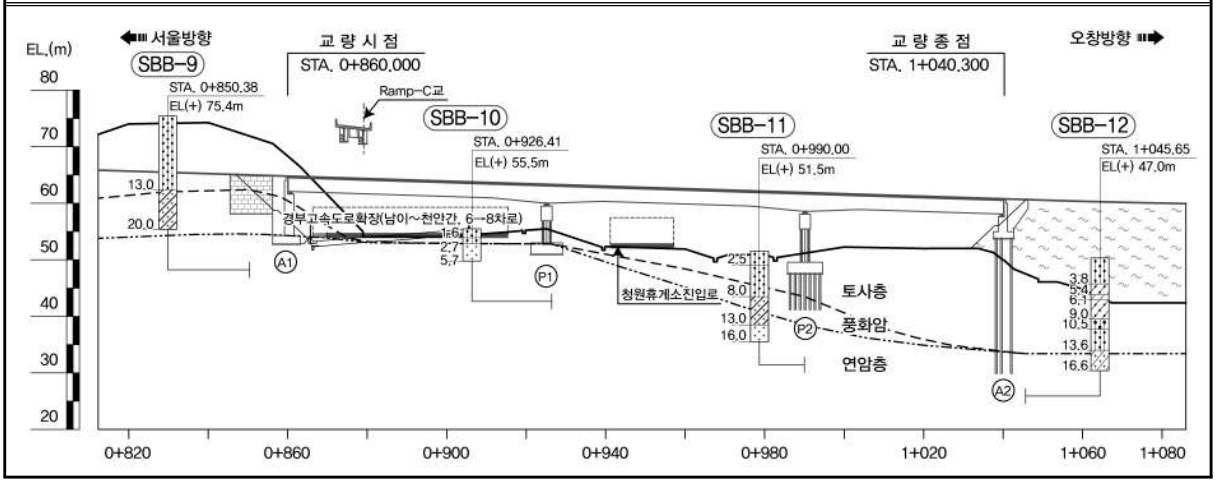
1) 옥산 JCT Ramp A교

- 본 구간은 STA. 0+860.000~1+040.300 구간으로 연장은 L=180.3m
- 본 구간에 총 4공(SBB-9~SBB-12)의 시추조사를 수행

위 치 도



지 층 단 면 도



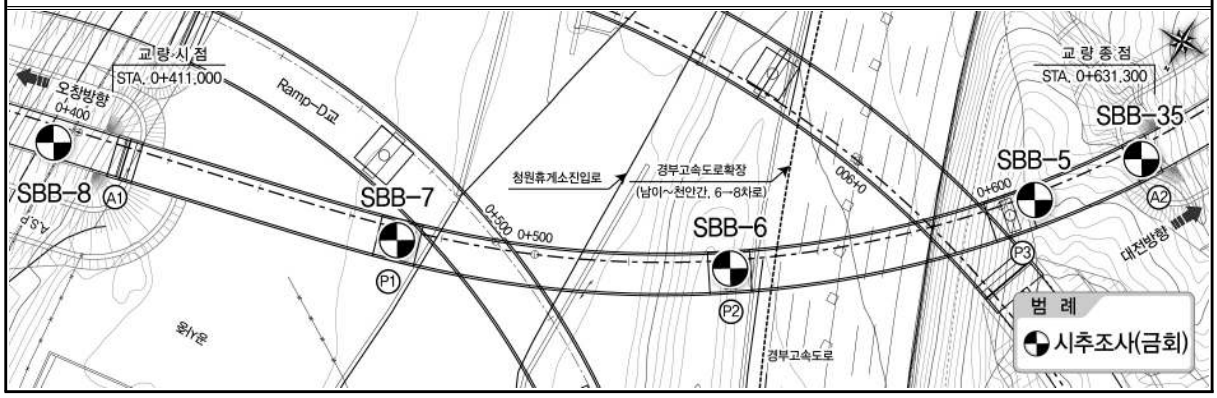
지층구분	분포심도 (GL.-m)	층후 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
매립층	0.0~3.8	1.6~3.8	실트질 모래(SM)	6/30~17/30
충적층	3.8~10.5	0.7~2.9	점토질 모래(SC), 실트섞인 모래질 자갈(GP), 실트섞인 점토(CL)	5/30~9/30
풍화토	0.0~13.0	1.1~13.0	실트질 모래(SM)	18/30~50/11
풍화암	8.0~20.0	5.0~7.0	암편섞인 실트질 모래	50/10~50/4
연 암	13.6~16.6	3.0	편마암, 약간~보통풍화	98/45
경 암	2.7~16.0	3.0	편마암, 약간~보통풍화	90~100/64~87

분 석 결 과	• 풍화토는 1.1~13.0m, 풍화암은 5.0~7.0m의 층후로 분포 • 기반암은 GL.-2.7~13.6m의 출현심도를 보이며, TCR/RQD는 90~100/45~87로 약간~보통풍화상태

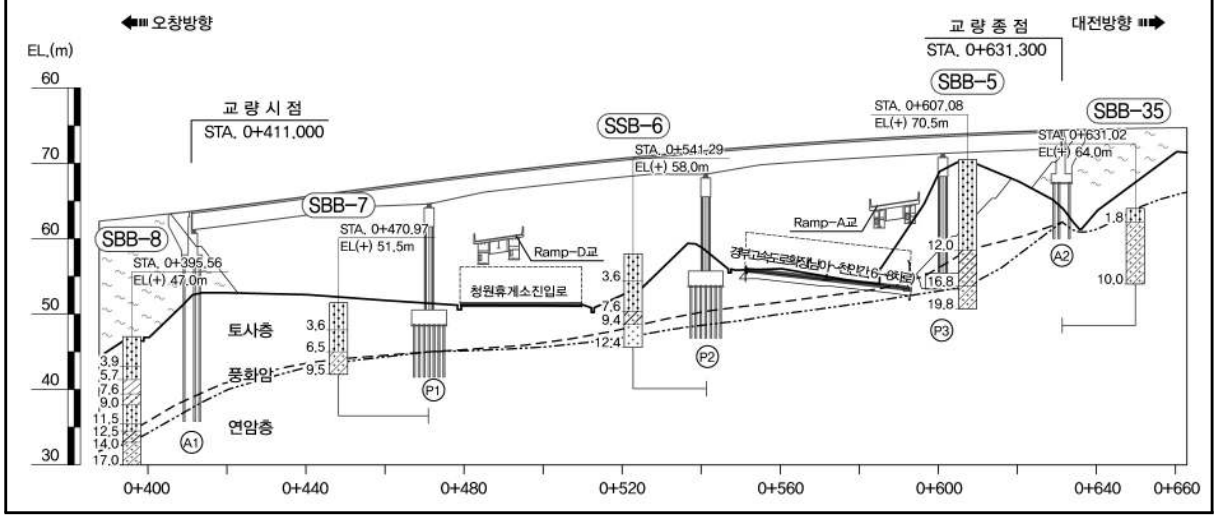
2) 옥산 JCT Ramp C교

- 본 구간은 STA. 0+411.000~0+631.300 구간으로 연장은 L=220.3m
- 본 구간에 총 5공(SBB-5~SBB-8, SBB-35)의 시추조사를 수행

위 치 도



지 층 단 면 도



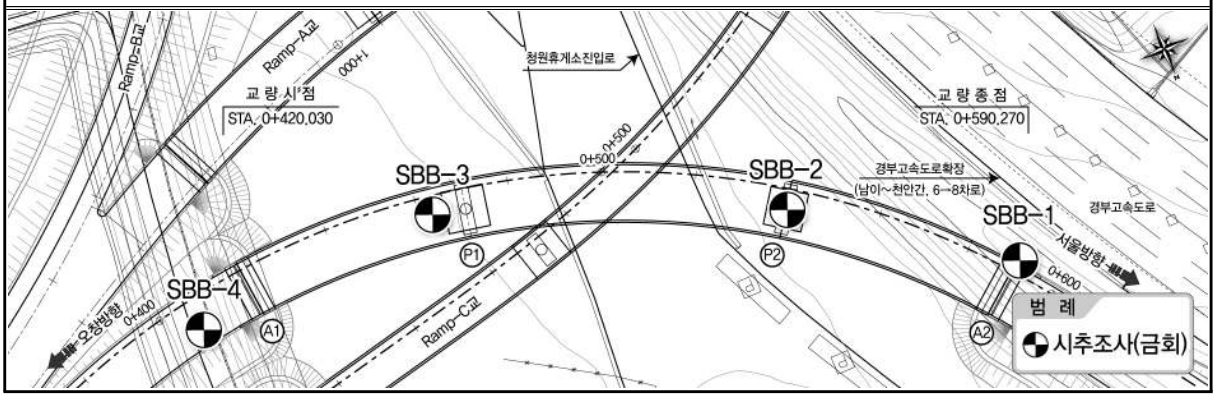
지층구분	분포심도 (GL.-m)	층후 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
매립층	0.0~3.9	3.6~3.9	자갈섞인 실트질 모래(SM)	4/30~18/30
충적층	3.8~11.5	1.4~2.5	실트질 모래(SM), 실트질 점토(CL), 점토질 모래(SC)	3/30~33/30
풍화토	0.0~12.0	1.8~12.0	실트질 모래(SM)	50/24
풍화암	7.6~16.8	1.8~4.8	암편섞인 실트질 모래	50/8~50/3
연 암	1.8~19.8	3.0~8.2	편마암, 약간~완전풍화	32~100/17~49
경 암	9.4~12.4	3.0	편마암, 신선~약간풍화	100/72

분 석 결 과	• 풍화토는 1.8~12.0m, 풍화암은 1.8~4.8m의 층후로 분포 • 기반암은 GL.-1.8~16.8m의 출현심도를 보이며, TCR/RQD는 32~100/17~72로 신선~완전풍화상태

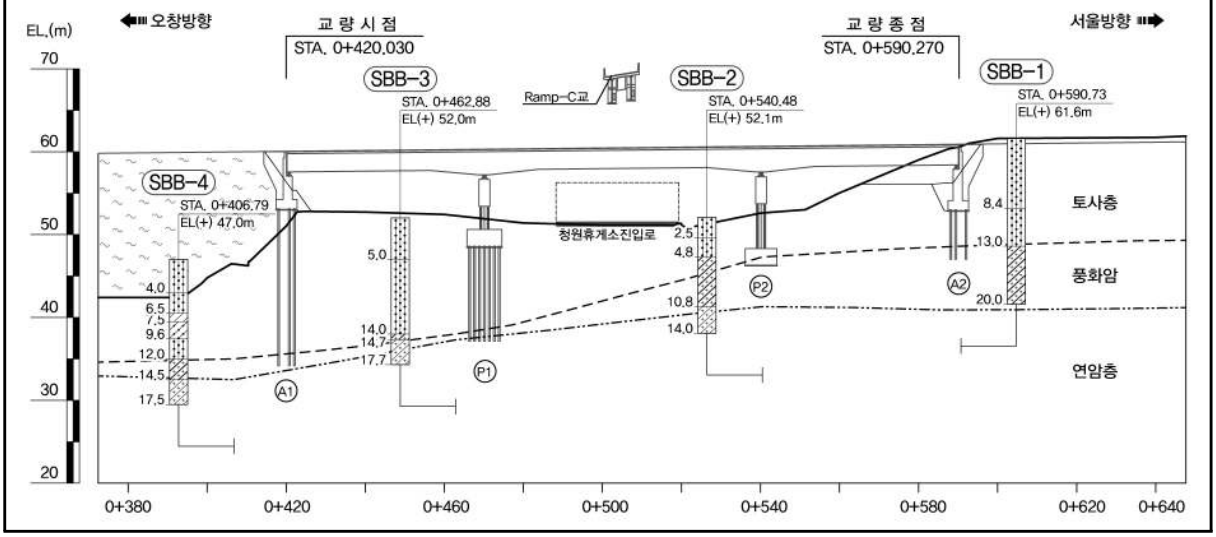
3) 옥산 JCT Ramp D교

- 본 구간은 STA. 0+420.030~0+590.270 구간으로 연장은 L=170.24m
- 본 구간에 총 4공(SBB-1~SBB-4)의 시추조사를 수행

위 치 도



지 층 단 면 도



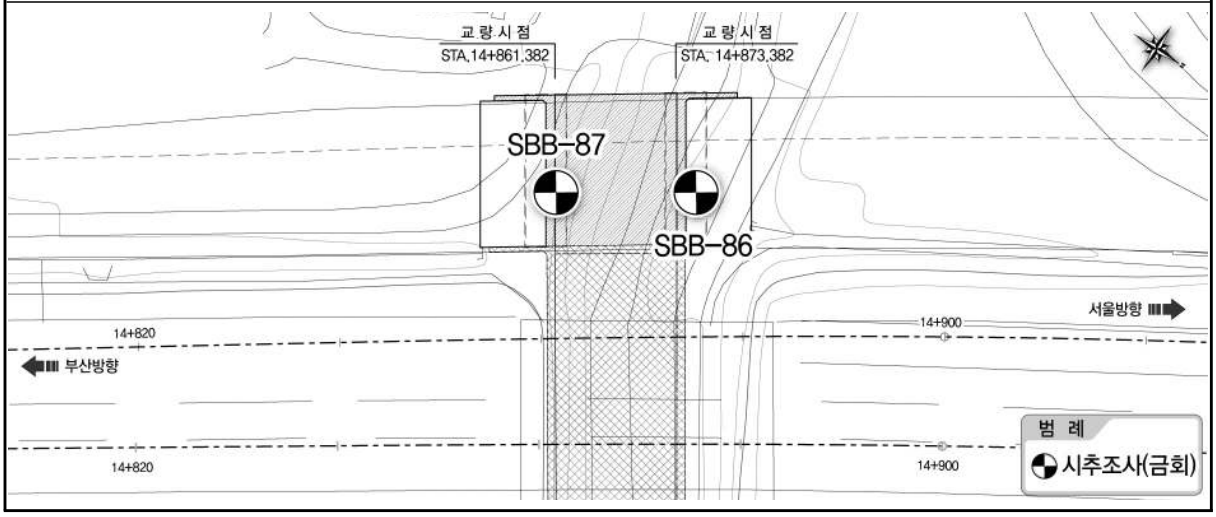
지층구분	분포심도 (GL.-m)	층후 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
매립층	0.0~8.4	2.5~8.4	자갈섞인 실트질 모래(SM)	5/30~18/30
충적층	4.0~9.6	1.0~2.5	실트질 모래(SM), 점토질 모래(SC), 실트질 점토(CL)	8/30~11/30
풍화토	2.5~14.0	2.3~9.0	실트질 모래(SM)	12/30~50/15
풍화암	4.8~20.0	0.7~7.0	암편섞인 실트질 모래	50/10~50/3
연 암	10.8~17.7	3.0~3.2	편마암, 약간~심한풍화	81~93/42~45

분 석 결 과	• 풍화토는 2.3~9.0m, 풍화암은 0.7~7.0m의 층후로 분포 • 기반암은 GL.-10.8~14.7m의 출현심도를 보이며, TCR/RQD는 81~93/42~45로 약간~심한풍화상태

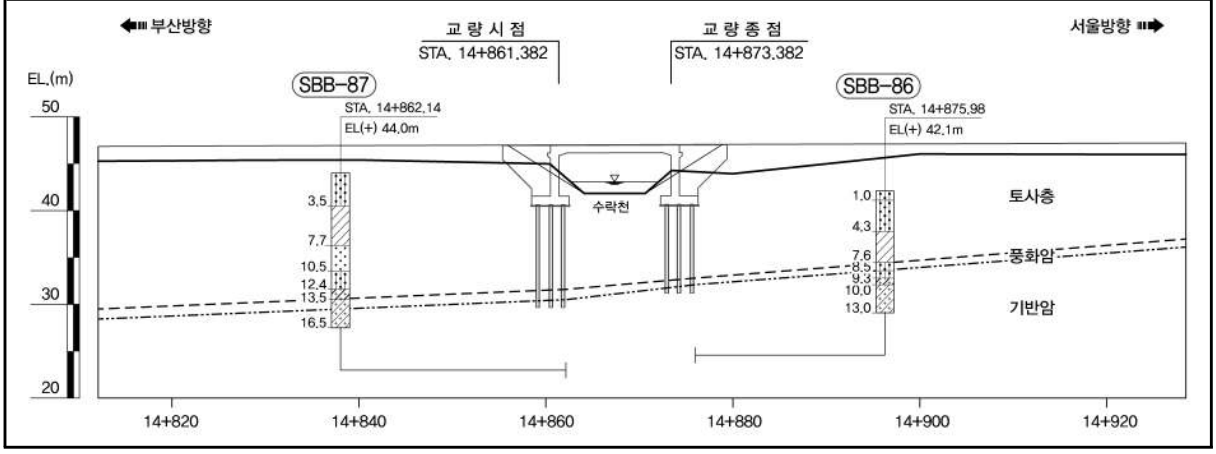
4) 수락천교

- 본 구간은 STA. 14+861.382~14+873.382 구간으로 연장은 L=12m
- 본 구간에 총 2공(SBB-86~SBB-87)의 시추조사를 수행

위 치 도



지 층 단 면 도



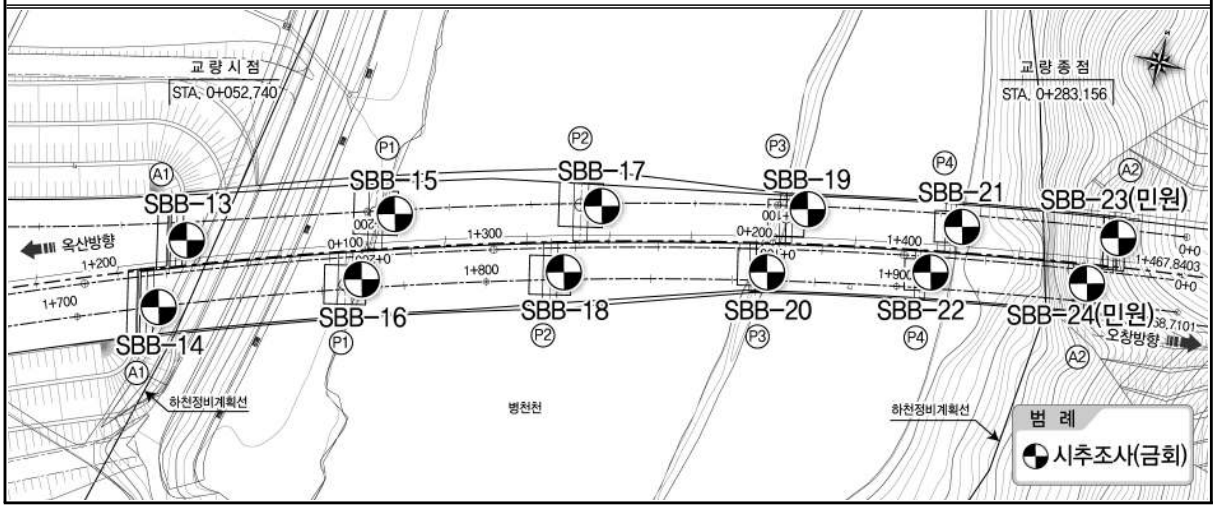
지층구분	분포심도 (GL.-m)	층후 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
매립층	0.0~3.5	1.0~3.5	자갈섞인 실트질 모래(SM)	6/30~7/30
충적층	1.0~10.5	0.9~4.2	실트질 모래(SM), 실트질 점토(CL), 자갈섞인 모래(SP)	3/30~13/30
풍화토	8.5~12.4	0.8~1.9	실트질 모래(SM)	19/30~50/17
풍화암	9.3~13.5	0.7~1.1	암편섞인 실트질 모래	50/7
연 암	10.0~16.5	3.0	편마암, 약간~보통풍화	80~97/20~48

분 석 결 과	• 풍화토는 0.8~1.9m, 풍화암은 0.7~1.1m의 층후로 분포 • 기반암은 GL.-10.0~13.5m의 출현심도를 보이며, TCR/RQD는 80~97/20~48로 약간~보통풍화상태

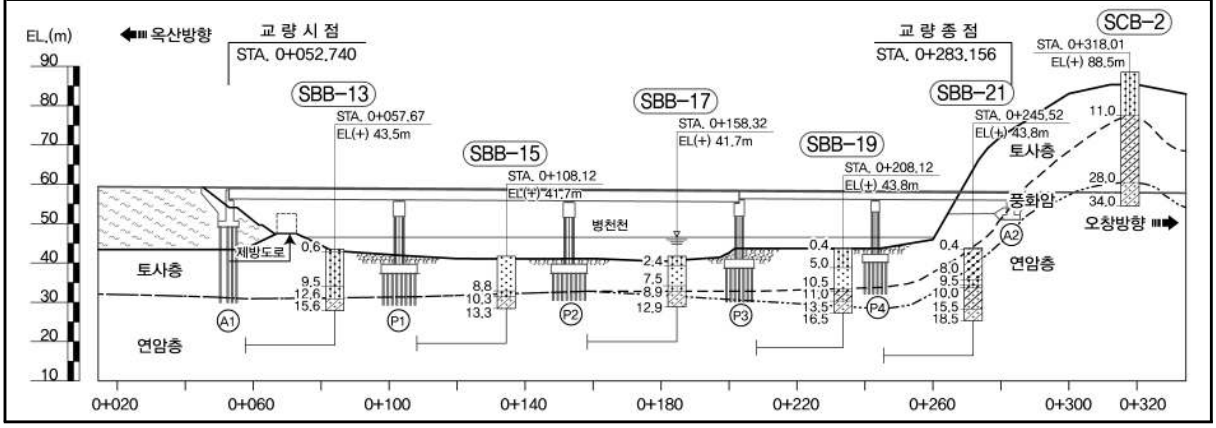
5) 병천천교

- 본 구간은 STA. 0+052.740~0+283.156 구간으로 연장은 L=230.416m
- 본 구간에 총 10공(SBB-13~SBB-24)의 시추조사를 수행

위 치 도



지 층 단 면 도



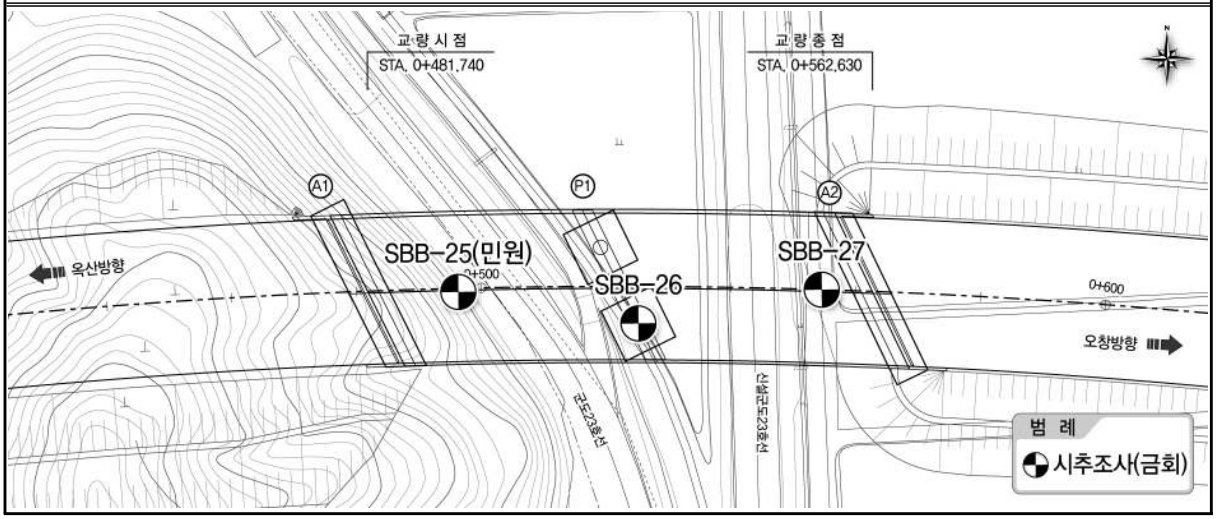
지층구분	분포심도 (GL.-m)	층후 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
전답층	0.0~0.6	0.4~0.6	실트질 모래(SM)	-
충적층	0.0~10.5	1.5~9.0	실트질 모래(SM), 점토질 자갈(GC), 자갈 섞인 실트질 모래(SM), 실트 섞인 모래질 자갈(GP)	3/30~41/30
풍화토	7.5~12.6	0.4~3.1	실트질 모래(SM)	50/30~50/11
풍화암	8.0~15.5	0.7~5.5	암편섞인 실트질 모래	50/10~50/3
연 암	8.7~18.5	3.0~4.0	편마암, 약간~심한풍화	83~100/18~49

분 석 결 과	• 풍화토는 0.4~3.1m, 풍화암은 0.7~5.5m의 층후로 분포 • 기반암은 GL.-8.7~14.5m의 출현심도를 보이며, TCR/RQD는 83~100/18~49로 약간~심한풍화상태

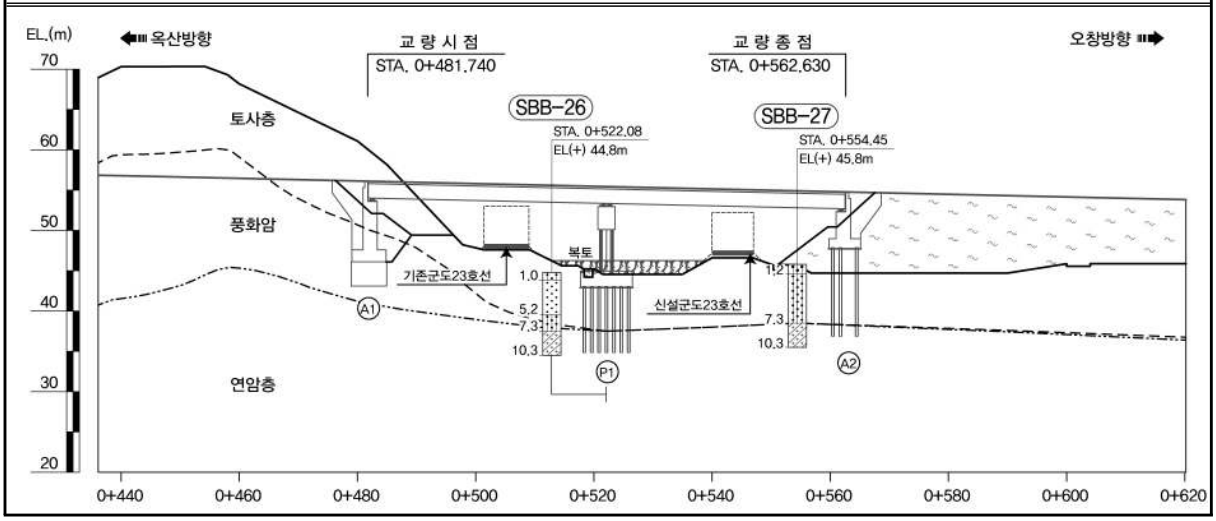
6) 상장남교

- 본 구간은 STA. 0+481.740~0+562.630 구간으로 연장은 L=80.89m
- 본 구간에 총 2공(SBB-25~SBB-27)의 시추조사를 수행

위 치 도



지 층 단 면 도



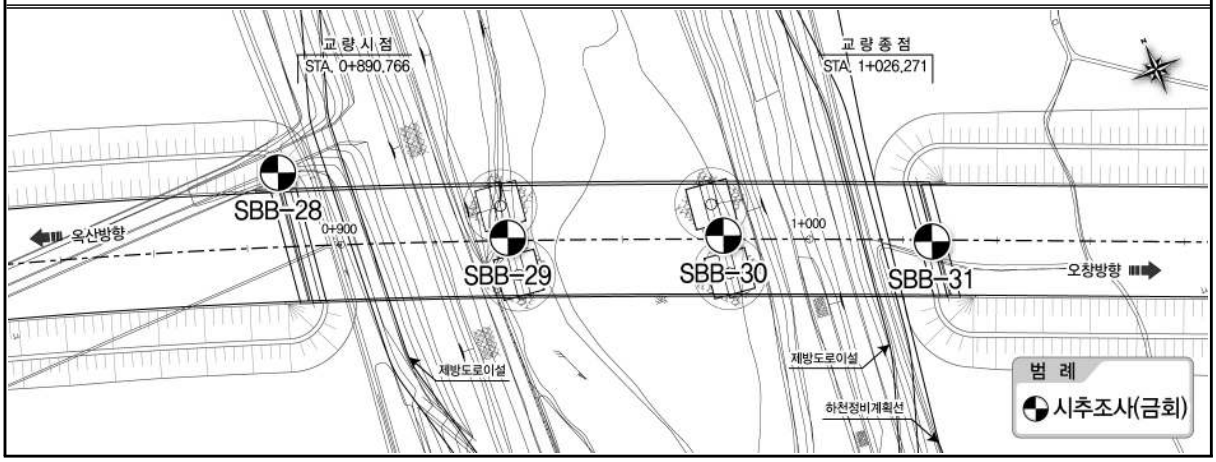
지층구분	분포심도 (GL.-m)	층후 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
매립층	0.0~1.2	1.0~1.2	자갈 섞인 실트질 모래(SM), 실트 섞인 모래질 자갈(GP)	6/30
충적층	1.0~7.3	2.1~6.1	자갈 섞인 모래(SP), 자갈 섞인 실트질 모래(SM)	4/30~36/30
연 암	7.3 ~10.3	3.0	편마암, 약간~보통풍화	75~90/31~64

분 석 결 과	• 매립층 1.0~1.2m, 충적층은 2.1~6.1m의 층후로 분포 • 기반암은 GL.-7.3m의 출현심도를 보이며, TCR/RQD는 75~90/31~64로 약간~보통풍화상태

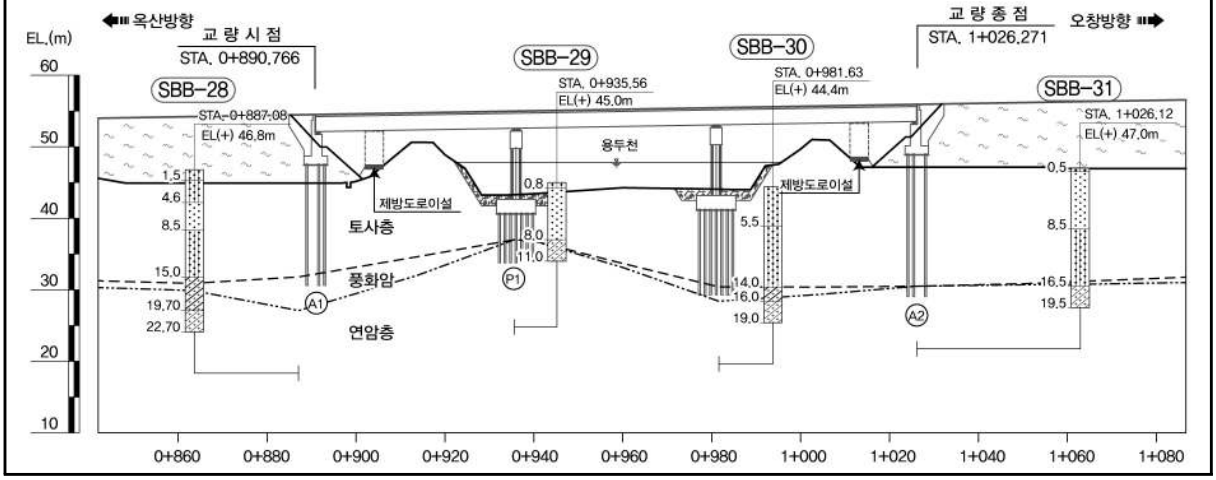
7) 용두천교

- 본 구간은 STA. 0+890.766~1+026.271 구간으로 연장은 L=135.505m
- 본 구간에 총 4공(SBB-28~SBB-31)의 시추조사를 수행

위 치 도



지 층 단 면 도



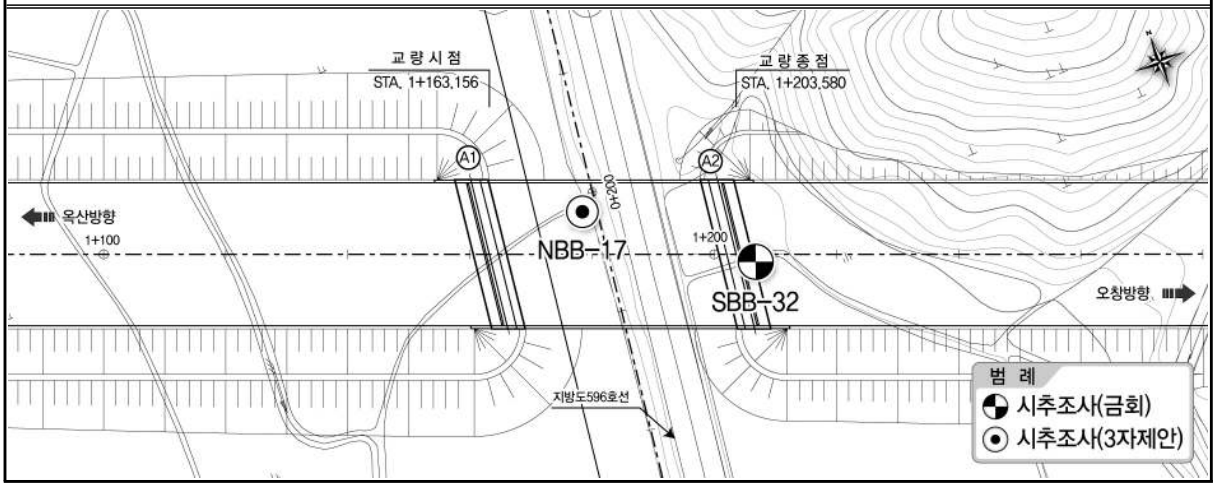
지층구분	분포심도 (GL.-m)	층후 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
전답, 매립층	0.0~1.5	0.5~1.5	자갈 섞인 실트질 모래(SM), 실트질 모래(SM)	6/30
충적층	0.0~8.5	0.8~8.0	실트질 모래(SM), 자갈 섞인 모래(SP)	2/30~26/30
풍화토	5.5~16.5	6.5~8.5	실트질 모래(SM)	32/30~50/12
풍화암	14.0~19.7	2.0~4.7	암편섞인 실트질 모래	50/9~50/4
연 암	8.0~22.7	3.0	편마암, 신선~심한풍화	47~98/5~53

분 석 결 과	• 풍화토는 6.5~8.5m, 풍화암은 2.0~4.7m의 층후로 분포 • 기반암은 GL.-8.0~19.7m의 출현심도를 보이며, TCR/RQD는 47~98/5~53으로 신선~심한풍화상태

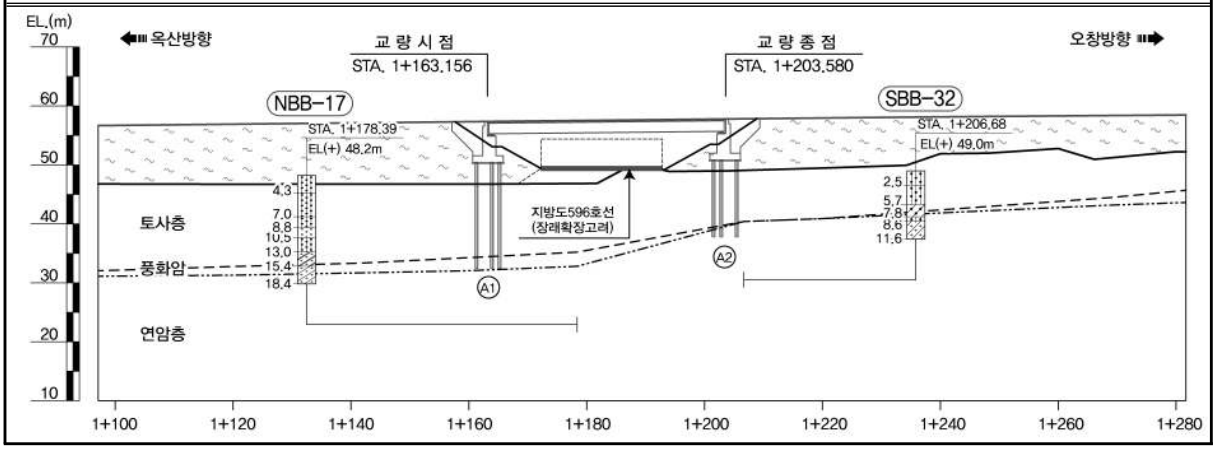
8) 백현교

- 본 구간은 STA. 1+163.156~1+203.580 구간으로 연장은 L=40.424m
- 본 구간에 총 2공(NBB-17(제3자제안)~SBB-32)의 시추조사를 수행

위 치 도



지 층 단 면 도



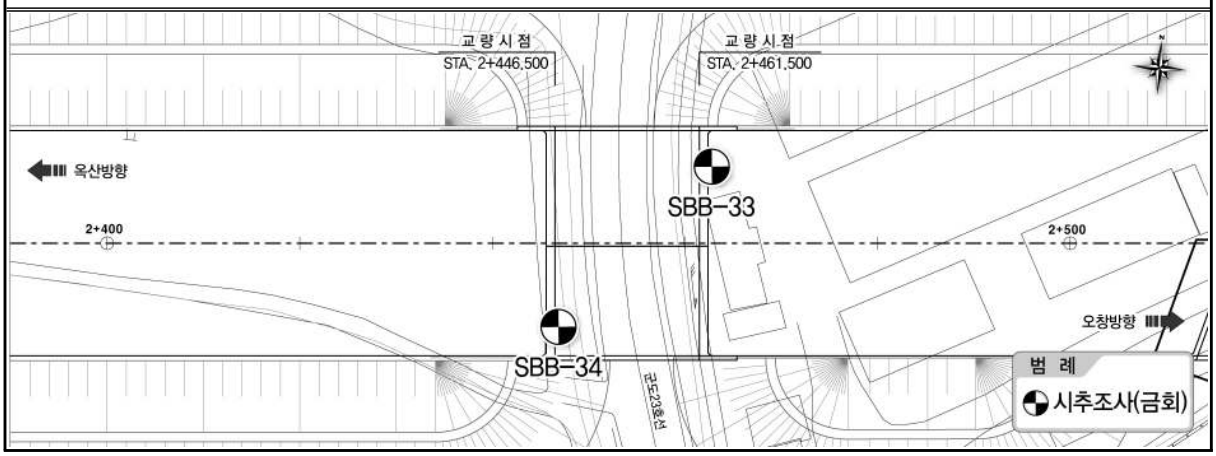
지층구분	분포심도 (GL.-m)	층후 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
매립, 전답층	0.0~3.0	2.5~3.0	자갈섞인 실트질 모래(SM)	4/30~29/30
붕적층	3.0~7.0	4.0	실트질 모래(SM)	5/30~7/30
충적층	2.5~10.5	3.5~5.3	실트질 모래, 점토질 모래(SM), 세립내지 중립의 모래(SP)	2/30~43/30
풍화토	10.5~13.0	2.5	실트질 모래(SM)	50/21~50/11
풍화암	13.0~15.4	2.4	암편섞인 실트질 모래	50/8~50/3
연 암	8.6~18.4	3.0	편마암, 보통~심한풍화	77~100/0~17

분 석 결 과	• 풍화토는 2.5m, 풍화암은 2.4m의 층후로 분포 • 기반암은 GL.-8.6~15.4m의 출현심도를 보이며, TCR/RQD는 77~100/0~17로 보통~심한풍화상태

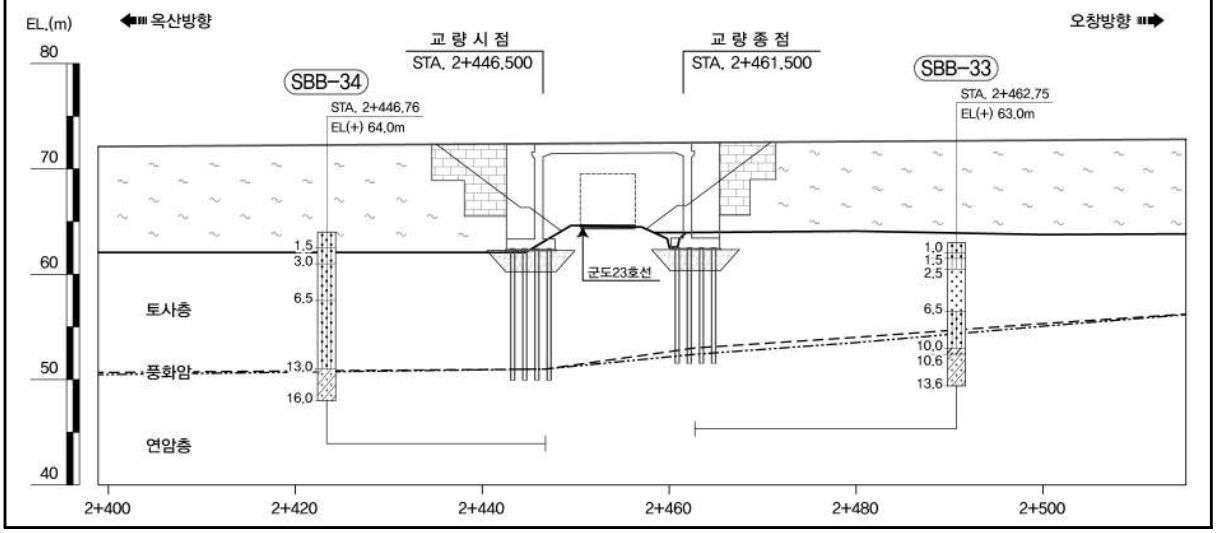
9) 호죽 1교

- 본 구간은 STA. 2+446.500~2+461.500 구간으로 연장은 L=15m
- 본 구간에 총 2공(SBB-33~SBB-34)의 시추조사를 수행

위 치 도



지 층 단 면 도



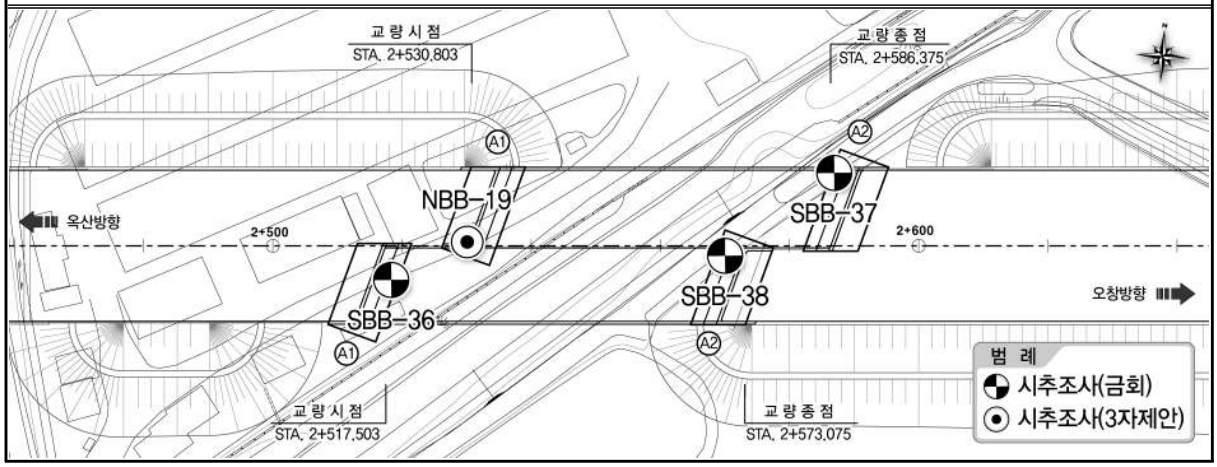
지층구분	분포심도 (GL.-m)	층후 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
매립층	0.0~1.5	1.0~1.5	자갈섞인 실트질 모래(SM)	4/30
충적층	1.0~6.5	5.0~5.5	실트질 모래(SM), 모래질 실트(ML)	2/30~15/30
풍화토	6.5~13.0	3.5~6.5	실트질 모래(SM)	15/30~50/11
풍화암	10.0~10.6	0.6	암편섞인 실트질 모래	50/8~50/3
연 암	10.6~16.0	3.0	편마암, 약간~심한풍화	70~90/32~36

분 석 결 과	• 풍화토는 3.5~6.5m, 풍화암은 0.6m의 층후로 분포 • 기반암은 GL.-10.6~13.0m의 출현심도를 보이며, TCR/RQD는 70~90/32~36으로 약간~심한풍화상태

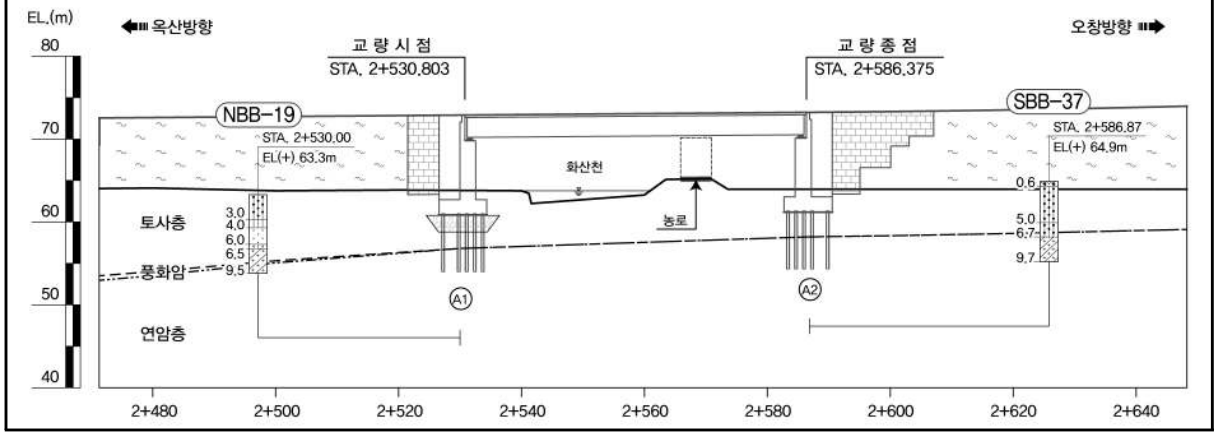
10) 호죽 2교

- 본 구간은 STA. 2+530.803~2+586.375 구간으로 연장은 L=55.572m
- 본 구간에 총 4공(NBB-19(제3자제안), SBB-36~SBB-38)의 시추조사를 수행

위 치 도



지 층 단 면 도



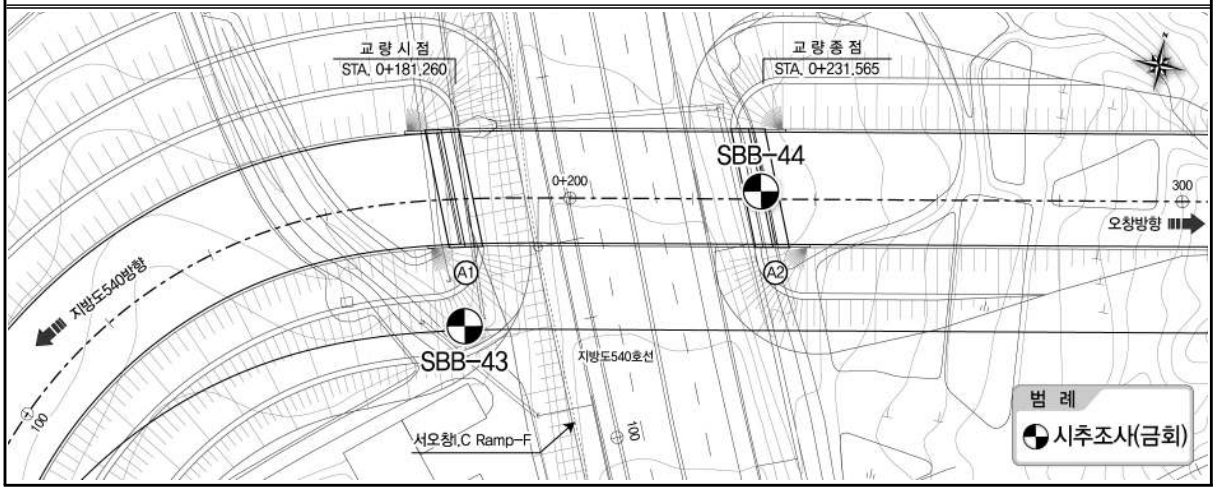
지층구분	분포심도 (GL.-m)	층후 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
매립층	0.0~4.0	0.6~4.0	자갈섞인 실트질 모래(SM), 실트섞인 모래질 자갈(GP), 모래섞인 점토질 실트(ML)	3/30~10/30
충적층	0.6~7.5	2.0~6.5	자갈섞인 실트질 모래(SM), 세립~중립의 모래(SP) 실트섞인 모래질 자갈(GP)	3/30~17/30
풍화토	5.0~8.5	0.5~1.7	실트질 모래(SM)	17/30~50/15
풍화암	8.5~10.0	1.5	암편섞인 실트질 모래	50/6
연 암	6.5~13.0	3.0	편마암, 약간~심한풍화	71~100/15~48

분 석 결 과	• 풍화토는 0.5~1.7m, 풍화암은 1.5m의 층후로 분포 • 기반암은 GL.-6.5~10.0m의 출현심도를 보이며, TCR/RQD는 71~100/15~48로 약간~심한풍화상태

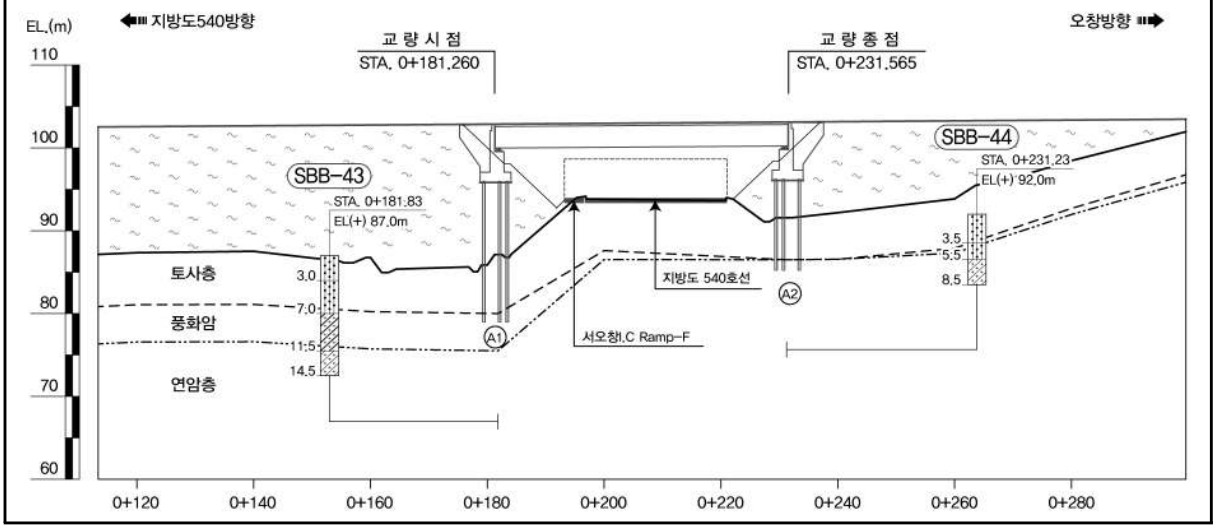
11) 서오창IC Ramp-A1교

- 본 구간은 STA. 0+181.260~0+231.565 구간으로 연장은 L=50.305m
- 본 구간에 총 2공(SBB-43~SBB-44)의 시추조사를 수행

위 치 도



지 층 단 면 도



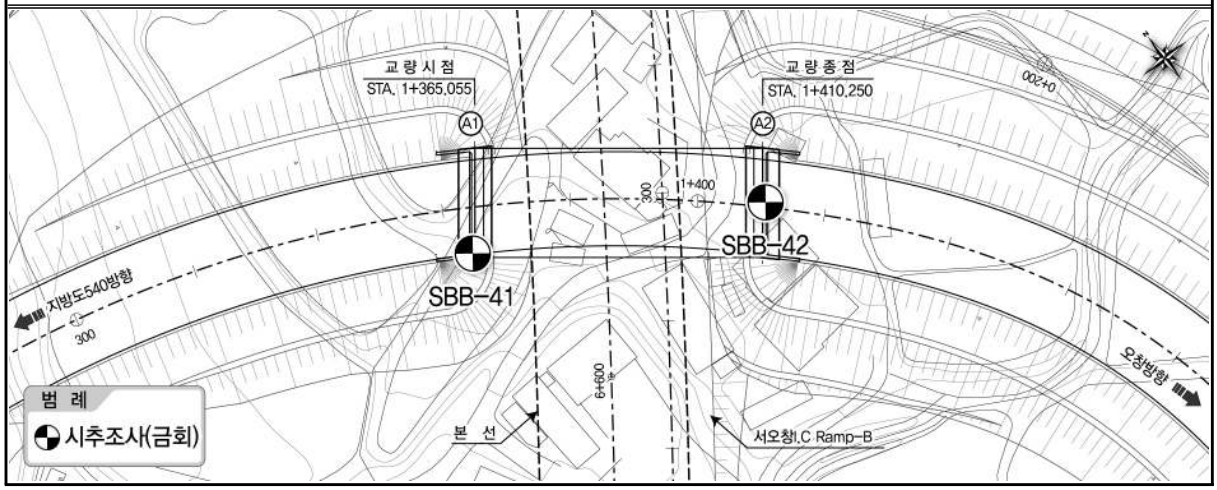
지층구분	분포심도 (GL.-m)	층후 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
붕적층	0.0~3.5	3.0~3.5	자갈섞인 실트질 모래(SM)	2/30~7/30
풍화토	3.0~7.0	2.0~4.0	실트질 모래(SM)	17/30~50/15
풍화암	7.0~11.5	4.5	암편섞인 실트질 모래	50/10~50/3
연 암	5.5~14.5	3.0	편마암, 보통~심한풍화	87~100/57~59

분 석 결 과	
	• 풍화토는 2.0~4.0m, 풍화암은 4.5m의 층후로 분포 • 기반암은 GL.-5.5~11.5m의 출현심도를 보이며, TCR/RQD는 87~100/57~59로 보통~심한풍화상태

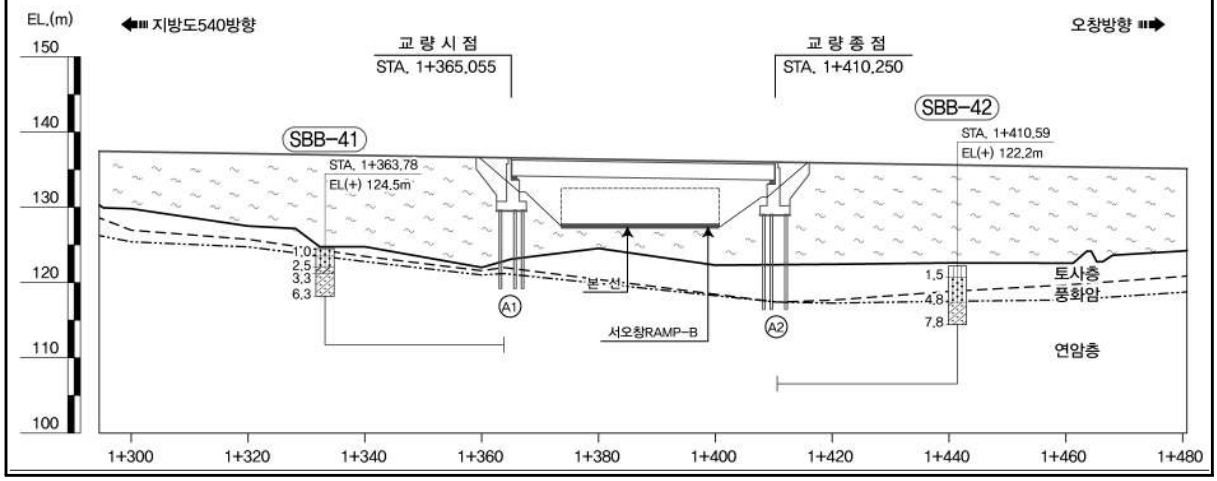
12) 서오창IC Ramp-A2교

- 본 구간은 STA. 1+365.055~1+410.250구간으로 연장은 L=45.195m
- 본 구간에 총 2공(SBB-41~SBB-42)의 시추조사를 수행

위 치 도



지 층 단 면 도



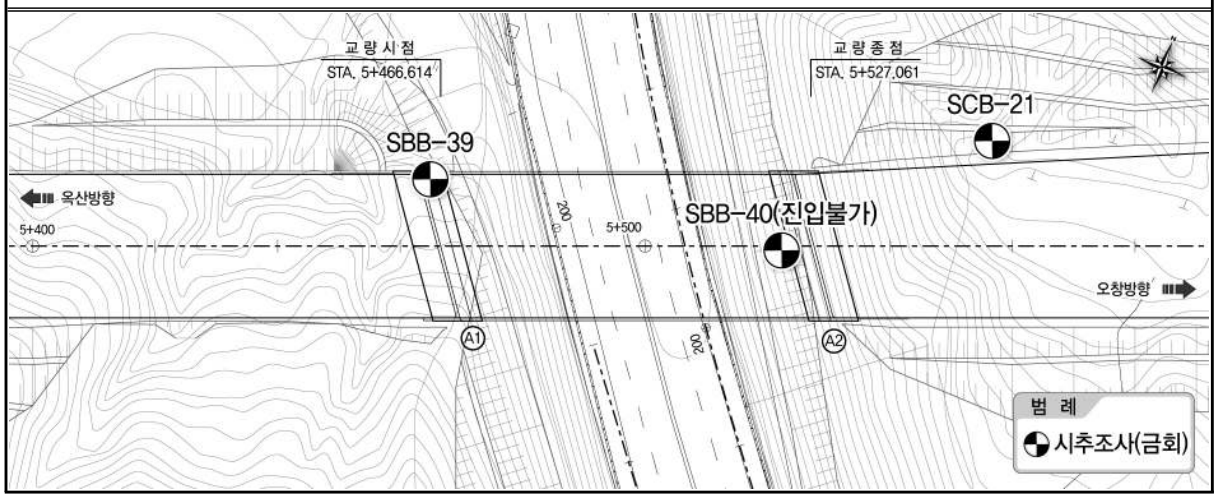
지층구분	분포심도 (GL.-m)	층후 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
전답층	0.0~1.0	1.0	자갈섞인 실트질 모래(SM)	-
붕적층	0.0~4.8	1.5~3.3	자갈섞인 실트질 모래(SM), 실트섞인 모래질 점토(CL)	4/30~38/30
풍화토	1.0~2.5	1.5	실트질 모래(SM)	50/29 ~50/15
풍화암	2.5~3.3	0.8	암편섞인 실트질 모래	50/5
연 암	3.3~7.8	3.0	편마암, 보통~심한풍화	67~73/14~21

분 석 결 과	• 풍화토는 1.5m, 풍화암은 0.8m의 층후로 분포 • 기반암은 GL.-3.3~4.8m의 출현심도를 보이며, TCR/RQD는 67~73/14~21로 보통~심한풍화상태

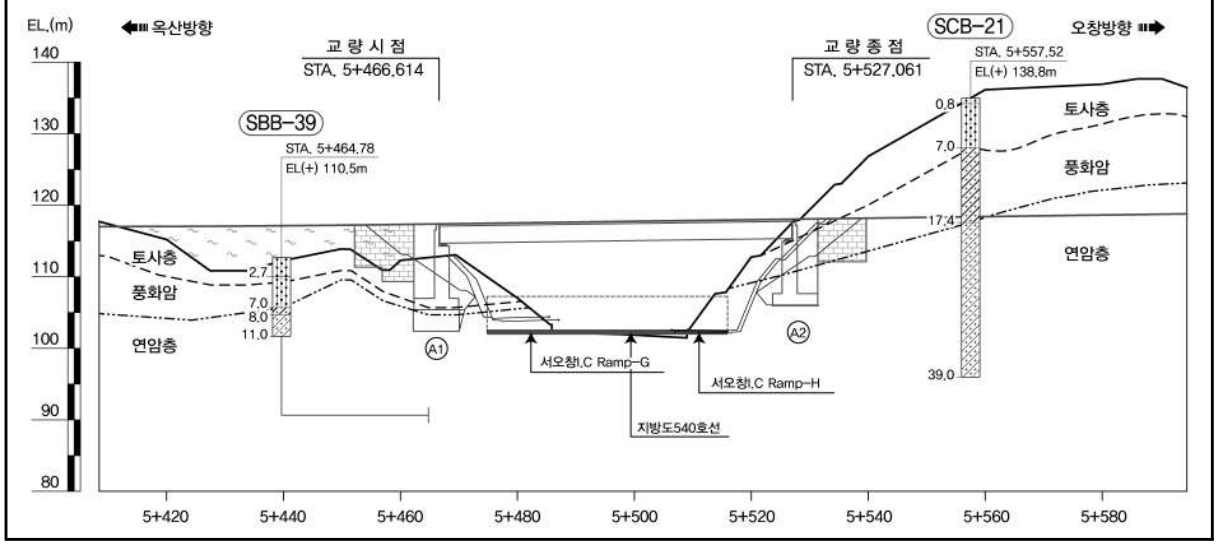
13) 성산교

- 본 구간은 STA. 5+466.614~5+527.061 구간으로 연장은 L=60.447m
- 본 구간에 총 1공(SBB-39)의 시추조사를 수행

위 치 도



지 층 단 면 도



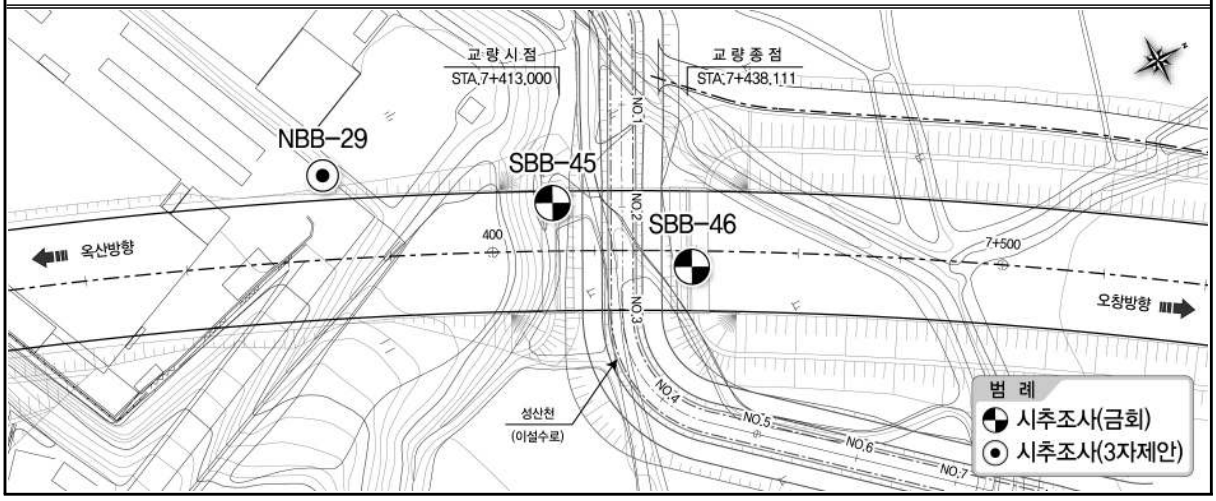
지층구분	분포심도 (GL.-m)	층후 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
붕적층	0.0~2.7	2.7	실트질 모래(SM)	6/30~7/30
풍화토	2.7~7.0	4.3	실트질 모래(SM)	50/15~50/13
풍화암	7.0~8.0	1.0	암편섞인 실트질 모래	50/10
연 암	8.0~11.0	3.0	편마암, 약간~심한풍화	100/48

분 석 결 과	• 풍화토는 4.3m, 풍화암은 1.0m의 층후로 분포 • 기반암은 GL.-8.0m의 출현심도를 보이며, TCR/RQD는 100/48로 약간~심한풍화상태

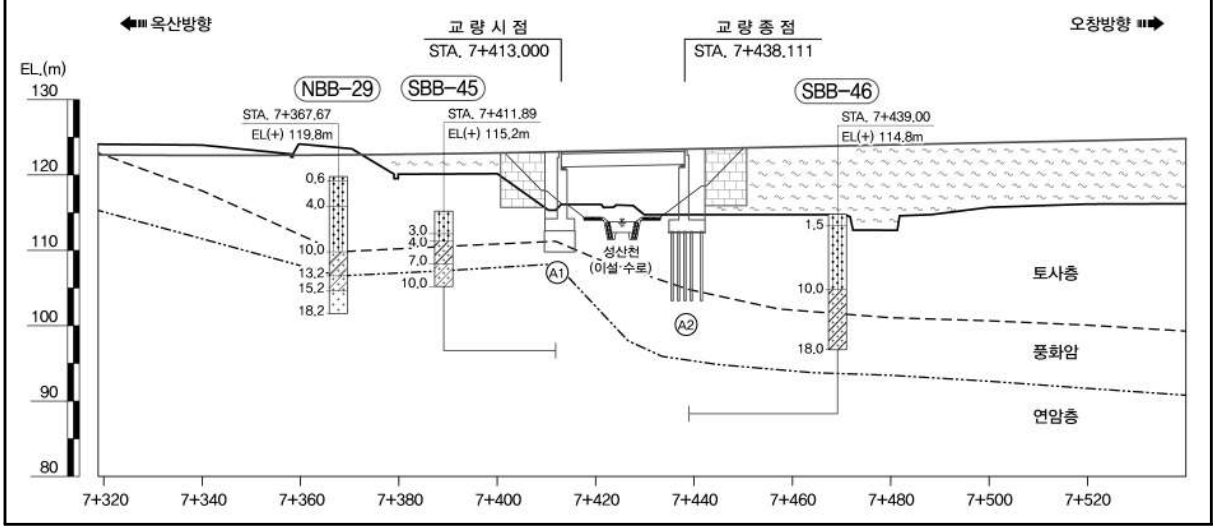
14) 양청교

- 본 구간은 STA. 7+413.000~7+438.111 구간으로 연장은 L=25.111m
- 본 구간에 총 2공(SBB-45~SBB-46)의 시추조사를 수행

위 치 도



지 층 단 면 도



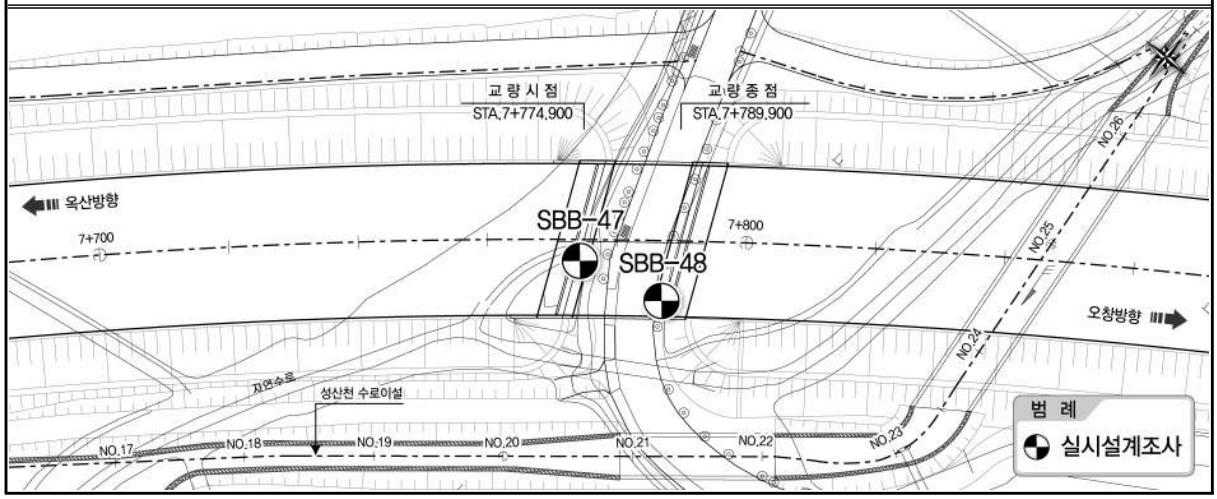
지층구분	분포심도 (GL.-m)	층후 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
매립층	0.0~3.0	1.5~3.0	자갈섞인 실트질 모래(SM)	5/30
풍화토	1.5~10.0	1.0~8.5	실트질 모래(SM)	6/30~50/12
풍화암	4.0~18.0	3.0~8.0	암편섞인 실트질 모래	50/10~50/4
연 암	7.0~10.0	3.0	편마암, 보통~심한풍화	63/28

분 석 결 과	
	• 풍화토는 1.0~8.5m, 풍화암은 3.0~8.0m의 층후로 분포
	• 기반암은 GL.-7.0m의 출현심도를 보이며, TCR/RQD는 63/28로 보통~심한풍화상태

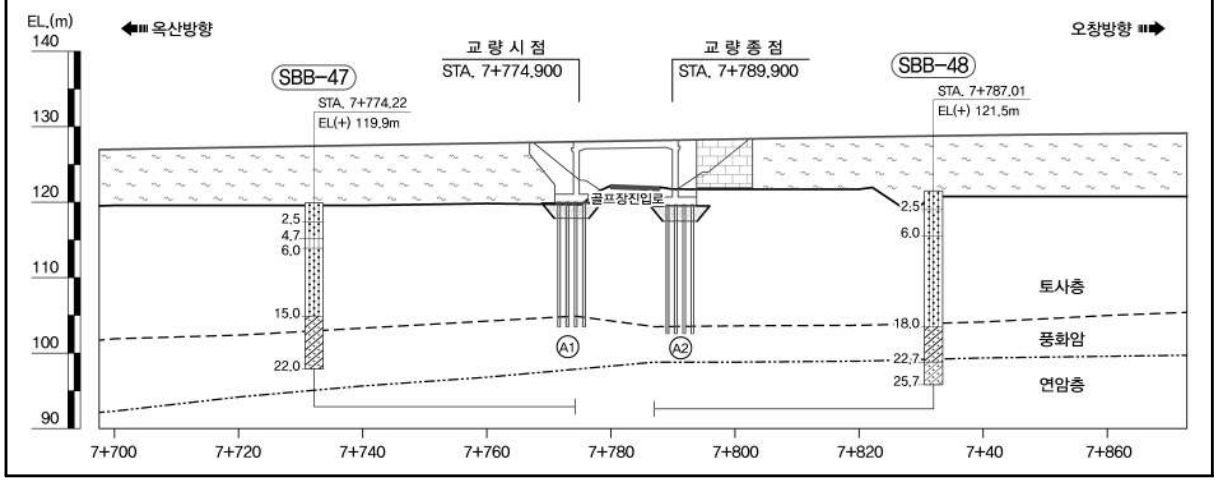
15) 양지교

- 본 구간은 STA. 7+774.900~7+789.900 구간으로 연장은 L=15m
- 본 구간에 총 2공(SBB-47~SBB-48)의 시추조사를 수행

위 치 도



지 층 단 면 도



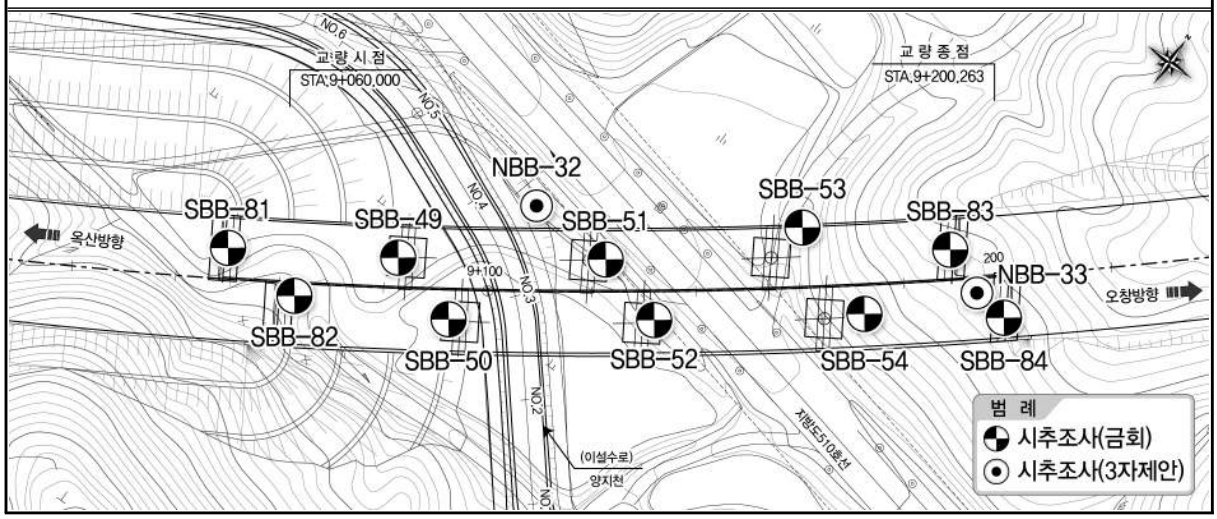
지층구분	분포심도 (GL.-m)	층후 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
매립층	0.0~2.5	2.5	자갈섞인 실트질 모래(SM)	15/30~19/30
충적층	2.5~6.0	3.5	실트질 모래(SM), 모래질 실트(ML)	3/30~5/30
풍화토	6.0~18.0	9.0~12.0	실트질 모래(SM)	5/30~50/12
풍화암	15.0~22.7	4.7~7.0	암편섞인 실트질 모래	50/10~50/3
연 암	22.7~25.7	3.0	편마암, 보통~심한풍화	50/15

분 석 결 과	
	• 풍화토는 9.0~12.0m, 풍화암은 4.7~7.0m의 층후로 분포 • 기반암은 GL.-22.7m의 출현심도를 보이며, TCR/RQD는 50/15로 보통~심한풍화상태

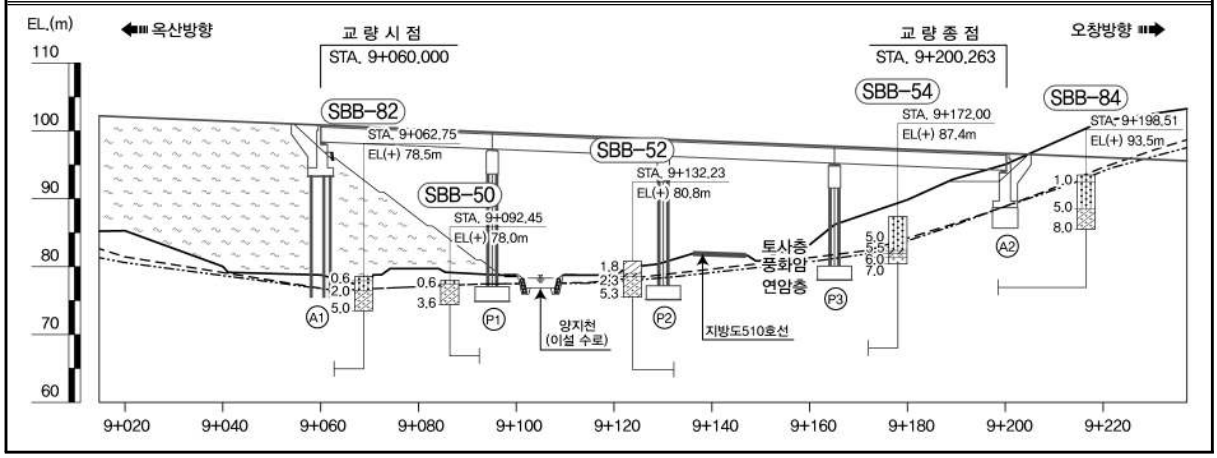
16) 산수교

- 본 구간은 STA. 9+060.000~9+200.263 구간으로 연장은 L=140.263m
- 본 구간에 총 10공(SBB-49~SBB-54, SBB-81~SBB-84)의 시추조사를 수행

위 치 도



지 층 단 면 도



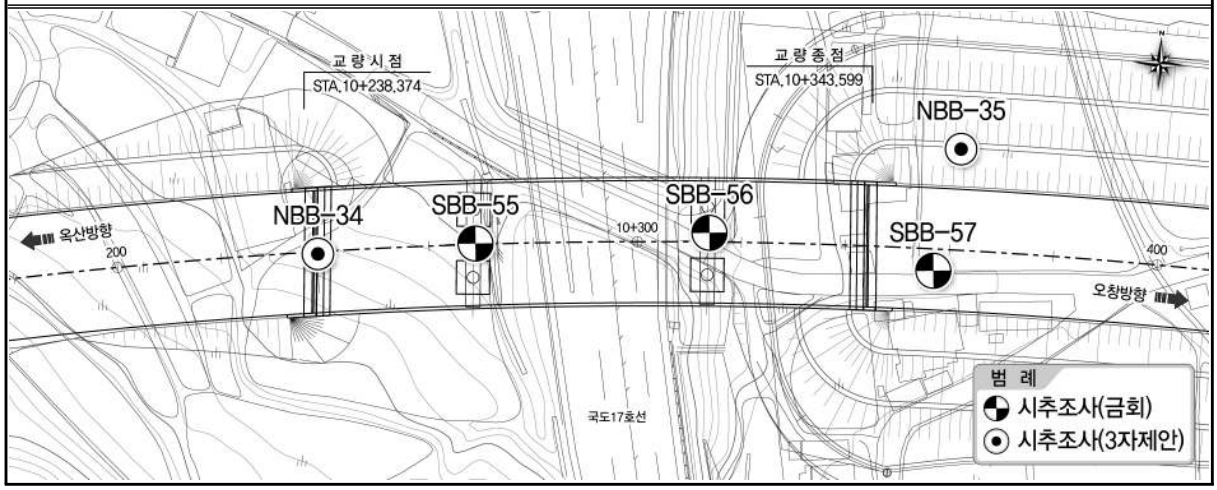
지층구분	분포심도 (GL.-m)	층후 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
전답층	0.0~2.6	0.6~2.6	실트질 모래(SM), 점토질 모래(SC)	3/30~5/30
붕적층	0.0~0.8	0.8	자갈섞인 실트질 모래(SM)	-
풍화토	0.0~3.0	1.2~3.0	실트질 모래(SM)	22/30~50/13
풍화암	0.8~7.2	0.3~4.2	암편섞인 실트질 모래	50/10~50/6
연 암	1.8~10.2	3.0	편마암, 약간~심한풍화	80~93/15~36

분 석 결 과	• 풍화토는 1.2~3.0m, 풍화암은 0.3~4.2m의 층후로 분포 • 기반암은 GL.-1.8~7.2m의 출현심도를 보이며, TCR/RQD는 80~93/15~36으로 약간~심한풍화상태

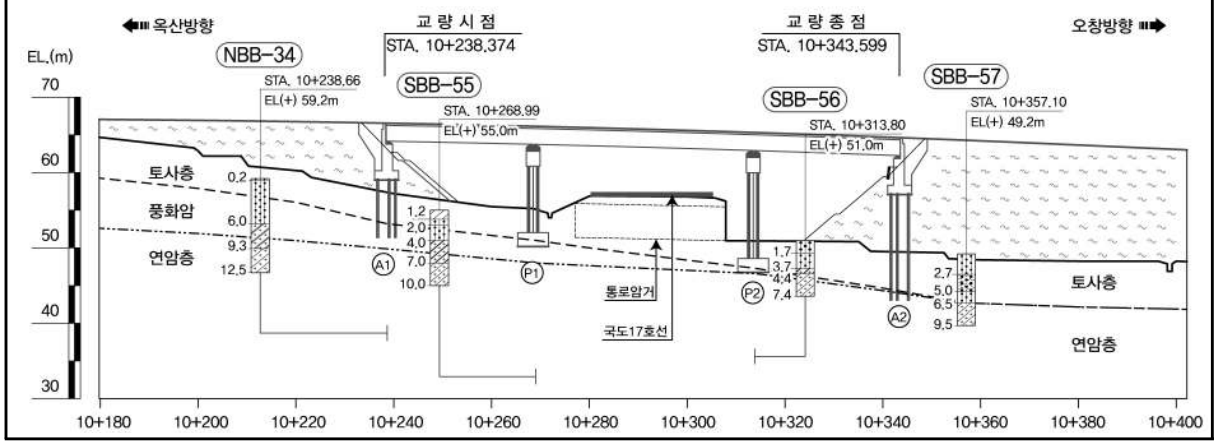
17) 복현 1교

- 본 구간은 STA. 10+238.374~10+343.599 구간으로 연장은 L=105.225m
- 본 구간에 총 4공(NBB-34(제3자제안), SBB-55~SBB-57)의 시추조사를 수행

위 치 도



지 층 단 면 도



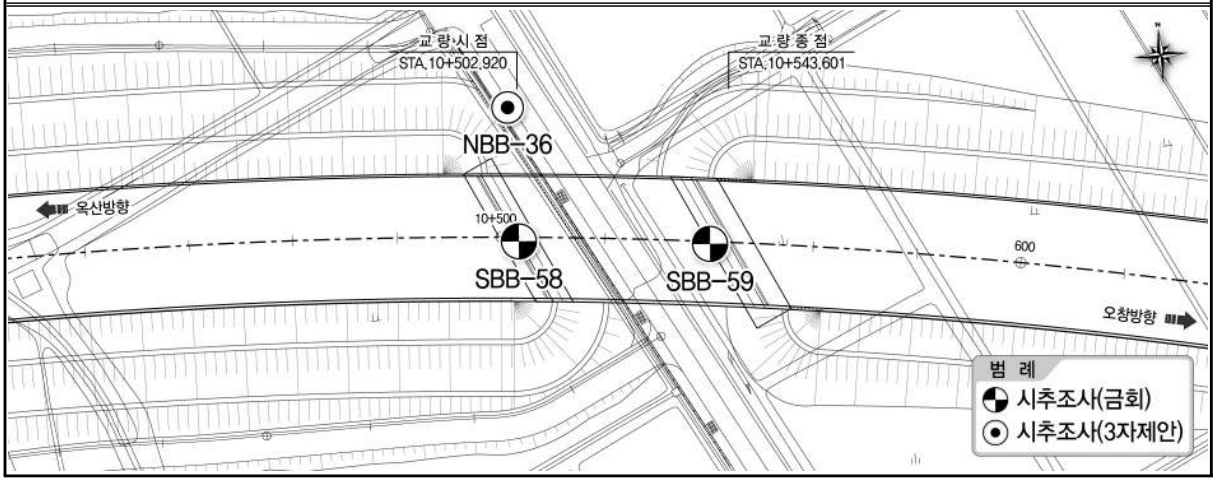
지층구분	분포심도 (GL.-m)	층후 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
매립, 표토, 전답층	0.0~2.7	0.2~2.7	모래질 점토(CL), 실트질 자갈(GM), 자갈섞인 실트질 모래(SM)	7/30~13/30
붕적층	1.2~2.0	0.8	자갈섞인 실트질 모래(SM)	-
충적층	2.7~5.0	2.3	모래질 자갈(GP)	4/30~13/30
풍화토	0.2~6.5	1.5~5.8	실트질 모래(SM)	11/30~50/14
풍화암	3.7~9.3	0.7~3.3	암편섞인 실트질 모래	50/10~50/2
연 암	4.4~12.5	3.0~3.2	편마암, 약간~심한풍화	67~100/20~45

분 석 결 과	• 풍화토는 1.5~5.8m, 풍화암은 0.7~3.3m의 층후로 분포 • 기반암은 GL.-4.4~9.3m의 출현심도를 보이며, TCR/RQD는 67~100/20~45로 약간~심한풍화상태

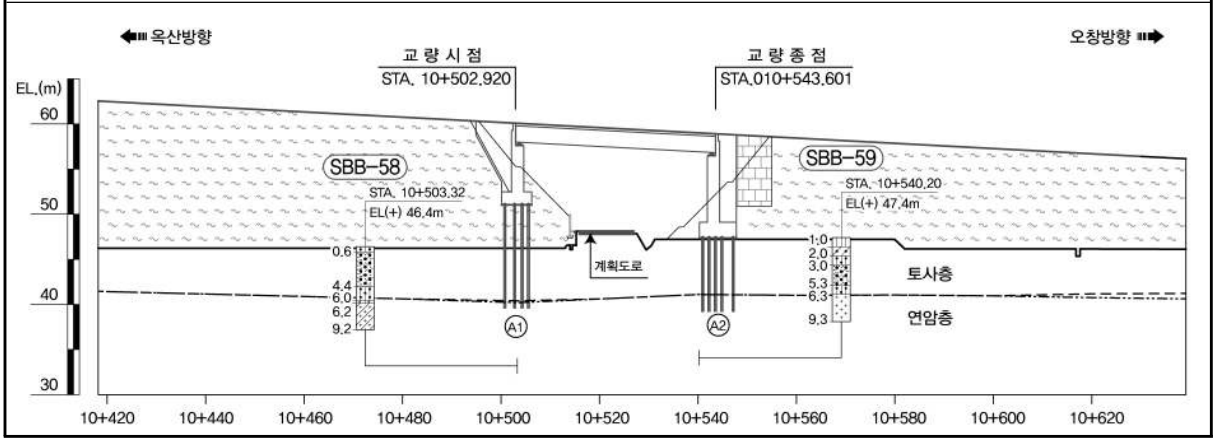
18) 복현 2교

- 본 구간은 STA. 10+502.920~10+543.601 구간으로 연장은 L=40.681m
- 본 구간에 총 2공(SBB-58~SBB-59)의 시추조사를 수행

위 치 도



지 층 단 면 도



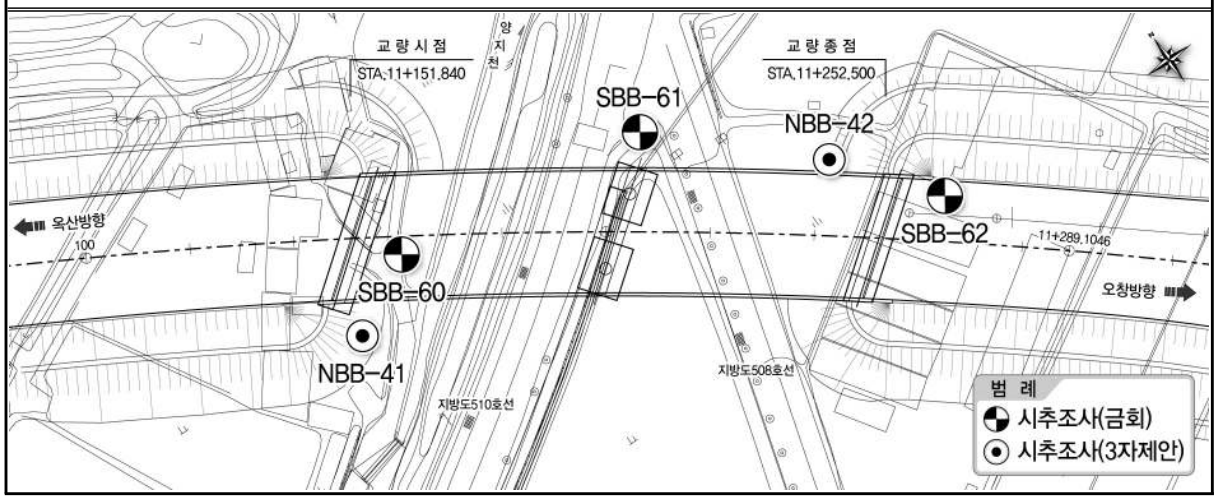
지층구분	분포심도 (GL.-m)	층후 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
매립, 전답층	0.0~1.0	0.6~1.0	모래질 실트(ML), 실트질모래(SM)	-
충적층	0.6~5.3	3.8~4.3	모래질 자갈(GP), 점토질 모래(SC), 자갈섞인 실트질 모래(SM)	7/30~40/30
풍화토	4.4~6.3	1.0~1.6	실트질 모래(SM)	50/27~50/18
풍화암	6.0~6.2	0.2	암편섞인 실트질 모래	50/2
연 암	6.2~9.2	3.0	화강암, 약간~보통풍화	84/20
경 암	6.3~9.3	3.0	화강암, 신선~약간풍화	100/83

분 석 결 과	• 풍화토는 1.0~1.6m, 풍화암은 0.2m의 층후로 분포 • 기반암은 GL.-6.2~6.3m의 출현심도를 보이며, TCR/RQD는 84~100/20~83으로 신선~보통풍화상태

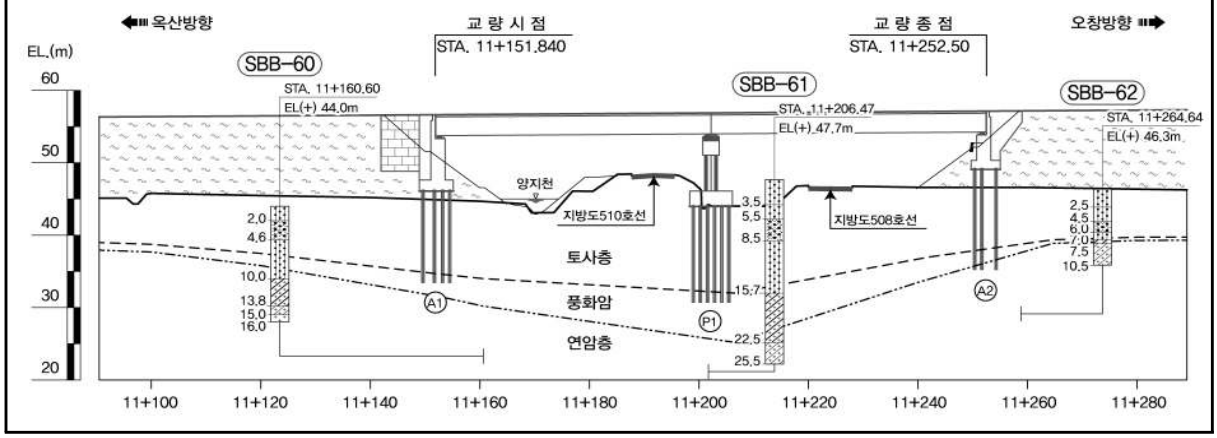
19) 복현 3교

- 본 구간은 STA. 11+151.840~11+252.500 구간으로 연장은 L=100.66m
- 본 구간에 총 3공(SBB-60~SBB-62)의 시추조사를 수행

위 치 도



지 층 단 면 도



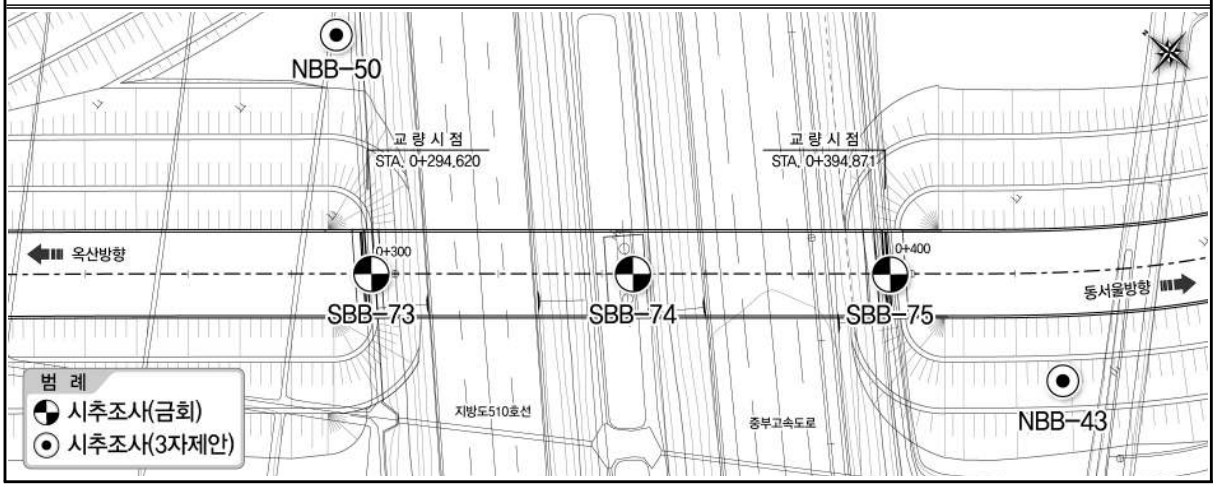
지층구분	분포심도 (GL.-m)	층후 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
매립층	0.0~3.5	2.5~3.5	자갈섞인 실트질 모래(SM)	4/30~5/30
충적층	0.0~8.5	3.5~5.0	실트질 모래(SM), 모래질 자갈(GP)	5/30~50/8
풍화토	4.6~15.7	1.0~7.2	실트질 모래(SM)	11/30~50/13
풍화암	7.0~22.5	0.5~6.8	암편섞인 실트질 모래	50/10~50/3
연 암	7.5~25.5	1.2~3.0	화강암, 약간~심한풍화	53~80/7~47
경 암	15.0~16.0	1.0	화강암, 신선~보통풍화	95/73

분 석 결 과	• 풍화토는 1.0~7.2m, 풍화암은 0.5~6.8m의 층후로 분포 • 기반암은 GL.-7.5~22.5m의 출현심도를 보이며, TCR/RQD는 53~95/7~73으로 신선~심한풍화상태

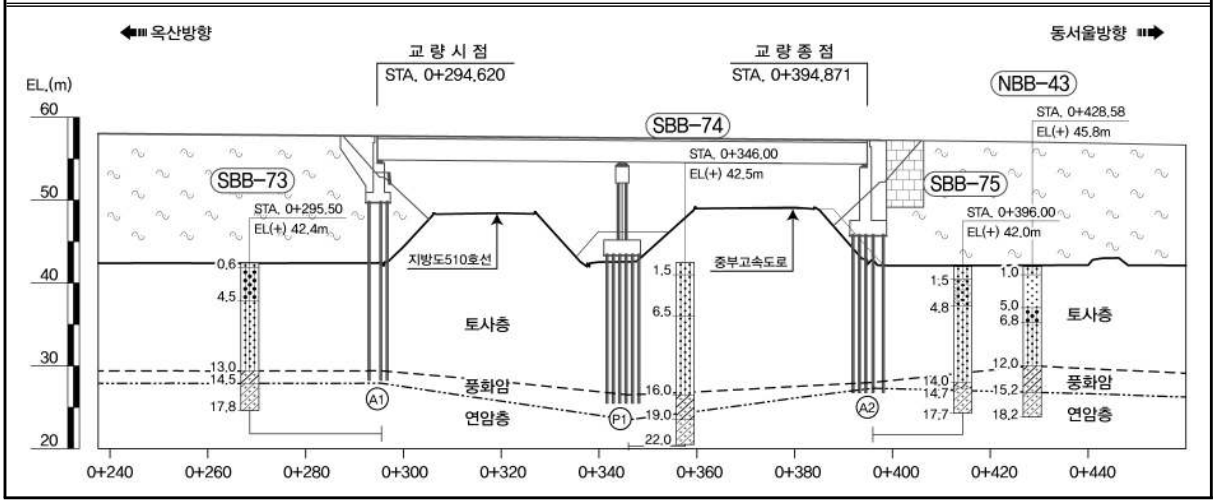
20) 오창JCT RAMP-A교

- 본 구간은 STA. 0+294.620~0+394.871 구간으로 연장은 L=100.251m
- 본 구간에 총 3공(SBB-73~SBB-75)의 시추조사를 수행

위 치 도



지 층 단 면 도



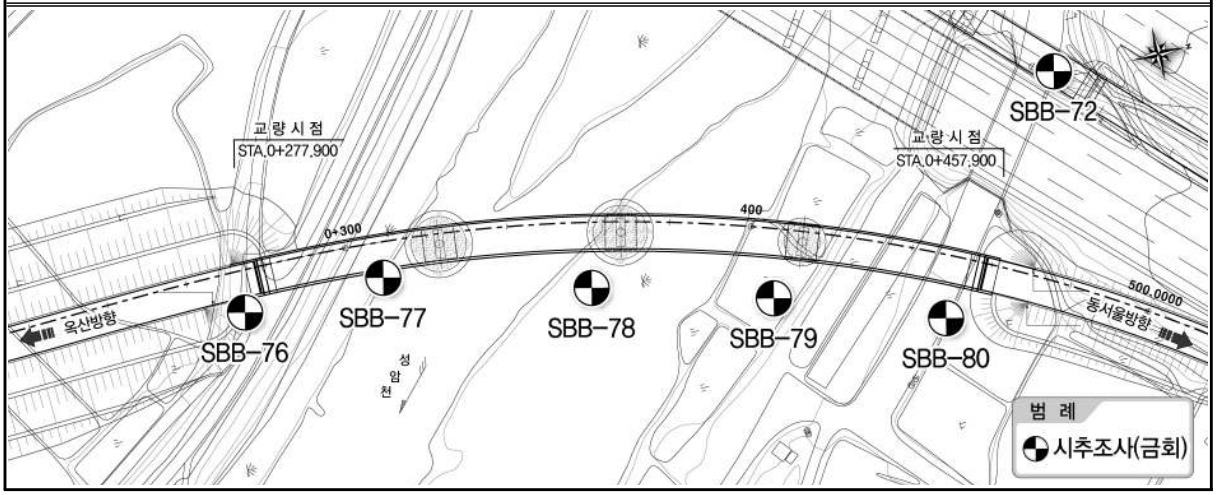
지층구분	분포심도 (GL.-m)	층후 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
매립, 전답층	0.0~4.8	0.6~4.8	실트섞인 모래질 자갈(GP), 실트질 모래(SM)	6/30~37/30
충적층	1.5~6.5	5.0	자갈섞인 실트질 모래(SM)	3/30~35/30
풍화토	4.5~16.0	8.5~9.5	실트질 모래(SM)	22/30~50/13
풍화암	13.0~19.0	0.7~3.0	암편섞인 실트질 모래	50/10~50/5
연 암	14.5~22.0	3.0~3.3	화강암, 약간~심한풍화	90~100/5~39

분 석 결 과	• 풍화토는 8.5~9.5m, 풍화암은 0.7~3.0m의 층후로 분포 • 기반암은 GL.-14.5~19.0m의 출현심도를 보이며, TCR/RQD는 90~100/5~39로 약간~심한풍화상태

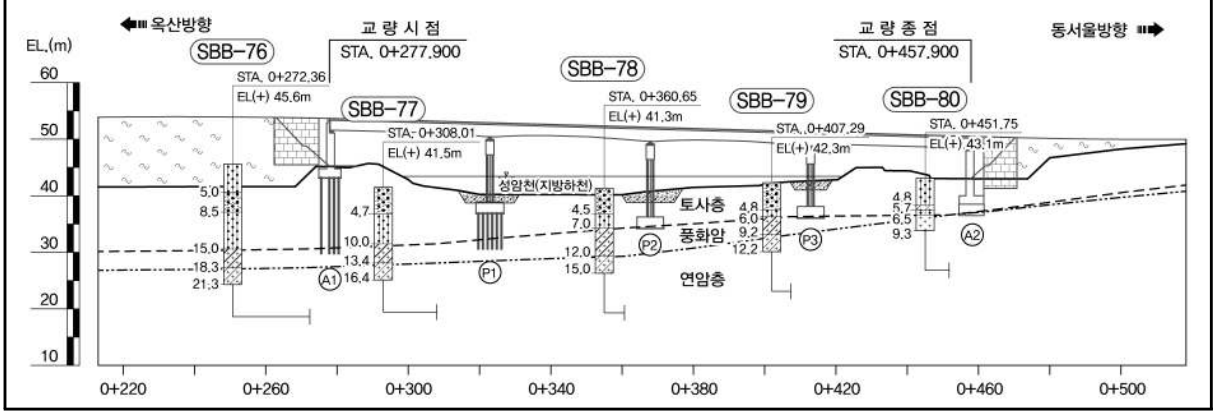
21) 오창JCT RAMP-C교

- 본 구간은 STA. 0+277.900~0+457.900 구간으로 연장은 L=180m
- 본 구간에 총 5공(SBB-76~SBB-80)의 시추조사를 수행

위 치 도



지 층 단 면 도



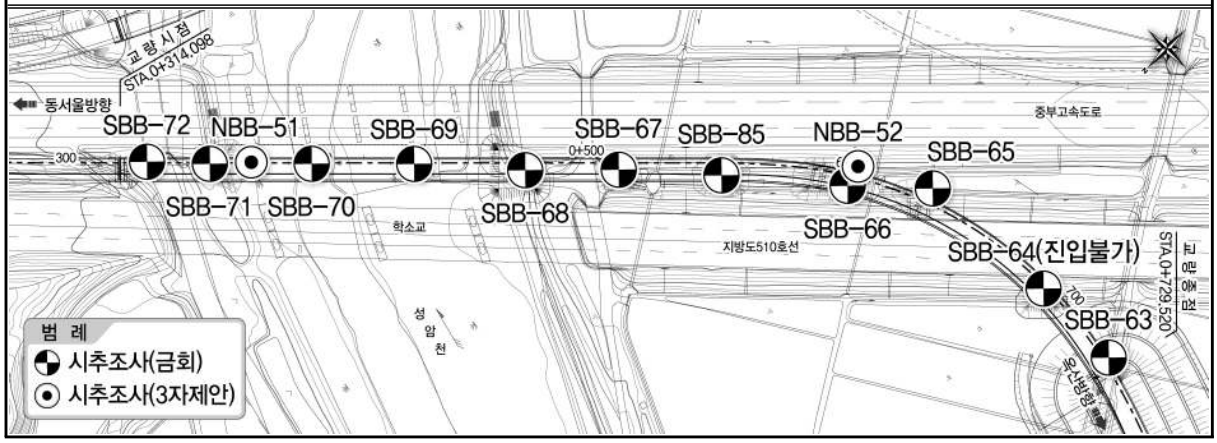
지층구분	분포심도 (GL.-m)	층후 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
매립층	0.0~5.0	4.7~5.0	실트섞인 모래질 자갈(GP), 실트질 모래(SM)	8/30~29/30
충적층	0.0~8.5	3.5~4.8	실트섞인 모래질 자갈(GP), 실트질 모래(SM)	4/30~32/30
풍화토	4.5~15.0	0.8~6.5	실트질 모래(SM)	50/28~50/11
풍화암	6.0~18.3	3.2~5.0	암편섞인 실트질 모래	50/8~50/2
연 암	4.8~21.3	0.9~4.3	화강암, 약간~보통풍화	90~100/12~46
경 암	6.5~9.3	2.8	화강암, 신선~약간풍화	83/87

분 석 결 과	• 풍화토는 0.8~6.5m, 풍화암은 3.2~5.0m의 층후로 분포 • 기반암은 GL.-4.8~18.3m의 출현심도를 보이며, TCR/RQD는 83~100/12~87로 신선~보통풍화상태

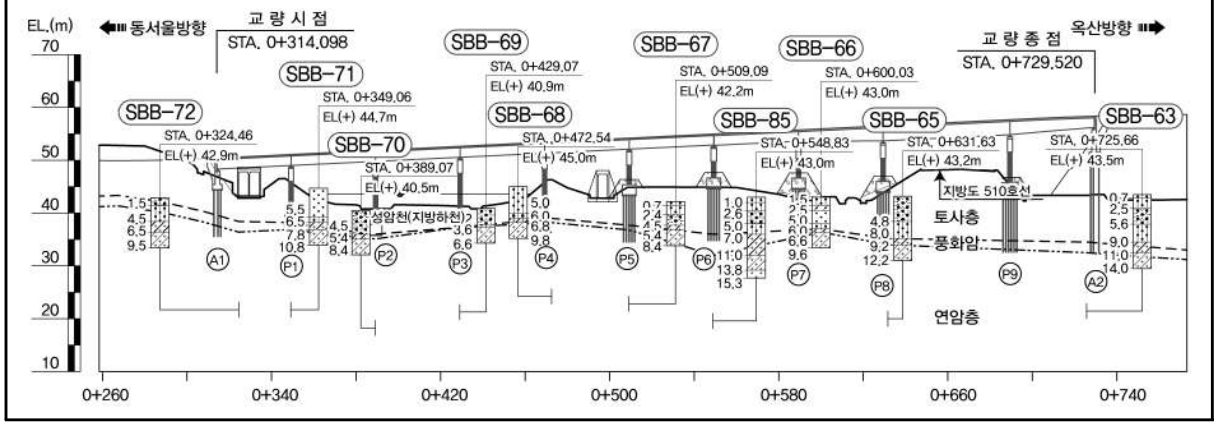
22) 오창JCT RAMP-D교

- 본 구간은 STA. 0+314.098~0+709.520으로 연장은 L=395.422m로 계획
- 본 구간에 총 10공(SBB-63, SBB-65~SBB-72, SBB-85)의 시추조사를 수행

위 치 도



지 층 단 면 도



지층구분	분포심도 (GL.-m)	층후 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
매립, 전답층	0.0~4.8	0.7~4.8	자갈섞인 실트질 모래(SM), 모래질 자갈(GP)	8/30~31/30
충적층	0.0~6.0	1.6~6.0	자갈섞인 실트질 모래(SM), 모래질 자갈(GP), 점토질 모래(SC)	5/30~50/19
풍화토	1.5~9.0	0.4~3.4	실트질 모래(SM)	14/30~50/11
풍화암	4.5~11.0	0.6~4.0	암편섞인 실트질 모래	50/10~50/3
연 암	3.6~14.0	2.8~3.0	화강암, 약간~보통풍화	67~100/13~62
경 암	13.8~15.3	1.5	화강암, 약간풍화	100/80

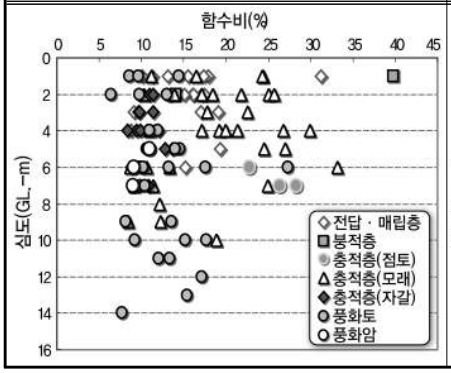
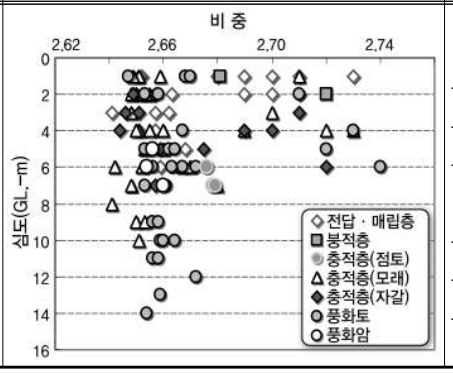
분 석 결 과	• 풍화토는 0.4~3.4m, 풍화암은 0.6~4.0m의 층후로 분포 • 기반암은 GL.-3.6~11.0m의 출현심도를 보이며, TCR/RQD는 67~100/13~80으로 약간~보통풍화상태

나. 토사층 및 기반암의 공학적 특성 분석

1) 토사층 및 풍화대의 공학적 특성분석

가) 물리적특성 분석(총 105회)

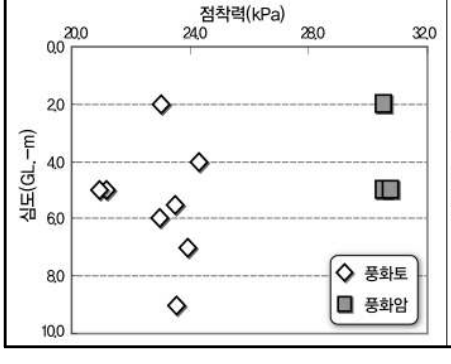
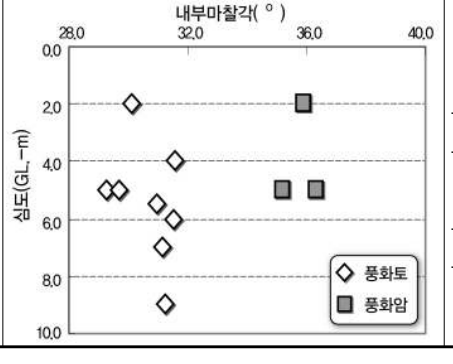
지 층 구 분	함수비(%)	비 중	액성한계	소성한계	USCS
전답, 매립층	8.8~31.2	2.64~2.73	29.5~38.6	3.8~17.9	SM, CL, SW-SM, SC GW-GM
붕적층	14.1~39.8	2.68~2.72	41.2	12.7	SW-SM, ML
충적층(점토)	22.8~28.3	2.68	33.7~35.5	12.0~13.8	CL
충적층(모래)	8.5~33.2	2.64~2.73	30.8~33.6	6.1~11.9	SM, SC, SP, SW-SM
충적층(자갈)	8.4~13.7	2.64~2.72	32.3	7.9~12.9	GP-GM, GP, GW, GC
풍화토	6.4~27.3	2.65~2.74	29.7	3.3	SM, SW-SM
풍화암	9.0~10.9	2.65~2.66	-	-	SM

심도별 함수비	심도별 비중	결 과 분 석
		• 함수비(%) -전답, 매립층:8.8~31.2 -충적층(모래):8.5~33.2 -충적층(자갈):8.4~13.7 • 비 중 -전답, 매립층:2.64~2.73 -충적층(모래):2.64~2.73 -충적층(자갈):2.64~2.72

나) 강도특성 분석

• 공내전단시험(총 11회)

지 층 구 분	점착력 c, (kPa)	내부마찰각 ϕ, (°)	N값 (회/cm)
풍화토	20.9~24.3	29.2~31.6	45/30 ~50/15
풍화암	30.6~30.7	35.2~36.3	50/10~50/5

심도별 점착력	심도별 내부마찰각	결 과 분 석
		• 점착력(kPa) -풍화토:20.9~24.3 -풍화암:30.6~30.7 • 내부마찰각(°) -풍화토:29.2~31.6 -풍화암:35.2~36.3

다) 변형특성 분석

• 공내재하시험(총 3회)

지 층 구 분	N값(회/cm)	변형계수(MPa)	탄성계수(MPa)
풍화암	50/9~50/3	253~474	369~606

라) 종합분석결과

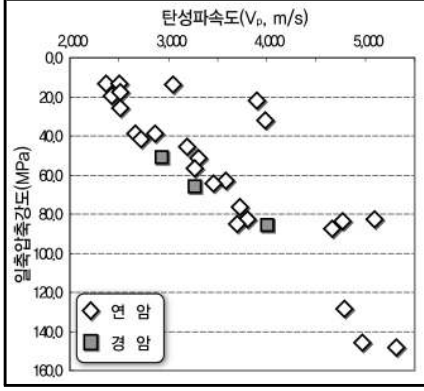
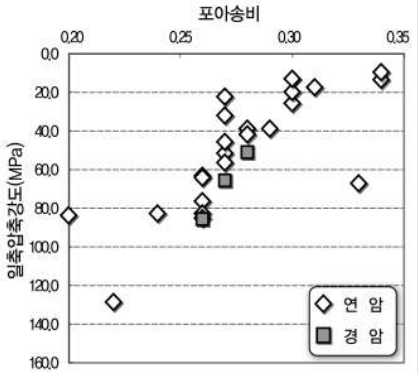
지 층 구 분	함수비(%)	비 중	점착력 c,(MPa)	내부마찰각 ϕ, (°)	변형계수 (MPa)	탄성계수 (MPa)
전답, 매립층	8.8~31.2	2.64~2.73	–	–	–	–
붕적층	14.1~39.8	2.68~2.72	–	–	–	–
충적층(점토)	22.8~28.3	2.68	–	–	–	–
충적층(모래)	8.5~33.2	2.64~2.73	–	–	–	–
충적층(자갈)	8.4~13.7	2.64~2.72	–	–	–	–
풍화토	6.4~27.3	2.65~2.74	20.9~24.3	29.2~31.6	–	–
풍화암	9.0~10.9	2.65~2.66	30.6~30.7	35.2~36.3	253~474	369~606

2) 기반암의 공학적 특성분석

가) 강도특성분석(총 30회)

• 기본물성 및 일축압축강도

지 층 구 분	물리적 특성			역학적 특성		
	비 중	탄성파 속도(m/s)		탄성계수 (MPa)	포아송비	일축압축강도 (MPa)
		V_p	V_s			
연 암	2.53~2.79	1,447~5,323	758~2,658	1,320~62,600	0.17~0.34	9.9~148.6
경 암	2.66~271	2,937~4,013	1,853~2,482	4,690~7,950	0.26~0.28	51.0~85.8

일축압축강도-P파속도	일축압축강도-포아송비	결 과 분 석
		• 지층별 일축압축강도(MPa) –연암:9.9~148.6 –경암:51.0~85.8 • 지층별 탄성계수(MPa) –연암:1,320~62,600 –경암:4,690~7,950

• 삼축압축강도 및 간접인장강도(총 12회)

지층구분	점착력 c, (MPa)	내부마찰각 ϕ, (°)	인장강도 (MPa)
연 암	4.5~22.7	43.6~59.3	2.39~10.65
경 암	8.0~11.7	44.8~48.0	5.71~6.71

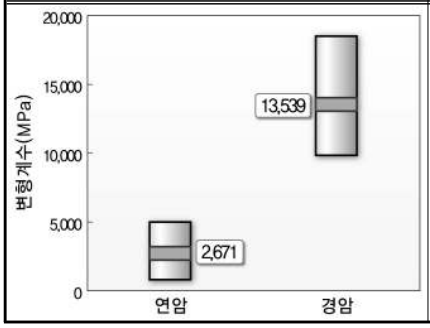
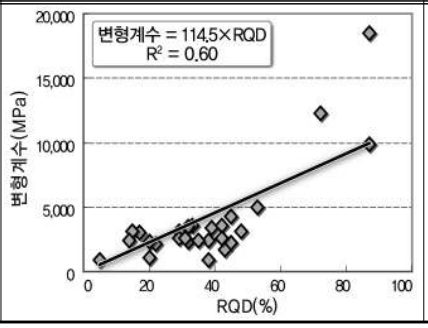
나) 절리면의 역학적 특성(총 12회)

지 층 구 분	점착력 c, (MPa)		내부마찰각 ϕ, (°)		강 성 (MPa/mm)		JRC	JCS (MPa)
	최대	잔류	최대	잔류	K_n	K_s		
연 암	0.005~ 0080	0.001~ 0.025	30.8~ 44.3	28.5~ 40.1	9.1~ 12.5	0.57~ 1.80	2~12	23.2~ 127.9
경 암	0.031~ 0.037	0.006~ 0.007	39.6~ 42.5	38.1~ 38.6	12.2~ 12.8	1.12~ 1.17	4~6	131.8~ 146.2

다) 변형특성 분석

• 공내재하시험(총 27회)

지 층 구 분	TCR(%)/RQD(%)	변형계수(MPa)	탄성계수(MPa)
연 암	47~100/5 ~45	847~5,009	1,035~6,787
경 암	93~100/72~87	9,869~18,510	13,111~23,309

지층별 변형계수 및 탄성계수	RQD - 변형계수	결 과 분 석
		• 변형계수(MPa) –연 암 : 847~5,009 –경 암 : 1,035~6,787 • 탄성계수(MPa) –연 암 : 9,869~18,510 –경 암 : 13,111~23,309

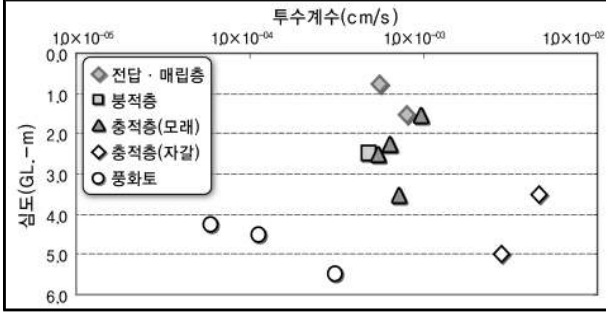
라) 종합분석결과

지 층 구 분	일축압축 강 도 (MPa)	간접인장 강 도 (MPa)	전단강도		변형계수 (MPa)	탄성계수 (MPa)
			점착력 c, (MPa)	내부마찰각 ϕ, (°)		
연 암	9.9~148.6	2.39~10.65	4.5~22.7	43.6~59.3	847~5,009	1,035~6,787
경 암	51.0~85.8	5.71~6.71	8.0~11.7	44.8~48.0	9,869~18,510	13,111~23,309

3) 수리 및 내진특성 분석

가) 현장 투수시험 및 수압시험(총 12회)

지 층 구 분	N값	투수계수(cm/s)	
		범 위	평 균
전답·매립층	5/30	5.6×10^{-4}~8.1×10^{-4}	6.8×10^{-4}
붕적층	25/30	4.8×10^{-4}	4.8×10^{-4}
충적층(모래)	7/30~15/30	5.5×10^{-4}~9.6×10^{-4}	7.2×10^{-4}
충적층(자갈)	11/30~23/30	2.8×10^{-3}~4.6×10^{-3}	3.7×10^{-3}
풍화토	11/30~50/15	6.0×10^{-5}~3.1×10^{-4}	1.6×10^{-4}

심도별 투수계수	결 과 분 석
	• 투수계수(cm/s) -전답·매립층 : 5.6×10^{-4}~8.1×10^{-4} -붕 적 층 : 4.8×10^{-4} -충적층(모래) : 5.5×10^{-4}~9.6×10^{-4} -충적층(자갈) : 2.8×10^{-3}~4.6×10^{-3} -풍 화 토 : 6.0×10^{-5}~3.1×10^{-4}

나) 동적지반 특성치 분석(총 2회 : SBB-22, 63)

지 층	V_p (m/s)	V_s (m/s)	동적물성치			
			G_d(MPa)	E_d(MPa)	K_d(MPa)	υ_d
충적층(모래)	403~1,502	176~383	60~280	160~820	200~3,960	0.35~0.47
충적층(자갈)	638~1,201	208~320	80~190	230~550	640~2,590	043~0.47
풍화토	1,239~1,688	425~591	350~680	1,000~1,930	2,500~4,840	0.41~0.45
풍화암	1,491~2,653	374~882	290~1,590	850~4,480	4,210~12,350	0.41~0.47
연 암	2,157~4,019	912~1,922	1,870~8,290	5,200~22,410	7,960~25,520	0.35~0.39

결 과 분 석	• 충적층(모래)	-G_d:60~280	-E_d:160~820	-K_d:200~3,960
	• 충적층(자갈)	-G_d:80~190	-E_d:230~550	-K_d:640~2,590
	• 풍화토	-G_d:350~680	-E_d:1,000~1,930	-K_d:2,500~4,840
	• 풍화암	-G_d:290~1,590	-E_d:850~4,480	-K_d:4,210~12,350
	• 연 암	-G_d:1,870~8,290	-E_d:5,200~22,410	-K_d:7,960~25,520

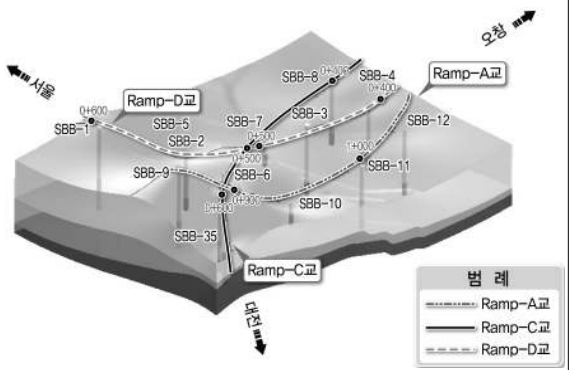
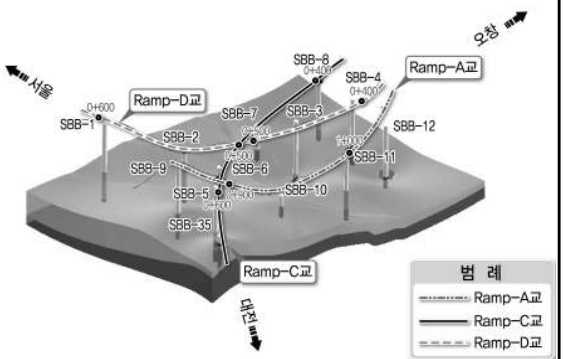
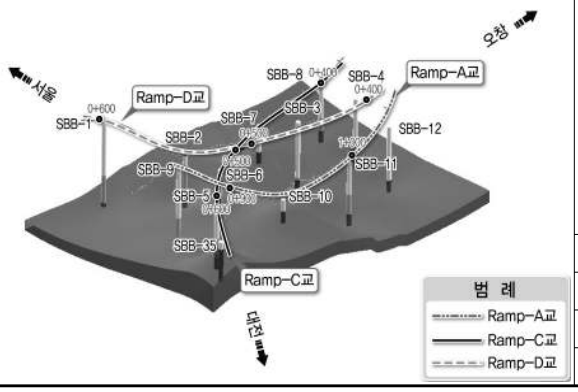
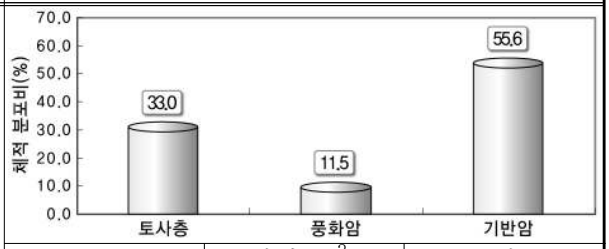
5.1.3 지시크리깅을 이용한 3차원 지층분석

가. 기본방향

• 각 지층단위의 분포에 대한 단편적 정보를 통합하여 공간적 분포를 정량적인 분석으로 가장 적절한 3차원 지층분석을 통해 구조물별 지층분포 특성 신뢰성 확보

나. 분석결과

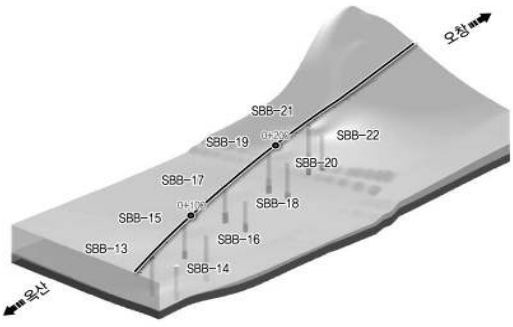
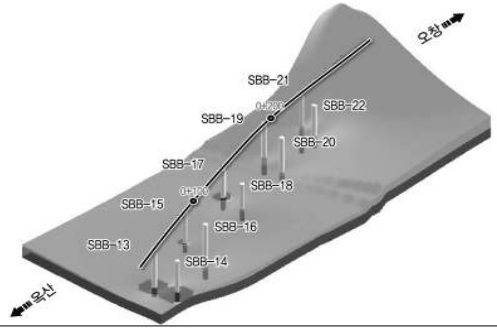
1) 옥산 JCT 구간

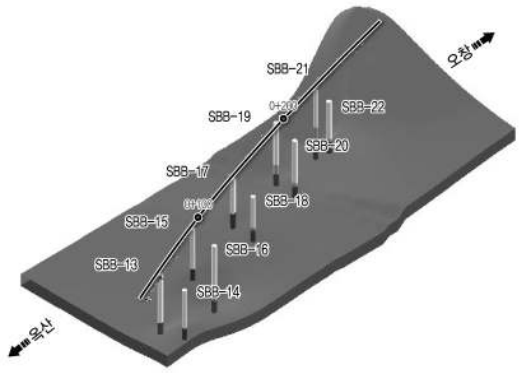
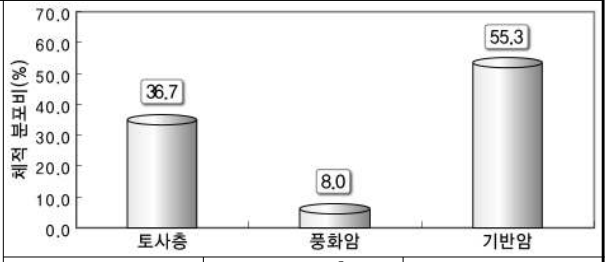
Block Modeling에 의한 3차원 지층분포	풍화암 분포
	
기반암 분포	**지층별 체적 분포비**
	

구분	체적(m^3)	분포비(%)
토사층	364,634	33.0
풍화암	126,937	11.5
기반암	614,903	55.6

분 석 결 과	• 풍화암은 0.7~7.0m의 층후로 11.5%의 체적분포비를 보이며, 오창에서 얕게 분포 • 기반암은 GL.-3.0~3.2m에서 출현, 3.0m이상의 층후로 55.6%의 체적분포비를 보임

2) 병천천교 구간

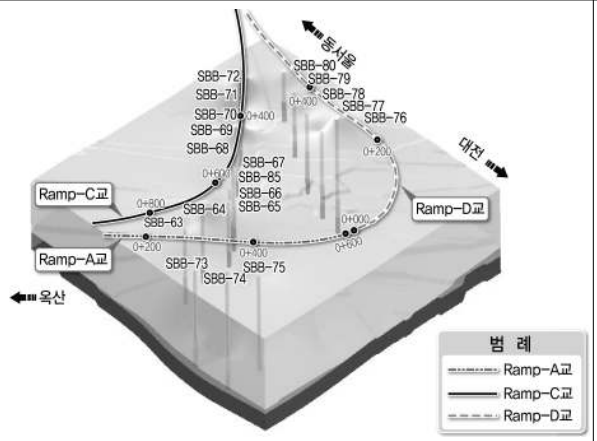
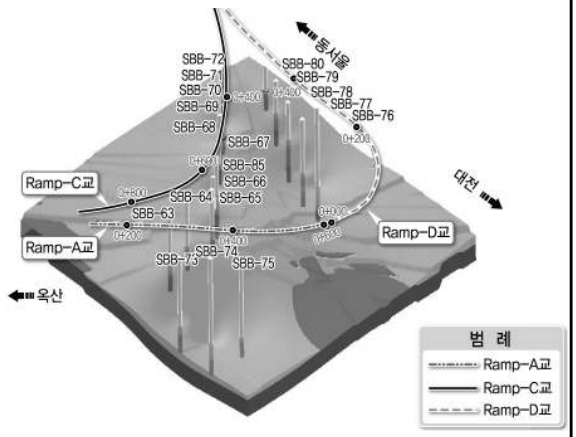
Block Modeling에 의한 3차원 지층분포	풍화암 분포
	

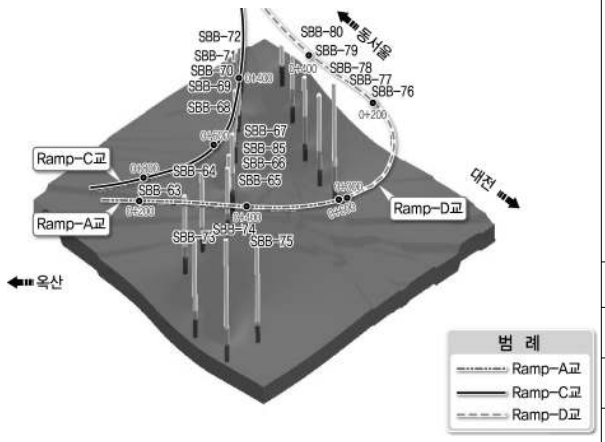
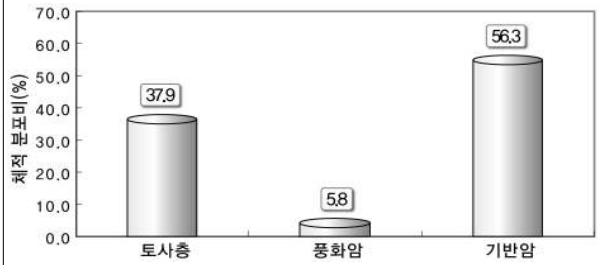
기반암 분포	지층별 체적 분포비
	

구분	체적(m^3)	분포비(%)
토사층	337,279	36.7
풍화암	73,203	8.0
기반암	507,843	55.3

분 석 결 과	• 풍화암은 0.7~5.5m의 층후로 8.0%의 체적분포비를 보이며, 오창에서 깊게 분포 • 기반암은 GL.-8.7~14.5m에서 출현, 3.0m이상의 층후로 55.3%의 체적분포비를 보임

3) 오창 JCT 구간

Block Modeling에 의한 3차원 지층분포	풍화암 분포
	

기반암 분포	지층별 체적 분포비
	

구분	체적(m^3)	분포비(%)
토사층	2,565,250	37.9
풍화암	393,612	5.8
기반암	3,810,829	56.3

분 석 결 과	• 풍화암은 0.6~5.0m의 층후로 5.8%의 체적분포비를 보이며, 동서울에서 깊게 분포 • 기반암은 GL.-3.6~19.0m에서 출현, 3.0m이상의 층후로 56.3%의 체적분포비를 보임

5.2 토공구간 성과분석

5.2.1 조사개요

가. 기본방향

조사항목	조 사 기 본 방 향
지반특성	• 시추조사, 시험굴조사를 실시하여 깎기 및 쌓기구간의 지층분포상태 및 공학적 특성을 파악하여 안전하고 경제적인 비탈면 조사계획 수립
지질 이상대현황	• 물리탐사, 시추조사로부터 지질이상대의 영향구간 및 암반상태를 파악하여 설계지반정수를 산정하여 비탈면 설계시 반영
불연속면 특 성	• 정밀지표지질조사, 공내영상촬영, 절리면전단시험을 실시하여 절리면을 통계적으로 분석하고, 불연속체 설계지반정수 산정
비탈면안정성	• 현장투수시험을 실시하여 강우시 예상포화심도를 예측하여 비탈면 보강대책 수립

나. 조사항목 선정 및 흐름도

광 역 조 사	물 리 탐 사	현 장 조 사
• 기존자료 분석 • 음영기복도, 인공위성영상 분석 • 지표지질조사 • 인근비탈면 현황조사	• 탄성파 속도에 따른 지층 및 지질구조이상대 파악	• 정밀지표지질조사 • 시추조사 및 시추코아를 이용한 현장암종 분류 • 시험굴 조사

↓

현 장 시 험		실 내 시 험	
• 굴절법탄성파탐사 • 현장투수시험 • 공내전단시험	• 공내재하시험 • 공내영상촬영	• 일축압축시험 • 직접전단시험 • 절리면전단시험	• 삼축압축강도시험 • 간접인장강도시험 • 다짐 및 실내CBR시험

↓

암반등급 결정	불연속면특성 분석	설계지반정수 산정
• 시추코아를 이용한 RMR분류 • 통계분석을 통한 비탈면 안정성 검토	• 절리방향성 분석 • 절리면전단시험 결과를 이용한 불연속체해석 설계지반정수 산정	• 설계에 요구되는 각종 설계지반정수 산정

↓

• 단위중량(γ) • 변형계수(E_m)	• 점착력(c) • 포아송비(υ)	• 내부마찰각(ϕ) • 투수계수(k)	• 절리면 거칠기(JRC) • 절리면전단강도(c, ϕ)

↓

비탈면 안정검토	침투류 해석

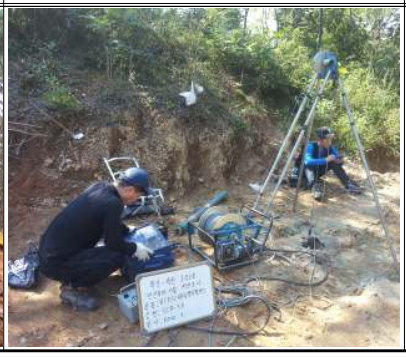
다. 조사위치 및 수량

1) 토공구간 현황



2) 조사항목 및 수량

구 분	조 사 항 목	단위	수 량	구 분	조 사 항 목	단위	수 량
현장조사	시추조사	공	51	실내토질시험	기본물성시험	회	64
	시험굴조사 및 현장밀도시험	회	20/20		다짐 및 CBR시험	회	20
	지하수위 측정	회	51		직접전단시험	회	20
물리탐사	굴절법 탄성파탐사	km	3.075	실내암석시험	기본물성시험	회	6
현장특수시험	시추공 영상촬영	회	3		일축압축강도시험	회	6
현장시험	SPT에너지효율시험	회	2		삼축압축강도시험	회	6
	현장투수시험	회	4		절리면전단시험	회	3
	공내재하시험	회	–		간접인장강도시험	회	6
	공내전단시험	회	4		암유용성시험	회	2

시 추 조 사	시추공영상촬영	공내전단시험
		

5.2.2 구간별 지층특성 및 지반특성 분석

가. 지층특성분석

1) 깎기구간

• 본 구간에 총 33공(SCB-1~SCB-43)의 시추조사를 수행

위 치 도



지층구분	분포심도 (GL.-m)	층후 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
전답,매립층	0.0~0.8	0.2~0.8	실트질 모래, 자갈섞인 실트질 모래	-
붕적층	0.0~1.7	0.7~1.7	실트질 모래, 모래질 실트, 점토질 모래	7/30~13/30
풍화토	0.0~12.0	1.2~14.0	실트질 모래, 점토질모래, 모래질 실트	5/30~50/11
풍화암	0.0~29.0	0.9~18.0	암편섞인 실트질 모래	50/10~50/1
연 암	2.7~38.0	3.5~21.8	편마암, 약간~심한풍화	23~100/0~47
경 암	6.2~32.0	2.5~6.0	편마암, 약간~보통풍화	73~100/33~78

2) 쌓기구간

• 본 구간에 총 18공(SSB-1~SSB-18)의 시추조사를 수행

위 치 도



지층구분	분포심도 (GL.-m)	층후 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
전답, 매립층	0.0~4.8	0.3~4.8	자갈섞인 실트질 모래, 실트질 모래	2/30~20/30
붕적층	0.0~2.0	0.7~2.0	자갈섞인 실트질 모래	7/30
충적층	0.0~10.0	1.4~7.2	실트질 모래, 자갈질 모래, 모래질 자갈	2/30~34/30
풍화토	0.4~14.6	0.7~9.0	실트질 모래, 점토질 모래	6/30~50/13
풍화암	2.5~17.0	0.4~3.0	암편섞인 실트질 모래	50/10~50/2
연 암	1.7~12.0	2.0	편마암, 약간~보통풍화	90~100/12~14
경 암	6.4~8.4	2.0	편마암, 약간~보통풍화	100/60

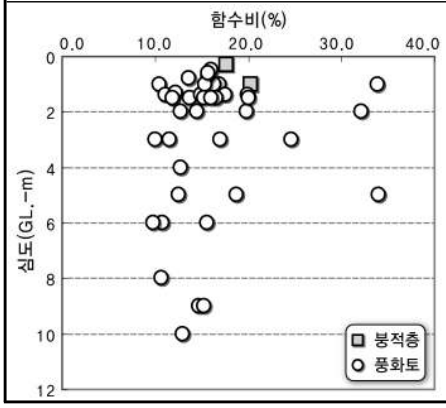
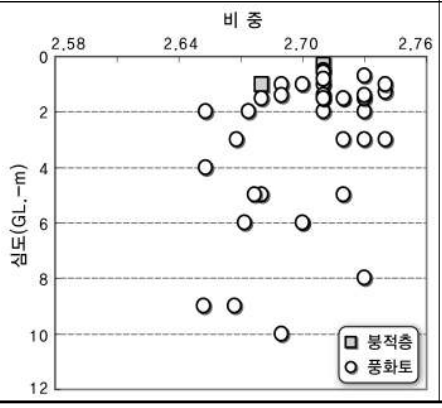
나. 토사층 및 기반암의 공학적 특성 분석

1) 토사층 및 풍화대의 공학적 특성분석

가) 물리적특성 분석(총 64회)

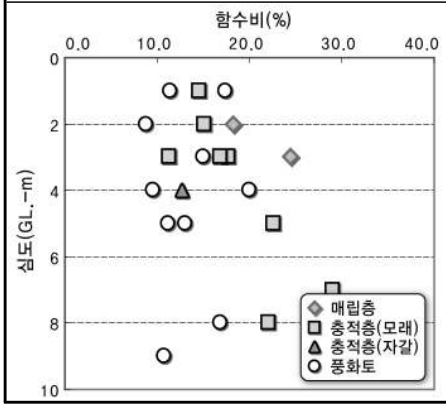
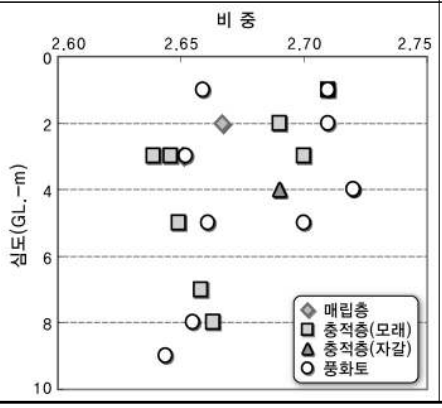
• 깎기구간

지 층 구 분	함수비(%)	비 중	액성한계	소성한계	USCS
붕적층	17.7~20.3	2.68~2.71	32.7~34.2	10.1~11.6	SC
풍화토	9.8~34.0	2.65~2.74	30.8~36.7	5.4~13.5	SM, SC, SW-SM, ML

심도별 함수비	심도별 비중	결 과 분 석
		• 함수비(%) -붕적층:17.7~20.3 -풍화토:9.8~34.0 • 비 중 -붕적층:2.68~2.71 -풍화토:2.68~2.74 • 액성한계 -붕적층:32.7~34.2 -풍화토:30.8~36.7

• 쌓기구간

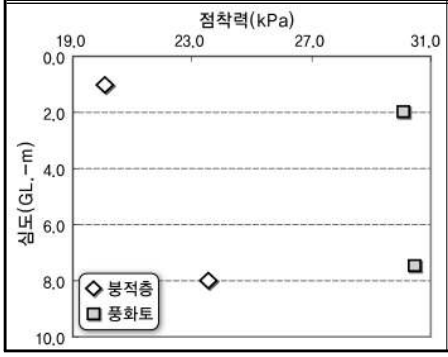
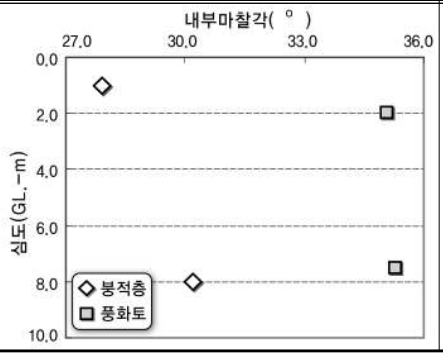
지 층 구 분	함수비(%)	비 중	액성한계	소성한계	USCS
매립층	18.3~24.5	2.65~2.67	NP	-	SM
충적층(모래)	11.3~29.0	2.64~2.71	29.7	5.4	SM, SW-SM, SP-SM
충적층(자갈)	12.7	2.69	NP	-	GP
풍화토	8.8~20.0	2.64~2.72	28.7~34.9	3.1~11.9	SM, SC, GP-GM

심도별 함수비	심도별 비중	결 과 분 석
		• 함수비(%) -충적층(모래):11.3~29.0 -충적층(자갈):12.7 -풍화토:8.8~20.0 • 비 중 -충적층(모래):2.64~2.71 -충적층(자갈):2.69 -풍화토:2.64~2.72

나) 강도특성 분석

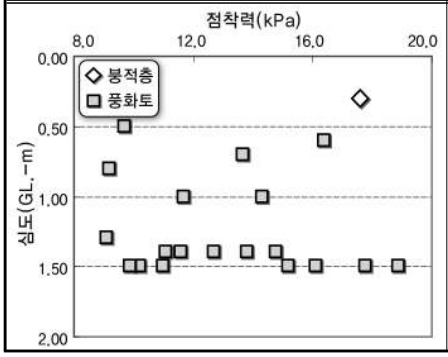
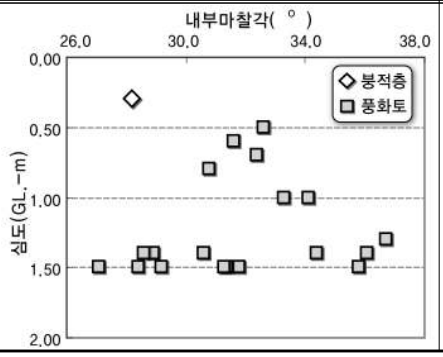
• 공내전단시험(총 4회)

지 층 구 분	점착력 c, (kPa)	내부마찰각 ∅, (°)	N값 (회/cm)
풍화토	20.1~30.5	27.9 ~35.3	31/30~50/28
풍화암	30.1~30.5	35.1~35.3	50/8~50/7

심도별 점착력	심도별 내부마찰각	결 과 분 석
		• 점착력(kPa) –풍화토:20.1~30.5 –풍화암:30.1~30.5 • 내부마찰각(°) –풍화토:27.9 ~35.3 –풍화암:35.1~35.3

• 직접전단시험(총 20회)

지 층 구 분	점착력 c, (kPa)	내부마찰각 ∅, (°)
붕적층	17.6	28.2
풍화토	9.1~18.9	27.1~36.7

심도별 점착력	심도별 내부마찰각	결 과 분 석
		• 점착력(kPa) –붕적층:17.6 –풍화토:9.1~18.9 • 내부마찰각(°) –붕적층:28.2 –풍화토:27.1~36.7

다) 종합분석결과

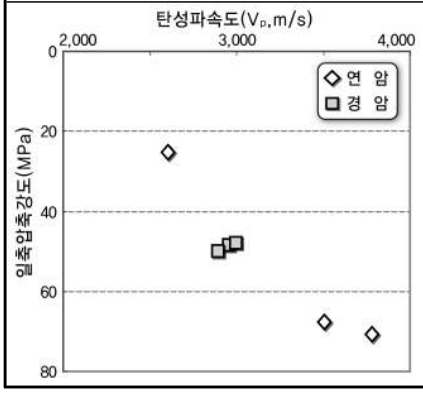
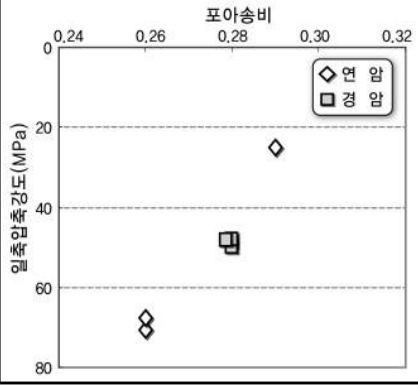
지 층 구 분	함수비(%)	비 중	점착력 c, (kPa)	내부마찰각 ϕ, (°)
매립층	18.3~24.5	2.65~2.67	–	–
붕적층	17.7~20.3	2.68~2.71	17.6	28.2
충적층(모래)	11.3~29.0	2.64~2.71	–	–
충적층(자갈)	12.7	2.69	–	–
풍화토	8.8~34.0	2.64~2.74	9.1~30.5	27.1~36.7
풍화암	–	–	30.1~30.5	35.1~35.3

2) 기반암의 공학적 특성분석

가) 강도특성분석(총 6회)

• 기본물성 및 일축압축강도

지층 구분	물리적 특성			역학적 특성		
	비 중	탄성파 속도(m/s)		탄성계수 (MPa)	포아송비	일축압축강도 (MPa)
		V_p	V_s			
연 암	2.70~2.87	2,605~3,782	1,528~2,321	4,160~8,650	0.26~0.29	25.2 ~70.8
경 암	2.65~2.70	2,895~3,000	1,765~1,838	3,230~7,450	0.28	48.0~50.1

일축압축강도-P파속도	일축압축강도-포아송비	결 과 분 석
		• 지층별 일축압축강도(MPa) -연암:25.2 ~70.8 -경암:48.0~50.1 • 지층별 탄성계수(MPa) -연암:4,160~8,650 -경암:3,230~7,450

• 삼축압축강도 및 간접인장강도(총 6회)

지층구분	점착력 c, (MPa)	내부마찰각 ϕ, (°)	인장강도 (MPa)
연 암	6.4~14.3	48.1~49.43	3.55~9.78
경 암	6.4~8.2	47.2~48.9	5.05~6.10

나) 절리면의 역학적 특성(총 3회)

지층 구분	점착력 c, (MPa)		내부마찰각 ϕ, (°)		강 성 (MPa/mm)		JRC	JCS (MPa)
	최대	잔류	최대	잔류	Kn	Ks		
연 암	0.031~ 0.045	0.004~ 0.005	42.00~ 44.76	38.88~ 42.18	11.0~ 12.2	1.02~ 1.14	6~10	109.5~ 147.2

다) 종합분석결과

지층 구분	일축압축강도 (MPa)	간접인장강도 (MPa)	전단강도	
			점착력 c, (MPa)	내부마찰각 ϕ, (°)
연 암	25.2 ~70.8	3.55~9.78	6.4~14.3	48.1~49.43
경 암	48.0~50.1	5.05~6.10	6.4~8.2	47.2~48.9

다. 수리특성 분석

1) 지하수위 분포

• 깎기구간

공 번	표고 (EL. m)	공내지하수위 (GL. -m)	공 번	표고 (EL. m)	공내지하수위 (GL. -m)
SCB-1	83.7	12.1	SCB-22	120.7	13.3
SCB-2	88.5	19.0	SCB-23	115.2	4.4
SCB-3	65.5	4.5	SCB-24	143.8	16.4
SCB-5	86.6	19.5	SCB-25	130.1	3.8
SCB-6	78.8	7.2	SCB-26	139.1	2.7
SCB-7	86.7	12.5	SCB-27	154.0	8.7
SCB-8	92.7	20.5	SCB-28	160.5	10.6
SCB-9	108.7	11.7	SCB-29	156.5	8.6
SCB-10	102.1	4.0	SCB-30	146.4	2.1
SCB-11	125.8	11.7	SCB-31	165.3	10.2
SCB-12	131.0	14.7	SCB-32	135.3	4.0
SCB-13	116.0	13.4	SCB-38	115.1	12.8
SCB-14	140.8	12.7	SCB-39	108.4	13.2
SCB-15	157.6	12.4	SCB-40	100.7	8.7
SCB-17	160.7	13.7	SCB-41	84.9	3.8
SCB-20	119.3	2.5	SCB-42	83.3	3.1
SCB-21	138.9	13.8	-	-	-

• 쌓기구간

공 번	표고 (EL. m)	공내지하수위 (GL. -m)	공 번	표고 (EL. m)	공내지하수위 (GL. -m)
SSB-1	44.6	2.1	SSB-10	57.2	1.0
SSB-2	45.9	3.0	SSB-11	45.0	0.8
SSB-3	45.9	2.1	SSB-12	42.0	2.0
SSB-4	66.0	1.5	SSB-13	42.7	2.2
SSB-5	100.1	1.2	SSB-14	44.6	2.2
SSB-6	106.5	3.5	SSB-15	42.8	4.8
SSB-7	89.0	2.3	SSB-16	83.5	2.1
SSB-8	95.9	-	SSB-17	91.8	0.3
SSB-9	109.9	-	SSB-18	116.5	0.8

2) 현장 투수시험

가) 현장 투수시험(총 4회)

지 층 구 분	N값	투수계수(cm/s)	
		범 위	평 균
풍화토	19/30~50/13	4.3×10^{-4}~5.3×10^{-4}	4.8×10^{-4}
풍화암	50/8	2.3×10^{-5}~3.2×10^{-5}	2.8×10^{-5}

라. 쌓기재의 공학적 특성 분석

1) 토사 쌓기재의 특성 분석

가) 쌓기재료의 품질기준

구 분	노 상		노 체	비 고
	상부노상	하부노상		
최대치수(mm)	100 이하	150 이하	300 이하	-
수정 CBR	10 이상	5 이상	2.5 이상	KS F 2320
No.4체 통과량(%)	25~100	-	-	-
No.200체 통과분(%)	0~25	50 이하	-	KS F 2301, KS F 2309
소 성 지 수	10 이하	30 이하	-	KS F 2303

나) 쌓기재료의 다짐 특성 및 품질평가

구 분	최대 치수 (mm)	수정 CBR (%)	#4체 통과량 (%)	#200체 통과량 (%)	소성 지수 (%)	쌓기재 적부 판정		
						상부노상	하부노상	노체
STP-1	19.1	11.4	89.3	43.7	11.6	부적합	적합	적합
STP-2	9.5	20.4	92.7	16.5	-	적합	적합	적합
STP-3	19.1	20.2	91.9	8.7	-	적합	적합	적합
STP-4	19.1	24.9	81.6	11.1	-	적합	적합	적합
STP-5	19.1	21.7	80.3	9.6	-	적합	적합	적합
STP-6	19.1	22.9	80.3	8.5	-	적합	적합	적합
STP-7	19.1	25.6	83.8	22.5	-	적합	적합	적합
STP-8	19.1	17.3	87.3	26.1	-	부적합	적합	적합
STP-9	19.1	19.5	88.2	9.6	-	적합	적합	적합
STP-10	19.1	23.3	83.6	9.4	-	적합	적합	적합
STP-11	26.5	18.3	85.5	11.9	-	적합	적합	적합
STP-12	9.5	18.9	93.0	19.3	-	적합	적합	적합
STP-13	19.1	21.8	86.3	14.5	-	적합	적합	적합
STP-14	4.6	16.5	100	26.6	5.4	부적합	적합	적합
STP-15	9.5	18.2	92.2	13.1	-	적합	적합	적합
STP-16	19.1	15.8	79.5	25.4	10.8	부적합	적합	적합
STP-17	9.5	10.9	96.0	24.9	10.9	부적합	적합	적합
STP-18	19.1	11.9	98.1	26.4	12.5	부적합	적합	적합
STP-19	19.1	14.2	88.4	26.2	12.8	부적합	적합	적합
STP-20	19.1	15.6	89.5	48.5	6.7	부적합	적합	적합

• 쌓기재 유용토는 하부노상과 노체는 품질기준을 만족하나 상부노상은 #200통과율과 소성지수가 기준치에 미달하여 부분 부적합으로 검토되었다. 상기 시험 결과는 지표로부터 1.5m 내외에서 실시된 것으로 실제 토공작업시 예상되는 더 깊은 심도의 재료에서는 다소 차이가 있을 것으로 판단된다. 따라서, 깎기부의 토사를 상부노상으로 사용 시에는 철저한 관리시험을 통해 선별 사용하여야 할 것으로 판단된다.

다) 토량 변화율 산정

• $L = \frac{\text{흐트러진 상태(굴착후)의 토량}(m^3)}{\text{자연상태(원지반)의 토량}(m^3)}$ • $C = \frac{\text{다져진 상태(다짐후)의 토량}(m^3)}{\text{자연상태(원지반)의 토량}(m^3)}$

• 쌓기재료의 실내시험 성과

구 분	자연상태		다짐특성						흐트러진 상태	
	함수비 (%)	건조밀도 (kN/m^3)	A다짐(90%)			D다짐(95%)			건조밀도 (kN/m^3)	L
			γ_{dmax} (kN/m^3)	OMC (%)	C	γ_{dmax} (kN/m^3)	OMC (%)	C		
STP-1	17.7	13.3	15.6	16.8	0.85	17.5	13.9	0.76	11.2	1.19
STP-2	13.7	16.1	16.7	13.6	0.96	18.8	10.4	0.86	12.4	1.30
STP-3	11.1	16.9	16.3	14.2	1.04	18.4	11.1	0.92	12.7	1.33
STP-4	12.2	15.9	16.9	12.8	0.94	18.9	9.8	0.84	13.2	1.20
STP-5	11.9	16.6	16.7	13.7	0.99	18.6	10.2	0.89	13.1	1.26
STP-6	11.5	16.8	16.7	13.6	1.00	18.8	10.5	0.89	13.9	1.21
STP-7	14.9	15.4	17.2	12.3	0.89	19.1	9.8	0.80	11.9	1.29
STP-8	16.4	15.7	16.4	14.9	0.95	18.3	11.3	0.86	12.8	1.22
STP-9	15.7	16.5	16.5	13.9	1.00	18.5	10.6	0.89	12.7	1.30
STP-10	15.1	15.5	16.5	14.2	0.94	18.6	10.9	0.83	11.7	1.32
STP-11	16.0	15.7	16.6	14.6	0.95	18.4	11.8	0.85	12.4	1.27
STP-12	17.5	16.2	16.6	14.3	0.98	18.6	11.1	0.87	12.6	1.29
STP-13	15.7	16.1	16.8	13.7	0.96	18.8	10.3	0.86	12.2	1.32
STP-14	19.9	15.8	16.2	15.4	0.98	18.0	11.9	0.88	12.3	1.29
STP-15	13.6	16.6	16.4	14.6	1.01	18.3	11.4	0.91	13.7	1.22
STP-16	11.9	15.1	16.3	15.1	0.93	18.2	12.1	0.83	12.4	1.22
STP-17	15.3	14.0	15.8	17.1	0.89	17.6	13.3	0.80	11.4	1.23
STP-18	16.6	14.2	15.7	16.6	0.90	17.5	13.2	0.81	11.8	1.20
STP-19	16.0	14.5	16.0	15.7	0.91	17.8	12.5	0.82	12.2	1.18
STP-20	20.1	14.7	16.1	15.7	0.91	17.9	12.2	0.82	11.6	1.27
평 균	15.1	15.6	16.4	14.6	0.95	18.3	11.4	0.85	12.4	1.26

2) 노상의 지지력비 산정

가) CBR시험 결과

공 번	SIP-1	SIP-2	SIP-3	SIP-4	SIP-5	SIP-6	SIP-7	SIP-8	SIP-9	SIP-10
CBR(%)	11.4	20.4	20.2	24.9	21.7	22.9	25.6	17.3	19.5	23.3

공 번	SIP-11	SIP-12	SIP-13	SIP-14	SIP-15	SIP-16	SIP-17	SIP-18	SIP-19	SIP-20
CBR(%)	18.3	18.9	21.8	16.5	18.2	15.8	10.9	11.9	14.2	15.6

나) 설계 CBR 산정

$$\text{설계 } CBR = CBR\text{평균치} - \frac{CBR\text{최대치} - CBR\text{최소치}}{d_2}$$

여기서, d_2 는 통계학에 의한 계수로 다음과 같다.

< 설계 CBR 계산용 계수 >

개수(n)	2	3	4	5	6	7	8	9	10 이상
d_2	1.41	1.91	2.24	2.48	2.67	2.83	2.96	3.08	3.18

• 시험성과 중 극단적으로 크거나 작은 CBR값에 대하여는 아래 표와 같은 방법으로 각각 판정한다.

< 기각판정용 계수 >

갯수(N)	3	4	5	6	7	8	9	10 이상
r(n,0.05)	0.941	0.765	0.642	0.560	0.507	0.468	0.437	0.412

• 최대치 기각 $V = \frac{X_n - X_{n-1}}{X_n - X_1} < r, O.K$

• 최소치 기각 $V = \frac{X_2 - X_1}{X_n - X_1} < r, O.K$

X_n:최대성과치

X_{n-1}:2번째 최대성과치

X_1 : 최소성과치

X_2: 2번째 최소성과치

• 전구간 시험치 판정(평균 : 18.1) : 20개소

• 최대치판정 : (25.6 - 24.9) / (25.6 - 10.9) = 0.048 < 0.412 이므로 O.K

• 최소치판정 : (11.4 - 10.9) / (25.6 - 10.9) = 0.034 < 0.412 이므로 O.K

모든 시험치가 판정기준의 허용범위 내에 해당되므로 버리지 않고 이들 모두를 취하여 설계 CBR값을 구하면 다음과 같다.

$$\text{설계 } CBR = 18.1 - \frac{25.6 - 10.9}{3.18} = 13.5\%$$

제6장 설계지반정수

6.1 설계지반정수 일반사항

6.2 연속체 설계지반정수 산정

6.3 불연속체 설계지반정수 산정

6.4 수리 및 내진해석 설계지반정수 산정

6.5 설계지반정수 요약

제 6 장 설계지반정수

6.1 설계지반정수 일반사항

6.1.1 기본방향

가. 조사항목

- 각종 실내시험, 현장시험 및 암반분류 결과를 이용한 각종 경험식
- 문헌자료 및 설계사례

나. 분석항목

- 물성값 상관성 분석, 시험결과 및 경험식에 의한 지반물성값 분석
- 통계확률기법 적용 – MCS 분석, Bayesian 기법
- 방법별 산정결과 종합 분석

다. 적용기준

- 토사층(전답·매립층, 붕적층, 충적층, 풍화토) 및 풍화암층
  – 현장시험 위주, 문헌자료와 설계사례를 비교
- 암반 연속체해석 물성치
  – 실내, 현장시험, 경험식 등에 통계기법을 적용, 종합분석 후 적정 기준값 산정
- 암반 불연속체해석 물성값
  – 실내, 현장시험 및 경험식을 활용하여 적정 설계 물성값 도출

6.1.2 항목별 설계지반정수 산정방법

가. 토사층

: 현장시험 위주로 경험식, 설계사례 비교·검토하여 안전측으로 설계지반정수 산정
→ 시험시 시료의 교란등 고려

나. 풍화대

: 현장시험 위주로 문헌자료, 설계사례 비교·검토하여 안전측으로 설계지반정수 산정
→ 분산도가 큰 값은 제외

다. 기반암

: 기반암의 암질상태를 반영하는 현장시험과 경험식 적극 활용
→ 통계기법을 이용한 확률론적 설계지반정수 산정

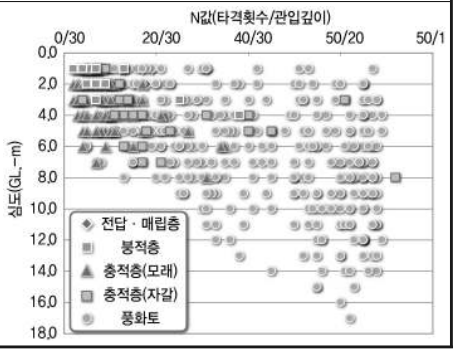
6.2 연속체 설계지반정수 산정

- 본 사업구간의 토사층은 전답·매립층, 붕적층, 충적층, 풍화토, 풍화암층으로 분류
- 표준관입시험에 의한 N값을 근거로 경험식 적용 및 문헌사례를 비교·검토
- 강도 및 변형특성을 파악할 수 있는 공내전단시험 및 공내재하시험을 실시

6.2.1 토사층의 설계지반정수 산정

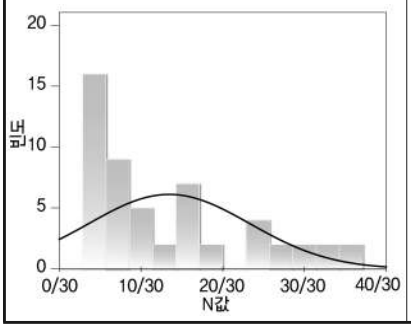
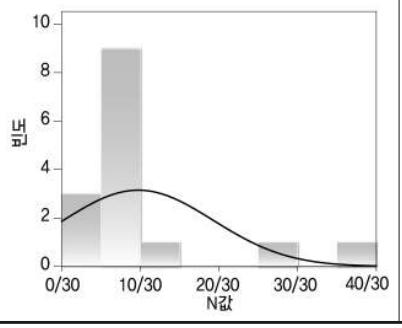
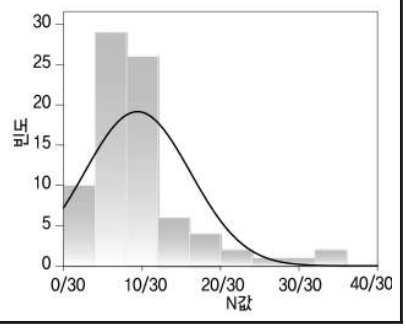
가. 대표 N값 산정

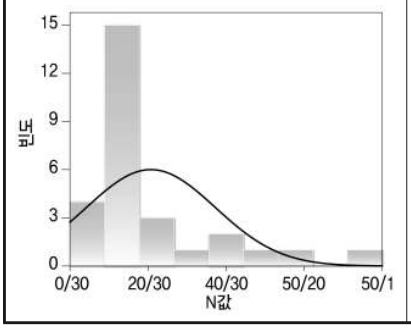
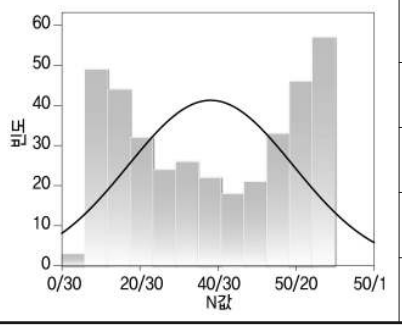
1) 지층별 N값 분포

지 층	통일분류	N값(타격횟수/관입량(cm))	지층별 N값 분포
전답·매립층	SM, SC, GP	3/30~37/30(평균 13/30)	
붕적층	SM, SC, SP	2/30~38/30(평균 10/30)	
충적층(모래)	SM, SP, SW	2/30~35/30(평균 9/30)	
충적층(자갈)	GP	4/30~50/8(평균 22/30)	
풍화토	SM, SC	3/30~50/11(평균 40/30)	

2) 대표 N값 산정

- 지층별 N값에 대한 통계분석을 수행하여 대표 N값을 산정하였다.

전답·매립층	붕적층	충적층(모래)
		

충적층(자갈)	풍화토
	

구 분	대표 N값
전답·매립층	13/30
붕적층	10/30
충적층(모래)	9/30
충적층(자갈)	22/30
풍화토	40/30

나. 토사층의 단위중량 및 강도정수(c, ϕ) 산정

1) 문헌자료 검토

• 도로설계편람(국토해양부, 2008)

종 류	재료의 상태	단위중량(kN/m^3)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	통일분류
자 갈	조밀한 것	20	0	35	GW, GP
	조밀하지 않은 것 또는 입도가 나쁜것	18	0	30	
모 래	조밀한 것	20	0	35	SW, SP
	조밀하지 않은 것 또는 입도가 나쁜것	18	0	30	
사 질 토	조밀한 것	19	30 이하	30	SM, SC
	조밀하지 않은 것	17	0	25	
점 성 토	단단한 것(N=8~15)	18	50	25	ML, CL
	약간 연한 것(N=4~8)	17	30	20	
	연한 것(N=2~4)	17	15	15	
점토 및 실트	단단한 것(N=8~15)	17	50	20	CH, MH, ML
	약간 연한 것(N=4~8)	16	30	15	
	연한 것(N=2~4)	14	15	10	

• 지반조사편람(서울특별시, 2006)

지 층	단위중량(kN/m^3)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)
풍화토	17~20	0.0~100	25~30

2) 경험식에 의한 강도정수 산정

점착력 산정식(kPa)		내부마찰각 산정식(°)	
ϕ=0, c=$\frac{q_u}{2}$		- Dunham	$\phi = \sqrt{12N}+20$
- Dunham	$q_u = \frac{N}{0.077}$	- Meyerhof	$\phi = 0.25N+32.5$
- Terzaghi-Peck	$q_u = \frac{N}{0.082}$	- Peck	$\phi = \sqrt{20N}+15$
- Ohsaki	$q_u = 40+\frac{N}{0.2}$	- Ohsaki	$\phi = 0.3N+27$
		- 도로교시방서	$\phi = \sqrt{15N}+15$

지 층	대표 N값	내부마찰각(°)	
		범 위	평 균
전답·매립층	13/30	29.0~35.8	31.8
붕적층	10/30	27.2~35.0	30.5
충적층(모래)	9/30	26.6~34.8	30.0
충적층(자갈)	22/30	33.2~38.0	35.4
풍화토	40/30	39.0~43.3	41.2

3) 기존 설계적용사례 검토

• 옥산-오창 고속도로 민자사업(제3자제안), 청주테크노폴리스 진입도로 건설공사 등 인접 지역에서 수행된 지반조사 자료를 검토하여 설계지반정수 산정시 참고자료로 활용하였다.

구 분	단위중량(kN/m^3)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)
전답·매립층	17.0~19.0	0~21	24.0~30.0
붕적층	17.0~19.0	0~10	25.0~30.0
충적층(모래)	17.0~19.0	0~15	24.0~30.0
충적층(자갈)	18.5~20.0	0~20	30.0~36.0
풍화토	19.0~20.0	15~22	25.0~31.0

4) 현장 및 실내시험 결과

구 분	현장시험			실내시험	
	단위중량(kN/m^3)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)
붕적층	15.6	-	-	17.6	28.2
풍화토	16.2~19.1	20.1~ 24.3	27.9~ 31.6	9.1 ~18.9	27.1~36.7

5) 단위중량(γ_t), 점착력(c), 내부마찰각(ϕ) 산정결과

• 풍화토의 단위중량은 설계사례의 하한값, 점착력 및 내부마찰각은 현장시험 결과 값의 평균값을 적용하였고 풍화토를 제외한 각 지층의 단위중량 및 내부마찰각은 설계사례의 중간값을 적용하였으며, 점착력은 설계사례의 하한값을 적용

구 분		문헌자료	기존설계사례	경험식	현장 및 실내시험	설계적용
전답·매립층	단위중량(kN/㎥)	17.0~19.0	17.0~19.0	-	-	18.0
	점착력(kPa)	30 이하	0~21	-	-	0.0
	내부마찰각(°)	25.0~30.0	24.0~30.0	29.0~35.8	-	29.0
붕적층	단위중량(kN/㎥)	17.0~19.0	17.0~19.0	-	15.6	17.0
	점착력(kPa)	30 이하	0~10	-	17.6	0.0
	내부마찰각(°)	25.0~30.0	25.0~30.0	27.2~35.0	28.2	27.0
충적층(모래)	단위중량(kN/㎥)	17.0~20.0	17.0~19.0	-	-	18.0
	점착력(kPa)	30 이하	0~15	-	-	0.0
	내부마찰각(°)	25.0~35.0	24.0~30.0	26.6~348	-	29.0
충적층(자갈)	단위중량(kN/㎥)	18.0~20.0	18.5~20.0	-	-	19.0
	점착력(kPa)	0	0~20	-	-	0.0
	내부마찰각(°)	30.0~35.0	30.0~36.0	33.2~38.0	-	33.0
풍화토	단위중량(kN/㎥)	17.0~20.0	19.0~20.0	-	16.2~19.1	19.0
	점착력(kPa)	0.0~100	15~22	-	9.1 ~24.3	23.0
	내부마찰각(°)	25.0~30.0	25.0~31.0	39.0~43.3	27.1~36.7	30.0

다. 변형계수(E) 및 포아송비(ν) 산정

1) 문헌자료 검토

• Joseph E. Bowles(1996) 및 Hunt의 제안(Geotechnical Engineering Analysis & Evaluation)

구 분	Braja, M. Das		Joseph E. Bowels (1996)	
	변형계수(MPa)	포아송비(ν)	변형계수(MPa)	포아송비(ν)
느슨한 모래	10~24	0.20~0.40	10~25	0.20~0.35
보통굳기 모래	17~28	0.25~0.40	–	–
조밀한 모래	35~55	0.30~0.45	50~81	0.30~0.40
실트질 모래	10~17	0.20~0.40	5~20	–
느슨한 모래섞인 자갈	70~170	0.15~0.35	50~150	0.30~0.40
조밀한 모래섞인 자갈			100~200	

• Hunt의 제안(Geotechnical Engineering Analysis & Evaluation, p134)

구 분	점 토			모 래			자 갈		
	연약	중간연약	견고	느슨	중간조밀	조밀	느슨	중간조밀	조밀
변형계수(MPa)	2~4	4~8	8~20	10~30	30~50	50~80	30~80	80~100	100~120
포아송비(ν)	0.40~0.50			0.20~0.35			0.30~0.40		

• 구조물 기초 설계기준(건설교통부)

흙의 종류	느슨한 모래	중간조밀한 모래	조밀한 모래	실트질 모래	모래 및 자갈
변형계수(MPa)	10.0~24.0	17.0~28.0	35.0~55.0	10.0~17.0	69.0~172.0

• 지반조사편람(서울특별시, 2006)

지 층	변형계수(MPa)	포아송비(ν)
풍화토	100.0~200.0	0.30~0.35

2) 기존 설계적용사례 검토

구 분	변형계수(MPa)	포아송비(ν)
전답·매립층	12.0~25.0	0.30~0.35
붕적층	10.0~30.0	0.30~0.38
충적층(모래)	10.0~40.0	0.30~0.38
충적층(자갈)	30.0~50.0	0.30~0.35
풍화토	20.0~80.0	0.30~0.35

3) 경험식에 의한 변형계수 산정

구 분	경험식(MPa)	비 고	구 분	경험식(MPa)	비 고
Bowels (1988)	E = 0.5(N+15)	SP	Schmert mann (1978)	E = 0.4N	ML, SM
	E = 0.32(N+15)	SC		E = 0.7N	SP
	E = 0.3(N+6)	SM		E = 0.1N	SP, GP
	E = 1.2(N+6)	GP		E = 1.2N~1.5N	SP, GW
Hisatake	E = 0.5N+7	-	도로교시방서	E=2.8N	-

구 분	변형계수(MPa)				범 위 (MPa)
	Schmertmann	Hisatake	도로교시방서	Bowels	
전답·매립층	9.1	13.5	36.4	5.7~9.0	5.7~36.4
붕적층	7.0	12.0	28.0	4.8~8.0	4.8~28.0
충적층(모래)	6.3	11.5	25.2	4.5~7.7	4.5~25.2
충적층(자갈)	33.0	18.0	61.6	33.6	18.0~61.6
풍화토	40.0	27.0	112.0	13.8	13.8~112.0

4) 변형계수(E) 및 포아송비(ν) 산정결과

• 풍화토의 변형계수 및 포아송비는 설계사례의 중간값을 적용하였으며, 풍화토를 제외한 각 지층의 변형계수는 설계사례의 하한값을 적용하였고, 포아송비는 전답·매립층은 설계사례의 상한값을 붕적층 및 충적층(모래, 자갈)은 설계사례의 중간값 적용

구 분		문헌자료	기존설계사례	경험식	설계적용
전답·매립층	변형계수(MPa)	5.0~25.0	12.0~25.0	5.7~36.4	12.0
	포아송비(ν)	0.20~0.40	0.30~0.35	-	0.35
붕적층	변형계수(MPa)	5.0~25.0	10.0~30.0	4.8~28.0	10.0
	포아송비(ν)	0.20~0.40	0.30~0.38	-	0.35
충적층(모래)	변형계수(MPa)	5.0~25.0	10.0~40.0	4.5~25.2	12.0
	포아송비(ν)	0.20~0.40	0.30~0.38	-	0.35
충적층(자갈)	변형계수(MPa)	69.0~172.0	30.0~50.0	18.0~61.6	30.0
	포아송비(ν)	0.15~0.40	0.30~0.35	-	0.33
풍화토	변형계수(MPa)	100.0~200.0	20.0~80.0	13.8~112.0	45.0
	포아송비(ν)	0.30~0.35	0.30~0.35	-	0.32

6.2.2 풍화암층의 설계지반정수 산정

가. 문헌자료 검토

1) 도로설계실무편람(한국도로공사, 2008)

암석종류(강도)	암반파쇄상태(NX시추)		전단강도	
	TCR(%)	RQD(%)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)
풍화암 또는 연·경암으로 파쇄가 심한 경우	20% 이하	10% 이하	100	30.0

2) 지반조사편람(서울시, 2006)

지 층	단위중량(kN/m^3)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)	포아송비
풍화암	20.0~22.0	100.0~300.0	30.0~35.0	100.0~200.0	0.30~0.40

3) 관련문헌(한국지반공학회 학술발표회 자료)

구 분		단위중량(kN/m^3)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	비 고
사면안정 학술발표회	1996	21.0	30.0	35.0	-
	2001	20.0	30.0	35.0	-
	2003	19.5	20.0	36.0	사암, 셰일 등
		20.0	10.0	30.0	편암
학술발표회	2003	21.0	30.0	35.0	편마암
범 위		19.5~21.0	10.0~30.0	30.0~36.0	-

나. 기존 설계적용사례 검토

지 층	단위중량(kN/m^3)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)	포아송비
풍화암	20~22	100.0~300.0	30.0~35.0	100.0~200.0	0.30~0.40

다. 현장시험 결과

구 분	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	변형계수(MPa)
풍화암	30.1~30.7	35.1~36.3	252.5~473.9

라. 풍화암의 설계지반정수 산정결과

• 풍화암의 점착력 및 내부마찰각은 현장시험 결과값의 하한값을 적용하였으며, 단위중량 및 포아송비는 설계사례의 하한값, 변형계수는 문헌자료와 설계사례의 상한값 적용

구 분	문헌자료	기존설계사례	현장시험	설계적용
단위중량(kN/m^3)	20.0~21.0	20.0~22.0	-	20.0
점착력(kPa)	30~300	100.0~300.0	30.1~30.7	30.0
내부마찰각(°)	30.0~35.0	30.0~35.0	35.1~36.3	35.0
변형계수(MPa)	100.0~200.0	100.0~200.0	252.5~473.9	200.0
포아송비	0.30~0.40	0.30~0.40	-	0.30

6.2.3 쌓기재 설계지반정수 산정

가. 문헌자료 검토

1) 쌓기토사의 강도정수 기준(도로설계기준, 한국도로공사)

종 류	재료의 상태		단위중량 (kN/m^3)	점착력 (kPa)	내부마찰각 (°)	비 고
GW, GP	다진 것		20.0	0.0	40.0	자갈 및 모래섞인 자갈
SW, SP	다진 것	입도가 좋은 것	20.0	0.0	35.0	모래
		입도가 나쁜 것				
SM. SC	다진 것		19.0	0.0	30.0	-
ML, CL, MH, CH	다진 것		19.0	30 이하	25.0	사질토

2) 암버력 쌓기재 특성

구 분	단위중량(kN/m^3)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)
Design of Small Dam	23.0	0.0	45.0
구조물기초 설계기준	20.0	0.0	35.0

나. 기존 설계적용사례 검토

토사 쌓기재			암버력 쌓기재		
단위중량(kN/m^3)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)	단위중량(kN/m^3)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)
18.5~19.0	10~20	15~34	20.0~21.0	0.0	35~40

다. 현장시험 결과(다짐 및 실내 CBR 시험)

구 분	통일분류	단위중량(kN/m^3)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)
쌓기재	SM, SC, SW-SM	15.6~19.1	9.1~18.9	27.1~36.7

라. 쌓기재의 설계지반정수 산정

- 토사재의 설계지반정수는 점착력과 내부마찰각은 현장시험 결과값의 평균값, 단위중량은 설계사례의 하한값을 적용하였으며, 암버력의 설계지반정수는 단위중량 및 점착력은 설계사례의 하한값을 내부마찰각은 중간값 적용

구 분		문헌자료	기존설계사례	현장시험	설계적용
토사재 설계정수 산정	단위중량(kN/m^3)	19.0~20.0	18.5~19.0	15.6~19.1	19.0
	점착력(kPa)	0.0	10~20	9.1~18.9	15.0
	내부마찰각(°)	30.0~35.0	15.0~34.0	27.1~36.7	30.0
암버력 설계정수 산정	단위중량(kN/m^3)	20.0~23.0	20.0~21.0	-	20.0
	점착력(kPa)	0.0	0.0	-	0.0
	내부마찰각(°)	35.0~45.0	35.0~45.0	-	37.0

6.2.4 기반암 설계지반정수 산정

가. 기반암 설계지반정수 산정 개요

• 사업구간 시추조사 결과 편마암과 화강암이 주를 이루고 있음을 확인하였다. 경험식, 기존설계사례 각종 현장 및 실내시험결과 등을 비교·분석하고 시험결과의 불확실성을 고려하여, 설계지반정수 산정의 신뢰성 향상을 위해 통계기법인 Monte Carlo Simulation 및 Bayesian Approch 기법을 적용하였다.

1) 산정흐름

기반암 지반정수	제1단계 : 초기추정값 산정	제2단계 : 최대우도값 산정	제3단계 : 신뢰성 분석
강도정수 (점착력, 내부마찰각)	• 문헌자료 및 인근 설계사례 검토 • 암반분류 결과의 경험식에 의한 초기값 산정	• Monte-Carlo Simulation • GSI, m_i, σ_{ci} 입력	• Bayesian Approach 기법을 통한 초기추정값 및 최대우도값의 신뢰성 검증으로 적용 최후도값 산정 • 신뢰범위 제한을 통한 산정결과 신뢰성 확보
변형계수		• 경험식 분석 • 공내재하시험 결과	

2) 시추코어의 RMR값 활용한 경험식에 의한 변형계수 및 강도정수 분석

산정경험식	① 변형계수(E_m) • Bieniawski(1978) : E_m=2RMR−100(GPa)(단, RMR>50) • Serafim & Pereira(1983) : $E_m=10^{(RMR-10)/40}$(GPa)(단, RMR≤50) • 김교원(1993) : E_m=30EXP(0.07RMR*)(MPa) (RMR*는 총 RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정제외 값) • Aydan(1997) : $E_m=0.0097RMR^{3.54}$(MPa) ② 점착력(c, MPa) 및 내부마찰각(ϕ,°) • Bieniawski(1989) : $c=-0.051+0.008RMR-3.346\times10^{-5}\ RMR^2$, $\phi=-0.086+0.7891\ RMR-0.0031\ RMR^2$ • Trueman(1988) : c=0.25EXP(0.05RMR), ϕ=0.5RMR+5 • 김교원(1993) : c=0.02EXP(0.08RMR*), ϕ=0.25(RMR*)+27.5

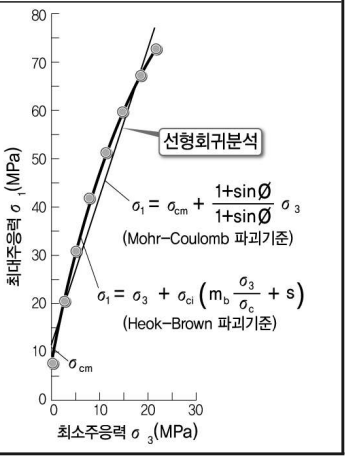
3) 적용이론 및 기법

가) Hoek-Brown식에 의한 설계지반정수 추정방법

• 신뢰성 높은 설계지반정수를 산정하기 위해 Hoek & Brown(2002)이 제안한 파괴기준에 Monte-Carlo 확률론적 분석기법을 도입하여 암반의 변형계수 및 점착력, 내부마찰각에 대한 설계지반정수 산출하였다.

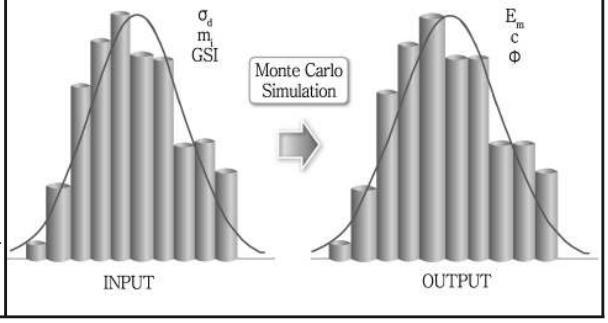
나) Hoek-Brown 파괴기준(2002)

Hoek-Brown Criterion	Mohr-Coulomb Criterion
$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_{ci}\left(m_b\frac{\sigma_3'}{\sigma_{ci}} + s\right)^a$ $m_b = m_i \exp\left(\frac{GSI-100}{28-14D}\right)$, $s = \exp\left(\frac{GSI-100}{9-3D}\right)$ $a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6}\left(e^{-GSI/15} - e^{-20/3}\right)$ 여기서, m_b : GSI와 무결암계수 mi로 환산된 암반계수 D : Disturbance Factor s, a : GSI로부터 암반특성 계수 계산	$\sigma_1' = \sigma_{cm} + k\sigma_3'$ $\sigma_{cm} = \frac{2c\cos\phi}{1-\sin\phi}$ $k = \frac{1+\sin\phi}{1-\sin\phi}$ $\sin\phi' = \frac{k-1}{k+1}$ $c = \frac{\sigma_{cm}}{2\sqrt{k}}$



4) Monte-Carlo Simulation에 의한 설계지반정수 산정

- 연속체 해석용 설계지반정수 산정시 추정 및 보정된 지반정수들 중 해석을 위한 대표값 기준 및 신뢰구간을 선정하였다.
- Hoek-Brown 파괴기준에서 Input(GSI, m_i, σ_{ci}) 자료의 분포특성과 통계량(평균, 표준편차)을 분석하여, 표준편차의 범주에서 1,000개의 난수를 발생하였다.
- Output(ϕ, c, E_m)의 분포특성을 파악하고 평균±표준편차의 형태로 산출하였다.

입력자료의 선정	Monte Carlo Simulation(MCS) 개념도
• GSI : 암질상태에 따라 도표나 시추코아로부터 지질 강도지수의 통계량분석(평균, 표준편차) • m_i : 삼축압축강도로부터 Hoek 상수 mi의 통계량 분석(평균, 표준편차) • σ_{ci} : 실내암석시험 결과로 부터 회귀된 일축압축강도를 이용하여 암질상태에 따라 통계량 분석(평균, 표준편차)	

5) Bayesian 이론에 의한 설계정수 보정

- Bayesian Approach는 고전적인 통계기법과는 달리 모집단의 모수도 일종의 변수로 간주되고 이러한 방법을 통해 설계자의 직관, 경험, 기존 조사결과 등을 구조적으로 고려하였다.
- 초기추정값(Prior, 경험식 등)의 평균(μ'), 표준편차(σ')로부터 최대우도값(Likelihood, 현장시험값)의 평균(μ), 표준편차(σ)를 Bayesian 이론에 의해 Updating한 평균(μ''), 표준편차(σ'')는 다음과 같다.

$$\mu'' = \frac{\mu^*(\sigma')^2 + \mu'^*(\sigma^2)/n}{(\sigma')^2 + (\sigma^2)/n},\ \sigma'' = \sqrt{\frac{(\sigma')^2 \times (\sigma)^2/n}{(\sigma')^2 + (\sigma)^2/n}}$$

나. 대표 RMR 산정

구 분		편마암		화강암	
		연 암	경 암	연 암	경 암
RMR	범 위	22~59	58~73	21~60	65~78
	평 균	40	66	47	72
	표준편차	7	4	9	7
	적 용	40	66	47	72

다. 단위중량 및 포아송비 산정

1) 문헌자료 검토

• 서울시 지반조사편람

구 분	연 암	보통암	경 암
단위중량(kN/m^3)	23.0~25.0	24.0~26.0	25.0~27.0
포아송비	0.25~0.30	0.25	0.20

2) 기존 설계적용사례 검토

구 분	편마암		화강암	
	연 암	경 암	연 암	경 암
단위중량(kN/m^3)	23.0~24.0	25.0~27.0	22.0~24.0	25.0~27.0
포아송비	0.25~0.27	0.20~0.25	0.25~0.28	00.22~0.25

3) 경험식에 의한 포아송비 검토

• Tsuchiya(1984)

$\nu = 0.3-(Y-1.28)/95$ 여기서, $Y = (\log E-2.25)/0.35$, E : 변형계수(MPa)

• 김교원(1993)

$\nu = -0.17\times\ln(RMR^*)+0.9$ 여기서, RMR*:Basic RMR에서 지하수위에 따른 보정점수를 제외한 값

구 분	편마암		화강암	
	연 암	경 암	연 암	경 암
포아송비	0.24~0.44	0.20~0.24	0.23~0.42	0.20~0.22

4) 실내시험 결과

구 분	편마암		화강암	
	연 암	경 암	연 암	경 암
단위중량(kN/m^3)	25.9~28.6	24.4~27.0	26.0~26.8	26.2~26.9
포아송비	0.18~0.34	0.27~0.28	0.17~0.33	0.26~0.28

5) 단위중량 및 포아송비 산정 결과

• 편마암 및 화강암의 단위중량은 설계사례의 상한값을 적용하였으며, 포아송비는 문헌자료와 기존설계사례의 평균값 적용

구 분			문헌자료	기존설계사례	경험식	실내시험	설계적용
단위중량 (kN/m^3)	편마암	연암	23.0~25.0	23.0~24.0	-	25.9~28.6	24.0
		경암	25.0~27.0	25.0~27.0	-	24.4~27.0	27.0
	화강암	연암	23.0~25.0	22.0~24.0	-	26.0~26.8	24.0
		경암	25.0~27.0	25.0~27.0	-	26.2~26.9	27.0
포아송비	편마암	연암	0.25~0.30	0.25~0.27	0.24~0.44	0.18~0.34	0.27
		경암	0.20	0.20~0.25	0.20~0.24	0.27~0.28	0.24
	화강암	연암	0.25~0.30	0.25~0.28	0.23~0.42	0.17~0.33	0.27
		경암	0.20	0.22~0.25	020~0.22	0.26~0.28	0.24

라. 강도정수 및 변형계수 산정

1) 초기추정값(Prior) 산정

가) 기존 설계적용사례 검토

구 분	편마암		화강암	
	연 암	경 암	연 암	경 암
변형계수(MPa)	1,500~3,000	5,000~15,000	1,500~3,000	8,000~18,000
점착력(kPa)	100~400	150~400	100~400	150~1,200
내부마찰각(°)	33~35	40~44	32~36	4 0~41

나) 경험식에 의한 변형계수(MPa) 산정

구 분	편마암		화강암	
	연 암	경 암	연 암	경 암
Bieniawski	-	32,235±7,902	-	37,000±9,899
Serafim & Pereira	6,097±2,391	-	8,893±3,588	-
김교원	1,826±762	10,787±2,214	2,295±1,011	18,555±6,503
Aydan	5,246±3,107	27,362±5,628	9,045±4,459	36,742±11,510

다) 경험식에 의한 강도정수 산정

- 점착력(kPa)

구 분	편마암		화강암	
	연 암	경 암	연 암	경 암
Bieniawski	215±35	331±14	248±46	350±21
Trueman	1,981±701	6,942±1,336	2,815±998	9,316±2,955
김교원	265±159	1,864±566	395±174	2,240±765

- 내부마찰각(°)

구 분	편마암		화강암	
	연 암	경 암	연 암	경 암
Bieniawski	26.5±3.6	38.5±1.5	29.9±4.6	40.5±23
Trueman	25.1±3.4	38.1±2.0	28.5±4.3	40.8±3.3
김교원	35.1±1.7	41.5±1.0	37.0±3.2	42.1±1.2

라) 초기추정값(Prior) 산정 결과(김교원식 채택)

구 분		편마암		화강암	
		연 암	경 암	연 암	경 암
변형계수 (MPa)	평 균	1,826	10,787	2,295	18,555
	표준편차	762	2,214	1,011	6,503
점착력 (kPa)	평 균	265	1,864	395	2,240
	표준편차	159	566	174	765
내부마찰각 (°)	평 균	35.1	41.5	37.0	42.1
	표준편차	1.7	1.0	3.2	1.2

2) 최대우도값(Likelihood) 산정

가) 현장시험값에 의한 변형계수 산정

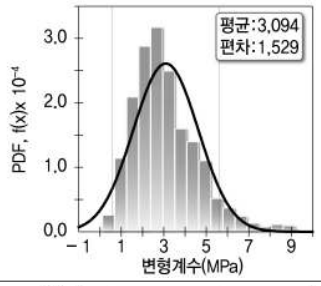
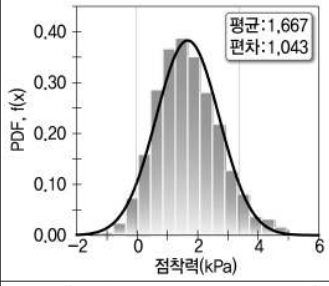
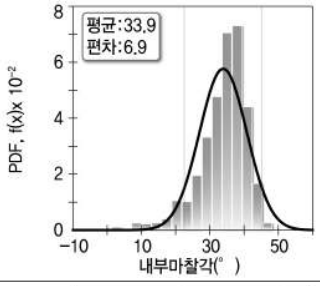
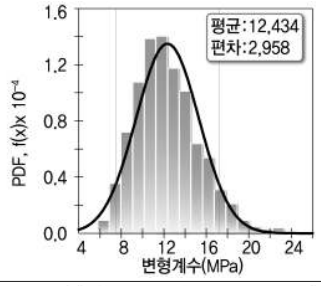
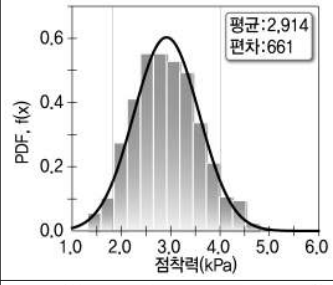
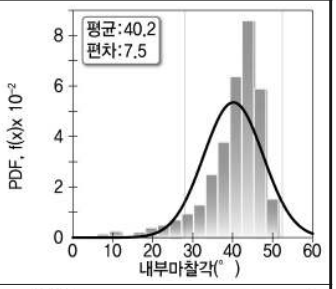
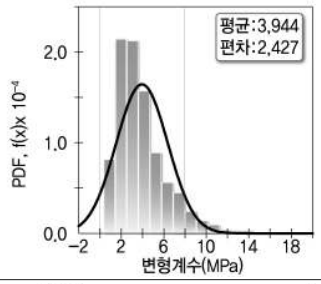
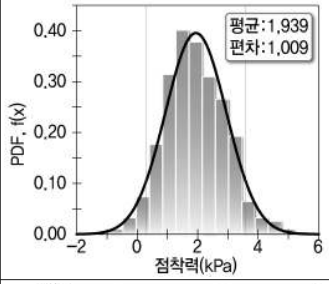
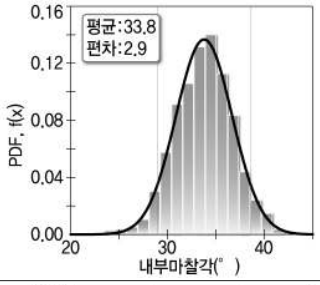
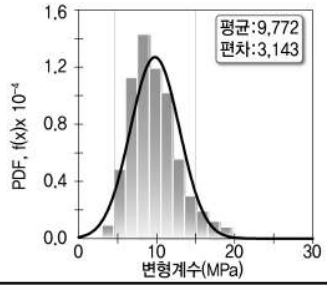
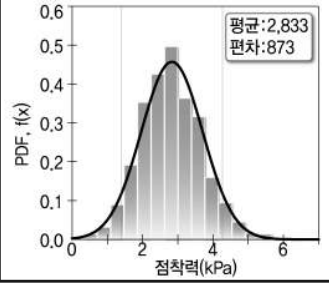
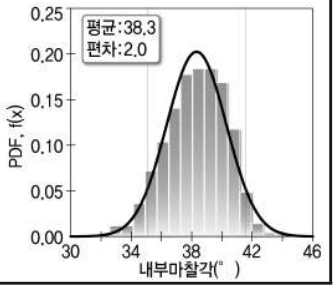
구 분		편마암		화강암	
		연 암	경 암	연 암	경 암
변형계수 (MPa)	평 균	2,602	15,374	2,839	9,869
	표준편차	799	4,436	1,021	-

나) MCS 입력자료

구 분		편마암		화강암	
		연 암	경 암	연 암	경 암
σ_{ci} (MPa)	평 균	39.7	47.8	53.9	61.6
	표준편차	20.5	7.7	24.0	22.1
m_i (암반계수)	평 균	26.2		21.3	
	표준편차	14.6		3.2	
GSI	평 균	40.3	66.1	47.3	70.0
	표준편차	6.6	4.0	7.6	4.4

• σ_{ci}는 일축압축강도, 점하중강도 시험결과의 평균값을 적용하였으며, 무결암에 대한 보정 및 기반암의 풍화민감 정도를 고려하여 평균값의 10%를 저감하여 적용

다) MCS 산정결과

구 분		변형계수(MPa)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)
편마암	연 암			
	경 암			
화강암	연 암			
	경 암			

라) 최대우도값(Likelihood) 산정 결과

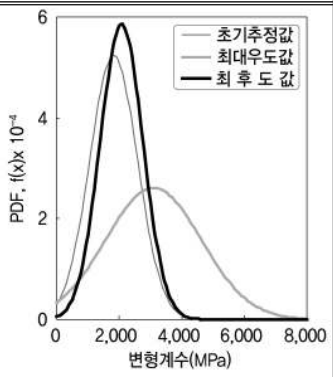
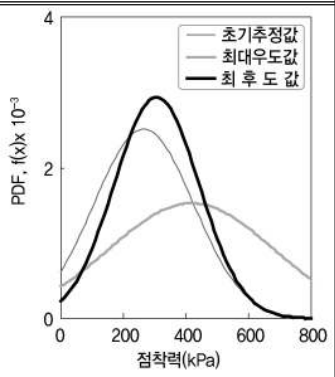
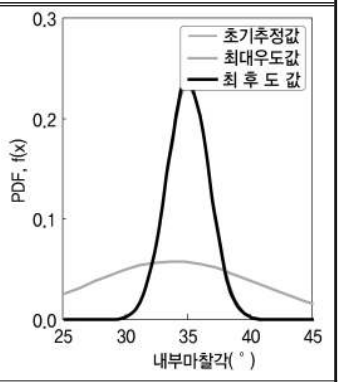
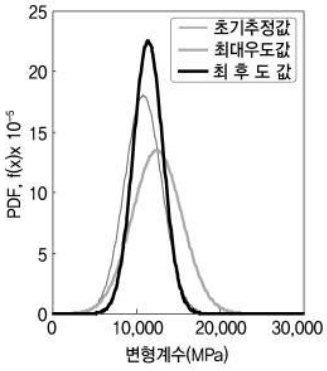
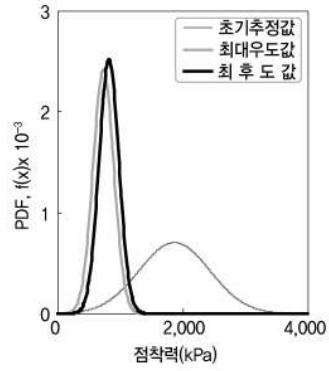
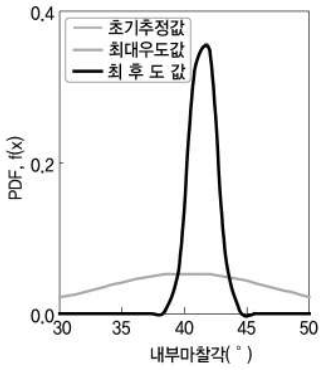
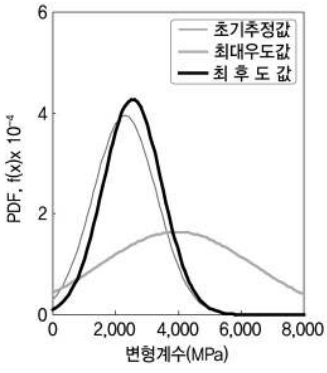
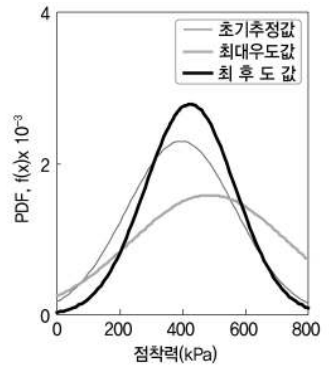
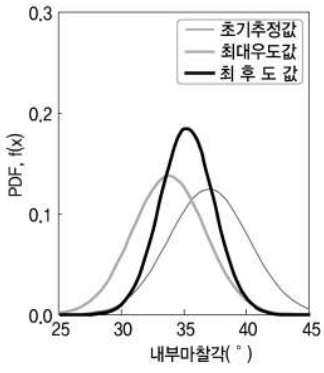
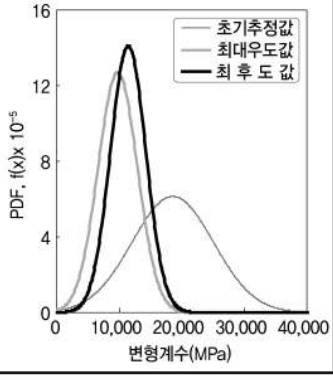
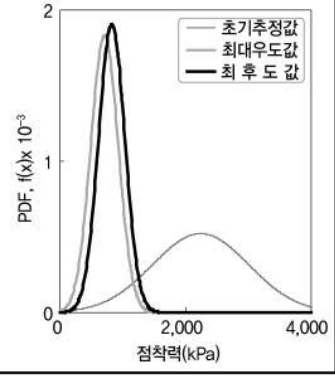
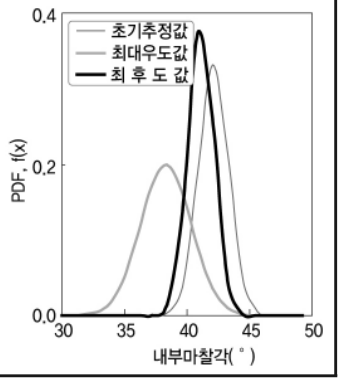
구 분		편마암		화강암	
		연 암	경 암	연 암	경 암
변형계수 (MPa)	평 균	3,094	12,434	3,944	9,772
	표준편차	1,529	2,958	2,427	3,143
점착력 (kPa)	평 균	1,667	2,914	1,939	2,833
	표준편차	1,043	661	1,009	873
내부마찰각 (°)	평 균	33.9	40.2	33.8	38.3
	표준편차	6.9	7.5	2.9	2.0

• 불연속면 및 지하수 상태는 실질적인 강도특성과 무관하여 연·경암 점착력의 MCS결과 산정시 75% 감소하여 적용

3) Bayesian Approach 통계분석에 의한 최후도값(Posterior) 산정

• MCS 결과로부터 추출된 초기추정값(Prior)과 최대우도값(Likelihood)을 선별하여 재추출한 평균과 표준편차를 대표값으로 선정, Bayesian 이론에 적용하여 최종 설계지반정수를 결정하였다.

가) Bayesian Approach 산정 결과

구 분		변형계수(MPa)	점착력(kPa)	내부마찰각(°)
편마암	연 암			
	경 암			
화강암	연 암			
	경 암			

나) 최후도값(Posterior) 산정 결과

구 분		편마암		화강암	
		연 암	경 암	연 암	경 암
변형계수 (MPa)	평 균	2,078	11,378	2,538	11,435
	표준편차	682	1,772	933	2,829
점착력 (kPa)	평 균	306	818	424	823
	표준편차	136	158	143	210
내부마찰각 (°)	평 균	35.0	41.5	35.2	41.1
	표준편차	1.7	1.0	2.1	1.0

4) 변형계수 및 강도정수 산정 결과

• 변형계수와 강도정수는 Bayesian Approach결과의 95% 신뢰구간 평균값 적용

구 분			기존설계사례	Bayesian 결과 (95% 신뢰구간 평균값)	설계적용
변형계수 (MPa)	편마암	연암	1,500~3,000	2,078	2,000
		경암	5,000~15,000	11,378	11,000
	화강암	연암	1,500~3,000	2,538	2,500
		경암	8,000~18,000	11,435	11,000
점착력 (kPa)	편마암	연암	100.0~400.0	306.1	300.0
		경암	150.0~400.0	817.9	800.0
	화강암	연암	100.0~400.0	424.1	400.0
		경암	150~1,200	823.1	800.0
내부마찰각 (°)	편마암	연암	33.0~35.0	35.0	35.0
		경암	40.0~44.0	41.5	41.0
	화강암	연암	32.0~36.0	35.2	35.0
		경암	40.0~41.0	41.1	41.0

5) 기반암 설계지반정수 산정 결과

• 현장조건에 부합되는 경험식을 초기추정값으로 산정하였으며, 인근 설계자료 및 MCS결과, 현장시험 결과에 의해 추출된 강도정수 및 변형계수에 대해 안전을 고려한 최적의 설계지반정수를 산정

구 분		단위중량 (kN/m^3)	포아송비	점착력 (kPa)	내부마찰각 (°)	변형계수 (MPa)
연암	편마암	24.0	0.27	300.0	35.0	2,000
	화강암	24.0	0.27	400.0	35.0	2,500
경암	편마암	27.0	0.24	800.0	41.0	11,000
	화강암	27.0	0.24	800.0	41.0	11,000

6.3 불연속체 설계지반정수 산정

6.3.1 불연속체 설계지반정수 산정 방향

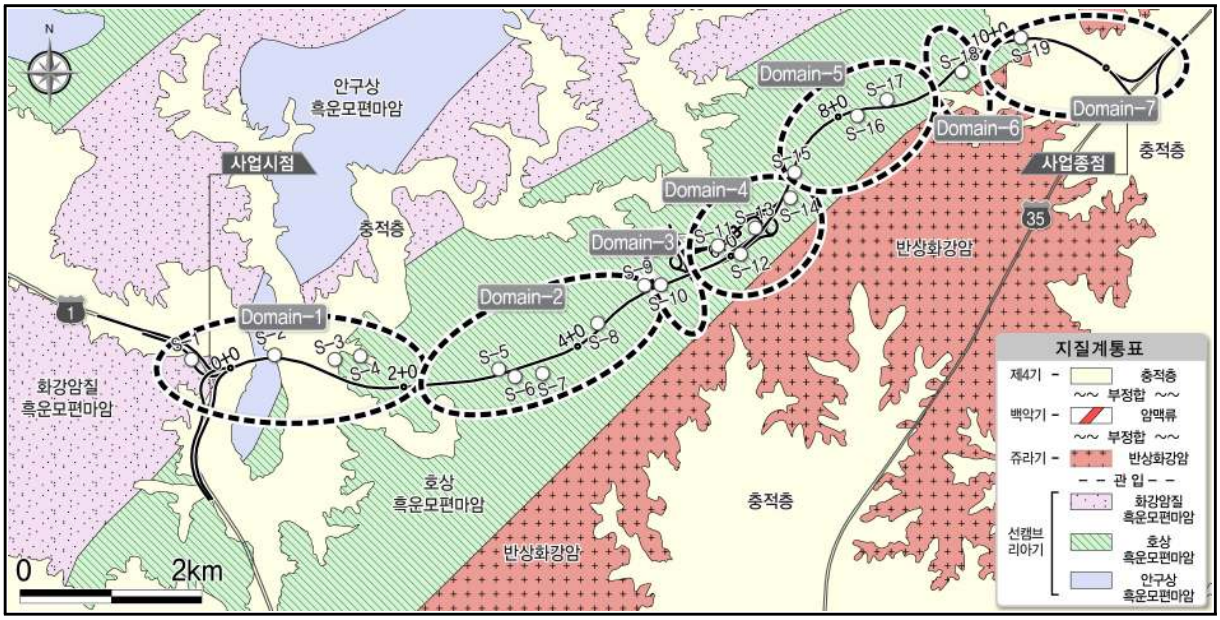
• 암반비탈면은 주로 불연속면을 따라 거동하게 되는데 이러한 불연속면의 전단강도는 암반의 전단강도와는 달리 대상 비탈면의 불연속면 형상, 거칠기(Roughness), 충전물(Filling material), 연장성(Persistency) 등에 의해 좌우된다.

• 불연속체 설계지반정수는 시추코어에 의한 암석시험, 지표지질조사, Barton의 제안식 및 기존문헌 자료 등을 비교·검토하여 암반 절리면에 대한 강도정수를 산정하였다.

6.3.2 불연속체 설계지반정수 산정

가. 암반비탈면 불연속면 분포특성

• 사업구간의 암반비탈면은 편마암이 분포하며, 방향성에 대한 동질성 분석을 통해 구조구를 구분하여 불연속체해석에 활용하였다.



구 분		경사/경사방향	간격(m)	연장(m)	JRC	JCS(MPa)
Domain-1	SET 1	75/208	0.35±0.24	2.95±1.50	7.58±1.43	32.79±25.11
	SET 2	15/271	1.20±0.25	1.50±0.50	6.83±0.90	6.83±0.90
	SET 3	60/309	0.85±0.35	1.67±0.47	7.00±0.81	7.00±0.81
Domain-2	SET 1	89/138	0.57±0.52	2.76±1.43	7.38±1.88	66.10±27.40
	SET 2	61/042	0.29±0.09	1.14±0.53	8.17±1.28	38.67±4.35
Domain-3	SET 1	58/020	0.41±0.09	1.63±0.46	7.00±0.91	172.83±18.51
	SET 2	45/150	0.23±0.05	2.56±0.46	9.13±0.78	201.50±35.72

구 분		경사/경사방향	간격(m)	연장(m)	JRC	JCS(MPa)
Domain-4	SET 1	80/264	0.32±0.14	2.48±1.22	9.05±0.84	31.29±14.07
	SET 2	88/356	0.55±0.29	1.78±1.28	9.05±0.88	17.64±12.77
	SET 3	34/262	0.50±2.00	2.70±1.27	7.10±0.83	8.60±1.11
Domain-5	SET 1	89/191	0.45±0.31	1.48±0.66	8.91±0.85	9.35±0.35
	SET 2	82/075	0.54±0.35	0.77±0.20	9.00±0.89	7.90±158
	SET 3	23/095	0.70±0.25	0.77±0.21	9.00±0.82	9.67±0.47
Domain-6	SET 1	84/137	0.38±0.14	0.82±0.18	7.00±0.82	5.44±0.50
	SET 2	84/234	0.33±0.12	0.36±0.12	6.86±0.63	5.43±0.50
	SET 3	38/261	0.55±0.21	0.36±0.10	7.20±0.75	5.60±0.50
Domain-7	SET 1	60/036	0.32±0.13	3.22±1.45	9.06±0.85	118.06±16.81
	SET 2	76/121	0.80±0.24	3.27±1.35	9.18±0.83	60.73±2.38

나. 문헌자료 검토

1) Rock Slope Engineering(E. Hoek & J. W. Bray)

암 석 명			내부마찰각(°)	점착력(MPa)	비 고
점착력이 없는 물질	발파/파쇄 암석	현무암	40.0~50.0	–	–
		백 악	30.0~40.0		
		화강암	45.0~50.0		
		석회암	35.0~40.0		
		사 암	35.0~45.0		
		셰 일	30.0~35.0		
점착력이 있는 물질	암석	견고한 화성암	35.0~45.0	35.7~56.1	(화강암, 현무암, 반암)
		변성암	30.0~40.0	20.4~40.8	(규암, 편마암, 점판암)
		견고한 퇴적암	35.0~45.0	10.2~30.6	(석회암, 백운석, 사암)
		연약한 퇴적암	25.0~35.0	1.0~20.4	(사암, 석탄, 셰일, 백악)

2) 여러 암석에 대한 기본마찰각(Barton, 1973)

암석명	기본마찰각(ϕ_b)	암석명	기본마찰각(ϕ_b)
각 섬 암	32	화강암 (조립질)	31~35
현 무 암	31~38	석 회 암	33~40
역 암	35	반 암	31
백 악	30	사 암	25~35
백 운 암	27~31	셰 일	27
편마암 (편암질)	23~29	미 사 암	27~31
화강암 (세립질)	29~35	점 판 암	25~30

다. Barton-Bandis 경험식에 의한 강도정수 산정

- JRC 및 JCS는 지표지질조사시 측정된 현장데이터값을 적용하였다.
- 기본마찰각은 문헌자료(Barton, 1973)를 참고하였으며, 편마암은(ϕ_b=24°)을 적용하였다.

1) Barton-Bandis 경험식

수직강성(K_n)	• $K_n = K_{ni}\,[1 - \frac{\sigma_n}{V_m K_{ni} + \sigma_n}]^{-2}$
전단강성(K_s)	• $K_s = \frac{100}{L}\sigma_n \tan[JRC \times \log_{10}(\frac{JCS}{\sigma_n}) + \phi_b]$
초기수직강성(K_{ni})	• $K_{ni} = -7.15 + 1.75JRC + 0.02(\frac{JCS}{a_j})$
초기절리간극(a_j)	• $a_j = \frac{JRC}{5}(0.2 \times \frac{\sigma_c}{JCS} - 0.1)$
최대닫힘변위(V_m)	• $V_m = -0.296 - 0.056JRC + 2.241(\frac{JCS}{a_j})^{-0.245}$

2) Barton 제안식에 의한 강도정수 산정결과

구 분		방향성	a_j (mm)	V_m (mm)	K_{ni} (MPa/mm)	K_n (MPa/mm)	K_s (MPa/mm)
Domain-1	SET 1	75/208	1.06	0.93	6.32	6.543	0.128
	SET 2	15/271	0.96	0.90	5.03	5.914	0.394
	SET 3	60/309	0.98	0.91	5.32	5.767	0.222
Domain-2	SET 1	89/138	1.03	0.89	6.00	6.018	0.011
	SET 2	61/042	1.14	0.91	7.36	7.787	0.236
Domain-3	SET 1	58/020	0.98	0.88	5.34	5.837	0.238
	SET 2	45/150	1.28	0.95	9.02	9.620	0.349
Domain-4	SET 1	80/264	1.27	0.92	8.89	9.089	0.133
	SET 2	88/356	0.87	0.73	9.09	9.143	0.034
	SET 3	34/262	1.55	1.14	5.39	6.180	0.438
Domain-5	SET 1	89/191	0.81	0.88	8.67	8.694	0.017
	SET 2	82/075	1.00	1.00	8.76	8.904	0.102
	SET 3	23/095	0.78	0.86	8.85	10.002	0.535
Domain-6	SET 1	84/137	2.01	1.42	5.15	5.232	0.065
	SET 2	84/234	1.97	1.41	4.91	4.989	0.065
	SET 3	38/261	2.00	1.41	5.51	6.118	0.404
Domain-7	SET 1	60/036	1.27	0.96	8.89	9.162	0.179
	SET 2	76/121	1.29	0.96	9.09	9.226	0.096

라. 절리면전단시험 결과

공 번	심 도 (GL.-m)	JRC	JCS (MPa)	내부마찰각(°)		점착력 (MPa)		강성(MPa/mm)		지층
				최대	잔류	최대	잔류	K_n	K_s	
SBB-12	13.6~13.8	10~12	45.0	35.8	33.7	0.005	0.002	9.1	1.21	연암
SBB-22	12.7~13.0	8~10	40.0	34.5	30.5	0.007	0.001	9.2	1.07	연암
SBB-30	19.2~19.4	4~6	32.0	33.1	32.0	0.061	0.027	10.4	0.57	연암
SBB-35	9.3~9.5	10~12	37.0	30.8	28.5	0.075	0.033	11.8	1.71	연암
SBB-37	8.7~9.0	8~10	103.0	42.1	39.9	0.038	0.006	10.7	1.02	연암
SBB-44	7.2~7.6	6~8	127.9	44.3	40.1	0.037	0.009	11.4	1.09	연암
SBB-54	6.80~7.10	4~6	146.2	39.6	38.1	0.037	0.007	12.8	1.17	경암
SBB-59	6.80~7.10	4~6	131.8	42.5	38.6	0.031	0.006	12.2	1.12	경암
SBB-62	8.8~9.1	4~6	109.0	41.2	36.9	0.028	0.004	11.5	1.07	연암
SBB-72	8.00~8.40	6~8	49.2	35.8	33.1	0.080	0.025	10.2	1.59	연암
SBB-73	16.5~16.7	2~4	23.2	37.0	32.4	0.054	0.012	12.5	1.80	연암
SBB-81	3.20~3.50	10~12	35.8	38.4	36.0	0.048	0.012	10.7	0.56	연암
SCB-17	36.0~36.3	8~10	116.7	42.9	41.1	0.042	0.005	11.5	1.09	연암
SCB-21	31.4~31.7	8~10	147.2	44.8	42.2	0.045	0.004	12.2	1.14	연암
SCB-23	10.4~10.7	6~8	109.5	42.0	38.9	0.031	0.005	11.0	1.02	연암

마.불연속체 해석을 위한 설계지반정수 산정결과

• 문헌자료에선 산정된 값과 불연속면을 대상으로 실시한 실내시험 값, Barton의 제안식에서 산정된 값을 종합 검토한 결과, 다음과 같이 불연속면 설계지반정수를 산정

구 분		방향성	점착력 (MPa)	내부마찰각 (°)	K_{ni} (MPa/mm)	K_n (MPa/mm)	K_s (MPa/mm)
Domain-1	SET 1	75/208	0.015	33.1	6.32	6.543	0.128
	SET 2	15/271	0.033	29.3	5.03	5.914	0.394
	SET 3	60/309	0.025	30.4	5.32	5.767	0.222
Domain-2	SET 1	89/138	0.001	41.8	6.00	6.018	0.011
	SET 2	61/042	0.030	32.0	7.36	7.787	0.236
Domain-3	SET 1	58/020	0.027	30.5	5.34	5.837	0.238
	SET 2	45/150	0.037	32.6	9.02	9.620	0.349
Domain-4	SET 1	80/264	0.018	35.9	8.89	9.089	0.133
	SET 2	88/356	0.005	43.4	9.09	9.143	0.034
	SET 3	34/262	0.030	29.3	5.39	6.180	0.438
Domain-5	SET 1	89/191	0.002	43.3	8.67	8.694	0.017
	SET 2	82/075	0.014	34.8	8.76	8.904	0.102
	SET 3	23/095	0.045	30.7	8.85	10.002	0.535
Domain-6	SET 1	84/137	0.007	32.2	5.15	5.232	0.065
	SET 2	84/234	0.007	32.0	4.91	4.989	0.065
	SET 3	38/261	0.029	28.2	5.51	6.118	0.404
Domain-7	SET 1	60/036	0.024	34.0	8.89	9.162	0.179
	SET 2	76/121	0.013	37.0	9.09	9.226	0.096

6.4 수리 및 내진해석 설계지반정수 산정

6.4.1 수리해석 설계지반정수 산정

가. 문헌자료 검토(구조물기초설계기준, 2009)

흙의 종류	투수계수(cm/s)	흙의 종류	투수계수(cm/s)	흙의 종류	투수계수(cm/s)
느슨한모래	3.0×10^{-1} ~5.0×10^{-1}	모래질실트	1.0×10^{-4} ~2.0×10^{-3}	실트질점토	1.0×10^{-7} ~1.0×10^{-6}
중간모래	1.0×10^{-1}	실트	1.0×10^{-5} ~1.0×10^{-4}	점토	1.0×10^{-8} ~1.0×10^{-7}
가는모래	5.0×10^{-3} ~1.5×10^{-2}	점토질실트	1.0×10^{-6} ~1.0×10^{-5}	콜로이드성 점토	1.0×10^{-9} ~1.0×10^{-8}

나. 기존 설계사례 검토

구 분	매립층	충적층 (모래)	충적층 (자갈)	풍화토	풍화암	연 암	경 암
투수계수 (cm/s)	9.3×10^{-4} ~1.2×10^{-3}	2.0×10^{-3} ~3.2×10^{-3}	7.4×10^{-3} ~5.0×10^{-2}	3.4×10^{-4} ~5.6×10^{-4}	5.0×10^{-5} ~1.5×10^{-4}	3.6×10^{-5} ~5.0×10^{-5}	7.0×10^{-6} ~7.8×10^{-6}

다. 시험 결과에 의한 투수계수(cm/s) 분포 검토

지 층	범 위	평 균
전답·매립층	5.6×10^{-4}~8.1×10^{-4}	6.8×10^{-4}
붕적층	4.8×10^{-4}	4.8×10^{-4}
충적층(모래)	5.5×10^{-4}~9.6×10^{-4}	7.2×10^{-4}
충적층(자갈)	2.8×10^{-3}~4.6×10^{-3}	3.7×10^{-3}
풍화토	6.0×10^{-5}~3.1×10^{-4}	1.6×10^{-4}
풍화암	2.3×10^{-5}~3.2×10^{-5}	2.8×10^{-5}

라. 지층별 투수계수(cm/s) 산정

• 토사층의 투수계수는 현장시험 결과의 평균값을 적용하였으며, 풍화암, 연암 및 경암의 투수계수는 설계사례의 하한값 적용

구 분	문헌자료	기존설계사례	현장시험	설계적용
전답·매립층	5.0×10^{-3}~5.0×10^{-1}	9.3×10^{-4}~1.2×10^{-3}	5.6×10^{-4}~8.1×10^{-4}	6.8×10^{-4}
붕적층	5.0×10^{-3}~5.0×10^{-1}	–	4.8×10^{-4}	4.8×10^{-4}
충적층(모래)	5.0×10^{-3}~5.0×10^{-1}	2.0×10^{-3}~3.2×10^{-3}	5.5×10^{-4}~9.6×10^{-4}	7.2×10^{-4}
충적층(자갈)	–	7.4×10^{-3}~5.0×10^{-2}	2.8×10^{-3}~4.6×10^{-3}	3.7×10^{-3}
풍화토	–	3.4×10^{-4}~5.6×10^{-4}	6.0×10^{-5}~3.1×10^{-4}	1.6×10^{-4}
풍화암	–	5.0×10^{-5}~1.5×10^{-4}	2.3×10^{-5}~3.2×10^{-5}	5.0×10^{-5}
연 암	–	3.6×10^{-5}~5.0×10^{-5}	–	3.6×10^{-5}
경 암	–	7.0×10^{-6}~7.8×10^{-6}	–	7.0×10^{-6}

6.4.2 내진해석 설계지반정수 산정

가. 현장 및 실내시험 결과

1) 하향식 탄성파탐사 결과

지 층	V_p (m/s)	V_s (m/s)	동적물성치			
			G_d(MPa)	E_d(MPa)	K_d(MPa)	υ_d
충적층(모래)	403~1,502	176~383	60~280	160~820	200~3,960	0.35~0.47
충적층(자갈)	638~1,201	208~320	80~190	230~550	640~2,590	043~0.47
풍화토	1,239~1,688	425~591	350~680	1,000~1,930	2,500~4,840	0.41~0.45
풍화암	1,491~2,653	374~882	290~1,590	850~4,480	4,210~12,350	0.41~0.47
연 암	2,157~4,019	912~1,922	1,870~8,290	5,200~22,410	7,960~25,520	0.35~0.39

2) 토사공진주시험 결과

공 번	심도(GL.-m)	지 층	정규화전단탄성계수, G/G_{max}	감쇠비(%)
SBB-36	3.0	충적층(모래)	0.546~1.000	3.18~6.72
SBB-72	2.0	충적층(모래)	0.551~1.000	3.05~6.66

3) 진동삼축압축시험 결과

공 번	심도(GL.-m)	지 층	진동반복응력비 (DA-5%)	진동반복응력비 (DA-10%)
SBB-36	3.0	충적층(모래)	0.369	0.385
SBB-72	2.0	충적층(모래)	0.278	0.291

나. 내진해석 설계지반정수 산정 결과

• 내진해석 설계지반정수는 대표 시추공에서 수행한 공내검층 결과의 평균값을 준용하여 적용

지 층	V_p (m/s)	V_s (m/s)	동적물성치			
			G_d(MPa)	E_d(MPa)	K_d(MPa)	υ_d
충적층(모래)	787	249	128	366	1,380	0.41
충적층(자갈)	906	270	142	412	1,454	0.45
풍화토	1,481	522	538	1,533	3,610	0.43
풍화암	2,132	705	1,130	3,227	8,260	0.44
연 암	3,295	1,478	5,173	14,175	18,443	0.38

6.5 설계지반정수 요약

6.5.1 연속체 설계지반정수 산정

구 분		단위중량 (kN/m^3)	점착력 (kPa)	내부마찰각 (°)	변형계수 (MPa)	포아송비
쌓기재	토사층	19.0	15.0	30.0	-	-
	암버력	20.0	0.0	37.0	-	-
전답·매립층		18.0	0.0	29.0	12.0	0.35
붕적층		17.0	0.0	27.0	10.0	0.35
충적층(모래)		18.0	0.0	29.0	12.0	0.35
충적층(자갈)		19.0	0.0	33.0	30.0	0.33
풍화토		19.0	23.0	30.0	45.0	0.32
풍화암		20.0	30.0	35.0	200.0	0.30
연암	편마암	24.0	300.0	35.0	2,000	0.27
	화강암	24.0	400.0	35.0	2,500	0.27
경암	편마암	27.0	800.0	41.0	11,000	0.24
	화강암	27.0	800.0	41.0	11,000	0.24

6.5.2 내진해석 설계지반정수 산정

지 층	V_p (m/s)	V_s (m/s)	동적물성치			
			G_d(MPa)	E_d(MPa)	K_d(MPa)	υ_d
충적층(모래)	787	249	128	366	1,380	0.41
충적층(자갈)	906	270	142	412	1,454	0.45
풍화토	1,481	522	538	1,533	3,610	0.43
풍화암	2,132	705	1,130	3,227	8,260	0.44
연 암	3,295	1,478	5,173	14,175	18,443	0.38

6.5.3 수리해석 설계지반정수 산정

구 분	전답·매립층	붕적층	충적층(모래)	충적층(자갈)	풍화토	풍화암	연 암	경 암
투수계수 (cm/s)	6.8×10^{-4}	4.8×10^{-4}	7.2×10^{-4}	3.7×10^{-3}	1.6×10^{-4}	5.0×10^{-5}	3.6×10^{-5}	7.0×10^{-6}

6.5.4 불연속체 설계지반정수 산정

구 분		방향성	점착력 (MPa)	내부마찰각 (°)	K_{ni} (MPa/mm)	K_n (MPa/mm)	K_s (MPa/mm)
Domain-1	SET 1	75/208	0.015	33.1	6.32	6.543	0.128
	SET 2	15/271	0.033	29.3	5.03	5.914	0.394
	SET 3	60/309	0.025	30.4	5.32	5.767	0.222
Domain-2	SET 1	89/138	0.001	41.8	6.00	6.018	0.011
	SET 2	61/042	0.030	32.0	7.36	7.787	0.236
Domain-3	SET 1	58/020	0.027	30.5	5.34	5.837	0.238
	SET 2	45/150	0.037	32.6	9.02	9.620	0.349
Domain-4	SET 1	80/264	0.018	35.9	8.89	9.089	0.133
	SET 2	88/356	0.005	43.4	9.09	9.143	0.034
	SET 3	34/262	0.030	29.3	5.39	6.180	0.438
Domain-5	SET 1	89/191	0.002	43.3	8.67	8.694	0.017
	SET 2	82/075	0.014	34.8	8.76	8.904	0.102
	SET 3	23/095	0.045	30.7	8.85	10.002	0.535
Domain-6	SET 1	84/137	0.007	32.2	5.15	5.232	0.065
	SET 2	84/234	0.007	32.0	4.91	4.989	0.065
	SET 3	38/261	0.029	28.2	5.51	6.118	0.404
Domain-7	SET 1	60/036	0.024	34.0	8.89	9.162	0.179
	SET 2	76/121	0.013	37.0	9.09	9.226	0.096

제7장 비탈면 설계

7.1 검토개요

7.2 비탈면 검토구간 선정 및 현황

7.3 비탈면 설계기준

7.4 비탈면 지반강도정수

7.5 비탈면 안정성 분석 방법

7.6 비탈면 안정성 검토

7.7 비탈면 녹화공법

7.8 비탈면 계측 및 유지관리

제7장 비탈면 설계

7.1 검토개요

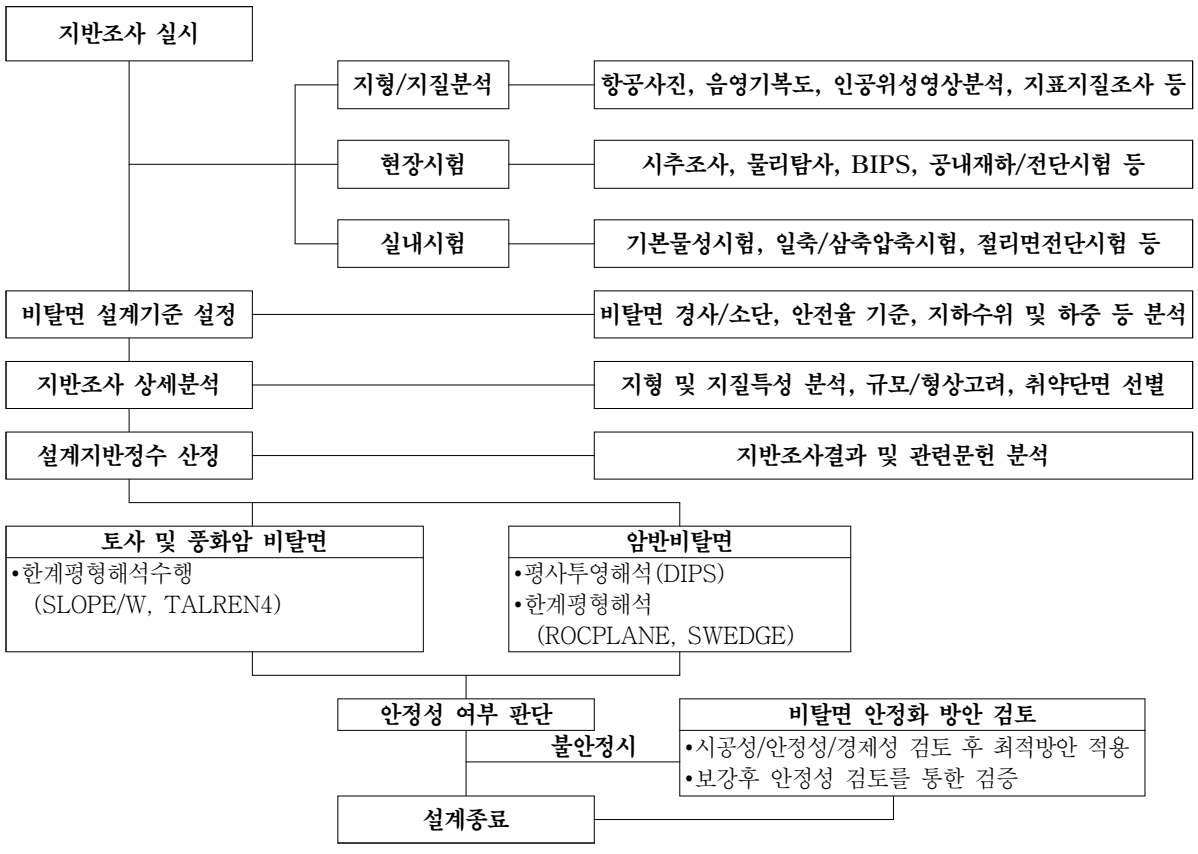
7.1.1 검토목적

•비탈면 안정성 검토는 현장조건과 조사 및 시험결과를 충분히 파악하고 시공성 및 경제성을 고려하여 비탈면의 안정성을 확보하는 최적의 비탈면 기울기 및 대책공법을 선정하는데 그 목적이 있다.

7.1.2 검토내용

•현장조사 적정성 분석 및 비탈면 설계정수 산정
•실내시험 적정성 분석 및 비탈면 설계정수 산정
•합리적인 비탈면 기울기 검토
•비탈면 안정대책 검토
•비탈면 보호공법 검토

7.1.3 비탈면 설계수행과정



7.2 비탈면 검토구간 선정 및 현황

7.2.1 선정기준

•검토대상은 다음 기준(건설공사 비탈면 설계기준, 국토해양부)에 따라 검토대상 구간을 선정하였다.

구 분	선 정 기 준
쌓기부	•비탈면 높이가 10m 이상인 경우 •쌓기재료의 함수특성이 높고, 전단강도가 낮은 경우 •붕괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우 •지형특성으로 인하여 쌓기토체 내부로 지속적인 지하수 유입이 발생하는 경우 (경사지반, 계곡부 쌓기) •홍수시 비탈면이 침수되거나 비탈끝이 침식되는 경우 •쌓기비탈면의 원지반이 양호하지 못한 경우(연약지반 등) •내진안정해석이 필요한 경우 •위 조건 외에 설계자가 필요하다고 판단하는 경우
깎기부	•비탈면 높이가 20m 이상인 경우 •비탈면 경사가 표준경사보다 급한 경우 •비탈면 지반이 붕적토로 이루어진 경우 •암반의 풍화가 심하고 용수가 많은 경우 •붕괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우 •불연속면이 비탈면 방향으로 경사진 지질조건의 경우 •내진안정해석이 필요한 경우 •불안정 요인을 갖는 지형·지질 조건인 경우 •위 조건 외에 설계자가 필요하다고 판단하는 경우

7.2.2 쌓기 비탈면 현황

•쌓기 비탈면 검토구간 및 단면 선정은 쌓기 높이 10m 이상의 대단위 비탈면을 원칙으로 하였으며, 그 외 안정성에 영향을 미치는 내·외적요인 등을 고려하여 선정하였다.



구 분		위 치(STA.)	대표단면(STA.)	비탈면 높이(m)	비 고
본 선	1구간	0+000~0+048	0+000	16.6	
	2구간	0+565~0+891	0+580	10.1	검토제외
	3구간	1+026~1+164	1+160	10.4	검토제외
	4구간	1+204~1+326	1+240	9.4	검토제외
	5구간	2+081~2+447	2+440	10.4	검토제외
	6구간	2+462~2+521	2+500	10.4	검토제외
	7구간	2+571~2+813	2+780	12.2	
	8구간	2+895~2+982	2+940	7.5	검토제외
	9구간	3+122~3+253	3+220	7.5	검토제외
	10구간	3+380~3+661	3+540	13.9	
	11구간	3+992~4+607	4+060	17.9	
			4+240	17.2	
	12구간	4+907~5+236	5+100	25.2	
	13구간	5+412~5+469	5+460	11.9	
	14구간	5+888~6+033	-	-	서오창IC R-C, D
	15구간	6+603~6+829	6+740	11.3	
	16구간	6+980~7+120	7+020	7.1	검토제외
	17구간	7+373~7+413	7+400	5.6	검토제외
	18구간	7+438~7+775	7+620	10.8	검토제외
	19구간	7+790~8+014	7+880	8.3	검토제외

구 분		위 치(STA.)	대표단면(STA.)	비탈면 높이(m)	비 고
본 선	20구간	8+890~9+060	8+980	20.9	
			9+000	20.3	
	21구간	9+402~9+512	9+500	6.0	검토제외
	22구간	9+781~10+058	9+840	20.4	
			9+920	20.8	
	23구간	10+159~10+239	10+220	10.2	검토제외
	24구간	10+344~10+503	10+400	16.6	
	25구간	10+543~11+152	10+560	12.6	
	26구간	11+252~11+289	11+280	12.4	
옥산JCT	R-A	0+000~0+520	0+360	8.1	검토제외
		1+040~1+168	1+060	19.0	
	R-B	0+000~1+328	1+280	18.3	
	R-C	0+290~0+411	0+360	18.2	
		0+631~1+720	0+960	17.0	
	R-D	0+590~1+960	1+040	13.3	
서오창IC	R-A	0+000~0+310	0+120	21.1	
		0+436~0+950	0+640	22.5	
		1+280~1+555	1+420	15.3	
	R-C	0+190~0+330	0+300	12.5	
	R-D	0+690~0+870	0+780	21.8	
	R-E	0+130~0+350	0+260	13.8	
오창JCT	R-A	0+000~0+294	0+280	14.9	
		0+394~0+630	0+420	15.0	
	R-C	0+000~0+278	0+000	13.0	
		0+458~0+720	0+480	6.3	검토제외
	R-D	0+480~0+571	0+540	7.7	검토제외
		0+696~1+017	0+760	15.4	

7.2.3 깎기 비탈면 현황

•깎기 비탈면 검토구간 및 단면 선정은 깎기 높이 20m이상과 붕적토 및 토사비탈면을 원칙으로 선정하였으며, 그 외 안정성에 영향을 미치는 내·외적요인 등을 고려하여 선정하였다.



구 분		위 치 (STA.)	대표단면 (STA.)	비탈면 높이 (m)	비탈면 지층현황	비 고
본 선	1구간	0+278~0+485	0+300(옥산)	28.6	토사, 리핑, 발파	
			0+340(오창)	39.3	토사, 리핑	
			0+420(오창)	27.2	토사	
	2구간	1+326~2+081	1+520(옥산)	22.9	토사, 리핑	
			1+800(오창)	23.6	토사, 리핑	
			1+920(오창)	22.5	토사, 리핑, 발파	
			1+940(오창)	23.1(12.0)	토사, 리핑, 발파	암반비탈면
	3구간	2+813~2+895	2+860(오창)	15.4	토사, 리핑, 발파	
	4구간	2+982~3+122	3+040(오창)	20.1	토사, 리핑	
	5구간	3+253~3+380	3+340(옥산)	12.6	토사	
	6구간	3+661~3+992	3+880(오창)	33.0	토사, 리핑	
	7구간	4+607~4+910	4+780(오창)	40.3	토사, 리핑	
			4+840(오창)	39.1(8.1)	토사, 리핑, 발파	암반비탈면
			4+840(옥산)	31.1	토사, 리핑, 발파	
			4+860(옥산)	36.8(16.4)	토사, 리핑, 발파	암반비탈면
	8구간	5+236~5+412	5+320(오창)	17.0(6.5)	토사, 리핑, 발파	암반비탈면
	9구간	5+524~5+888	5+660(옥산)	20.0(11.1)	토사, 리핑, 발파	암반비탈면
			5+680(오창)	22.9(10.3)	토사, 리핑, 발파	암반비탈면
	10구간	6+033~6+603	-	-	-	서오창IC R-C, D

구 분		위 치 (STA.)	대표단면 (STA.)	비탈면 높이 (m)	비탈면 지층현황	비 고
본 선	11구간	6+829~6+980	6+880(오창)	13.3(7.3)	토사, 리핑, 발파	암반비탈면
	12구간	7+120~7+373	7+280(오창)	23.2(7.3)	토사, 리핑, 발파	암반비탈면
	13구간	8+014~8+890	8+220(옥산)	27.1	토사, 리핑	
			8+240(옥산)	25.0	토사, 리핑	
			8+380(옥산)	28.8(6.4)	토사, 리핑, 발파	암반비탈면
			8+400(옥산)	33.3	토사, 리핑	
			8+420(오창)	30.5	토사, 리핑	
			8+540(오창)	29.9	토사, 리핑	
			8+680(오창)	34.9	토사, 리핑, 발파	
			8+720(옥산)	25.3(8.2)	토사, 리핑, 발파	암반비탈면
			8+780(오창)	37.5	토사, 리핑	
			8+840(옥산)	18.3	토사, 리핑, 발파	
	14구간	9+200~9+402	9+300(옥산)	18.6	토사, 리핑, 발파	
	15구간	9+512~9+781	9+620(옥산)	18.7	토사, 리핑, 발파	
	16구간	10+058~10+159	10+100(오창)	21.6	토사, 리핑, 발파	
옥산JCT	R-A	0+530~0+860	0+640 우측	22.3	토사	
서오창IC	R-A	0+950~1+186	1+020 좌측	29.1(19.7)	토사, 리핑, 발파	암반비탈면
			1+060 좌측	28.8	토사, 리핑, 발파	
			1+140 좌측	32.0(23.7)	토사, 리핑, 발파	암반비탈면
			1+140 우측	20.1(12.4)	토사, 리핑, 발파	암반비탈면
	R-B	0+066~0+183	0+120 우측	11.0(9.1)	토사, 리핑, 발파	암반비탈면
	R-C	0+000~0+191	0+140 우측	21.6(14.2)	토사, 리핑, 발파	암반비탈면
		0+345~0+802	0+400 우측	20.3(12.8)	토사, 리핑, 발파	암반비탈면
			0+500 우측	23.9	토사, 리핑, 발파	
			0+580 우측	29.1(19.1)	토사, 리핑, 발파	암반비탈면
			0+660 우측	32.8	토사, 리핑, 발파	
	R-D	0+084~0+570	0+100 우측	17.4(11.0)	토사, 리핑, 발파	암반비탈면
			0+240 우측	19.9	토사, 리핑, 발파	
			0+380 우측	25.8(15.1)	토사, 리핑, 발파	암반비탈면
	R-E	0+350~0+481	0+480 좌측	21.6(9.5)	토사, 리핑, 발파	암반비탈면
	R-G	0+160~0+449	0+320 우측	30.9(7.8)	토사, 리핑, 발파	암반비탈면
	R-H	0+000~0+390	0+260 우측	33.5(1.4)	토사, 리핑, 발파	
		0+422~0+657	0+520 우측	21.3(13.0)	토사, 리핑, 발파	암반비탈면

7.3 비탈면 설계기준

7.3.1 비탈면 경사 및 소단기준 적용계획

가. 쌓기 비탈면 표준경사

•쌓기 비탈면 표준경사는 비탈면의 최소 안정성 확보에 필요한 경사로 본 설계에서는 토질조건 및 국토해양부에서 제시한 표준경사를 기준으로 쌓기 비탈면의 경사를 적용하였다.

1) 우리나라 여러 기관의 쌓기 비탈면 표준경사

쌓 기 재 료	비탈면 높이 (m)	비탈면 경사		
		국토해양부	도로공사	LH공사
양입도의 모래 및 자갈섞인 모래, 사질토 및 굵은 모래	0~5	1 : 1.5	1 : 1.5	1 : 1.5
	5~10	1:1.8~1:2.0	1 : 1.8	1 : 2.0
	10 초과	별도검토		별도검토
빈입도의 모래, 연약한 점성토	0~5	1 : 1.8	–	–
	5~10	1:1.8~1:2.0	–	–
	10 초과	별도검토	–	–

2) 건설공사 비탈면 설계기준(국토해양부, 2011)

쌓기재료	비탈면 높이 (m)	비탈면 상하부에 고정 시설물이 없는 경우 (도로, 철도 등)	비탈면 상하부에 고정 시설물이 있는 경우 (주택, 건물 등)
입도분포가 좋은 양질의 모래, 모래자갈 암괴, 암버력	0~5	1:1.5	1:1.5
	5~10	1:1.8	1:1.8~1:2.0
	10초과	별도검토	별도검토
입도분포가 나쁜 모래, 점토질 사질토, 점성토	0~5	1:1.8	1:1.8
	5~10	1:1.8~1:2.0	1:2.0
	10초과	별도검토	별도검토
1) 상기표는 기초지반의 지지력이 충분한 경우에 적용함 2) 비탈면 높이는 비탈어깨에서 비탈 끝까지 수직높이임			
소단기준 : 비탈면높이가 5m 이상인 비탈면에서는 비탈면 유지관리를 위한 점검, 배수시설의 설치공간으로 활용하기 위하여 원칙적으로 소단을 설치하며, 비탈면 중간에 5~10m 높이에 폭 1~3m의 소단을 설치한다. 장비진입 등과 같은 작업공간의 확보가 필요한 경우에는 소단폭을 여건에 맞게 조정할 수 있다.			

나. 깎기 비탈면 표준경사

•일반적인 깎기 비탈면 표준경사는 아래와 같으며, 본 설계에서는 아래 기준을 근거로 현장의 암반상태를 분석하여 설계에 적용하였다.

1) 건설공사 비탈면 설계기준(국토해양부, 2011)

토 질 조 건		비탈면높이(m)	경 사	소단기준	비 고
모 래		-	1:1.5 이상	H=10m 이상인 비탈면에서 비탈면 중간에 5~20m 높이마다 폭은 1~3m의 소단을 설치	SW, SP
사 질 토	밀실한 것	5 이하	1:0.8 ~ 1:1.0		SM, SP
		5~10	1:1.0 ~ 1:1.2		
	밀실하지 않고 입도분포가 나쁨	5 이하	1:1.0 ~ 1:1.2		
		5~10	1:1.2 ~ 1:1.5		
자갈 또는 암괴 섞인 사 질 토	밀실하고 입도분포가 좋음	10 이하	1:0.8 ~ 1:1.0		SM, SC
		10~15	1:1.0 ~ 1:1.2		
	밀실하지 않거나 입도분포가 나쁨	10 이하	1:1.0 ~ 1:1.2		
		10~15	1:1.2 ~ 1:1.5		
점 성 토		0~10	1:0.8 ~ 1:1.2		ML,MH,CL,CH
암괴 또는 호박돌 섞인 점성토		5 이하	1:1.0 ~ 1:1.2		GM, GC
		5~10	1:1.2 ~ 1:1.5		

2) 암반특성에 따른 깎기 비탈면 표준경사(도로설계요령, 2009)

암 석 종 류 (강도)	암반파쇄상태		굴 착 난이도	경 사	소단설치	비 고
	T.C.R	R.Q.D				
풍화암 또는 연·경암으로 파쇄가 극심한 경우	20%이하	10%이하	리핑암	1:1.0~ 1:1.2	H=5m마다 1m 폭	· 최하단 기준 매 20m마다 3m 소단설치 · 발파암과 리핑암 사이에는 소단을 설치하지 않음 · 소단사이에 토사와 리핑 구분선이 발생시 많은 쪽 비탈면 경사를 적용
강한 풍화암으로 파쇄가 거의 없는 경우와 대부분의 연·경암	20~40%	10~25%	발파암	1:0.8~ 1:1.0	H=10m마다 1~2m 폭	
	40~60%	25~50%	발파암	1:0.7		
	60%이상	50%이상	발파암	1:0.5	H=20m마다 3m 폭	

3) 우리나라 여러 기관의 깎기 비탈면 표준경사

토질조건		깎기높이(m)	비 탈 면 경 사		
			국토해양부	도로공사	LH공사
토 사		5 이상	1:1.5	1:1.5	1:1.5
		0 ~ 5	1:1.2	1:1.2	1:1.2
리핑암 (풍화암)		5 이상	1:0.7~1.2	1:1.0	1:1.0~1:1.2
		0 ~ 5			1:1.0
발파암	연 암	5 이상	1:0.5~0.7	1:0.5	1:0.5~1:1.0
		0 ~ 5			1:0.5~1:0.8
	경 암	5 이상			1:0.5~1:0.8
		0 ~ 5			1:0.5

다. 설계적용 비탈면 표준경사 및 소단

•본 과업에서 깎기 및 쌓기 구간의 비탈면 경사는 국내 여러 기관에서 적용되는 일반적인 표준 경사와 지형 및 지층상태, 비탈면의 특성 등을 고려하여 다음과 같은 기준을 선정하였다.

구 분	높 이 (m)		경 사	비 고
쌓 기	0 ~ 5		1 : 1.5	쌓기 5m마다 소단 1m 설치
	5 이상		1 : 1.8	
깎 기	토 사	0 ~ 5	1 : 1.2	깎기 5m마다 소단 1m 설치, 지형 및 지질특성 감안
		5 이상	1 : 1.5	
	리 핑 암		1 : 1.0	
	발 파 암		1 : 0.5~1:0.7	20m마다 3m 소단 설치

•본 과업구간에 대한 비탈면 경사는 쌓기의 경우 국토해양부 비탈면 설계기준에 의거한 표준경사를 적용하는 것으로 계획하였다. 깎기의 경우 우리나라 여러 기관에서 규정하고 있는 표준경사와 인접구간 비탈면에 대한 비탈면경사 적용사례를 검토하여 계획하였으며, 암반 비탈면의 경우 도로설계요령에서는 암반특성에 따른 표준 비탈면 경사가 제시되어 있으나, 이는 일반적인 경우이며 계획구간내의 암반 비탈면에 대한 지표지질조사 및 시추조사 등에 의해 파악된 절리의 방향성 및 발달 상태에 따라 각각의 비탈면에 대하여 안정 해석을 실시하여 적정 비탈면 경사를 선정한다.

7.3.2 설계하중

•비탈면에 작용하는 하중에는 구조물로 인한 하중, 차량주행에 따른 교통하중으로 구분되며, 쌓기 비탈면인 경우에는 쌓기높이를 고려하여 쌓기체 상단에 상재하중을 고려하였다.

구 분	적 용 값	비 고
구조물 하중	실제 접지압	•구조물로 인해 발생하는 사하중
교 통 하중	13.0 kPa	•차량주행에 따라 작용되는 활하중 (DB-24 기준)

7.3.3 지하수위

•쌓기 비탈면의 지하수위 적용시 건기시에는 지하수위를 고려하지 않고 우기시에는 원지반까지 포화하는 것으로 가정하여 적용하였다.

•깎기 비탈면의 지하수위 적용시 건기시에는 지하수위를 고려하지 않고 우기시에는 지표면까지 포화되는 것으로 가정하였다.

구 분	지 하 수 위	
	건 기 시	우 기 시
깎기 비탈면	지하수위 미고려	비탈면 지표면에 위치
쌓기 비탈면	지하수위 미고려	원지반 지표면에 위치

7.3.4 비탈면 허용 안전율 기준 및 적용

가. 쌓기 비탈면 안전율 기준

1) 건설공사 비탈면 설계기준(국토해양부, 2011)

구 분	최소안전율	내 용
건 기	FS > 1.5	•쌓기체 내에 지하수가 없는 것으로 해석
우 기	FS > 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 해석 실시
지진시	FS > 1.1	•지진관성력은 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용 •지하수위는 실제 측정 또는 평상시의 지하수위 적용
단 기	FS > 1.1	•1년 미만의 단기적인 비탈면의 안정성(시공중 포함)
•비탈면 상부 파괴범위 내에 1, 2종 시설물의 기초가 있는 경우 : 별도 검토		

2) 기타 국내외 기준

구 분	최소안전율 (Minimum Safety Factor)	
한국도로공사	도로설계요령	FS ≥ 1.3
항만협회	항만시설 기술상의 기준, 동해설 (일본)	FS ≥ 1.5
건 설 성	표준적인 계획 안전율 (일본)	FS ≥ 1.1~1.3
국토해양부	구조물 기초 설계기준	FS ≥ 1.3
일본도로 실무강좌5	도로토공, 연약지반 대책공 지침	FS ≥ 1.2~1.3
일본 토질 공학회 연약지반의 조사 설계시공법	가설구조물, 건설중의 비탈면안정 (일시적인 안정)	FS ≥ 1.0~1.2
	일반적인 구조물인 경우	FS ≥ 1.3
	중요 구조물인 경우	FS ≥ 1.5
	공용하중 개시후 적용	FS ≥ 1.25
	축조 기간중 일반적인 안정에 적용	FS ≥ 1.1

나. 깎기 비탈면 안전율 기준

1) 건설공사 비탈면 설계기준(국토해양부, 2011)

구 분	최소안전율	내 용
건 기	FS > 1.5	•지하수가 없는 것으로 해석
우 기	FS > 1.2 또는 FS > 1.3	•연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 •토층 및 풍화암으로 구성된 비탈면의 안정해석은 지하수위를 결정하여 해석하는 방법 또는 강우의 침투를 고려한 방법 사용 가능 •지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) •강우의 침투를 고려한 안정해석을 실시하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건, 배수조건과 설계계획빈도에 따른 해당지역의 강우강도, 강우지속시간 등을 고려하여 안정해석을 실시하며, 해석시 적용한 설계정수와 해석방법을 명확히 기술 (FS=1.3적용)
지진시	FS > 1.1	•지진관성력은 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용 •지하수위는 실제 측정 또는 평상시의 지하수위 적용
단 기	FS > 1.1	•1년 미만의 단기적인 비탈면의 안정성(시공중 포함)
•비탈면 상부 파괴범위 내에 1, 2종 시설물의 기초가 있는 경우 : 별도 검토		

다. 적용 비탈면 안전율

•비탈면에 대한 기준안전율은 국내의 경우 건기시에는 1.5, 우기시에는 1.2~1.3을 적용하고 있으며, 국외의 경우에는 건기, 우기의 구분보다는 하중조건이나 현장응력상태를 고려하여 안전율을 적용하고 있다.

•깎기 비탈면이 많은 홍콩에서는 우기시 비탈면 안전율은 지표면까지 포화된 경우 1.1로 하고 강우 강도를 고려할 경우에는 1.2~1.4를 적용하고 있다.

•국내의 우기시 비탈면 안전율이 1.2~1.3의 범위로 제시되어 있는 것은 현장 지반의 조건 (문제성 토질, 파쇄대의 존재 유무) 등을 고려하여 합리적으로 결정하도록 한 것으로 사료된다. 그러나 예측 불가능한 국지성 집중호우가 빈번하게 발생하므로 집중호우에 따른 피해방지를 위한 산지부 도로설계기준 검토(설계처-3202, 한국도로공사, 2006)' 를 기준으로 우기시 비탈면 기준안전율은 1.2를 적용하였다.

< 비탈면안정 검토시 기준안전율 >

구 분		적용안전율	비 고
쌓 기	건 기	FS > 1.5	•일반적 기준적용 •교통하중 q=13kPa 고려
	우 기	FS > 1.3	
	지 진 시	FS > 1.1	
깎 기	건 기	FS > 1.5	•장기적인 비탈면 안정 등을 고려하여 최근 고속도로 설계 시 적용되고 있는 기준 적용
	우 기	FS > 1.2	
	지 진 시	FS > 1.1	

7.4 비탈면 지반강도정수

구 분		단위중량 (kN/m^3)	점착력 (kPa)	내부마찰각 (°)
쌓기재	토사층	19.0	15.0	30.0
	암버력	20.0	0.0	37.0
전답 · 매립층		18.0	0.0	29.0
붕적층		17.0	0.0	27.0
충적층(모래)		18.0	0.0	29.0
충적층(자갈)		19.0	0.0	33.0
풍화토		19.0	23.0	30.0
풍화암		20.0	30.0	35.0
연암	편마암	24.0	300.0	35.0
	화강암	24.0	400.0	35.0
경암	편마암	27.0	800.0	41.0
	화강암	27.0	800.0	41.0

7.5 비탈면 안정성 분석 방법

7.5.1 토사비탈면 안정성 해석

•토사 비탈면의 안정성 해석은 활동면을 따라 파괴가 일어나려는 순간에 있는 토체의 안정성을 해석하는 한계평형이론(Limit Equilibrium Theory)을 적용하여 검토하였다.

•한계평형해석 방법의 목적은 활동면을 따라 파괴발생이 예상되는 토체의 안정성을 해석하는 것으로 검토를 단순화하기 위한 조건을 가정하고 이를 이용하여 간단한 정역학적 이론으로 해를 얻을 수 있다.

•프로그램으로는 다양한 해석방법 및 조건을 고려할 수 있는 Slope/W 및 Talren4 프로그램을 사용하였다. Talren4에 의한 비탈면 안정 검토시 해석방법은 Bishop의 간편법을 적용하여 비탈면 안정성을 검토하였다.

•Bishop의 방법은 정역학적으로 해를 얻기 위해 설정한 가정 때문에 정해가 될 수 없으나 구해진 안전율은 거의 정확치에 근접하여 본 비탈면 안정해석에 이용하였으며, Bishop의 간편법에 의한 기본원리 및 Bishop의 안전율 계산식은 다음과 같다.

$$F_s = \frac{1}{\sum W \sin\alpha_n} \sum [c' b_n + (W - u b_n)\tan\phi') \times \frac{1}{m(\alpha_n)}$$

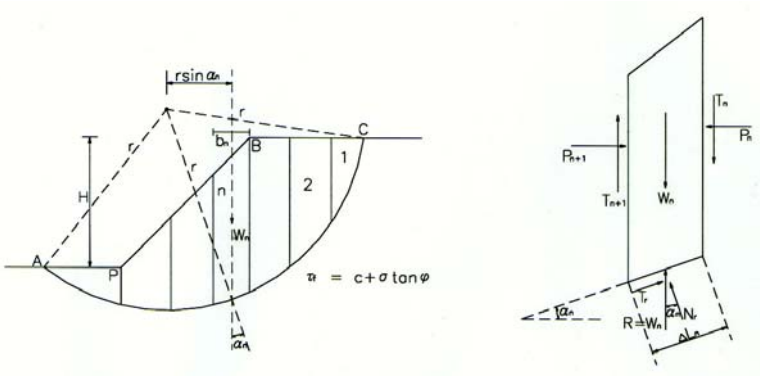
여기서, $m(\alpha_n) = \cos\alpha_n (1 + \tan\alpha_n \times \frac{\tan\phi'}{F_s})$

F_s : 안전율　　W : 절편 흙의 전체중량(kN/m^3)

ϕ' : 흙의 내부마찰각(°)　　c' : 흙의 점착력(MPa)

b_n : 절편 폭(m)　　α_n : 경사각(°)

u : 간극수압(MPa)



(a) 가상파괴면　　(b) n번째 절편에 작용하는 힘

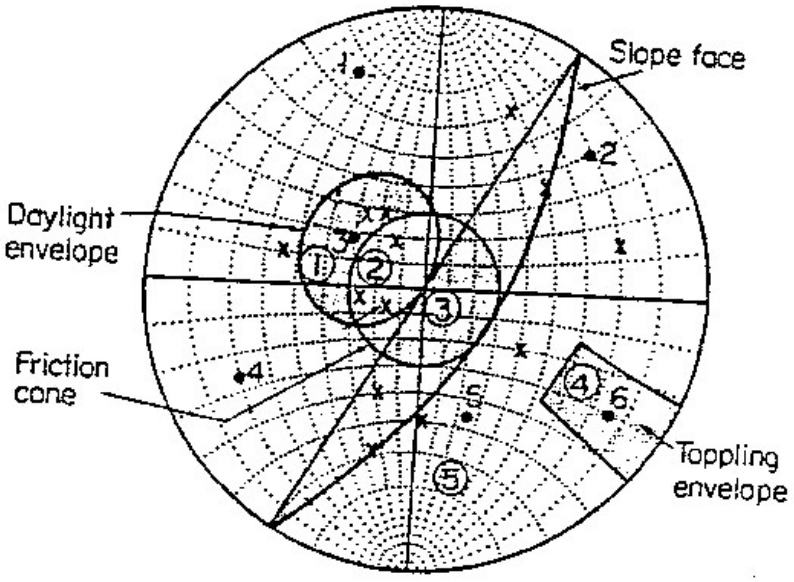
<Bishop의 절편법에 의한 비탈면 안정해석>

7.5.2 암반비탈면 안정성 해석

•비탈면의 붕괴현상은 자연적인 원인과 인위적인 행위에 의해 일어나며 이러한 원인들이 복합적으로 작용되어 붕괴형태는 대단히 복잡하다. 암반 비탈면에서는 비탈면내에 발달하고 있는 불연속면의 특성, 주향 및 경사에 따라 주로 파괴형태가 결정된다. 본 검토에서는 깎기 지역에 분포하는 암반 비탈면에 대하여 지표지질조사, 시추조사 및 공내영상촬영(BIPS)결과 등을 이용하여 분석한 후 평사투영해석 및 한계평형해석을 통해 안정성을 평가하였다.

가. 평사투영법

평사투영법에 의한 안정성 해석방법은 Stereonet상에 비탈면, Daylight Envelope, Friction Cone, Toppling Envelope 등을 작성, 절리면의 밀도분포에 의하여 비탈면 안정성을 평가하는 방법으로 다음 그림은 임의로 가정한 6개의 불연속면에 대한 비탈면 안정성을 평가하는 예다.



<평사투영에 의한 암반비탈면 안정성 평가>

각 지역에 불연속면의 Pole이 위치하면 다음과 같이 안정성이 평가됨.

①지역 : 불연속면의 경사각이 마찰각보다 큰 Daylight로서 불안정한 지역

②지역 : 불연속면의 경사각이 마찰각보다 작은 Daylight로서 안정한 지역

③지역 : 불연속면의 경사각이 마찰각보다 작으며 Daylight도 아닌 안정한 지역

④지역 : Toppling 붕괴의 위험성이 잠재된 불안정한 지역

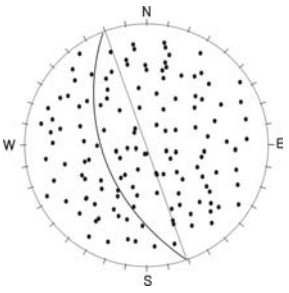
⑤지역 : 불연속면의 경사각이 마찰각보다 크더라도 Daylight나 Toppling Envelope가 아니므로 안정한 지역

여기서, 6개의 불연속면 중 평면형 붕괴의 가능성이 있는 불연속면은 “3”이며, 쐐기형 붕괴의 가능성이 있는 불연속면은 “2”와 “3” 및 “3”과 “4”의 조합면 이지만 실제로 불연속면 “3”에 대한 평면형 붕괴보다는 덜 위험하다. Toppling 붕괴의 가능성이 있는 불연속면은 “6”이다.

암반의 붕괴 형상은 다음과 같이 구분한다.

1) 원호파괴(Circular Failure)

토층사면 및 불연속면이 불규칙하게 많이 발달되어 뚜렷한 구조적 특징이 없는 암반에서 원형파괴가 발생하는데 주로 풍화가 심한 암반이나 파쇄가 심한 암반에서 발생할 수 있다.

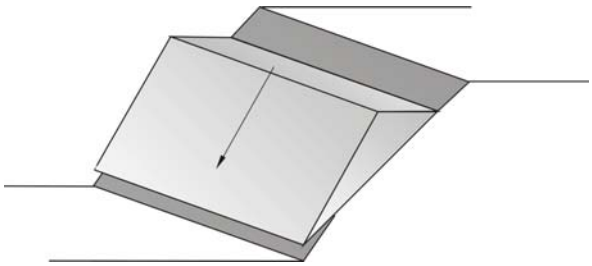
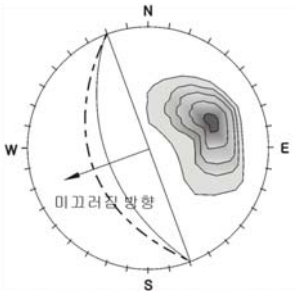
원호파괴 형태	절리극점분포
	

2) 평면파괴(Planar Failure)

불연속면의 주절리가 한 방향으로 발달된 암반에서 발생가능하며, 암괴가 어떤 절리면을 따라서 붕괴하려면 다음의 조건을 만족시켜야 한다.

- 절개면과 절리면의 경사방향이 같아야 한다.
- 절리면의 주향이 절개면의 주향과 비슷해야 한다. (±20° 이내)
- 절리면의 주향이 절개면상에 나타나야 한다.

  즉, 절리면의 경사각(α) 〈 절개면의 경사각(βa)
- 절리면의 경사각(α)이 절리면의 마찰각(ϕ) 보다 커야 한다.
- 붕괴는 암괴의 양쪽측면이 절단되어서 암괴가 무너지는데 측면의 영향이 적어야 한다.

평면파괴 형태	절리극점분포
	

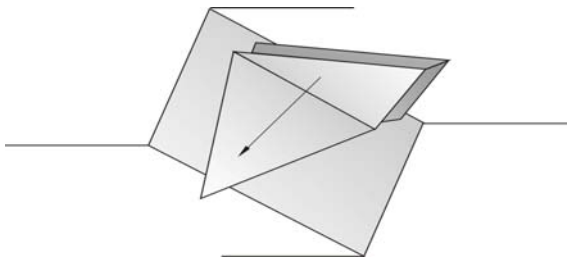
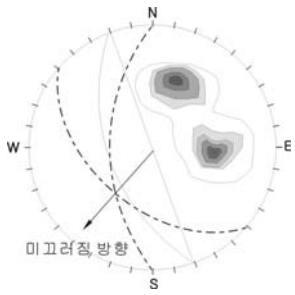
3) 쐐기파괴(Wedge Failure)

쐐기파괴는 두개의 불연속면을 따라서 발생하는 암반블록의 미끄러짐으로 인한 파괴형태로서 기본적인 역학관계는 평면파괴와 유사하지만, 평면파괴의 경우 경사벡터를 사용하고 쐐기파괴는 불연속면들의 교선으로 이루어지는 교선벡터를 고려하는 차이점이 있다. 쐐기파괴의 발생조건은 다음과 같다.

•절리의 교선과 절개면의 경사방향이 같아야 한다.

•절리면의 주향이 절개면의 주향과 비슷해야 한다.

•절개면의 경사 〉 절리의 교선의 경사 〉 절리의 마찰각(βa 〉 α 〉 ϕ)

쐐기파괴 형태	절리극점분포
	

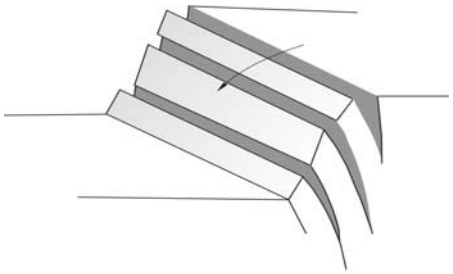
4) 전도파괴(Toppling Failure)

전도파괴는 수직절리가 발달한 암반에서 발생되며, 이때 전도파괴의 발생조건은 다음과 같다.

•절개면과 절리면의 경사방향이 반대이어야 한다.

•절리면의 주향과 절개면의 주향이 비슷해야 한다.(±25°)

•(90° −절리면의 경사)+절리면의 마찰각 〈 절개면의 경사

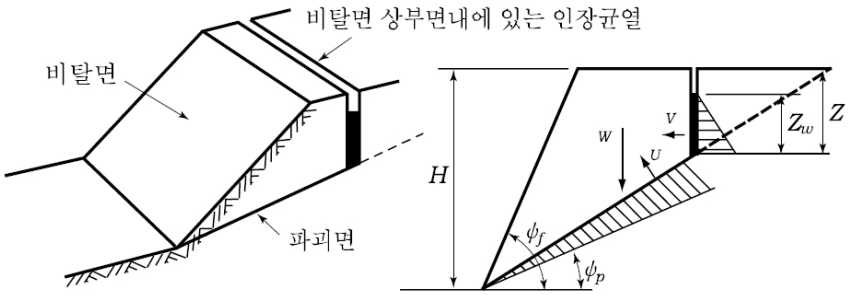
전도파괴 형태	절리극점분포
	

나. 암반비탈면의 한계평형해석

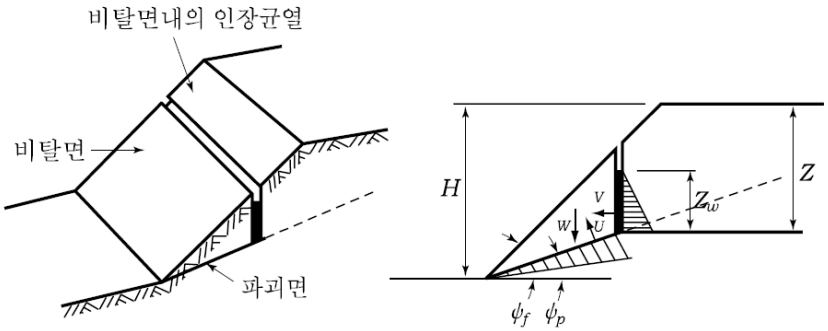
암반비탈면의 한계평형 해석법은 암반블럭의 자중, 절리면의 마찰각 및 점착력, 암반간극수압 등을 고려, 가능한 활동파괴면을 따라 미끄러지려는 순간의 암반블록에 대한 안정성을 비탈면 안전계수(Safety Factor)로 나타내는 방법이다.

비탈면의 안전율은 활동을 유발시키는 힘의 총합에 대한 활동에 저항하는 힘의 총합으로 계산할 수 있다.

1) 평면파괴에 대한 안전율



(a) 비탈면 상부에 인장균열을 가진 비탈면



(b) 비탈면 내부에 인장균열을 가진 비탈면

〈평면파괴에 대한 기하학적 조건〉

$$F_s = \frac{cA + (W\cos\phi_p - U - V\sin\phi_p)\tan\phi}{W\sin\phi_p + V\cos\phi_p}$$

여기서, c : 절리면의 점착력

A : 활동면의 면적($(H-z)\mathrm{cosec}\phi_p$)

W : 암괴의 자중

ϕ_p : 활동면의 경사각(°)

ϕ_f : 비탈면의 경사각(°)

U : 파괴면에 작용하는 수압

V : 인장균열에 작용하는 수압

ϕ : 활동면의 마찰각(°)

수압에 의한 U와 V는 다음과 같다.

$$U = \frac{1}{2}\gamma_w z_w (H-z)\mathrm{cosec}\phi_p$$

$$V = \frac{1}{2}\gamma_w z_w^2$$

여기서, γ_w : 물의 단위중량(kN/m^3)

z_w : 인장균열 H의 높이(m)

H : 비탈면의 높이(m)

ϕ_p : 활동면의 마찰각(°)

2) 쐐기파괴에 대한 안전율

쐐기를 형성시키는 두 절리면의 마찰각이 같다고 가정하면 쐐기의 안전율은 다음과 같이 정의된다.

$$F = \frac{(R_A + R_B)\tan\phi}{W sin\phi_i}$$

여기서, R_A, R_B : A, B면상의 수직반력

W : 쐐기를 이루는 암반의 중량

ϕ : 활동면의 마찰각(°)

ϕ_i : 교선의 경사각(°)

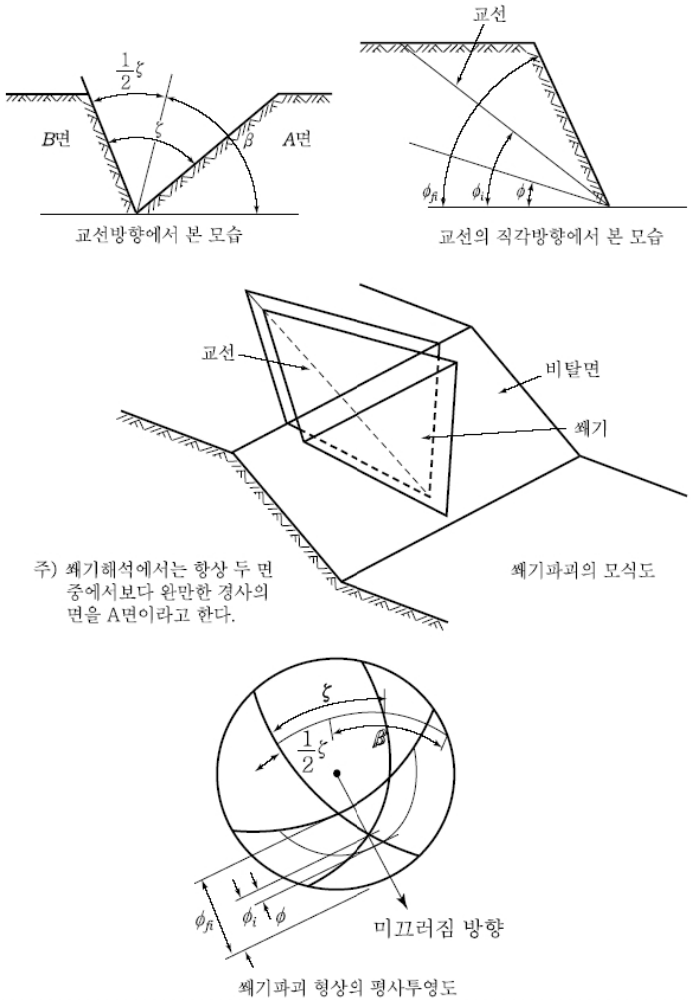
R_A, R_B를 구하기 위해 교선에 대한 수평 및 수직방향의 성분으로 나누어 표시한 후 R_A, R_B를 더하고 이를 위의 식에 대입하면 다음과 같이 비탈면의 안전율을 구할 수 있다.

$$F = \frac{\sin\beta}{\sin\frac{1}{2}\xi}\frac{\tan\phi}{\tan\phi_i}$$

여기서, β : 수평면에서 쐐기 이동분선까지의 각

ξ : 쐐기의 사이각(°)

β와 ξ는 아래 그림과 같이 평사투영망을 이용하여 구할 수 있다.



〈쐐기파괴에 대한 기하학적 조건〉

3) 전도파괴에 대한 안전율

전도파괴의 안전율은 암반층에 작용하고 있다고 생각되는 경사($\tan\phi_{available}$)를 지지력T가 주어질 경우 평형상태를 유지하는데 필요한 마찰각의 경사($\tan\phi_{required}$)로 나눈 값으로 정의 된다.

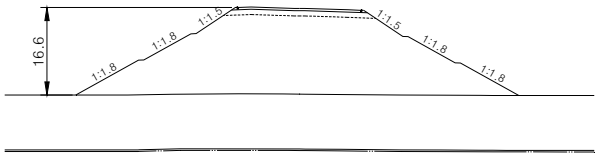
4) 원호파괴에 대한 안전율

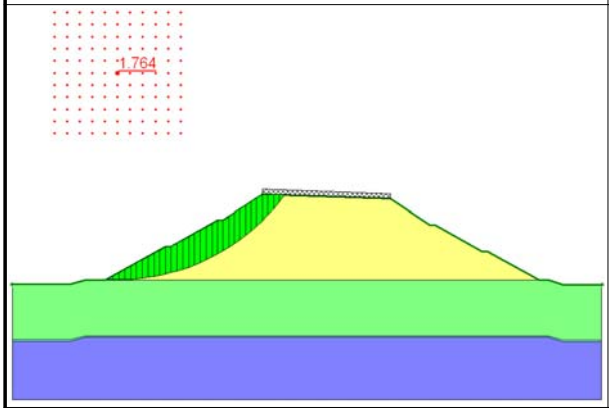
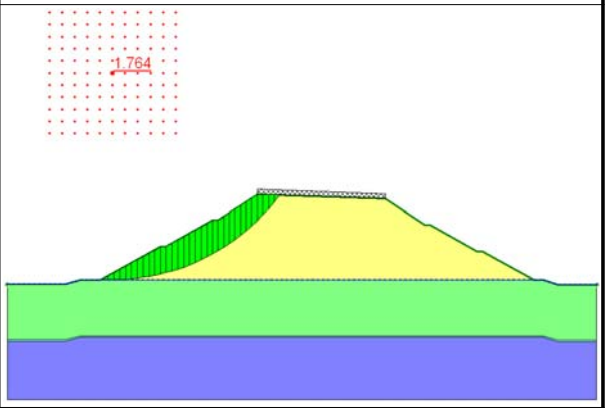
암반의 원호파괴에 대한 안전율은 토사비탈면에서 적용하는 해석방법과 같다.

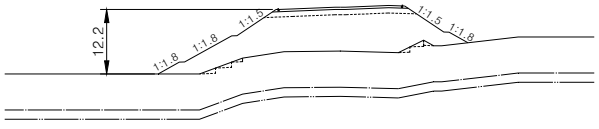
7.6 비탈면 안정성 검토

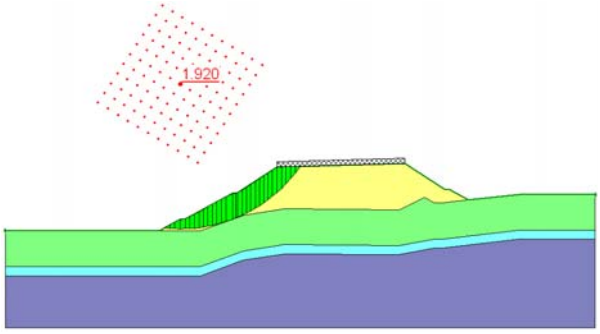
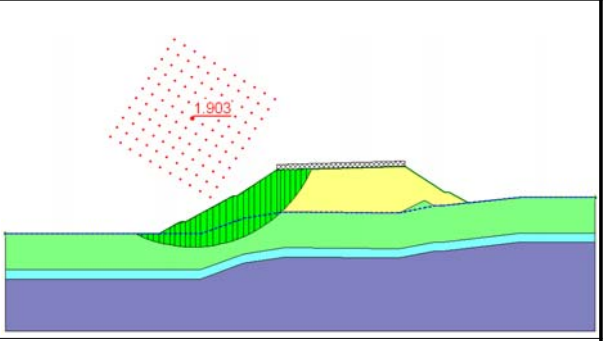
7.6.1 쌓기 비탈면 안정성 검토

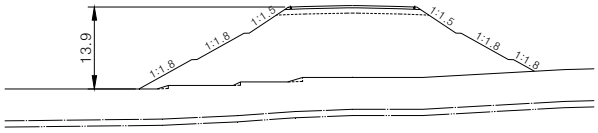
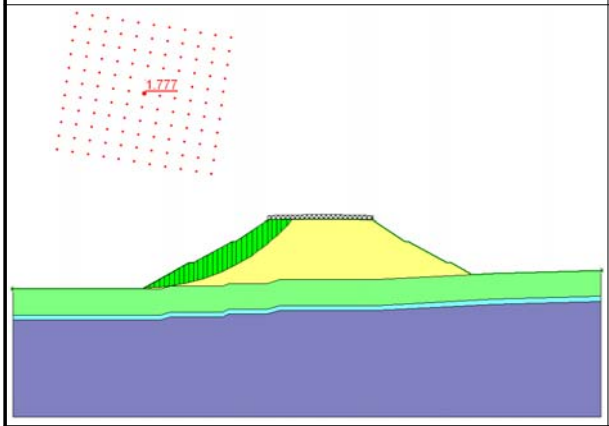
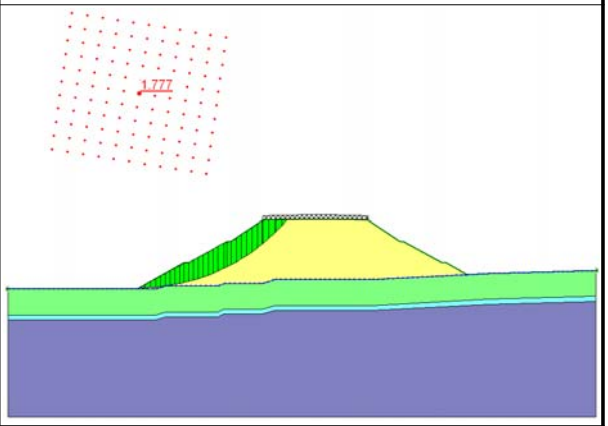
가. 쌓기 비탈면 표준경사 적용시 안정성 검토

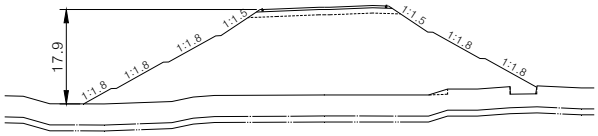
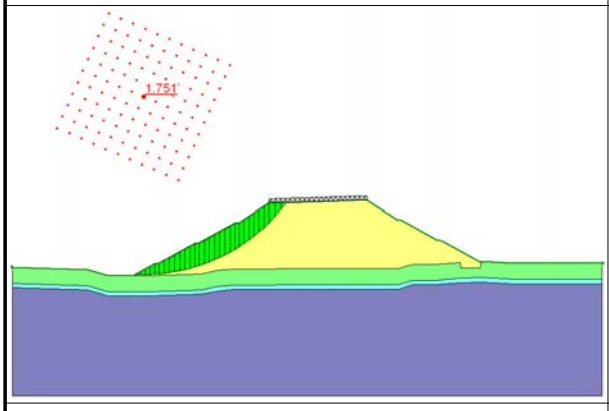
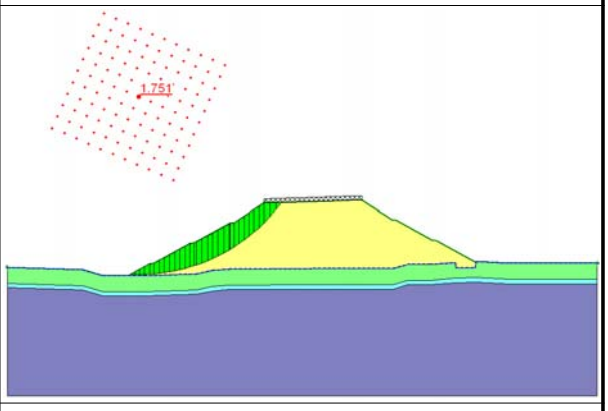
<table>
<tr><td colspan="2">검 토 단 면</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 

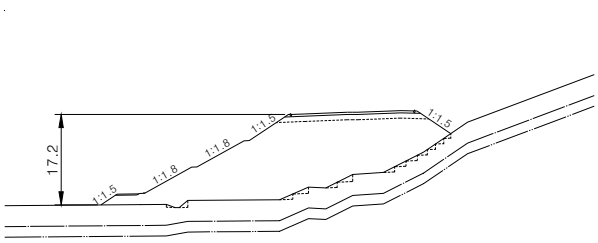
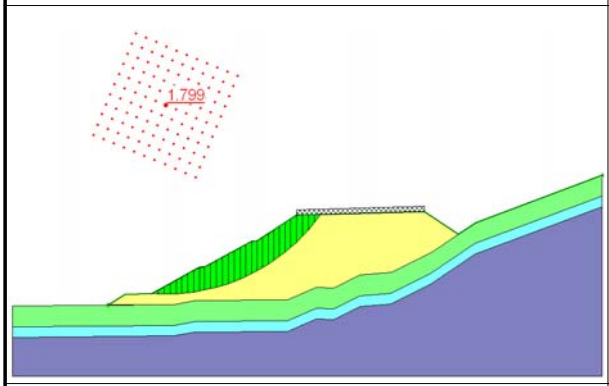
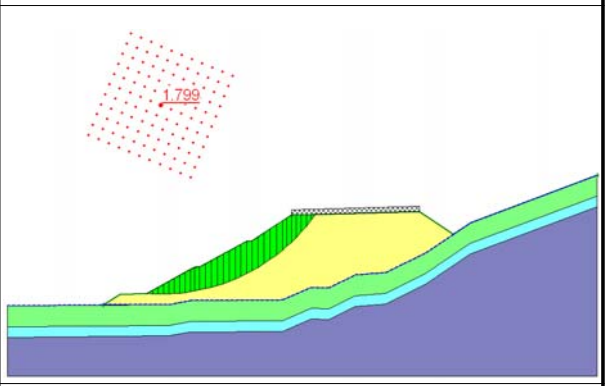
•구 간 : 쌓기 1구간(STA.0+000~0+048)
•대표단면 : STA.0+000
•쌓기높이 : 16.6m
•원지반 지층현황 : 풍화토/연암</td></tr>
<tr><td>건기시</td><td>우기시</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>FS = 1.764 > 1.5 … O.K</td><td>FS = 1.764 > 1.3 … O.K</td></tr>
</table>

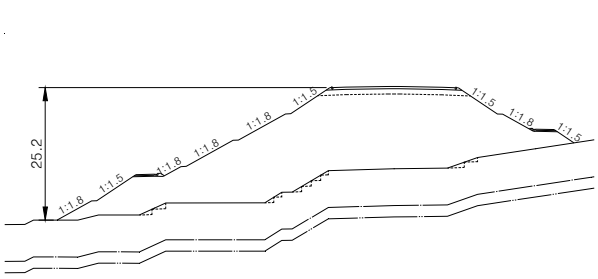
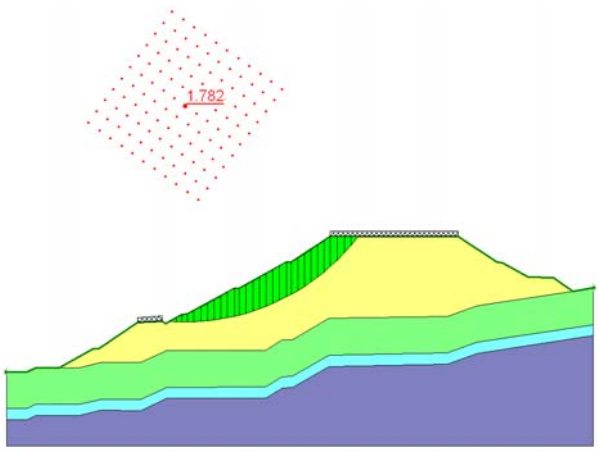
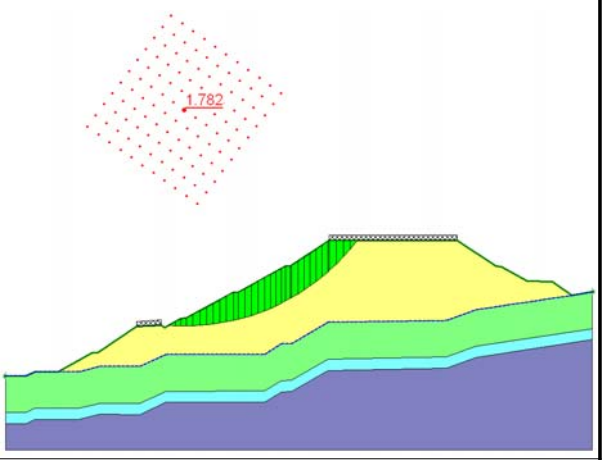
<table>
<tr><td colspan="2">검 토 단 면</td></tr>
<tr><td colspan="2"> 

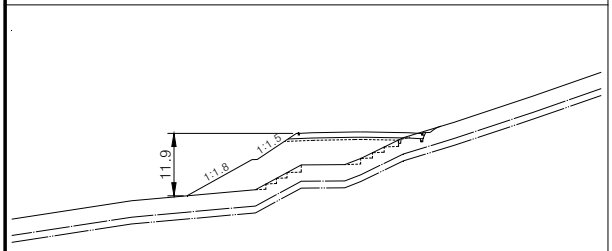
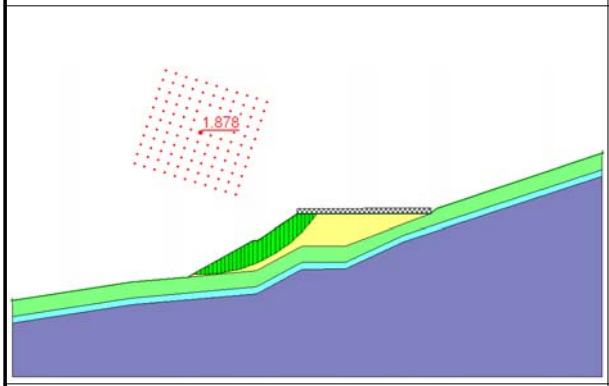
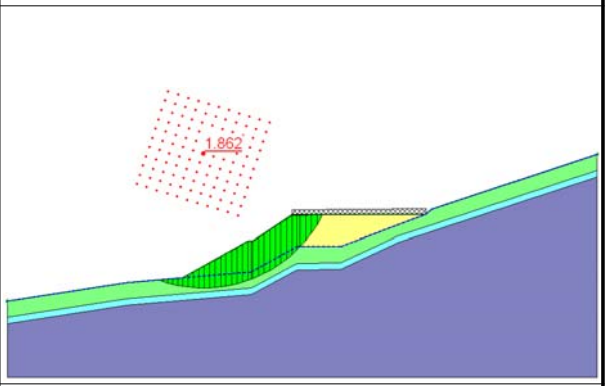
•구 간 : 쌓기 7구간(STA.2+571~2+813)
•대표단면 : STA.2+780
•쌓기높이 : 12.2m
•원지반 지층현황 : 풍화토/풍화암/연암</td></tr>
<tr><td>건기시</td><td>우기시</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>FS = 1.920 > 1.5 … O.K</td><td>FS = 1.903 > 1.3 … O.K</td></tr>
</table>

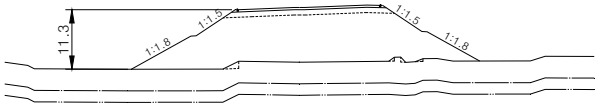
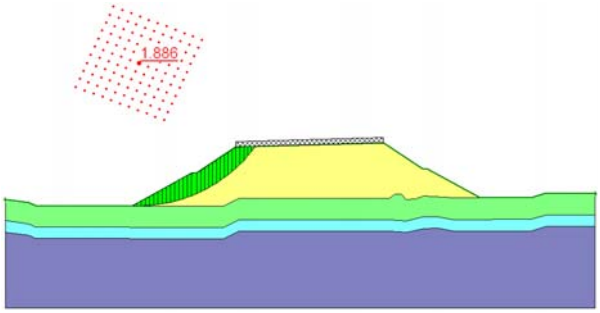
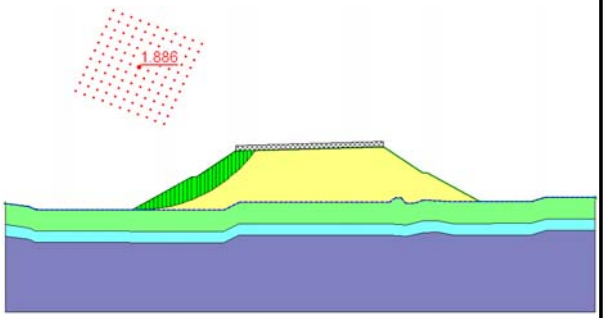
검 토 단 면	
	•구 간 : 쌓기 10구간(STA.3+380~3+661) •대표단면 : STA.3+540 •쌓기높이 : 13.9m •원지반 지층현황 : 풍화토/풍화암/연암
건기시	**우기시**
	
FS = 1.777 > 1.5 … O.K	FS = 1.777 > 1.3 … O.K

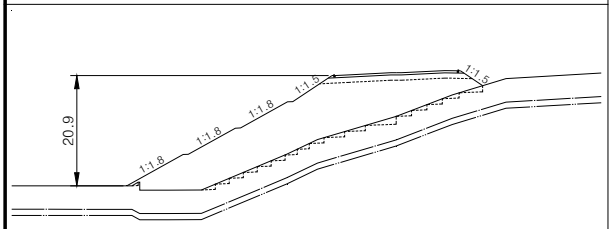
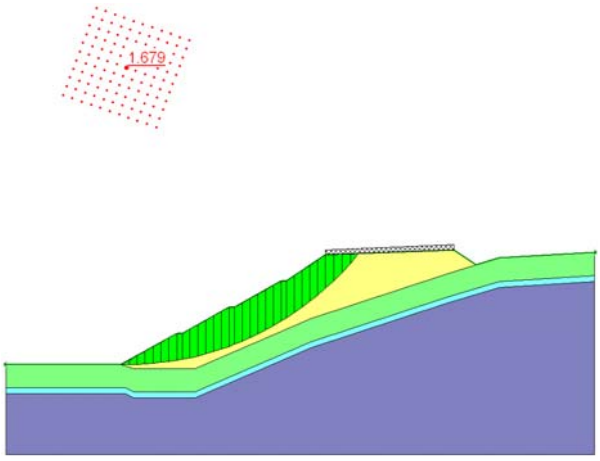
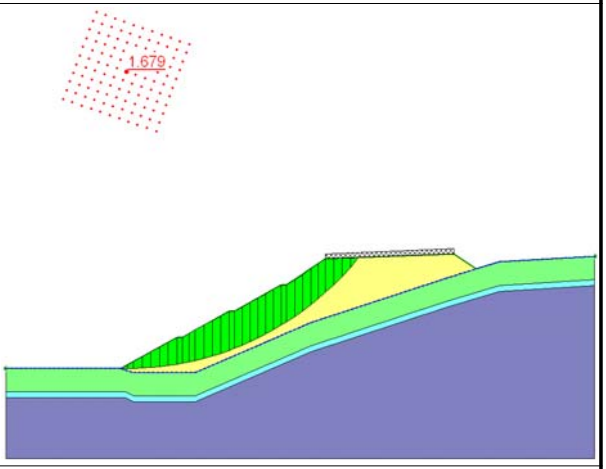
검 토 단 면	
	•구 간 : 쌓기 11구간(STA.3+992~4+607) •대표단면 : STA.4+060 •쌓기높이 : 17.9m •원지반 지층현황 : 풍화토/풍화암/연암
건기시	**우기시**
	
FS = 1.751 > 1.5 … O.K	FS = 1.751 > 1.3 … O.K

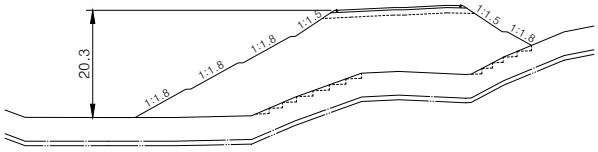
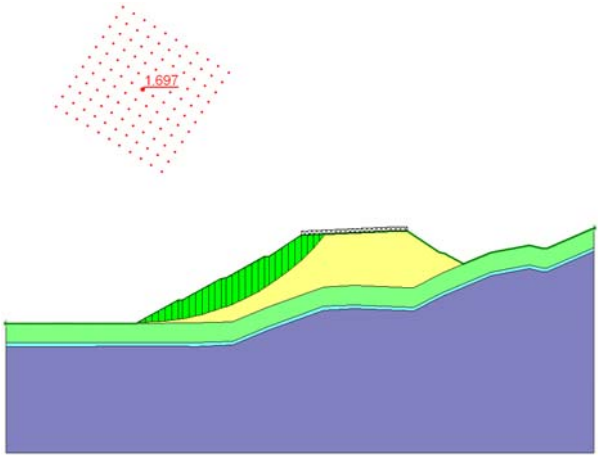
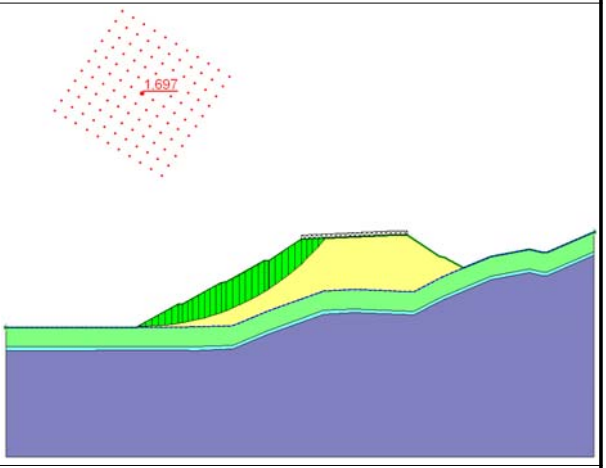
검 토 단 면	
	•구 간 : 쌓기 11구간(STA.3+992~4+607) •대표단면 : STA.4+240 •쌓기높이 : 17.2m •원지반 지층현황 : 풍화토/풍화암/연암
건기시	우기시
	
FS = 1.799 > 1.5 … O.K	FS = 1.799 > 1.3 … O.K

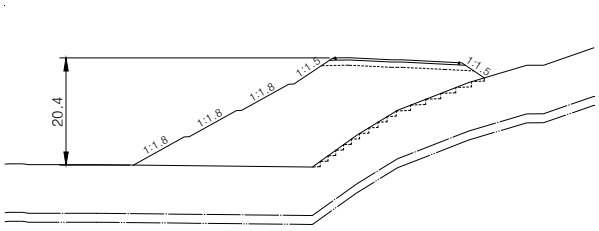
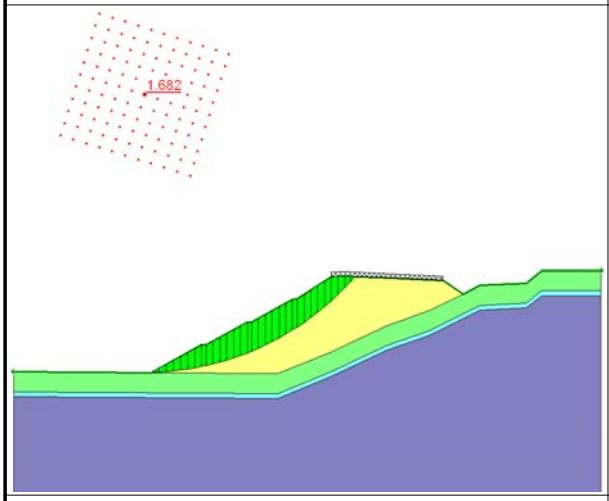
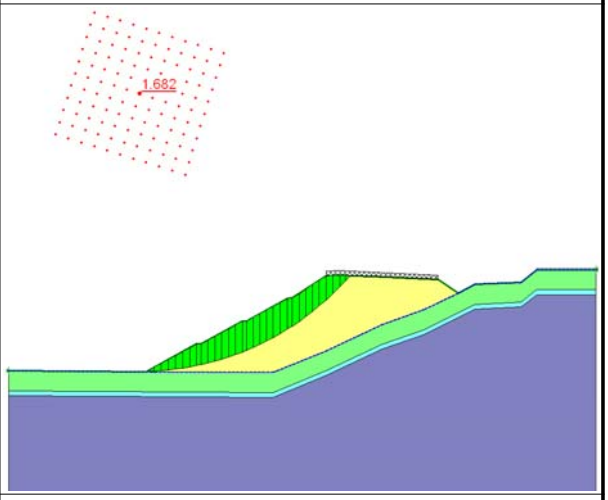
검 토 단 면	
	•구 간 : 쌓기 12구간(STA.4+907~5+236) •대표단면 : STA.5+100 •쌓기높이 : 25.2m •원지반 지층현황 : 풍화토/풍화암/연암
건기시	우기시
	
FS = 1.782 > 1.5 … O.K	FS = 1.782 > 1.3 … O.K

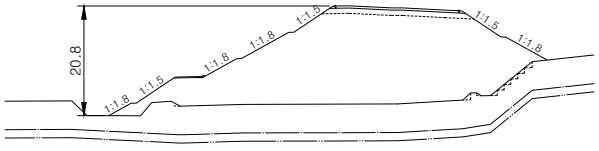
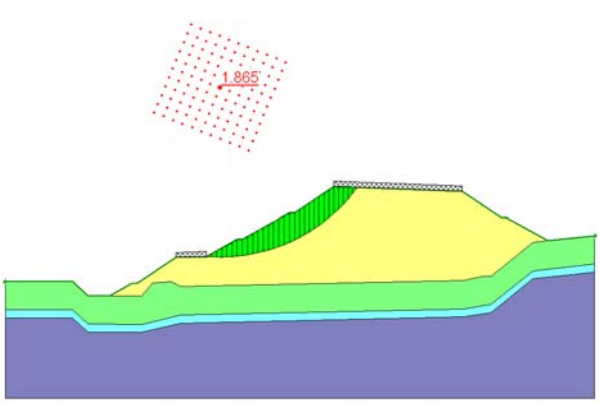
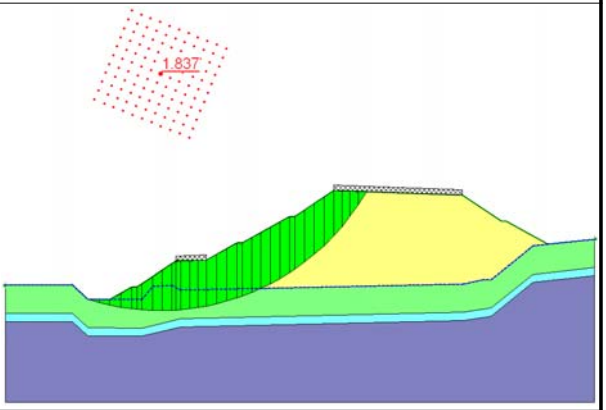
검 토 단 면	
	•구 간 : 쌓기 13구간(STA.5+412~5+469) •대표단면 : STA.5+460 •쌓기높이 : 11.9m •원지반 지층현황 : 풍화토/풍화암/연암
건기시	**우기시**
	
FS = 1.878 > 1.5 … O.K	FS = 1.862 > 1.3 … O.K

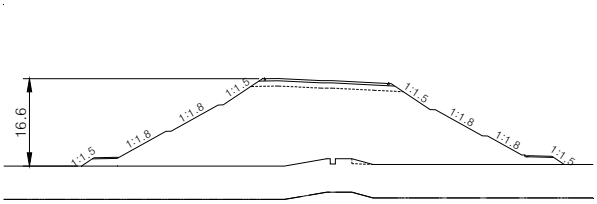
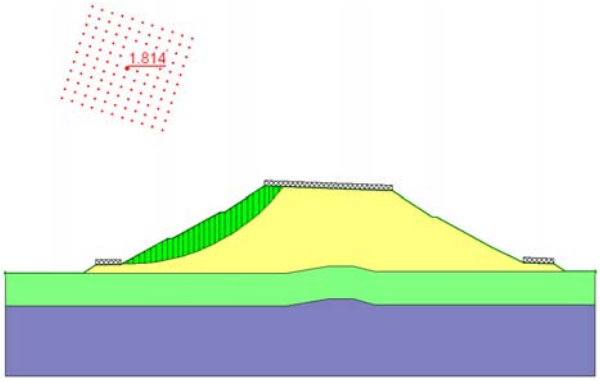
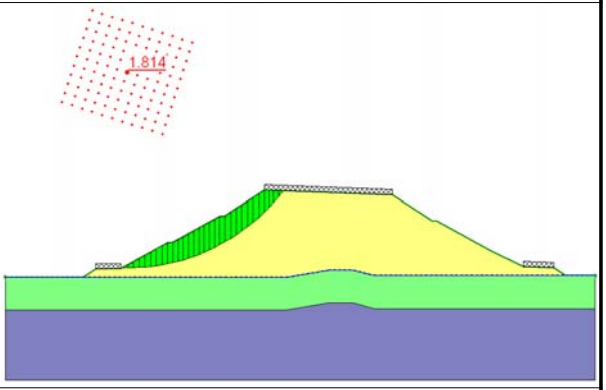
검 토 단 면	
	•구 간 : 쌓기 15구간(STA.6+603~6+829) •대표단면 : STA.6+740 •쌓기높이 : 11.3m •원지반 지층현황 : 풍화토/풍화암/연암
건기시	**우기시**
	
FS = 1.886 > 1.5 … O.K	FS = 1.886 > 1.3 … O.K

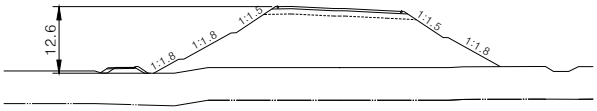
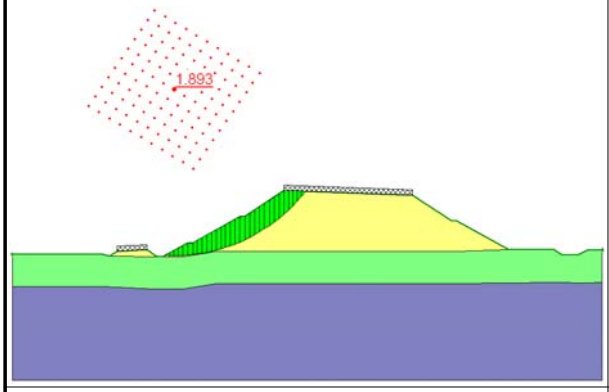
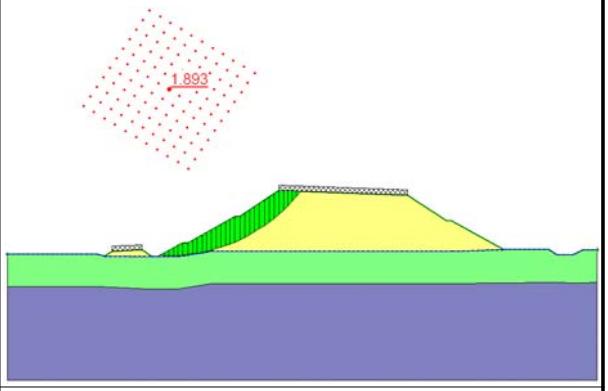
검 토 단 면	
	•구 간 : 쌓기 20구간(STA.8+890~9+060) •대표단면 : STA.8+980 •쌓기높이 : 20.9m •원지반 지층현황 : 풍화토/풍화암/연암
건기시	우기시
	
FS = 1.679 > 1.5 … O.K	FS = 1.679 > 1.3 … O.K

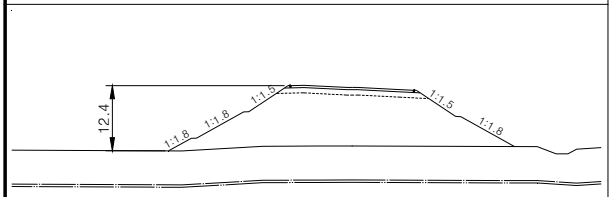
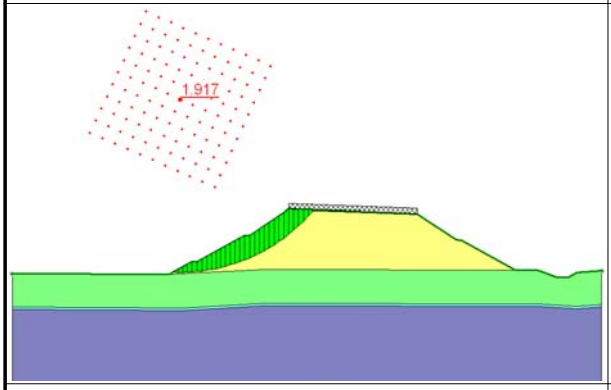
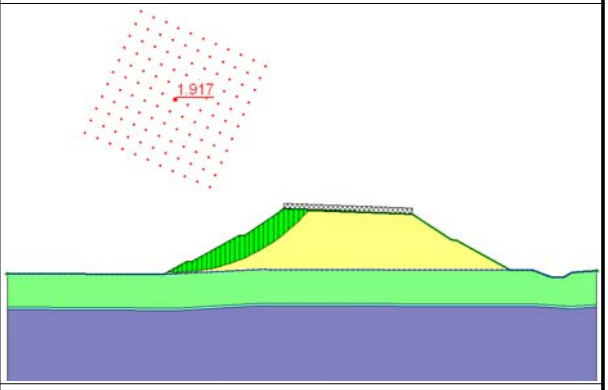
검 토 단 면	
	•구 간 : 쌓기 20구간(STA.8+890~9+060) •대표단면 : STA.9+000 •쌓기높이 : 20.3m •원지반 지층현황 : 풍화토/풍화암/연암
건기시	우기시
	
FS = 1.697 > 1.5 … O.K	FS = 1.697 > 1.3 … O.K

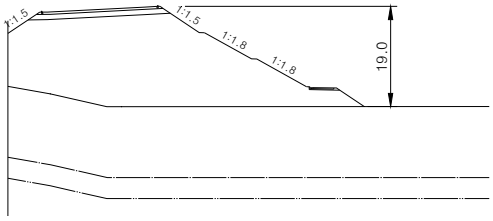
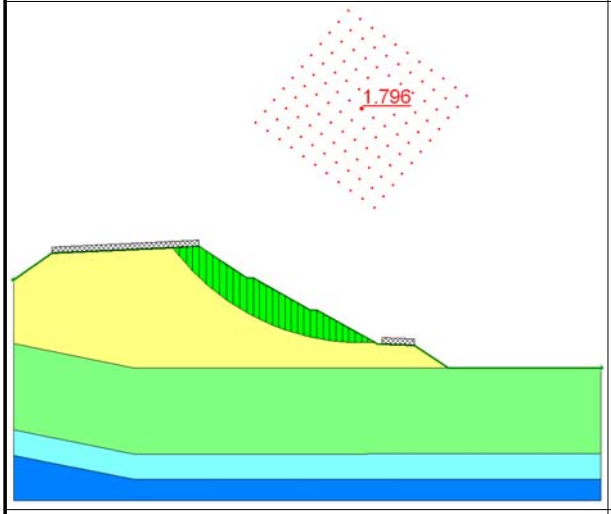
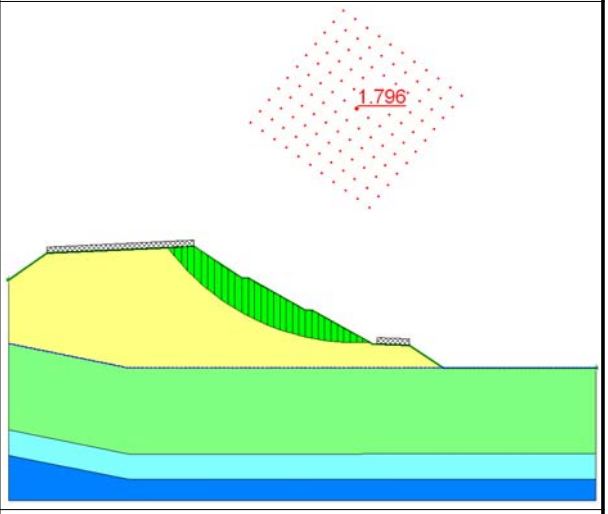
검 토 단 면	
	•구 간 : 쌓기 22구간(STA.9+781~10+058) •대표단면 : STA.9+840 •쌓기높이 : 20.4m •원지반 지층현황 : 풍화토/풍화암/연암
건기시	우기시
	
FS = 1.682 > 1.5 … O.K	FS = 1.682 > 1.3 … O.K

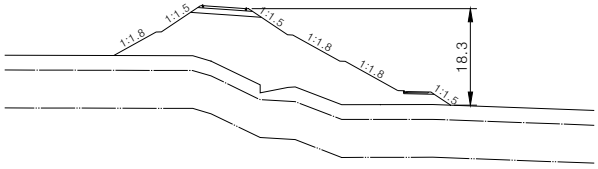
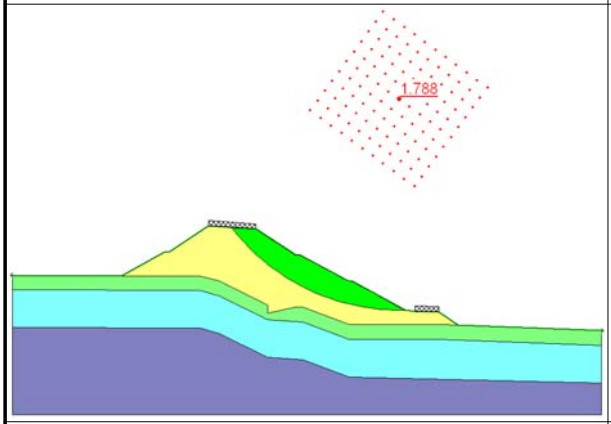
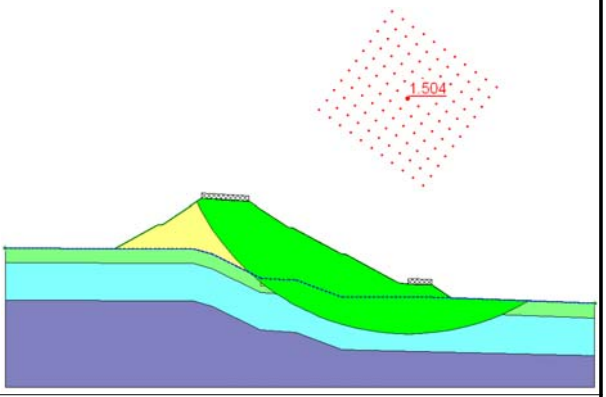
검 토 단 면	
	•구 간 : 쌓기 22구간(STA.9+781~10+058) •대표단면 : STA.9+920 •쌓기높이 : 20.8m •원지반 지층현황 : 풍화토/풍화암/연암
건기시	우기시
	
FS = 1.865 > 1.5 … O.K	FS = 1.837 > 1.3 … O.K

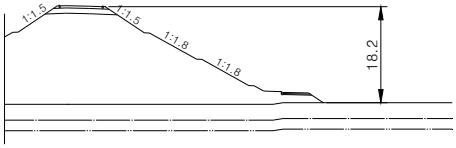
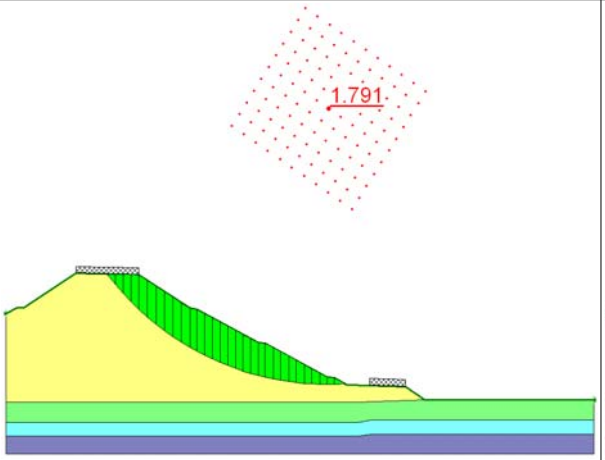
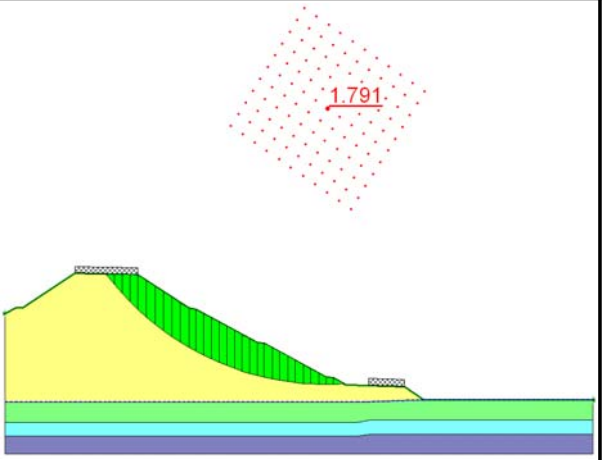
검 토 단 면	
	•구 간 : 쌓기 24구간(STA.10+344~10+503) •대표단면 : STA.10+400 •쌓기높이 : 16.6m •원지반 지층현황 : 풍화토/연암
건기시	우기시
	
FS = 1.814 > 1.5 … O.K	FS = 1.814 > 1.3 … O.K

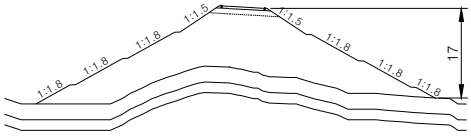
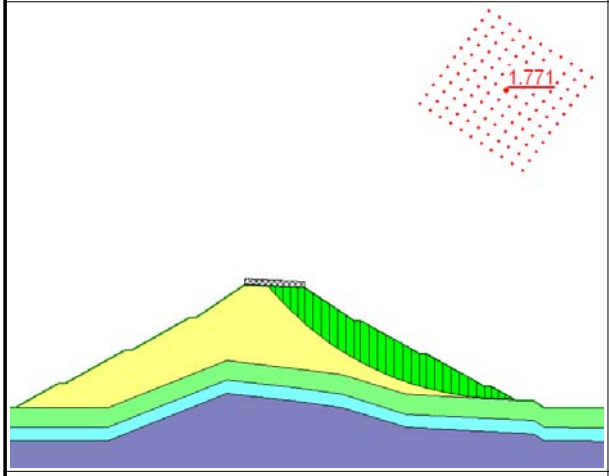
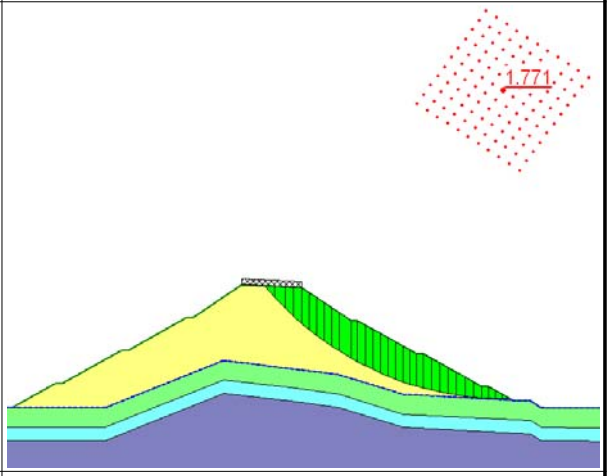
검 토 단 면	
	•구 간 : 쌓기 25구간(STA.10+543~11+152) •대표단면 : STA.10+560 •쌓기높이 : 12.6m •원지반 지층현황 : 풍화토/연암
건기시	우기시
	
FS = 1.893 > 1.5 … O.K	FS = 1.893 > 1.3 … O.K

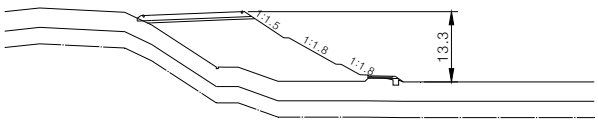
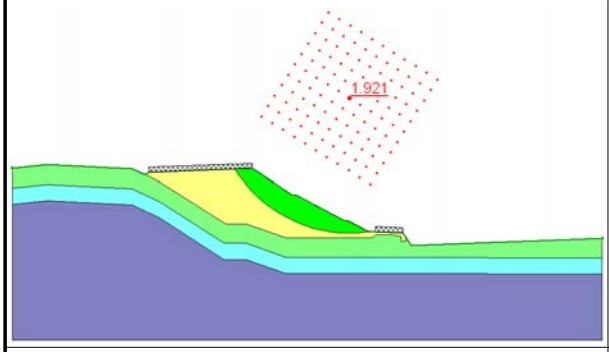
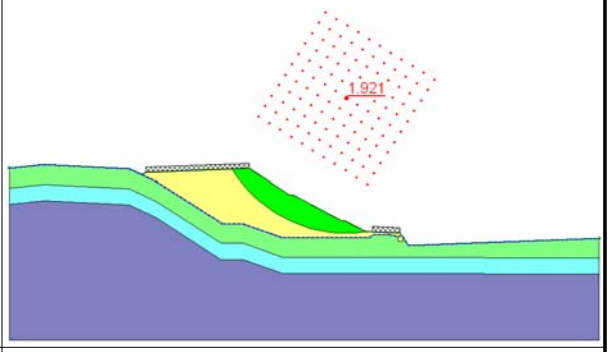
검 토 단 면	
	•구 간 : 쌓기 26구간(STA.11+252~11+289) •대표단면 : STA.11+280 •쌓기높이 : 12.4m •원지반 지층현황 : 풍화토/풍화암/연암
건기시	우기시
	
FS = 1.917 > 1.5 … O.K	FS = 1.917 > 1.3 … O.K

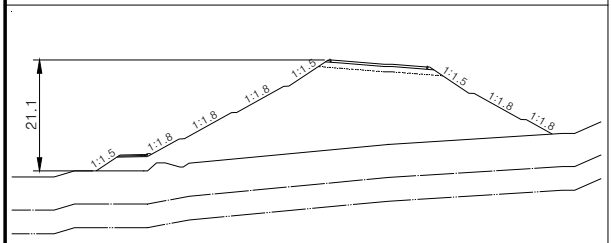
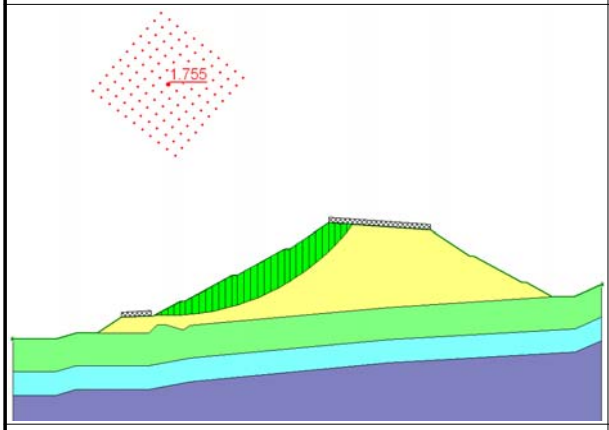
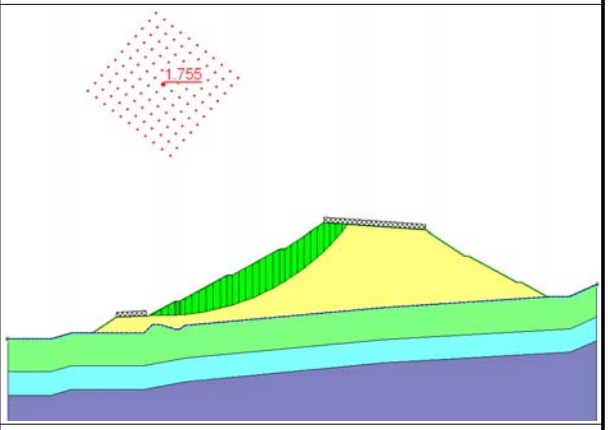
검 토 단 면	
	•구 간 : 옥산JCT R-A(STA.1+040~1+168) •대표단면 : STA.1+060 •쌓기높이 : 19.0m •원지반 지층현황 : 풍화토/풍화암/연암
건기시	우기시
	
FS = 1.796 > 1.5 … O.K	FS = 1.796 > 1.3 … O.K

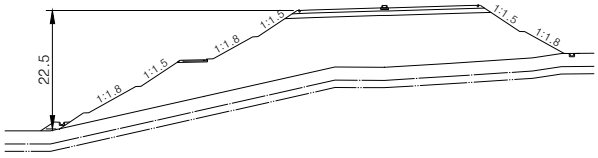
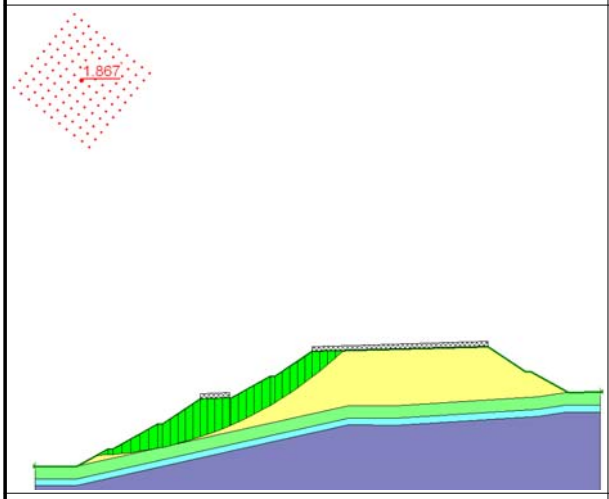
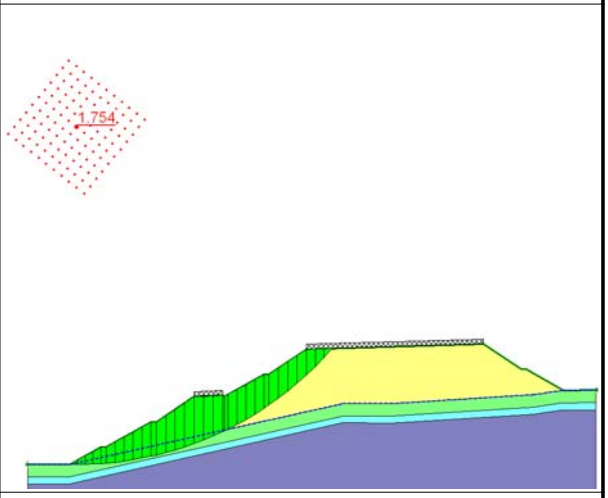
검 토 단 면	
	•구 간 : 옥산JCT R-B(STA.0+000~1+328) •대표단면 : STA.1+280 •쌓기높이 : 18.3m •원지반 지층현황 : 매립층/충적층/연암
건기시	우기시
	
FS = 1.788 > 1.5 … O.K	FS = 1.504 > 1.3 … O.K

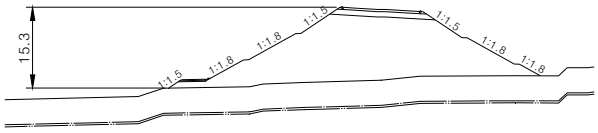
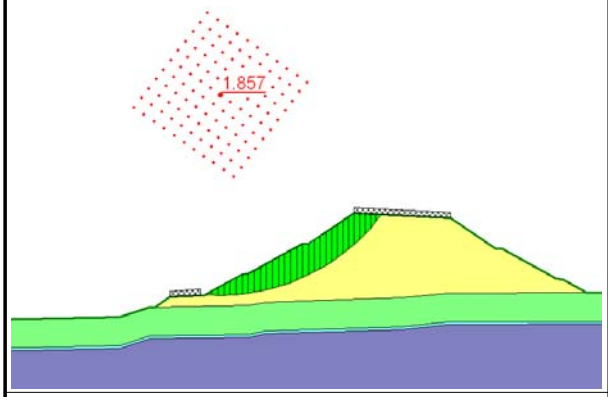
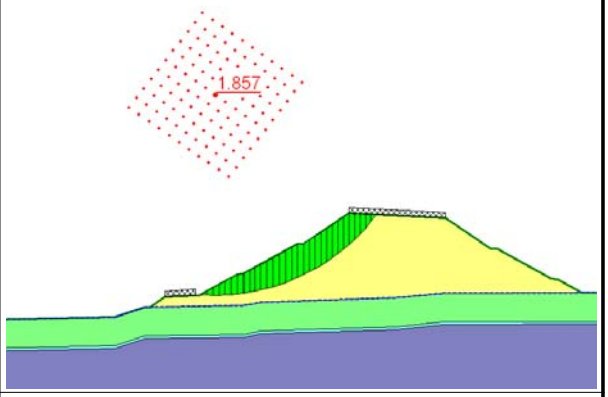
검 토 단 면	
	•구 간 : 옥산JCT R-C(STA.0+290~0+411) •대표단면 : STA.0+360 •쌓기높이 : 18.2m •원지반 지층현황 : 풍화토/풍화암/연암
건기시	우기시
	
FS = 1.791 > 1.5 … O.K	FS = 1.791 > 1.3 … O.K

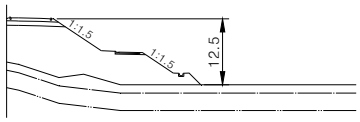
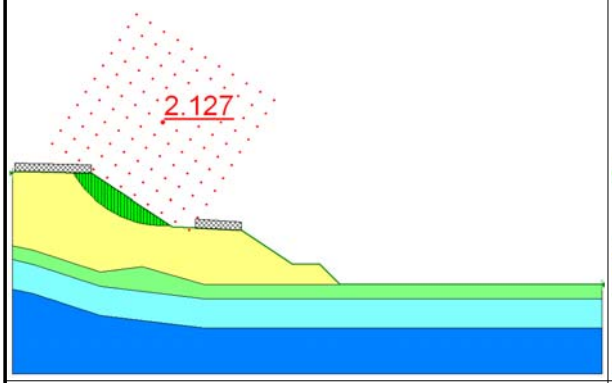
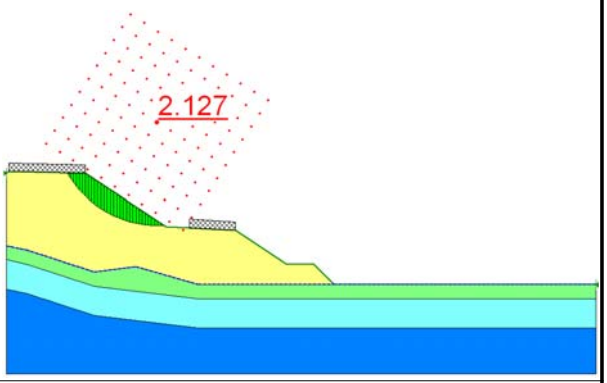
검 토 단 면	
	•구 간 : 옥산JCT R-C(STA.0+631~1+720) •대표단면 : STA.0+960 •쌓기높이 : 17.0m •원지반 지층현황 : 풍화토/풍화암/연암
건기시	**우기시**
	
FS = 1.771 > 1.5 … O.K	FS = 1.771 > 1.3 … O.K

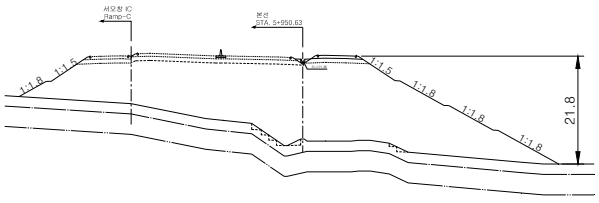
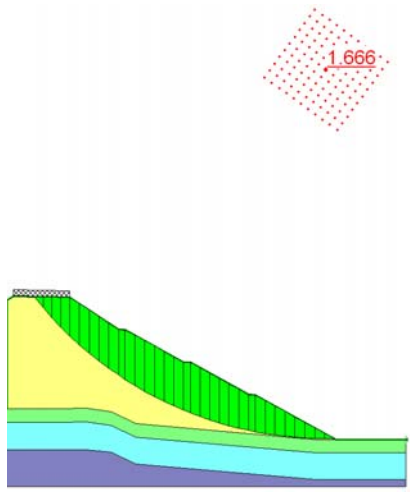
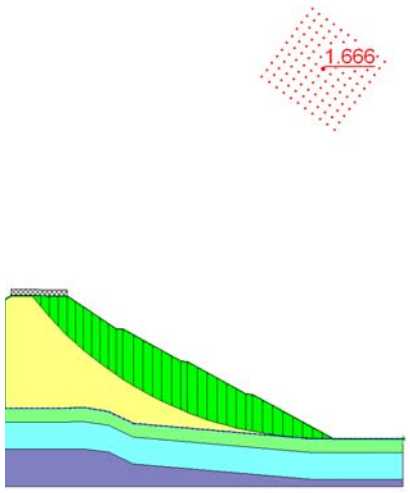
검 토 단 면	
	•구 간 : 옥산JCT R-D(STA.0+590~1+960) •대표단면 : STA.1+040 •쌓기높이 : 13.3m •원지반 지층현황 : 매립층/충적층/풍화암
건기시	**우기시**
	
FS = 1.921 > 1.5 … O.K	FS = 1.921 > 1.3 … O.K

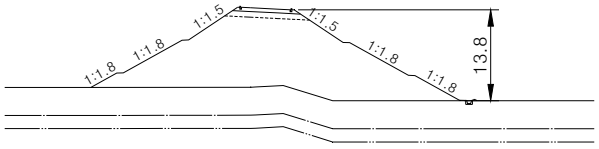
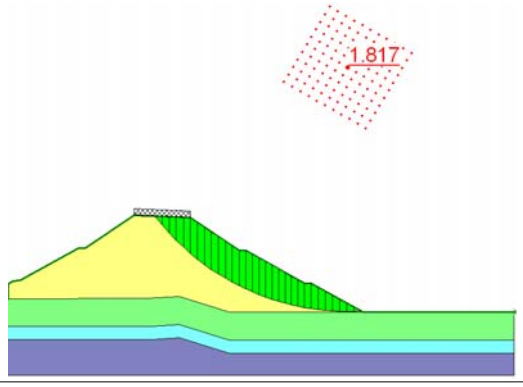
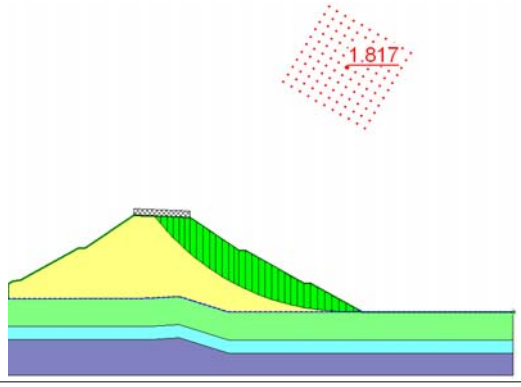
검 토 단 면	
	•구 간 : 서오창IC R-A(STA.0+000~0+310) •대표단면 : STA.0+120 •쌓기높이 : 21.1m •원지반 지층현황 : 풍화토/풍화암/연암
건기시	우기시
	
FS = 1.755 > 1.5 … O.K	FS = 1.755 > 1.3 … O.K

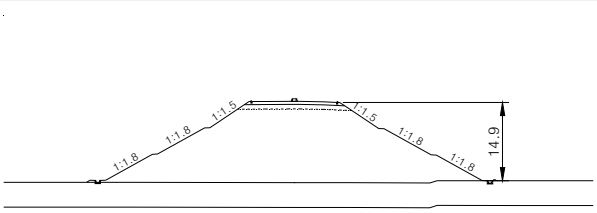
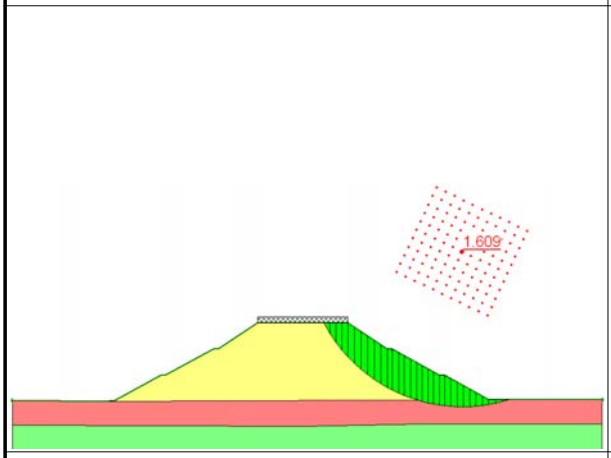
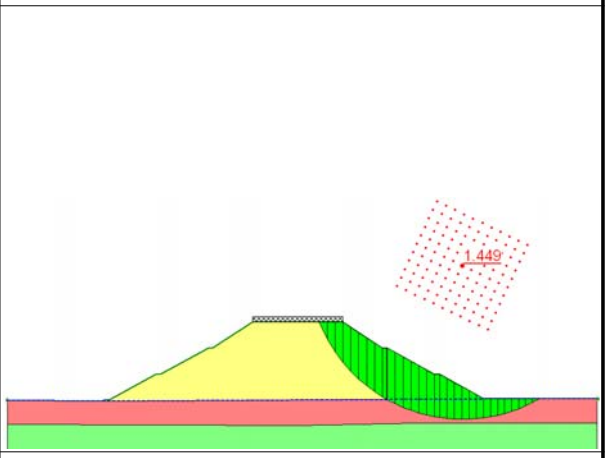
검 토 단 면	
	•구 간 : 서오창IC R-A(STA.0+436~0+950) •대표단면 : STA.0+640 •쌓기높이 : 22.5m •원지반 지층현황 : 풍화토/풍화암/연암
건기시	우기시
	
FS = 1.867 > 1.5 … O.K	FS = 1.754 > 1.3 … O.K

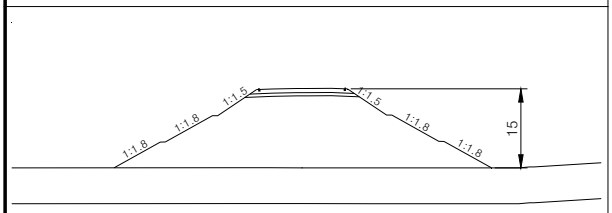
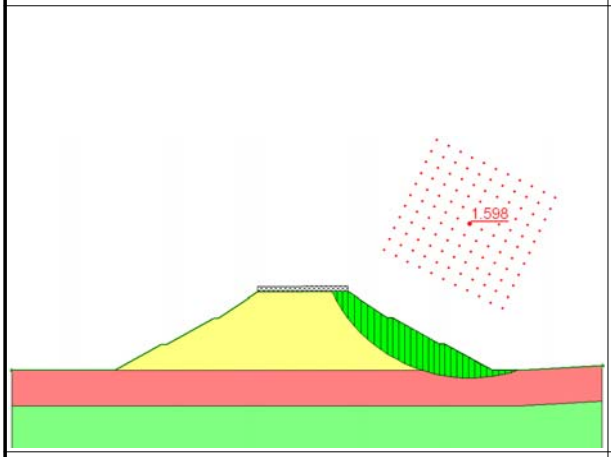
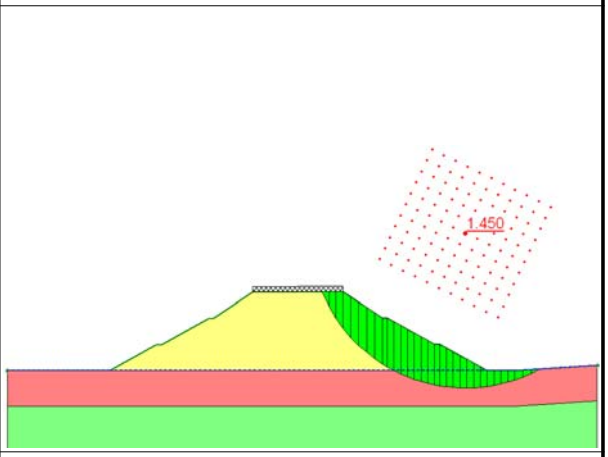
검 토 단 면	
	•구 간 : 서오창IC R-A(STA.1+280~1+555) •대표단면 : STA.1+420 •쌓기높이 : 15.3m •원지반 지층현황 : 풍화토/풍화암/연암
건기시	우기시
	
FS = 1.857 > 1.5 … O.K	FS = 1.857 > 1.3 … O.K

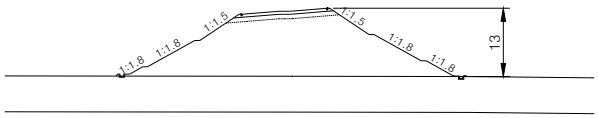
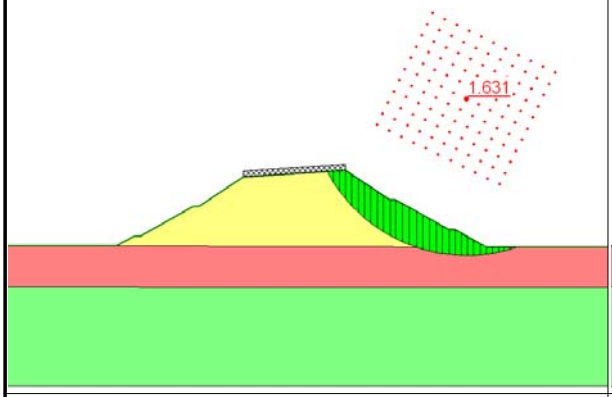
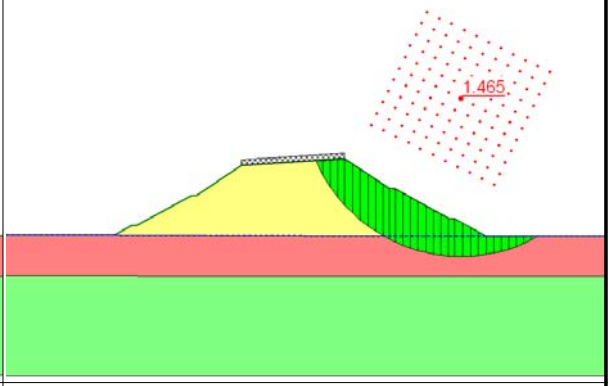
검 토 단 면	
	•구 간 : 서오창IC R-C(STA.0+190~0+330) •대표단면 : STA.0+300 •쌓기높이 : 12.5m •원지반 지층현황 : 풍화토/풍화암/연암
건기시	우기시
	
FS = 2.127 > 1.5 … O.K	FS = 2.127 > 1.3 … O.K

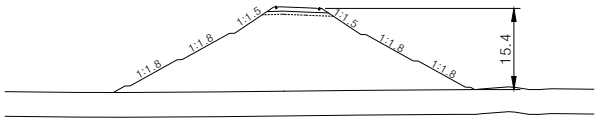
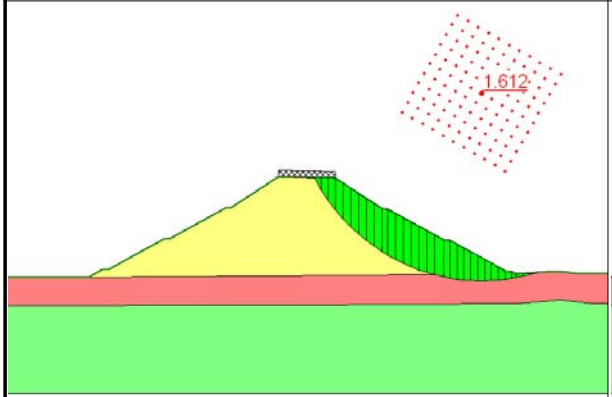
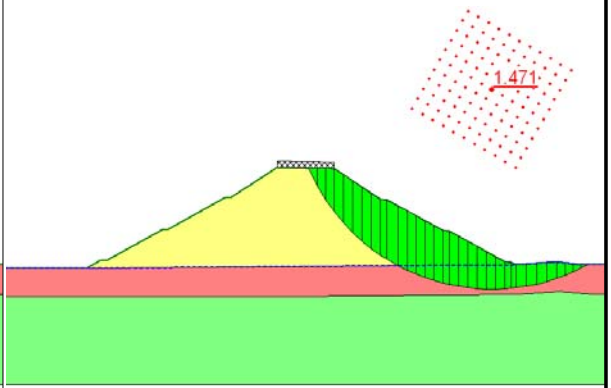
검 토 단 면	
	•구 간 : 서오창IC R-D(STA.0+690~0+870) •대표단면 : STA.0+780 •쌓기높이 : 21.8m •원지반 지층현황 : 풍화토/풍화암/연암
건기시	우기시
	
FS = 1.666 > 1.5 … O.K	FS = 1.666 > 1.3 … O.K

검 토 단 면	
	•구 간 : 서오창IC R-E(STA.0+130~0+350) •대표단면 : STA.0+260 •쌓기높이 : 13.8m •원지반 지층현황 : 풍화토/풍화암/연암
건기시	우기시
	
FS = 1.817 > 1.5 … O.K	FS = 1.817 > 1.3 … O.K

검 토 단 면	
	•구 간 : 오창JCT R-A(STA.0+000~0+294) •대표단면 : STA.0+280 •쌓기높이 : 14.9m •원지반 지층현황 : 퇴적토/풍화토
건기시	우기시
	
FS = 1.609 > 1.5 … O.K	FS = 1.449 > 1.3 … O.K

검 토 단 면	
	•구 간 : 오창JCT R-A(STA.0+394~0+630) •대표단면 : STA.0+420 •쌓기높이 : 15.0m •원지반 지층현황 : 퇴적토/풍화토
건기시	우기시
	
FS = 1.598 > 1.5 … O.K	FS = 1.450 > 1.3 … O.K

검 토 단 면	
	•구 간 : 오창JCT R-C(STA.0+000~0+278) •대표단면 : STA.0+000 •쌓기높이 : 13.0m •원지반 지층현황 : 퇴적토/풍화토
건기시	우기시
	
FS = 1.631 > 1.5 … O.K	FS = 1.465 > 1.3 … O.K

검 토 단 면	
	•구 간 : 오창JCT R-D(STA.0+696~1+017) •대표단면 : STA.0+760 •쌓기높이 : 15.4m •원지반 지층현황 : 퇴적토/풍화토
건기시	우기시
	
FS = 1.612 > 1.5 … O.K	FS = 1.471 > 1.3 … O.K

나. 쌓기 비탈면 표준경사 적용시 안정성 검토결과 요약

구 분		위 치 (STA.)	대표단면 (STA.)	안전율		판 정
				건기시 (FS>1.5)	우기시 (FS>1.3)	
본 선	1구간	0+000~0+048	0+000	1.764	1.764	O.K
	7구간	2+571~2+813	2+780	1.920	1.903	O.K
	10구간	3+380~3+661	3+540	1.777	1.777	O.K
	11구간	3+992~4+607	4+060	1.751	1.751	O.K
			4+240	1.799	1.799	O.K
	12구간	4+907~5+236	5+100	1.782	1.782	O.K
	13구간	5+412~5+469	5+460	1.878	1.862	O.K
	15구간	6+603~6+829	6+740	1.886	1.886	O.K
	20구간	8+890~9+060	8+980	1.679	1.679	O.K
			9+000	1.697	1.697	O.K
	22구간	9+781~10+058	9+840	1.682	1.682	O.K
			9+920	1.865	1.837	O.K
	24구간	10+344~10+503	10+400	1.814	1.814	O.K
	25구간	10+543~11+152	10+560	1.893	1.893	O.K
	26구간	11+252~11+289	11+280	1.917	1.917	O.K
옥산JCT	R-A	1+040~1+168	1+060	1.796	1.796	O.K
	R-B	0+000~1+328	1+280	1.788	1.504	O.K
	R-C	0+290~0+411	0+360	1.791	1.791	O.K
		0+631~1+720	0+960	1.771	1.771	O.K
	R-D	0+590~1+960	1+040	1.921	1.921	O.K
서오창IC	R-A	0+000~0+310	0+120	1.755	1.755	O.K
		0+436~0+950	0+640	1.867	1.754	O.K
		1+280~1+555	1+420	1.857	1.857	O.K
	R-C	0+190~0+330	0+300	2.127	2.127	O.K
	R-D	0+690~0+870	0+780	1.666	1.666	O.K
	R-E	0+130~0+350	0+260	1.817	1.817	O.K
오창JCT	R-A	0+000~0+294	0+280	1.609	1.449	O.K
		0+394~0+630	0+420	1.598	1.450	O.K
	R-C	0+000~0+278	0+000	1.631	1.465	O.K
	R-D	0+696~1+017	0+760	1.612	1.471	O.K

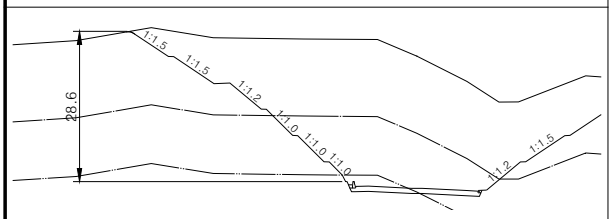
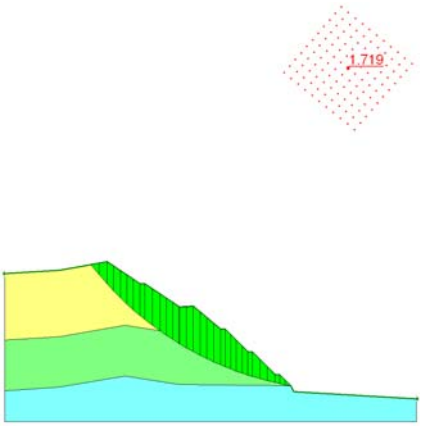
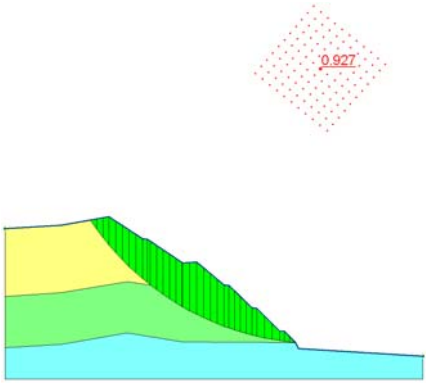
7.6.2 깎기 비탈면 안정성 검토

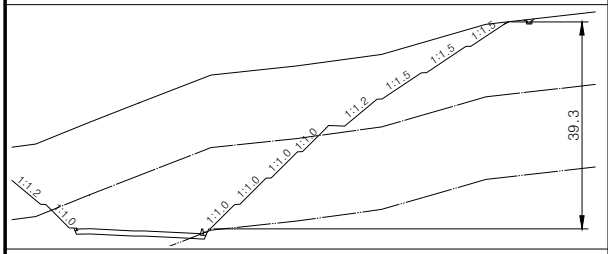
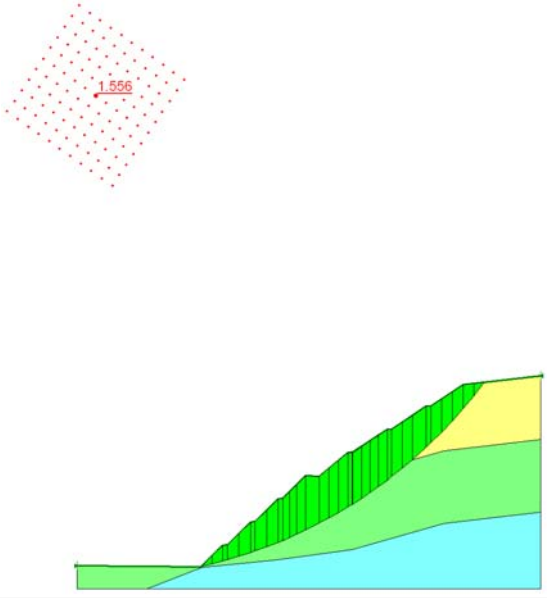
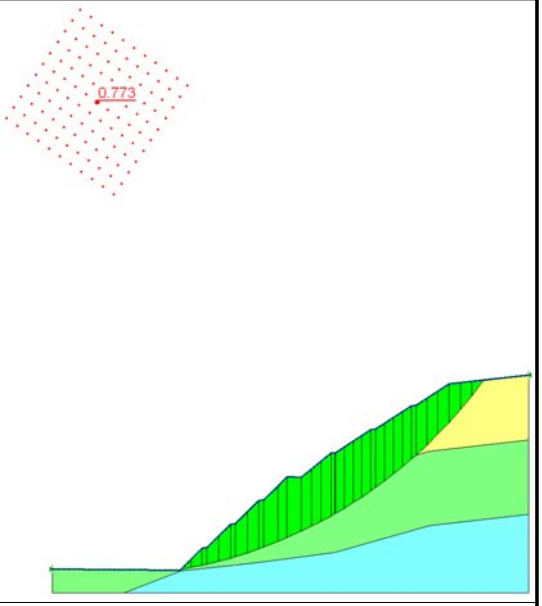
가. 토사 및 풍화암 비탈면 안정성 검토

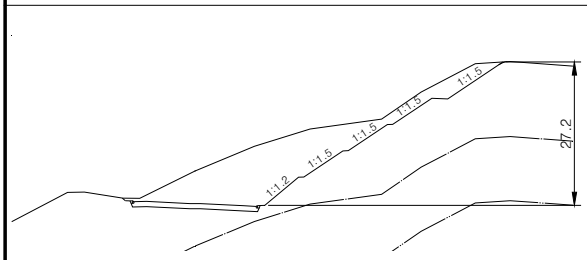
1) 토사 및 풍화암 비탈면 안정성 검토구간

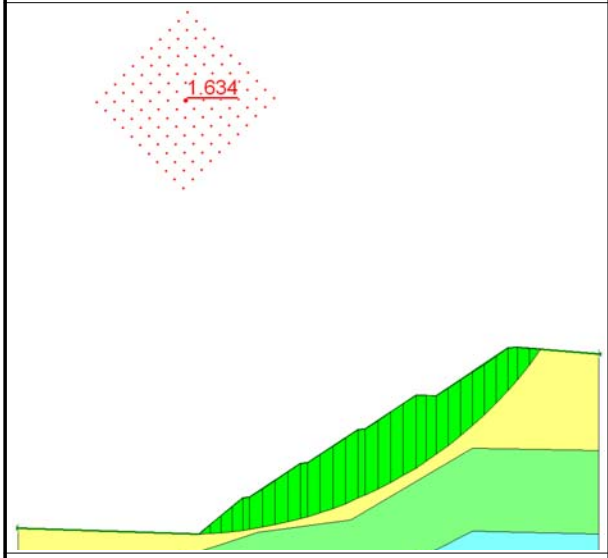
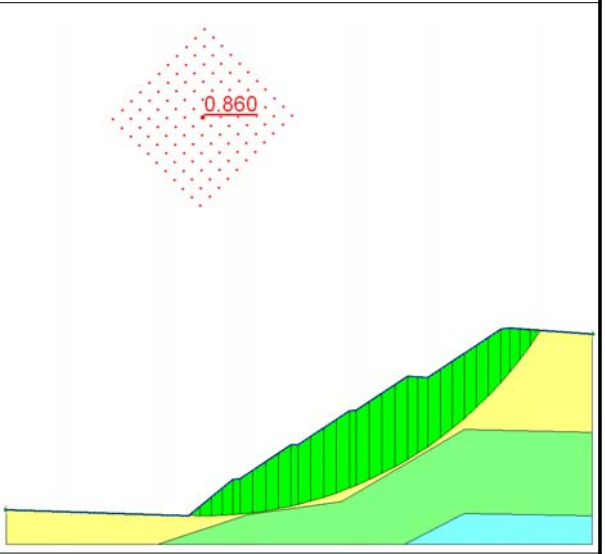
구 분		위 치 (STA.)	대표단면 (STA.)	비탈면 높이 (m)	비탈면 지층현황	비 고
본 선	1구간	0+278~0+485	0+300(옥산)	28.6	토사, 리핑, 발파	
			0+340(오창)	39.3	토사, 리핑, 발파	
			0+420(오창)	27.2	토사	
	2구간	1+326~2+081	1+520(옥산)	22.9	토사, 리핑	
			1+800(오창)	23.6	토사, 리핑	
			1+920(오창)	22.5	토사, 리핑, 발파	
	3구간	2+813~2+895	2+860(오창)	15.4	토사, 리핑, 발파	
	4구간	2+982~3+122	3+040(오창)	20.1	토사, 리핑	
	5구간	3+253~3+380	3+340(옥산)	12.6	토사	
	6구간	3+661~3+992	3+880(오창)	33.0	토사, 리핑	
	7구간	4+607~4+910	4+780(오창)	40.3	토사, 리핑	
			4+840(오창)	39.1	토사, 리핑, 발파	
			4+840(옥산)	31.1	토사, 리핑	
	12구간	7+120~7+373	7+280(오창)	23.2	토사, 리핑, 발파	
	13구간	8+014~8+890	8+220(옥산)	27.1	토사, 리핑	
			8+240(옥산)	25.0	토사, 리핑	
			8+400(옥산)	33.3	토사, 리핑	
			8+420(오창)	30.5	토사, 리핑	
			8+540(오창)	29.9	토사, 리핑	
			8+680(오창)	34.9	토사, 리핑, 발파	
			8+780(오창)	37.5	토사, 리핑	
			8+840(옥산)	18.3	토사, 리핑, 발파	
	14구간	9+200~9+402	9+300(옥산)	18.6	토사, 리핑, 발파	
	15구간	9+512~9+781	9+620(옥산)	18.7	토사, 리핑, 발파	
	16구간	10+058~10+159	10+100(오창)	21.6	토사, 리핑	
옥산JCT	R-A	0+530~0+860	0+640 우측	22.3	토사	
서오창IC	R-A	0+950~1+186	1+060 좌측	28.8	토사, 리핑, 발파	
	R-C	0+345~0+802	0+500 우측	23.9	토사, 리핑, 발파	
			0+660 우측	32.8	토사, 리핑, 발파	
	R-D	0+084~0+570	0+240 우측	19.9	토사, 리핑, 발파	
	R-H	0+000~0+390	0+260 우측	35.5	토사, 리핑, 발파	

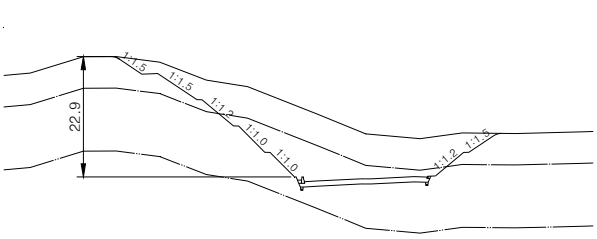
2) 토사 및 풍화암 비탈면 안정성 검토결과

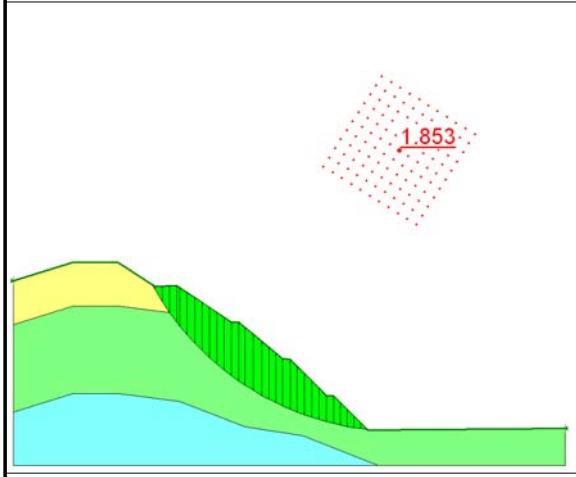
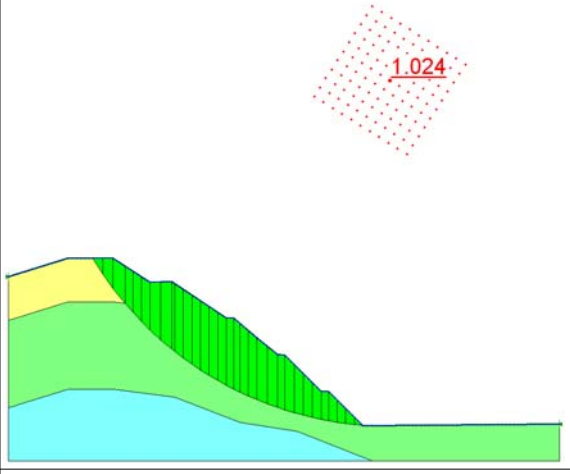
검 토 단 면	•구 간 : 깎기 1구간(STA.0+278~0+485) •대표단면 : STA. 0+300(옥산방향) •깎기높이 : 28.6m •깎기 지층현황 : 토사 16.0m, 리핑 11.3m, 발파 1.3m •시추공 : SCB-2
	
건기시	**우기시**
	
FS = 1.719 > 1.5 … O.K	FS = 0.927 < 1.2 … N.G

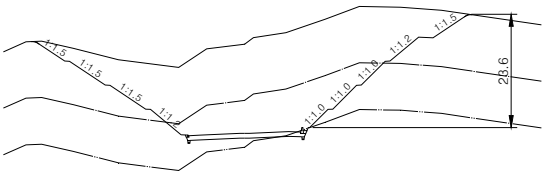
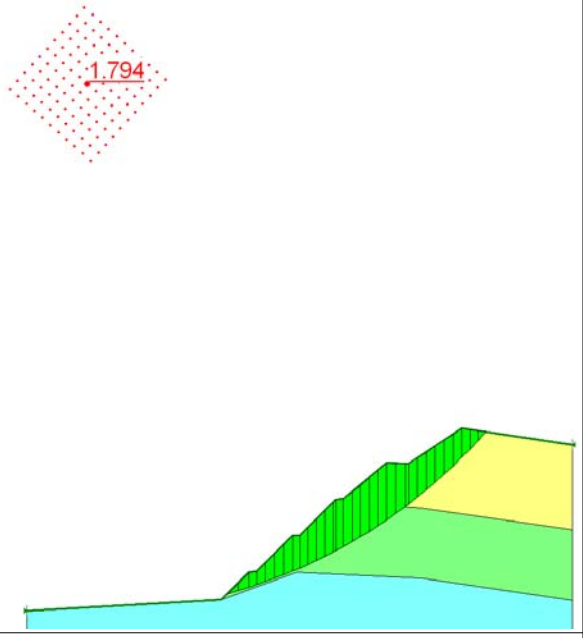
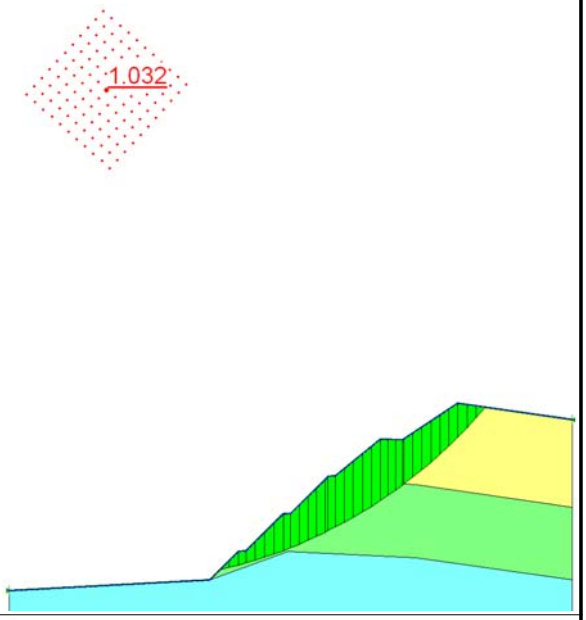
검 토 단 면	•구 간 : 깎기 1구간(STA.0+278~0+485) •대표단면 : STA. 0+340(오창방향) •깎기높이 : 39.3m •깎기 지층현황 : 토사 21.6m, 리핑 17.7m •시추공 : SCB-2
	
건기시	**우기시**
	
FS = 1.556 > 1.5 … O.K	FS = 0.773 < 1.2 … N.G

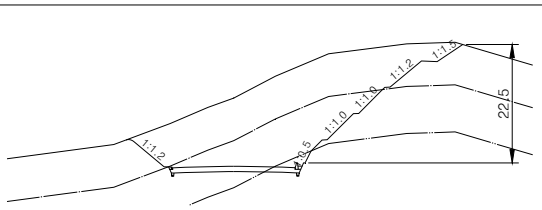
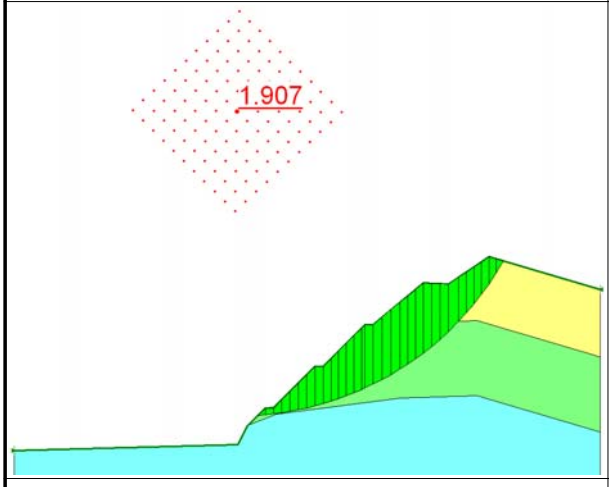
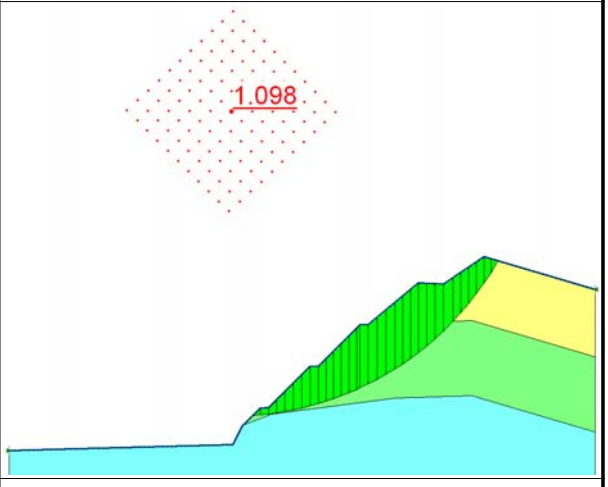
검 토 단 면	•구 간 : 깎기 1구간(STA.0+278~0+485) •대표단면 : STA. 0+420(오창방향) •깎기높이 : 27.2m •깎기 지층현황 : 토사 27.2m •시추공 : -
	

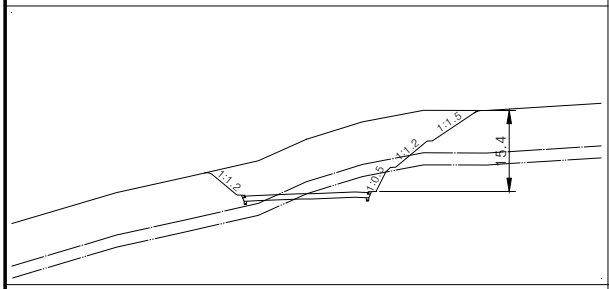
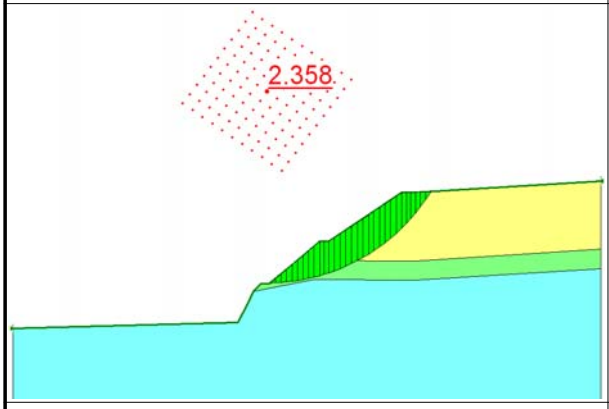
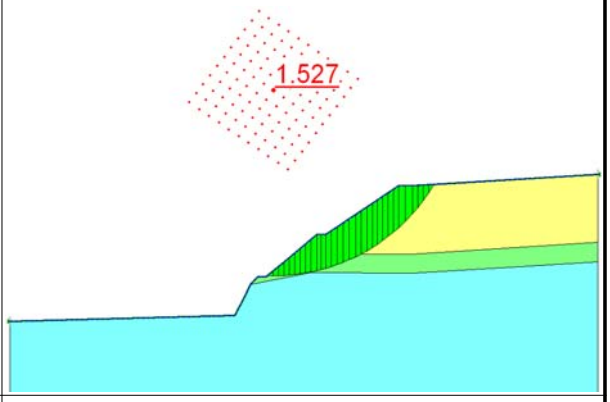
건기시	우기시
	
FS = 1.634 > 1.5 … O.K	FS = 0.860 < 1.2 … N.G

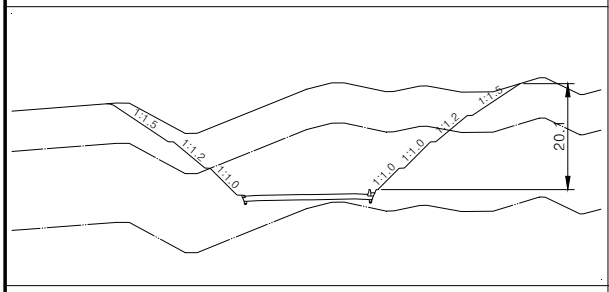
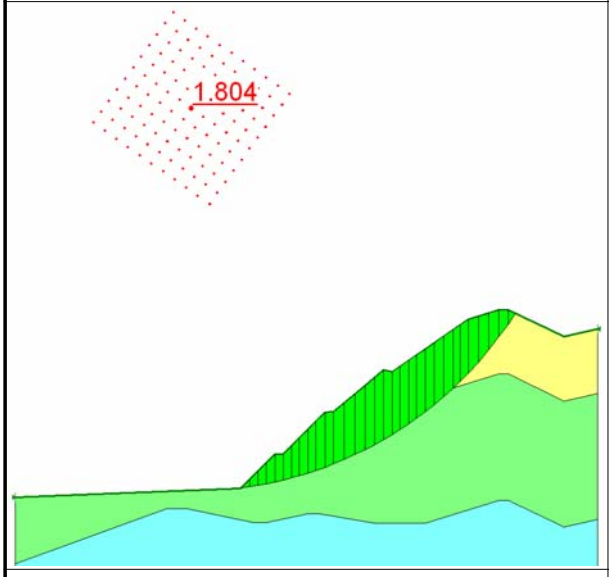
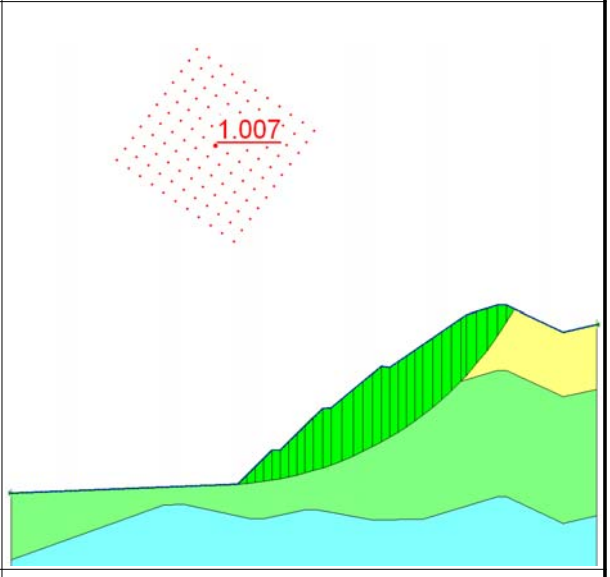
검 토 단 면	•구 간 : 깎기 2구간(STA.1+326~2+081) •대표단면 : STA. 1+520(옥산방향) •깎기높이 : 22.9m •깎기 지층현황 : 토사 10.8m, 리핑 12.0m •시추공 : SCB-6
	

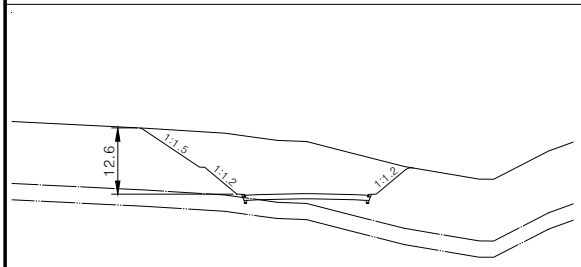
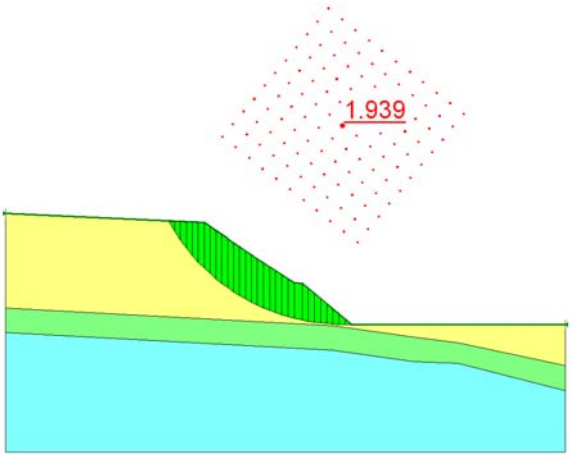
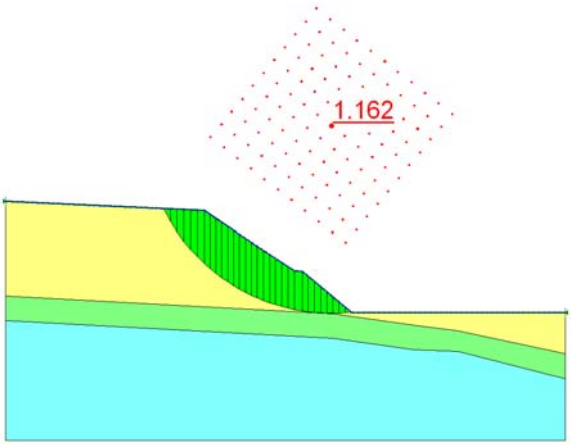
건기시	우기시
	
FS = 1.853 > 1.5 … O.K	FS = 1.024 < 1.2 … N.G

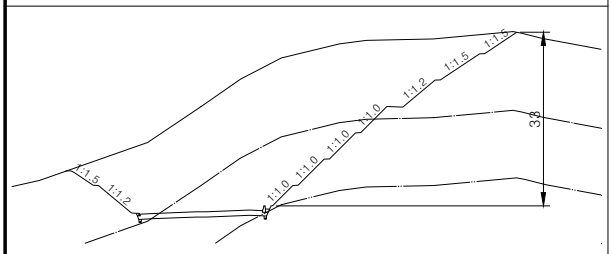
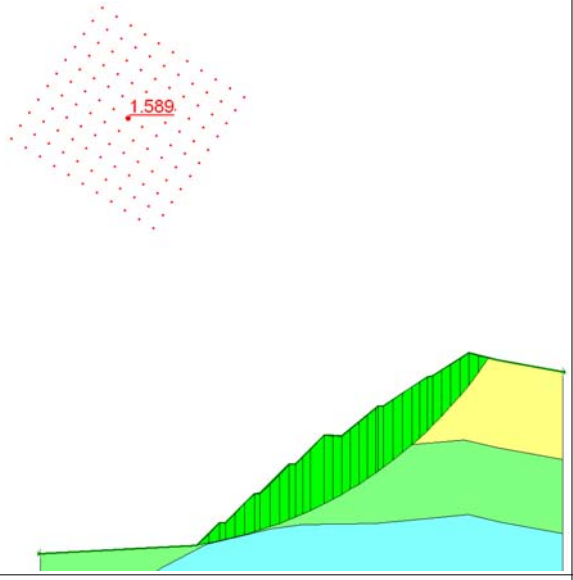
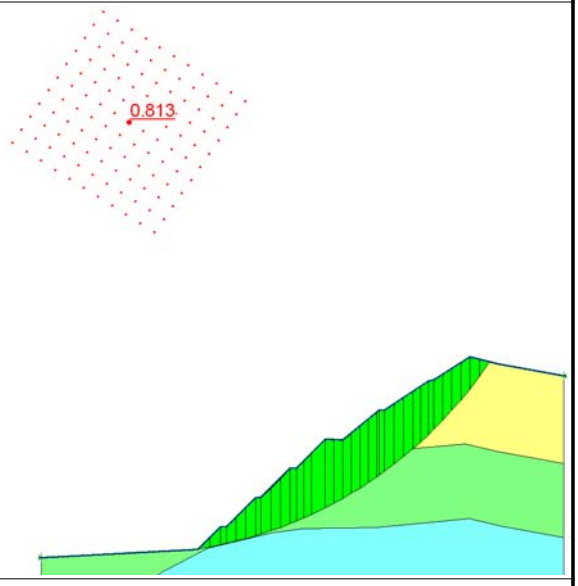
검 토 단 면	•구 간 : 깎기 2구간(STA.1+326~2+081) •대표단면 : STA. 1+800(오창방향) •깎기높이 : 23.6m •깎기 지층현황 : 토사 10.2m, 리핑 13.4m •시추공 : SCB-8
	
건기시	우기시
	
FS = 1.794 > 1.5 … O.K	FS = 1.032 < 1.2 … N.G

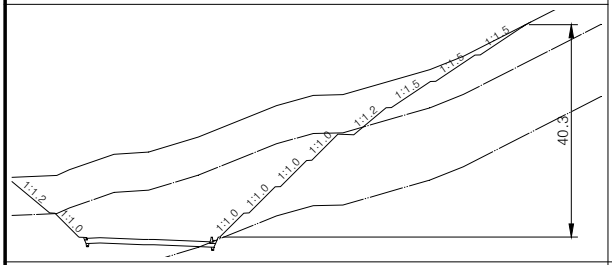
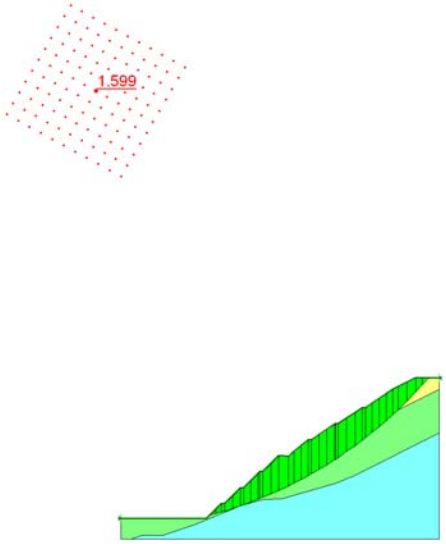
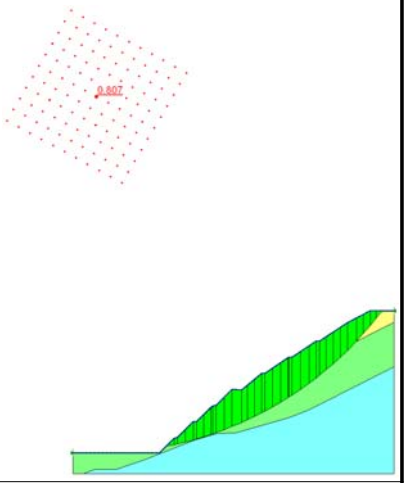
검 토 단 면	•구 간 : 깎기 2구간(STA.1+326~2+081) •대표단면 : STA. 1+920(오창방향) •깎기높이 : 22.5m •깎기 지층현황 : 토사 8.6m, 리핑 11.7m, 발파 2.2m •시추공 : -
	
건기시	우기시
	
FS = 1.907 > 1.5 … O.K	FS = 1.098 < 1.2 … N.G

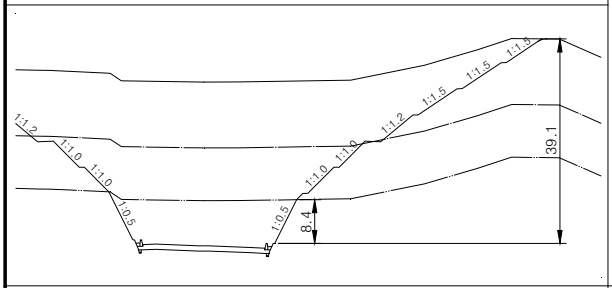
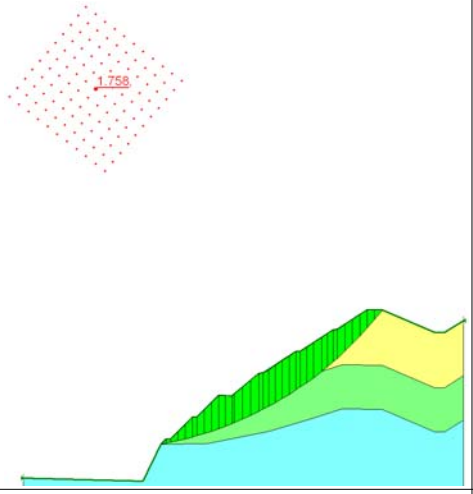
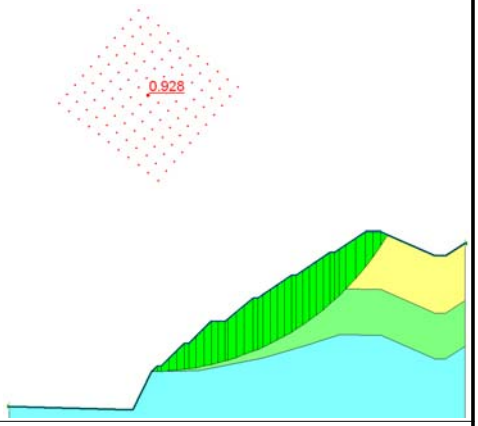
검 토 단 면	•구 간 : 깎기 3구간(STA.2+813~2+895) •대표단면 : STA. 2+860(오창방향) •깎기높이 : 15.4m •깎기 지층현황 : 토사 8.1m, 리핑 2.3m, 발파 5.0m •시추공 : –
	
건기시	우기시
	
FS = 2.358 > 1.5 … O.K	FS = 1.527 > 1.2 … O.K

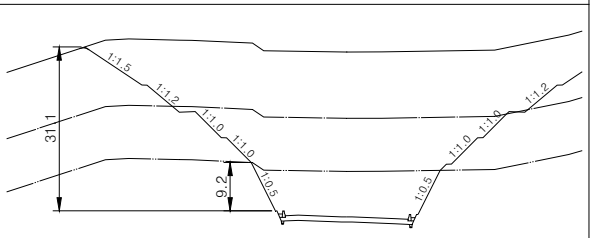
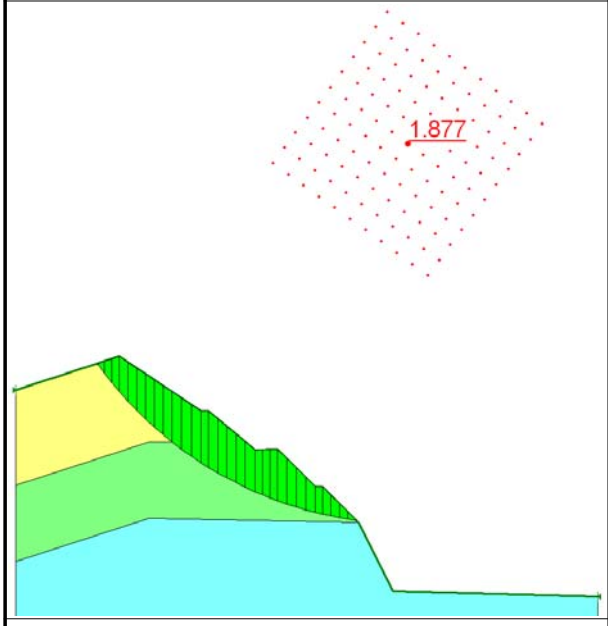
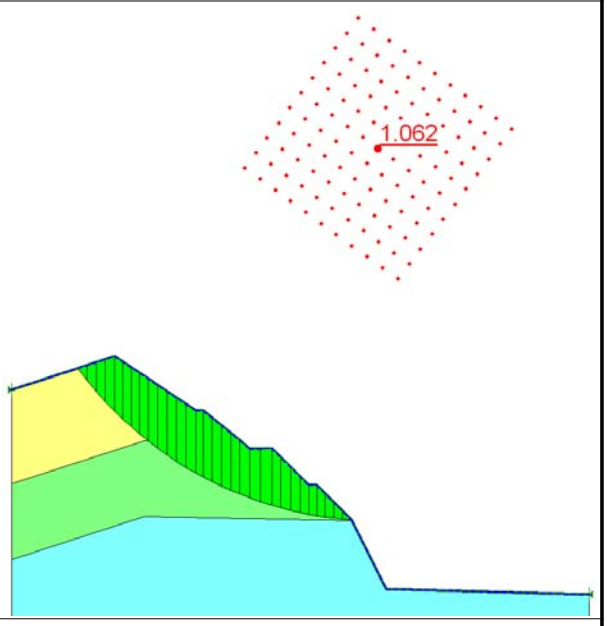
검 토 단 면	•구 간 : 깎기 4구간(STA.2+982~3+122) •대표단면 : STA. 3+040(오창방향) •깎기높이 : 20.1m •깎기 지층현황 : 토사 8.9m, 리핑 11.2m •시추공 : SCB-9
	
건기시	우기시
	
FS = 1.804 > 1.5 … O.K	FS = 1.007 < 1.2 … N.G

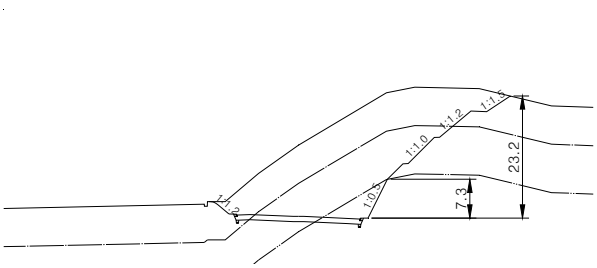
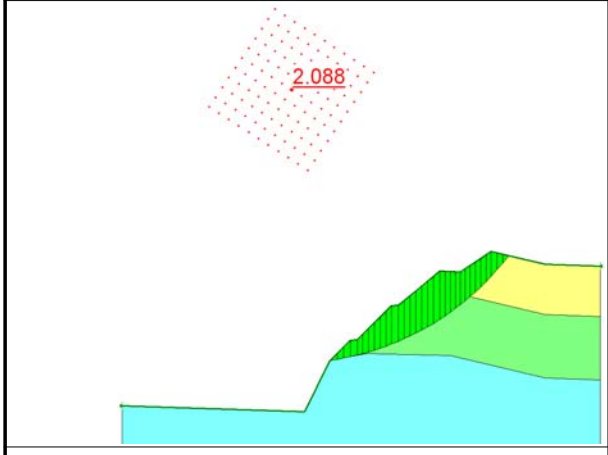
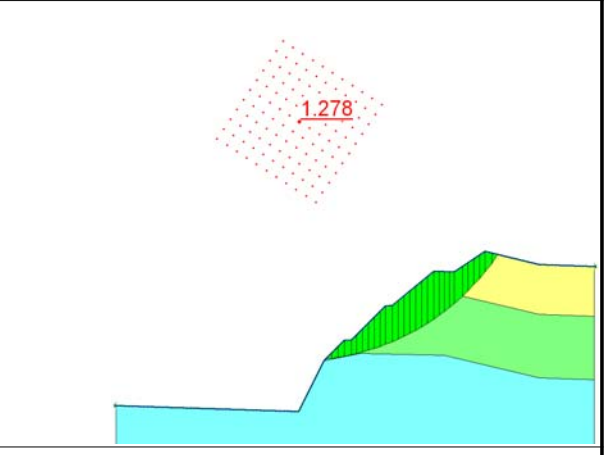
검 토 단 면	•구 간 : 깎기 5구간(STA.3+253~3+380) •대표단면 : STA. 3+340(옥산방향) •깎기높이 : 12.6m •깎기 지층현황 : 토사 12.6m •시추공 : SCB-10
	
건기시	우기시
	
FS = 1.939 > 1.5 … O.K	FS = 1.162 < 1.2 … N.G

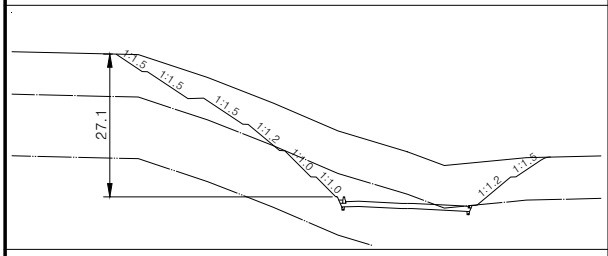
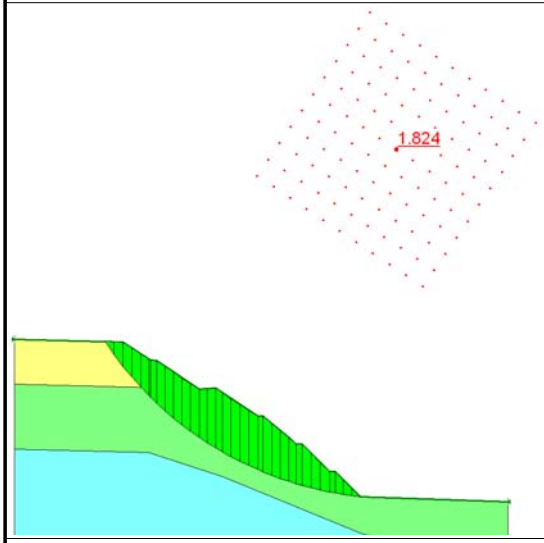
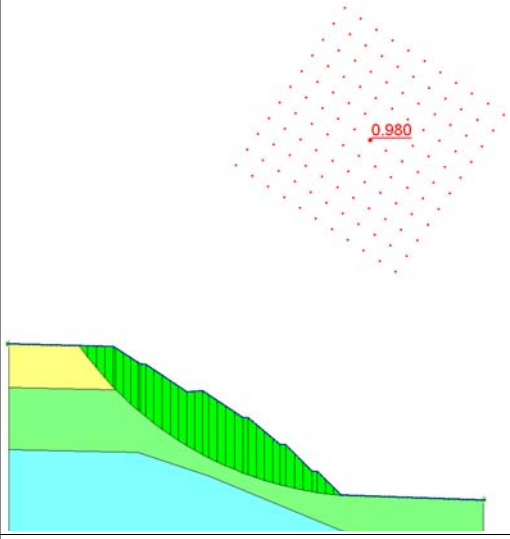
검 토 단 면	•구 간 : 깎기 6구간(STA.3+661~3+992) •대표단면 : STA. 3+880(오창방향) •깎기높이 : 33.0m •깎기 지층현황 : 토사 16.5m, 리핑 16.5m •시추공 : SCB-12
	
건기시	우기시
	
FS = 1.589 > 1.5 … O.K	FS = 0.813 < 1.2 … N.G

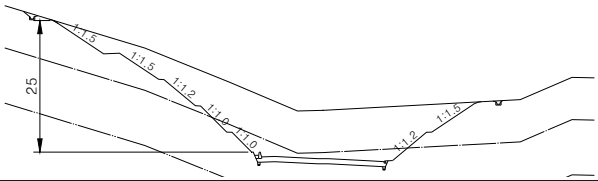
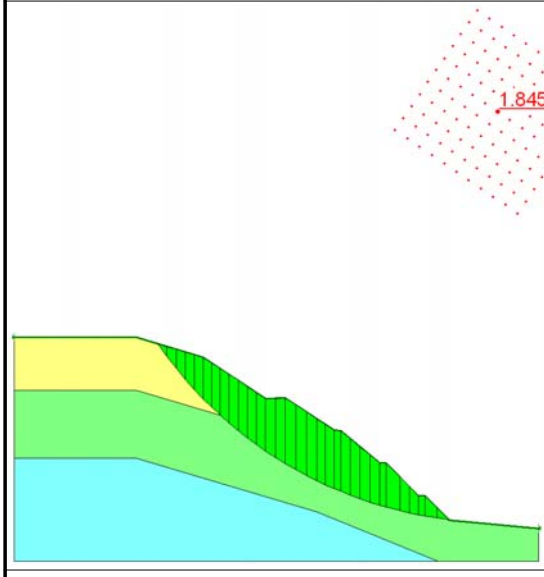
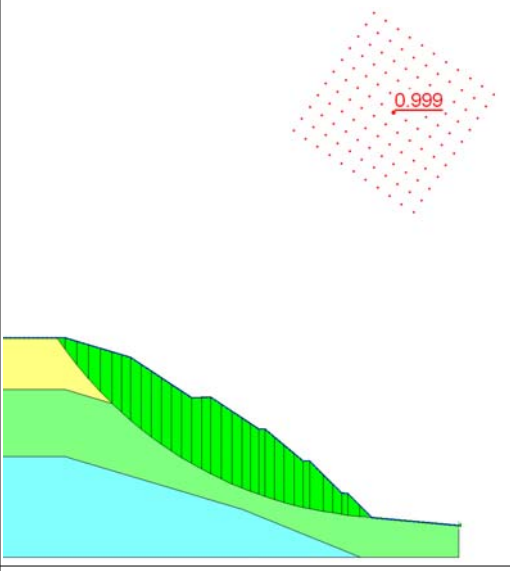
검 토 단 면	•구 간 : 깎기 7구간(STA.4+607~4+910) •대표단면 : STA. 4+780(오창방향) •깎기높이 : 40.3m •깎기 지층현황 : 토사 19.5m, 리핑 20.8 •시추공 : SCB-15
	
건기시	우기시
	
FS = 1.599 > 1.5 … O.K	FS = 0.807 < 1.2 … N.G

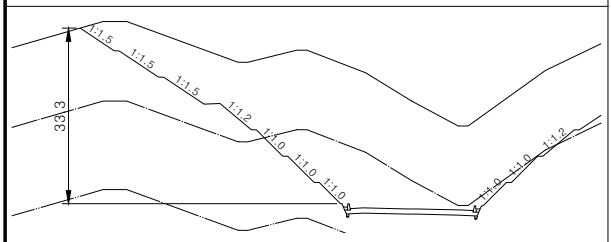
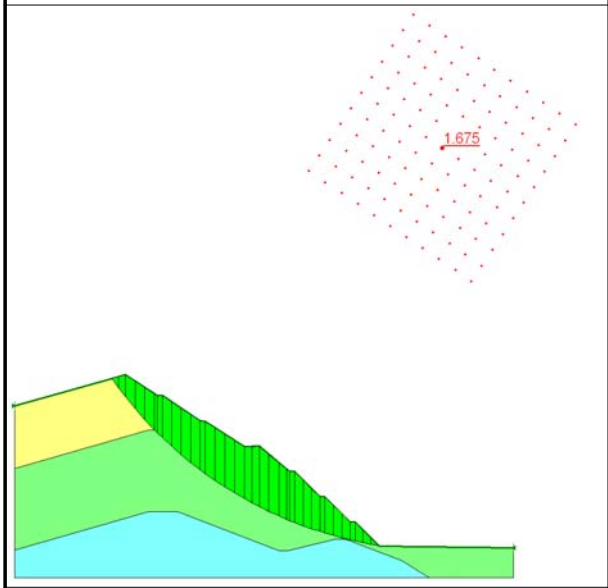
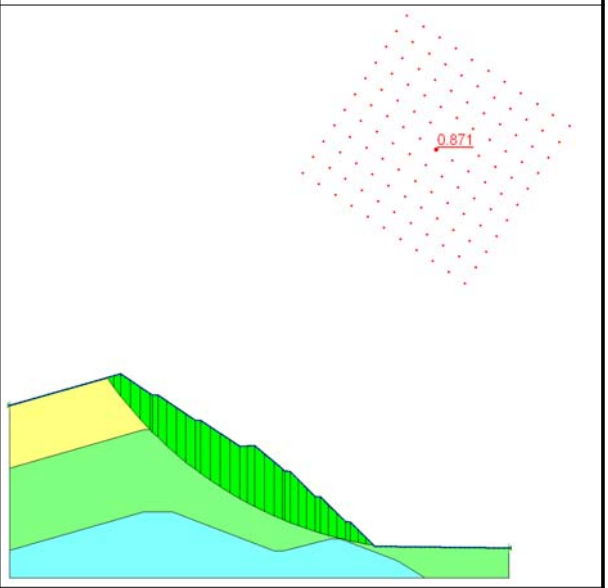
검 토 단 면	•구 간 : 깎기 7구간(STA.4+607~4+910) •대표단면 : STA. 4+840(오창방향) •깎기높이 : 39.1m •깎기 지층현황 : 토사 19.2m, 리핑 11.5m, 발파 8.4m •시추공 : SCB-17
	
건기시	우기시
	
FS = 1.758 > 1.5 … O.K	FS = 0.928 < 1.2 … N.G

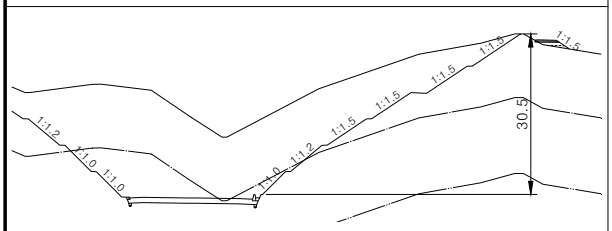
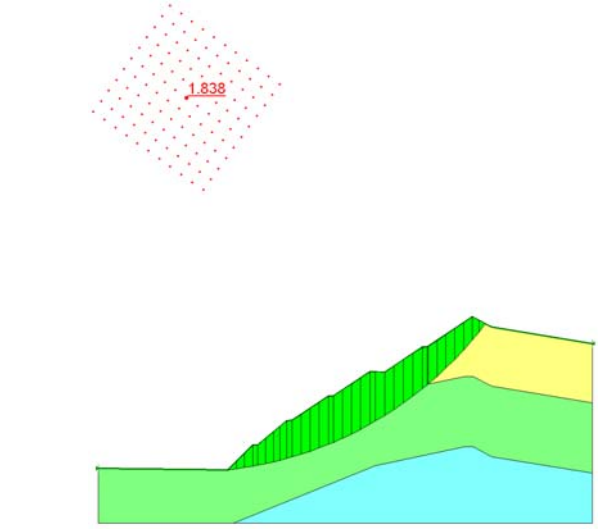
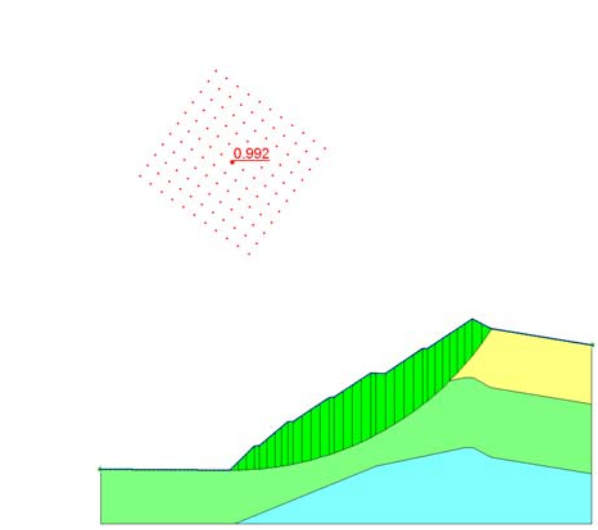
검 토 단 면	•구 간 : 깎기 7구간(STA.4+607~4+910) •대표단면 : STA. 4+840(옥산방향) •깎기높이 : 31.1m •깎기 지층현황 : 토사 11.3m, 리핑 10.7m, 발파 9.2m •시추공 : SCB-17
	
건기시	우기시
	
FS = 1.877 > 1.5 … O.K	FS = 1.062 < 1.2 … N.G

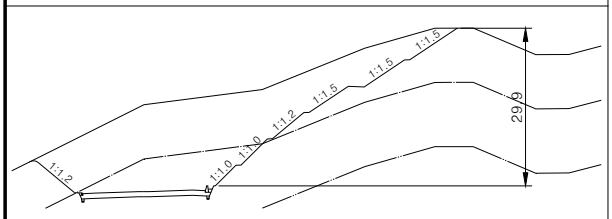
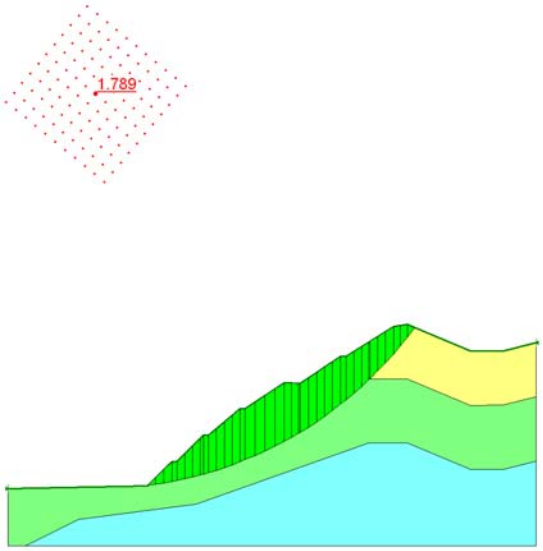
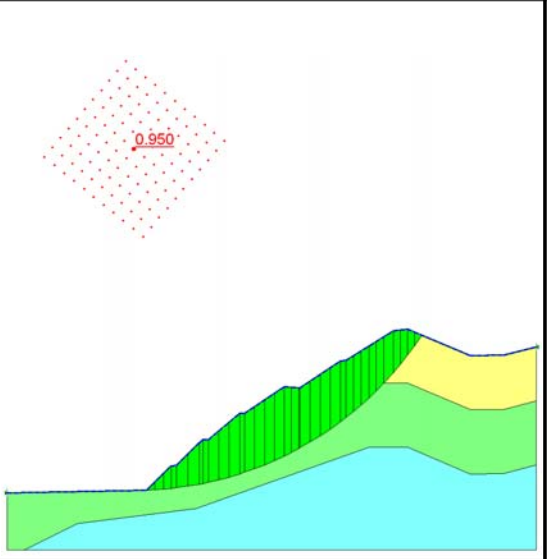
검 토 단 면	•구 간 : 깎기 12구간(STA.7+120~7+373) •대표단면 : STA. 7+280(오창방향) •깎기높이 : 23.2m •깎기 지층현황 : 토사 5.8m, 리핑 10.1m, 발파 7.3m •시추공 : SCB-32
	
건기시	우기시
	
FS = 2.088 > 1.5 … O.K	FS = 1.278 > 1.2 … O.K

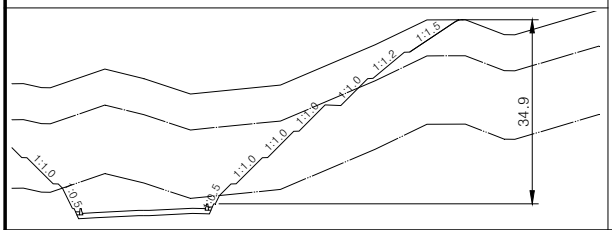
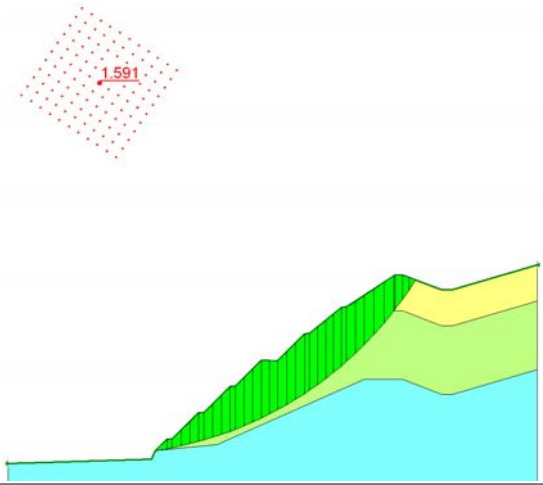
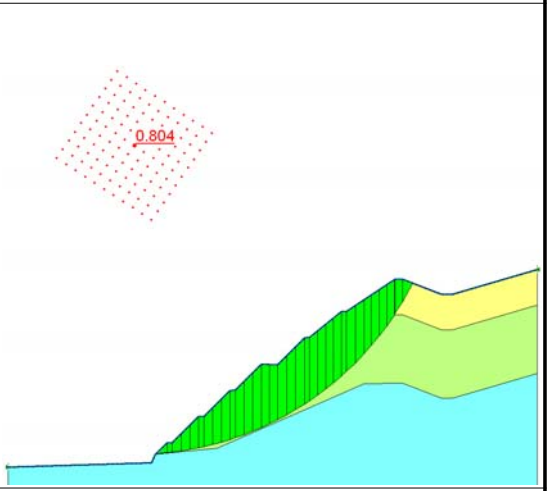
검 토 단 면	•구 간 : 깎기 13구간(STA.8+014~8+890) •대표단면 : STA. 8+220(옥산방향) •깎기높이 : 27.1m •깎기 지층현황 : 토사 17.5m, 리핑 9.7m •시추공 : –
	
건기시	**우기시**
	
FS = 1.824 > 1.5 … O.K	FS = 0.980 < 1.2 … N.G

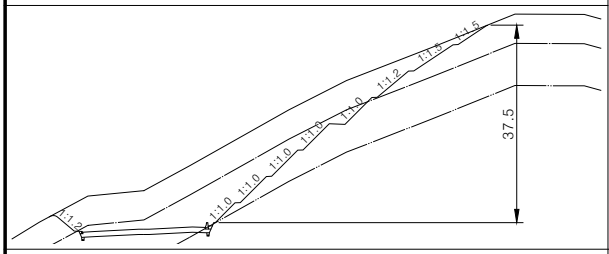
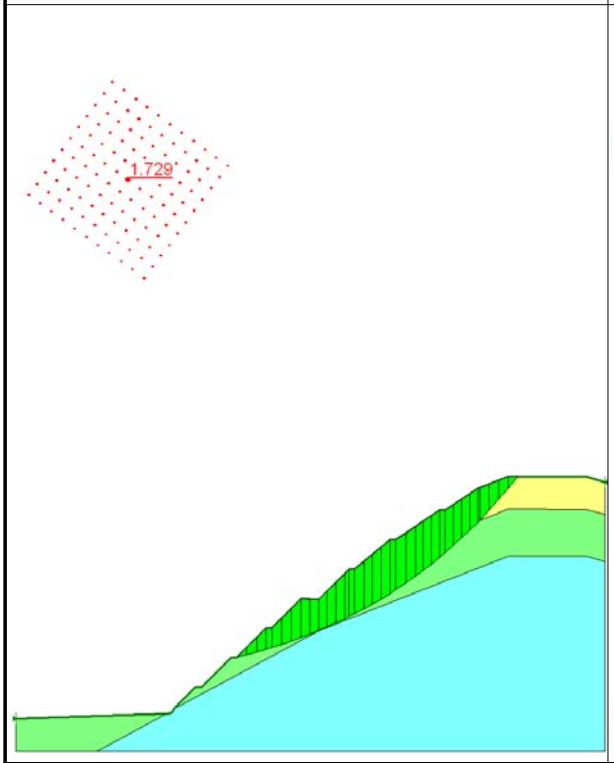
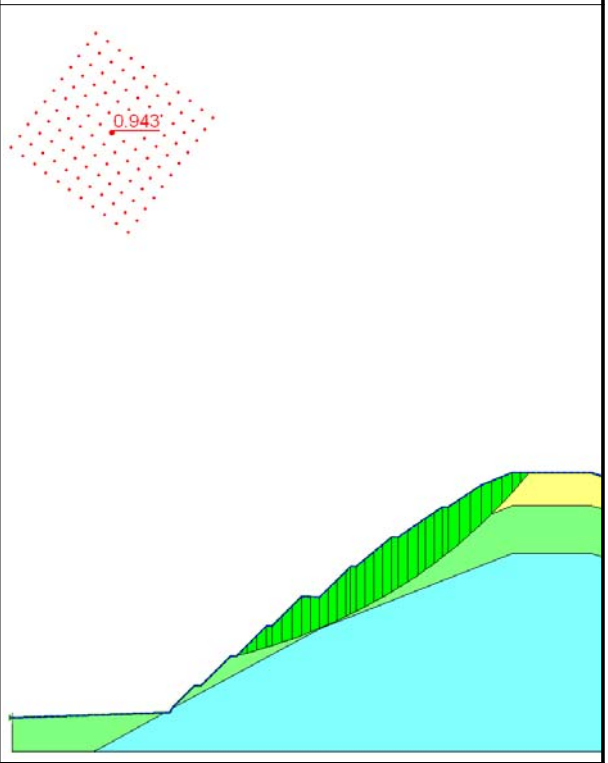
검 토 단 면	•구 간 : 깎기 13구간(STA.8+014~8+890) •대표단면 : STA. 8+240(옥산방향) •깎기높이 : 25.0m •깎기 지층현황 : 토사 18.4m, 리핑 6.6m •시추공 : –
	
건기시	**우기시**
	
FS = 1.845 > 1.5 … O.K	FS = 0.999 < 1.2 … N.G

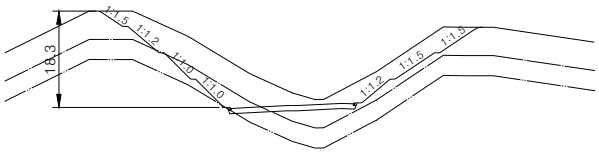
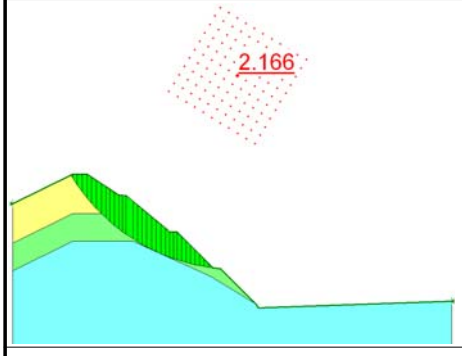
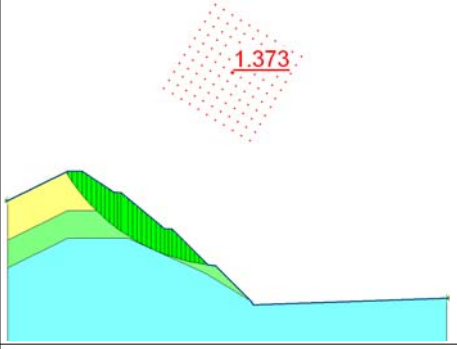
검 토 단 면	•구 간 : 깎기 13구간(STA.8+014~8+890) •대표단면 : STA. 8+400(옥산방향) •깎기높이 : 33.3m •깎기 지층현황 : 토사 20.8m, 리핑 12.5m •시추공 : –
	
건기시	우기시
	
FS = 1.675 > 1.5 … O.K	FS = 0.871 < 1.2 … N.G

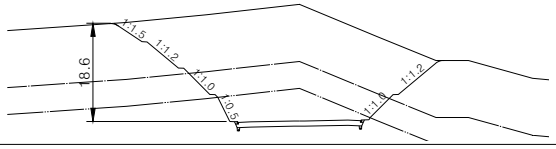
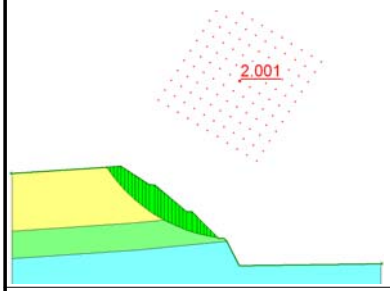
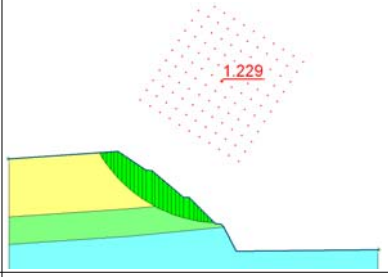
검 토 단 면	•구 간 : 깎기 13구간(STA.8+014~8+890) •대표단면 : STA. 8+420(오창방향) •깎기높이 : 30.5m •깎기 지층현황 : 토사 24.0m, 리핑 6.5m •시추공 : –
	
건기시	우기시
	
FS = 1.838 > 1.5 … O.K	FS = 0.992 < 1.2 … N.G

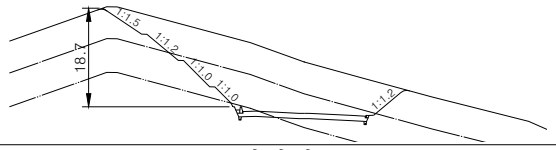
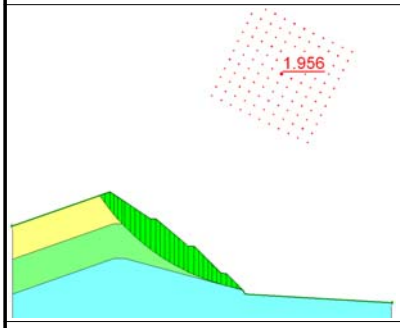
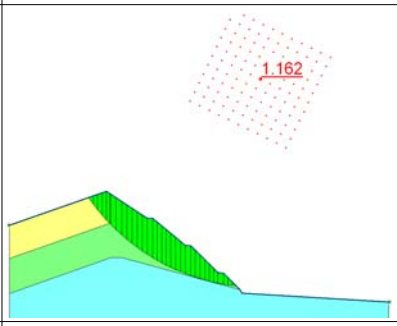
검 토 단 면	•구 간 : 깎기 13구간(STA.8+014~8+890) •대표단면 : STA. 8+540(오창방향) •깎기높이 : 29.9m •깎기 지층현황 : 토사 21.9m, 리핑 8.0m •시추공 : –
	
건기시	우기시
	
FS = 1.789 > 1.5 … O.K	FS = 0.950 < 1.2 … N.G

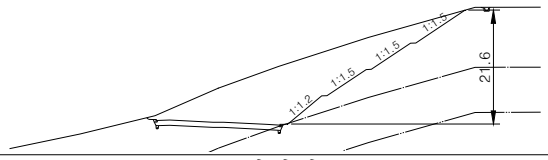
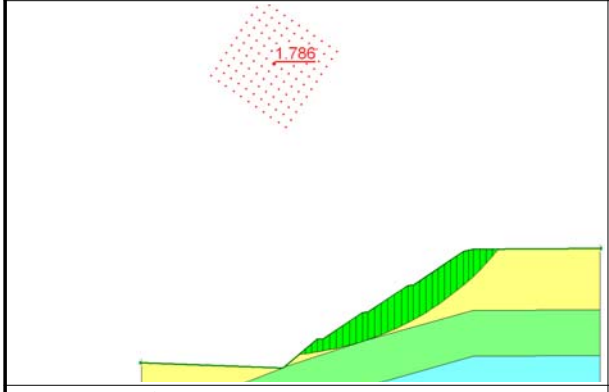
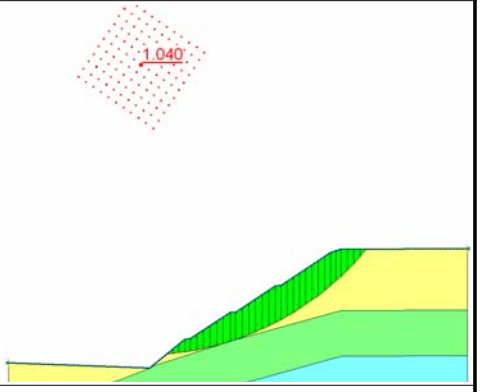
검 토 단 면	•구 간 : 깎기 13구간(STA.8+014~8+890) •대표단면 : STA. 8+680(오창방향) •깎기높이 : 34.9m •깎기 지층현황 : 토사 12.9m, 리핑 20.5m, 발파 1.5m •시추공 : –
	
건기시	우기시
	
FS = 1.591 > 1.5 … O.K	FS = 0.804 < 1.2 … N.G

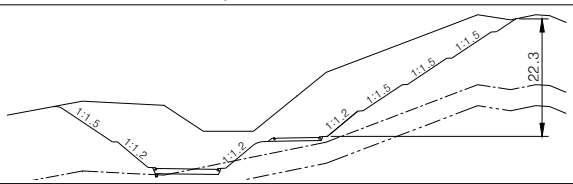
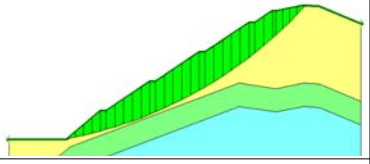
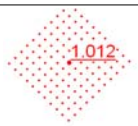
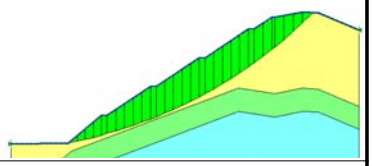
검 토 단 면	•구 간 : 깎기 13구간(STA.8+014~8+890) •대표단면 : STA. 8+780(오창방향) •깎기높이 : 37.5m •깎기 지층현황 : 토사 14.5m, 리핑 23.0m •시추공 : –
	
건기시	우기시
	
FS = 1.729 > 1.5 … O.K	FS = 0.943 < 1.2 … N.G

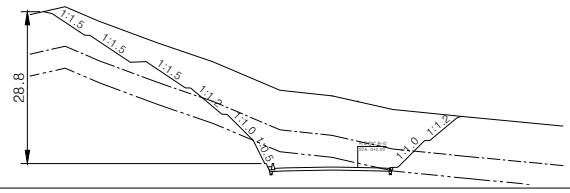
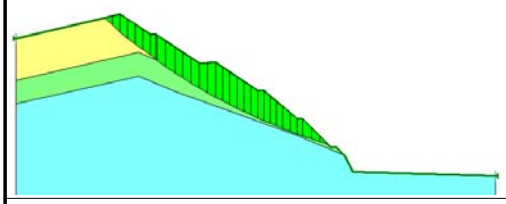
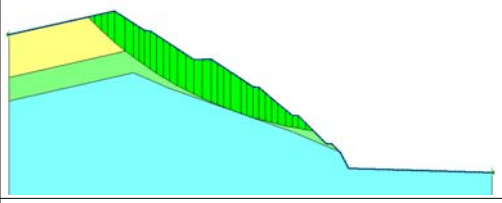
검 토 단 면	•구 간 : 깎기 13구간(STA.8+014~8+890) •대표단면 : STA. 8+840(옥산방향) •깎기높이 : 18.3m •깎기 지층현황 : 토사 7.4m, 리핑 10.4m, 발파 0.5m •시추공 : –
	
건기시	우기시
	
FS = 2.166 > 1.5 … O.K	FS = 1.373 > 1.2 … O.K

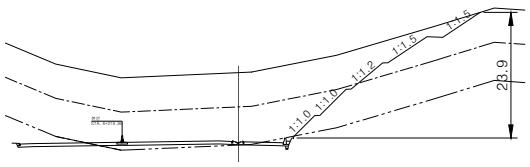
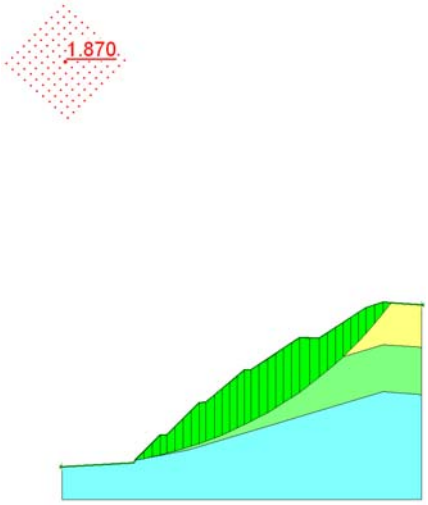
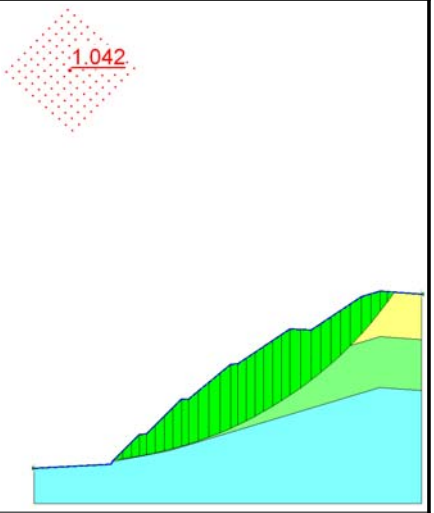
검 토 단 면	•구 간 : 깎기 14구간(STA.9+200~9+402) •대표단면 : STA. 9+300(옥산방향) •깎기높이 : 18.6m •깎기 지층현황 : 토사 9.5m, 리핑 4.6m, 발파 4.5m •시추공 : SCB-38
	
건기시	우기시
	
FS = 2.001 > 1.5 … O.K	FS = 1.229 > 1.2 … O.K

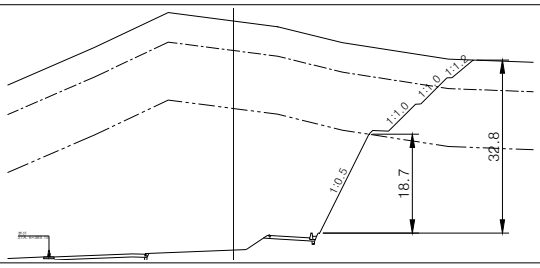
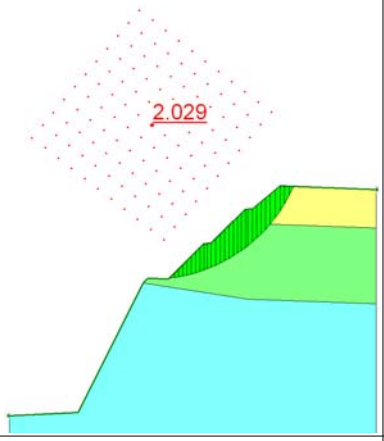
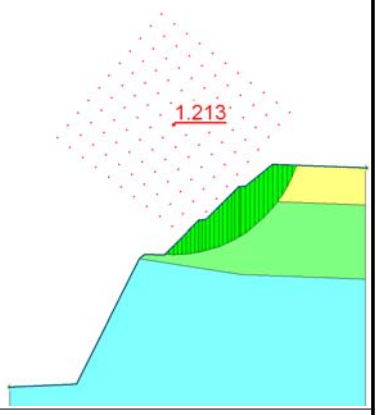
검 토 단 면	•구 간 : 깎기 15구간(STA.9+512~9+781) •대표단면 : STA. 9+620(옥산방향) •깎기높이 : 18.7m •깎기 지층현황 : 토사 8.5m, 리핑 9.6m, 발파 0.6m •시추공 : SCB-40
	
건기시	우기시
	
FS = 1.956 > 1.5 … O.K	FS = 1.162 < 1.2 … N.G

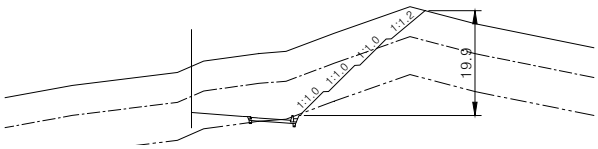
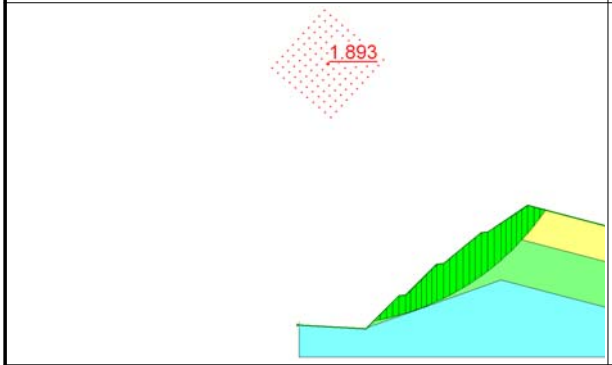
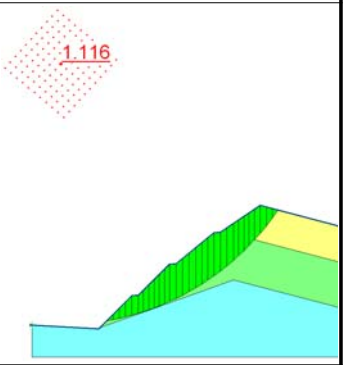
검 토 단 면	•구 간 : 깎기 16구간(STA.10+058~10+159) •대표단면 : STA. 10+100(오창방향) •깎기높이 : 21.6m •깎기 지층현황 : 토사 21.4m, 리핑 0.2m •시추공 : SCB-42
	
건기시	우기시
	
FS = 1.786 > 1.5 … O.K	FS = 1.040 < 1.2 … N.G

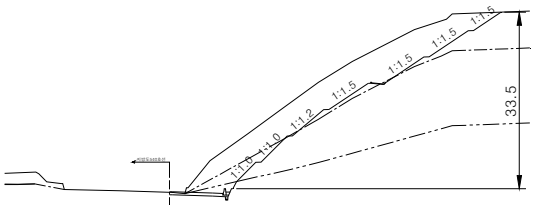
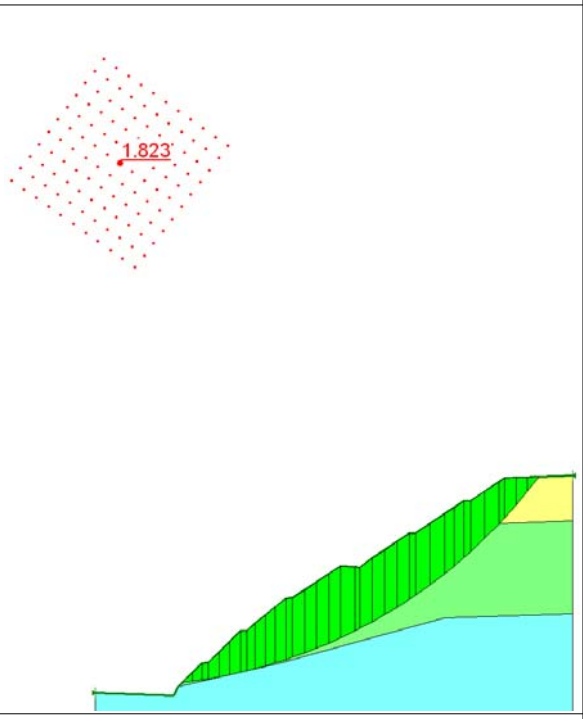
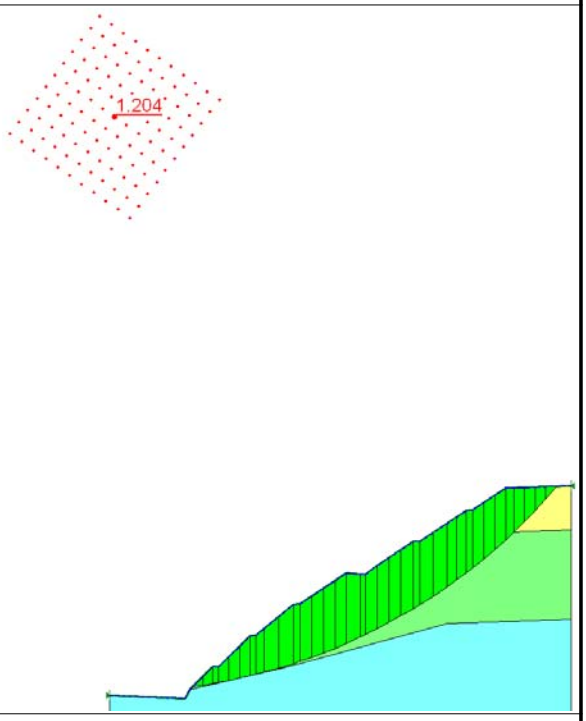
검 토 단 면	•구 간 : 옥산JCT R-A(STA.0+530~0+860) •대표단면 : STA. 0+640 우측 •깎기높이 : 22.3m •깎기 지층현황 : 토사 22.3m •시추공 : SCB-1
	
건기시	우기시
 	 
FS = 1.739 > 1.5 … O.K	FS = 1.012 < 1.2 … N.G

검 토 단 면	•구 간 : 서오창IC R-A(STA.0+950~1+186) •대표단면 : STA. 1+060 좌측 •깎기높이 : 28.8m •깎기 지층현황 : 토사 16.3m, 리핑 8.1m, 발파 4.4m •시추공 : SCB-29
	
건기시	우기시
 	 
FS = 2.131 > 1.5 … O.K	FS = 1.284 > 1.2 … O.K

검 토 단 면	•구 간 : 서오창IC R-C(STA.0+345~0+802) •대표단면 : STA. 0+500 우측 •깎기높이 : 23.9m •깎기 지층현황 : 토사 13.4m, 리핑 10.0m, 발파 0.5m •시추공 : SCB-26
	
건기시	우기시
	
FS = 1.870 > 1.5 … O.K	FS = 1.042 < 1.2 … N.G

검 토 단 면	•구 간 : 서오창IC R-C(STA.0+345~0+802) •대표단면 : STA. 0+660 우측 •깎기높이 : 32.8m •깎기 지층현황 : 토사 5.1m, 리핑 9.0m, 발파 18.7m •시추공 : SCB-28
	
건기시	우기시
	
FS = 2.029 > 1.5 … O.K	FS = 1.213 > 1.2 … O.K

검 토 단 면	•구 간 : 서오창IC R-D(STA.0+084~0+570) •대표단면 : STA. 0+240 우측 •깎기높이 : 19.9m •깎기 지층현황 : 토사 7.2m, 리핑 12.4m, 발파 0.3m •시추공 : SCB-27
	
건기시	**우기시**
	
FS = 1.893 > 1.5 … O.K	FS = 1.116 < 1.2 … N.G

검 토 단 면	•구 간 : 서오창IC R-H(STA.0+000~0+390) •대표단면 : STA. 0+260 우측 •깎기높이 : 33.5m •깎기 지층현황 : 토사 12.3m, 리핑 19.8m, 발파 1.4m •시추공 : SCB-21
	
건기시	**우기시**
	
FS = 1.823 > 1.5 … O.K	FS = 1.204 > 1.2 … O.K

3) 토사 및 풍화암 비탈면 안정성 검토결과 요약

구 분		위 치 (STA.)	대표단면 (STA.)	안전율		판 정
				건기시 (FS>1.5)	우기시 (FS>1.2)	
본 선	1구간	0+278~0+485	0+300(옥산)	1.719	0.927	N.G
			0+340(오창)	1.556	0.773	N.G
			0+420(오창)	1.634	0.860	N.G
	2구간	1+326~2+081	1+520(옥산)	1.853	1.024	N.G
			1+800(오창)	1.794	1.032	N.G
			1+920(오창)	1.907	1.098	N.G
	3구간	2+813~2+895	2+860(오창)	2.358	1.527	O.K
	4구간	2+982~3+122	3+040(오창)	1.804	1.007	N.G
	5구간	3+253~3+380	3+340(옥산)	1.939	1.162	N.G
	6구간	3+661~3+992	3+880(오창)	1.589	0.813	N.G
	7구간	4+607~4+910	4+780(오창)	1.599	0.807	N.G
			4+840(오창)	1.758	0.928	N.G
			4+840(옥산)	1.877	1.062	N.G
	12구간	7+120~7+373	7+280(오창)	2.088	1.278	O.K
	13구간	8+014~8+890	8+220(옥산)	1.824	0.980	N.G
			8+240(옥산)	1.845	0.999	N.G
			8+400(옥산)	1.675	0.871	N.G
			8+420(오창)	1.838	0.992	N.G
			8+540(오창)	1.789	0.950	N.G
			8+680(오창)	1.591	0.804	N.G
			8+780(오창)	1.729	0.943	N.G
			8+840(옥산)	2.166	1.373	O.K
	14구간	9+200~9+402	9+300(옥산)	2.001	1.229	O.K
	15구간	9+512~9+781	9+620(옥산)	1.956	1.162	N.G
	16구간	10+058~10+159	10+100(오창)	1.786	1.040	N.G
옥산JCT	R-A	0+530~0+860	0+640 우측	1.739	1.012	N.G
서오창IC	R-A	0+950~1+186	1+060 좌측	2.131	1.284	O.K
	R-C	0+345~0+802	0+500 우측	1.870	1.042	N.G
			0+660 우측	2.029	1.213	O.K
	R-D	0+084~0+570	0+240 우측	1.893	1.116	N.G
	R-H	0+000~0+390	0+260 우측	1.823	1.204	O.K

나. 암반 비탈면 안정성 검토

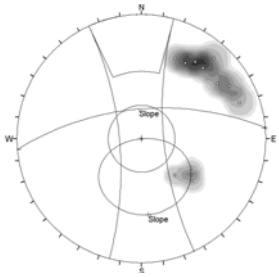
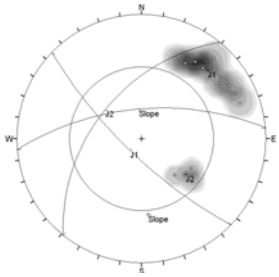
•암반비탈면은 정밀 지표지질조사결과를 이용하여 암반의 불연속면에 대한 평사투영해석을 수행하였으며, 1차적으로 평면, 전도 및 쐐기파괴의 가능성을 예측하였다.

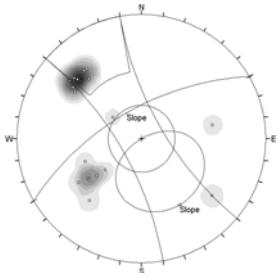
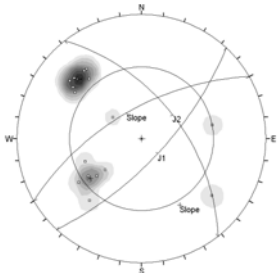
•평사투영해석 결과분석을 통해 파괴가능성이 있는 구간은 파괴유형별로 한계평형해석에 의한 안정성 검토를 수행하였다.

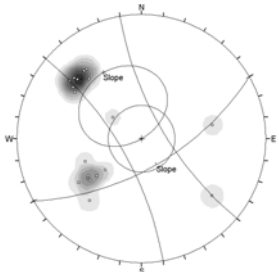
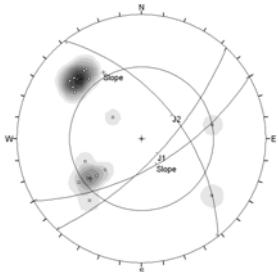
1) 암반 비탈면 검토구간

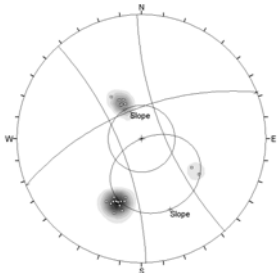
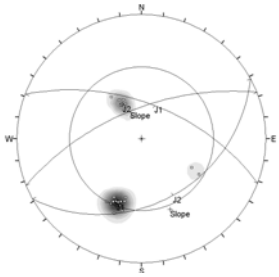
구 분		위 치 (STA.)	대표단면 (STA.)	발파암 높이 (m)	비탈면 경사 / 경사방향	지표지질조사
본 선	2구간	1+840~1+980	1+940(오창)	12.0	63/355	S-4
	7구간	4+820~4+870	4+840(오창)	8.1	63/330	S-9
		4+840~4+860	4+860(옥산)	16.4	63/150	S-9
	8구간	5+310~5+330	5+320(오창)	6.5	63/338	S-10
	9구간	5+550~5+750	5+660(옥산)	11.1	63/158	S-12
		5+570~5+740	5+680(오창)	10.3	63/338	S-12
	11구간	6+860~6+940	6+880(오창)	7.3	63/296	S-14
	12구간	7+280~7+300	7+280(오창)	7.3	63/291	S-15
	13구간	8+350~8+400	8+380(옥산)	6.4	63/176	S-17
		8+670~8+740	8+720(옥산)	8.2	63/166	S-17
서오창IC	R-A	0+980~1+060	1+020 좌측	19.7	63/137	S-13
		1+060~1+186	1+140 좌측	23.7	63/147	S-13
		1+080~1+146	1+140 우측	12.4	63/320	S-13
	R-B	0+080~0+183	0+120 우측	9.1	63/233	S-13
	R-C	0+135~0+180	0+140 우측	14.2	63/339	S-12
		0+360~0+440	0+400 우측	12.8	63/322	S-12
		0+500~0+720	0+580 우측	19.1	63/322	S-12,13
	R-D	0+084~0+180	0+100 우측	11.0	63/355	S-13
		0+200~0+560	0+380 우측	15.1	63/137	S-13
	R-E	0+410~0+481	0+480 좌측	9.5	63/151	S-13
	R-G	0+160~0+400	0+320 우측	7.8	63/052	S-10
	R-H	0+420~0+580	0+520 우측	13.0	63/337	S-11

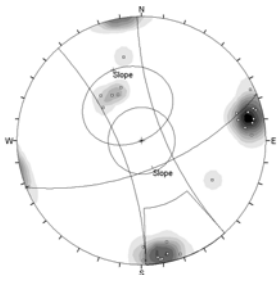
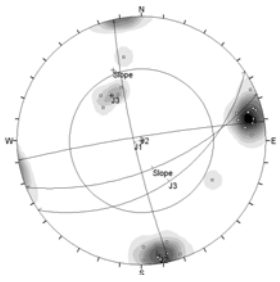
2) 평사투영해석 결과

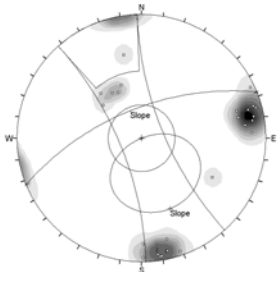
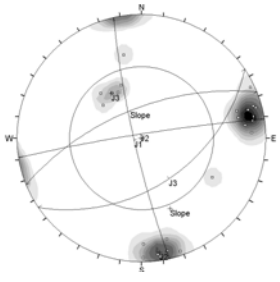
깎기 2구간 1+940(오창방향)		검 토 요 약			
평면 및 전도파괴	쐐기파괴	비탈면 경사/경사방향 : 63/355			
		대표절리군	75/224	49/309	-
		파괴유형	평면	전도	쐐기
		파괴가능성	×	×	×
		결과분석	평면, 전도, 쐐기파괴에 대해서 파괴 가능성 없음.		

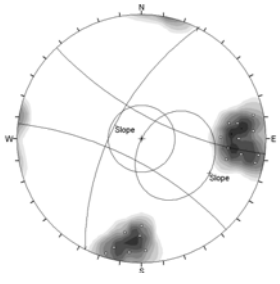
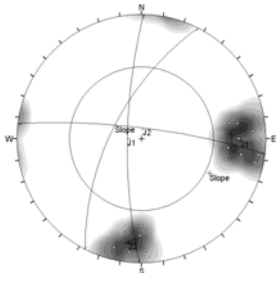
깎기 7구간 4+840(오창방향)		검 토 요 약			
평면 및 전도파괴	쐐기파괴	비탈면 경사/경사방향 : 63/330			
		대표절리군	70/133	55/52	-
		파괴유형	평면	전도	쐐기
		파괴가능성	×	○	×
		결과분석	평면 및 쐐기파괴에 대해서는 안정하나 국부적인 전도파괴 가능성 있음.		

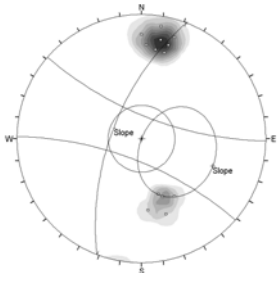
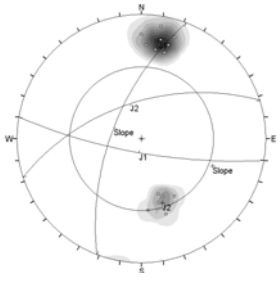
깎기 7구간 4+860(옥산방향)		검 토 요 약			
평면 및 전도파괴	쐐기파괴	비탈면 경사/경사방향 : 63/150			
		대표절리군	70/133	55/052	-
		파괴유형	평면	전도	쐐기
		파괴가능성	△	×	×
		결과분석	전도 및 쐐기파괴에 대해서는 안정하나 평면파괴 가능성이 다소 있음.		

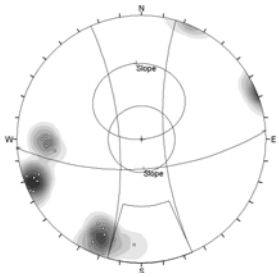
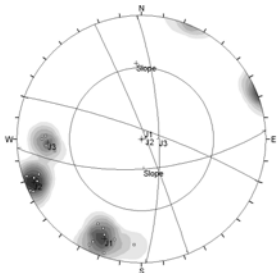
깎기 8구간 5+320(오창방향)		검 토 요 약			
평면 및 전도파괴	쐐기파괴	비탈면 경사/경사방향 : 63/338			
		대표절리군	58/021	35/151	-
		파괴유형	평면	전도	쐐기
		파괴가능성	×	×	×
		결과분석	평면, 전도, 쐐기파괴에 대해서 파괴 가능성 없음.		

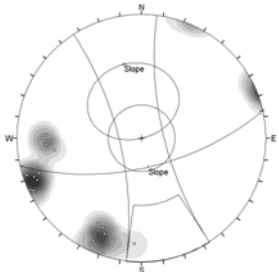
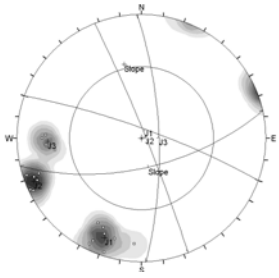
깎기 9구간 5+660(옥산방향)		검 토 요 약			
평면 및 전도파괴	쐐기파괴	비탈면 경사/경사방향 : 63/158			
		대표절리군	83/257	86/351	47/146
		파괴유형	평면	전도	쐐기
		파괴가능성	○	○	○
		결과분석	평면, 전도, 쐐기파괴에 대해서 파괴 가능성 있음.		

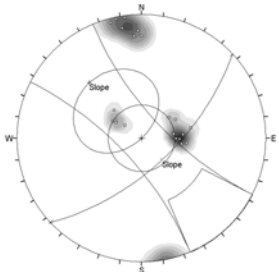
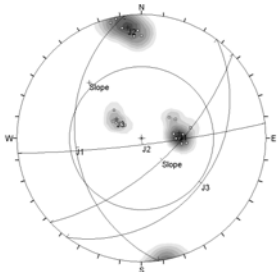
깎기 9구간 5+680(오창방향)		검 토 요 약			
평면 및 전도파괴	쐐기파괴	비탈면 경사/경사방향 : 63/338			
		대표절리군	83/257	86/351	47/146
		파괴유형	평면	전도	쐐기
		파괴가능성	×	△	×
		결과분석	평면 및 쐐기파괴에 대해서는 안정하나 국부적인 전도파괴 가능성이 다소 있음.		

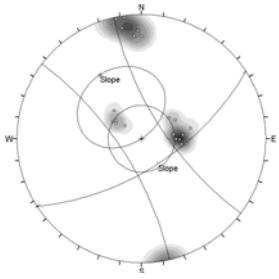
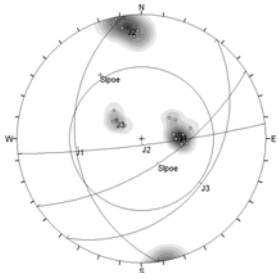
깎기 11구간 6+880(오창방향)		검 토 요 약			
평면 및 전도파괴	쐐기파괴	비탈면 경사/경사방향 : 63/296			
		대표절리군	77/271	80/007	-
		파괴유형	평면	전도	쐐기
		파괴가능성	×	×	×
		결과분석	평면, 전도, 쐐기파괴에 대해서 파괴 가능성 없고, 옥산방향은 국부적인 전도파괴 가능성 있음.		

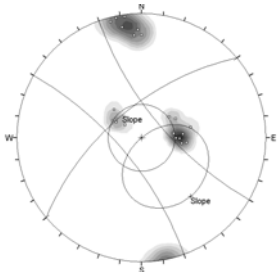
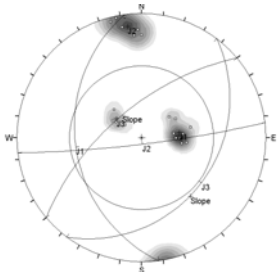
깎기 12구간 7+280(오창방향)		검 토 요 약			
평면 및 전도파괴	쐐기파괴	비탈면 경사/경사방향 : 63/291			
		대표절리군	77/190	57/342	-
		파괴유형	평면	전도	쐐기
		파괴가능성	×	×	×
		결과분석	평면, 전도, 쐐기파괴에 대해서 파괴 가능성 없음.		

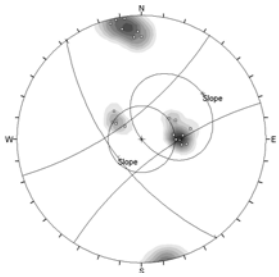
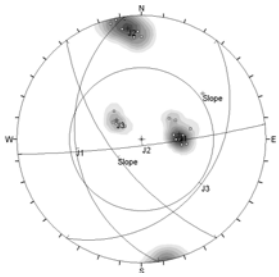
깎기 13구간 8+380(옥산방향)		검 토 요 약			
평면 및 전도파괴	쐐기파괴	비탈면 경사/경사방향 : 63/176			
		대표절리군	81/020	86/068	74/088
		파괴유형	평면	전도	쐐기
		파괴가능성	×	△	–
		결과분석	평면파괴에 대해서는 안정하나 국부적인 전도파괴 가능성 다소 있으며, 비탈면 표층에서 쐐기파괴가 발생함.		

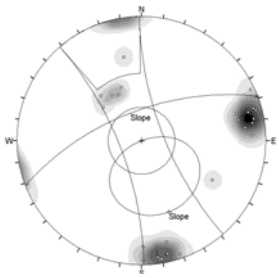
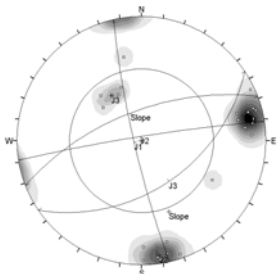
깎기 13구간 8+720(옥산방향)		검 토 요 약			
평면 및 전도파괴	쐐기파괴	비탈면 경사/경사방향 : 63/166			
		대표절리군	81/020	86/068	74/088
		파괴유형	평면	전도	쐐기
		파괴가능성	×	△	–
		결과분석	평면파괴에 대해서는 안정하나 전도파괴 가능성 다소 있으며, 비탈면 표층에서 쐐기파괴가 발생함.		

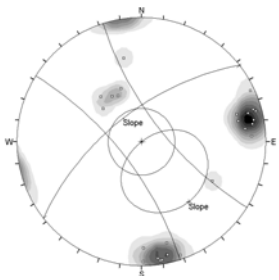
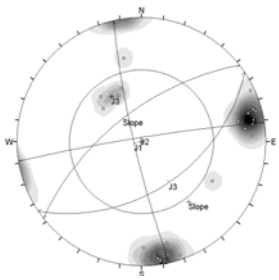
서오창IC R-A 1+020 좌측		검 토 요 약			
평면 및 전도파괴	쐐기파괴	비탈면 경사/경사방향 : 63/137			
		대표절리군	34/262	84/173	28/127
		파괴유형	평면	전도	쐐기
		파괴가능성	△	×	×
		결과분석	전도 및 쐐기파괴에 대해서는 안정하나 평면파괴 가능성 다소 있음.		

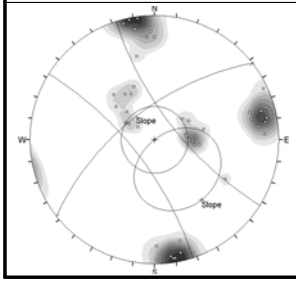
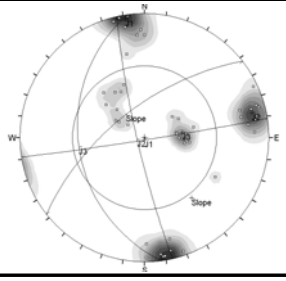
서오창IC R-A 1+140 좌측		검 토 요 약			
평면 및 전도파괴	쐐기파괴	비탈면 경사/경사방향 : 63/147			
		대표절리군	34/262	84/173	28/127
		파괴유형	평면	전도	쐐기
		파괴가능성	△	×	×
		결과분석	전도 및 쐐기파괴에 대해서는 안정하나 평면파괴 가능성 다소 있음.		

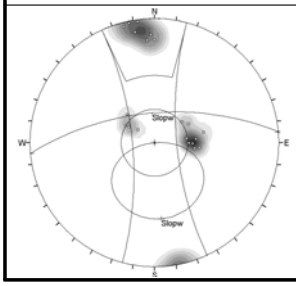
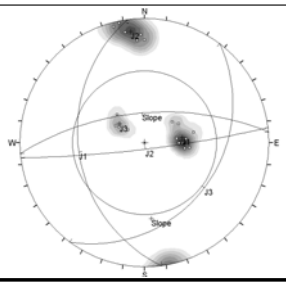
서오창IC R-A 1+140 우측		검 토 요 약			
평면 및 전도파괴	쐐기파괴	비탈면 경사/경사방향 : 63/320			
		대표절리군	34/262	84/173	28/127
		파괴유형	평면	전도	쐐기
		파괴가능성	×	×	○
		결과분석	평면 및 전도파괴에 대해서는 안정하나 쐐기파괴 가능성 있음.		

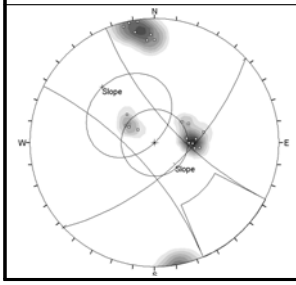
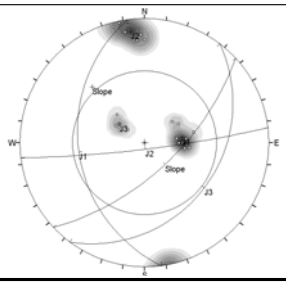
서오창IC R-B 0+120 우측		검 토 요 약			
평면 및 전도파괴	쐐기파괴	비탈면 경사/경사방향 : 63/233			
		대표절리군	34/262	84/173	28/127
		파괴유형	평면	전도	쐐기
		파괴가능성	○	×	○
		결과분석	전도파괴에 대해서는 안정하나 평면 및 쐐기파괴 가능성 있음.		

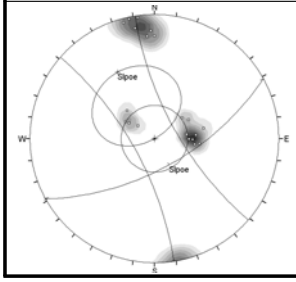
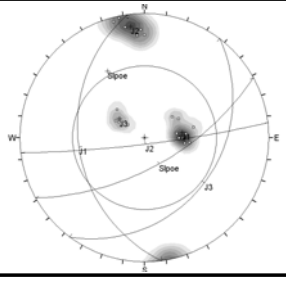
서오창IC R-C 0+140 우측		검 토 요 약			
평면 및 전도파괴	쐐기파괴	비탈면 경사/경사방향 : 63/339			
		대표절리군	83/257	86/351	47/146
		파괴유형	평면	전도	쐐기
		파괴가능성	×	△	×
		결과분석	평면 및 쐐기파괴에 대해서는 안정하나 국부적인 전도파괴 가능성 다소 있음.		

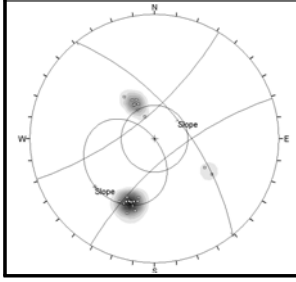
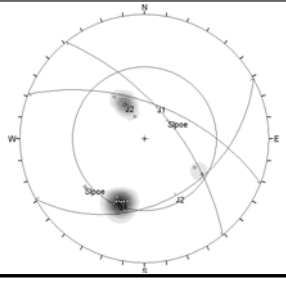
서오창IC R-C 0+400 우측		검 토 요 약			
평면 및 전도파괴	쐐기파괴	비탈면 경사/경사방향 : 63/322			
		대표절리군	83/257	86/351	47/146
		파괴유형	평면	전도	쐐기
		파괴가능성	×	×	×
		결과분석	평면, 전도, 쐐기파괴에 대해서 파괴 가능성 없음.		

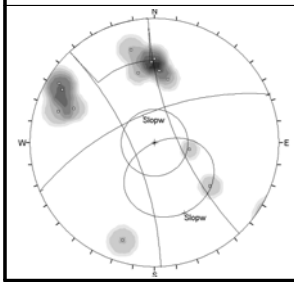
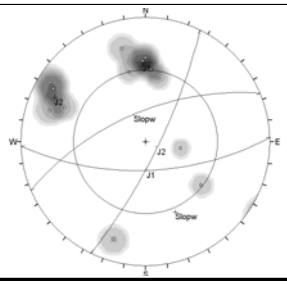
서오창IC R-C 0+580 우측		검 토 요 약		
평면 및 전도파괴	쐐기파괴	비탈면 경사/경사방향 : 63/322		
		대표절리군	88/171	83/257	34/262
		파괴유형	평면	전도	쐐기
		파괴가능성	×	×	○
		결과분석	평면 및 전도파괴에 대해서는 안정하나 쐐기파괴 가능성 있음.		

서오창IC R-D 0+100 우측		검 토 요 약		
평면 및 전도파괴	쐐기파괴	비탈면 경사/경사방향 : 63/355		
		대표절리군	34/262	84/173	28/127
		파괴유형	평면	전도	쐐기
		파괴가능성	×	○	×
		결과분석	평면 및 쐐기파괴에 대해서는 안정하나 국부적인 전도파괴 가능성 있음.		

서오창IC R-D 0+380 우측		검 토 요 약		
평면 및 전도파괴	쐐기파괴	비탈면 경사/경사방향 : 63/137		
		대표절리군	34/262	84/173	28/127
		파괴유형	평면	전도	쐐기
		파괴가능성	△	×	×
		결과분석	전도 및 쐐기파괴에 대해서는 안정하나 평면파괴 가능성 다소 있음.		

서오창IC R-E 0+480 좌측		검 토 요 약		
평면 및 전도파괴	쐐기파괴	비탈면 경사/경사방향 : 63/151		
		대표절리군	34/262	84/173	28/127
		파괴유형	평면	전도	쐐기
		파괴가능성	△	×	×
		결과분석	전도 및 쐐기파괴에 대해서는 안정하나 평면파괴 가능성 다소 있음.		

서오창IC R-G 0+300 우측		검 토 요 약		
평면 및 전도파괴	쐐기파괴	비탈면 경사/경사방향 : 63/052		
		대표절리군	58/021	35/151	-
		파괴유형	평면	전도	쐐기
		파괴가능성	△	×	×
		결과분석	전도 및 쐐기파괴에 대해서는 안정하나 평면파괴 가능성이 다소 있음.		

서오창IC R-H 0+520 우측		검 토 요 약			
평면 및 전도파괴	쐐기파괴	비탈면 경사/경사방향 : 63/337			
		대표절리군	64/178	78/116	-
		파괴유형	평면	전도	쐐기
		파괴가능성	×	△	×
		결과분석	평면 및 쐐기파괴에 대해서는 안정하나 국부적인 전도파괴 가능성이 다소 있음.		

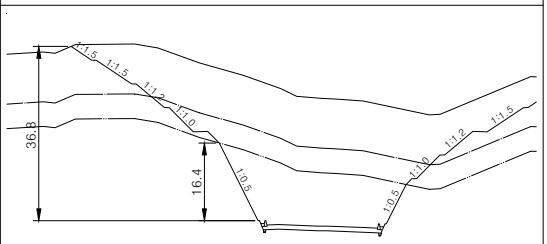
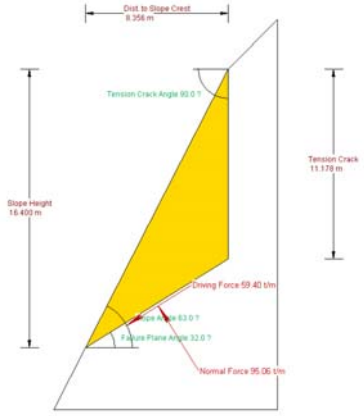
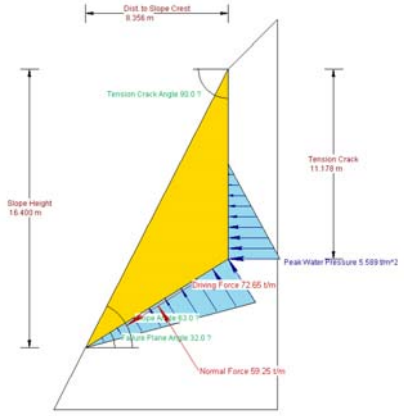
3) 평사투영해석 결과요약

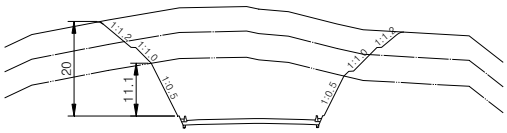
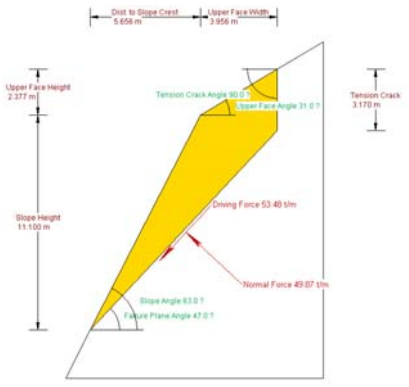
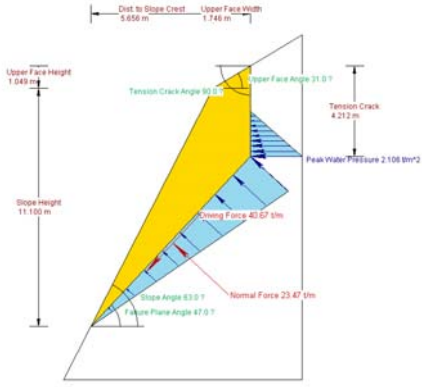
구 분		대표단면 (STA.)	파괴유형			검토결과
			평면	전도	쐐기	
본 선	2구간	1+940(오창)	×	×	×	안 정
	7구간	4+840(오창)	×	○	×	Random RockBolt 보강
		4+860(옥산)	△	×	×	평면파괴 검토
	8구간	5+320(오창)	×	×	×	안 정
	9구간	5+660(옥산)	○	○	○	평면, 쐐기파괴 검토
		5+680(오창)	×	△	×	Random RockBolt 보강
	11구간	6+880(오창)	×	×	×	안 정
	12구간	7+280(오창)	×	×	×	안 정
	13구간	8+380(옥산)	×	△	-	Random RockBolt 보강
		8+720(옥산)	×	△	-	Random RockBolt 보강
서오창IC	R-A	1+020 좌측	△	×	×	평면파괴 검토
		1+140 좌측	△	×	×	평면파괴 검토
		1+140 우측	×	×	○	쐐기파괴 검토
	R-B	0+120 우측	○	×	○	평면, 쐐기파괴 검토
	R-C	0+140 우측	×	△	×	Random RockBolt 보강
		0+400 우측	×	×	×	안 정
		0+580 우측	×	×	○	쐐기파괴 검토
	R-D	0+100 우측	×	○	×	Random RockBolt 보강
		0+380 우측	△	×	×	평면파괴 검토
	R-E	0+480 좌측	△	×	×	평면파괴 검토
	R-G	0+320 우측	△	×	×	평면파괴 검토
	R-H	0+520 우측	×	△	×	Random RockBolt 보강

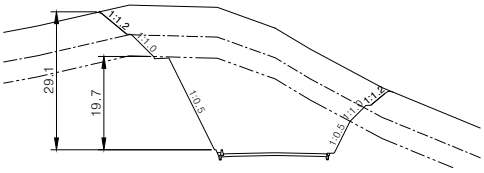
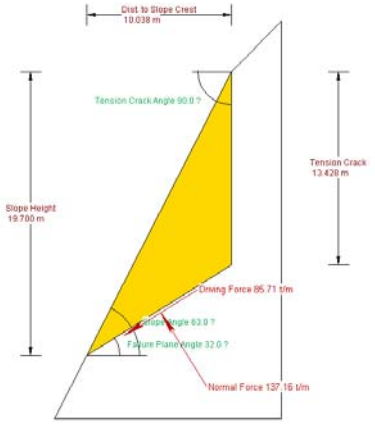
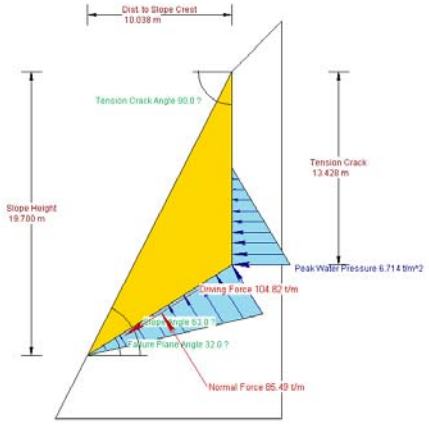
여기서, ○ : 파괴 가능성 있음, △ : 파괴가능성 다소 있음, × : 파괴가능성 없음

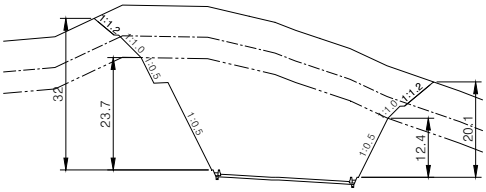
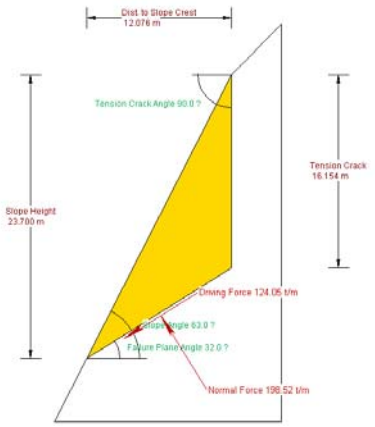
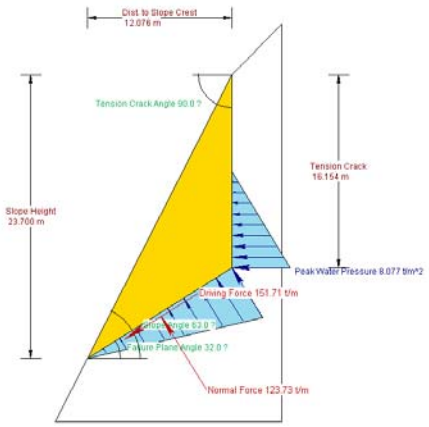
4) 암반 비탈면 한계평형해석 결과

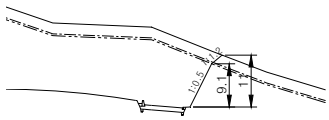
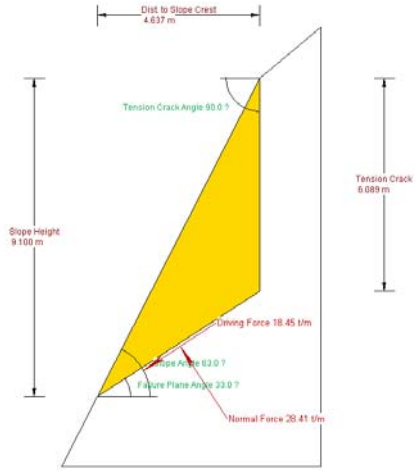
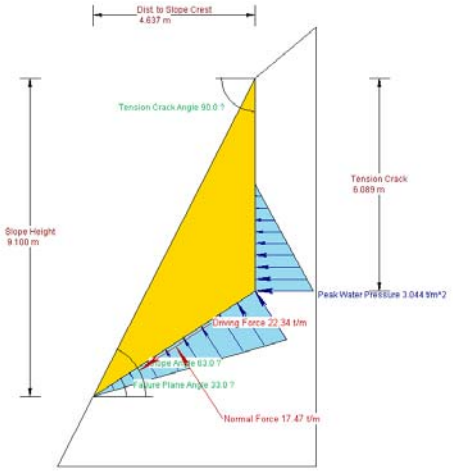
① 평면파괴해석

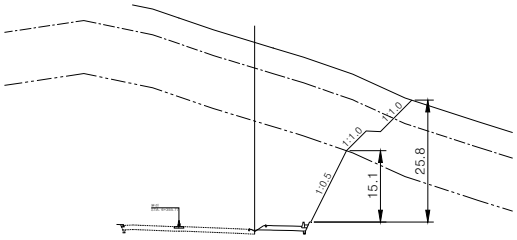
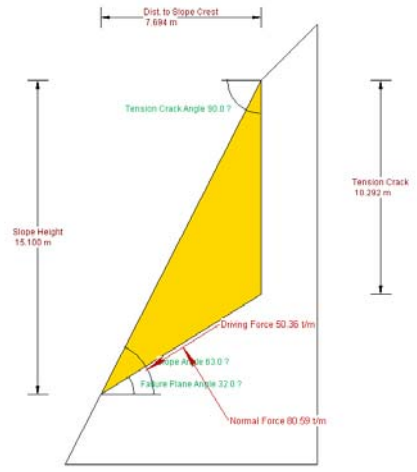
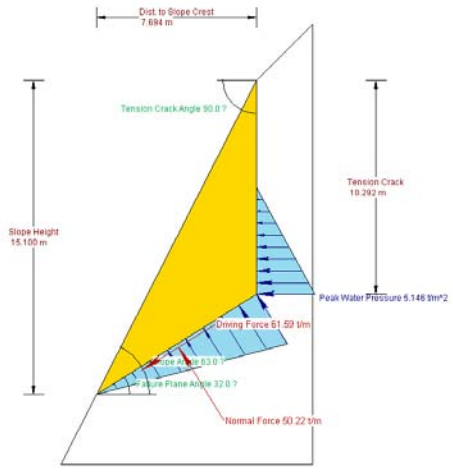
구 분	깎기 7구간 4+860(옥산방향)	
검 토 단 면		•구 간 : STA. 4+840~4+860 •발파암 높이 : 16.4m •비탈면 경사/경사방향 : 63/150 •지표지질조사 : S-9 •대표절리군 : 70/133, 55/052
해석조건	건기시	우기시
평 면 파 괴 해 석		
검토결과	FS = 1.88 > 1.5 … O.K	FS = 1.22 > 1.2 … O.K

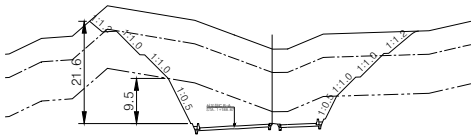
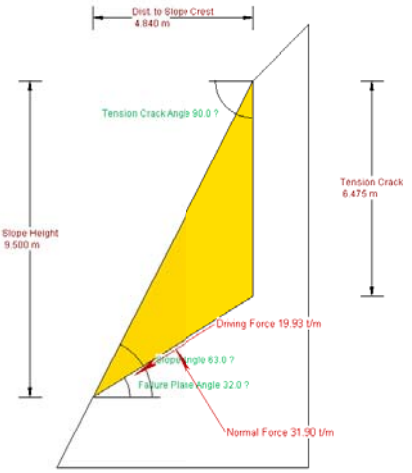
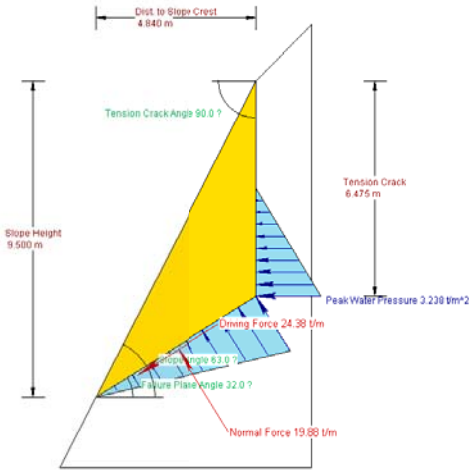
구 분	깎기 9구간 5+660(옥산방향)	
검 토 단 면		•구 간 : STA. 5+560~5+740 •발파암 높이 : 11.1m •비탈면 경사/경사방향 : 63/158 •지표지질조사 : S-12 •대표절리군 : 83/257, 86/351, 47/146
해석조건	건기시	우기시
평 면 파 괴 해 석		
검토결과	FS = 1.98 > 1.5 … O.K	FS = 1.74 > 1.2 … O.K

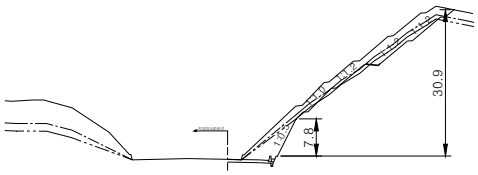
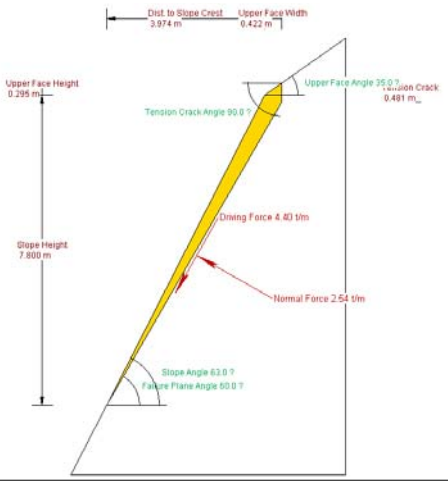
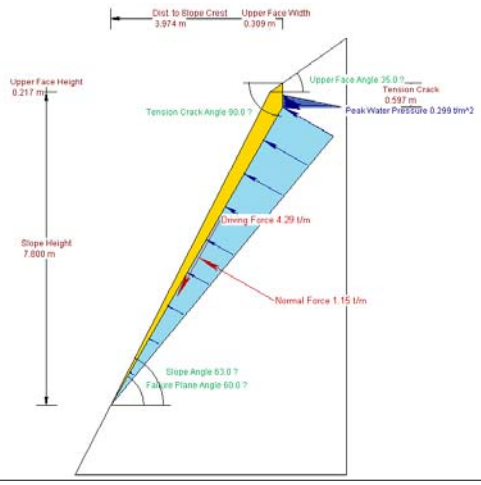
구 분	서오창 IC R-A 1+020 좌측	
검 토 단 면		•구 간 : STA. 0+980~1+060 •발파암 높이 : 19.7m •비탈면 경사/경사방향 : 63/137 •지표지질조사 : S-13 •대표절리군 : 34/262, 84/173, 28/127
해석조건	건기시	우기시
평 면 파 괴 해 석		
검토결과	FS = 1.82 > 1.5 … O.K	FS = 1.13 < 1.2 … N.G

구 분	서오창 IC R-A 1+140 좌측	
검 토 단 면		•구 간 : STA. 1+060~1+186 •발파암 높이 : 23.7m •비탈면 경사/경사방향 : 63/137 •지표지질조사 : S-13 •대표절리군 : 34/262, 84/173, 28/127
해석조건	건기시	우기시
평 면 파 괴 해 석		
검토결과	FS = 1.69 > 1.5 … O.K	FS = 1.04 < 1.2 … N.G

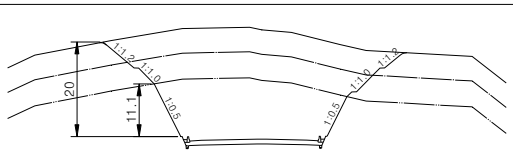
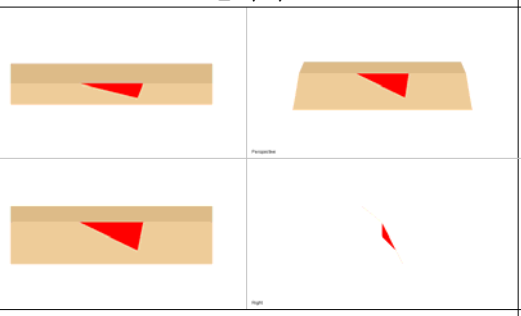
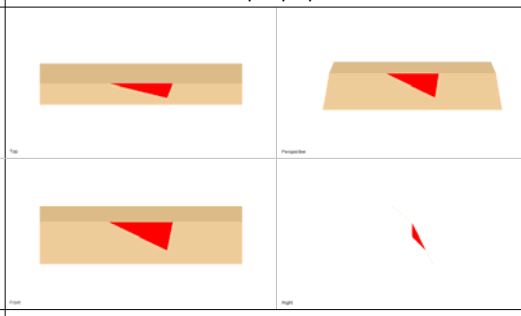
구 분	서오창 IC R-B 0+120 우측	•구 간 : STA. 0+080~0+183 •발파암 높이 : 9.1m •비탈면 경사/경사방향 : 63/233 •지표지질조사 : S-13 •대표절리군 : 34/262, 84/173, 28/127
검 토 단 면		
해석조건	건기시	우기시
평 면 파 괴 해 석		
검토결과	FS = 2.57 > 1.5 … O.K	FS = 1.78 > 1.2 … O.K

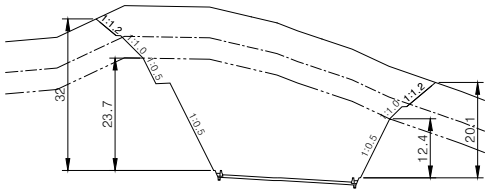
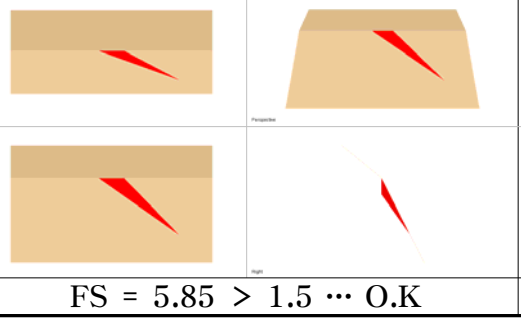
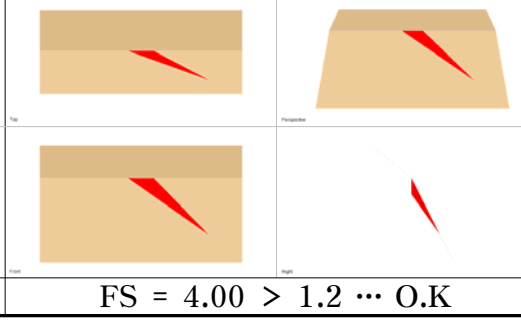
구 분	서오창 IC R-D 0+380 우측	•구 간 : STA. 0+220~0+560 •발파암 높이 : 15.1m •비탈면 경사/경사방향 : 63/137 •지표지질조사 : S-13 •대표절리군 : 34/262, 84/173, 28/127
검 토 단 면		
해석조건	건기시	우기시
평 면 파 괴 해 석		
검토결과	FS = 2.01 > 1.5 … O.K	FS = 1.30 > 1.2 … O.K

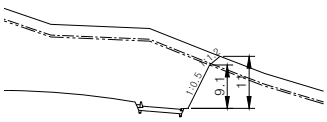
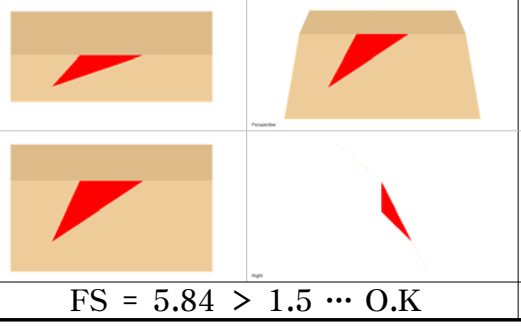
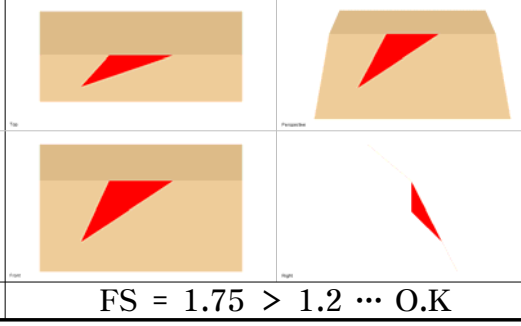
구 분	서오창 IC R-E 0+480 좌측	
검 토 단 면		•구 간 : STA. 0+410~0+481 •발파암 높이 : 9.5m •비탈면 경사/경사방향 : 63/151 •지표지질조사 : S-13 •대표절리군 : 34/262, 84/173, 28/127
해석조건	건기시	우기시
평 면 파 괴 해 석		
검토결과	FS = 2.63 > 1.5 … O.K	FS = 1.78 > 1.2 … O.K

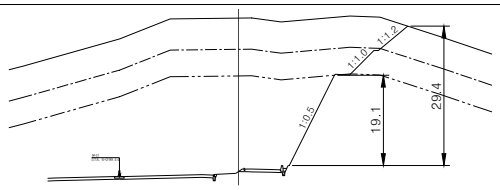
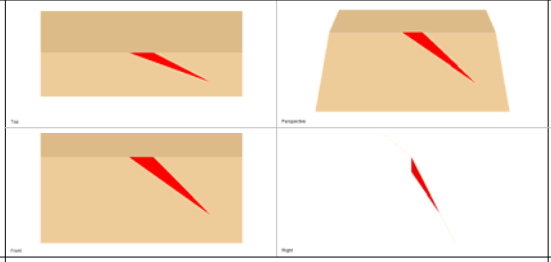
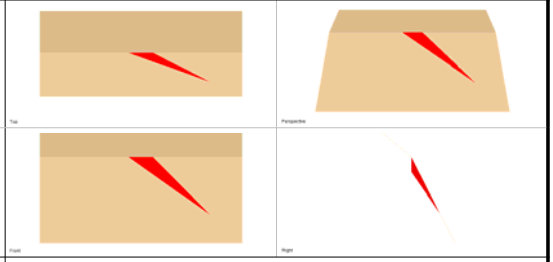
구 분	서오창 IC R-G 0+320 우측	
검 토 단 면		•구 간 : STA. 0+160~0+400 •발파암 높이 : 7.8m •비탈면 경사/경사방향 : 63/052 •지표지질조사 : S-10 •대표절리군 : 58/21, 35/151
해석조건	건기시	우기시
평 면 파 괴 해 석		
검토결과	FS = 10.38 > 1.5 … O.K	FS = 10.15 > 1.2 … O.K

② 쐐기파괴해석

구 분	깎기 9구간 5+660(옥산방향)	•구 간 : STA. 5+560~5+740 •발파암 높이 : 11.1m •비탈면 경사/경사방향 : 63/158 •지표지질조사 : S-12 •대표절리군 : 83/257, 86/351, 47/146
검 토 단 면		
해석조건	건기시	우기시
쐐 기 파 괴 해 석		
검토결과	FS = 3.64 > 1.5 … O.K	FS = 0.39 < 1.2 … N.G

구 분	서오창 IC R-A 1+140 우측	•구 간 : STA. 1+080~1+146 •발파암 높이 : 12.4m •비탈면 경사/경사방향 : 63/320 •지표지질조사 : S-13 •대표절리군 : 34/262, 84/173, 28/127
검 토 단 면		
해석조건	건기시	우기시
쐐 기 파 괴 해 석		
검토결과	FS = 5.85 > 1.5 … O.K	FS = 4.00 > 1.2 … O.K

구 분	서오창 IC R-B 0+120 우측	•구 간 : STA. 0+080~0+160 •발파암 높이 : 9.1m •비탈면 경사/경사방향 : 63/233 •지표지질조사 : S-13 •대표절리군 : 34/262, 84/173, 28/127
검 토 단 면		
해석조건	건기시	우기시
쐐 기 파 괴 해 석		
검토결과	FS = 5.84 > 1.5 … O.K	FS = 1.75 > 1.2 … O.K

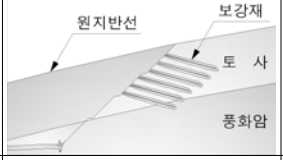
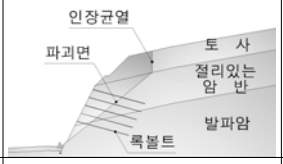
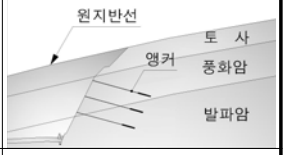
구 분	서오창 IC R-C 0+580 우측	
검 토 단 면		•구 간 : STA. 0+500~0+720 •발파암 높이 : 19.1m •비탈면 경사/경사방향 : 63/322 •지표지질조사 : S-12, 13 •대표절리군 : 88/171, 83/257, 34/262
해석조건	건기시	우기시
쐐 기 파 괴 해 석		
검토결과	FS = 3.74 > 1.5 … O.K	FS = 2.37 > 1.2 … O.K

5) 암반 비탈면 한계평형해석 결과요약

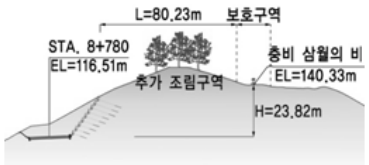
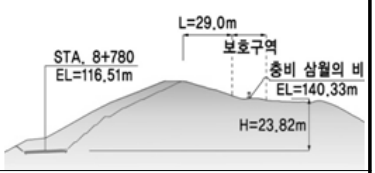
구 분			대표단면 (STA.)	건기시 (FS>1.5)	우기시 (FS>1.2)	판 정	보강여부
평면 파괴	본 선	7구간	4+860(옥산)	1.88	1.22	O.K	
		9구간	5+660(옥산)	1.98	1.74	O.K	
	서오창IC	R-A	1+020 좌측	1.82	1.13	N.G	RockBolt
			1+140 좌측	1.69	1.04	N.G	RockBolt
		R-B	0+120 우측	2.57	1.78	O.K	
		R-D	0+380 우측	2.01	1.30	O.K	
		R-E	0+480 좌측	2.63	1.78	O.K	
		R-G	0+320 우측	10.38	10.15	O.K	
쐐기 파괴	본 선	9구간	5+660(옥산)	3.64	0.39	N.G	RockBolt
	서오창IC	R-A	1+140 우측	5.85	4.00	O.K	
		R-B	0+120 우측	5.84	1.75	O.K	
		R-C	0+580 우측	3.74	2.37	O.K	

7.6.3 깎기 비탈면 보강계획

가. 비탈면 보강공법 검토

구 분	비탈면 경사완화 공법	Soil Nailing 공법	Rock Bolt 공법	Anchor 공법
개요도				
공법 개요	•깎기비탈면의 경사를 완화시켜 비탈면 활동력을 감소시킴으로써 비탈면의 안정성을 확보하는 공법	•보강재를 지반에 촘촘히 삽입하여 보강된 지반을 일체화시켜 원지반의 전체적인 전단저항력 및 활동저항력을 증가시켜 비탈면의 안정성을 확보하고 변위를 억제하는 공법	•활동가능 암체의 봉합효과로 비탈면 활동을 억제시킴으로써 원지반의 전단강도 증대와 보강재에 의한 효과를 얻는 공법	•비탈면의 예상파괴면 위에 위치하는 파괴토체를 파괴범위 밖에 미리 설정한 앵커체를 인장정착시켜 비탈면에 전단저항력을 증가시키는 공법
장 점	•비탈면의 장기적인 안정성을 확보할 수 있음 •시공성이 좋아 공사기간이 단축됨 •시공후 관리 및 하자 보수가 용이함 •경사 조정에 의한 시각적 불안감 해소 •공사비 저렴	•네일 1개가 부담하는 안전도가 낮으므로 국부적인 품질에 문제가 발생할 경우 전체안정에 미치는 영향이 상대적으로 작음 •시공이 간단하며 주재료의 구입이 용이 •시공 경험이 풍부	•소규모 활동암체에 대한 보강효과 우수 •시공성 및 경제성 우수 •부재의 전단강도나 원지반과의 인발저항에 의한 직접적인 원지반의 보강뿐만 아니라 간접적인 원지반의 물성을 강화하여 비탈면 안정성을 확보	•프리스트레스를 가하여 지반이 변형하기 전에 큰 억지효과를 기대할 수 있으며, 비교적 간단한 구조 •인발저항력이 크며 설치된 앵커의 설계앵커력 확인 가능 •비교적 소형기계로 시공이 가능해 지형의 제약을 받는 협소한 장소도 설치 가능
단 점	•추가 비탈면용지 확보에 따른 용지비 증가 및 민원 발생의 우려 •절취면적 증가에 따른 자연경관 훼손 •추가 절토 예상 부위에 기존 구조물 존재시 적용 곤란	•지반변형에 따른 보강철근의 인장력이 발생하는 수동적인 공법 •금속 보강재는 부식성 지반에서 부식에 대한 방지대책이 필요	•정착부에 비교적 견고한 암반이 분포하여야 함 •인장균열 및 기 활동발생부위에 대한 처리 필요 •대규모 활동암체 보강시 적용 어려움	•앵커체 1개가 부담하는 안전도가 높으므로 국부적인 품질에 문제가 있을시 전체 안정에 끼치는 영향이 큼 •시간이 경과되면서 인장력 저하(소성변형, 릴랙세이션)
적 용	◎	◎	◎	
선 정	•토사 및 풍화암 비탈면에 대해서는 표준경사에 의해 안정성 확보가 불가능한 경우에는 우선적으로 비탈면 경사완화를 검토하였으며 용지경계 또는 환경영향 등의 사유로 비탈면 경사완화가 곤란한 구간에 대해서는 국내 시공성 및 경제적 측면에서 유리한 Soil Nailing공법 적용 •암반비탈면에 대해서는 일부 평면 및 쐐기파괴, 전도파괴에 대한 안정성 확보를 위하여 Rock Bolt 공법 적용			

나. 깎기부 옹벽 공법 검토

구 분	깎기부 옹벽 공법	Soil Nailing 공법	경사완화 공법
개요도			
공법 개요	•천공후 고장력 PC강선을 예상활동면 보다 깊은 위치에 앵커를 정착시켜 원지반의 전단저항력을 증가시켜 비탈면을 안정화 시키는 공법	•보강재를 지반에 촘촘히 삽입하여 보강된 지반을 일체화시켜 원지반의 전체적인 전단저항력 및 활동저항력을 증가시켜 비탈면의 안정성을 확보하고 변위를 억제하는 공법	•비탈면의 경사를 완만히 조정하여 토체 자중감소로 인한 활동력 감소로 비탈면을 안정화 시키는 공법
적 용	◎		
선 정	•비탈면 인근 문화재(충비삼월의 비)에 미치는 영향을 최소화하고 이격거리를 최대화하기 위하여 깎기부 옹벽 공법 적용(문화재 현상변경 심의의견 반영)		

다. 구간별 적용 대책공법

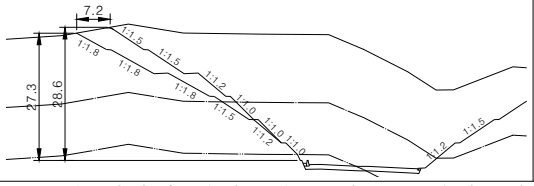
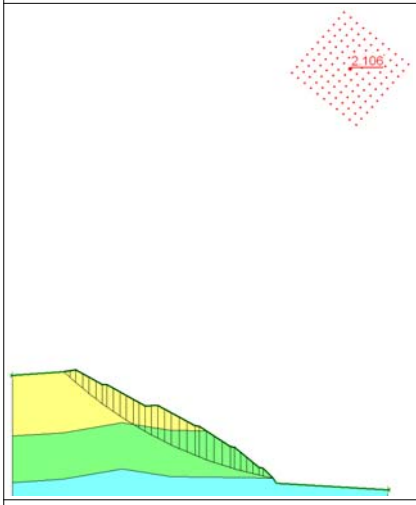
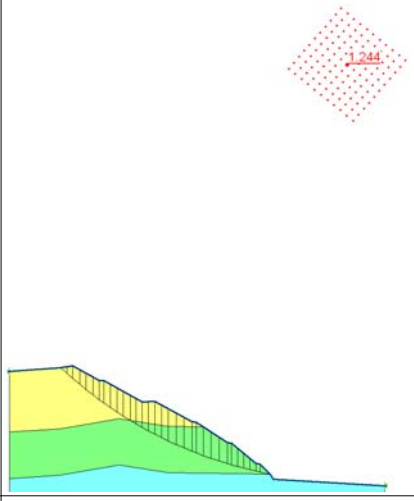
1) 토사, 풍화암 비탈면 대책공법 적용구간 현황

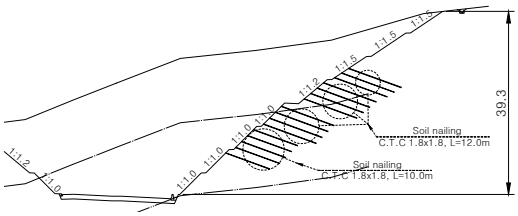
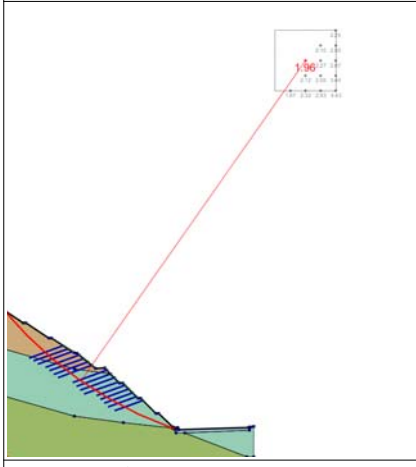
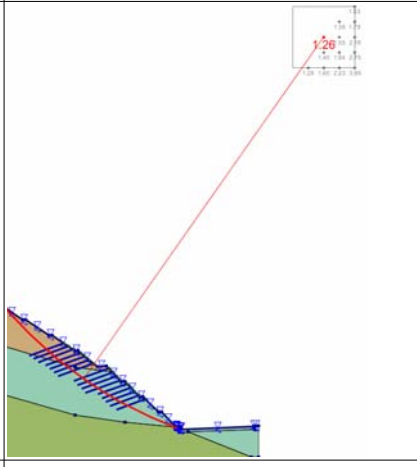
구 분		위 치(STA.)	대표단면(STA.)	보강사유
본 선	1구간	0+278~0+485	0+300(옥산)	표준경사시 불안정
			0+340(오창)	표준경사시 불안정
			0+420(오창)	표준경사시 불안정
	2구간	1+326~2+081	1+520(옥산)	표준경사시 불안정
			1+800(오창)	표준경사시 불안정
			1+920(오창)	표준경사시 불안정
	4구간	2+982~3+122	3+040(오창)	표준경사시 불안정
	5구간	3+253~3+380	3+340(옥산)	표준경사시 불안정
	6구간	3+661~3+992	3+880(오창)	표준경사시 불안정
	7구간	4+607~4+910	4+780(오창)	표준경사시 불안정
			4+840(오창)	표준경사시 불안정
			4+840(옥산)	표준경사시 불안정
	13구간	8+014~8+890	8+220(옥산)	표준경사시 불안정
			8+240(옥산)	표준경사시 불안정
			8+400(옥산)	표준경사시 불안정
			8+420(오창)	표준경사시 불안정
			8+540(오창)	표준경사시 불안정
			8+680(오창)	표준경사시 불안정
			8+780(오창)	표준경사시 불안정
	15구간	9+512~9+781	9+620(옥산)	표준경사시 불안정
	16구간	10+058~10+159	10+100(오창)	표준경사시 불안정
옥산JCT	R-A	0+530~0+860	0+640 우측	표준경사시 불안정
서오창IC	R-C	0+345~0+802	0+500 우측	표준경사시 불안정
	R-D	0+084~0+570	0+240 우측	표준경사시 불안정

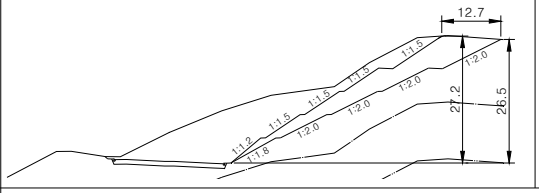
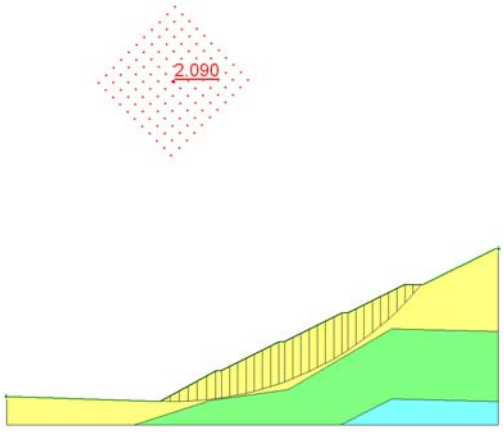
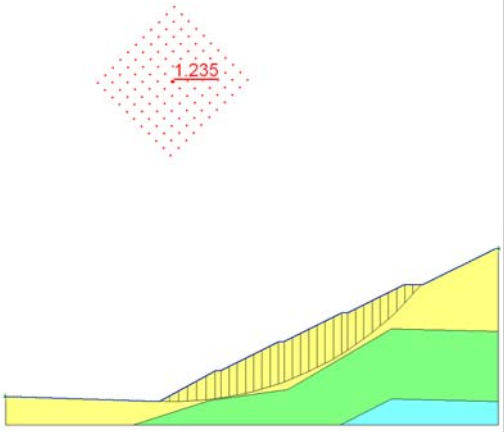
2) 암반비탈면 대책공법 적용구간 현황

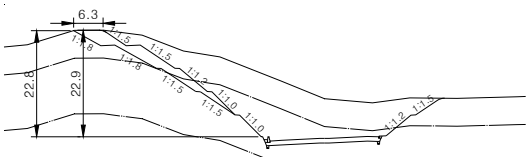
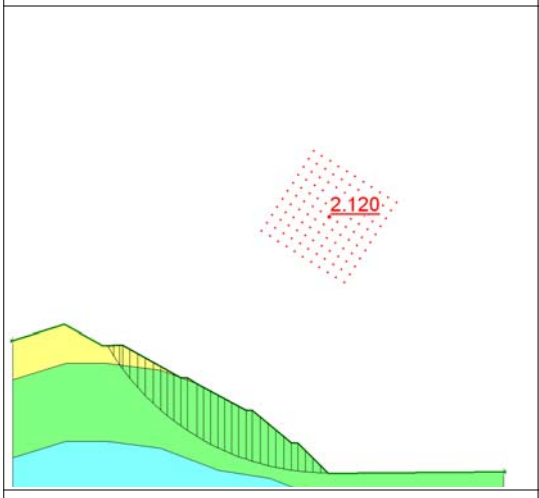
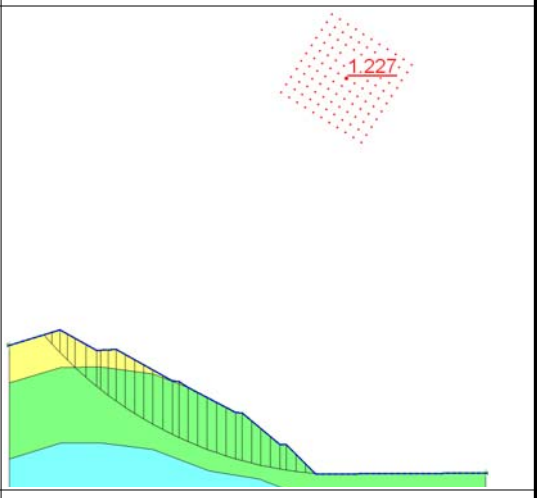
구 분		위 치(STA.)	대표단면(STA.)	보강사유
본 선	9구간	5+550~5+750	5+660(옥산)	쐐기파괴 발생
서오창IC	R-A	0+980~1+060	1+020 좌측	평면파괴 발생
		1+060~1+186	1+140 좌측	평면파괴 발생

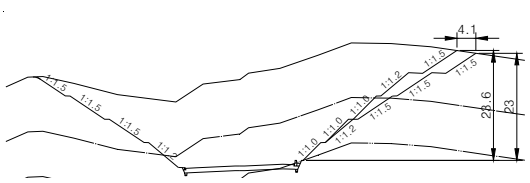
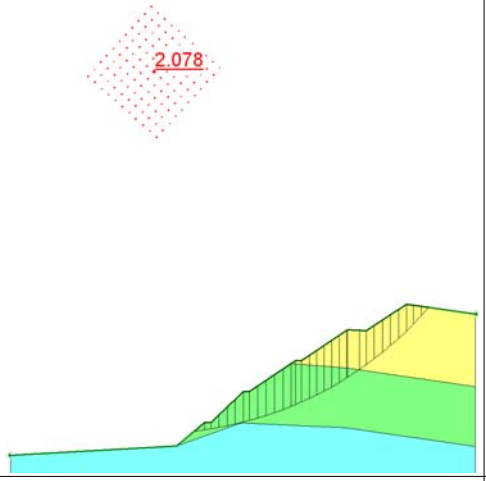
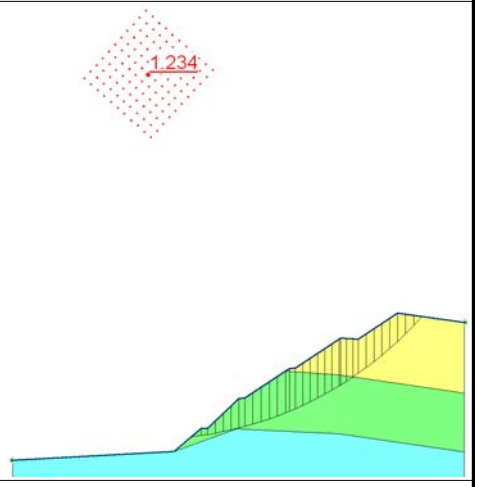
3) 토사, 풍화암 비탈면 대책공법 적용후 안정성 검토

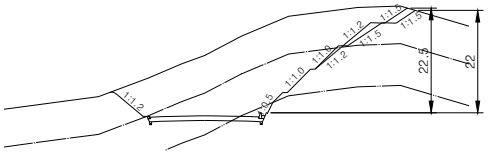
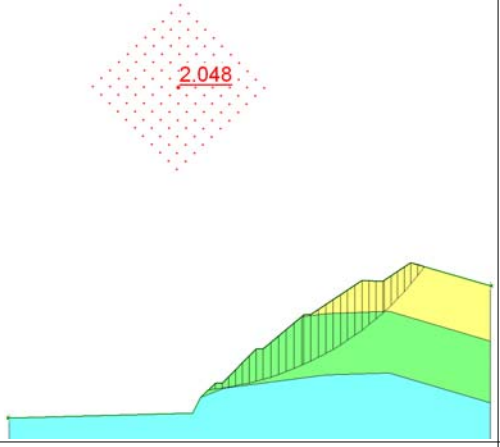
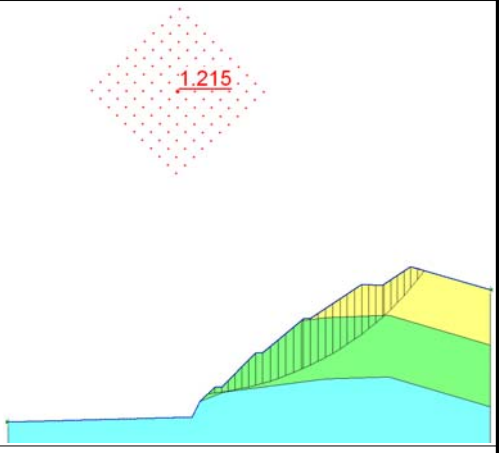
구 분	깎기 1구간 STA. 0+300(옥산)	
보강 적용 단면		•보강공법 : 경사완화공법 적용 •경사완화 : – 토사 1:1.8, 리핑 1:1.0~1:1.5 •보강구간 : STA. 0+290~0+330 •보강연장 : L=40m
보강공법 선 정	• 토사 비탈면 깎기고가 높지만 환경훼손의 영향이 크지 않으며, 공사비 절감 효과 및 장기 안정성 확보를 위하여 경사완화공법을 적용함.	
보강 후 안정해석	건기시	우기시
		
	FS = 2.106 > 1.5 … O.K	FS = 1.244 > 1.2 … O.K

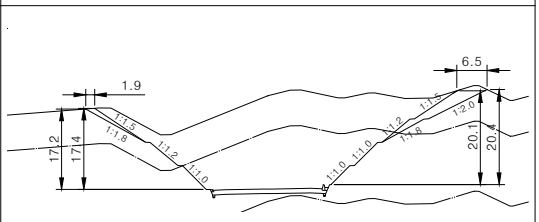
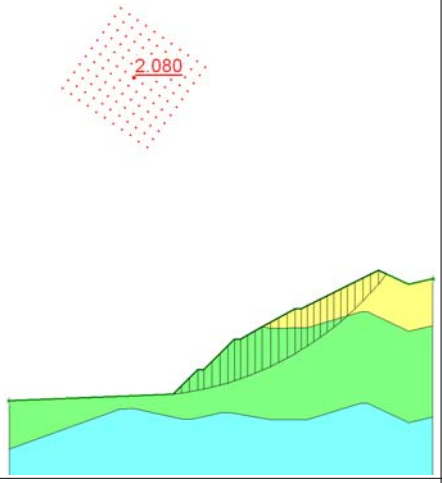
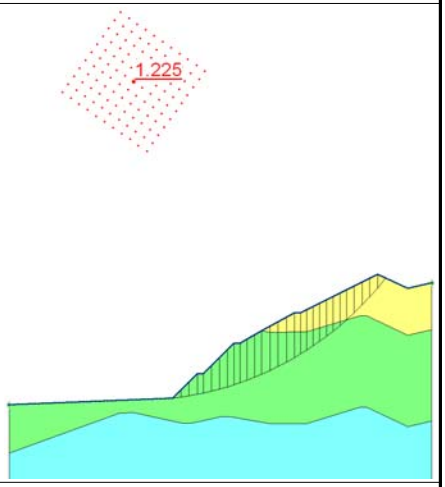
구 분	깎기 1구간 STA. 0+340(오창)	
보강 적용 단면		•보강공법 : Soil Nailing공법 적용 – C.T.C 1.8m×1.8m •보강경사 : – 토사 1:1.2~1:1.5, 리핑 1:1.0 •보강구간 : STA. 0+310~0+370 •보강연장 : L=60m •생태통로 설치로 인한 복토구간은 안전율을 하향 적용하여 계획함. 비탈면 보강 전개도 참조
보강공법 선 정	• 비탈면 깎기고가 높고 경사완화공법 적용시 절토량이 많아 환경훼손의 영향이 크므로 시공성 및 경제성을 고려하여 Soil Nailing공법을 적용함.	
보강 후 안정해석	건기시	우기시
		
	FS = 1.96 > 1.5 … O.K	FS = 1.26 > 1.2 … O.K

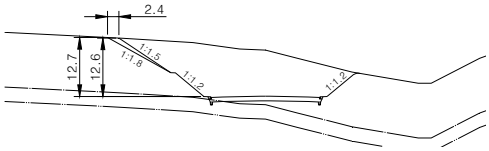
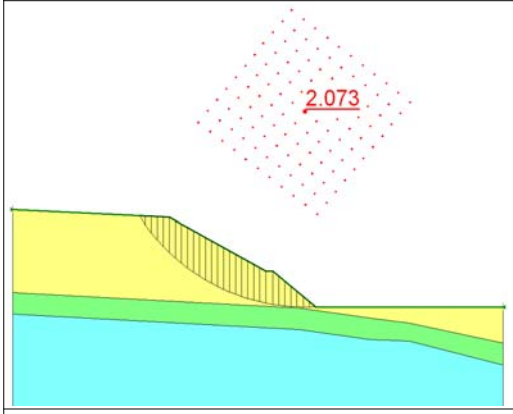
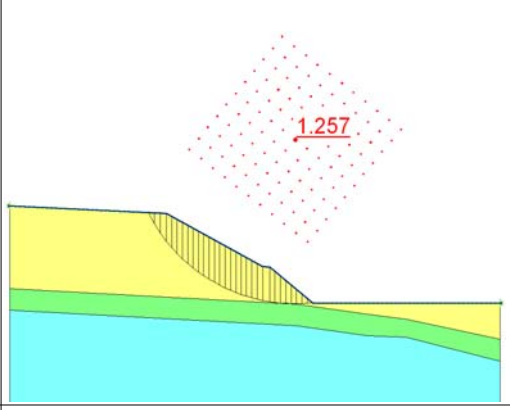
구 분	깎기 1구간 STA. 0+420(오창)	•보강공법 : 경사완화공법 적용 •경사완화 : – 토사 1:1.8~1:2.0 •보강구간 : STA. 0+420~0+460 •보강연장 : L=40m
보 강 적 용 단 면		
보강공법 선 정	• 토사 비탈면 깎기고가 높지만, 공사비 절감 효과 및 장기 안정성 확보를 위하여 경사완화공법을 적용함.	
보 강 후 안정해석	건기시	우기시
		
	FS = 2.090 > 1.5 … O.K	FS = 1.235 > 1.2 … O.K

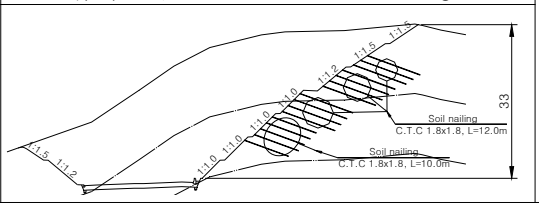
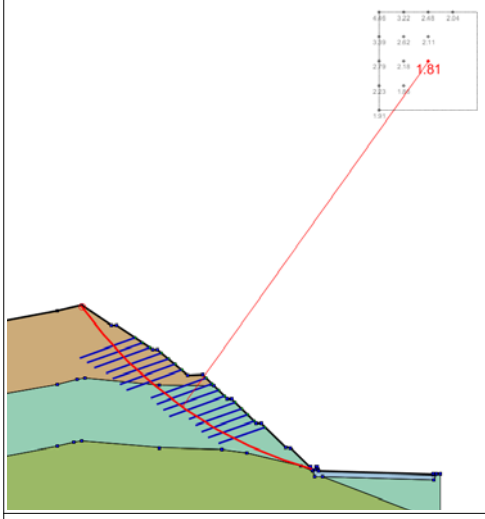
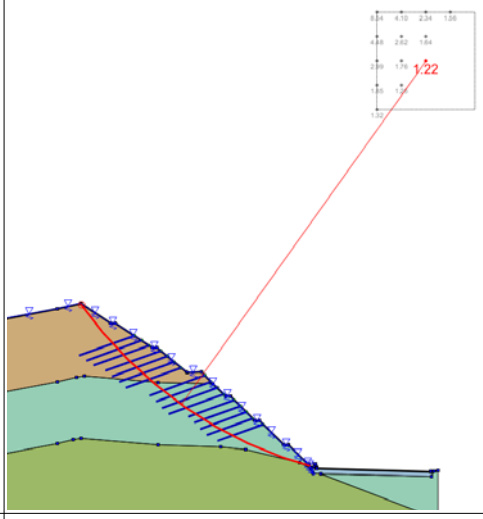
구 분	깎기 2구간 STA. 1+520(옥산)	•보강공법 : 경사완화공법 적용 •경사완화 : – 토사 1:1.8, 리핑 1:1.5 •보강구간 : STA. 1+420~1+580 •보강연장 : L=160m
보 강 적 용 단 면		
보강공법 선 정	• 토사 비탈면 깎기고가 높지만 환경훼손의 영향이 크지 않으며, 공사비 절감 효과 및 장기 안정성 확보를 위하여 경사완화공법을 적용함.	
보 강 후 안정해석	건기시	우기시
		
	FS = 2.120 > 1.5 … O.K	FS = 1.227 > 1.2 … O.K

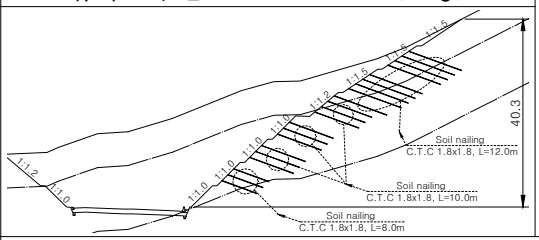
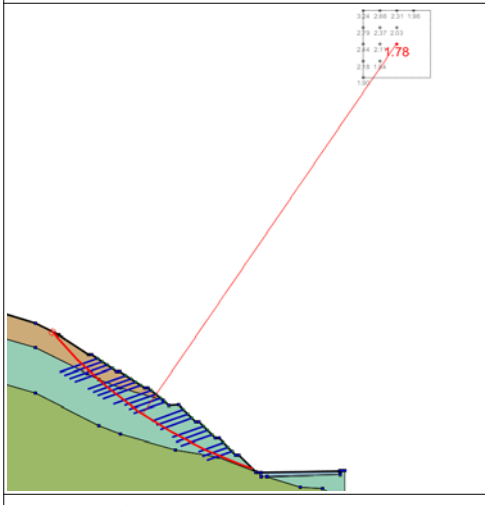
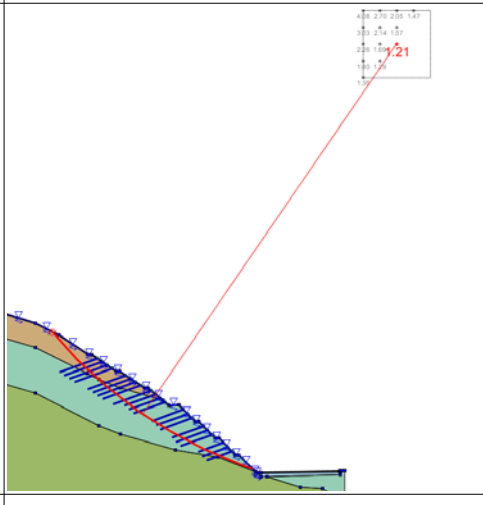
구 분	깎기 2구간 STA. 1+800(오창)	
보 강 적 용 단 면		•보강공법 : 경사완화공법 적용 •경사완화 : 토사 1:1.5, 리핑 1:1.0~1:1.5 •보강구간 : STA. 1+760~1+820 •보강연장 : L= 60m
보강공법 선 정	• 토사 비탈면 깎기고가 높지만 환경훼손의 영향이 크지 않으며, 공사비 절감 효과 및 장기 안정성 확보를 위하여 경사완화공법을 적용함.	
보 강 후 안정해석	건기시	우기시
		
	FS = 2.078 > 1.5 … O.K	FS = 1.234 > 1.2 … O.K

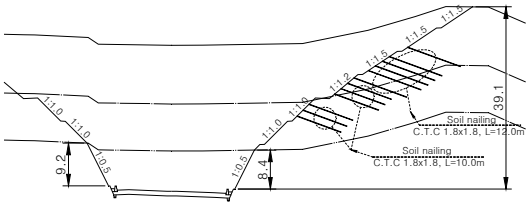
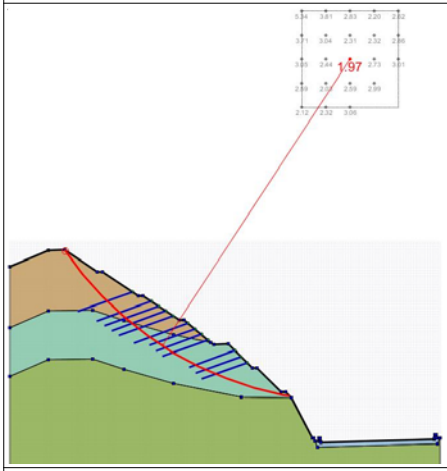
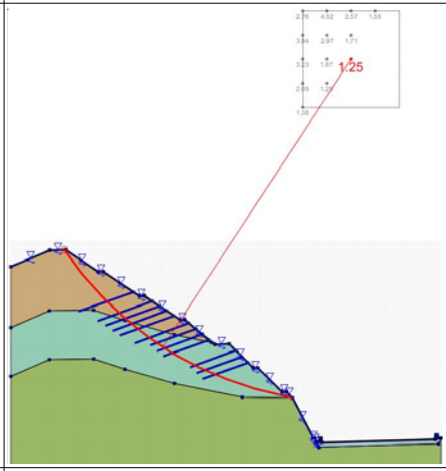
구 분	깎기 2구간 STA. 1+920(오창)	
보 강 적 용 단 면		•보강공법 : 경사완화공법 적용 •경사완화 : – 토사 1:1.5, 리핑 1:1.0~1:1.2 •보강구간 : STA. 1+900~1+940 •보강연장 : L=40m
보강공법 선 정	• 토사 비탈면 깎기고가 높지만 환경훼손의 영향이 크지 않으며, 공사비 절감 효과 및 장기 안정성 확보를 위하여 경사완화공법을 적용함.	
보 강 후 안정해석	건기시	우기시
		
	FS = 2.048 > 1.5 … O.K	FS = 1.215 > 1.2 … O.K

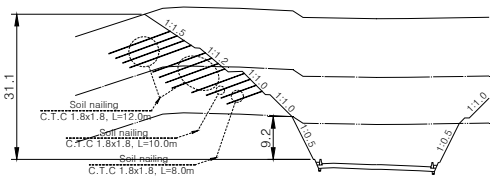
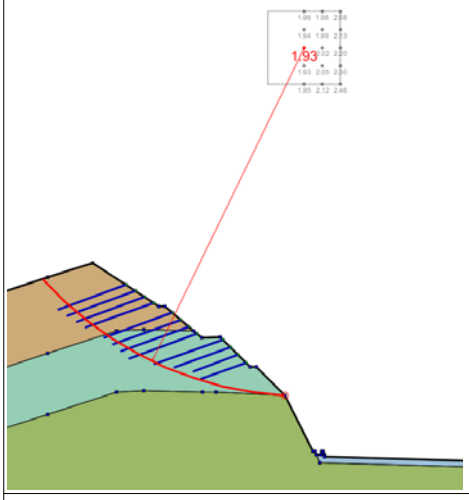
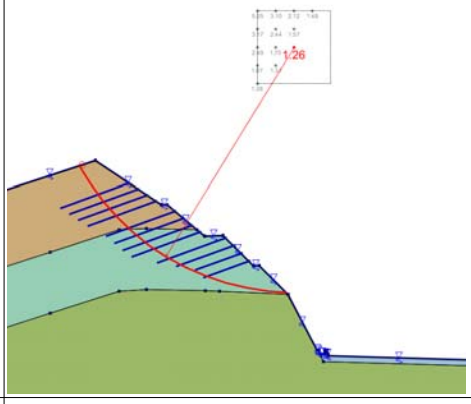
구 분	깎기 4구간 STA. 3+040(오창)	•보강공법 : 경사완화공법 적용 •경사완화 : – 토사 1:1.8~2.0, 리핑 1:1.0~1:1.8 •보강구간 : STA. 3+040~3+080(옥산) STA. 3+020~3+060(오창) •보강연장 : L=40m(옥산), 40m(오창)
보 강 적 용 단 면		
보강공법 선 정	• 토사 비탈면 깎기고가 높지만 환경훼손의 영향이 크지 않으며, 공사비 절감 효과 및 장기 안정성 확보를 위하여 경사완화공법을 적용함.	
보 강 후 안정해석	건기시	우기시
		
	FS = 2.080 > 1.5 … O.K	FS = 1.225 > 1.2 … O.K

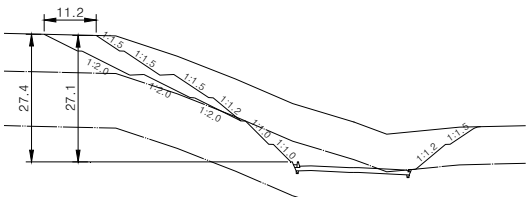
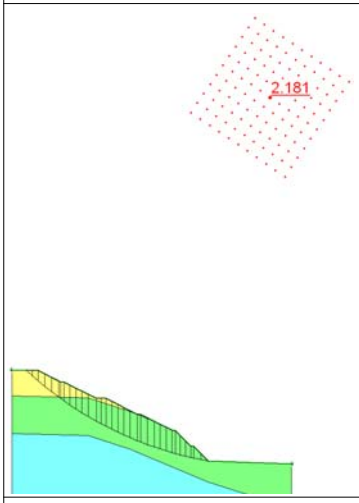
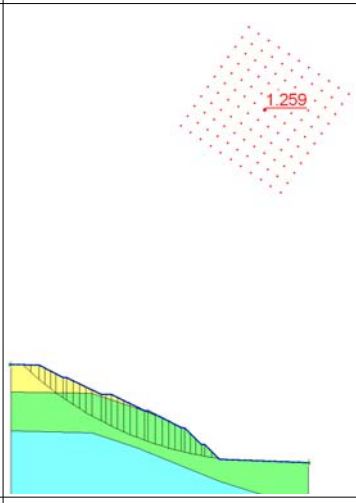
구 분	깎기 5구간 STA. 3+340(옥산)	•보강공법 : 경사완화공법 적용 •경사완화 : – 토사 1:1.2~1:1.8 •보강구간 : STA. 3+330~3+360 •보강연장 : L=30m
보 강 적 용 단 면		
보강공법 선 정	• 토사 비탈면 깎기고가 낮고 환경훼손의 영향이 크지 않으며, 공사비 절감 효과를 감안하여 경사완화공법을 적용함.	
보 강 후 안정해석	건기시	우기시
		
	FS = 2.073 > 1.5 … O.K	FS = 1.257 > 1.2 … O.K

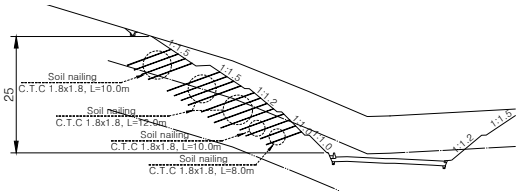
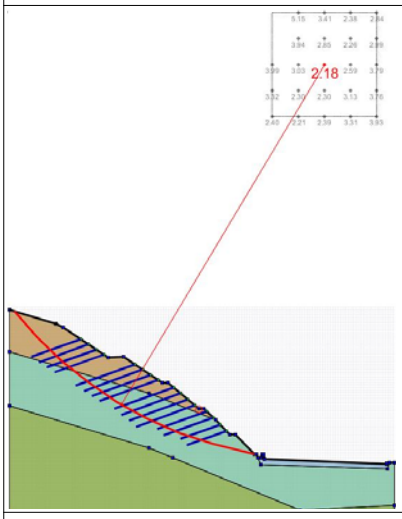
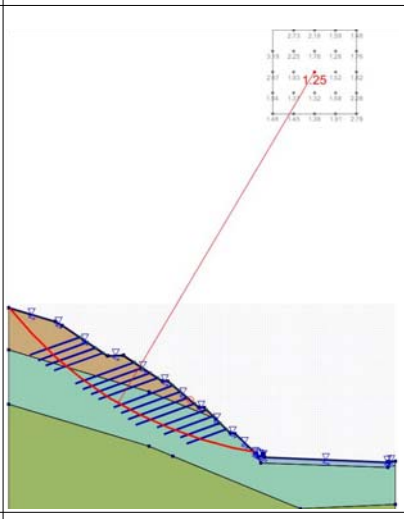
구 분	깎기 6구간 STA. 3+880(오창)	
보강적용단면		•보강공법 : Soil Nailing공법 적용 – C.T.C 1.8m×1.8m •보강경사 : – 토사 1:1.0~1:1.5, 리핑 1:1.0 •보강구간 : STA. 3+740~3+920 •보강연장 : L=180m
보강공법 선정	• 비탈면 깎기고가 높고 경사완화공법 적용시 절토량이 많아 환경훼손의 영향이 크므로 시공성 및 경제성을 고려하여 Soil Nailing공법을 적용함.	
보강후 안정해석	건기시	우기시
		
	FS = 1.81 > 1.5 … O.K	FS = 1.22 > 1.2 … O.K

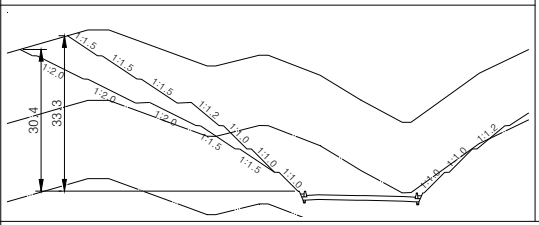
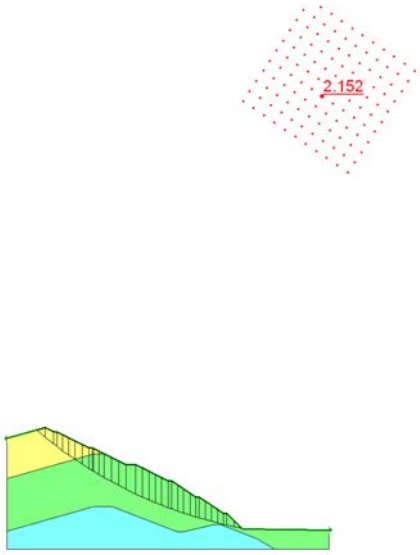
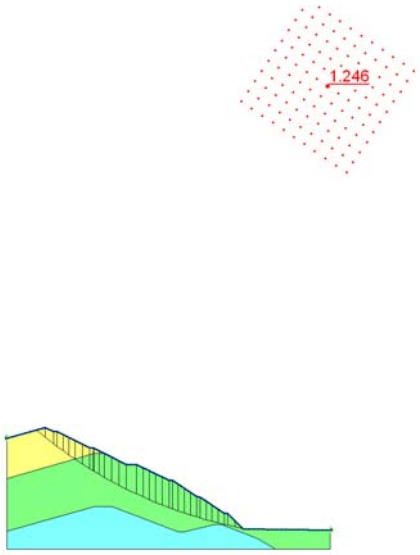
구 분	깎기 7구간 STA. 4+780(오창)	
보강적용단면		•보강공법 : Soil Nailing공법 적용 – C.T.C 1.8m×1.8m •보강경사 : – 토사 1:1.2~1:1.5, 리핑 1:1.0 •보강구간 : STA. 4+710~4+820 •보강연장 : L=110m
보강공법 선정	• 비탈면 깎기고가 높고 경사완화공법 적용시 절토량이 많아 환경훼손의 영향이 크므로 시공성 및 경제성을 고려하여 Soil Nailing공법을 적용함.	
보강후 안정해석	건기시	우기시
		
	FS = 1.78 > 1.5 … O.K	FS = 1.21 > 1.2 … O.K

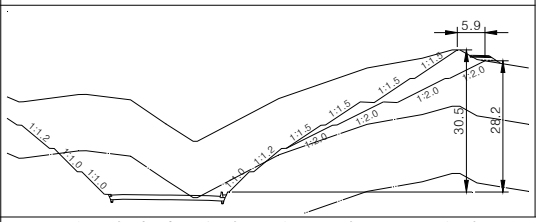
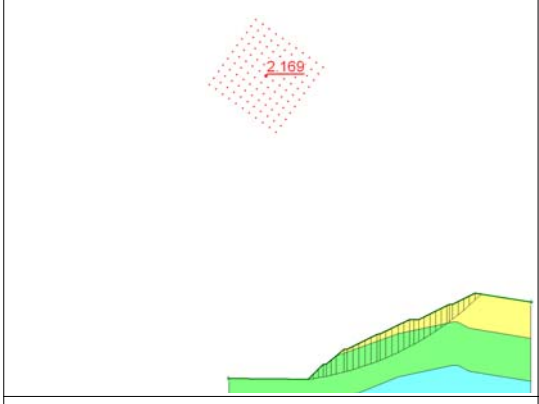
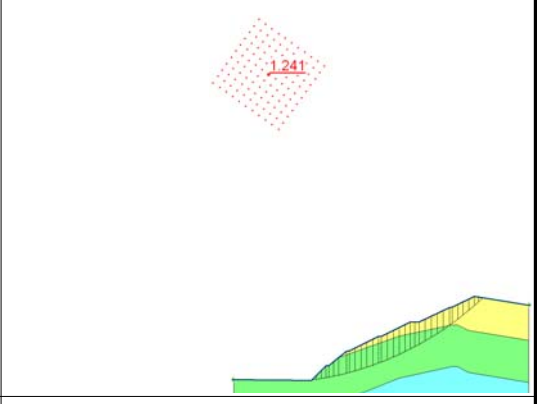
구 분	깎기 7구간 STA. 4+840(오창)	
보강적용단면		•보강공법 : Soil Nailing공법 적용 – C.T.C 1.8m×1.8m •보강경사 : – 토사 1:1.2~1:1.5, 리핑 1:1.0 •보강구간 : STA. 4+820~4+870 •보강연장 : L=50m
보강공법 선정	• 비탈면 깎기고가 높고 경사완화공법 적용시 절토량이 많아 환경훼손의 영향이 크므로 시공성 및 경제성을 고려하여 Soil Nailing공법을 적용함.	
보강후 안정해석	건기시	우기시
		
	FS = 1.97 > 1.5 … O.K	FS = 1.25 > 1.2 … O.K

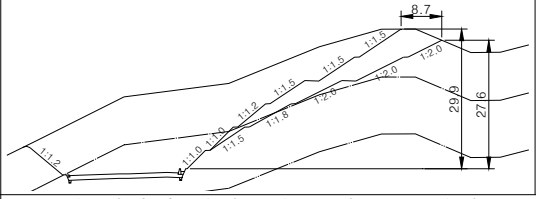
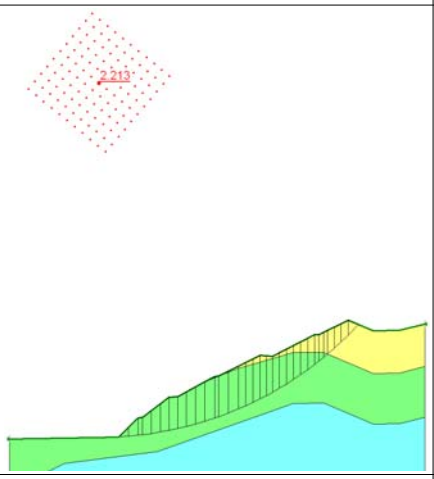
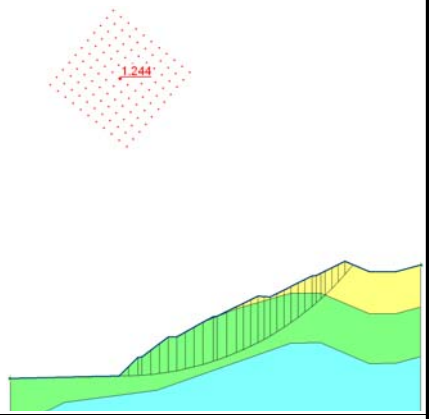
구 분	깎기 7구간 STA. 4+840(옥산)	
보강적용단면		•보강공법 : Soil Nailing공법 적용 – C.T.C 1.8m×1.8m •보강경사 : – 토사 1:1.2~1:1.5, 리핑 1:1.0 •보강구간 : STA. 4+790~4+910 •보강연장 : L=120m
보강공법 선정	• 비탈면 깎기고가 높고 경사완화공법 적용시 절토량이 많아 환경훼손의 영향이 크므로 시공성 및 경제성을 고려하여 Soil Nailing공법을 적용함.	
보강후 안정해석	건기시	우기시
		
	FS = 1.93 > 1.5 … O.K	FS = 1.26 > 1.2 … O.K

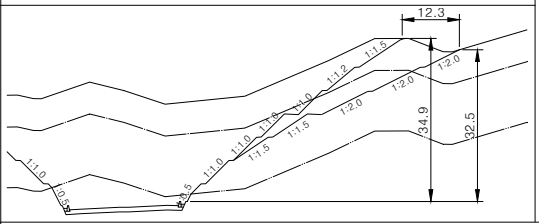
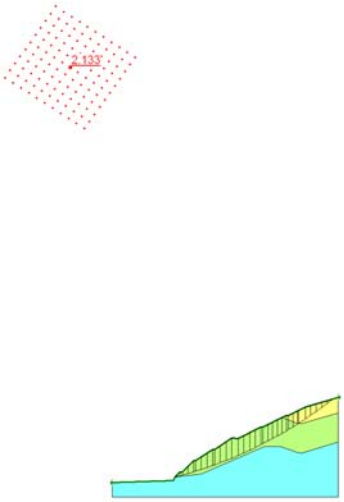
<table>
<tr><td>구 분</td><td>깎기 13구간 STA. 8+220(옥산)</td><td rowspan="2">•보강공법 : 경사완화공법 적용
•경사완화 :
– 토사 1:2.0, 리핑 1:1.0
•보강구간 : STA. 8+120~8+230
•보강연장 : L=110m</td></tr>
<tr><td>보 강
적 용
단 면</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>보강공법
선 정</td><td colspan="2">• 토사 비탈면 깎기고가 높지만, 공사비 절감 효과 및 장기 안정성 확보를 위하여 경사 완화공법을 적용함.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">보 강 후
안정해석</td><td>건기시</td><td>우기시</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>FS = 2.181 > 1.5 … O.K</td><td>FS = 1.259 > 1.2 … O.K</td></tr>
</table>

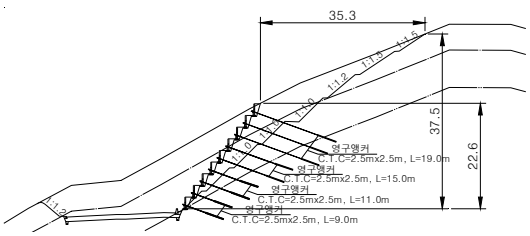
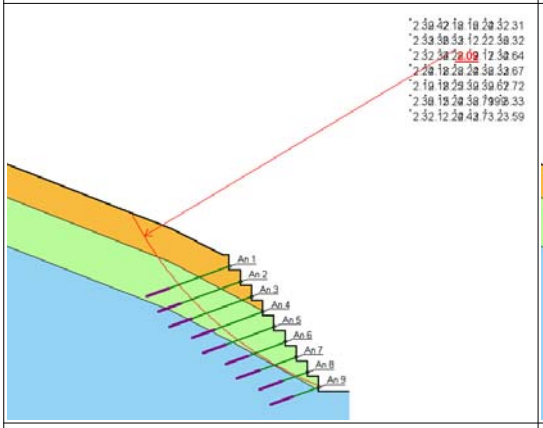
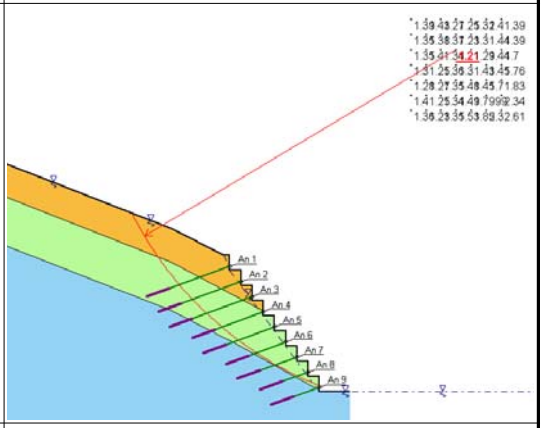
<table>
<tr><td>구 분</td><td>깎기 13구간 STA. 8+240(옥산)</td><td rowspan="2">•보강공법 : Soil Nailing공법 적용
– C.T.C 1.8m×1.8m
•보강경사 :
– 토사 1:1.2~1:1.5, 리핑 1:1.0
•보강구간 : STA. 8+240~8+290
•보강연장 : L=50m</td></tr>
<tr><td>보 강
적 용
단 면</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>보강공법
선 정</td><td colspan="2">• 비탈면 깎기고가 높고 경사완화공법 적용시 절토량이 많아 환경훼손의 영향이 크므로 시공성 및 경제성을 고려하여 Soil Nailing공법을 적용함.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">보 강 후
안정해석</td><td>건기시</td><td>우기시</td></tr>
<tr><td> 
</td><td> 
</td></tr>
<tr><td>FS = 2.18 > 1.5 … O.K</td><td>FS = 1.25 > 1.2 … O.K</td></tr>
</table>

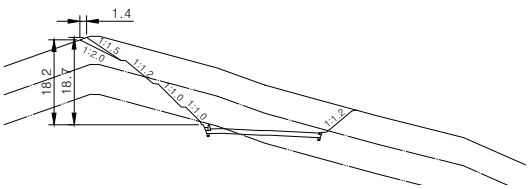
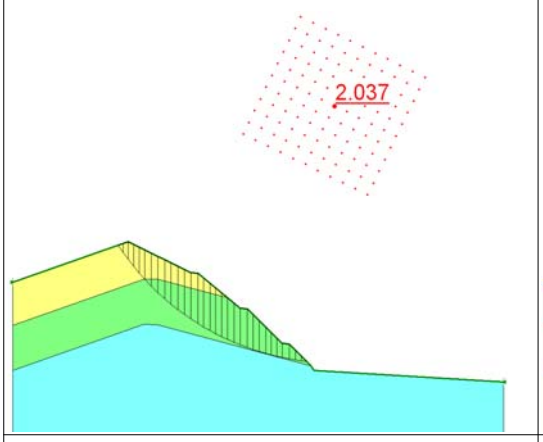
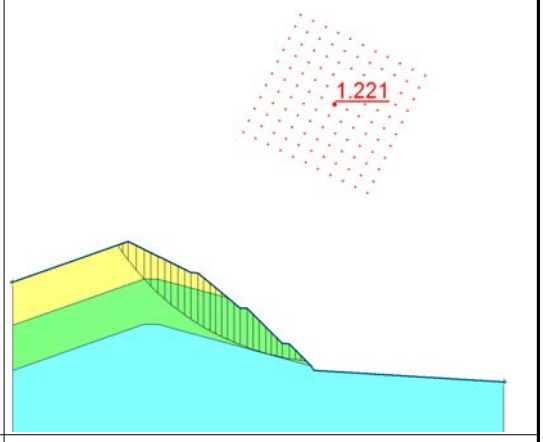
구분	깎기 13구간 STA. 8+400(옥산)	
보강 적용 단면		•보강공법 : 경사완화공법 적용 •경사완화 : – 토사 1:2.0, 리핑 1:1.5 •보강구간 : STA. 8+300~8+440 •보강연장 : L=140m
보강공법 선정	• 토사 비탈면 깎기고가 높지만, 공사비 절감 효과 및 장기 안정성 확보를 위하여 경사완화공법을 적용함.	
보강 후 안정해석	건기시	우기시
		
	FS = 2.152 > 1.5 … O.K	FS = 1.246 > 1.2 … O.K

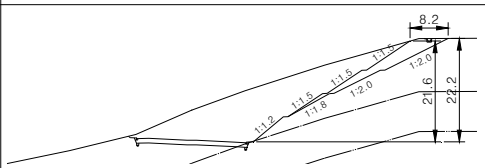
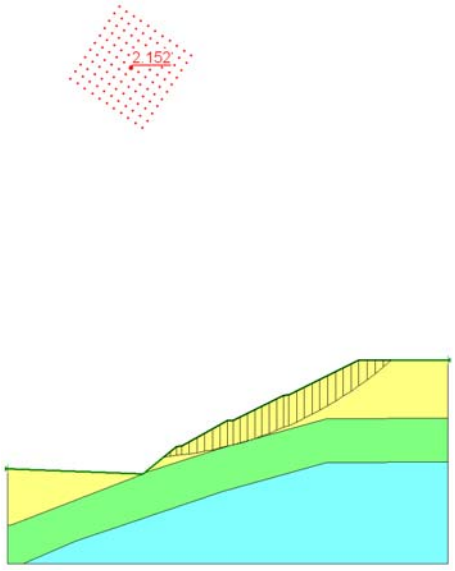
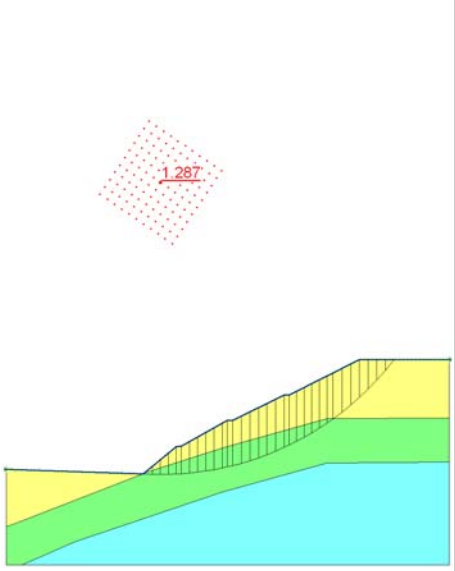
구분	깎기 13구간 STA. 8+420(오창)	
보강 적용 단면		•보강공법 : 경사완화공법 적용 •경사완화 : – 토사 1:2.0, 리핑 1:1.0~1:1.2 •보강구간 : STA. 8+300~8+480 •보강연장 : L=180m
보강공법 선정	• 토사 비탈면 깎기고가 높지만, 공사비 절감 효과 및 장기 안정성 확보를 위하여 경사완화공법을 적용함.	
보강 후 안정해석	건기시	우기시
		
	FS = 2.169 > 1.5 … O.K	FS = 1.241 > 1.2 … O.K

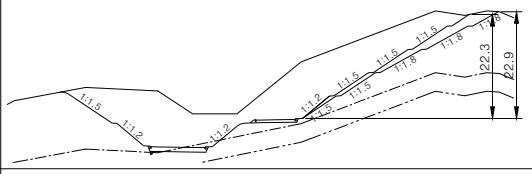
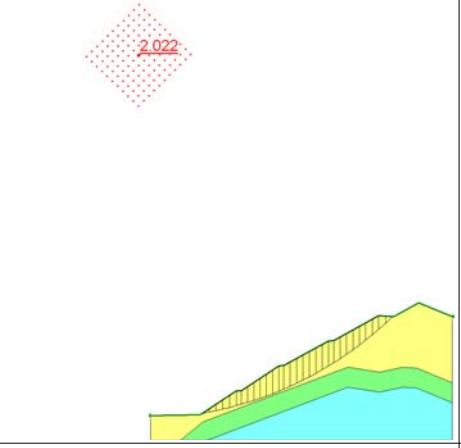
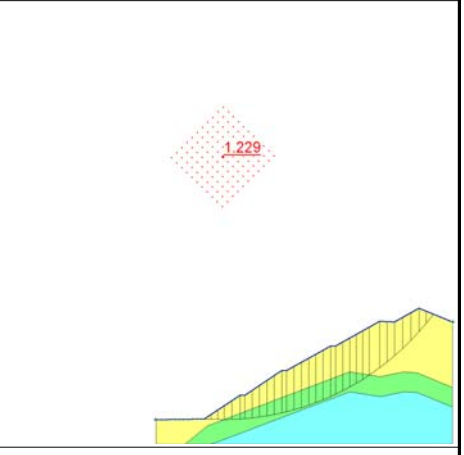
구 분	깎기 13구간 STA. 8+540(오창)	
보강 적용 단면		•보강공법 : 경사완화공법 적용 •경사완화 : – 토사 1:1.8~1:2.0, 리핑 1:1.0~1:1.8 •보강구간 : STA. 8+520~8+560 •보강연장 : L=40m
보강공법 선 정	• 토사 비탈면 깎기고가 높지만, 공사비 절감 효과 및 장기 안정성 확보를 위하여 경사완화공법을 적용함.	
보강 후 안정해석	건기시	우기시
		
	FS = 2.213 > 1.5 … O.K	FS = 1.244 > 1.2 … O.K

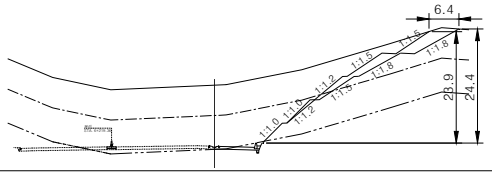
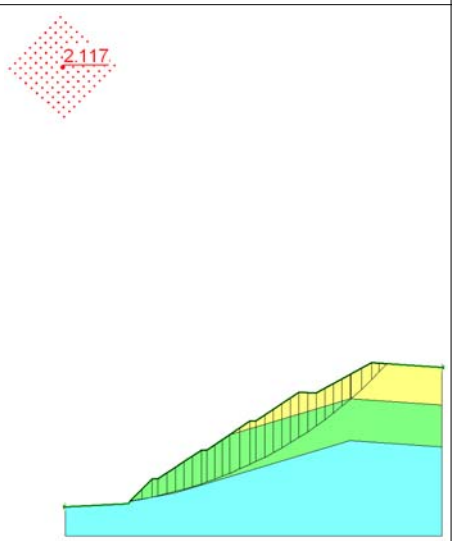
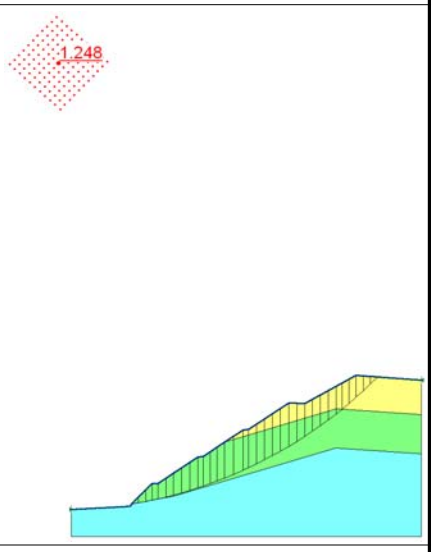
구 분	깎기 13구간 STA. 8+680(오창)	
보강 적용 단면		•보강공법 : 경사완화공법 적용 •경사완화 : – 토사 1:2.0, 리핑 1:1.0~1:2.0 •보강구간 : STA. 8+660~8+700 •보강연장 : L=40m
보강공법 선 정	• 토사 비탈면 깎기고가 높지만, 공사비 절감 효과 및 장기 안정성 확보를 위하여 경사완화공법을 적용함.	
보강 후 안정해석	건기시	우기시
		
	FS = 2.133 > 1.5 … O.K	FS = 1.252 > 1.2 … O.K

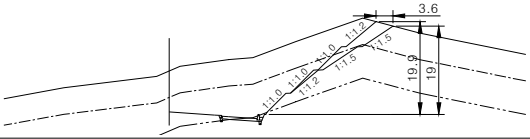
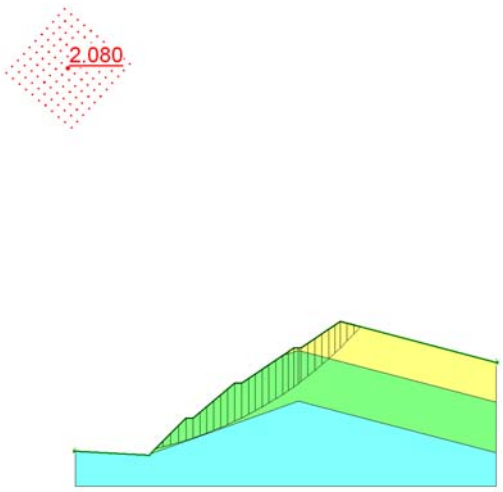
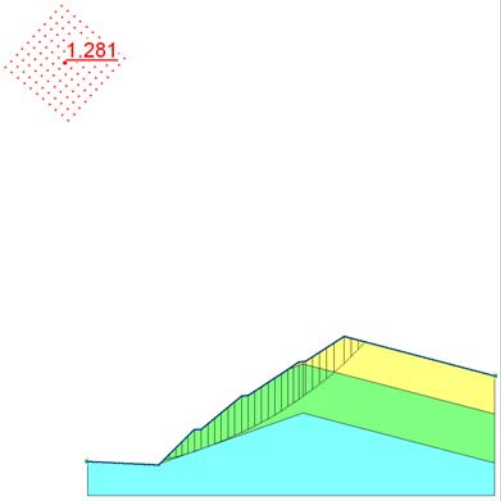
구 분	깎기 13구간 STA. 8+780(오창)	•보강공법 : 깎기부 옹벽 공법 적용 – C.T.C 2.5m×2.5m •보강경사 : – 토사 1:0.7, 리핑 1:0.7 •보강구간 : STA. 8+730~8+830 •보강연장 : L=100m
보강 적용 단면		
보강공법 선 정	• 비탈면 인근 문화재(충비삼월의 비)에 미치는 영향을 최소화하고 이격거리를 최대화 하기 위하여 깎기부 옹벽 공법 적용(문화재 현상변경 심의의견 반영).	
보강후 안정해석	건기시	우기시
		
	FS = 2.09 > 1.5 ··· O.K	FS = 1.21 > 1.2 ··· O.K

구 분	깎기 15구간 STA. 9+620(옥산)	•보강공법 : 경사완화공법 적용 •경사완화 : – 토사 1:1.2~1:2.0, 리핑 1:1.0 •보강구간 : STA. 9+600~9+640 •보강연장 : L=40m
보강 적용 단면		
보강공법 선 정	• 토사 비탈면 깎기고가 높지만 환경훼손의 영향이 크지 않으며, 공사비 절감 효과 및 장기 안정성 확보를 위하여 경사완화공법을 적용함.	
보강후 안정해석	건기시	우기시
		
	FS = 2.037 > 1.5 ··· O.K	FS = 1.221 > 1.2 ··· O.K

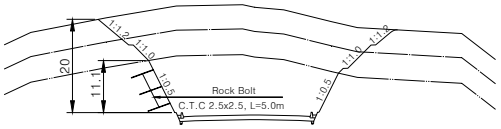
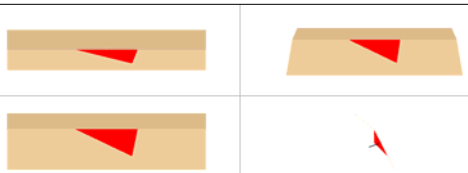
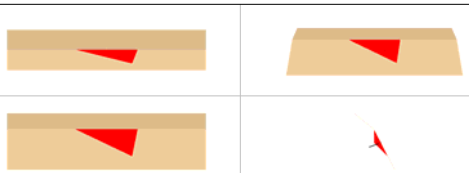
구 분	깎기 16구간 STA. 10+100(오창)	•보강공법 : 경사완화공법 적용 •경사완화 : – 토사 1:1.2~1:2.0 •보강구간 : STA. 10+060~10+140 •보강연장 : L=80m
보 강 적 용 단 면		
보강공법 선 정	•토사 비탈면 깎기고가 높지만 환경훼손의 영향이 크지 않으며, 공사비 절감 효과 및 장기 안정성 확보를 위하여 경사완화공법을 적용함.	
보 강 후 안정해석	건기시	우기시
		
	FS = 2.152 > 1.5 … O.K	FS = 1.287 > 1.2 … O.K

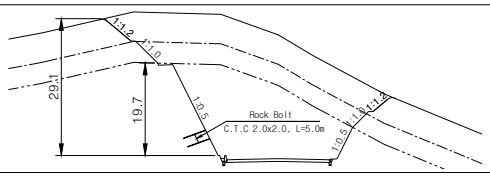
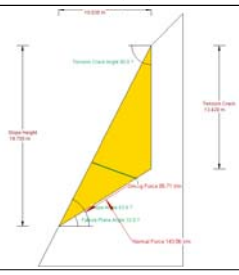
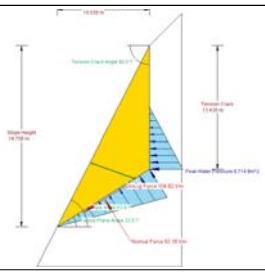
구 분	옥산JCT R-A STA. 0+640 우측	•보강공법 : 경사완화공법 적용 •경사완화 : – 토사 1:1.5~1:1.8 •보강구간 : STA. 0+620~0+680 •보강연장 : L=60m
보 강 적 용 단 면		
보강공법 선 정	•토사 비탈면 깎기고가 높지만 환경훼손의 영향이 크지 않으며, 공사비 절감 효과 및 장기 안정성 확보를 위하여 경사완화공법을 적용함.	
보 강 후 안정해석	건기시	우기시
		
	FS = 2.022 > 1.5 … O.K	FS = 1.229 > 1.2 … O.K

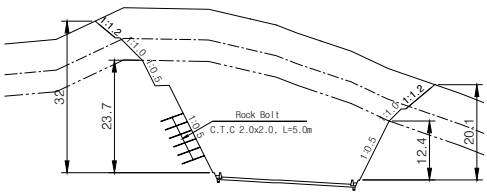
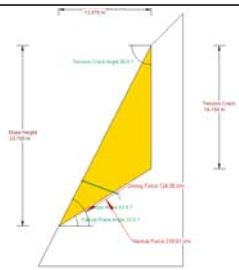
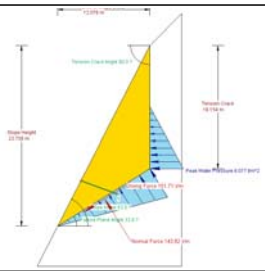
구 분	서오창IC R-C STA. 0+500 우측	
보강적용단면		•보강공법 : 경사완화공법 적용 •경사완화 : – 토사 1:1.5~1:1.8, 리핑 1:1.0~1:1.2 •보강구간 : STA. 0+460~0+520 •보강연장 : L=60m
보강공법 선정	•토사 비탈면 깎기고가 높지만 환경훼손의 영향이 크지 않으며, 공사비 절감 효과 및 장기 안정성 확보를 위하여 경사완화공법을 적용함.	
보강후 안정해석	건기시	우기시
		
	FS = 2.117 > 1.5 … O.K	FS = 1.248 > 1.2 … O.K

구 분	서오창IC R-D STA. 0+240 우측	
보강적용단면		•보강공법 : 경사완화공법 적용 •경사완화 : – 토사 1:1.5, 리핑 1:1.0~1:1.5 •보강구간 : STA. 0+200~0+280 •보강연장 : L=80m
보강공법 선정	•토사 비탈면 깎기고가 높지만 환경훼손의 영향이 크지 않으며, 공사비 절감 효과 및 장기 안정성 확보를 위하여 경사완화공법을 적용함.	
보강후 안정해석	건기시	우기시
		
	FS = 2.080 > 1.5 … O.K	FS = 1.281 > 1.2 … O.K

4) 암반 비탈면 대책공법 적용후 안정성 검토

<table>
<tr><td>구 분</td><td>깎기 9구간 STA. 5+660(옥산)</td><td>•보강공법 : RockBolt공법 적용
– C.T.C 2.5m×2.5m, L=5.0m
•보강경사 : 암반 1:0.5
•보강구간 : STA. 5+550~5+750
•보강연장 : L=200m</td></tr>
<tr><td>보강 적용 단면</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>보강공법 선정</td><td colspan="2">•쐐기파괴에 대하여 암반비탈면의 장기 안정성 확보를 위하여 RockBolt 공법을 적용함.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">보강후 안정해석</td><td>건기시</td><td>우기시</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>FS = 4.31 > 1.5 … O.K</td><td>FS = 2.23 > 1.2 … O.K</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>구 분</td><td>서오창 IC R-A 1+020 좌측</td><td>•보강공법 : RockBolt공법 적용
– C.T.C 2.0m×2.0m, L=5.0m
•보강경사 : 암반 1:0.5
•보강구간 : STA. 0+980~1+060
•보강연장 : L=80m</td></tr>
<tr><td>보강 적용 단면</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>보강공법 선정</td><td colspan="2">•평면파괴에 대하여 암반비탈면의 장기 안정성 확보를 위하여 RockBolt 공법을 적용함.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">보강후 안정해석</td><td>건기시</td><td>우기시</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>FS = 1.92 > 1.5 … O.K</td><td>FS = 1.23 > 1.2 … O.K</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>구 분</td><td>서오창 IC R-A 1+140 좌측</td><td>•보강공법 : RockBolt공법 적용
– C.T.C 2.0m×2.0m, L=5.0m
•보강경사 : 암반 1:0.5
•보강구간 : STA. 1+060~1+186
•보강연장 : L=126m</td></tr>
<tr><td>보강 적용 단면</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td>보강공법 선정</td><td colspan="2">•평면파괴에 대하여 암반비탈면의 장기 안정성 확보를 위하여 RockBolt 공법을 적용함.</td></tr>
<tr><td rowspan="3">보강후 안정해석</td><td>건기시</td><td>우기시</td></tr>
<tr><td>  </td><td>  </td></tr>
<tr><td>FS = 1.92 > 1.5 … O.K</td><td>FS = 1.23 > 1.2 … O.K</td></tr>
</table>

라. 대책공법 적용구간 안정성 검토 요약

구 분		적용구간 (STA.)	대표단면 (STA.)	비탈면높이 (m)	안전율		판정	대책공법
					건기시 (FS>1.5)	우기시 (FS>1.2)		
본 선	1구간	0+290~0+330	0+300(옥산)	27.3	2.106	1.244	O.K	경사완화
		0+300~0+370	0+340(오창)	39.3	1.960	1.260	O.K	Soil Nail
		0+420~0+460	0+420(오창)	26.5	2.090	1.235	O.K	경사완화
	2구간	1+420~1+580	1+520(옥산)	22.8	2.120	1.227	O.K	경사완화
		1+760~1+820	1+800(오창)	23.0	2.078	1.234	O.K	경사완화
		1+900~1+940	1+920(오창)	22.0	2.048	1.215	O.K	경사완화
	4구간	3+040~3+080	3+040(옥산)	17.2	2.080	1.225	O.K	경사완화
		3+020~3+060	3+040(오창)	20.4				
	5구간	3+330~3+360	3+340(옥산)	12.7	2.073	1.257	O.K	경사완화
	6구간	3+740~3+920	3+880(오창)	33.0	1.810	1.220	O.K	Soil Nail
	7구간	4+710~4+820	4+780(오창)	40.3	1.780	1.210	O.K	Soil Nail
		4+820~4+870	4+840(오창)	39.1	1.970	1.250	O.K	Soil Nail
		4+790~4+910	4+840(옥산)	31.1	1.930	1.260	O.K	Soil Nail
	13구간	8+120~8+230	8+220(옥산)	27.4	2.181	1.259	O.K	경사완화
		8+240~8+290	8+240(옥산)	25.0	2.180	1.250	O.K	Soil Nail
		8+300~8+440	8+400(옥산)	30.4	2.152	1.246	O.K	경사완화
		8+300~8+480	8+420(오창)	28.2	2.169	1.241	O.K	경사완화
		8+520~8+560	8+540(오창)	27.6	2.213	1.244	O.K	경사완화
		8+660~8+700	8+680(오창)	32.5	2.133	1.252	O.K	경사완화
		8+730~8+830	8+780(오창)	22.6	2.090	1.210	O.K	깎기부 옹벽
	15구간	9+600~9+640	9+620(옥산)	18.2	2.037	1.221	O.K	경사완화
	16구간	10+060~10+140	10+100(오창)	22.2	2.152	1.287	O.K	경사완화
옥산JCT	R-A	0+620~0+680	0+640 우측	22.9	2.022	1.229	O.K	경사완화
서오창IC	R-C	0+460~0+520	0+500 우측	24.4	2.117	1.248	O.K	경사완화
	R-D	0+200~0+280	0+240 우측	19.0	2.080	1.281	O.K	경사완화
본 선	7구간	4+820~4+870	오창방향	Random RockBolt				
	9구간	5+550~5+750	5+660(옥산)	20.0	4.31	2.23	O.K	RockBolt
		5+570~5+740	오창방향	Random RockBolt				
	13구간	8+350~8+400	옥산방향	Random RockBolt				
		8+670~8+740	옥산방향	Random RockBolt				
서오창IC	R-A	0+980~1+060	1+020 좌측	29.1	1.92	1.23	O.K	RockBolt
		1+060~1+186	1+140 좌측	32.0	1.92	1.23	O.K	RockBolt
	R-C	0+135~0+180	우측방향	Random RockBolt				
	R-D	0+084~0+180	우측방향	Random RockBolt				
	R-H	0+420~0+580	우측방향	Random RockBolt				

※ 위 적용된 암반 비탈면의 System R/B는 시공중 위험구간에 대한 확인을 통해 Random R/B로 변경에 대하여 감독원의 승인을 득한 후 현장여건에 맞게 변경할 수 있다.

7.6.4 비탈면 내진설계

지진시 비탈면의 붕괴가 주구조물인 도로의 안정성에 직접적인 영향을 미치지 않고 안전사고 유발이나 일시적인 통행제한 등의 간접적인 영향을 미치므로 도로의 내진 등급보다 한 등급 아래인 내진Ⅱ등급을 기준으로 유사정적 해석방법에 의하여 안정성을 검토하였다.

가. 내진성능목표

비탈면의 내진성능목표는 「건설공사 비탈면 설계기준(2011)」에 의거 붕괴방지수준으로 설정하였으며 다음 표에 규정한 평균재현주기를 갖는 설계지반운동에 대하여 성능수준을 만족할 수 있도록 계획하였다.

내진등급 / 성능목표	내진특등급	내진Ⅰ등급	내진Ⅱ등급
붕괴방지수준	평균재현주기 2,400년	평균재현주기 1,000년	평균재현주기 500년

나. 설계지진계수

과업구간 위치와 지진의 재현주기에 따른 최대유효지반가속도를 고려하여 산정하였다.

1) 지진구역계수(Z)

지진구역	행 정 구 역		구역계수
Ⅰ	시	서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시	0.11
	도	경기도, 강원도남부, 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 북동부	
Ⅱ	시	강원도 북부, 전라남도 남서부, 제주도	0.07

2) 위험도계수(I)

재현주기(년)	50	100	200	500	1,000	2,400
지진위험도계수	0.40	0.57	0.73	1.00	1.40	2.00

3) 설계지진계수 산정

구 분	내진등급	재현주기	구역가속도	위험도계수	설계지진계수	적용
비탈면	내진Ⅱ등급	500	0.11	1.00	0.11	0.055

주) 수평지진계수($K_h = \frac{a_{max}}{2g}$)는 지표면 최대가속도의 50%를 적용함

다. 검토단면

1) 비탈면 내진 안정성 검토구간

① 쌓기 비탈면

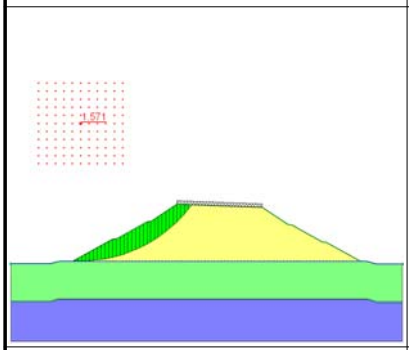
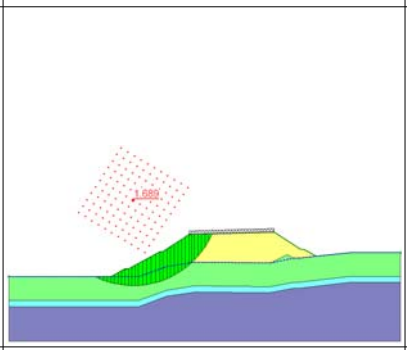
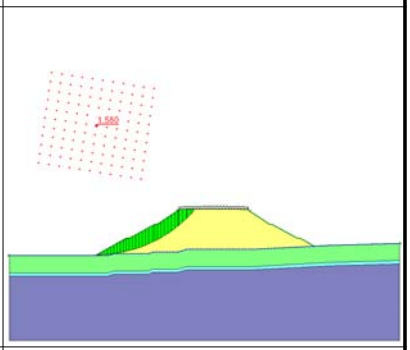
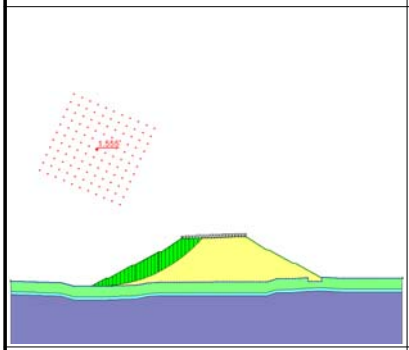
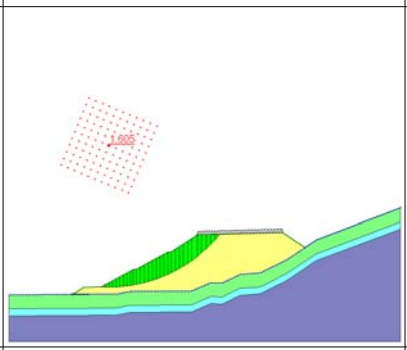
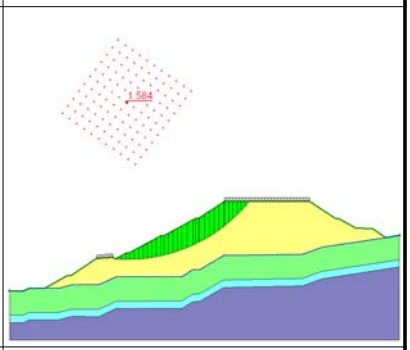
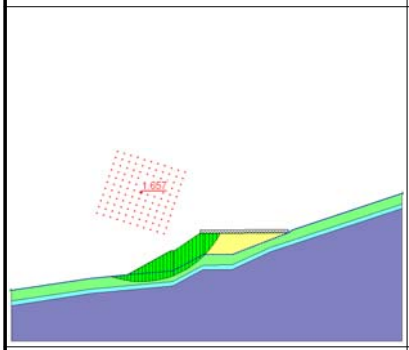
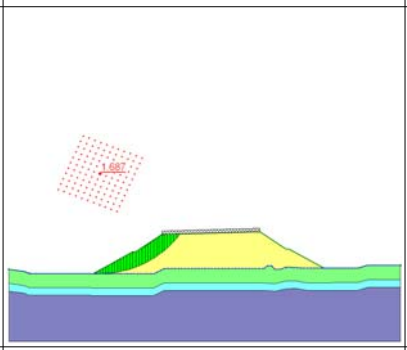
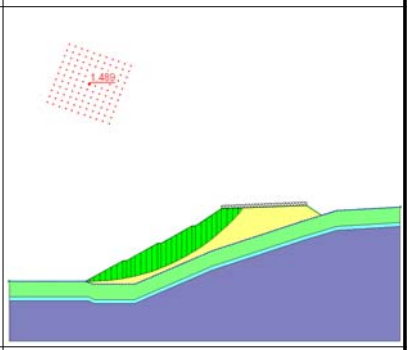
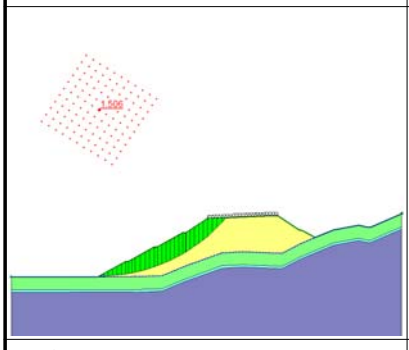
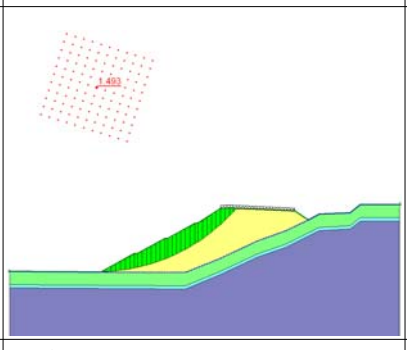
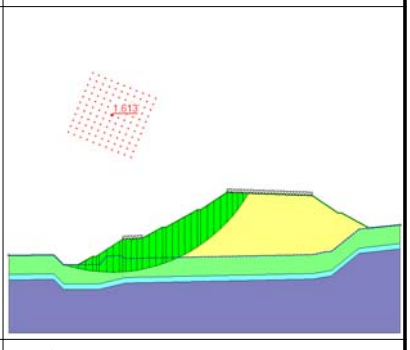
구 분		대표단면 (STA.)	비탈면 높이(m)	구 분		대표단면 (STA.)	비탈면 높이(m)
본 선	1구간	0+000	16.6	옥산 JCT	R-A	1+060	19.0
	7구간	2+780	12.2		R-B	1+280	18.3
	10구간	3+540	13.9		R-C	0+360	18.2
	11구간	4+060	17.9			0+960	17.0
		4+240	17.2		R-D	1+040	13.3
	12구간	5+100	25.2	서오창 IC	R-A	0+120	21.1
	13구간	5+460	11.9			0+640	22.5
	15구간	6+740	11.3			1+420	15.3
	20구간	8+980	20.9		R-C	0+300	12.5
		9+000	20.3		R-D	0+780	21.8
	22구간	9+840	20.4		R-E	0+260	13.8
		9+920	20.8	오창 JCT	R-A	0+280	14.9
	24구간	10+400	16.6			0+420	15.0
	25구간	10+560	12.6		R-C	0+000	13.0
	26구간	11+280	12.4		R-D	0+760	15.4

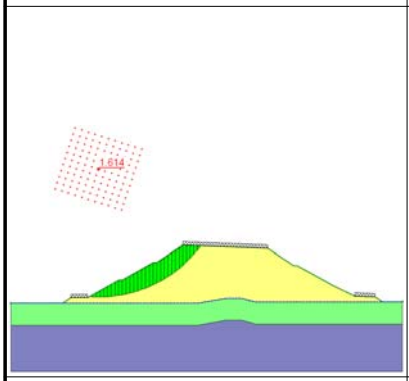
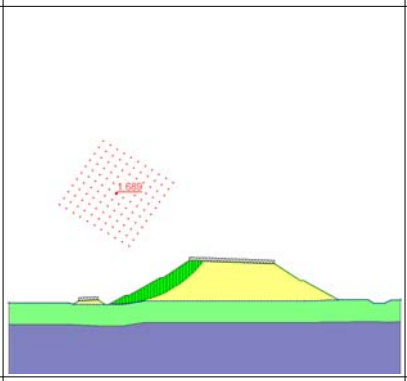
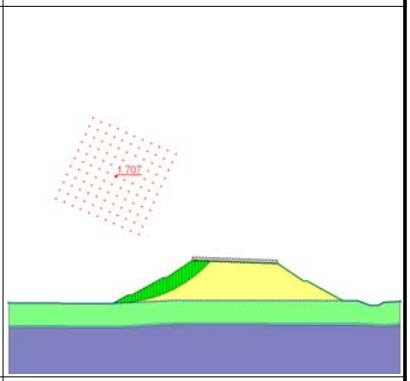
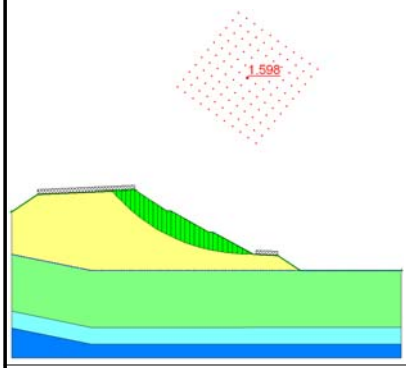
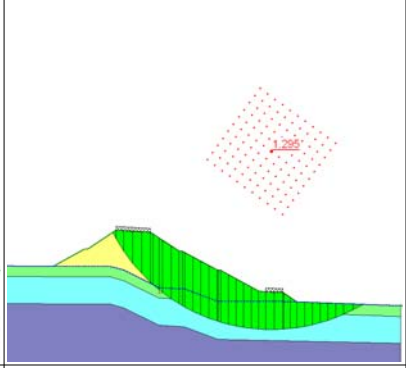
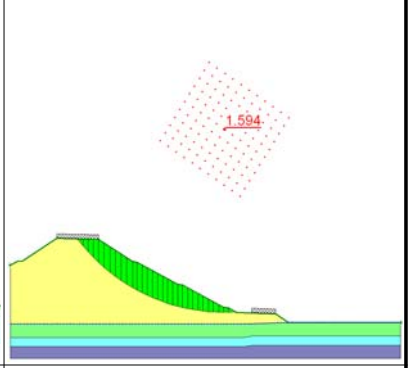
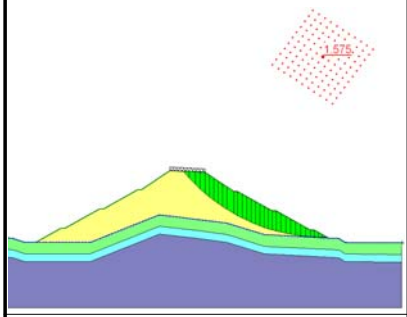
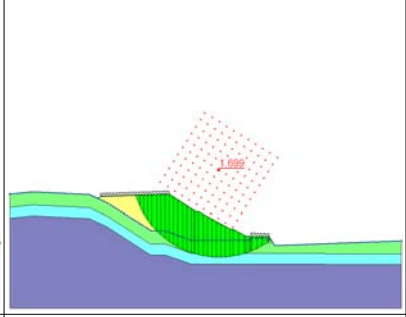
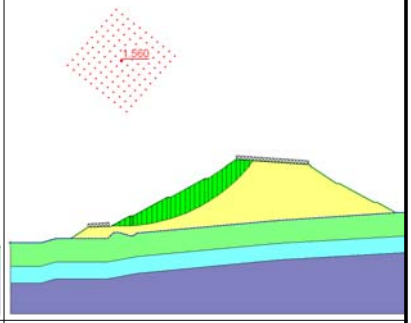
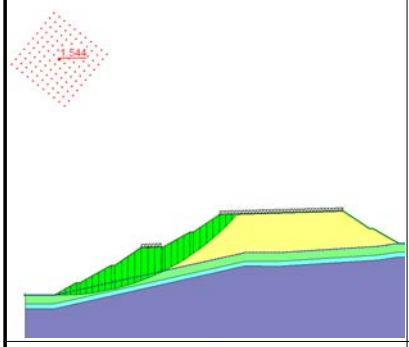
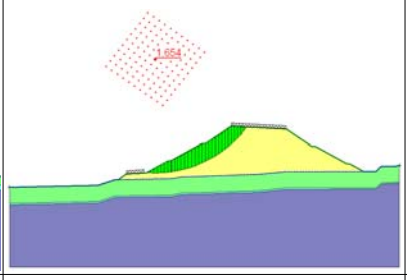
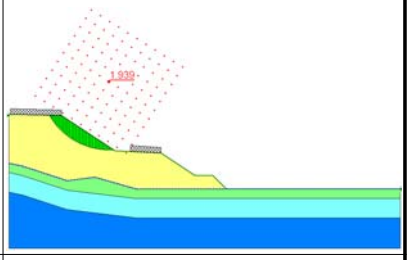
② 깎기 비탈면

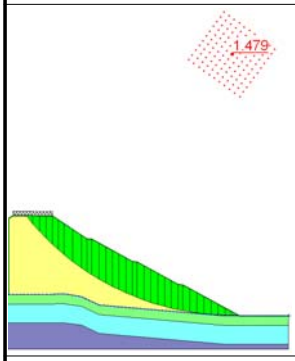
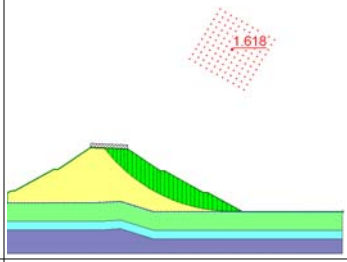
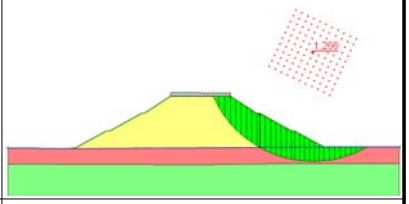
구 분		대표단면 (STA.)	비탈면 높이(m)	비 고	구 분		대표단면 (STA.)	비탈면 높이(m)	비 고
본 선	1구간	0+300(옥산)	27.3	경사완화	본 선	13구간	8+240(옥산)	25.0	Soil Nail
		0+340(오창)	39.3	Soil Nail			8+400(옥산)	30.4	경사완화
		0+420(오창)	26.5	경사완화			8+420(오창)	28.2	경사완화
	2구간	1+520(옥산)	22.8	경사완화			8+540(오창)	27.6	경사완화
		1+800(오창)	23.0	경사완화			8+680(오창)	32.5	경사완화
		1+920(오창)	22.0	경사완화			8+780(오창)	22.6	깎기부 옹벽
	3구간	2+860(오창)	15.4	표준경사			8+840(옥산)	18.3	표준경사
	4구간	3+040(오창)	20.4	경사완화		14구간	9+300(옥산)	18.6	표준경사
	5구간	3+340(옥산)	12.7	경사완화		15구간	9+620(옥산)	18.2	경사완화
	6구간	3+880(오창)	33.0	Soil Nail		16구간	10+100(오창)	22.2	경사완화
	7구간	4+780(오창)	40.3	Soil Nail	옥 산	R-A	0+640 우측	22.9	경사완화
		4+840(오창)	39.1	Soil Nail	서오창 IC	R-A	1+060 좌측	28.8	표준경사
		4+840(옥산)	31.1	Soil Nail		R-C	0+500 우측	24.4	경사완화
	12구간	7+280(오창)	23.2	표준경사			0+660 우측	32.8	표준경사
	13구간	8+220(옥산)	27.4	경사완화		R-D	0+240 우측	19.0	경사완화
						R-H	0+260 우측	33.5	표준경사

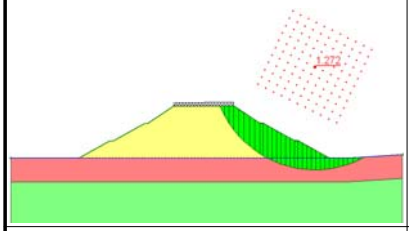
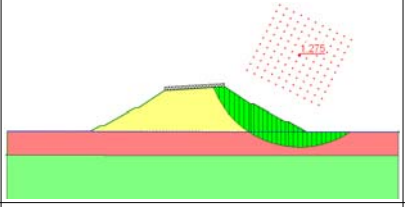
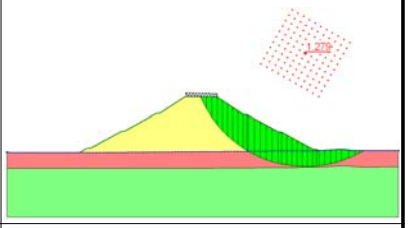
2) 비탈면 내진 안정성 검토결과

① 쌓기 비탈면

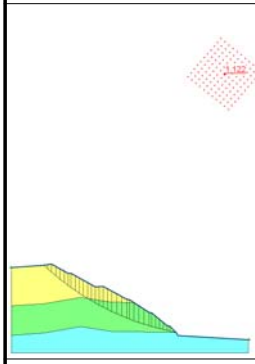
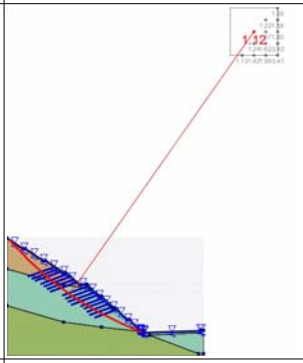
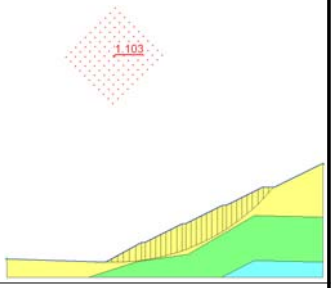
STA. 0+000	STA. 2+780	STA. 3+540
		
FS = 1.571 > 1.1 … O.K	FS = 1.689 > 1.1 … O.K	FS = 1.580 > 1.1 … O.K
STA. 4+060	STA. 4+240	STA. 5+100
		
FS = 1.555 > 1.1 … O.K	FS = 1.605 > 1.1 … O.K	FS = 1.584 > 1.1 … O.K
STA. 5+460	STA. 6+740	STA. 8+980
		
FS = 1.657 > 1.1 … O.K	FS = 1.687 > 1.1 … O.K	FS = 1.489 > 1.1 … O.K
STA. 9+000	STA. 9+840	STA. 9+920
		
FS = 1.506 > 1.1 … O.K	FS = 1.493 > 1.1 … O.K	FS = 1. 613> 1.1 … O.K

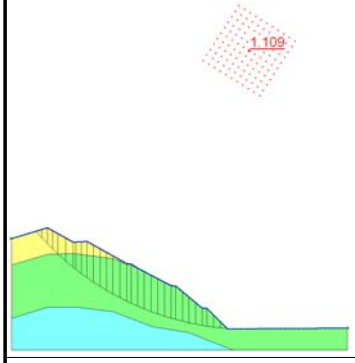
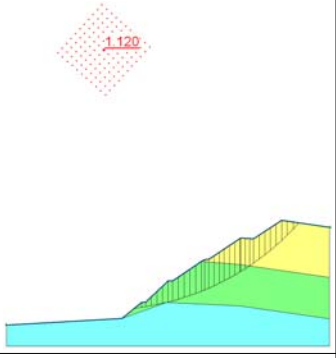
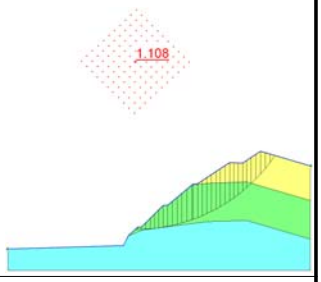
STA. 10+400	STA. 10+560	STA. 11+280
		
FS = 1.614 > 1.1 … O.K	FS = 1.689 > 1.1 … O.K	FS = 1.707 > 1.1 … O.K
옥산JCT R-A STA. 1+060	옥산JCT R-B STA. 1+280	옥산JCT R-C STA. 0+360
		
FS = 1.598 > 1.1 … O.K	FS = 1.295 > 1.1 … O.K	FS = 1.594 > 1.1 … O.K
옥산JCT R-C STA. 0+960	옥산JCT R-D STA. 1+040	서오창IC R-A STA. 0+120
		
FS = 1.575 > 1.1 … O.K	FS = 1.699 > 1.1 … O.K	FS = 1.560 > 1.1 … O.K
서오창IC R-A STA. 0+640	서오창IC R-A STA. 1+420	서오창IC R-C STA. 0+300
		
FS = 1.544 > 1.1 … O.K	FS = 1.654 > 1.1 … O.K	FS = 1.939 > 1.1 … O.K

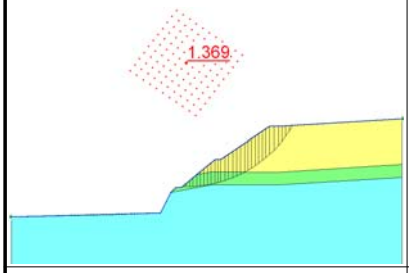
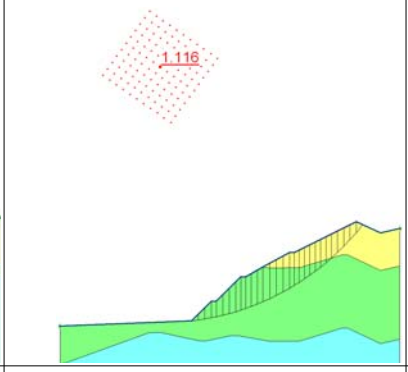
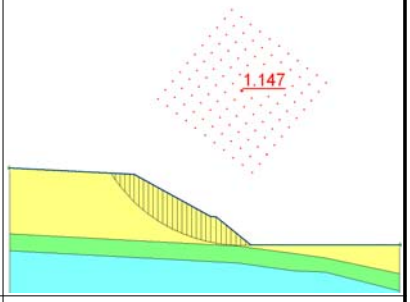
서오창IC R-D STA. 0+780	서오창IC R-E STA. 0+260	오창JCT R-A STA. 0+280
		
FS = 1.479 > 1.1 … O.K	FS = 1.618 > 1.1 … O.K	FS = 1.266 > 1.1 … O.K

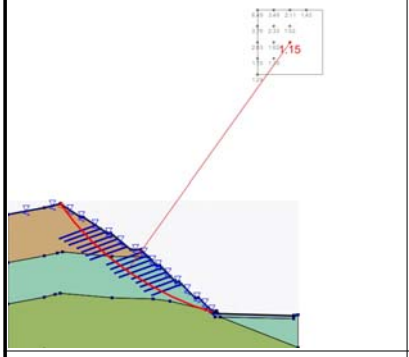
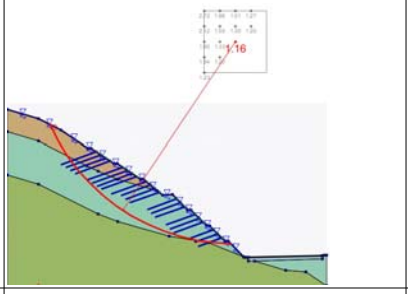
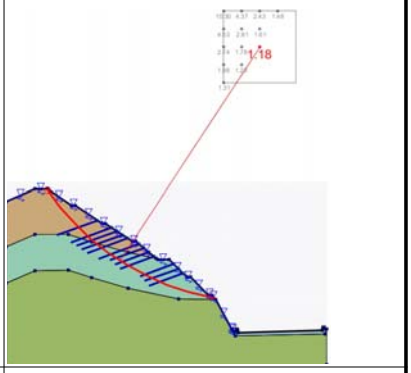
오창JCT R-A STA. 0+420	오창JCT R-C STA. 0+000	오창JCT R-D STA. 0+760
		
FS = 1.272 > 1.1 … O.K	FS = 1.275 > 1.1 … O.K	FS = 1.279 > 1.1 … O.K

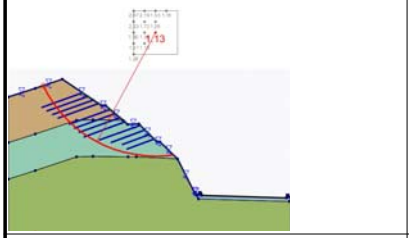
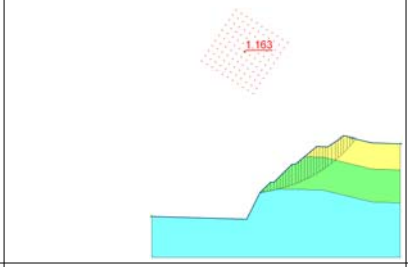
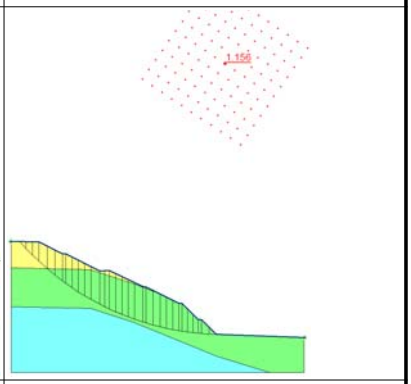
② 깎기 비탈면

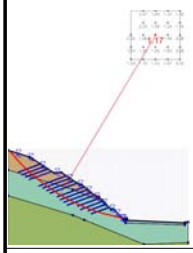
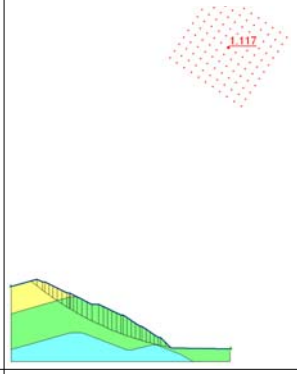
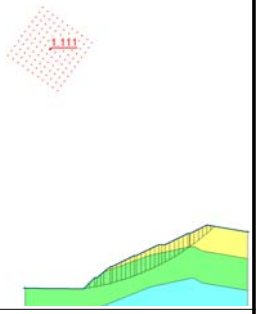
STA. 0+300(옥산)	STA. 0+340(옥산)	STA. 0+420(오창)
		
FS = 1.122 > 1.1 … O.K	FS = 1.120 > 1.1 … O.K	FS = 1.103 > 1.1 … O.K

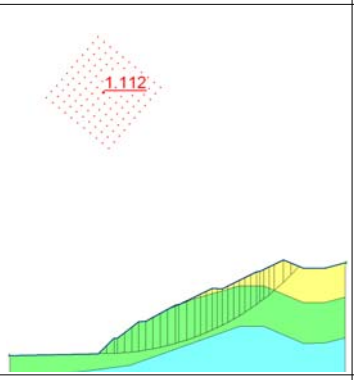
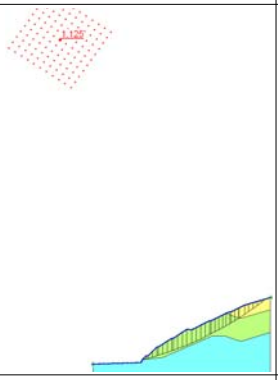
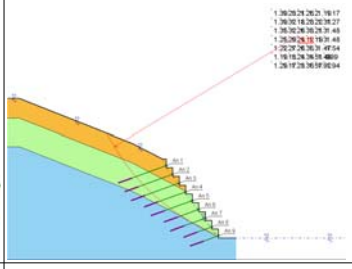
STA. 1+520(옥산)	STA. 1+800(오창)	STA. 1+920(오창)
		
FS = 1.109 > 1.1 … O.K	FS = 1.120 > 1.1 … O.K	FS = 1.108 > 1.1 … O.K

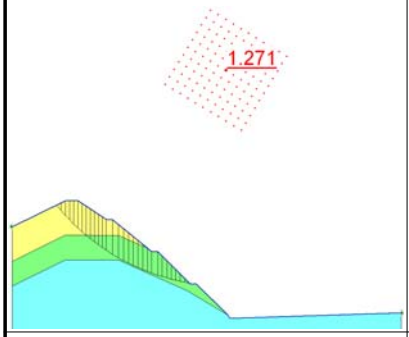
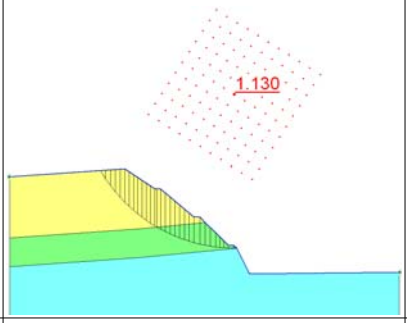
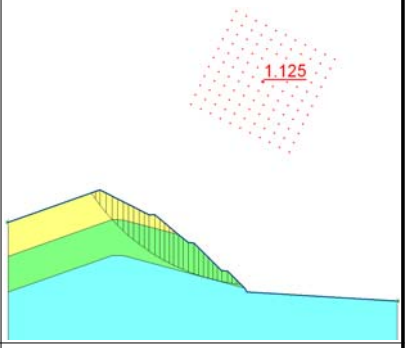
STA. 2+860(오창)	STA. 3+040(오창)	STA. 3+340(옥산)
		
FS = 1.369 > 1.1 … O.K	FS = 1.116 > 1.1 … O.K	FS = 1.147 > 1.1 … O.K

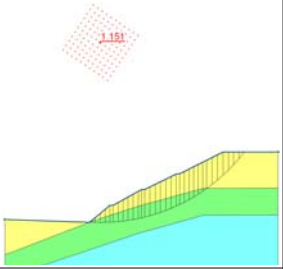
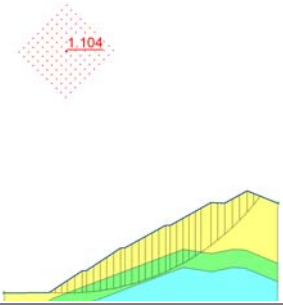
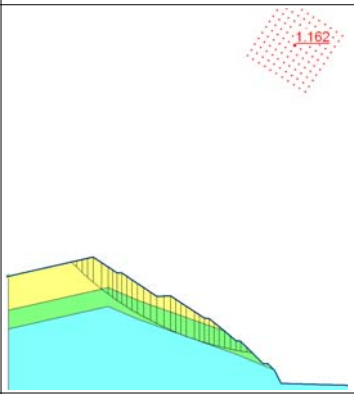
STA. 3+880(오창)	STA. 4+780(오창)	STA. 4+840(오창)
		
FS = 1.150 > 1.1 … O.K	FS = 1.160 > 1.1 … O.K	FS = 1.180 > 1.1 … O.K

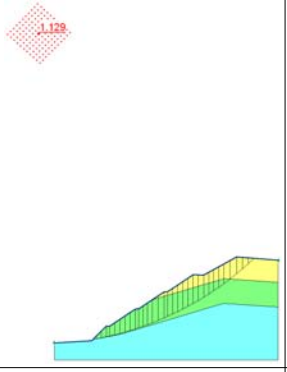
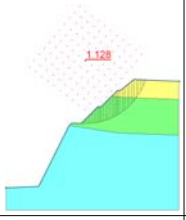
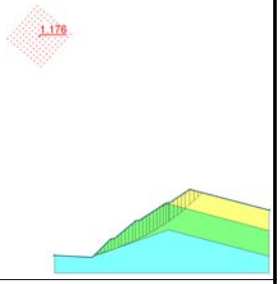
STA. 4+840(옥산)	STA. 7+280(오창)	STA. 8+220(옥산)
		
FS = 1.130 > 1.1 … O.K	FS = 1.163 > 1.1 … O.K	FS = 1.125 > 1.1 … O.K

STA. 8+240(옥산)	STA. 8+400(옥산)	STA. 8+420(오창)
		
FS = 1.170 > 1.1 … O.K	FS = 1.117 > 1.1 … O.K	FS = 1.111 > 1.1 … O.K

STA. 8+540(오창)	STA. 8+680(오창)	STA. 8+780(오창)
		
FS = 1.112 > 1.1 … O.K	FS = 1.125 > 1.1 … O.K	FS = 1.120 > 1.1 … O.K

STA. 8+840(옥산)	STA. 9+300(옥산)	STA. 9+620(옥산)
		
FS = 1.271 > 1.1 … O.K	FS = 1.130 > 1.1 … O.K	FS = 1.125 > 1.1 … O.K

STA. 10+100(오창)	옥산JCT R-A STA. 0+640	서오창IC R-A STA. 1+060
		
FS = 1.151 > 1.1 … O.K	FS = 1.104 > 1.1 … O.K	FS = 1.162 > 1.1 … O.K

서오창IC R-C STA. 0+500	서오창IC R-C STA. 0+660	서오창IC R-D STA. 0+240
		
FS = 1.129 > 1.1 … O.K	FS = 1.128 > 1.1 … O.K	FS = 1.176 > 1.1 … O.K

3) 비탈면 내진 안정성 검토결과 요약

① 쌓기 비탈면

구 분		대표단면 (STA.)	안전율 (FS>1.1)	판 정	구 분		대표단면 (STA.)	안전율 (FS>1.1)	판 정
본 선	1구간	0+000	1.571	O.K	옥산 JCT	R-A	1+060	1.598	O.K
	7구간	2+780	1.689	O.K		R-B	1+280	1.295	O.K
	10구간	3+540	1.580	O.K		R-C	0+360	1.594	O.K
	11구간	4+060	1.555	O.K			0+960	1.575	O.K
		4+240	1.605	O.K		R-D	1+040	1.699	O.K
	12구간	5+100	1.584	O.K	서오창 IC	R-A	0+120	1.560	O.K
	13구간	5+460	1.657	O.K			0+640	1.544	O.K
	15구간	6+740	1.687	O.K			1+420	1.654	O.K
	20구간	8+980	1.489	O.K		R-C	0+300	1.939	O.K
		9+000	1.506	O.K		R-D	0+780	1.479	O.K
	22구간	9+840	1.493	O.K		R-E	0+260	1.618	O.K
		9+920	1.613	O.K	오창 JCT	R-A	0+280	1.266	O.K
	24구간	10+400	1.614	O.K			0+420	1.272	O.K
	25구간	10+560	1.689	O.K		R-C	0+000	1.275	O.K
	26구간	11+280	1.707	O.K		R-D	0+760	1.279	O.K

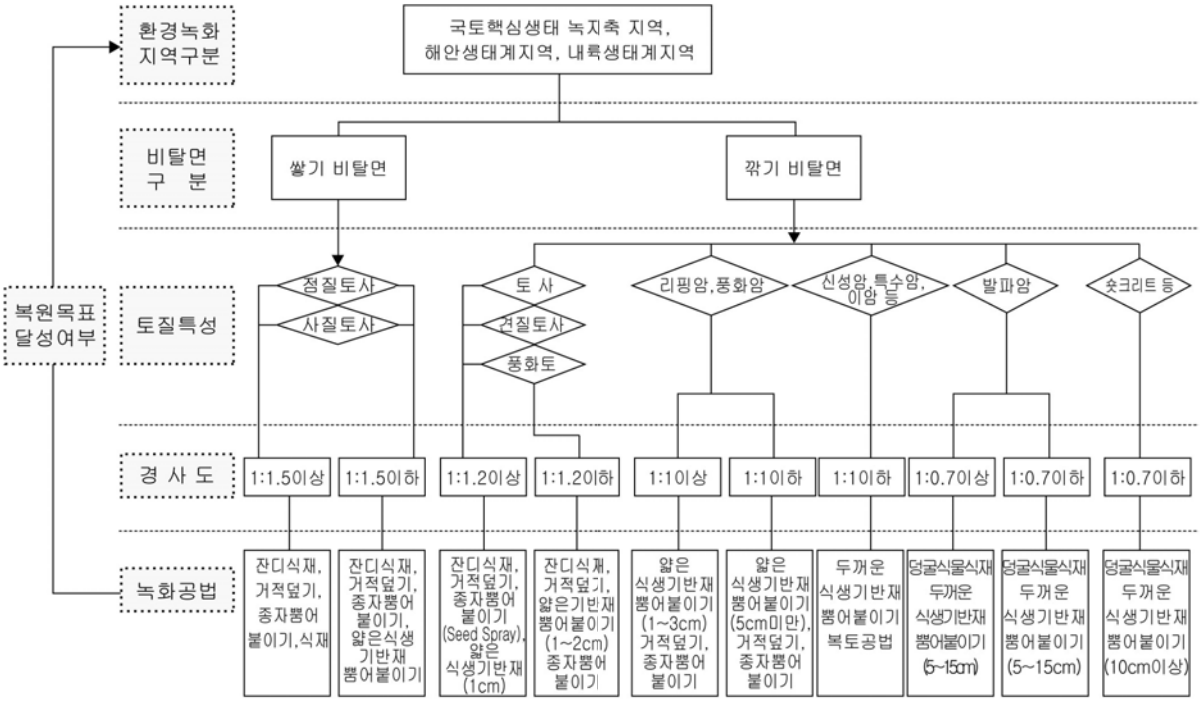
② 깎기 비탈면

구 분		대표단면 (STA.)	안전율 (FS>1.1)	판 정	구 분		대표단면 (STA.)	안전율 (FS>1.1)	판 정
본 선	1구간	0+300(옥산)	1.122	O.K	본 선	13구간	8+240(옥산)	1.170	O.K
		0+340(오창)	1.120	O.K			8+400(옥산)	1.117	O.K
		0+420(오창)	1.103	O.K			8+420(오창)	1.111	O.K
	2구간	1+520(옥산)	1.109	O.K			8+540(오창)	1.112	O.K
		1+800(오창)	1.120	O.K			8+680(오창)	1.125	O.K
		1+920(오창)	1.108	O.K			8+780(오창)	1.120	O.K
	3구간	2+860(오창)	1.369	O.K			8+840(옥산)	1.271	O.K
	4구간	3+040(오창)	1.116	O.K		14구간	9+300(옥산)	1.130	O.K
	5구간	3+340(옥산)	1.147	O.K		15구간	9+620(옥산)	1.125	O.K
	6구간	3+880(오창)	1.150	O.K		16구간	10+100(오창)	1.151	O.K
	7구간	4+780(오창)	1.160	O.K	옥 산	R-A	0+640 우측	1.104	O.K
		4+840(오창)	1.180	O.K	서오창 IC	R-A	1+060 좌측	1.162	O.K
		4+840(옥산)	1.130	O.K		R-C	0+500 우측	1.129	O.K
	12구간	7+280(오창)	1.163	O.K			0+660 우측	1.128	O.K
	13구간	8+220(옥산)	1.125	O.K		R-D	0+240 우측	1.176	O.K
						R-H	0+260 우측	1.105	O.K

7.7 비탈면 녹화공법

비탈면 안정 해석결과 안전한 비탈면도 방치하면 우수에 의한 침식 및 세굴로 인하여 토사유실이 발생될 수 있으며 풍화작용, 동상작용 등에 의하여 비탈면의 표면부가 연약화되고 우수의 침투 및 용출수에 의하여 지하수위가 상승하면 장기적으로 비탈면이 불안정해져 붕괴가 발생할 가능성이 있다. 따라서 비탈면의 장기적인 안정유지, 풍화방지, 미관, 토사 및 암석비탈면의 보강을 위하여 지층상태 및 비탈면의 상태에 따라 적합한 비탈면 보호공법을 선정, 시공하여야 한다.

7.7.1 비탈면 녹화공법 선정 흐름



주1) 상기공법은 토질특성과 경사도에 따라 일반적인 공법을 예시로 제시한 것이며 이외에도 식생매트, 식생네트, 자생종 포트묘식재+식생기반재 뿜어붙이기, 표층토 활용공법, 식물발생재 활용공법, 친환경소재 활용공법, 조경수 식재공법 등 다양한 녹화공법이 있으며 리핑암 풍화암구간의 거적덮기와 종자뿜어붙이기는 암 풍화에 따라 제한적으로 적용 가능한 공법이다. 식재는 초본류 식재, 초본•관목류 식재, 목본류 식재 등이 있다. 식생기반재 뿜어붙이기 두께도 일반적인 값을 제시한 것이며 현장 여건에 따라 적정하게 설계한다.

주2) 1 : 1.5는 높이가 1일 때 수평거리가 1.5인 비탈면이며 1:1.5 이상은 수평거리가 1.5이상을 말한다.

<비탈면 보호공법 선정 절차>

7.7.2 비탈면 보호공법 선정

본 과업구간의 비탈면 보호(녹화)공법은 도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공 지침(2009.6)에 의거하여 선정하였다.

가. 설계적용 순서

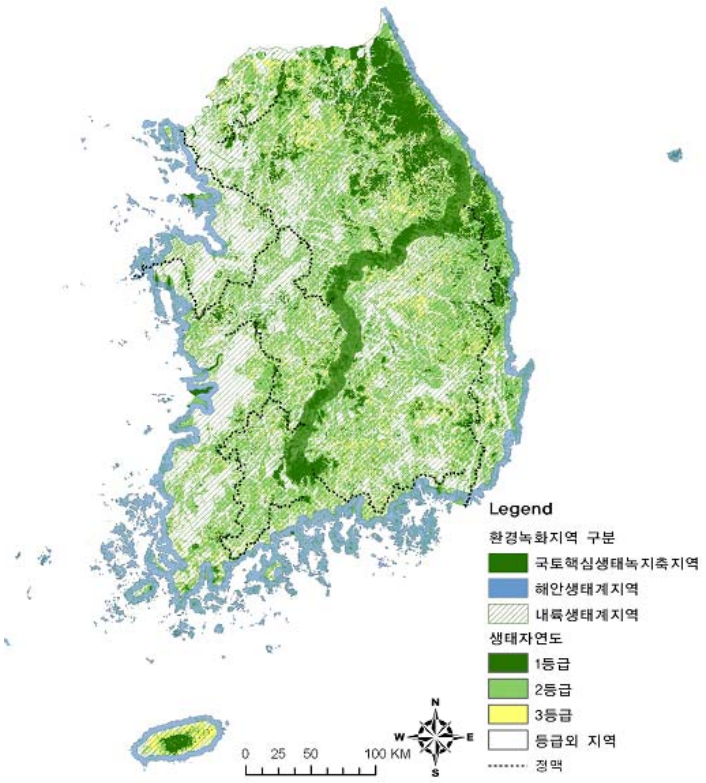
1) 환경녹화지역 선정

2) 비탈면 구분, 토질(암질)특성, 경사도, 복원녹화기준 등을 고려한 녹화공법 선정

3) 자연생태목표 및 녹화공법에 따른 종자배합

나. 환경녹화지역 구분

환경녹화지역의 구분은 기후환경, 지역환경, 산림환경 등을 고려하여 태백산맥을 중심으로 한 국토핵심생태녹지축지역, 해안일대 도서지역을 포함한 해안생태계지역, 내륙생태계지역으로 한다.



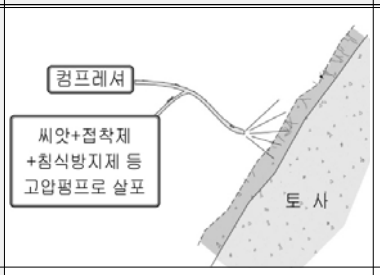
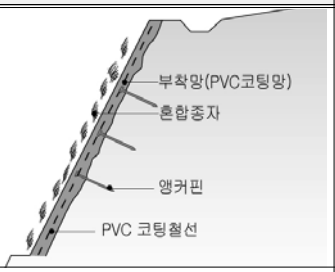
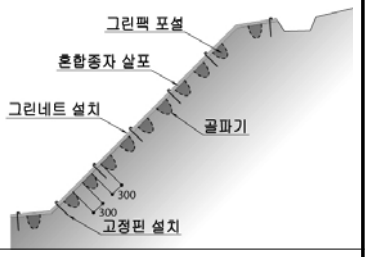
〈환경녹화지역의 구분도〉

본 과업 비탈면 구간의 환경지역은 내륙생태계지역으로 구분되며, 생태자연도 2등급에 해당된다.

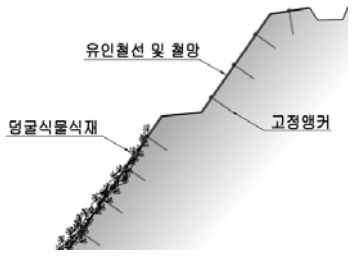
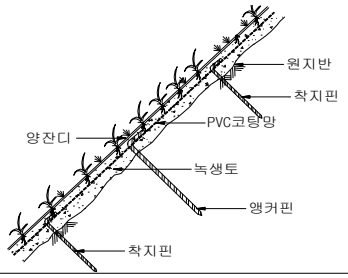
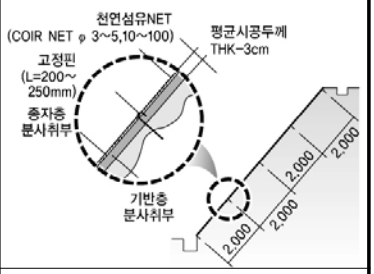
다. 비탈면 보호공법 선정

본 과업구간의 비탈면 녹화공법은 비탈면 구분, 토질(암질)특성, 경사도, 복원녹화기준 등을 고려하여 선정하였다.

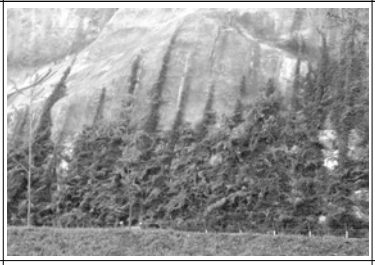
1) 토사 및 리핑암 비탈면 녹화공법 비교

구 분	씨앗뿜어붙이기	녹화토공법	그 린 넷
개요도			
공법 개요	•비탈면에 씨앗과 첨가제 및 물을 혼합하여 고압펌프로 뿜어 붙이는 기계화 공법	•화학원사인 연속장 설치후 씨앗과 첨가제를 6~10cm로 비탈면에 쏘아 붙이는 공법	•비탈면에 골을 파고 그 속에 유기물을 포함한 그린팩을 설치하고 씨앗을 살포하는 공법
장 점	•기계화 시공으로 시공성 우수 •작업공정 단순화로 경제성 확보	•비탈면 요철에 구애받지 않음 •비탈면 표면침식 및 세굴방지	•씨앗 및 유기물 유실 최소화 •그린네트 사용으로 환경성 우수
단 점	•발아전 우수에 의한 유실 우려 •씨앗노출로 건조시 발아율 저하	•작업이 복잡하며 공사비 고가 •화학원사 잔존시 환경문제 유발	•작업이 복잡하며 공사비 고가 •시공실적이 많지 않음
적용성	•완경사의 토사 및 풍화암 적용	•완경사의 토사 및 풍화암 적용	•완경사지의 토사 적용

2) 암반 비탈면 녹화공법 비교

구 분	덩굴식물식재 공법	식생기반재취부공법	자연표토복원 공법
개요도			
공법 개요	•깎기면 하단 옹벽 또는 소단에 객토하고 유인철선을 이용하여 담쟁이나 등나무 식재	•산업폐기물을 주원료로 제조한 녹생토를 공기압으로 비탈면에 부착하는 공법	•자연토양을 주재료로 조성한 녹화기반 토양을 암비탈면에 뿜어붙이기 하는 공법
장 점	•일반식생 도입이 불가능한 암깎기면 적용성 우수 •소규모 낙석방지효과 •공사비 저렴	•효과가 지속적인 무공해 토양 개량 •암절개면 및 건조척박지에 우수한 식생기반 제공	•다양한 재래목본류 시공 가능 •주변산림과 조화되는 자연친화형 식물군락 조성
단 점	•녹화에 장기간 소요	•토양이 고결화 되어 종자사용이 제한	•절리가 없는 급경사지 시공 곤란 •공사비 고가
적용성	•경사도에 크게 영향 받지 않음	•토사, 리핑암, 발파암 사용 가능	•1:0.5이상의 암반 비탈면

3) 적용보호공법

구 분	씨앗뿜어붙이기	덩굴식물식재공법	식생기반재취부공법
개요도			
적 용 구 간	쌓기 및 토사/리핑암 깎기 구간	암반 깎기 구간	암반 깎기, 보강 구간
적 용 사 유	•자연친화형이며 초목류 생육 촉진 •종자배합 및 빠른 작업속도로 조기 녹화와 식물군락 조성 가능	•식재가 어려운 암반층에 녹화용 담쟁이덩굴을 식재하여 경관향상 도모 •시공성 및 경제성 우수	•식물의 조기정착과 조기 녹화가 가능 •공사비 저렴하며, 친환경적

라. 자연생태 목표 및 녹화공법에 따른 종자배합

1) 환경녹화지역별 녹화식물 배합

환경녹화지역별 녹화식물의 배합은 주변 환경을 고려하고, 비탈면 토질(암질) 및 경사도에 따라 초본위주형, 초본 · 관목혼합형, 목본군락형, 자연경관복원형 등으로 구분하여 실시한다. 파종식물의 선정은 감독자의 입회하에 시험시공결과와 자연생태복원전문가의 기술자문을 통해서 선정하되 환경녹화지역별 녹화공법 종자배합기준을 적용한다.

〈녹화공법 종자배합비율 조견표〉

복원목표	식생구분	자연경관복원형 적용지역 종자배합비율(%)	기타 적용지역 종자배합비율(%)
초본 위주형	관목류	20~40[1)]	10~40
	초본, 야생화류	40~80	40~80
	외래초종(양잔디류)	0~10	10~20
	합 계	100[2)]	100
초본·관목 혼합형	관목류	30~50	30~50
	초본, 야생화류	45~70	40~70
	외래초종(양잔디류)	0~5	5~15
	합 계	100	100
목본 군락형	교목류, 아교목류, 관목류	40~70	35~60
	초본, 야생화류	30~70	35~65
	외래초종(양잔디류)	0	3~10
	합 계	100	100

주1) 숫자는 중량배합비율을 의미한다.

주2) 종자배합 시 외래초종의 중량배합비율을 우선 정한 다음 초본, 야생화류, 관목류 등 전체 종자 배합량의 합이 100이 되도록 정한다.

본 과업구간의 환경녹화지역은 내륙생태계지역으로 구분되고, 생태자연도 2등급에 해당되므로 기타 적용지역의 종자배합비율을 적용한다.

2) 종자 배합설계시 고려사항

종자의 배합비율은 계절, 토질(암질), 기후특성 등을 고려하여 정하며, 혼합한 후 종자가 골고루 살포되도록 하고, 주위 경관과 조화할 수 있도록 식물종을 배합하여 적용한다.

<자연경관복원형 적용지역의 얇은 식생기반재 뿜어붙이기 종자배합량 조견표 예시>

단위 : (g/㎡)

복원목표	종 자 배 합		두께 5cm 미만 종 자 량 (종자배합비율)	두께 5cm 이상 종 자 량 (종자배합비율)
초본 위주형	관목	병꽃나무 등 관목류	9.0	21.0
	초본, 야생화	억새 등 새류, 일반재래초본류(도입야생화포함)	15.0	23.0
		쑥류, 야생화, 지역고유종	3.0	19.0
	외래초종 (양잔디류)	Tall fescue, Kentucky bluegrass, Perennial ryegrass, Creeping red fescue 등	3.0	7.0
	합 계		30 (30 :60 :10)	70 (30 :60 :10)
초본·관목 혼합형	관목류 아교목류	붉나무, 병꽃나무, 개쉬땅나무 등 관목류, 아교목류	10.5	24.5
	초본, 야생화	새류, 비수리, 숙류 등 초종	10.0	23.0
		구절초, 산국, 쑥부쟁이 등 지역고유 야생화류	8.0	19.0
	외래초종 (양잔디류)	Kentucky bluegrass 등	1.5	3.5
	합 계		30 (35 : 60 : 5)	70 (35 : 60 : 5)
목본 군락형	관목류 아교목류	소나무, 참나무류, 호랑버들, 산초나무, 붉나무, 병꽃나무, 개쉬땅나무 등 관목류, 아교목류, 교목류	12.0	28.0
	초본, 야생화	새류, 비수리, 숙류, 까치수염 등 초종	10.0	23.0
		구절초, 산국, 감국, 쑥부쟁이, 양지꽃, 산마늘, 마타리, 뚝갈 등의 지역고유 야생화류	8.0	19.0
	외래초종 (양잔디류)	Kentucky bluegrass 등	0	0
	합 계		30 (40 : 60 : 0)	70 (40 : 60 : 0)

※ 자연경관복원을 위해 새류, 쑥류, 억새류, 도라지, 구절초, 쑥부쟁이 등의 재래초본과 붉나무, 소나무, 산초나무, 병꽃나무 등의 재래목본 등을 혼합하여 파종할 수 있다. 필요한 경우 재래목본의 묘목식재와 지역고유종을 근주이식한 다음 식생기반재뿜어붙이기 공법을 병행하는 방법, 혹은 지역의 표토를 재활용 하는 방법 등을 고려할 수 있다.

※ 생태적으로 중요한 지역이므로 외래초본(양잔디류)이 우점하지 않도록 한다.

〈 기타 적용지역의 일반적인 도로비탈면 적용 종자뿜어붙이기(seed spray) 및 얇은 식생기반재 뿜어붙이기의 종자배합량 조견표 예시 〉

단위 : (g/㎡)

복원목표	종 자 배 합		두께 5cm 미만 종 자 량 (종자배합비율)	두께 5cm 이상 종 자 량 (종자배합비율)
초본 위주형	관목류	병꽃나무 등 관목류	5.0	12.0
	초본,야생화	억새 등 새류, 일반초본류(야생화포함)	14.0	30.0
		쑥류 및 기타	1.0	6.0
	외래초종 (양잔디류)	Tall fescue, Kentucky bluegrass, Perennial ryegrass, Creeping red fescue 등	5.0	12.0
	합 계		25 (20 : 60 : 20)	60 (20 :60 :20)
초본·관목 혼합형	관목류, 아교목류	병꽃나무 등 관목류 붉나무 등 아교목류	7.5	18.0
	초본,야생화	억새 등 새류 비수리 등 일반초본류(야생화포함)	14.0	30.0
		쑥류 및 기타	1.0	6.0
	외래초종 (양잔디류)	Tall fescue, Kentucky bluegrass, Perennial ryegrass, Creeping red fescue 등	2.5	6.0
	합 계		25 (30 : 60 : 10)	60 (30 : 60 : 10)
목본 군락형	관목류, 아교목류, 교목류	자귀나무, 붉나무, 소나무(곰솔) 등 교목류, 아교목류, 병꽃나무 등 관목류	10.0	24.0
	초본,야생화	억새 등 새류, 일반초본류(야생화포함)	12.5	26.0
		쑥류 및 기타	1.0	4.0
	외래초종 (양잔디류)	Tall fescue, Kentucky bluegrass, Perennial ryegrass, Creeping red fescue 등	1.3	6.0
	합 계		25 (40 : 50 : 10)	60 (40 : 50 : 10)

※ 경관적으로 중요한 지역에서는 금계국, 패랭이꽃, 끈끈이대나물, 붓꽃류(봄), 수레국화, 도라지(여름), 구절초, 산국, 벌노랑이, 쑥부쟁이류, 벌개미취 등(가을)을 혼합하여 파종할 수 있다.

※ 생태적으로 중요한 지역에서는 외래초종(양잔디류) 보다는 자생종(재래초본, 목본류)을 우선으로 배합한다.

〈 식생기반재뿜어붙이기 종자파종량 조견표 〉

지 역 구 분 / 종자층의 두께	국토핵심생태녹지축지역	해안생태계지역, 내륙생태계지역
1~2cm[1)]	20g/㎡ 이상[2)]	20g/㎡ 이상
3~4cm	30g/㎡ 이상	25g/㎡ 이상
5~7cm	70g/㎡ 이상	60g/㎡ 이상
7cm이상	100g/㎡ 이상	90g/㎡ 이상

주1) 식생기반재 두께는 종자취부층과 식생기반층을 합한 것을 말한다. 단, 2층뿜어붙이기(식생기반층을 우선 조성하고. 그 위에 종자층을 분리하여 시공하는 공법)인 경우 종자뿜어붙이기층의 두께에 맞게 파종량을 정한다.

주2) 종자파종량은 위의 조견표를 따르되 「비탈면 복원목표별 식생 생육판정 기준표」를 만족시킬 수 있도록 발아율이 우수한 녹화식물 종자를 사용하고, 특정종이 전체를 우점하지 않도록 종자배합설계를 적용하여야 한다.

마. 구간별 비탈면 보호공법 선정결과

비탈면 보호공의 선정에 있어서는 지형, 지질이나 기후조건, 보호공에 기대하는 효과를 충분히 파악함과 동시에 경제성, 시공성 등을 고려한 최적 공법을 선정하도록 해야 한다. 또한, 자연생태환경목표에 따라 적합한 녹화공법 적용을 위해 토질(암질), 기후, 지역적 여건 등을 종합적으로 고려하고, 과거 외래도입초종(양잔디) 위주의 녹화방법에서 탈피하여 주변에서 생육하고 있는 자생종을 적극 활용하며 자연생태계와 조화를 이루는 친환경적인 비탈면 녹화공법을 적용하고자 한다.

구 분	토질특성	경사도	적용공법	비 고
쌓기구간	토사	1:1.5~1:2.3	씨앗뿜어붙이기	
일 반 깎기구간	토사	1:1.2~1:2.0	씨앗뿜어붙이기	
	리핑암	1:1.0~1:2.0	식생기반재취부(t=3~5cm)	
	발파암	1:0.5	덩굴식물식재	
보 강 깎기구간 (쏘일네일링)	토사	1:1.2~1:1.5	식생기반재취부(t=3cm)	
	리핑암	1:1.0~1:1.2	식생기반재취부(t=5cm)	
	발파암	1:0.5	식생기반재취부(t=10cm)	
미 관 요구되는 깎기구간	토사	1:1.2~1:2.0	씨앗뿜어붙이기	
	리핑암	1:1.0~1:1.5	식생기반재취부(t=5cm)	
	발파암	1:0.5	식생기반재취부(t=10cm)	

※ 여기서, 미관이 요구되는 깎기 구간은 도로 IC/JCT, 영업소 구간 등

위와 같이 선정된 비탈면 보호공법의 제반사항은 현장시험시공결과 및 자연생태복원전문가의 기술자문 결과에 따라 변경할 수 있다.

7.7.3 시험시공계획

가. 개요

1) 비탈면 녹화공법의 적용을 위해 토질별로 복원목표에 부합되는 녹화공법을 정하기 전에 시험시공을 통하여 녹화품질 및 시공성을 정량적, 경제적으로 분석함으로써, 해당 비탈면의 자연환경여건에 부합하고 지속성이 있는 최적 녹화공법을 선정하기 위하여 시험시공을 실시한다.
2) 시험시공은 현장별로 1회 이상 시행하는 것을 원칙으로 하되, 인근 현장과의 거리가 10km 내외이고 현장여건이 유사하여 인근 현장의 시험시공 결과를 활용할 수 있는 경우에 발주자는 시험시공 횟수를 생략하거나 조정하여 시행하게 할 수 있다.

〈시험시공의 절차방법〉

항 목	내 용
1. 시험시공 계획	– 시공목적, 시공대상지, 환경조건, 복원목표 등 검토
2. 공법의 선정	– 감독자, 자연생태복원전문가 등의 자문을 통해 복원 목표에 부합되는 공법 선정
3. 시험시공 실시	– 시험시공계획서 작성 및 검토 – 시공 재료(뿜어붙이기용 재료, 종자) 시공전후 분석 – 시공 장비 및 시공방법 협의 – 계획서 및 시방서에 준한 시공 실시 – 유지관리 실시
4. 시험시공 결과 분석	– 자연생태복원전문가에 의한 주기적인 평가 – 생육판정 기준표에 의한 분석 실시
5. 최적공법 선정	– 녹화공법 평가표에 의한 현장여건에 부합하는 최적 공법 선정

나. 시험시공계획

1) 본 사업구간의 연장은 12.1km로 시험시공 개소를 1개소로 계획하였으며, 추가 시험시공이 필요한 경우 감독자 및 자연생태복원 전문가와 협의하여 적용한다.
2) 비탈면 녹화는 시험시공의 계획 수립시 현장의 특성을 고려하여 감독자, 자연생태복원전문가 등의 자문을 통해 정하여야 하며, 시험시공계획은 공법선정 후 자연생태복원전문가의 자문을 거쳐 발주기관의 승인을 받아 시행하여야 한다.
3) 시험시공을 위한 공법의 선정은 본 지침에 의거 설계된 공법을 엔지니어링기술진흥법에 의한 조경업체 또는 자연생태복원전문가에게 의뢰하여 선정하고 그 근거 서류를 유지하여야 한다.

4) 비탈면 녹화공법의 시험시공은 반드시 자연생태복원전문가의 자문을 거쳐 시공하도록 하고, 필요할 경우 도로건설현장의 감리회사에서도 상주, 비상주 관련전문가 또는 별도의 시험관련 기관에 위탁관리 할 수 있다.

5) 시험시공 계획시 다음과 같은 항목을 조사하여 계획을 수립하도록 한다.

① 토질(암질)조건 조사 항목은 시공사의 토질(암질)조사보고서, 지질 및 암반 전문가의 자문을 거쳐 녹화공법의 적용성을 검토한다.

② 주변 식생 환경 조사 항목은 환경영향평가자료를 참조하여 적용한다.

③ 기후환경 조사 항목은 대상지역의 가까운 거리의 기상관측소의 자료를 이용하되 최근 10년간의 강우량, 온도, 습도 등을 평균 산출하여 이용한다.

6) 시험시공에 소요되는 종자의 종류, 혼합비율, 사용량은 발주기관 및 감독자, 자연생태복원전문가와 협의하여 결정하도록 하며, 시험시공 전에 감독자은 시공에 필요한 종자 발아실험 결과, 녹화기반토양의 유해성 여부 및 기타 성분분석 결과를 확인한 후 시험시공 한다.

다. 시험시공(파종) 단계별 업무분장

시험시공(파종) 단계별 업무분장은 다음과 같다.

<시험시공 단계별 업무분장>

단 계 별	발주자	시공자	감독자	자연생태 복원전문가	비 고
공사비 반영 (시험시공비용)	○				<설계단계> • 시험시공 및 유지관리
시험시공계획 승인 요청 (시공자→감독자→발주자)		○	△		<시공단계> • 시험시공참여업체 현황 첨부 • 자연생태복원전문가 현황 첨부 • 시험시공 계획서 첨부 • 비상주 감리원, 책임 감리원 의견서 첨부
시험시공계획 승인 (발주자,감독자→시공자)	○		△		
시험시공 감리, 감독	△		○		
시험시공 후 모니터링 및 평가		△	△	○	• 자연생태복원전문가가 모니터링, 녹화공법 평가 시행
시험시공결과 보고서 작성 제출 (자연생태복원전문가→시공자)		△		○	
시험시공결과 승인요청 (시공자→감독자→발주자)		○	△	△	• 시험시공결과 보고서 첨부 • 비상주감리원, 책임감리원 의견서 첨부
시험시공결과 승인 (발주자→감독자, 시공자)	○		△		• 발주자는 필요시 녹화공법 평가위원회를 구성하여 평가를 실시하여 승인한다. • 평가점수가 75점 이상인 공법을 승인 통보

※ ○ 전담자, △ 보조자

라. 시험시공 방법

1) 시험시공의 면적은 공법당 100~200㎡ 범위 내에서 시공하되 지역구분에 따른 지질, 암질, 토질상태, 자연환경 등을 고려하여 녹화공법 및 취부 두께를 선정한다.
2) 시험시공은 설계기준에 따라 선정된 녹화공법으로 시행함을 원칙으로 하되, 신기술 및 신공법 중 2~3공법을 비교 시공할 수 있다.
3) 시험시공을 위한 발아실험과 녹화기반토양 등을 공인된 시험기관에 분석을 의뢰하여 실시하되 시험시공 15일전까지 시험성적서를 감독자에게 제출해야 한다.
4) 시험시공은 반드시 감독자의 입회하에 시방서(또는 시공계획서)에 규정된 기준에 의거하여 실시하도록 한다.
5) 시험시공 후 식생조사를 위한 방형구(1m×1m)를 3개소 이상 설치한다.

마. 재료의 준비와 배합

1) 녹화공법의 시험시공에 적용되는 재료와 그 구성물질은 유기물재료와 무기물재료로 구분하며, 최종 녹화용 재료와 식생기반재는 친환경적 제품을 사용하도록 한다.
2) 재료의 배합과 시공은 부피비 또는 중량을 기준으로 하여 배합하되 비탈면의 특성과 시공방법 등을 고려하여 발주기관, 감독자 및 자연생태복원전문가와 협의하여 시공하는 것을 원칙으로 한다.
3) 종자는 본 설계기준에 의거 배합하여 파종하되 종자선정, 파종방법 등은 발주기관, 감독자 및 자연생태복원전문가와 협의하여 적용한다.

바. 시험시공 평가 및 결과분석

1) 녹화공법 평가 일정은 아래 표와 같으며 공사의 긴급성 등을 감안해서 평가목적을 달성 할 수 있는 범위 내에서 평가기간을 단축할 수 있다. 단, 공사 준공 일정에 따라 긴급이 요구되는 상황에서는 발주자와 상의하여 평가횟수를 줄일 수 있다.

<녹화공법 평가 일정>

파종시기	3~5월 파종	6~8월 파종	9`~11월 파종
평가시기	-여름 전과 여름 후에 1차 및 2차 평가 -11월 전에 최종평가	-여름 후 9월경 1차 평가 -이듬해 4~5월 2차 평가 -이듬해 8~9월 최종평가	-11월 중 1차 평가 -이듬해 여름 직전 2차 평가 -이듬해 9~10월 최종평가

2) 감독자와 생태복원전문가는 <녹화공법 평가표>에 따라 항목별로 주기적 조사, 계절별 조사, 평가 일정에 맞추어 평가를 실시한다.
3) 식생생육은 <비탈면 복원목표별 식생생육판정 기준표>에 따라 판정한다.
4) 식생기반재뿜어붙이기의 식생기반재 두께는 측정용 기구를 이용하여 최소 10회 이상 측정하여 산술 평균한 값으로 사용한다.
5) 시험시공 후 식생기반재 샘플을 채취하여 식생기반재의 토양산도, 전기전도도, 염기치환용량, 전질소량, 염분농도, 유기물함량 등 토양 이화학성 및 중금속 함량분석 등을 공인된 시험기관에 의뢰하여 분석하여야 한다.
6) 초본위주형, 초본·관목혼합형은 피복율 80%이상은 상, 60~79%는 중, 60%미만은 하로 평가한다. 목본군락형, 자연경관복원형은 피복율 70%이상은 상, 50~69%는 중, 50%미만은 하로 평가한다.
7) 식생 생육조사는 식생조사구(방형구)내에서 목본 및 초본의 출현종, 각 식물별 생육 개체수, 식생 생육량, 우점종, 식생피복율, 병충해유무(하고현상 포함) 등을 조사 분석한다. 식생 생육조사구는 평균적인 생육을 보이는 곳에 임의로 선정하고 흔적을 남기지 않으며, 조사 시 설치한 방형구는 사진촬영하고, 전경사진에 위치를 표시하여 보고서에 수록하여야 한다.
8) 식생기반재의 토양경도, 토양산도, 토양습도 등을 측정하고, 식생기반재의 탈락 및 붕괴 유무와 병충해 피해를 관찰한다.
9) 식생피복율 조사시 한지형초종 등 외래초종(양잔디류)의 점유율이 높으면 감점하며, 생태계 교란종 및 위해종에 의한 피해가 심하면 상대비교하여 감점한다.
10) 조사시 설치한 방형구는 사진촬영하고, 시험시공지 전경사진에 그 위치를 표시하여 모니터링 보고서에 수록한다. 조사가 끝난 다음에는 방형구 설치 흔적을 제거한다.
11) 식생피복율은 발파암 구간 중 단단한 암(절리, 풍화상태가 미약한 암)인 경우 도로 노면상 최하단부에 덩굴식물식재공법으로 면적을 산출하고, 그 외 지역에서는 녹화공법으로 면적을 산출하여 구한다.
12) 각종 재료 등에 대하여는 필요하다고 판단되는 경우 현장에서 직접 채취한 후 공인된 시험기관에 의뢰하여 본 지침에 부합하는지의 여부를 검토한 후 시험시공결과보고서에 수록한다.
13) 파종용 식물종자의 검정에 대하여는 공인된 시험기관 등에서 수행한 파종할 종자의 순량율, 발아율 등의 시험 결과를 시험시공 결과보고서에 수록한다.

〈 녹화공법 평가표 〉

<table>
<tr><th>구분</th><th>평가</th><th colspan="3">항 목</th><th>배점(%)</th><th colspan="5">배 점 기 준</th></tr>
<tr><td>재료</td><td>정량적</td><td colspan="3">토양 및 종자 품질</td><td>-</td><td colspan="5">합격기준 미달시 불합격 처리</td></tr>
<tr><td rowspan="14">품
질</td><td rowspan="12">정
량
적</td><td rowspan="6">식
물
생
육</td><td rowspan="2">식생
피복율
(전체)</td><td>초본위주형
초본·관목혼합형</td><td rowspan="2">15</td><td>80% 이상
(15)</td><td>60~79%
(10)</td><td>60%미만
(5)</td></tr>
<tr><td>목본군락형
자연경관
복원형</td><td>70%이상
(15)</td><td>50~69%
(10)</td><td>50%미만
(5)</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">식생피복율
(한지형초본 등
외래도입초종)</td><td rowspan="2">(0~-5)</td><td colspan="3">피복율에서 외래도입초본의 점유율</td></tr>
<tr><td>30%미만
(0)</td><td>30~59%
(-3)</td><td>60%이상
(-5)</td></tr>
<tr><td colspan="2">식생생육량
(한지형초종 제외)</td><td>5</td><td>양호(5)</td><td>보통(3)</td><td>불량(1)</td></tr>
<tr><td colspan="2">병충해</td><td>5</td><td>양호(5)</td><td>보통(3)</td><td>불량(1)</td></tr>
<tr><td rowspan="4">출
현
종
수</td><td colspan="2" rowspan="2">목본성립본수</td><td rowspan="2">10</td><td colspan="3">식생생육판정기준표 복원목표의 달성도</td></tr>
<tr><td>80% 이상
(10)</td><td>60~79%
(7)</td><td>60% 미만
(3)</td></tr>
<tr><td colspan="2">초본 및 목본의 출현종수</td><td>15</td><td>80% 이상
(15)</td><td>60~79%
(10)</td><td>60% 미만
(5)</td></tr>
<tr><td colspan="2">생태계교란 및 위해종 침입</td><td>(0~-5)</td><td>하(0)</td><td>중(-3)</td><td>상(-5)</td></tr>
<tr><td colspan="3">식생기반재 물리적 특성</td><td>10</td><td>양호(10)</td><td>보통(7)</td><td>불량(3)</td></tr>
<tr><td colspan="3">탈락 및 붕괴지점</td><td>5</td><td>양호(5)</td><td>보통(3)</td><td>불량(1)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">정성적</td><td colspan="3">녹화 지속성 및 식생침입 가능성</td><td>5</td><td>양호(5)</td><td>보통(3)</td><td>불량(1)</td></tr>
<tr><td colspan="3">주변 환경과의 유사도</td><td>(0~-5)</td><td>양호(0)</td><td>보통(-3)</td><td>불량(-5)</td></tr>
<tr><td colspan="3">소 계</td><td colspan="6">70%</td></tr>
<tr><td rowspan="2">경
제
성</td><td>정량적</td><td colspan="3">시공단가</td><td>30</td><td>130%
미만
(30)</td><td>130~
160%
(24)</td><td>161~
190%
(18)</td><td>191~
220%
(12)</td><td>220%
초과
(6)</td></tr>
<tr><td colspan="3">소 계</td><td colspan="6">30%</td></tr>
<tr><td colspan="4">합 계</td><td colspan="6">100%</td></tr>
</table>

〈 비탈면 복원목표별 식생생육판정 기준표 〉

복원목표 \ 평 가		목본 성립본수	출현종수	
			초본	목본
초본 위주형	합격[1)]	2본/㎡ 이상	5종/㎡ 이상	2종/㎡ 이상
	판정보류	피복율이 50~70%이면서 1㎡당 10본 발아가 있으면서 생육이 늦은 경우 1~2개월 동안 상태를 지켜보고 재평가한다.		
	불합격	피복율이 50%이하 이면서 식생기반이 유실되어 식물의 성립이 기대되지 않을 경우 재시공한다.		
초본 관목 혼합형	합격	3본/㎡ 이상	4종/㎡ 이상	3종/㎡ 이상
	판정보류	피복율이 50~70%이면서 1㎡당 관목의 발아가 늦을 경우 2~3개월 동안 상태를 지켜보고 재평가한다.		
	불합격	피복율이 50%이하 이면서 식생기반이 유실되어 식물의 성립이 기대되지 않을 경우 재시공한다.		
목본 군락형	합격	5본/㎡ 이상	3종/㎡ 이상	4종/㎡ 이상
	판정보류	피복율이 70~80%이고 교목이 1~2본/㎡인 경우 익년 봄까지 상태를 봄. 드문드문 발아가 보이지만, 비탈면 전체가 나지로 보일 경우 2~3개월 동안 상태를 지켜본 후 판정한다(부적기 시공의 경우).		
	불합격	식생기반이 유실되어 식물의 성립이 기대되지 않을 경우 재시공 함		
		초본 피복율이 80~90%이면서 목본이 피압 당하고 있을 경우 예초 후 대책강구		
자연경관복원형	합격	7본/㎡	5종/㎡ 이상	5종/㎡ 이상
	판정보류	피복율이 70~80%이고 교목이 3~4본/㎡인 경우 익년 봄까지 상태를 봄. 드문드문 발아가 보이지만, 비탈면 전체가 나지로 보일 경우 2~3개월 상태를 지켜본 후 판정한다(부적기 시공의 경우).		
	불합격	식생기반이 유실되어 식물의 성립이 기대되지 않을 경우 재시공함		
		피복율이 80%이상이면서 목본이 피압 당하고 있을 경우 예초 후 대책 강구		

주1) 합격은 모든 항목을 만족하여야 하며, 한 개의 항목이라도 미달할 경우 보류로 본다.

사. 시험시공 결과보고서

1) 시험시공의 계획과 설계는 시공 3~4개월 전에 현장 감독자과 자연생태복원전문가가 참여하여 현장의 지질, 암질, 토질, 자연환경의 특성 등을 조사분석하여 시험시공의 계획과 설계에 적용성이 높은 공법을 선정하여 설계에 반영하고 그 결과를 시험시공 결과보고서에 수록한다.

2) 시험시공은 상기의 비탈면 녹화 설계의 기준에 따라 시험시공의 규격과 면적, 시공두께 등의 제반사항을 산정하여 시험시공 결과보고서에 수록한다.
3) 시공업체는 시험시공 전에 반드시 시험시공의 재료, 구성, 배합토양 등을 분석하여 감독자에게 제출하고 시험시공 결과보고서에 수록한다.
4) 각종 재료 등에 대해서는 현장에서 반드시 직접 채취한 후 공인된 시험기관에 의뢰하여 녹화설계의 기준에 부합하는지의 여부를 검토후 시험시공결과보고서에 수록한다.
5) 파종용 식물종자의 검정에 대해서는 공인된 시험기관에 파종할 종자의 순량율, 발아율 등의 테스트 결과를 시험시공 결과보고서에 수록한다.
6) 시험시공 후 식생조사결과와 녹화공법 평가결과를 시험시공 결과보고서에 기록한다.

<시험시공 결과보고서 수록내용>

항 목	내 용	비 고
1. 개 요	- 시험시공의 목적 - 시험시공 위치도 및 주변 현황 분석 - 시험시공 비탈면의 환경특성	녹화지역구분 복원목표설정
2. 시험시공 재료 및 방법	- 시공재료 - 사용종자 - 시공장비 - 시공방식 - 측정방식	
3. 시험시공지 조사	- 발아상태 - 식물생육상태 - 기반재의 안정성 - 재료 특성 분석 - 기반재의 지속성	식물생육(3가지 평가지표) 출현종수(3가지 평가지표) 식생기반재 물리화학적 특성 탈락 및 붕괴지점 주변 환경과의 유사도
4. 시험시공 결과 분석 및 평가	- 생육특성(품질) - 경제성 - 향후 예측	녹화공법평가표 첨부
5. 기 타	- 산업재산권(특허, 신기술·특허공법) - 시공실적 - 시험성과물	공법 특성 분석

7.7.4 유지관리계획

가. 개요

1) 비탈면의 유지관리는 인위적으로 녹화시키는 곳에만 적용함을 원칙으로 한다.
2) 비탈면의 녹화는 주변에서의 식물천이를 통한 안정적인 식물사회의 조성을 기본목표로 추구한다.
3) 본 항에서 언급하지 않은 사항은 상기의 “도로비탈면 녹화공사의 설계 및 시공 지침”을 참고하여 유지관리를 실시함을 원칙으로 한다. 또한 시험시공시의 유지관리도 이에 준하여 시행한다.

나. 재료

1) 녹화공법의 식생기반재료는 품질기준 및 환경기준에 맞는 제품을 사용하되 시공전후에 감독자 입회하에 시료를 채취하여 공인된 시험기관에 의뢰하여 성분을 분석한 후, 제품의 성분분석 결과서를 감독자에게 제출한다. 감독자는 시험시공 당시 종자와 배합비가 일치하는지 확인한다.
2) 섬유제품 등의 멀칭재(식물발생재 포함)는 유기재료를 사용하는 것을 원칙으로 하고 종자의 발아 및 생육에 장애가 없는 제품이어야 한다.
3) 부착망은 체인링크철선과 염화비닐피복철선의 기준에 적합한 부착망을 시공해야 한다.
4) 앵커핀 및 착지핀의 경우는 설계에 맞는 제품의 사용계획을 확인하고 감독자는 이 자료를 보관하여야 한다.
5) 시공자는 비탈면 녹화에 사용할 종자에 대하여 총 1회 이상 감독원 입회하에 샘플을 채취하여 공인시험기관에 발아율 및 순량율 시험을 의뢰하여 조사한 시험성적서를 감독자에게 제출하여야 한다. 시공자는 시공 후 종자의 발아 및 생육상태를 조사하여 그 결과를 감독자에게 제출한다.
6) 비탈면 시공후의 추적 식생조사는 초기조사(시공 후 1, 2개월), 중장기조사로 나누어 수행하고, 최소 2가지 이상의 식물환경이 조성되지 않고 피복율이 50% 이하이면서 식생기반이 유실되어 식물의 성립이 어려울 경우에는 재시공 등의 조치를 취한다.

다. 시공

1) 시공계획으로 공사의 순서와 녹화공법 적용계획, 공정계획, 주요 노무계획, 장비 및 재료반입계획, 운송계획 등을 정한다.
2) 관리계획으로는 현장관리 조직표, 안전관리계획, 품질관리계획, 환경보전계획, 건설부산물재활용계획, 폐기물관리계획 등을 수립한다.
3) 비탈면 녹화공사는 공사시방서에 따라 시행한다.

7.8 비탈면 계측 및 유지관리

7.8.1 비탈면의 계측계획

가. 계측계획의 수립시 고려사항

- 사전에 공사의 진척상황에 대응하는 계측계획을 수립 작성하고, 계측의 목적, 계측방법, 관리기준치에 관한 기본적 사항을 정해 둘 필요가 있음.
- 주어진 모든 조건이나 각종 제약 중에서 문제가 되는 지반의 거동을 정확히 모니터링하여 얻어진 데이터를 종합적으로 해석한 다음에 기준치와의 비교와 실제의 지반 거동과의 해석, 검토 등의 결과 판정을 해야 함.
- 토사비탈면의 변형이나 붕괴형태를 정확히 예상하고, 파악한 다음에 계측의 목적을 명확히 하여 그 목적에 맞는 계측기기의 선정이나 배치, 계측의 방법, 관리기준치 등을 검토하여 실시계획을 작성할 필요가 있음.
- 계측이 장기간에 걸치는 경우나 토사비탈면의 상황이 크게 변화되는 경우에는 계측내용의 재고를 하고 항상 적절한 계측관리가 실시되도록 노력해야 함.

나. 계측계획의 목적

현장계측은 토사비탈면의 붕괴에 이르는 초기의 토사 변상현상을 계측기기로 파악하고, 이것들을 바탕으로 적절한 대책을 취해 토사비탈면의 붕괴를 미연에 방지하거나 붕괴에 의한 피해를 최소한으로 억제하는 것을 기본적인 목적으로서 실시.

주요평가사항

○ 변상기구나 규모의 조사, 해명	○ 비탈면의 안정성의 평가
○ 붕괴의 예지·예측	○ 대책공의 효과 판정
○ 안전확보(대피경보 등의 조치를 위해)	○ 시공관리(정보화 시공을 포함)

다. 계측대상 범위

- 변상현상이 발생되거나 혹은 예상되는 범위
- 피해가 예상되는 범위
- 2차 붕괴의 파급이 예상되는 범위
- 공사의 시공범위

라. 계측기기 및 계측항목

〈 계측기 항목 〉

계측기 항목	주요 계측 항목	응력개방현상	붕락현상	평면활동붕괴	쐐기변형붕괴	원호활동붕괴	복합활동붕괴	토플링	버클링
지표면 신축계	텐션부 부근의 머리부 변위량			○	○	◎	◎	○	
지반경사계	활동머리부·중간부·말단부의 표면경사량					◎	◎	△	
광파측거법	지표면 변위량(수평·수직성분)	○		△	△	△	○	○	△
소폭판측량	지표면 변위량(수평·수직성분)			△	△	△	△	△	
파이프변형계	활동면 위치의 검출과 변형누적경향			△	△	△	△		
삽입식 지중경사계	활동면 위치의 검출과 암괴이동량			○	○	○	◎	△	
고정식 지중경사계	활동면 위치의 검출과 암괴이동량			△	△	△	○		
지중신축계	활동면 위치의 검출과 암괴이동량			△	△	△	○	△	
다단식 지중신축계	활동면 위치의 검출과 암괴이동량			△	△	△	○	△	
지중변위계	지중변위량(수평·수직성분)	○		○	○	○	○	△	△
검지선식낙석감지기	낙석의 감지(사후검지)		◎						
전도스위치	지반, 암괴의 경사량(전도, 회전)							△	
GPS 측량	지표면 변위량(수평·수직성분)						△		
지하수위계	지하수 동태 관측과 비탈면 안정도의 검토	○		○	○	○	○	△	△
간극수압계	비탈면부근의 간극수압 측정			△	△	△	△		
우설량계	비탈면부근의 간극수압 측정	○	○	○	○	◎	◎	○	○
적설심계	우량데이타수집(비탈면안정과 강우의 관계)	△					△		
유량계	우량데이타수집(비탈면안정과 적설의 관계)						○		

(기호설명) ◎ : 가장 적합한 것
○ : 약간 적합한 것
△ : 적합한 케이스와 적합하지 않은 케이스가 있는 것 (시행·연구 단계의 것)
무기입 : 적합하지 않은 것으로 생각되는 것

마. 계측빈도 및 기간

계측빈도의 고려사항

- 계측의 목적에 따라 가능한 한 자주 실시하는 것이 좋으나, 한편 그 경우에는 계측 작업에 노력을 요하는 비용의 증가가 예상되므로 비탈면의 변동상황, 위험도, 계측기기의 특성이나 내구성, 현지조건 등을 합리적으로 고려하여 적절하게 설정해야 한다.
- 보통비탈면에 변동현상이 발생하여 시공중의 작업원의 안전확보가 우선되는 경우나 강우시 등에는 치밀한 빈도로 하고 공사 완료후나 대책공 시공후 등의 경우에는 빈도를 줄이는 것을 기본으로 한다.
- 지하수위와 같이 그 피크치가 문제가 되는 경우에는 피크치의 관측 누설을 막기위해 계측빈도는 밀실이 취할 필요가 있으며, 가급적 자기기록 방식으로 하는 것이 좋다.
- 암반붕괴나 비탈면의 활동이 호우, 융설, 지진 등의 자연요인이 발생된 경우에는 당초의 계측계획으로 설정된 계측빈도에 구애받지 않고 계측빈도를 자주 실시한다.

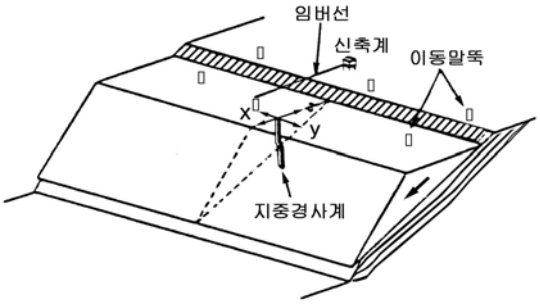
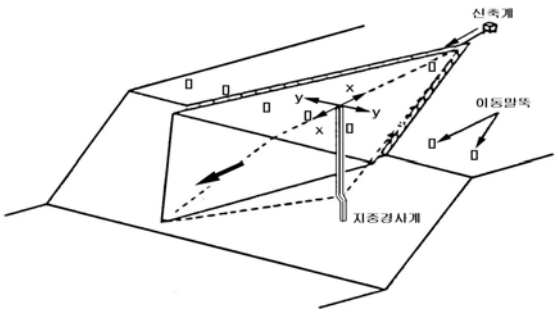
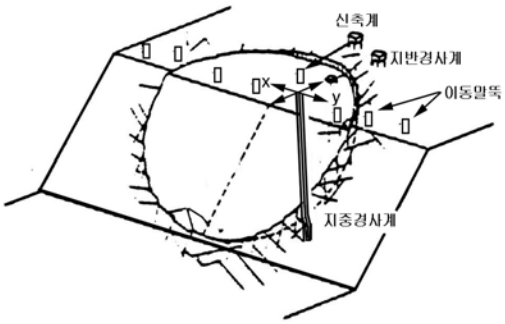
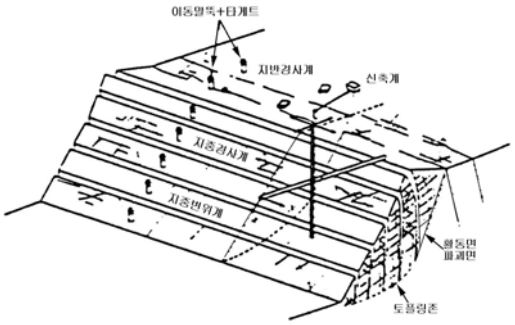
계측기간의 고려사항

- 계측의 기간은 비탈면의 변상 규모와 그 영향도, 보전대상 구조물의 중요도, 대책공의 유무, 공사의 진척도 등에 따라 결정해야 한다.
- 암반비탈면의 변동 상황은 강우나 융설 등의 기상 요인의 영향을 크게 받으므로 그 동태를 정확히 파악하기 위해서는 적어도 필요 최적 기간으로서 1년을 통하여 계측을 계속할 필요가 있다.
- 계측개시에 대한 기본적 사항에는 다음과 같은 것이 있다.
  ① 암반비탈면에 육안 확인이 되는 변상이 생긴 시기부터 개시한다.
  ② 사전의 현지답사, 암반 조사에서 불안정 혹은 위험 비탈면으로 판단된 경우
  공사 시공 전부터 개시한다.
  ③ 대책공 시공 후부터 개시한다.
- 계측의 완료시기에 대해서, 기본적으로는 암반비탈면의 변동이 계측되지 않게 된 시점을 기준으로서 그 후 1년간 계측을 계속하고, 그 중간에 있어서도 변동이 보이지 않게 된 것을 확인하여 완료로 하는 것이 바람직하다.

〈 계측항목별 계측빈도 〉

구 분	계 측 빈 도		
	시 공 직 후	1 ~ 3개월	3개월 이후
광파측거법	1회/3일	1회/1주	1회/1개월
지중경사계	1회/3일	1회/1주	1회/1개월
지하수위계	1회/3일	1회/1주	1회/1개월

바. 계측기기 배치 예

평면 활동붕괴에 대한 계측기기의 배치	쐐기 활동붕괴에 대한 계측기기의 배치
	
원호 활동붕괴에 대한 계측기기의 배치	**토플링 활동붕괴에 대한 계측기기의 배치**
	

사. 계측기선정 및 계측수량

계측 및 수량 선정시 고려사항

- 토사비탈면의 변동 상황을 최소의 계측기기로 효과적으로 파악하기 위해서는 우선 토사비탈면의 변동 사항을 파악해야 함.
- 계측기기의 배치 밀도는 토사비탈면의 변상규모나 위험도에서 판단하여 적절한 것이 될 수 있도록 유의해야 함.
- 구체적인 계측기기의 배치에 대해서는 상세한 현지조사나 지질조사 등을 하여 변동 블록과 붕괴 형태를 최종적으로 결정함.

※계측기 설치항목 , 설치수량은 아래의 표와 같이 계획하였으며 시공 중 현장상황에 따라 감독관과 협의 후 재조정 하여야 한다.

〈 계측항목 및 계측수량 〉

선정계측기	측정항목	계측수량	비 고
광파측거의	지표면(낙석표면)변위량	구간별 1개소	-
지중경사계	지중변위량	구간별 1개소	-
지하수위계	수위변화 측정	구간별 1개소	-

아. 계측기 설치위치

깎기 비탈면 계측구간은 대절토 구간 중 IC/JCT 구간과 산사태 위험지구 통과 구간을 원칙으로 선정하였으며, 그 외 안정성에 영향을 미치는 내·외적 요인 등을 고려하여 선정하였다.

구 분		적용구간 (STA.)	대표단면 (STA.)	비탈면 최대 높이(m)	비탈면 지층현황	비 고
본 선	1구간	0+300~0+370	0+340(오창)	39.3	토사, 리핑, 발파	
	6구간	3+740~3+920	3+880(오창)	33.0	토사, 리핑	
	7구간	4+820~4+870	4+840(오창)	39.1	토사, 리핑, 발파	
서오창IC	R-A	1+060~1+186	1+120 좌측	37.1	토사, 리핑, 발파	
	R-C	0+500~0+700	0+660 우측	32.8	토사, 리핑, 발파	

자. 계측관리기준

< 시공 및 유지관리 단계의 관리 기준치 >

구 분	대응구분 / 계기구분과 계측치		점검·주의 또는 관측강화	대책의 검토	경계·응급대책	엄중경계 ·일시대피
시공중 계측	광파측거의	지표면의 변위속도	5이상 (㎜/10일)	5~50 (㎜/5일)	10~100 (㎜/일)	100이상 (㎜/일)
	삽입형 지중경사계	활동면 부근 변위속도	1이상 (㎜/10일)	5~50 (㎜/5일)		
	지하수위계	지하수위 변동	0.5~ (m/일)	1 이상 (m/일)		
유지관리 계측	광파측거의	지표면의 변위속도	10이상 (㎜/30일)	5~50 (㎜/5일)	10~100 (㎜/일)	100이상 (㎜/일)
	삽입형 지중경사계	활동면 부근 변위속도	1이상 (㎜/10일)	5~50 (㎜/5일)		
	지하수위계	지하수위 변동	0.5~ (m/일)	1 이상 (m/일)		

7.8.2 시공중 비탈면 유지관리

가. 시공관리 개요

- 깎기 비탈면의 시공시에는 시공 중 조사, 관찰(Face Mapping), 계측을 실시하여 실제 굴착되는 비탈면의 안정성을 평가하고 필요에 따라서는 설계 및 시공법을 변경할 필요 있음
- 일반적으로 설계단계에서 지질조사에 의한 지층단면과 굴착에 의해 드러나는 실제 비탈면의 지층구성 상태와는 차이점이 많은 경우가 흔하므로 다음 흐름도의 과정에 의해 시공계획시의 조건이나 제반조건 등을 검토하고 필요하면 추가 지반조사 및 재해석을 실시하여 설계변경을 하도록 함.

나. 비탈면 절취시 유의사항

- 비탈면의 절취 작업시 예기치 못한 요인에 의하여 생길 수 있는 붕괴사고를 예방하기 위해서는 다음과 같은 사항을 주의 깊게 관찰하여 비탈면 및 상부토층의 상태를 파악하여야 함
- 균열의 유·무
- 우수에 의한 균열의 발생 유무
- 부석, 전석의 유무
- 풍화의 상황
- 붕락정도
- 절리, 층리의 방향성과 그 진행
- 용수위치와 상황

다. 시공중 깎기비탈면의 보호

- 일부 지반은 지층 속에 강도가 높은 상태로 존재하더라도 대기 중에 노출되면 급속하게 강도저하가 될 가능성이 있음
- 이는 응력이 해방됨과 동시에 건습의 반복 등 직접적인 기상의 영향을 받기 때문으로 장기적으로 볼 때 비탈면 붕괴의 요인일 될 수 있으므로 비탈면 보호공법이 조속히 실시되어야 함
- 비탈면 보호공 시공 및 배수시설을 설치하여 강우의 침투를 방지하여야 함.

라. 급속한 굴착에 의한 변형 및 지하수위 변화

- 깎기 공사 중 예상 밖의 장소에서 변형이 발생하는 경우가 있으며, 토괴의 이동에 의한 균열은 소단이 있는 콘크리트나 배수구에서 쉽게 발견할 수 있으므로 이러한 경우 임시 변형 관측계를 설치하여 동태관측을 수행해야 함
- 비탈면에 용출수가 있거나 지하수위가 높은 지반에서 급속시공을 할 경우 비탈면붕괴 가능성 검토
- 깎기 전후의 지하수위는 안정상태까지 시간이 걸리므로 심층부에 과잉 간극수압이 비탈면 활동에 기여하는 상태가 되므로 시공 중에 지하수위 변화를 관측해야 함.

마. 시공중 비탈면 보강방안

•비탈면안정해석결과 불안정할 경우 다음과 같은 보강공법을 비교·검토하여 최적의 보강공법을 선정하여 안정성 확보

- 토사비탈면 : 비탈면 경사완화, 네일링공법, 억지말뚝, 배수공설치 등
- 암반비탈면 : 비탈면 경사완화, 록볼트공법, 록앵커공법, 낙석방지망 공법 등

7.8.3 시공후 비탈면 유지관리

가. 비탈면 유지관리 방법

•시공 후의 비탈면유지관리는 축적된 계측 Data와 경험의 축적에 의해 안정성을 평가

•유지관리 준비작업은 시공시점에서 시작된 조사자료와 시공스케치를 보존하여 비탈면 대장을 작성하여야 함.

•비탈면 대장에는 위치, 보호공법 종류, 대책공법 종류 등 필요 항목을 기재하여 비탈면 점검시 관찰상황을 추가 기재하되 주의 관찰이 요구되는 구간은 Check 해 두고 유지관리를 실시

•비탈면의 불안정 요인이 관찰될 경우에는 현장 긴급조치를 하고 전문 기술자에게 안정성 분석을 의뢰함.

•낙석 및 낙석제거, 낙석방지망 및 낙석방지울타리의 상태점검과 유지보수를 실시

•공사비 절검과 점검로의 효용성을 증대시키기 위해 점검로는 도수로와 인접하여 설치하며 점검시 안전에 유의함.

나. 중점관리구간 선정 및 점검

1) 중점관리구간 선정

•비탈면 불안정으로 인해 보강공법을 적용시킨 구간

•대절토 비탈면 구간

•산사태 위험지구 통과 구간

•불안정 요인을 갖는 지형·지질 조건의 비탈면 구간

< 중점관리구간 >

구 분		적용구간 (STA.)	대표단면 (STA.)	비탈면 최대 높이(m)	비탈면 지층현황	선정사유
본 선	1구간	0+300~0+370	0+340(옥산)	39.3	토사, 리핑	SoilNail, 산사태 1등급
	2구간	1+420~1+580	1+520(옥산)	22.8	토사, 리핑	산사태 1등급
	6구간	3+740~3+920	3+880(오창)	33.0	토사, 리핑	SoilNail, 산사태 1등급
	7구간	4+710~4+820	4+780(오창)	40.3	토사, 리핑	SoilNail보강
		4+820~4+870	4+840(오창)	39.1	토사, 리핑, 발파	SoilNail, 산사태 1등급
		4+790~4+910	4+840(옥산)	31.1	토사, 리핑, 발파	SoilNail 보강
	9구간	5+550~5+750	5+660(옥산)	20.0	토사, 리핑, 발파	RockBolt보강
	13구간	8+240~8+290	8+240(옥산)	25.0	토사, 리핑	SoilNail 보강
		8+300~8+440	8+400(옥산)	30.4	토사, 리핑	대절토 구간
		8+660~8+700	8+680(오창)	32.5	토사, 리핑	대절토 구간
		8+730~8+830	8+780(오창)	22.6	토사, 리핑, 발파	깎기부 옹벽
서오창IC	R-A	0+980~1+060	1+020 좌측	29.1	토사, 리핑, 발파	RockBolt보강
		1+060~1+186	1+140 좌측	32.0	토사, 리핑, 발파	RockBolt, 산사태 1등급
	R-C	0+500~0+700	0+660 우측	32.8	토사, 리핑, 발파	산사태 1등급

2) 점검방법

- 일반적인 점검 외에도 우기시나 동절기 등 붕괴현상이 집중되는 시기를 전후하여 실시하는 것이 바람직함
- 위험성이 내포되어 보수가 필요하다고 판단될 때 재해로 발달되지 않도록 조치해 두고, 필요에 따라 상세한 조사를 수행하고 대응책을 강구하여야 함
- 점검방법은 관리기간에 따라 다양하지만 다음 표와 같이 그 빈도를 정해 실시하여야 함

구 분		점 검 내 용	빈 도
일 상 점 검		•차량내에서 확인할 수 있는 범위의 비탈면 상황을 관찰	1일 1회
정 기 점 검	정기점검A	•걸어서 접근하여 관리구간 전체 상황을 전반적으로 점검	1년 1회
	정기점검B	•걸어서 접근하면서 관리구간 전체 상황을 세부적으로 점검	1년 1회
임 시 점 검		•일상점검 또는 정기점검을 보완하기 위해 필요에 따라 실시 일상점검에 의한 평가, 판정이 곤란할 경우 및 이상기후 직전 혹은 통보에 의해 점검	필요에 따 라

제8장 교량기초 설계

8.1 검토개요

8.2 기초형식 선정

8.3 말뚝재료의 선정

8.4 말뚝기초 시공법 검토

8.5 직접기초 안정성 검토

8.6 말뚝기초 안정성 검토

8.7 기초의 부등침하 검토

8.8 교대기초 안정성 검토

8.9 교량기초 액상화 검토

8.10 기초의 재하시험 계획

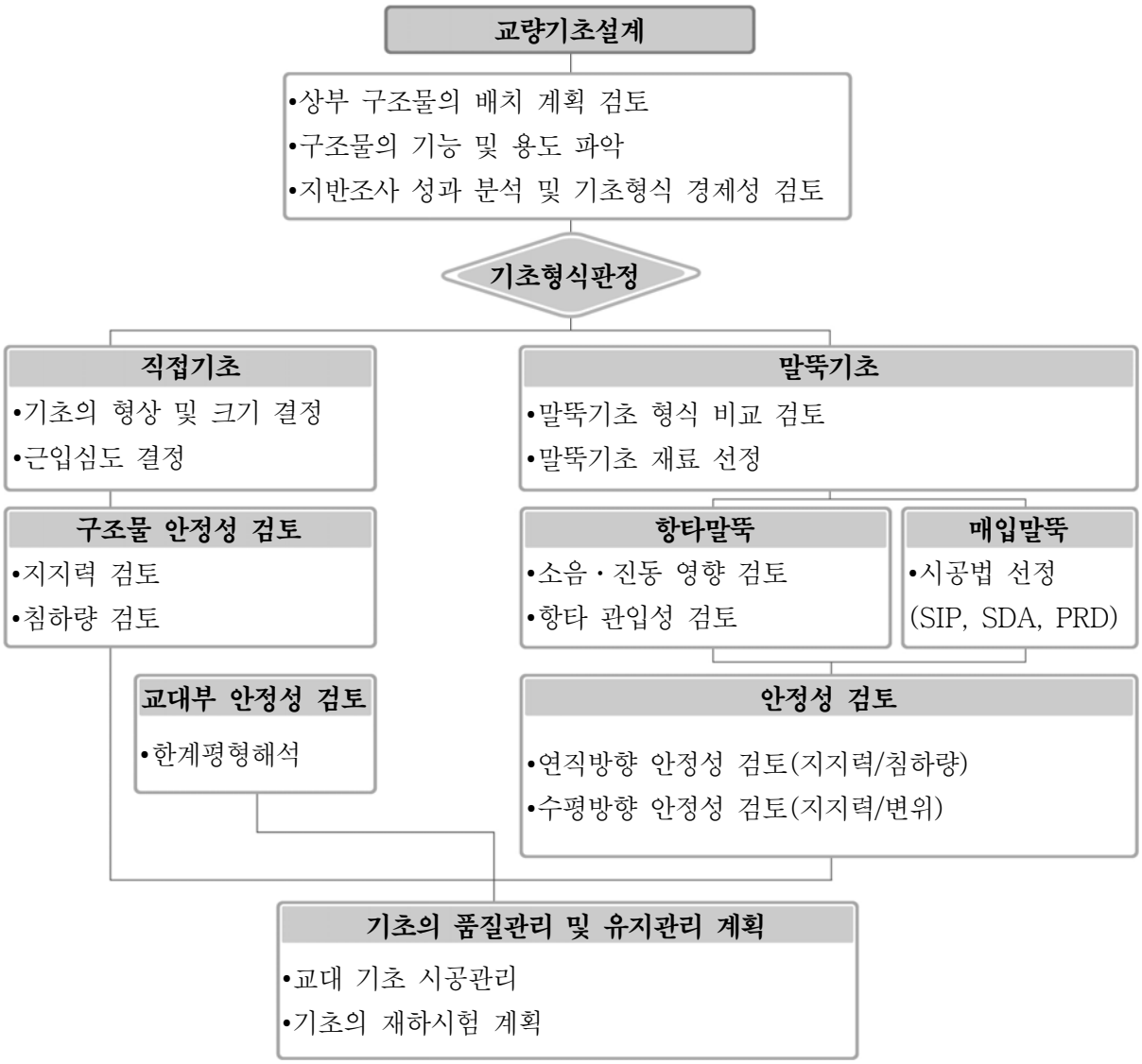
제8장 교량기초 설계

8.1 검토개요

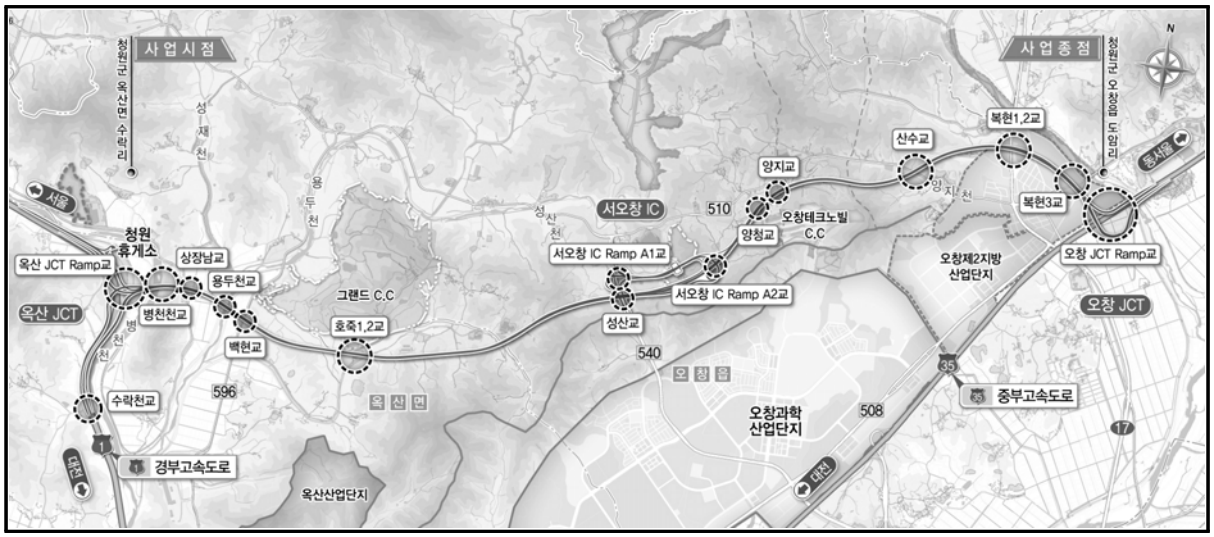
8.1.1 기본방향

•주변현황, 지층조건, 시공여건 및 교량 상부구조 형식에 적합한 기초형식 선정
•환경오염 및 소음진동으로 인한 민원을 최소화 할 수 있는 교량기초 시공법 선정
•지반조사결과의 통계적 기법 및 신뢰성 분석을 통한 합리적인 설계지반정수를 산정
•각종 이론식, 경험식 및 설계기준에 부합하는 기초 안정성 검토 수행
•기초형식에 따른 내구성 및 품질향상 계획 제시

8.1.2 기초설계 수행과정



8.1.3 교량현황



교량명		위치(STA.)	교량형식	연장(m)
옥산JCT	Ramp-A교	0+860.000~1+040.300	강박스 거더교	180.300
	Ramp-C교	0+411.000~0+631.300		220.300
	Ramp-D교	0+420.030~0+590.270		170.240
본 선	병천천교	0+052.740~0+283.156	개량형 PSC빔교	230.416
		0+045.735~0+276.155		230.420
	상장남교	0+481.740~0+562.630	개량형 PSC빔교	80.890
	용두천교	0+890.766~1+026.271	개량형 PSC빔교	135.506
	백현교	1+163.156~1+203.580	개량형 PSC빔교	40.424
	호죽1교	2+446.500~2+461.500	RC라멘교	15.000
	호죽2교	2+530.803~2+586.375	개량형 PSC빔교	55.572
		2+517.503~2+573.075		55.442
	성산교	5+466.614~5+527.061	개량형 PSC빔교	60.447
서오창IC	Ramp-A1교	0+181.260~0+231.565	개량형 PSC빔교	50.305
	Ramp-A2교	1+365.055~1+410.250	개량형 PSC빔교	45.195
본 선	양청교	7+413.000~7+438.111	PSC빔교	25.105
	양지교	7+774.900~7+789.900	RC라멘교	15.000
	산수교	9+049.000~9+189.265	PSC빔교	140.265
		9+060.000~9+200.263		140.263
	복현1교	10+238.374~10+343.599	개량형 PSC빔교	105.225
	복현2교	10+502.920~10+543.601	개량형 PSC빔교	40.681
	복현3교	11+151.840~11+252.500	개량형 PSC빔교	100.660
오창JCT	Ramp-A교	0+294.620~0+394.871	개량형 PSC빔교	100.251
	Ramp-C교	0+277.900~0+457.900	ST BOX 거더교	180.000
	Ramp-D교	0+314.098~0+729.520	개량형 PSC빔교	415.422
-	수락천교	14+861.382~14+873.382	RC라멘교	12.000

8.1.4 교량구간 지반조사 설계활용

구 분	조 사 항 목	단위	수 량	구 분	조 사 항 목	단위	수 량
현장조사	시추조사	공	82	현장시험	공내재하시험	회	30
	지하수위 측정	회	82		공내전단시험	회	11
물리탐사	굴절법탄성파탐사	km	-	실 내 토질시험	기본물성시험	회	105
	GPR탐사	단면	10		공진주시험	회	2
현 장 특수시험	시추공 영상촬영	회	-		진동반복삼축시험	회	2
	하향식 탄성파탐사	회	2	실 내 암석시험	기본물성 및 일축압축강도시험	회	30
현장시험	SPT효율측정시험	회	1		삼축압축 및 인장강도시험	식	12
	현장투수시험	회	12		절리면전단시험	식	12

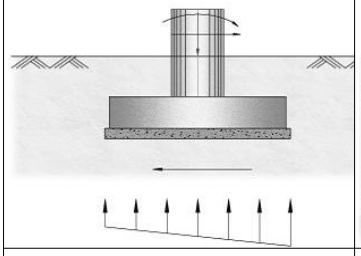
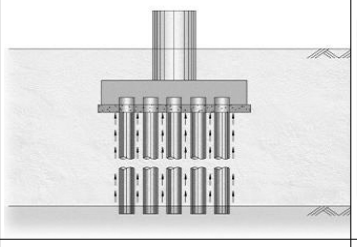
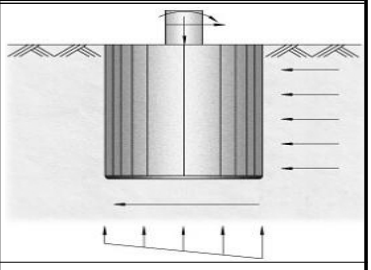
8.1.5 설계 검토사항

검토사항		내 용
기초형식 적정성		•기초형식검토 : 지형 및 지질, 구조물의 특성 및 기타 시공조건 등을 고려 •기초형식선정 : 경제성 및 시공성 및 환경영향을 고려한 최적의 기초형식 선정
설 계 안정성	지지력 및 변위	•얕은기초의 안정성 : 연직지지력, 변위 •깊은기초의 안정성 : 연직 및 수평지지력, 변위, 군말뚝효과를 고려한 말뚝해석 •부등침하에 대한 안정성 검토
	현장여건을 고려한 안정검토	•쌓기 교대부 안정성 검토 및 고성토 구간 비탈면 안정성 검토 •지지층 및 기초형식 상이구간 기초의 안정성 검토 •기초 터파기 비탈면 안정성 및 침투수량 검토
기초 시공방안		•얕은기초의 시공성 검토 •환경성 평가를 통한(소음 · 진동) 기초시공법 선정 •육상부 및 수상부 가시설 공법 검토
유지관리 및 품질관리계획		•깊은기초의 재하시험계획 및 얕은기초의 저면처리방안 계획 •얕은기초, 깊은기초의 품질관리 수립

8.2 기초형식 선정

8.2.1 기초형식 분류

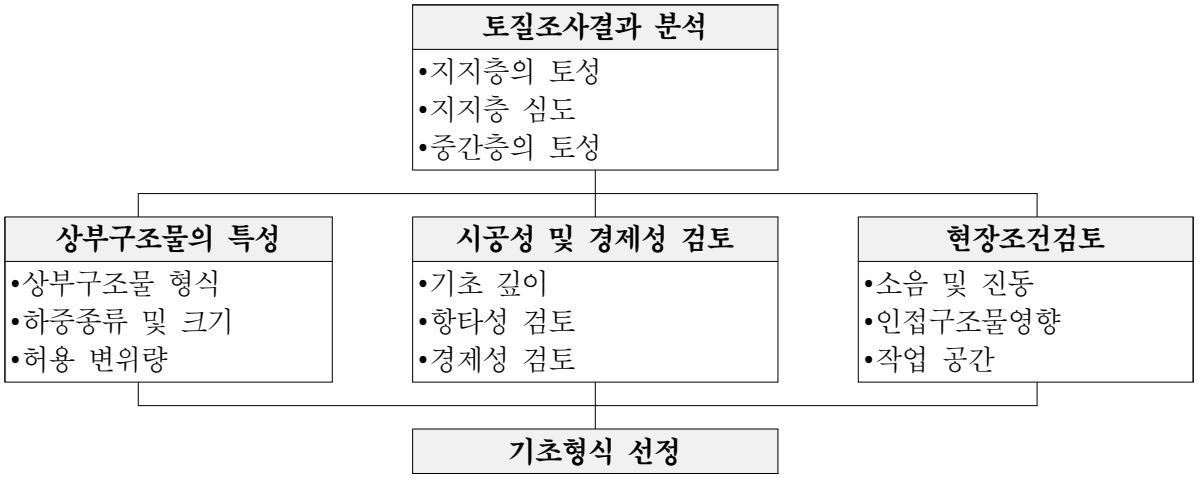
기초형식은 크게 직접기초(얕은기초)와 깊은기초로 대별할 수 있으며, 기초형식에 따른 하중지지개념 및 적용기준은 다음과 같다.

구 분	얕은기초(직접기초)	깊은기초	
		말뚝기초	우물통기초
하중지지개념			
	• 연직력 : 저면 반력 • 수평력 : 기초저면의 전단저항	• 연직력 : 선단주면저항 • 수평력 : 말뚝의 휨강성 주변지반의 수동저항	• 연직력 : 저면 반력 • 수평력 : 측면저항 및 전단저항
장·단점	• 지지층 확인가능 • 양호한 품질유지, 공사비 저렴 • 굴착심도가 깊은 경우 별도의 가설공사 필요	• 토질에 관계없이 적용가능 • 품질관리 용이 • 상대적으로 공사비 고가 • 항타시 소음과 진동 유발	• 지지층 육안 확인 가능 • 세굴 가능성 큰 곳에 유리 • 공사비 고가 • 지지층심도 30m이상 시공곤란
시공성	• 기초심도 5.0m 내외로 하며 시공성, 경제성 등을 고려하여 신축적으로 결정 • 연직하중 : 상부구조물 침하 영향 범위내의 하중 • 터파기 영향권 내 장애물이 없고 시공중 배수처리가 용이할 것	• 기초심도지지층이 5~60m • 연직하중 -기성말뚝 : 1,000~2,000kN/본 -현장타설말뚝 : 5,000~10,000kN/본 • 지반조건 및 현장여건을 고려하여 말뚝시공법 결정	• 기초심도 지지층이 5~30m • 연직하중 : 15,000kN 이상 • 지하수 영향이 큰 하상, 수상 등 특수지역에 적용
공법종류	•독립기초 •복합기초 •전면기초	•항타말뚝 •매입말뚝(SIP,SDA,PRD 등) •현장타설말뚝(RCD, All-casing, Earth Drill 등)	•오픈케이슨 •공기케이슨 •특수케이슨
적용기준	• 지지층 심도 5.0m 내외 • 5.0m~8.0m 분포시 Mass Con'c 를 타설 (수화열을 고려 3.0m 이내)	•기초지지층 5.0m 이상일 때 • 제내지 교대 및 교각 기초 등 세굴영향이 없는 곳 • 호박돌등이 다량 함유된 퇴적토층 분포지역은 매입말뚝공법을 적용	• 상부구조에 대한 충분한 수평 강성 확보가 요구될 때 • 세굴이나 장기적인 하상저하의 영향으로 기초 Footing이 노출될 경우

8.2.2 기초형식 선정흐름도

•기초형식 결정은 내적(구조물 특성, 지반조건 등) 및 외적(현장조건, 시공성) 요인에 의해 선정되어야 하며, 일반적으로 다음과 같은 요인을 고려하여야 한다.

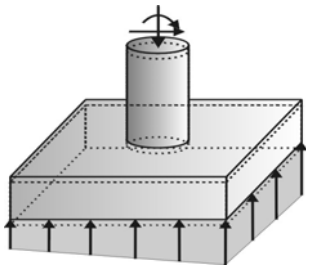
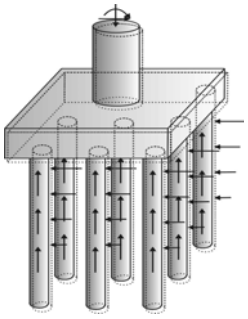
〈기초형식 선정 흐름도〉



8.2.3 기초형식 선정기준

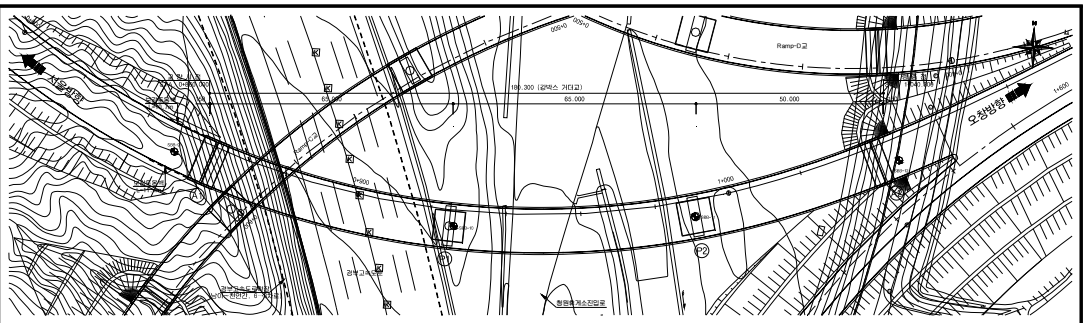
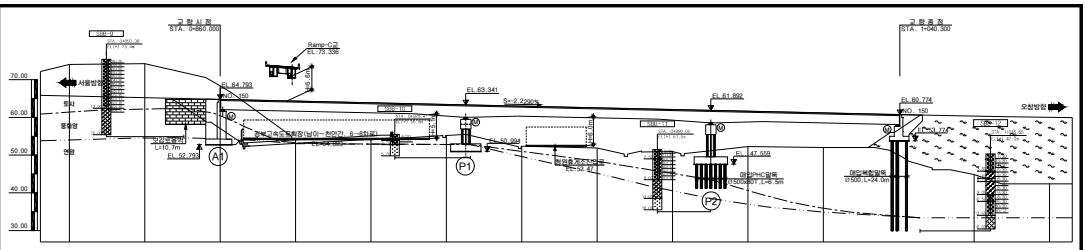
기초형식은 교량구간의 지반조사 결과를 분석하고, 상부하중 및 현장여건을 고려하여 아래와 같은 선정기준에 의하여 직접기초 및 깊은 기초로 결정하였다.

〈기초형식 선정기준〉

구 분	직접기초	말뚝기초
기초지지형식		
장·단점	•지지층 확인가능 •양호한 품질유지 •공사비 저렴•넓은 부지 필요	•취급과 시공이 용이 •공장제품으로 품질관리 용이 •공사비 다소고가 •이음이 용이하여 길이조절 가능
적용심도	•지표에서 5.0m 내외의 심도	•지지층 5.0m이상 또는 10D이상 (D : 말뚝직경)
적용지지층	•풍화암층(N=50/10)이상 •연암 상단	•풍화암층(N=50/10)이상 •암반을 지지층으로 할 경우 말뚝직경 정도 관입
근입깊이	•푸팅하단 : 동결심도(1m)+50cm 이상 (동결심도 : 완전방지법 산정)	•푸팅하단 : 동결심도(1m) 이상 •기성말뚝 : 풍화암층 이하 1.0m이상, 연암층 이하 0.5m이상 근입
검토의견	• 지지층의 심도가 5.0m 내외에 분포하는 경우에는 직접기초, 5.0m이상인 경우 및 쌓기구간에 위치한 교대의 경우 깊은기초를 원칙으로 함. • 직접기초 시공시 필요한 경우 기초하부에 Mass Con'c를 타설하여 기초를 보강함 (Mass Con'c의 두께는 수화열에 의한 균열발생을 고려하여 3.0m를 한계로 함).	

8.2.4 교량별 기초형식 선정

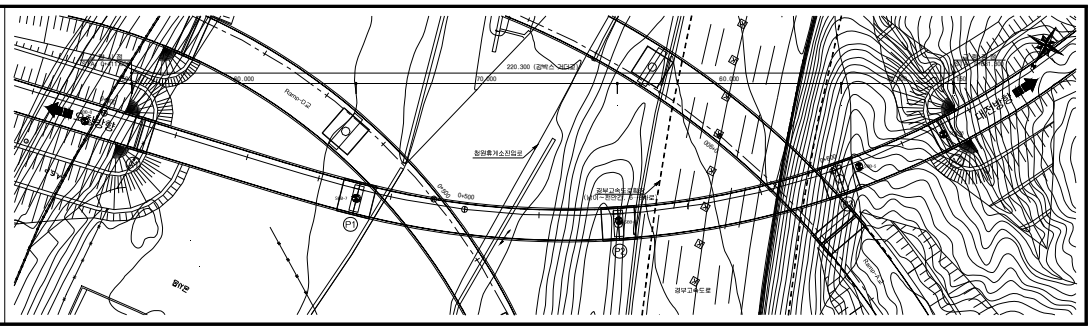
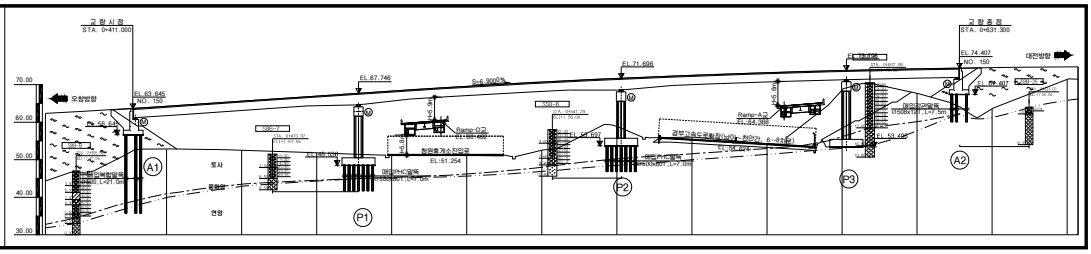
1) 옥산JCT Ramp-A교

평면도	
종단면도	

상부구조물 현황	•교량위치 : STA. 0+860.000~1+040.300 •교량형식 : 강박스 거더교				
지층 현황	•지하수위 : GL(-) 2.5~5.7m				
	지층구분	분포심도 (GL.-m)	층두께 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
	매립층	0.0~3.8	1.6~3.8	실트질 모래(SM)	6/30~17/30
	충적층	3.8~10.5	0.7~2.9	점토질 모래(SC), 실트섞인 모래질 자갈(GP), 실트섞인 점토(CL)	5/30~9/30
	풍화토	0.0~13.0	1.1~13.0	실트질 모래(SM)	18/30~50/11
	풍화암	8.0~20.0	5.0~7.0	암편섞인 실트질 모래	50/10~50/4
	연 암	13.6~16.6	3.0	편마암, 약간~보통풍화	98/45
	경 암	2.7~16.0	3.0	편마암, 약간~보통풍화	90~100/64~87

기초위치	A1	P1	P2	A2
시 추 공	SBB-9	SBB-10	SBB-11	SBB-12
지 지 층	연 암	연 암	풍화암	연 암
기초형식	직접기초	직접기초	말뚝기초	말뚝기초
기초선정 사 유	•A1, P1은 지지층인 연암 심도가 5.0m이내 분포하므로 직접기초로 계획 •P2, A2는 지지층인 풍화암, 연암의 심도가 8.0~13.6m로 분포하므로 말뚝기초로 계획			

2) 옥산JCT Ramp-C교

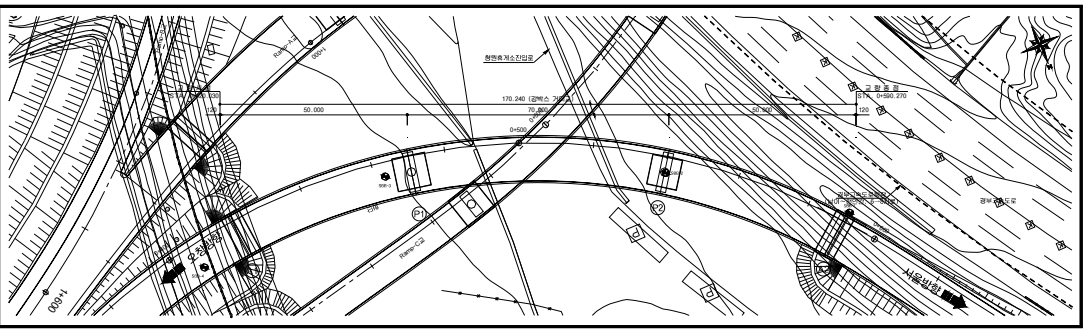
평면도	
종단면도	

상부구조물 현황	•교량위치 : STA. 0+411.000~0+631.300 •교량형식 : 강박스 거더교				
지층 현황	•지하수위 : GL(-) 2.5~5.8m				
	지층구분	분포심도 (GL.-m)	층두께 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
	매립층	0.0~3.9	3.6~3.9	자갈섞인 실트질 모래(SM)	4/30~18/30
	충적층	3.8~11.5	1.4~2.5	실트질 모래(SM), 실트질 점토(CL), 점토질 모래(SC)	3/30~33/30
	풍화토	0.0~12.0	1.8~12.0	실트질 모래(SM)	50/24
	풍화암	7.6~16.8	1.8~4.8	암편섞인 실트질 모래	50/8~50/3
	연 암	1.8~19.8	3.0~8.2	편마암, 약간~완전풍화	32~100/17~49
	경 암	9.4~12.4	3.0	편마암, 신선~약간풍화	100/72

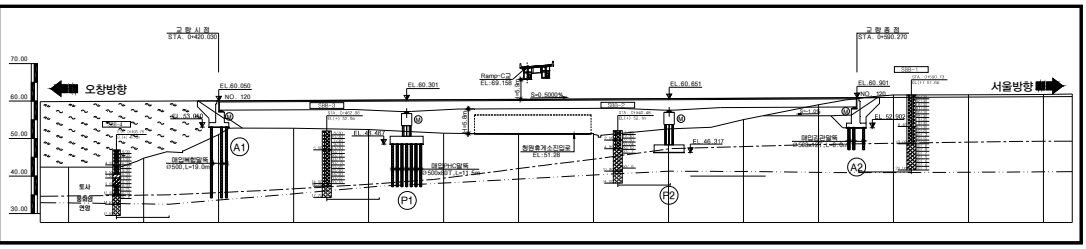
기초위치	A1	P1	P2	P3	A2
시 추 공	SBB-8	SBB-7	SBB-6	SBB-5	SBB-35
지 지 층	연 암	연 암	연 암	풍화암	연 암
기초형식	말뚝기초	말뚝기초	말뚝기초	직접기초	말뚝기초
기초선정 사 유	•A1, P1, P2, P2는 지지층인 풍화암, 연암의 심도가 6.5~12.5m로 분포하므로 말뚝기초로 계획 •P3는 지지층인 풍화암 심도가 5.0m이내 분포하므로 직접기초로 계획				

3) 옥산JCT Ramp-D교

평면도



종단면도



상부구조물 현황

- 교량위치 : STA. 0+420.030~0+590.270
- 교량형식 : 강박스 거더교

지층 현황

- 지하수위 : GL(-) 1.1~6.8m

지층구분	분포심도 (GL.-m)	층두께 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
매립층	0.0~8.4	2.5~8.4	자갈섞인 실트질 모래(SM)	5/30~18/30
충적층	4.0~9.6	1.0~2.5	실트질 모래(SM), 점토질 모래(SC), 실트질 점토(CL)	8/30~11/30
풍화토	2.5~14.0	2.3~9.0	실트질 모래(SM)	12/30~50/15
풍화암	4.8~20.0	0.7~7.0	암편섞인 실트질 모래	50/10~50/3
연 암	10.8~17.7	3.0~3.2	편마암, 약간~심한풍화	81~93/42~45

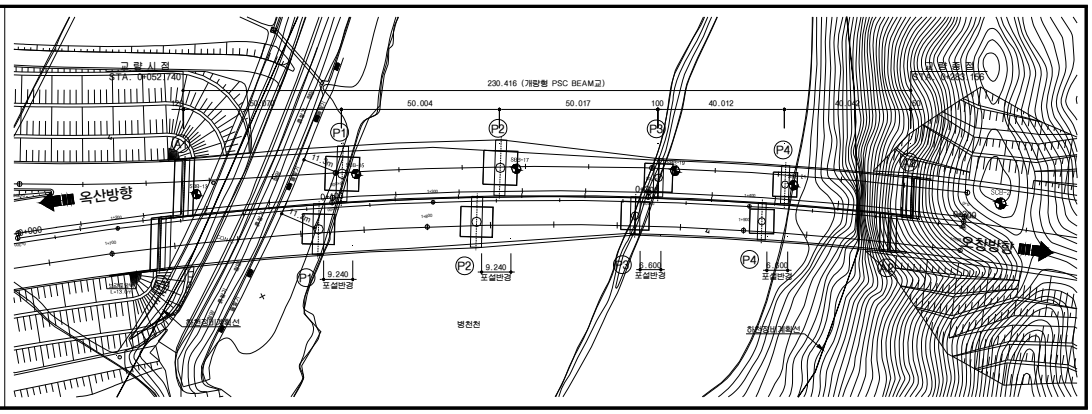
기초위치	A1	P1	P2	A2
시 추 공	SBB-4	SBB-3	SBB-2	SBB-1
지 지 층	풍화암	연 암	풍화암	풍화암
기초형식	말뚝기초	말뚝기초	직접기초	말뚝기초

기초선정 사유

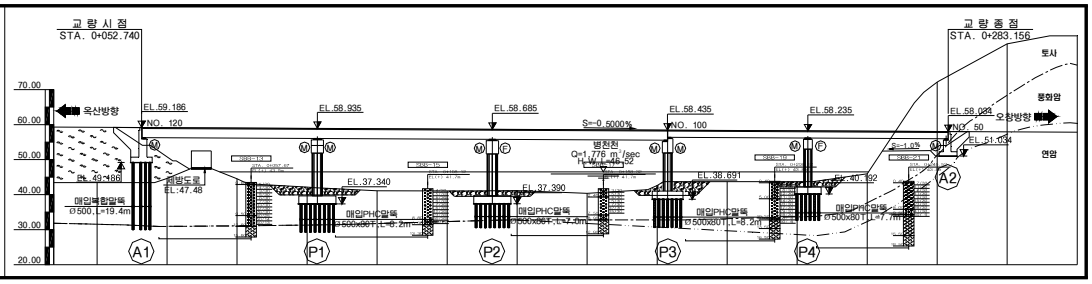
- A1, P1, A2는 지지층인 풍화암, 연암의 심도가 12.0~14.0m로 분포하므로 말뚝기초로 계획
- P2는 지지층인 풍화암 심도가 5.0m이내 분포하므로 직접기초로 계획

4) 병천천교

평면도



종단면도

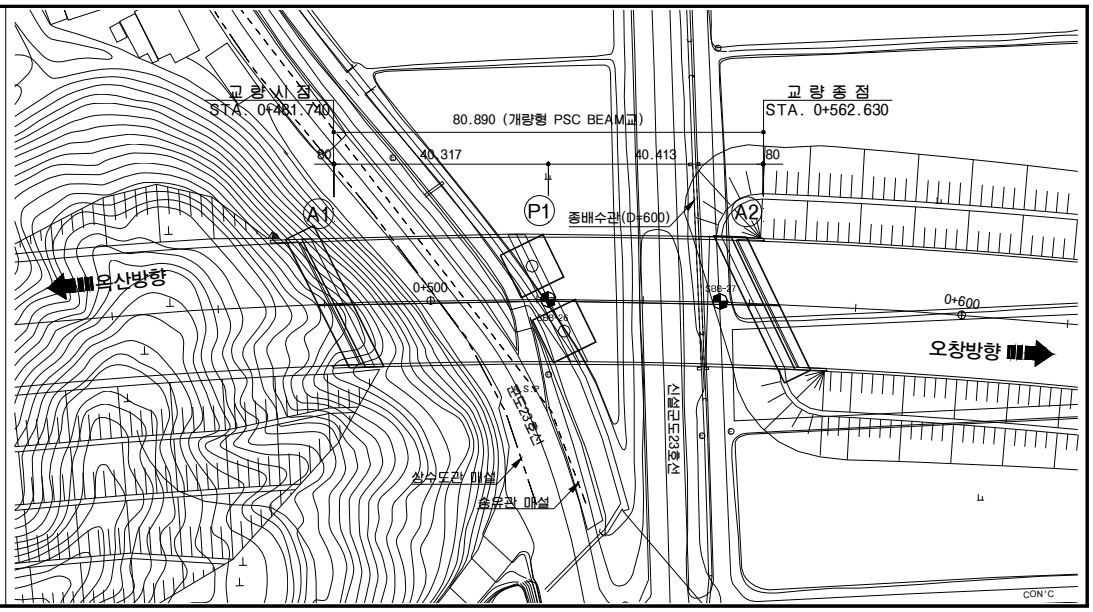


상부구조 현황	•교량위치 : STA. 0+052.740~0+283.156 •교량형식 : 개량형 PSC빔교					
지층 현황	•지하수위 : GL(−) 0.0~3.8m					
	지층구분	분포심도 (GL.−m)	층두께 (m)	구 성 상 태		N값 및 TCR/RQD(%)
	전답층	0.0~0.6	0.4~0.6	실트질 모래(SM)		−
	충적층	0.0~10.5	1.5~9.0	실트질 모래(SM), 점토질 자갈(GC), 자갈 섞인 실트질 모래(SM) 실트 섞인 모래질 자갈(GP)		3/30~41/30
	풍화토	7.5~12.6	0.4~3.1	실트질 모래(SM)		50/30~50/11
	풍화암	8.0~15.5	0.7~5.5	암편섞인 실트질 모래		50/10~50/3
	연 암	8.7~18.5	3.0~4.0	편마암, 약간~심한풍화		83~100/18~49

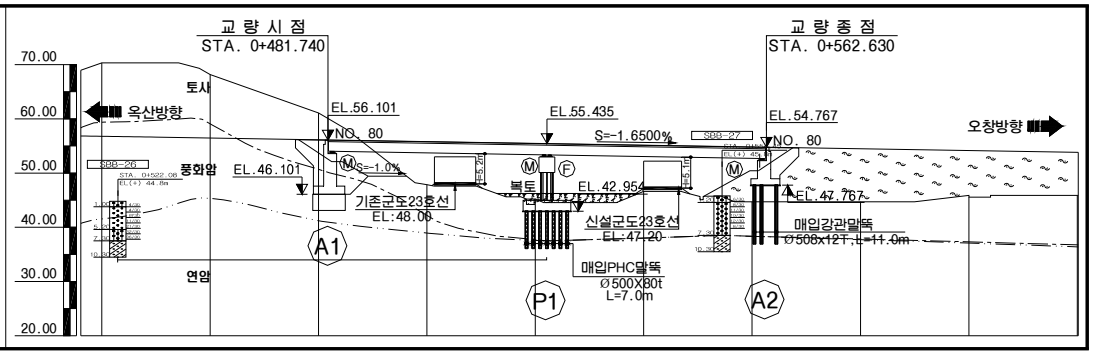
기초위치	A1	P1	P2	P3	P4	A2
시 추 공	SBB−13,14	SBB−15,16	SBB−17,18	SBB−19,20	SBB−21,22	−
지 지 층	연 암	연 암	연 암	풍화암/연암	풍화암/연암	풍화암
기초형식	말뚝기초	말뚝기초	말뚝기초	말뚝기초	말뚝기초	직접기초/말뚝
기초선정 사 유	• A1~P4, A2(오창)은 지지층인 풍화암, 연암의 심도가 8.7~14.5m로 분포하므로 말뚝기초로 계획 • A2(옥산)은 지지층인 풍화암 심도가 5.0m이내 분포하므로 직접기초로 계획					

5) 상장남교

평면도



종단면도

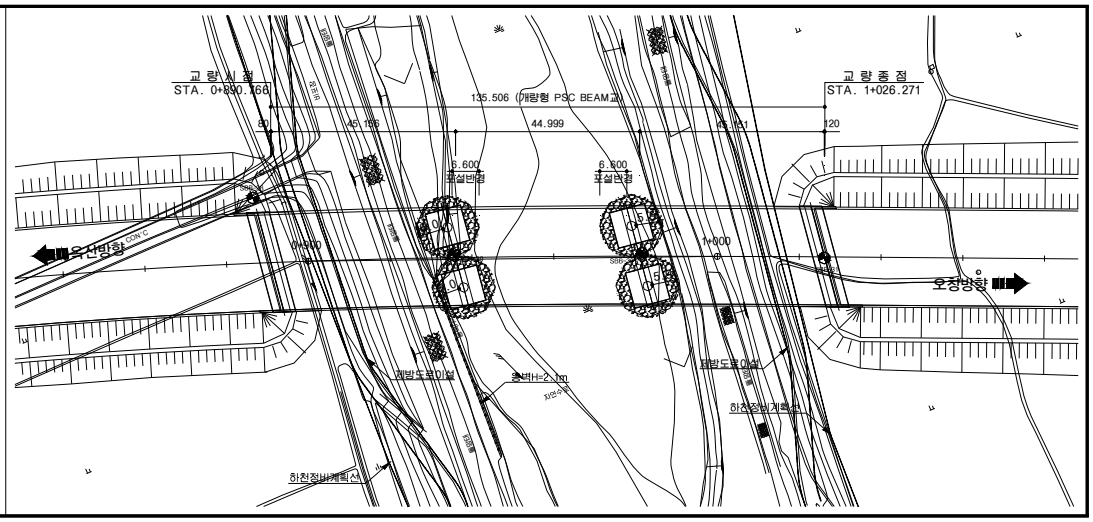


상부구조 현황	•교량위치 : STA. 0+481.740~0+562.630 •교량형식 : 개량형 PSC빔교				
지층 현황	•지하수위 : GL(−) 1.1~1.5m				
	지층구분	분포심도 (GL.−m)	층두께 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
	매립층	0.0~1.2	1.0~1.2	자갈 섞인 실트질 모래(SM), 실트 섞인 모래질 자갈(GP)	6/30
	충적층	1.0~7.3	2.1~6.1	자갈 섞인 모래(SP), 자갈 섞인 실트질 모래(SM)	4/30~36/30
	연 암	7.3`~10.3	3.0	편마암, 약간~보통풍화	75~90/31~64

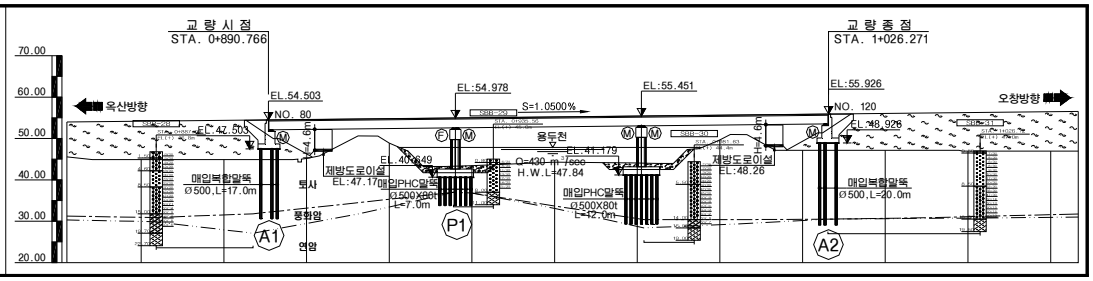
기초위치	A1	P1	A2
시 추 공	−	SBB−26	SBB−27
지 지 층	풍화암	연 암	연 암
기초형식	직접기초	말뚝기초	말뚝기초
기초선정 사 유	•A1은 지지층인 풍화암 심도가 5.0m이내 분포하므로 직접기초로 계획 •P1, A2는 지지층인 연암의 심도가 7.3m로 분포하므로 말뚝기초로 계획		

6) 용두천교

평면도



종단면도

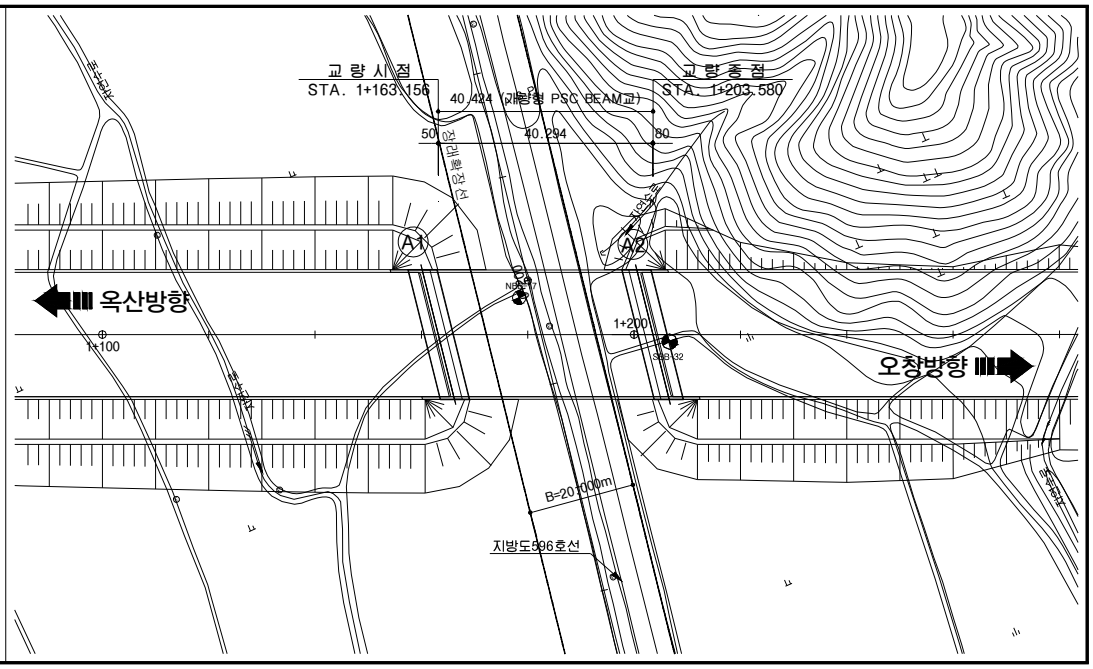


상부구조물 현황	•교량위치 : STA. 0+890.766~1+026.271 •교량형식 : 개량형 PSC빔교				
지층 현황	•지하수위 : GL(−) 0.7~2.6m				
	지층구분	분포심도 (GL.−m)	층두께 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
	전답, 매립층	0.0~1.5	0.5~1.5	자갈 섞인 실트질 모래(SM), 실트질 모래(SM)	6/30
	충적층	0.0~8.5	0.8~8.0	실트질 모래(SM), 자갈 섞인 모래(SP)	2/30~26/30
	풍화토	5.5~16.5	6.5~8.5	실트질 모래(SM)	32/30~50/12
	풍화암	14.0~19.7	2.0~4.7	암편섞인 실트질 모래	50/9~50/4
	연 암	8.0~22.7	3.0	편마암, 신선~심한풍화	47~98/5~53

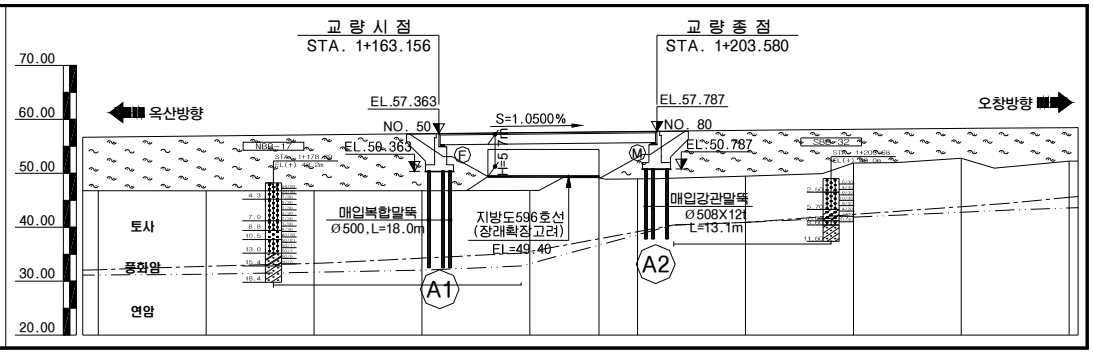
기초위치	A1	P1	P2	A2
시 추 공	SBB−28	SBB−29	SBB−30	SBB−31
지 지 층	풍화암	연 암	풍화암	연 암
기초형식	말뚝기초	말뚝기초	말뚝기초	말뚝기초
기초선정 사 유	•지지층인 풍화암 및 연암 심도가 8.0~16.5m로 분포하므로 말뚝기초로 계획			

7) 백현교

평면도



종단면도

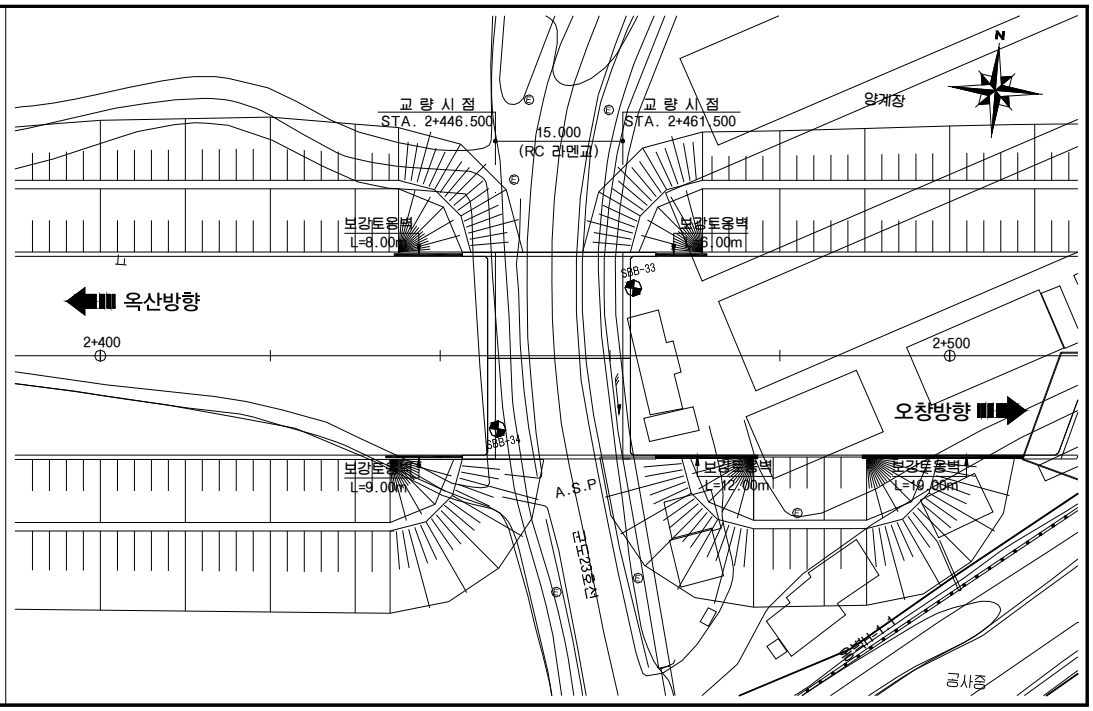


상부구조 현황	•교량위치 : STA. 1+163.156~1+203.580 •교량형식 : 개량형 PSC빔교				
지층 현황	•지하수위 : GL(−) 4.3~6.5m				
	지층구분	분포심도 (GL.−m)	층두께 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
	매립, 전답층	0.0~3.0	2.5~3.0	자갈섞인 실트질 모래(SM)	4/30~29/30
	붕적층	3.0~7.0	4.0	실트질 모래(SM)	5/30~7/30
	충적층	2.5~10.5	3.5~5.3	실트질 모래, 점토질 모래(SM), 세립내지 중립의 모래(SP)	2/30~43/30
	풍화토	10.5~13.0	2.5	실트질 모래(SM)	50/21~50/11
	풍화암	13.0~15.4	2.4	암편섞인 실트질 모래	50/8~50/3
	연 암	8.6~18.4	3.0	편마암, 보통~심한풍화	77~100/0~17

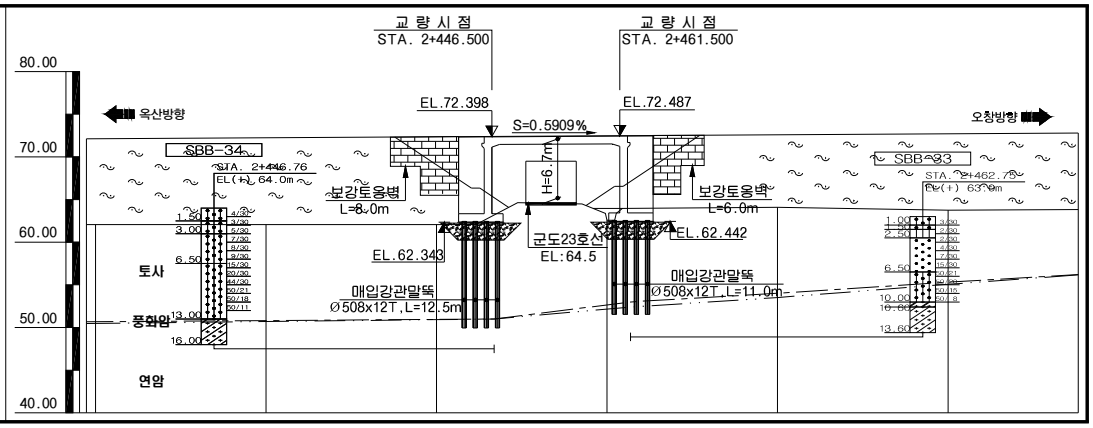
기초위치	A1	A2
시 추 공	NBB−17	SBB−32
지 지 층	풍화암	연 암
기초형식	말뚝기초	말뚝기초
기초선정 사 유	•지지층인 풍화암 심도가 8.6m~13.0m로 분포하므로 말뚝기초로 계획	

8) 호죽1교

평면도



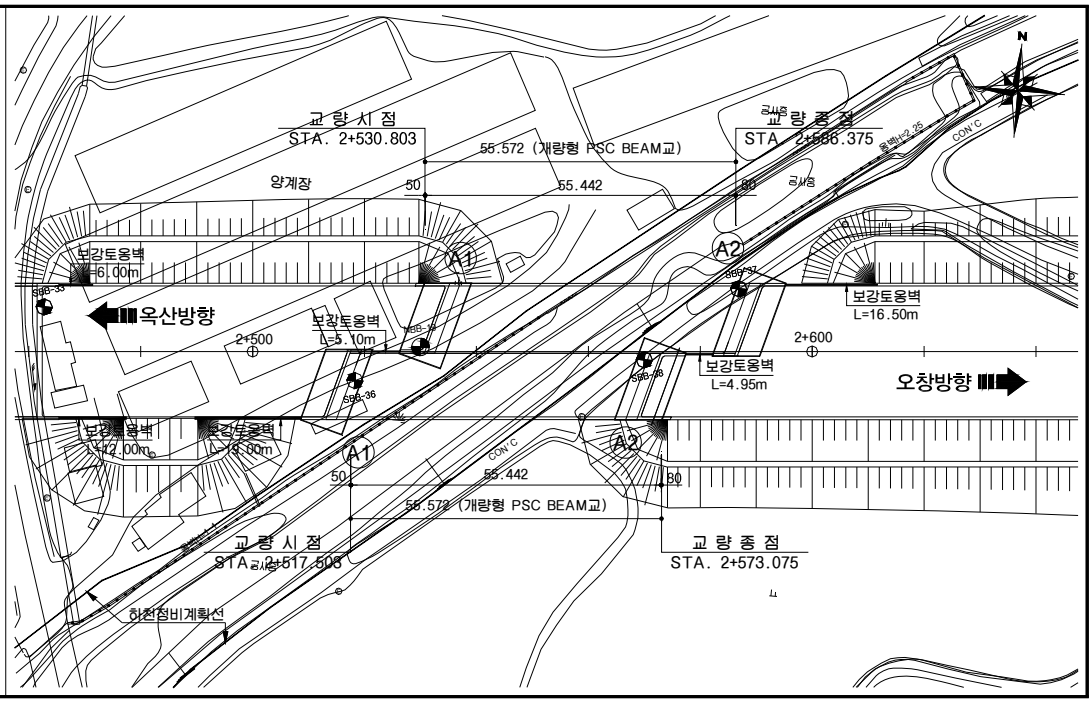
종단면도



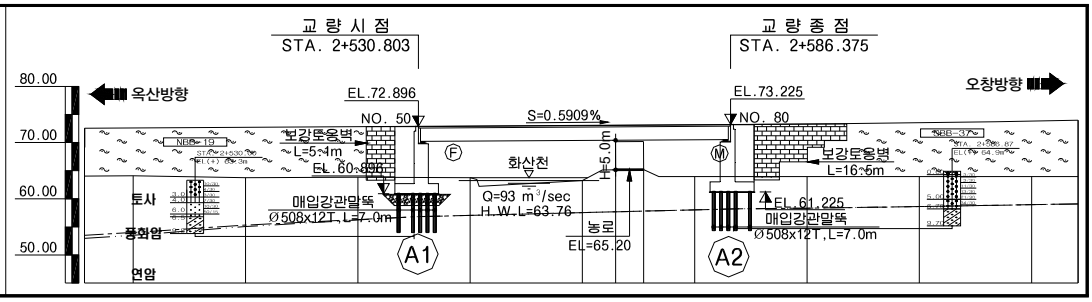
상부구조 현황	•교량위치 : STA. 2+446.500~2+461.500 •교량형식 : RC라멘교				
지층 현황	•지하수위 : GL(−) 0.8~2.7m				
	지층구분	분포심도 (GL.−m)	층두께 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
	매립층	0.0~1.5	1.0~1.5	자갈섞인 실트질 모래(SM)	4/30
	충적층	1.0~6.5	5.0~5.5	실트질 모래(SM), 모래질 실트(ML)	2/30~15/30
	풍화토	6.5~13.0	3.5~6.5	실트질 모래(SM)	15/30~50/11
	풍화암	10.0~10.6	0.6	암편섞인 실트질 모래	50/8~50/3
	연 암	10.6~16.0	3.0	편마암, 약간~심한풍화	70~90/32~36
기초위치	A1			A2	
시 추 공	SBB−34			SBB−33	
지 지 층	연 암			연 암	
기초형식	말뚝기초			말뚝기초	
기초선정 사 유	•지지층인 연암 심도가 10.0m~13.0m로 분포하므로 말뚝기초 계획				

9) 호죽2교

평면도



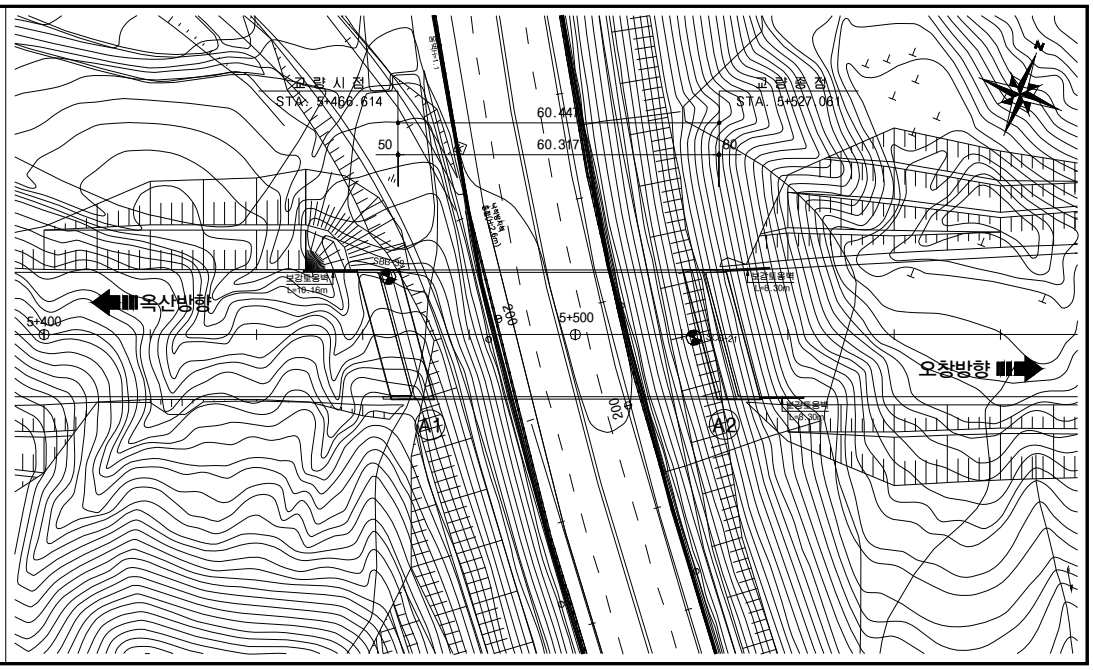
종단면도



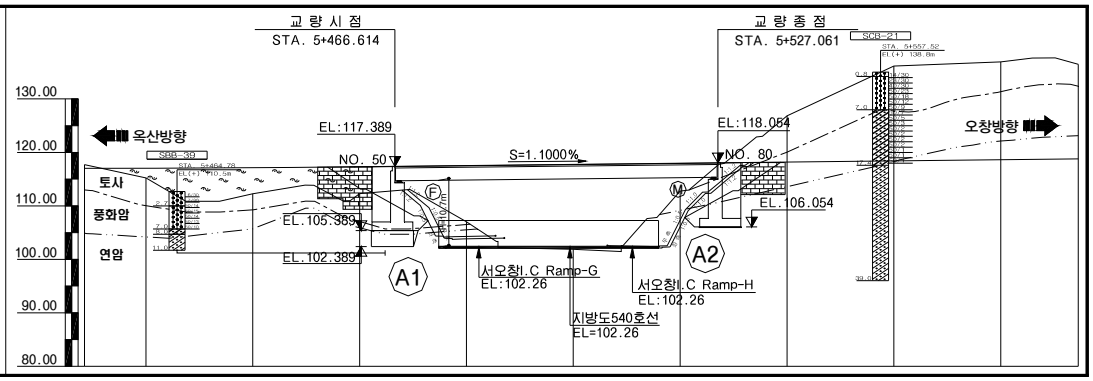
상부구조물 현황	•교량위치 : STA. 2+530.803~2+586.375 •교량형식 : 개량형 PSC빔교				
지층 현황	•지하수위 : GL(−) 2.2~2.3m				
	지층구분	분포심도 (GL.−m)	층두께 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
	매립층	0.0~4.0	0.6~4.0	자갈섞인 실트질 모래(SM), 실트섞인 모래질 자갈(GP), 모래섞인 점토질 실트(ML)	3/30~10/30
	충적층	0.6~7.5	2.0~6.5	자갈섞인 실트질 모래(SM), 세립내지 중립의 모래(SP) 실트섞인 모래질 자갈(GP)	3/30~17/30
	풍화토	5.0~8.5	0.5~1.7	실트질 모래(SM)	17/30~50/15
	풍화암	8.5~10.0	1.5	암편섞인 실트질 모래	50/6
	연 암	6.5~13.0	3.0	편마암, 약간~심한풍화	71~100/15~48
기초위치	A1			A2	
시 추 공	NBB−19, SBB−36			SBB−37, 38	
지 지 층	연 암			연 암	
기초형식	말뚝기초			말뚝기초	
기초선정 사 유	•지지층인 연암 심도가 6.5m~8.5m로 분포하므로 말뚝기초 계획				

10) 성산교

평면도



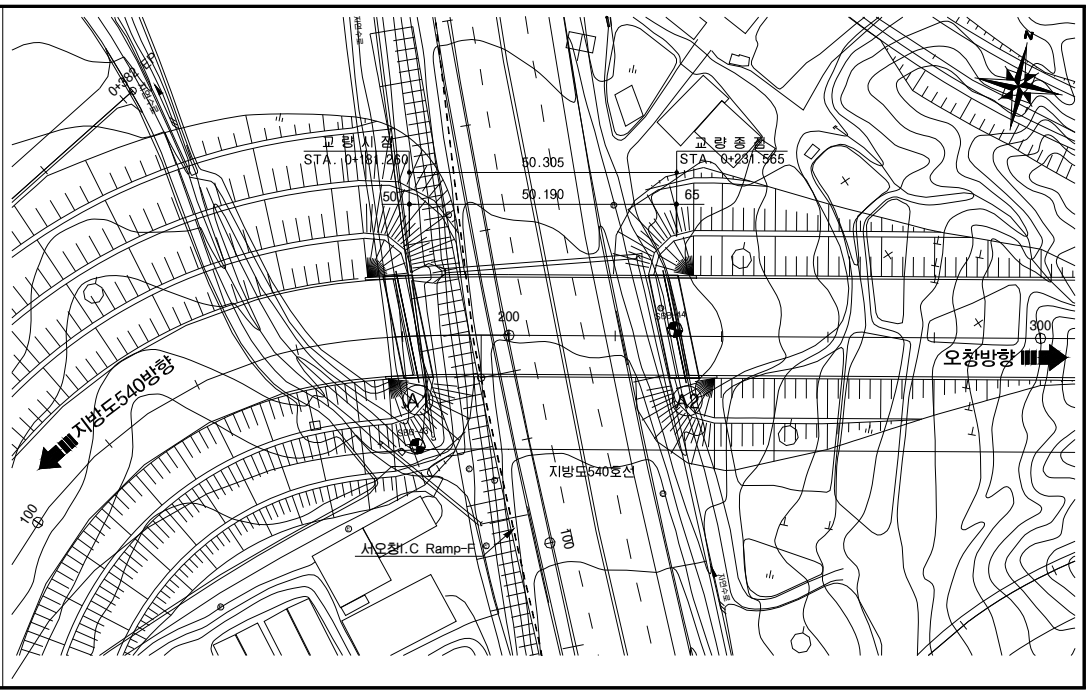
종단면도



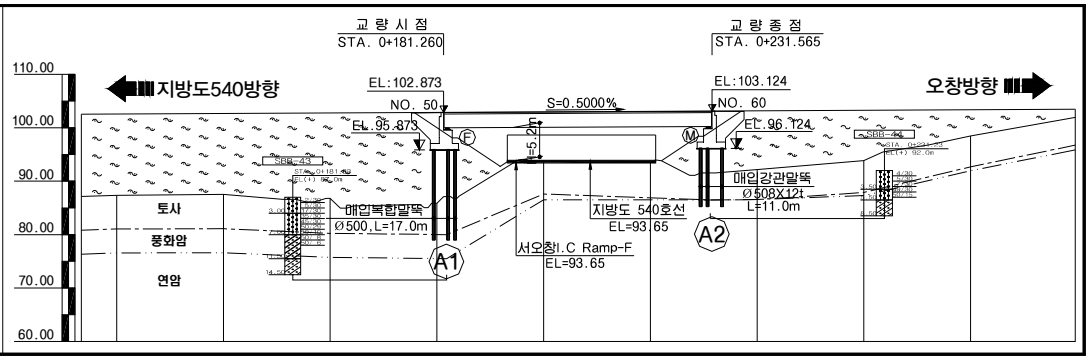
상부구조 현황	•교량위치 : STA. 5+466.614~5+527.061 •교량형식 : 개량형 PSC빔교				
지층 현황	•지하수위 : -				
	지층구분	분포심도 (GL.-m)	층두께 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
	붕적층	0.0~2.7	2.7	실트질 모래(SM)	6/30~7/30
	풍화토	2.7~7.0	4.3	실트질 모래(SM)	50/15~50/13
	풍화암	7.0~8.0	1.0	암편섞인 실트질 모래	50/10
	연 암	8.0~11.0	3.0	편마암, 약간~심한풍화	100/48
기초위치	A1			A2	
시 추 공	SBB-39			-	
지 지 층	연 암			연 암	
기초형식	직접기초			직접기초	
기초선정 사 유	•지지층인 풍화암 및 연암 심도가 5.0m이내 분포하므로 직접기초 계획				

11) 서오창IC Ramp-A1교

평면도



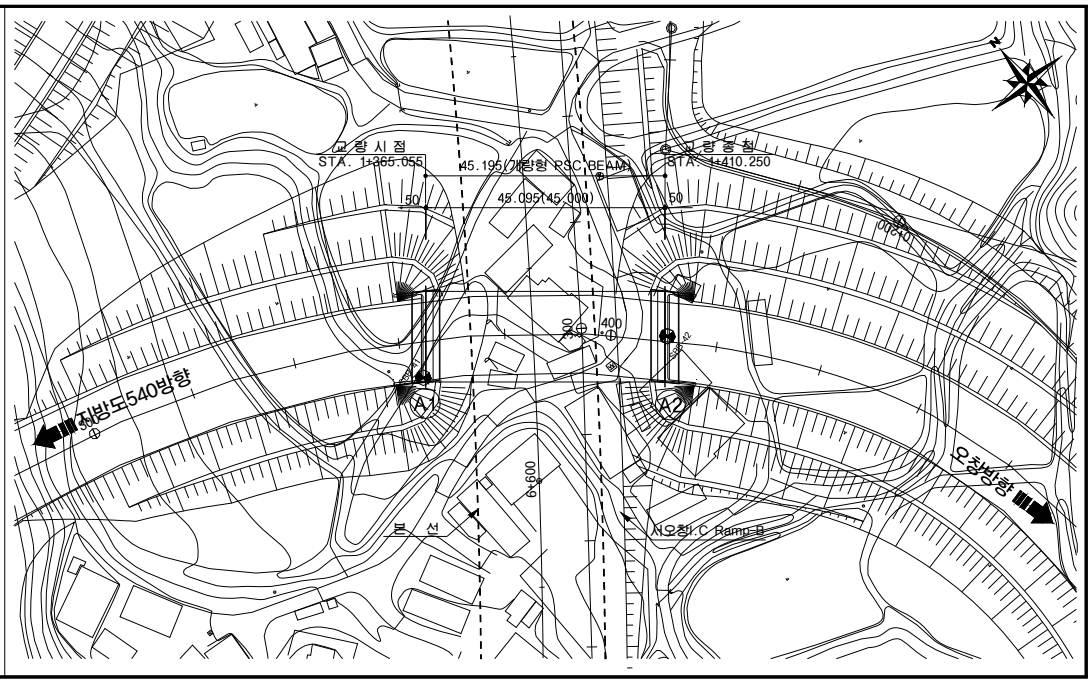
종단면도



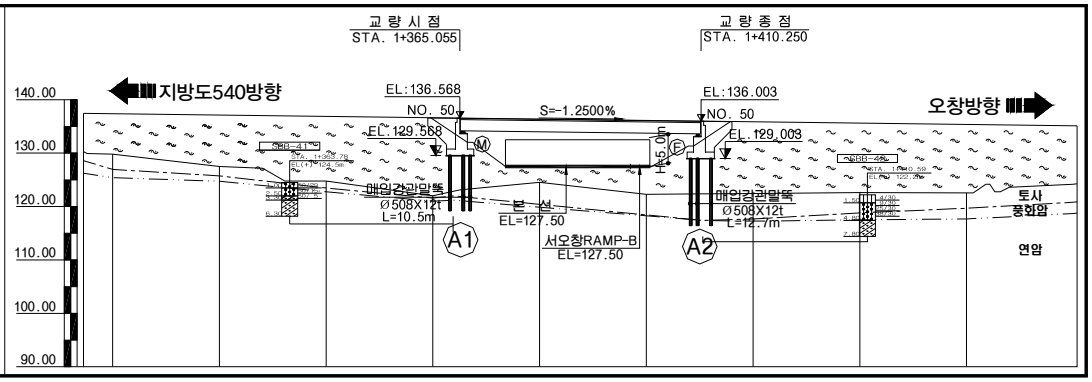
상부구조 현황	•교량위치 : STA. 0+181.260~0+231.565 •교량형식 : 개량형 PSC빔교				
지층 현황	•지하수위 : GL(-) 1.4~1.5m				
	지층구분	분포심도 (GL.-m)	층두께 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
	붕적층	0.0~3.5	3.0~3.5	자갈섞인 실트질 모래(SM)	2/30~7/30
	풍화토	3.0~7.0	2.0~4.0	실트질 모래(SM)	17/30~50/15
	풍화암	7.0~11.5	4.5	암편섞인 실트질 모래	50/10~50/3
	연 암	5.5~14.5	3.0	편마암, 보통~심한풍화	87~100/57~59
기초위치	A1			A2	
시 추 공	SBB-43			SBB-44	
지 지 층	풍화암			연 암	
기초형식	말뚝기초			말뚝기초	
기초선정 사 유	•지지층인 풍화암 및 연암 심도가 5.5~7.0m로 분포하므로 말뚝기초로 계획				

12) 서오창IC Ramp-A2교

평면도



종단면도

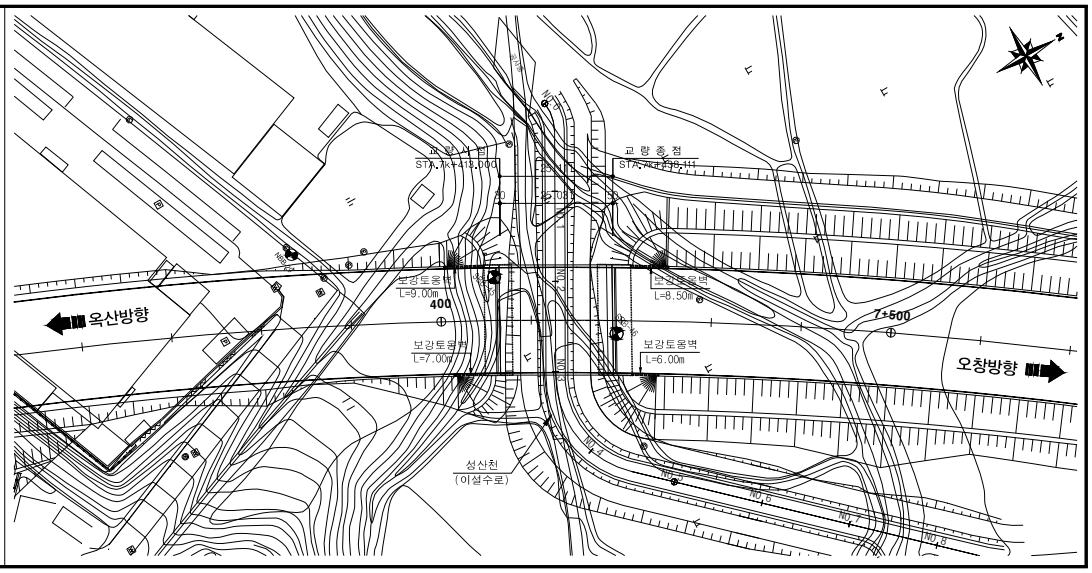


상부구조 현황	•교량위치 : STA. 1+365.055~1+410.250 •교량형식 : 개량형 PSC빔교				
지층 현황	•지하수위 : GL(-) 2.3~2.9m				
	지층구분	분포심도 (GL.-m)	층두께 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
	전답층	0.0~1.0	1.0	자갈섞인 실트질 모래(SM)	-
	붕적층	0.0~4.8	1.5~3.3	자갈섞인 실트질 모래(SM) 실트섞인 모래질 점토(CL)	4/30~38/30
	풍화토	1.0~2.5	1.5	실트질 모래(SM)	50/29`~50/15
	풍화암	2.5~3.3	0.8	암편섞인 실트질 모래	50/5
	연 암	3.3~7.8	3.0	편마암, 보통~심한풍화	67~73/14~21

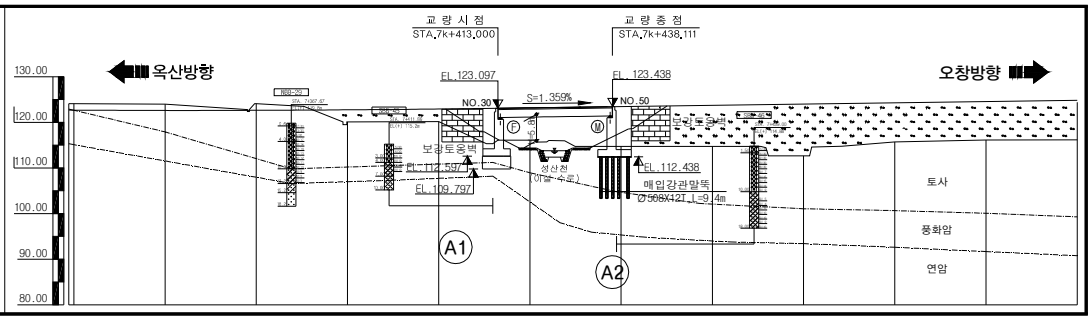
기초위치	A1	A2
시 추 공	SBB-41	SBB-42
지 지 층	연 암	연 암
기초형식	말뚝기초	말뚝기초
기초선정 사 유	•지지층인 연암 심도가 3.3~4.8m로 분포하나 교대가 쌓기부에 위치하므로 말뚝기초로 계획	

13) 양청교

평면도

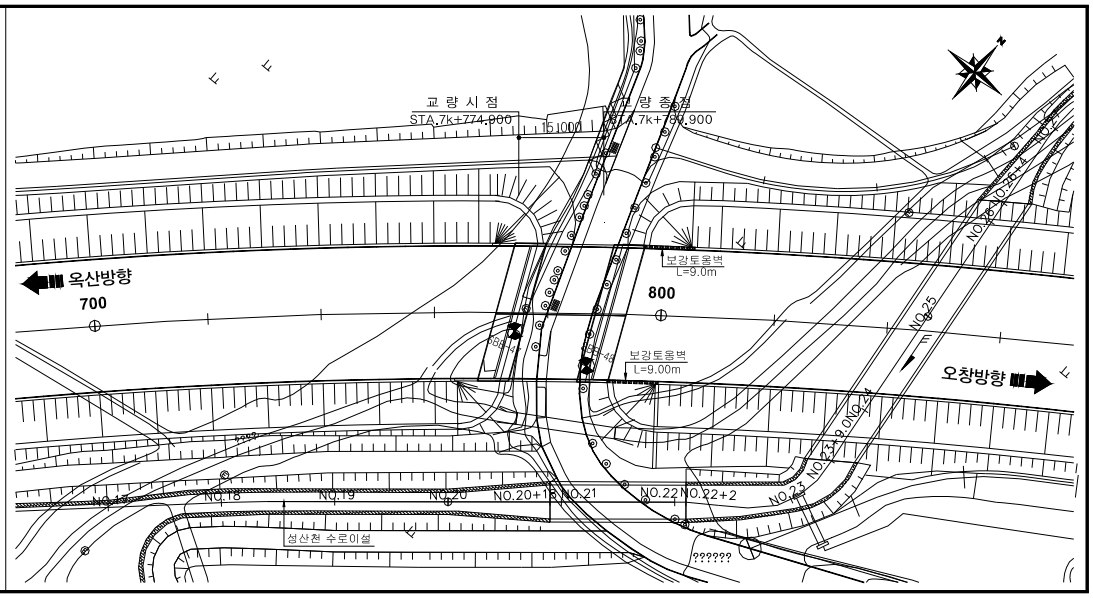
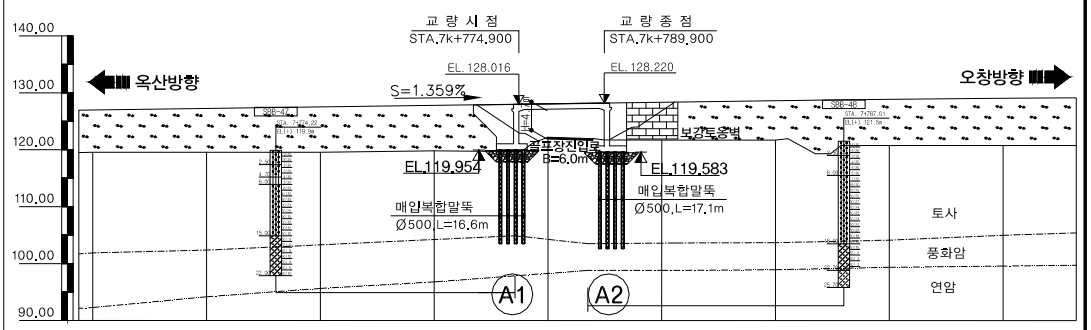


종단면도



상부구조물 현황	•교량위치 : STA. 7+413.000~7+438.111 •교량형식 : PSC빔교				
지층 현황	•지하수위 : GL(−) 0.7~1.4m				
	지층구분	분포심도 (GL.−m)	층두께 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
	매립층	0.0~3.0	1.5~3.0	자갈섞인 실트질 모래(SM)	5/30
	풍화토	1.5~10.0	1.0~8.5	실트질 모래(SM)	6/30~50/12
	풍화암	4.0~18.0	3.0~8.0	암편섞인 실트질 모래	50/10~50/4
	연 암	7.0~10.0	3.0	편마암, 보통~심한풍화	63/28
기초위치	A1			A2	
시 추 공	SBB−45			SBB−46	
지 지 층	풍화암			풍화암	
기초형식	직접기초			말뚝기초	
기초선정 사 유	•A1은 지지층인 풍화암 심도가 5.0m이내 분포하므로 직접기초 계획 •A2는 지지층인 풍화암 심도가 10.0m로 분포하므로 말뚝기초 계획				

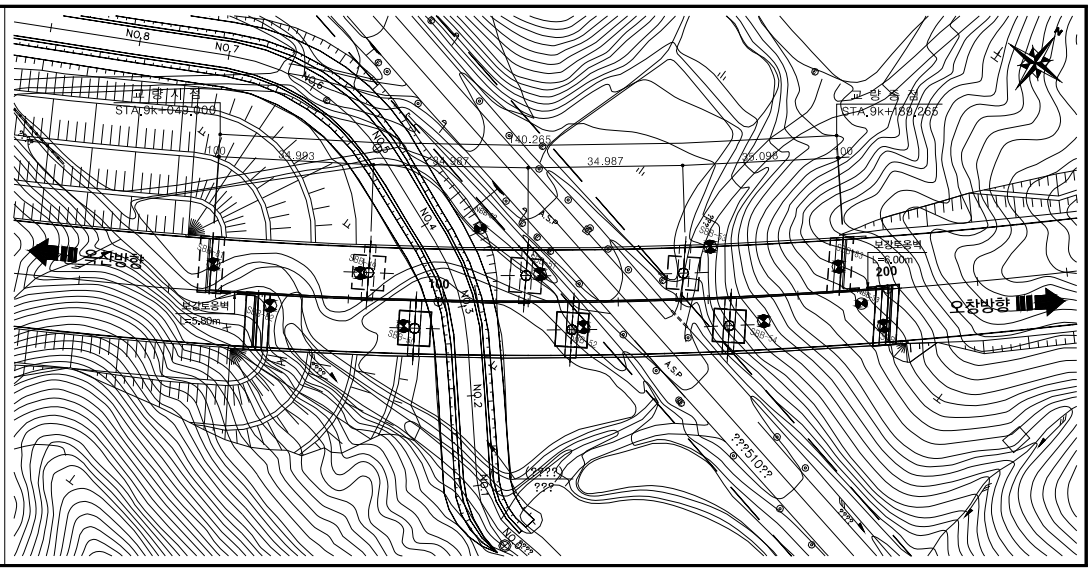
14) 양지교

평면도	
종단면도	

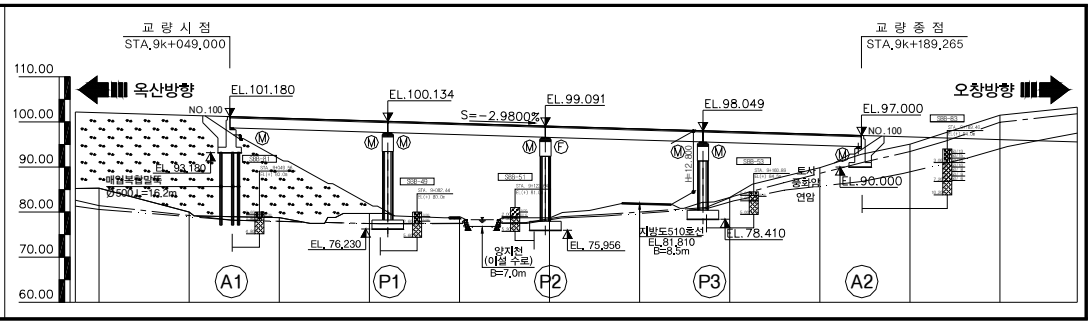
상부구조 현황	•교량위치 : STA. 7+774.900~7+789.900 •교량형식 : RC라멘교				
지층 현황	•지하수위 : GL(−) 3.3~3.5m				
	지층구분	분포심도 (GL.−m)	층두께 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
	매립층	0.0~2.5	2.5	자갈섞인 실트질 모래(SM)	15/30~19/30
	충적층	2.5~6.0	3.5	실트질 모래(SM), 모래질 실트(ML)	3/30~5/30
	풍화토	6.0~18.0	9.0~12.0	실트질 모래(SM)	5/30~50/12
	풍화암	15.0~22.7	4.7~7.0	암편섞인 실트질 모래	50/10~50/3
	연 암	22.7~25.7	3.0	편마암, 보통~심한풍화	50/15
기초위치	A1			A2	
시 추 공	SBB−47			SBB−48	
지 지 층	풍화암			풍화암	
기초형식	말뚝기초			말뚝기초	
기초선정 사 유	•지지층인 풍화암 심도가 15.0~18.0m로 분포하므로 말뚝기초로 계획				

15) 산수교

평면도



종단면도

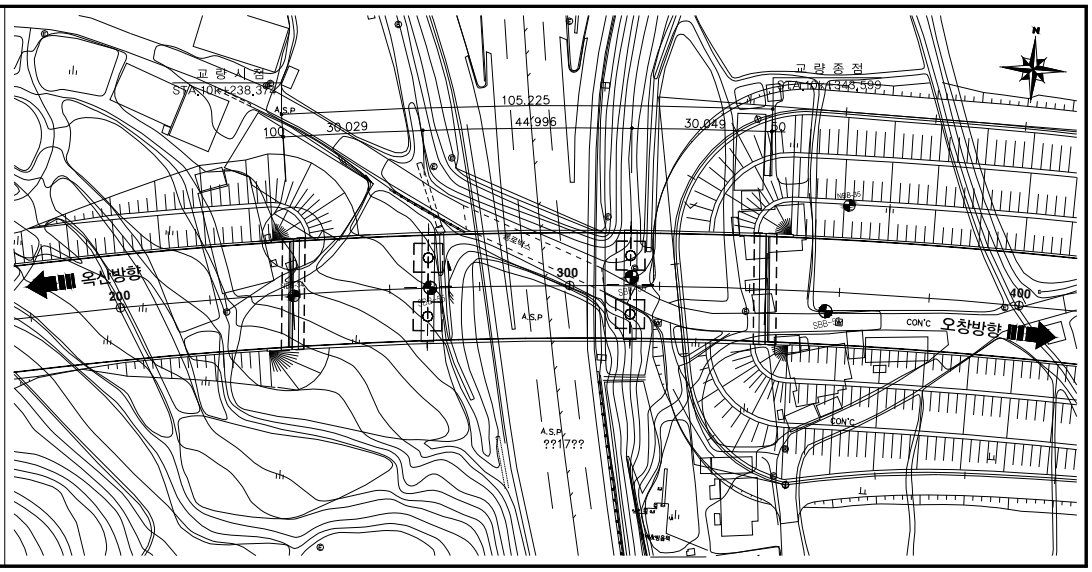


상부구조 현황	•교량위치 : STA. 9+049.000~9+189.265 •교량형식 : PSC빔교				
지층 현황	•지하수위 : GL(−) 0.5~1.6m				
	지층구분	분포심도 (GL.−m)	층두께 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
	전답층	0.0~2.6	0.6~2.6	실트질 모래(SM), 점토질 모래(SC)	3/30~5/30
	붕적층	0.0~0.8	0.8	자갈섞인 실트질 모래(SM)	−
	풍화토	0.0~3.0	1.2~3.0	실트질 모래(SM)	22/30~50/13
	풍화암	0.8~7.2	0.3~4.2	암편섞인 실트질 모래	50/10~50/6
	연 암	1.8~10.2	3.0	편마암, 약간~심한풍화	80~93/15~36

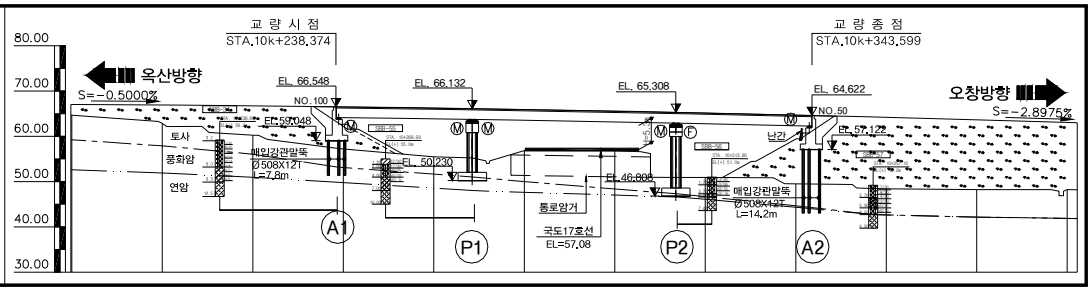
기초위치	A1	P1	P2	P3	A2
시 추 공	SBB−81, 82	SBB−49, 50	SBB−51, 52	SBB−53, 54	SBB−83, 84
지 지 층	연 암	연 암	연 암	연 암	풍화암/연암
기초형식	말뚝기초	직접기초	직접기초	직접기초	직접기초
기초선정 사 유	•A1은 지지층인 연암 심도가 1.8~2.0m로 분포하나 교대가 쌓기부에 위치하므로 말뚝기초로 계획 •P1~P3, A2는 지지층인 풍화암 및 연암 심도가 5.0m이내로 분포하므로 직접기초로 계획				

16) 복현1교

평면도



종단면도

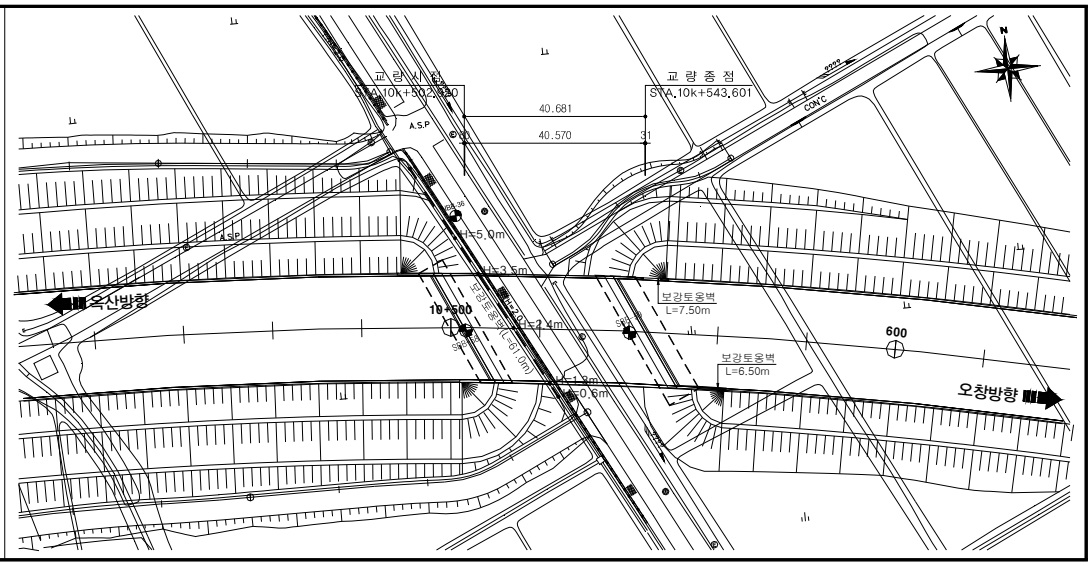


상부구조물 현황	•교량위치 : STA. 10+238.374~10+343.599 •교량형식 : 개량형 PSC빔교				
지층 현황	•지하수위 : GL(−) 1.1~8.3m				
	지층구분	분포심도 (GL.−m)	층두께 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
	매립, 표토, 전답층	0.0~2.7	0.2~2.7	모래질 점토(CL), 실트질 자갈(GM), 자갈섞인 실트질 모래(SM)	7/30~13/30
	붕적층	1.2~2.0	0.8	자갈섞인 실트질 모래(SM)	−
	충적층	2.7~5.0	2.3	모래질 자갈(GP)	4/30~13/30
	풍화토	0.2~6.5	1.5~5.8	실트질 모래(SM)	11/30~50/14
	풍화암	3.7~9.3	0.7~3.3	암편섞인 실트질 모래	50/10~50/2
	연 암	4.4~12.5	3.0~3.2	편마암, 약간~심한풍화	67~100/20~45

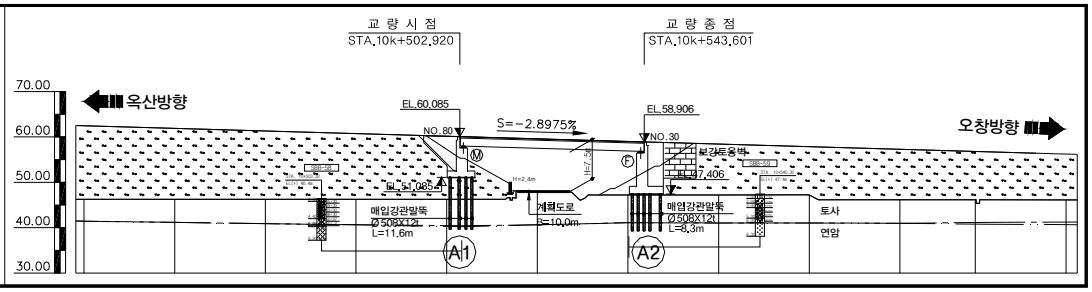
기초위치	A1	P1	P2	A2
시 추 공	NBB−34	SBB−55	SBB−56	SBB−57
지 지 층	풍화암	풍화암	풍화암	연 암
기초형식	말뚝기초	직접기초	직접기초	말뚝기초
기초선정 사 유	•A1, A2는 지지층인 풍화암 및 연암 심도가 6.0~6.5m로 분포하므로 말뚝기초로 계획 •P1, P2는 지지층인 풍화암 심도가 5.0m이내로 분포하므로 직접기초로 계획			

17) 복현2교

평면도



종단면도

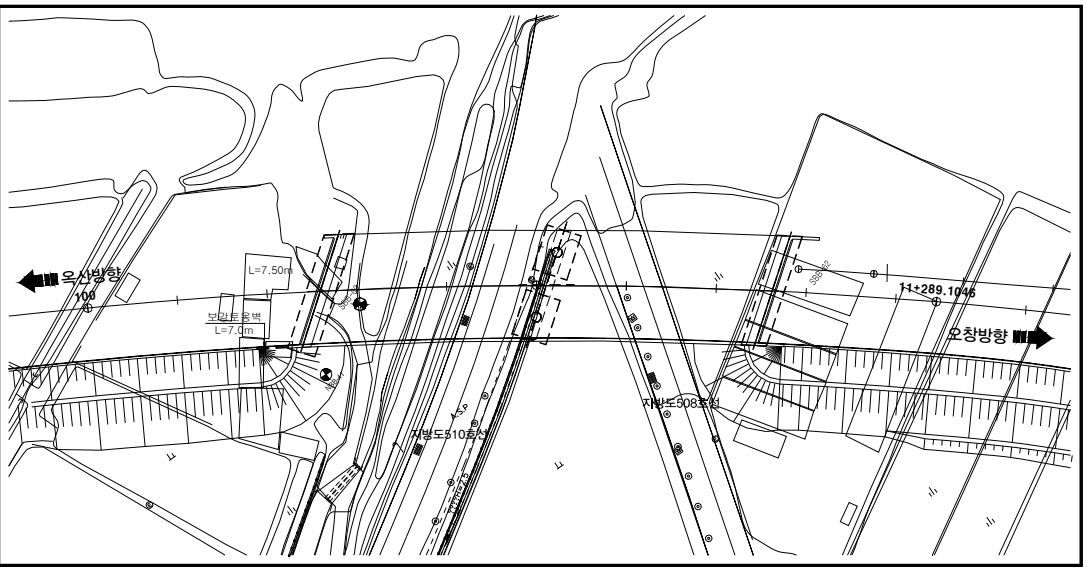


상부구조 현황	•교량위치 : STA. 10+502.920~10+543.601 •교량형식 : 개량형 PSC빔교				
지층 현황	•지하수위 : GL(−) 2.3~3.0m				
	지층구분	분포심도 (GL.−m)	층두께 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
	매립, 전답층	0.0~1.0	0.6~1.0	모래질 실트(ML), 실트질모래(SM)	−
	충적층	0.6~5.3	3.8~4.3	모래질 자갈(GP), 점토질 모래(SC), 자갈섞인 실트질 모래(SM)	7/30~40/30
	풍화토	4.4~6.3	1.0~1.6	실트질 모래(SM)	50/27~50/18
	풍화암	6.0~6.2	0.2	암편섞인 실트질 모래	50/2
	연 암	6.2~9.2	3.0	화강암, 약간~보통풍화	84/20
	경 암	6.3~9.3	3.0	화강암, 신선~약간풍화	100/83

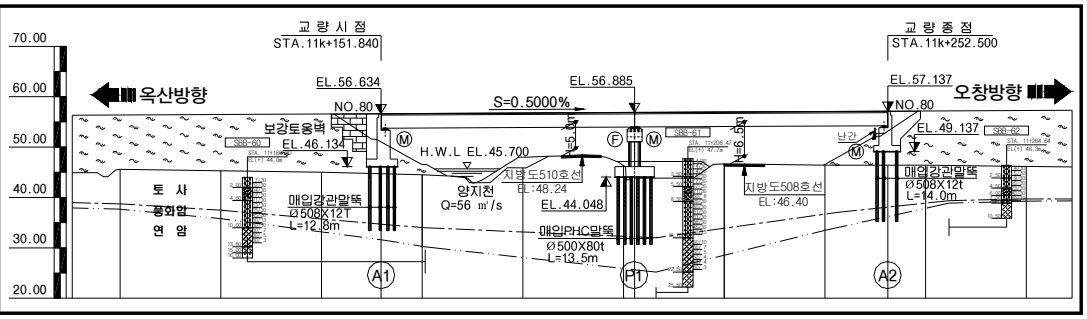
기초위치	A1	A2
시 추 공	SBB−58	SBB−59
지 지 층	연 암	연 암
기초형식	말뚝기초	말뚝기초
기초선정 사 유	•지지층인 연암 심도가 6.0~6.3m로 분포하므로 말뚝기초로 계획	

18) 복현3교

평면도



종단면도

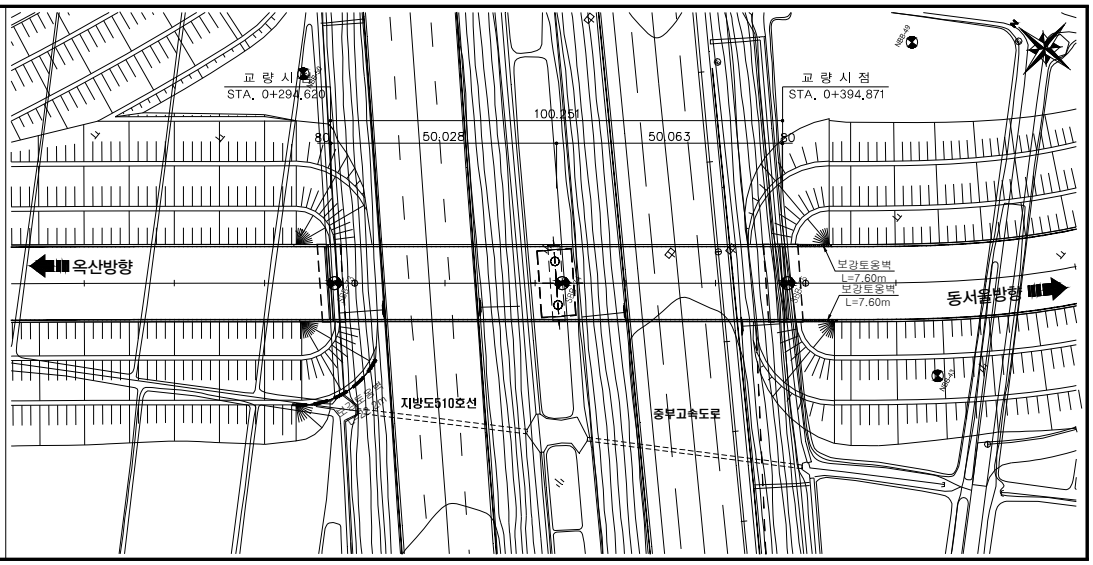


상부구조물 현황	•교량위치 : STA. 11+151.840~11+252.500 •교량형식 : 개량형 PSC빔교				
지층 현황	•지하수위 : GL(−) 1.6~5.1m				
	지층구분	분포심도 (GL.−m)	층두께 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
	매립층	0.0~3.5	2.5~3.5	자갈섞인 실트질 모래(SM)	4/30~5/30
	충적층	0.0~8.5	3.5~5.0	실트질 모래(SM), 모래질 자갈(GP)	5/30~50/8
	풍화토	4.6~15.7	1.0~7.2	실트질 모래(SM)	11/30~50/13
	풍화암	7.0~22.5	0.5~6.8	암편섞인 실트질 모래	50/10~50/3
	연 암	7.5~25.5	1.2~3.0	화강암, 약간~심한풍화	53~80/7~47
	경 암	15.0~16.0	1.0	화강암, 신선~보통풍화	95/73

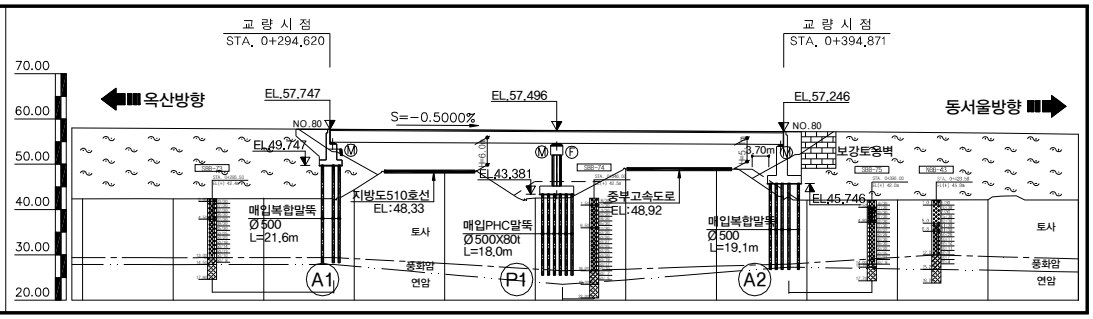
기초위치	A1	P1	A2
시 추 공	SBB−60	SBB−61	SBB−62
지 지 층	풍화암	풍화암	연 암
기초형식	말뚝기초	말뚝기초	말뚝기초
기초선정 사 유	•지지층인 풍화암 및 연암 심도가 7.0~15.7m로 분포하므로 말뚝기초로 계획		

19) 오창JCT Ramp-A교

평면도



종단면도

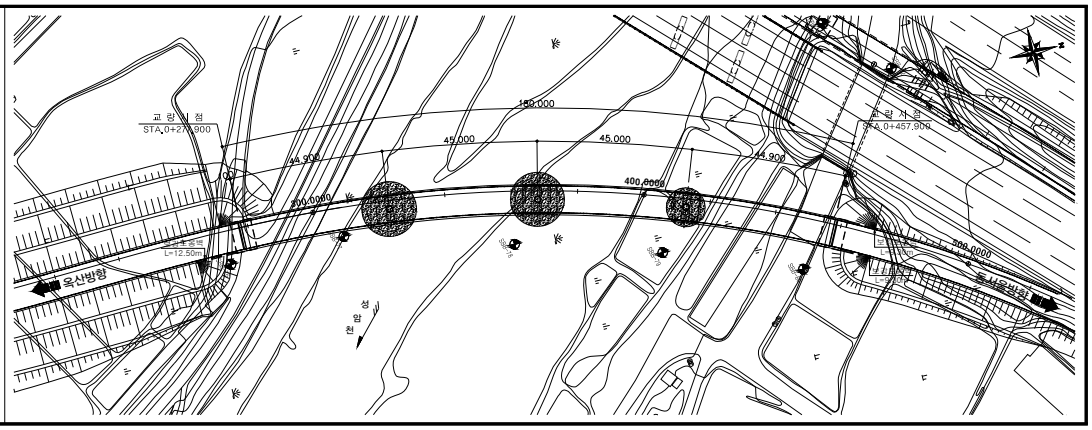


상부구조 현황	•교량위치 : STA. 0+294.620~0+394.871 •교량형식 : 개량형 PSC빔교				
지층 현황	•지하수위 : GL(-) 0.8~0.9m				
	지층구분	분포심도 (GL.-m)	층두께 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
	매립, 전답층	0.0~4.8	0.6~4.8	실트섞인 모래질 자갈(GP), 실트질 모래(SM)	6/30~37/30
	충적층	1.5~6.5	5.0	자갈섞인 실트질 모래(SM)	3/30~35/30
	풍화토	4.5~16.0	8.5~9.5	실트질 모래(SM)	22/30~50/13
	풍화암	13.0~19.0	0.7~3.0	암편섞인 실트질 모래	50/10~50/5
	연 암	14.5~22.0	3.0~3.3	화강암, 약간~심한풍화	90~100/5~39

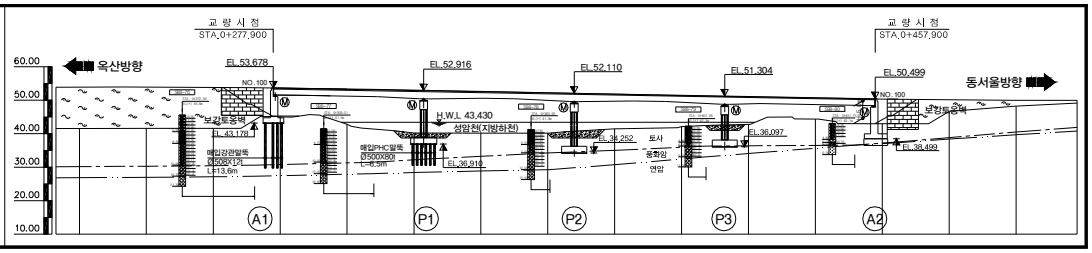
기초위치	A1	P1	A2
시 추 공	SBB-73	SBB-74	SBB-75
지 지 층	풍화암	풍화암	풍화암
기초형식	말뚝기초	말뚝기초	말뚝기초
기초선정 사 유	•지지층인 풍화암 심도가 13.0~16.0m로 분포하므로 말뚝기초로 계획		

20) 오창JCT Ramp-C교

평면도



종단면도



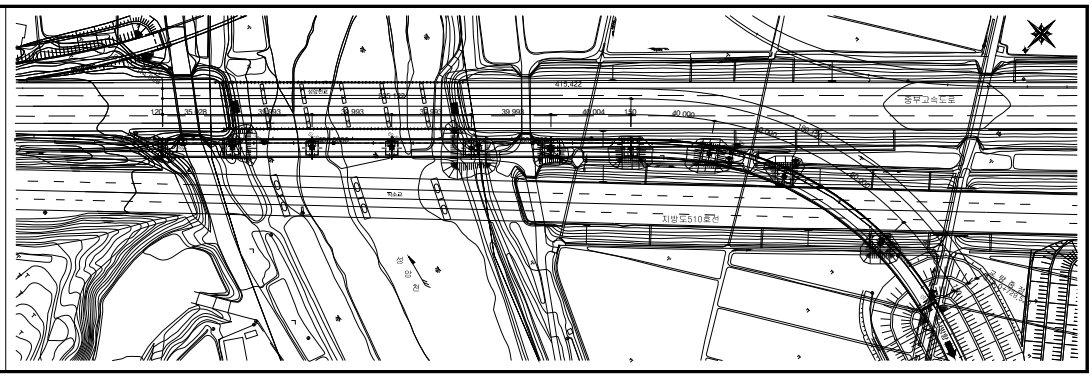
상부구조 현황	•교량위치 : STA. 0+277.900~0+457.900 •교량형식 : ST BOX 거더교				
지층 현황	•지하수위 : GL(-) 1.2~5.2m				
	지층구분	분포심도 (GL.-m)	층두께 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
	매립층	0.0~5.0	4.7~5.0	실트섞인 모래질 자갈(GP), 실트질 모래(SM)	8/30~29/30
	충적층	0.0~8.5	3.5~4.8	실트섞인 모래질 자갈(GP), 실트질 모래(SM)	4/30~32/30
	풍화토	4.5~15.0	0.8~6.5	실트질 모래(SM)	50/28~50/11
	풍화암	6.0~18.3	3.2~5.0	암편섞인 실트질 모래	50/8~50/2
	연 암	4.8~21.3	0.9~4.3	화강암, 약간~보통풍화	90~100/12~46
	경 암	6.5~9.3	2.8	화강암, 신선~약간풍화	83/87

기초위치	A1	P1	P2	P3	A2
시 추 공	SBB-76	SBB-77	SBB-78	SBB-79	SBB-80
지 지 층	풍화암	풍화암	풍화암	풍화암	연 암
기초형식	말뚝기초	말뚝기초	직접기초	직접기초	직접기초
기초선정 사 유	•A1, P1은 지지층인 풍화암 심도가 10.0~15.0m로 분포하므로 말뚝기초로 계획 •P2, P3, A2는 지지층인 풍화암 및 연암 심도가 5.0m내외로 분포하므로 직접기초로 계획				

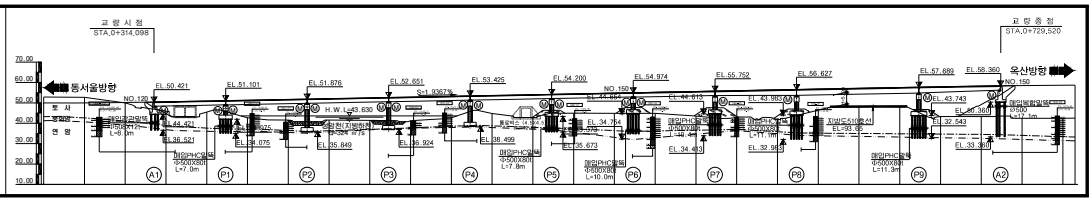
※ A2는 시공시 확인조사 결과를 반영하여 말뚝기초로 변경하였으며, 구조물도(Ⅲ) 및 지반조사 보고서 부록 11.1 참고

21) 오창JCT Ramp-D교

평면도



종단면도



상부구조 현황	•교량위치 : STA. 0+314.098~0+729.520 •교량형식 : 개량형 PSC빔교

지층 현황

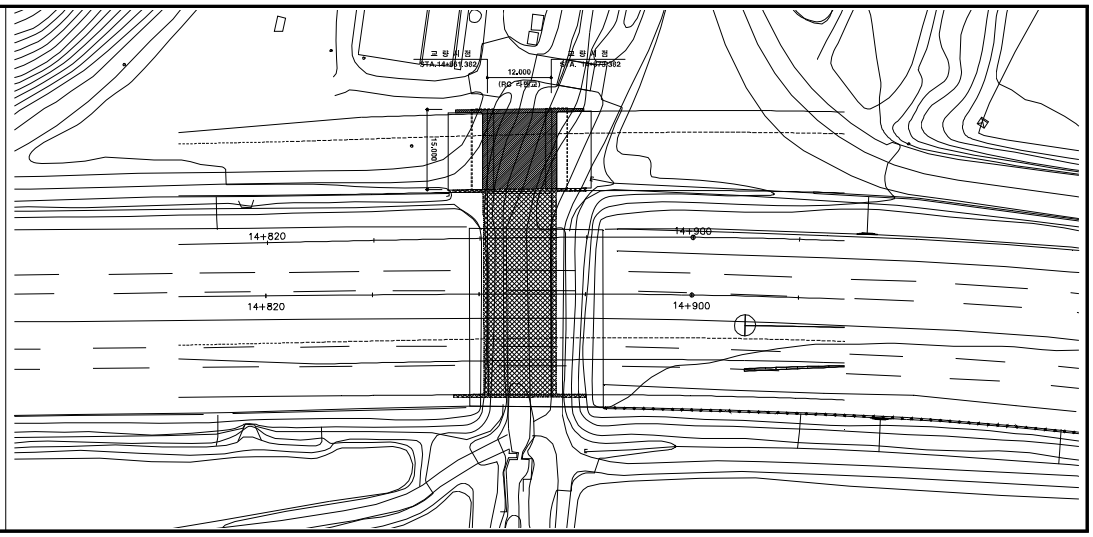
•지하수위 : GL(-) 0.0~4.1m

지층구분	분포심도 (GL.-m)	층두께 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
매립, 전답층	0.0~4.8	0.7~4.8	자갈섞인 실트질 모래(SM), 모래질 자갈(GP)	8/30~31/30
충적층	0.0~6.0	1.6~6.0	자갈섞인 실트질 모래(SM), 모래질 자갈(GP), 점토질 모래(SC)	5/30~50/19
풍화토	1.5~9.0	0.4~3.4	실트질 모래(SM)	14/30~50/11
풍화암	4.5~11.0	0.6~4.0	암편섞인 실트질 모래	50/10~50/3
연 암	3.6~14.0	2.8~3.0	화강암, 약간~보통풍화	67~100/13~62
경 암	13.8~15.3	1.5	화강암, 약간풍화	100/80

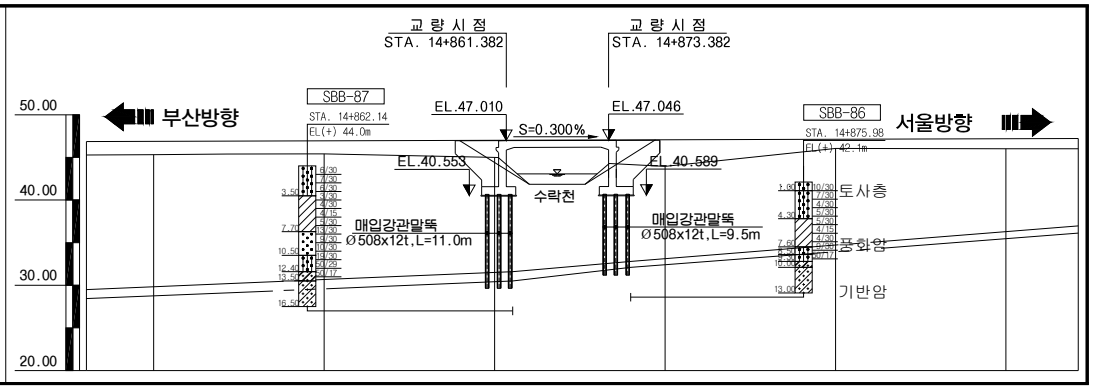
기초위치	A1	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	A2
시 추 공	SBB-72	SBB-71	SBB-70	SBB-69	SBB-68	SBB-67	SBB-85	SBB-66	SBB-65	-	SBB-63
지 지 층	연 암	연 암	풍화암	연 암	풍화암	연 암	풍화암	연 암	연 암	연 암	풍화암
기초형식	말뚝기초	말뚝기초	직접기초	직접기초	직접기초	말뚝기초	말뚝기초	말뚝기초	말뚝기초	말뚝기초	말뚝기초
기초선정 사 유	•A1, A2, P1, P5~P9는 지지층인 풍화암 및 연암 심도가 4.5~9.0m로 분포하므로 말뚝기초로 계획 •P2~P4는 지지층인 풍화암 심도가 5.0m내외로 분포하므로 직접기초로 계획										

22) 수락천교

평면도



종단면도



상부구조 현황	•교량위치 : 14+861.382~14+873.382 •교량형식 : RC 라멘교				
지층 현황	•지하수위 : GL(−) 1.8~2.9m				
	지층구분	분포심도 (GL.−m)	층두께 (m)	구 성 상 태	N값 및 TCR/RQD(%)
	매립층	0.0~3.5	1.0~3.5	자갈섞인 실트질 모래(SM)	6/30~7/30
	충적층	1.0~10.5	0.9~4.2	실트질 모래(SM), 실트질 점토(CL), 자갈섞인 모래(SP)	3/30~13/30
	풍화토	8.5~12.4	0.8~1.9	실트질 모래(SM)	19/30~50/17
	풍화암	9.3~13.5	0.7~1.1	암편섞인 실트질 모래	50/7
	연 암	10.0~16.5	3.0	편마암, 약간~보통풍화	80~97/20~48
기초위치	A1			A2	
시 추 공	SBB−87			SBB−86	
지 지 층	연 암			연 암	
기초형식	말뚝기초			말뚝기초	
기초선정 사 유	•지지층인 연암 심도가 9.3~12.4m로 분포하므로 말뚝기초로 계획				

8.2.5 교량별 기초형식 선정결과

교량명	기초위치	시추공	지지층	기초형식
옥산JCT Ramp-A교	A1	SBB-9	연 암	직접기초
	P1	SBB-10	연 암	직접기초
	P2	SBB-11	풍화암	말뚝기초
	A2	SBB-12	연 암	말뚝기초
옥산JCT Ramp-C교	A1	SBB-8	연 암	말뚝기초
	P1	SBB-7	연 암	말뚝기초
	P2	SBB-6	연 암	말뚝기초
	P3	SBB-5	풍화암	직접기초
	A2	SBB-35	연 암	말뚝기초
옥산JCT Ramp-D교	A1	SBB-4	풍화암	말뚝기초
	P1	SBB-3	연 암	말뚝기초
	P2	SBB-2	풍화암	직접기초
	A2	SBB-1	풍화암	말뚝기초
병천천교(옥산방향)	A1	SBB-13	연 암	말뚝기초
	P1	SBB-15	연 암	말뚝기초
	P2	SBB-17	연 암	말뚝기초
	P3	SBB-19	풍화암	말뚝기초
	P4	SBB-21	풍화암	말뚝기초
	A2	-	풍화암	직접기초
병천천교(오창방향)	A1	SBB-14	연 암	말뚝기초
	P1	SBB-16	연 암	말뚝기초
	P2	SBB-18	연 암	말뚝기초
	P3	SBB-20	연 암	말뚝기초
	P4	SBB-22	연 암	말뚝기초
	A2	-	풍화암	말뚝기초
상장남교(옥산방향)	A1	-	풍화암	직접기초
	P1	SBB-26	연 암	말뚝기초
	A2	SBB-27	연 암	말뚝기초
상장남교(오창방향)	A1	-	풍화암	직접기초
	P1	SBB-26	연 암	말뚝기초
	A2	SBB-27	연 암	말뚝기초
용두천교	A1	SBB-28	풍화암	말뚝기초
	P1	SBB-29	연 암	말뚝기초
	P2	SBB-30	풍화암	말뚝기초
	A2	SBB-31	연 암	말뚝기초
백현교	A1	NBB-17	풍화암	말뚝기초
	A2	SBB-32	연 암	말뚝기초
호죽1교	A1	SBB-34	연 암	말뚝기초
	A2	SBB-33	연 암	말뚝기초
호죽2교	A1	NBB-19, SBB-36	연 암	말뚝기초
	A2	SBB-37, 38	연 암	말뚝기초
성산교	A1	SBB-39	연 암	직접기초
	A2	-	연 암	직접기초

교량명	기초위치	시추공	지지층	기초형식
서오창IC Ramp-A1교	A1	SBB-43	풍화암	말뚝기초
	A2	SBB-44	연 암	말뚝기초
서오창IC Ramp-A2교	A1	SBB-41	연 암	말뚝기초
	A2	SBB-42	연 암	말뚝기초
양청교	A1	SBB-45	풍화암	직접기초
	A2	SBB-46	풍화암	말뚝기초
양지교	A1	SBB-47	풍화암	말뚝기초
	A2	SBB-48	풍화암	말뚝기초
산수교(옥산방향)	A1	SBB-81	연 암	말뚝기초
	P1	SBB-49	연 암	직접기초
	P2	SBB-51	연 암	직접기초
	P3	SBB-53	연 암	직접기초
	A2	SBB-83	풍화암	직접기초
산수교(오창방향)	A1	SBB-82	연 암	말뚝기초
	P1	SBB-50	연 암	직접기초
	P2	SBB-52	연 암	직접기초
	P3	SBB-54	연 암	직접기초
	A2	SBB-84	연 암	직접기초
복현1교	A1	NBB-34	풍화암	말뚝기초
	P1	SBB-55	풍화암	직접기초
	P2	SBB-56	풍화암	직접기초
	A2	SBB-57	연 암	말뚝기초
복현2교	A1	SBB-58	연 암	말뚝기초
	A2	SBB-59	연 암	말뚝기초
복현3교	A1	SBB-60	풍화암	말뚝기초
	P1	SBB-61	풍화암	말뚝기초
	A2	SBB-62	연 암	말뚝기초
오창 JCT Ramp-A교	A1	SBB-73	풍화암	말뚝기초
	P1	SBB-74	풍화암	말뚝기초
	A2	SBB-75	풍화암	말뚝기초
오창 JCT Ramp-C교	A1	SBB-76	풍화암	말뚝기초
	P1	SBB-77	풍화암	말뚝기초
	P2	SBB-78	풍화암	직접기초
	P3	SBB-79	풍화암	직접기초
	A2	SBB-80	연 암	직접기초
오창 JCT Ramp-D교	A1	SBB-72	연 암	말뚝기초
	P1	SBB-71	연 암	말뚝기초
	P2	SBB-70	풍화암	직접기초
	P3	SBB-69	연 암	직접기초
	P4	SBB-68	풍화암	직접기초
	P5	SBB-67	연 암	말뚝기초
	P6	SBB-85	풍화암	말뚝기초
	P7	SBB-66	연 암	말뚝기초
	P8	SBB-65	연 암	말뚝기초
	P9	-	연 암	말뚝기초
	A2	SBB-63	풍화암	말뚝기초
수락천교	A1	SBB-87	연 암	말뚝기초
	A2	SBB-86	연 암	말뚝기초

8.3 말뚝재료의 선정

깊은기초로 계획된 교대 및 교각에 대하여 적용 가능한 말뚝재료와 시공법을 비교·검토 후 최적의 재료와 시공법을 선정

구 분	강관말뚝	복합말뚝	PHC말뚝
개요도			
장 점	• 이음, 절단, 운반이 용이 • 용접이음부 연결이 확실하여 동등 이상의 강도발휘 • 압축 및 수평저항력 우수	• PHC말뚝의 단점(두부 보강, 수평저항력)을 보완 • 강관 및 콘크리트 말뚝 조합으로 경제성 및 효율성 증대	• 재료부식이 없어 내구성 우수 • 말뚝재료의 경제성 우수 • 품질관리 용이
단 점	• 부식하기 쉬워 부식방지 대책수립 • 재료비가 고가	• 시공실적이 많지 않음 • 중량이 커 취급시 주의 • 말뚝길이 10m이하는 강관 절감 효과 없음	• 본당 허용휨압축력이 작음 • 모멘트에 대한 저항력 작음 • 절단시 프리스트레스 이완 • 운반시 파손 주의
시공성	• 장대길이 말뚝 시공가능 • N값 40~50까지도 항타 가능하므로 거의 모든토질 적용가능 • 자갈, 전석층 항타곤란	• 장대길이 말뚝 시공가능 • 항타 및 매입시공방법에 영향을 거의 받지 않음 • 자갈, 전석층 항타곤란	• N값이 35이상일 경우 항타곤란 • 자갈, 전석층 항타곤란
시공사례	• 1970년대 이후 거의 모든 토목구조물에 사용	• 서수원~오산~평택 고속도로 • 전주~광양고속도로	• 1970년대 이전 및 현재 건축구조물 기초에 주로 사용
적 용	◎	◎	◎
적 용 대 상	• 말뚝길이 15m이하 구간 • 하중 및 수평력이 큰 구간	• 말뚝길이 15m이상 구간 • 수평력이 큰 구간	• 교각 구간 • 수평력이 작은 구간
검토의견	• 본 과업구간의 교량구간은 교각의 경우 내구성 및 경제성이 우수한 PHC말뚝(A종)을 적용하였으며, 교대의 경우 수평지지력 확보를 위해 말뚝 강성이 충분한 재료를 우선적으로 적용하였으며, 시공성 및 경제성을 고려하여 강관(∅508×12t), 복합말뚝(강관부 ∅500×12t, PHC부 ∅500×80t)을 조합하였음.		

8.4 말뚝기초 시공법 검토

8.4.1 말뚝기초 시공법 비교

구 분	기 성 말 뚝	
	항타말뚝	매입말뚝
시 공 사 진		
공 법 개 요	• 항타기를 이용한 해머로 기성 제품을 직타하여 시공 • 소음·진동문제 해결을 위해 유압해머 및 방음커버를 적용하나 한계가 있음	• 선 천공후 매입방식 • 말뚝내부굴착방식 • 선단처리 – 시멘트 주입 – 최종타격(경타/항타)
적 용 범 위	• 토사, 풍화암 일부 • 지하수위에 제약 받지 않음 • 강관파일 사용시 유리 • 연직하중 800~1,500 kN/본(∅508mm 기준)	• 용수량이 적은 구간 • 토사, 풍화암층, 연암층 • 연직하중 : 항타말뚝의 80% 수준
특 징	• 시공이 빠르며 간편 • 인장과 휨응력에 대한 저항 큼 • 공사비 가장 저렴 • 말뚝재료의 품질을 항타전에 조사 • 자갈 · 전석층에는 시공불리 • 지지층 깊이가 불규칙한 지반에서 말뚝길이 결정이 곤란	• 저소음 · 저진동으로 환경영향 최소화 • 복잡하여 공사효율이 저하 • 항타말뚝과 비교하여 상대적으로 공사비 고가 • 굴착으로 인한 지반교란 등으로 지지력 다소 저하
경제성	1.00	1.25~2.02
검 토 의 견	• 시공성과 경제성이 우수한 항타말뚝을 우선적으로 검토하고, 소음 및 진동에 대한 규제기준에 대한 검토를 시행하여 규제기준 허용치 초과시 매입말뚝의 사용을 검토하였음.	

8.4.2 환경영향 검토

국내외의 소음, 진동 규제기준에 대한 검토를 수행하여 본 사업구간의 적용기준을 수립하여 말뚝항타시 소음, 진동치를 인근에 있는 주거시설 또는 구조물에 대해 이격거리별로 예측하고, 예측된 소음, 진동치가 각종 규제기준치의 허용치를 만족하는지 검토하였다.

가. 소음에 대한 영향검토 기준

1) 생활소음 규제기준(소음·진동관리법 시행규칙 제20조제3항 관련 별표8)

(단위 : dB(A))

대 상 지 역	시간대별 / 대상소음		아침, 저녁 (05:00~07:00) (18:00~22:00)	주 간 (07:00~18:00)	심 야 (22:00~05:00)
주거지역, 녹지지역, 준도시 지역 중 취락지구 및 운동 휴양지구, 자연환경보전지역, 기타지역 안에 소재한 학교·병원·공공도서관	확성기	옥 외 설 치	60 이하	65 이하	60 이하
		옥내에서 옥외로 소음이 나오는 경우	50 이하	55 이하	45 이하
	공장		50 이하	55 이하	45 이하
	사업장	동일 건물	45 이하	50 이하	40 이하
		기타	50 이하	55 이하	45 이하
	공사장		60 이하	65 이하	50 이하
기 타 지 역	확성기	옥 외 설 치	65 이하	70 이하	60 이하
		옥내에서 옥외로 소음이 나오는 경우	60 이하	65 이하	55 이하
	공장		60 이하	65 이하	55 이하
	사업장	동일 건물	50 이하	55 이하	45 이하
		기타	60 이하	65 이하	55 이하
	공사장		65 이하	70 이하	50 이하

주)1. 소음의 측정 및 평가기준은 『환경분야 시험·검사 등에 관한 법률』 제6조제1항제2호에 해당하는 분야에 따른 환경오염공정시험기준에서 정하는 바에 따른다.
2. 대상지역의 구분은 『국토의 계획 및 이용에 관한 법률』에 따른다.
3. 규제기준치는 생활소음의 영향이 미치는 대상 지역을 기준으로 하여 적용한다.
4. 공사장 소음규제기준은 주간의 경우 특정공사 사전신고 대상 기계·장비를 시용하는 작업시간이 1일 3시간 이하일 때는 +10dB을, 3시간 초과 6시간 이하일 때는 +5dB을 규제기준치에 보정한다.
5. 발파소음의 경우 주간에만 규제기준치(광산의 경우 사업장 규제기준)에 +10dB을 보정한다.

2) 교통 소음의 관리기준(소음·진동관리법 시행규칙 제25조 관련 별표12)

(단위 : (LeqdB(A)))

대 상 지 역	구 분	한 도	
		주 간 (06:00~22:00)	심 야 (22:00~06:00)
주거지역, 녹지지역, 관리지역 중 취락지구·주거개발진흥지구 및 관광·휴양개발진흥지구, 자연환경보전지역, 학교·병원·공공도서관 및 입소규모 100명 이상의 노인의료복지시설·영유아보육시설의 부지 경계선으로부터 50미터 이내 지역	소음	68	58
상업지역, 공업지역, 농림지역, 생산관리지역 및 관리지역 중 산업·유통개발진흥지구, 미고시지역	소음	73	63

주)1. 대상 지역의 구분은 『국토의 계획 및 이용에 관한 법률』에 따른다.
2. 대상 지역은 교통소음·진동의 영향을 받는 지역을 말한다.

3) 본 과업구간의 소음기준

위의 자료로부터 본 과업구간은 주거지역 및 취락지역에 해당되므로 소음 규제기준 허용치를 다음과 같이 적용하였다.

적용기준	비고
65dB	소음·진동관리법 시행규칙

나. 진동기준 검토

구조물에 대한 진동의 피해 및 영향은 대상 구조물의 상태(노후 정도, 강도 등), 지반상태 (암반상태, 토사형태 등), 발파규모 등을 고려하여야 하므로 일반적으로 표현하기 어렵다. 또한 진동과 구조물의 피해와의 관계를 규정하는데 있어서도 변위, 속도, 가속도 중 어느 것을 기준으로 하여야 하는가에 대한 정설은 없다. 따라서, 본 경우에는 진동속도에 따른 대상구조물의 피해발생 여부를 검토하였다. 허용 진동속도의 기준치는 대상구조물에 따라 다르며 국가별로도 다양한 기준을 제시하고 있으므로 이러한 기준들을 정리하고 적절한 기준 값을 선정하였다.

1) 각국의 진동에 대한 규제기준

① 독일의 허용진동기준(DIN 4150, 서울지하철 및 부산지하철 허용기준)

등 급	Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅳ
건물형태	문화재 (역사적으로 매우 오래된 건물)	주택, 아파트, 상가 (작은 균열을 지닌 건물)	주택, 아파트, 상가 (균열이 없는 양호한 건물)	산업시설용 공장 (콘크리트로 보강된 건물)
최대속도 허용치 (cm/sec)	0.2	0.5	1.0	1.0~4.0

② 미국 광무국의 허용 진동기준(USBM)

최대진동속도 (cm/sec)	피 해 정 도
5.0	안 전 한 계
13.8	경미한 한계
19.4	상당한 피해

③ 캐나다의 허용진동기준(Edwards와 Northwood(1960))

최대진동속도 (cm/sec)	피 해 정 도
5.0	안전율을 고려한 허용진동한계
10	피해가 일어나지 않는 정도
10~12	건물의 피해 우려

④ 일본의 허용진동기준

최대진동속도 (cm/sec)	비 고
0.2	•안전율을 고려한 허용진동한계 •구조물에 대한 피해보다는 인체의 반응에 기초한 규제

⑤ 우리나라의 허용진동기준

- 국가 또는 지방자치단체에서 설정한 진동허용기준에 대한 구체적인 규제조항 없음.
- 외국의 자료를 참고로 하여 서울지하철 2, 3호선 건설 당시 설정한 기준과 부산지하철의 기준은 독일의 기준과 동일하게 적용함.
- 기타의 경우에는 조건에 따라 미광무국 등의 외국 사례를 근거로 하여 설계 기준을 마련하고 있으며 대체로 안전율을 높여 엄격하게 적용하고 있는 편임.

2) 진동규제기준 허용치 선정

과업구간의 시공시 진동의 영향을 받을 수 있는 대상은 주거지이므로 인체에 대한 허용 진동규제기준을 일본의 경우와 독일과 우리나라에서 적용하는 최소기준치인 0.2cm/sec를 적용하여 말뚝시공시 진동으로 인한 피해를 최소로 함.

다. PILE 항타시 소음·진동 영향 검토

1) 항타장비(DKH-7, 유압해머)

과업구간내 말뚝기초 적용 구간에 대하여 소음 및 진동 영향검토를 실시하였다.

램중량	낙하고	항타효율	에너지
7tonf × 9.81 = 68.67kN	1.2m	0.95	78.28 kN·m

2) 소음 발생치 산정

항타기 종류	기준 소음치	기준이격거리	산 출 근 거
유압식 해머	89.2 dB	15.0 m	고소음 발생장비의 소음도 측정예(환경연구원)

① 이격거리에 따른 감쇠공식

$$SPL_i = SPL_o(SPL_T) - 20\log(r/r_o)$$

여기서, SPL_i : 수음점까지의 거리가 r 지점에서 개별투입장비의 발생소음도(dB(A))

$SPL_o(SPL_T)$: 소음원으로부터 r_o 지점에서 장비합성 소음도(dB(A))

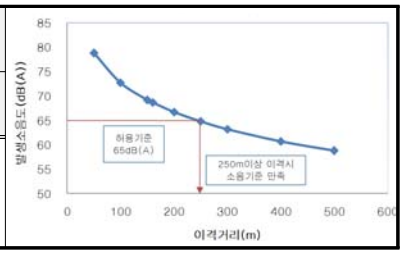
r : 소음원으로부터 예측점까지의 거리(m)

r_o : 소음원으로부터 기준점까지의 거리(15m)

② 이격거리에 따른 예상 소음치 계산결과

소음발생기준으로 지장물과의 이격거리가 유압해머의 경우 250m이상 확보하여야 항타시공이 가능한 것으로 검토되었다.

항목 / 장비	기준 소음도 (dB)	이 격 거 리(m)								
		50	100	150	160	200	245	300	400	500
유압해머	89.2	78.8	72.8	69.2	68.7	66.8	64.9	63.2	60.7	58.8



3) 이격거리별 항타진동속도 산정

① 진동 속도 추정식

말뚝의 항타에 의한 진동속도 추정식은 Attewell과 Farmer가 많은 현장에서의 실측과 결과치의 회귀분석에 의하여 다음과 같은 식을 제안하였다.

$$V = 32.36\left(\frac{\sqrt{W}}{R}\right)^{1.61}$$

여기서, V : 최대진동속도 (mm/sec)

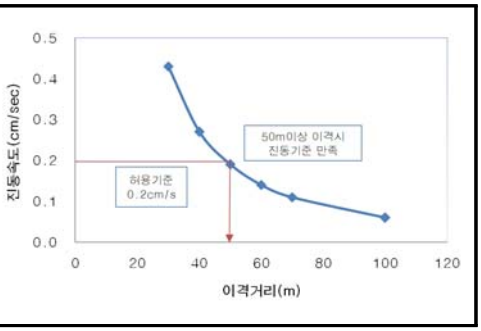
W : 해머에너지(kN·m)

R : 수평거리 (m)

② 이격거리별 예측 진동속도(Attewell, Farmer 제안식)

말뚝항타 시공시 발생되는 진동속도를 Attewell과 Farmer의 제안식에 의해 이격거리별 진동 속도를 산정한 결과 유압해머 및 디젤해머 모두 50m 이상 이격되어 시공하는 경우에 허용진동속도 0.2cm/sec를 만족하는 것으로 나타남.

이격거리(m)			30	40	50	100	150
진동속도 (cm/sec)	유압	5tonf	0.331	0.208	0.145	0.048	0.025
		7tonf	0.434	0.273	0.191	0.062	0.033
	디젤	3.5tonf	0.360	0.226	0.158	0.052	0.027
		4.5tonf	0.440	0.277	0.193	0.063	0.033



라. 소음 및 진동 검토결과

교량명		지층조건	정온시설	이격거리 (m)	소음 (65dB)	진동 (0.2cm/s)	검토결과
옥산 JCT Ramp	A교	·토 사 0.0~13.0m 분포 ·풍화암 8.0~20.0m 분포 ·연 암 13.6~16.6m 분포	농장, 휴게소	216.1	× (66.0)	O (0.019)	항타 불가
	C교	·토 사 0.0~12.0m 분포 ·풍화암 7.6~16.8m 분포 ·연 암 1.8~19.8m 분포	농장, 휴게소	159.6	× (68.7)	O (0.031)	항타 불가
	D교	·토 사 0.0~14.0m 분포 ·풍화암 4.8~20.0m 분포 ·연 암 10.8~17.7m 분포	농장, 휴게소	128.2	× (70.6)	O (0.044)	항타 불가
본 선	병천천교	·토 사 0.0~12.6m 분포 ·풍화암 8.0~15.5m 분포 ·연 암 8.7~18.5m 분포	농장, 휴게소	150.1	× (69.2)	O (0.034)	항타 불가
	상장남교	·토 사 0.0~7.3m 분포 ·연 암 7.3~10.3m 분포	가옥, 우사	39.7	× (80.7)	× (0.289)	항타 불가
	용두천교	·토 사 0.0~16.5m 분포 ·풍화암 14.0~19.7m 분포 ·연 암 8.0~22.7m 분포	가옥	103.1	× (72.5)	O (0.012)	항타 불가
	백현교	·토 사 0.0~13.0m 분포 ·풍화암 13.0~15.4m 분포 ·연 암 8.6~18.4m 분포	가옥	180.3	× (67.6)	O (0.013)	항타 불가
	호죽1교	·토 사 0.0~13.0m 분포 ·풍화암 10.0~10.6m 분포 ·연 암 10.6~16.0m 분포	가옥, 계사	236.0	× (65.3)	O (0.016)	항타 불가
	호죽2교	·토 사 0.0~8.5m 분포 ·풍화암 8.5~10.0m 분포 ·연 암 6.5~13.0m 분포	가옥, 계사	188.6	× (67.2)	O (0.023)	항타 불가
서오창 IC Ramp	A1교	·토 사 0.0~7.0m 분포 ·풍화암 7.0~11.5m 분포 ·연 암 5.5~14.5m 분포	가옥, 유치원	183.4	× (67.5)	O (0.025)	항타 불가
	A2교	·토 사 0.0~2.5m 분포 ·풍화암 2.5~3.3m 분포 ·연 암 3.3~7.8m 분포	가옥	181.4	× (67.5)	O (0.025)	항타 불가

교량명		지층조건	정온시설	이격거리 (m)	소음 (65dB)	진동 (0.2cm/s)	검토결과
본 선	양청교	·토 사 0.0~10.0m 분포 ·풍화암 4.0~18.0m 분포 ·연 암 7.0~10.0m 분포	공장, 가옥	83.2	× (74.3)	O (0.088)	항타 불가
	양지교	·토 사 0.0~18.0m 분포 ·풍화암 15.0~22.7m 분포 ·연 암 22.7~25.7m 분포	우사	192.2	× (67.0)	O (0.023)	항타 불가
	산수교	·토 사 0.0~3.0m 분포 ·풍화암 0.8~7.2m 분포 ·연 암 1.8~10.2m 분포	가옥	219.4	× (65.9)	O (0.018)	항타 불가
	복현1교	·토 사 0.0~6.5m 분포 ·풍화암 3.7~9.3m 분포 ·연 암 4.4~12.5m 분포	가옥, 우사	46.8	× (79.3)	× (0.221)	항타 불가
	복현2교	·토 사 0.0~6.3m 분포 ·풍화암 6.0~6.2m 분포 ·연 암 6.2~9.2m 분포	가옥	156.8	× (68.8)	O (0.032)	항타 불가
	복현3교	·토 사 0.0~15.7m 분포 ·풍화암 7.0~22.5m 분포 ·연 암 7.5~25.5m 분포	가옥	123.1	× (70.9)	O (0.047)	항타 불가
오창 JCT Ramp	A교	·토 사 0.0~16.0m 분포 ·풍화암 13.0~19.0m 분포 ·연 암 14.5~22.0m 분포	가옥	238.4	× (65.2)	O (0.016)	항타 불가
	C교	·토 사 0.0~15.0m 분포 ·풍화암 6.0~18.3m 분포 ·연 암 4.8~21.3m 분포	가옥	215.4	× (66.1)	O (0.019)	항타 불가
	D교	·토 사 0.0~9.0m 분포 ·풍화암 4.5~11.0m 분포 ·연 암 3.6~14.0m 분포	가옥	99.3	× (72.8)	O (0.066)	항타 불가
–	수락천교	·토 사 0.0~12.4m 분포 ·풍화암 9.3~13.5m 분포 ·연 암 10.0~16.5m 분포	우사	25.6	× (84.6)	× (0.585)	항타 불가

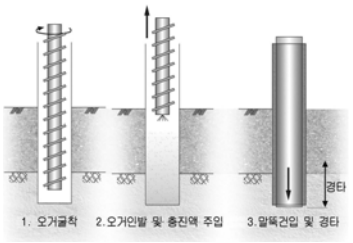
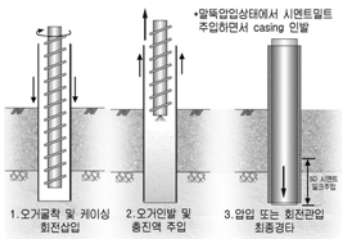
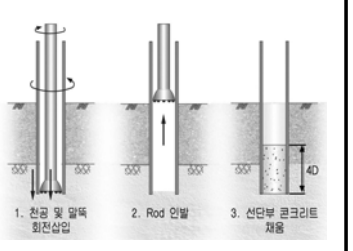
8.4.3 매입말뚝공법 검토

•말뚝기초의 소음·진동영향 검토결과 항타시공이 부적합한 교량에 대해 지반조건에 따른 시공성 및 안정성을 고려하여 최적의 매입말뚝공법을 선정함.

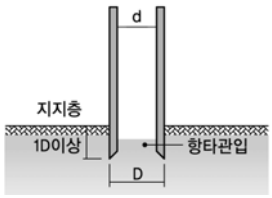
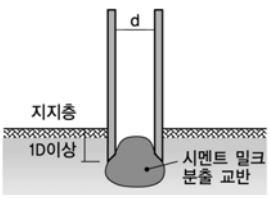
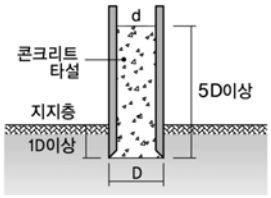
가. 매입말뚝공법 적용기준

매입말뚝공법	적용기준	비 고
SIP공법	•지름 100mm이내의 자갈, 전석이 없는 지반	•고속도로공사 전문시방서 •SIP공법의 시공 및 설계 지침(안), 한국도로공사
SDA공법	•지름 100~150mm이내의 자갈이 지반에 존재할 경우	
PRD공법	•지름 150mm이상의 자갈이 지반에 존재할 경우	

나. 매입말뚝공법 선정

구분	S.I.P	S.D.A	P.R.D
개요도			
공법 개요	• 나선형 Screw Auger로만 지지층까지 선굴착 • 시멘트 페이스트 등 주변고결액을 주입한 후, 말뚝을 자중에 의해 관입 및 해머에 의해 최종 경타 처리	• Auger 및 Casing Screw로 천공한 후 압축공기에 의한 배토 • 1차 시멘트밀크를 주입하면서 오거인발 • 말뚝회전 압입 후 2차 시멘트밀크 주입과 외측 Casing Screw인발	• 상호 역회전하는 내측 샤프트와 외측 Casing Screw 구조를 이용하여 케이싱내부를 Air Percussion으로 배토하여 말뚝을 매설하는 공법
장 점	• 저소음, 저진동 공법 • 지지층 확인이 용이 • 말뚝주면을 고결시키므로 주면마찰력 및 횡방향 저항에 유리 • 시공실적 다수, 공사비 저가	• 저소음, 저진동 공법 • 모든 지층에 적용 가능 • 케이싱 사용으로 공벽붕괴 방지 • 굴착토 육안 확인가능	• 저소음, 저진동 공법 • 지층변화에 대한 적용성 우수 • 케이싱 사용으로 공벽붕괴 방지 • 강관선단에 링비트가 부착되어 암반층까지 근입하므로 선단지지력 양호
단 점	•자갈, 전석층 시공성 저하 •굴착배토시 지반이완 우려	• 작업공정이 다소 복잡	• 본당 장비 셋팅 장시간 소요 • 공사비 고가
적 용	◎	-	-
검토의견	• 본 사업구간의 지층상태를 감안하여 자갈 및 전석층이 존재하지 않는 구간은 시공성과 경제성이 우수한 SIP공법을 선정함.(단, 시공중 확인시추 및 시험시공 수행결과, 공벽유지가 어려운 경우(느슨한 토사층, 붕적토층 및 자갈층이 존재시)에는 SIP+Casing공법으로 변경 적용함.)		

다. 선단처리방법 선정

구 분		최종경타방식	시멘트밀크 분출	콘크리트 타설방식
개요도				
공법특징	장점	• 확실한 지지력 확보 • 지지력 확인 용이	• 저소음·저진동 시공 • 말뚝본체의 손상 적음	• 저소음·저진동 시공 • 말뚝본체의 손상 적음
	단점	• 약간의 소음·진동 발생 • 말뚝에 인장균열 발생 가능	• 사질토지반에만 적용 • 기성 콘크리트 파일 사용	• 지지력 확인이 최종타격방식에 비해 어려움
적 용		◎	–	–

8.4.4 교량별 말뚝시공법 선정결과 요약

말뚝시공시 환경영향(소음·진동)분석, 지층분석 결과가 반영된 각 교량별 말뚝기초 시공법 선정결과는 다음과 같다.

교량명		말뚝재질		지지층	말뚝시공법
		교각	교대		
옥산JCT	Ramp-A교	PHC	복합말뚝	풍화암, 연암	매입공법(SIP, SIP+Casing)
	Ramp-C교	PHC	강관말뚝, 복합말뚝	풍화암, 연암	매입공법(SIP, SIP+Casing)
	Ramp-D교	PHC	강관말뚝, 복합말뚝	풍화암	매입공법(SIP, SIP+Casing)
본선	병천천교	PHC	복합말뚝	풍화암, 연암	매입공법(SIP, SIP+Casing)
	상장남교	PHC	강관말뚝	풍화암, 연암	매입공법(SIP, SIP+Casing)
	용두천교	PHC	복합말뚝	풍화암, 연암	매입공법(SIP, SIP+Casing)
	백현교	–	강관말뚝	풍화암, 연암	매입공법(SIP)
	호죽1교	–	강관말뚝	연 암	매입공법(SIP, SIP+Casing)
	호죽2교	–	강관말뚝	연 암	매입공법(SIP, SIP+Casing)
서오창IC	Ramp-A1교	–	강관파일, 복합말뚝	풍화암, 연암	매입공법(SIP, SIP+Casing)
	Ramp-A2교	–	강관말뚝	연 암	매입공법(SIP)
본선	양청교	–	강관말뚝	풍화암	매입공법(SIP)
	양지교	–	복합말뚝	풍화암	매입공법(SIP, SIP+Casing)
	산수교	–	복합말뚝	연 암	매입공법(SIP)
	복현1교	–	강관말뚝	풍화암, 연암	매입공법(SIP)
	복현2교	–	강관말뚝	연 암	매입공법(SIP, SIP+Casing)
	복현3교	PHC	강관말뚝	풍화암, 연암	매입공법(SIP, SIP+Casing)
오창JCT	Ramp-A교	PHC	복합말뚝	풍화암	매입공법(SIP, SIP+Casing)
	Ramp-C교	PHC	강관말뚝	풍화암	매입공법(SIP, SIP+Casing)
	Ramp-D교	PHC	강관말뚝	풍화암, 연암	매입공법(SIP, SIP+Casing)
–	수락천교	–	강관말뚝	연 암	매입공법(SIP, SIP+Casing)

- 교대부는 수평방향 저항력이 양호한 강관말뚝, 교각부는 경제성이 양호한 PHC말뚝 적용
- 지층조건, 환경영향성 검토 결과 전체 교량에서 항타가 곤란한 것으로 나타나 매입말뚝(SIP 또는 SIP+Casing) 공법 적용

8.5 직접기초 안정성 검토

8.5.1 직접기초 검토항목 및 검토방법

검토항목		검토방법
연 직 지지력	풍화암 지 지	•정역학적 공식 : Terzaghi 제안식(1943) (도로교설계기준 해설, 2008, 구조물 기초 설계기준 해설, 2009) •표준관입시험(SPT) 결과이용 : 수정 Meryerhof(1974) (구조물 기초 설계기준 해설, 2009)
	암 반 지 지	•제안식 이용 : Hoek-Brown(Foundation on Rock, Duncan D. Wyllie), Bell(1952) (Foundation on Rock, Duncan D. Wyllie), •경험식 이용 : Canadian Foundation E. Manual(구조물 기초 설계기준 해설, 2009)
침하량	풍화암 지 지	•변형계수 이용 : Schmertmann & Hartman(1978)(구조물 기초 설계기준 해설, 2009) •탄성이론 이용 : Vesic-Harr(구조물 기초 설계기준 해설, 2009)
	암 반 지 지	•탄성이론 이용 : Vesic-Harr(구조물 기초 설계기준 해설, 2009)

8.5.2 직접기초 검토기준

구 분	허용기준	기준서
지지력	•안정조건 : 허용지지력 > 설계반력 •허용지지력 산정시 안전율(FS) - 상시 : 3.0, 지진시 : 2.0	•구조물 기초 설계기준 해설(2009)
침하량	•허용침하량 - 풍화암 지지층 : 25.0mm - 암 반 지지층 : 13.0mm	•도로교설계기준 해설(2008) •도로설계요령(교량편)

8.5.3 직접기초 지지력 검토

가. 풍화암지지 직접기초 지지력 산정방법

1) Terzaghi 지지력공식

$$q_a = \frac{1}{F}(\alpha c N_c + \beta \gamma_1 B N_r + \gamma_2 D_f N_q)$$

여기서, α, β : 기초의 형상계수, N_c, N_r, N_q : 지지력계수
γ_1, γ_2 : 기초저면 상부 및 하부 지반의 단위중량
c : 지반의 점착력, B : 기초폭
D_f : 기초의 근입깊이

〈기초의 형상계수〉

기초 형상	연속 기초	원형 기초	정사각형 기초	직사각형 기초
α	1.0	1.3	1.3	1+0.3B/L
β	0.5	0.3	0.4	0.5−0.1B/L

〈지지력계수〉

N_q	N_c	N_r
$\frac{e^{2(3\pi/4-\phi/2)\tan\phi}}{2\cos^2(45+\phi/2)}$	$(N_q-1)\cot\phi$	$\frac{1}{2}(\frac{K_p}{\cos^2\phi}-1)\tan\phi$

2) 표준관입시험(SPT)결과이용 : 수정 Meyerhof 방법

$q_a = 19NK_d$
: B < 1.2m인 경우

$$q_a = 12NK_d(\frac{B+0.3}{B})^2$$
: B ≥ 1.2m인 경우

여기서, q_a : 25mm 침하에 대한 허용지지력(kPa)
N : 보정된 SPT 관입치
K_d : 깊이계수
→ K_d=1+D/3B(D<B), Kd=1.3(D>B)
D : 근입깊이(m), B : 기초의 최소폭(m)

3) 경험적 방법

경험적 방법에 의한 지지력 산정은 다음과 같이 구조물 기초설계 기준을 이용하였다.

〈 확대기초의 지지력 경험치 (구조물 기초 설계기준 해설, 2009) 〉

지 지 층	현장 연경도 상태	허용 지지력 (kPa)	
		범 위	추 천 값
입도분포가 양호한 세립토 모래자갈의 혼합물 : 빙하 퇴적물, 하드팬(hardpan), 점성토 섞인 자갈 (GW-GC, SC)	매우 조밀함	800~1,200	1,000
자갈, 자갈 – 모래 혼합물, 호박돌 – 자갈 혼합물 (GW, GP, SW, SP)	매우 조밀함 중간정도 조밀 느슨함	600~1,000 400~700 200~600	700 500 300
입자가 굵거나 중간 정도의 모래, 자갈이 약간 섞인 모래 (SW, SP)	매우 조밀함 중간정도 조밀 느슨함	400~600 200~400 100~300	400 300 150
가는 모래, 실트질이나 점토질 중간정도 입도나 굵은 모래(SW, SM, SC)	매우 조밀함 중간정도 조밀 느슨함	300~500 200~400 100~300	300 250 150
균질한 점토, 모래질이나 실트질, 점토	굳음 중간정도 굳음 느슨함	300~600 100~300 50~100	400 200 50
실트, 모래질 실트, 점토질 실트, 교호된(varved) 실트-점토-세사층	매우 굳음 중간정도 굳음 연함	200~400 100~300 50~100	300 150 50

주) 1. 연한 암반이나 사질토 지반에서 기초는 인접 최저 지표고로부터 최소 0.5m는 근입되어야 한다.
2. 상기에서 규정한 최소 근입깊이(0.5m)로부터 근입깊이가 0.3m 증가할때마다 공칭 경험값의 5%할증하여 사용한다.

나. 암반지지 직접기초 지지력 산정방법

1) Hoek-Brown

$$q_u = C_{f1} S^{\frac{1}{2}} \sigma_{u(r)} \left[(m \cdot s^{-\frac{1}{2}} + 1)^{\frac{1}{2}} \right]$$

여기서, $\sigma_{u(r)}$: 무결암의 일축압축강도(kN/m^2)

C_{f1} : 기초형상에 따른 보정계수

m, s : 암의 풍화정도에 따른 상수

2) Bell

$$q_a = \frac{1}{F_s}(C_{f1}\, c\, N_c + C_{f2}\gamma_1 \frac{B}{2} N_r + \gamma_2 D_f N_q)$$

여기서, C_{f1}, C_{f2} : 기초의 형상계수

N_c, N_r, N_q : 지지력계수

γ_1, γ_2 : 암반의 단위중량

c : 지반의 점착력, B : 기초폭

D_f : 기초의 근입깊이

<기초의 형상계수>

기초형상계수	연속기초	장방형 기초		정방형기초	원형기초
		L/B=2	L/B=5		
C_{f1}	1.0	1.12	1.05	1.25	1.2
C_{f2}	1.0	0.9	0.95	0.85	0.7

3) 경험적 방법에 의한 지지력 산정

< 확대기초의 지지력 경험치 (구조물 기초 설계기준 해설, 2009) >

지 지 층	현장 연경도 상태	허용 지지력 (kPa)	
		범 위	추 천 값
괴상의 결정질 화강암, 변성암 : 화강암, 섬록암, 현무암, 완전히 고결된 역암	경질의 신선한 암	6,000~10,000	8,000
엽리성의 변성암 : 슬레이트, 편암	중간경질의 신선한 암	3,000~4,000	3,500
퇴적암 : 시멘트화된 경질의 세일, 실트암, 사암, 동공이 없는 석회암	중간경질의 신선한 암	1,500~2,500	2,000
풍화되거나 파쇄된 모암, 이질암(세일)이외의 모든 암, RQD<25	연 암	800~1,200	1,000
컴팩션 세일(compaction shale)이나 신선한 이질암	연 암	800~1,200	1,000

다. 직접기초 지지력 산정결과

1) 풍화암 지지층의 지지력 산정결과

교 량 명	기초 위치	Terzaghi	수정 Meyerhof	적 용 (kN/㎡)	설계반력 (kN/㎡)	판 정
옥산JCT Ramp-C교	P3	1,498	690	690	344	O.K
옥산JCT Ramp-D교	P2	1,825	779	779	593	O.K
병천천교(옥산방향)	A2	1,129	724	724	321	O.K
상장남교(옥산방향)	A1	1,395	777	777	497	O.K
상장남교(오창방향)	A1	1,215	720	720	383	O.K
양청교	A1	1,447	785	785	457	O.K
산수교(옥산방향)	A2	1,099	719	719	257	O.K
복현1교	P1	1,578	789	789	536	O.K
	P2	1,619	800	800	588	O.K
오창JCT Ramp-C교	P2	1,902	818	818	315	O.K
	P3	1,672	765	765	314	O.K
오창JCT Ramp-D교	P2	1,691	840	840	540	O.K
	P4	1,329	734	734	527	O.K
건축구조물	-	331	282	282	198	O.K

2) 암반 지지층의 지지력 산정결과

교 량 명	기초 위치	제안식		경험식	적 용 (kN/㎡)	설계반력 (kN/㎡)	판 정
		Hoek -Brown	Bell	구조물 기초설계			
옥산JCT Ramp-A교	A1	3,506	2,744	1,000	1,000	539	O.K
	P1	4,020	3,030	1,000	1,000	558	O.K
성산교	A1	1,183	2,647	1,000	1,000	553	O.K
	A2	1,726	2,747	1,000	1,000	498	O.K
산수교(옥산방향)	P1	1,966	2,933	1,000	1,000	489	O.K
	P2	3,816	2,933	1,000	1,000	479	O.K
	P3	1,975	2,942	1,000	1,000	472	O.K
산수교(오창방향)	P1	3,225	2,933	1,000	1,000	571	O.K
	P2	3,362	2,933	1,000	1,000	605	O.K
	P3	3,239	2,942	1,000	1,000	610	O.K
	A2	3,341	2,669	1,000	1,000	408	O.K
오창JCT Ramp-D교	P3	4,253	2,947	1,000	1,000	536	O.K

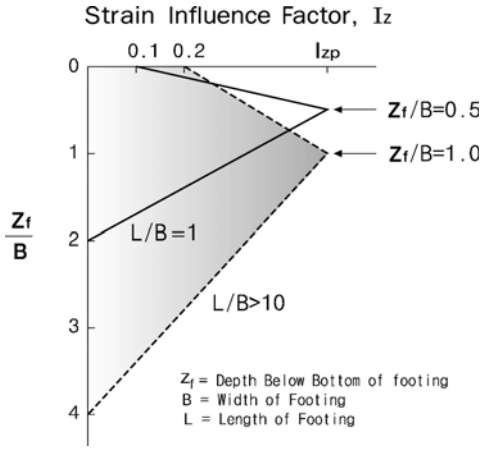
8.5.4 직접기초 침하량 검토

가. 직접기초 침하량 산정방법

1) Schmertmann & Hartman(1978)방법(풍화암지지)

$$S = C_1 C_2 (\bar{q} - q) \Sigma \frac{I_z}{E} \Delta z$$

여기서, I_z : 변형영향계수
C_1 : 기초의 근입깊이에 대한 보정계수
$(1 - [0.5\sigma_{v0}'/(q_b - \sigma_{v0}')]$ 단, $C_1 > 0.5)$
C_2 : 모래의 creep에 대한 보정계수
(1+0.2log(t/0.1))
q : 유효상재하중($\gamma' D_f$)
$\bar{q}$: 기초저면의 접지압
Δz : 각 토층의 두께
E : 지반의 탄성계수



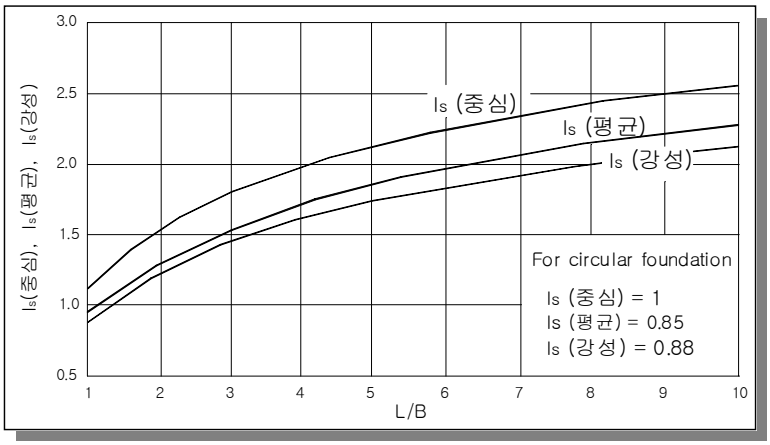
<변형영향계수 Is>

2) 탄성이론에 의한 침하량 산정(Vesic-Harr 공식)

$$S = qB\frac{1-\nu^2}{E} I_s$$

여기서, E : 지반의 탄성계수
ν : 지반의 포아송비(Poisson's ratio)
I_s : 탄성침하의 영향계수(아래 표 또는 그림으로 결정)

<탄성침하의 영향계수 Is>



구 분		강성기초	연성기초				비 고
			중심점	외변의 중점	모서리점	평균	
원형기초		0.785	1.00	0.637	-	0.848	연성기초의 중심점의 영향치는 모서리의 영향치의 2배임. 즉, 중심점의 침하량은 모서리점 침하량의 2배임.
정방형기초		0.88	1.12	0.76	0.56	0.950	
구형기초	L/B=2	1.12	1.53	1.12	0.76	1.30	
	L/B=5	1.60	2.10	1.68	1.05	1.82	
	L/B=10	2.00	2.56	2.10	1.28	2.24	

나. 직접기초 침하량 산정결과

교 량 명	기초 위치	Schmert mann	Harr	발생침하량 (mm)	허용침하량 (mm)	판 정
옥산JCT Ramp-A교	A1	1.37	1.86	1.86	13.0	O.K
	P1	1.44	1.82	1.82	13.0	O.K
옥산JCT Ramp-C교	P3	0.97	12.12	12.12	25.0	O.K
옥산JCT Ramp-D교	P2	7.98	19.00	19.00	25.0	O.K
병천천교(옥산방향)	A2	4.69	9.01	9.01	25.0	O.K
상장남교(옥산방향)	A1	1.03	16.20	16.20	25.0	O.K
상장남교(오창방향)	A1	3.99	11.69	11.69	25.0	O.K
성산교	A1	1.69	2.60	2.60	13.0	O.K
	A2	1.43	2.35	2.35	13.0	O.K
양청교	A1	1.01	18.11	18.11	25.0	O.K
산수교(옥산방향)	P1	1.26	1.42	1.42	13.0	O.K
	P2	1.18	1.39	1.39	13.0	O.K
	P3	1.16	1.36	1.36	13.0	O.K
	A2	2.33	6.91	6.91	25.0	O.K
산수교(오창방향)	P1	1.43	1.66	1.66	13.0	O.K
	P2	1.52	1.76	1.76	13.0	O.K
	P3	1.54	1.76	1.76	13.0	O.K
	A2	0.71	1.16	1.16	13.0	O.K
복현1교	P1	1.08	13.53	13.53	25.0	O.K
	P2	1.19	14.83	14.83	25.0	O.K
오창JCT Ramp-C교	P2	3.49	9.80	9.80	25.0	O.K
	P3	0.77	9.78	9.78	25.0	O.K
오창JCT Ramp-D교	P2	1.10	13.45	13.45	25.0	O.K
	P3	1.12	1.36	1.36	13.0	O.K
	P4	1.16	13.12	13.12	25.0	O.K
건축구조물	-	5.68	18.67	18.67	25.0	O.K

주) 현장시공과정에서 노출된 기초지반에 평판재하시험(PBT)을 실시하여 실제 기초지반의 허용지지력을 산정하여 상부하중에 의해 기초지반에 발생되는 지반반력보다 큰 것을 확인하여야 한다. 또한 이 시험으로 산출된 기초지반의 침하량을 기초폭으로 환산한 값이 허용치 이내에서 발생되는지를 확인하여야 한다.

직접기초에 대하여 Schmertmann & Hartman에 의한 침하량 및 탄성론에 의해 침하량 산정결과는 위와 같으며, 침하량 산정결과 최대발생침하량이 19.00mm로 기초의 허용침하기준(25.0mm)보다 작게 발생하므로 침하에 대해 안정한 것으로 분석되었으며, 풍화암반에 근입되는 구간은 기초 시공시 지하수 유입에 의한 지반이완을 방지하고 재하시험에 의한 지지력 및 안정성을 확인하여야 한다.

8.6 말뚝기초 안정성 검토

8.6.1 말뚝기초 검토항목 및 검토방법

검토항목		검토방법
연직지지력	풍화암 지지	•일본 건설성 고시 기준 : 국도건설공사 설계실무 요령(2008) •구조물 기초 설계기준 해설(2009)
	암반 지지	•일축압축강도 이용 : 구조물 기초 설계기준 해설(2009), Goodman 제안식 •말뚝본체 재료특성에 의한 허용지지력(구조물 기초 설계기준 해설, 2009)
침하량	풍화암 지지	•반경험적 방법 : Vesic(1977)(구조물 기초 설계기준 해설, 2009) •경험적 방법 : Vesic(1977)(강관말뚝 설계와 시공, 1994)
	암반 지지	•반경험적 방법 : Vesic(1977)(구조물 기초 설계기준 해설, 2009) •경험적 방법 : Vesic(1977)(강관말뚝 설계와 시공, 1994)
수평지지력		•극한평형법 : Broms방법 •탄성지반반력법 : Chang방법, Reese & Matlock 방법
수평변위		•탄성지반반력법 : Chang방법, Reese & Matlock 방법

8.6.2 말뚝기초 검토기준

구 분	허용기준	기준서
연직지지력	•안정조건 : 허용지지력 > 설계반력 •허용지지력 산정시 안전율(FS) – 상시 : 3.0, 지진시 : 2.0	•구조물 기초 설계기준 해설(2009)
연직침하량	•허용침하량 : 25.0mm	•도로설계요령(교량편)
수평지지력	•안정조건 : 허용지지력 > 설계반력	•구조물 기초 설계기준 해설(2009)
수평변위	•허용수평변위 – 상시, 지진시 : 15.0mm	•도로교설계기준 해설(2008)

8.6.3 말뚝기초 지지력 검토

가. 토사 및 풍화암지지 말뚝기초 연직지지력 산정방법

1) 일본 건설성 고시 기준(국도건설공사 설계실무 요령)

$$R_U = Q_p + Q_f$$

여기서, R_u : 극한지지력(kN)　　N : 선단지반의 N치
f_i : 말뚝의 주면마찰력(kN/m^3)　　U : 주면길이(m)
$\overline{N}$: 선단에서 아래 1D(D:말뚝직경) 및 위로 4D의 N치의 평균치
$\overline{N_s}$: 사질토 N치의 평균치　　L_s : 사질토층의 두께 (m)
$\overline{N_c}$: 점성토 N치의 평균치　　L_c : 점성토층의 두께 (m)

시공법	선단지지력 산정법	말뚝 선단부의 조건	주면 마찰력의 산정식
타격공법	$Q_p = 30\overline{N}A_p$	$\overline{N}$은 말뚝 선단부의 평균치 $\overline{N} \leq 40$	$Q_f = (\frac{1}{5}\overline{N_s}L_s + \frac{1}{2}\overline{q_u}L_c)U$ $\overline{N_s} \leq 50$ $\overline{q_u} \leq 20 (\overline{q_u} = 1.25N)$
시멘트 페이스트 주입공법	$Q_p = 20\overline{N}A_p$	$\overline{N}$은 말뚝 선단부의 평균치 $\overline{N} \leq 40$	$Q_f = (\frac{1}{5}\overline{N_s}L_s + \frac{1}{2}\overline{q_u}L_c)U$ $\overline{N_s} \leq 25$ $\overline{q_u} \leq 10 (\overline{q_u} = 1.25N)$
선굴착 고결공법	$Q_p = 25\overline{N}A_p$	$\overline{N}$은 말뚝 선단부의 평균치 $\overline{N} \leq 40$	$Q_f = (\frac{1}{5}\overline{N_s}L_s + \frac{1}{2}\overline{q_u}L_c)U$ $\overline{N_s} \leq 25$ $\overline{q_u} \leq 10 (\overline{q_u} = 1.25N)$
선굴착 최종 타격공법	$Q_p = 30\overline{N}A_p$	$\overline{N}$은 1D~4D 평균치 $\overline{N} \leq 40$	$Q_f = (\frac{1}{5}\overline{N_s}L_s + \frac{1}{2}\overline{q_u}L_c)U$ $\overline{N_s} \leq 25$ $\overline{q_u} \leq 10 (\overline{q_u} = 1.25N)$
선굴착 최종 경타공법	$Q_p = 25\overline{N}A_p$	$\overline{N}$은 1D~4D 평균치 $\overline{N} \leq 40$	$Q_f = (0.9L_s + 24L_c)U$
선굴착 확대 고결공법	$Q_p = 25\overline{N}A_p$	$\overline{N}$은 1D~4D 평균치 $\overline{N} \leq 40$	$Q_f = (\frac{1}{5}\overline{N_s}L_s + \frac{1}{2}\overline{q_u}L_c)U$ $\overline{N_s} \leq 25$ $\overline{q_u} \leq 10 (\overline{q_u} = 1.25N)$ 주면고결액을 사용 않을 때 1.5LU
속파기 확대 고결공법	$Q_p = 25\overline{N}A_p$	$\overline{N}$은 1D~4D 평균치 $\overline{N} \leq 40$	$Q_f = 1.5LU$
회전 고결공법	$Q_p = 25\overline{N}A_p$	$\overline{N}$은 1D~4D 평균치 $\overline{N} \leq 40$	$Q_f = (\frac{1}{5}\overline{N_s}L_s + \frac{1}{2}\overline{q_u}L_c)U$ $\overline{N_s} \leq 25$ $\overline{q_u} \leq 10 (\overline{q_u} = 1.25N)$ 주면고결액을 사용 않을 때 1.5LU

2) 구조물 기초 설계기준 해설

$$Q_u = Q_p + Q_s$$

여기서, Q_p : 극한선단지지력
Q_s : 극한주면마찰력

<매입말뚝 지지력 산정방법>

구 분	단위면적당 극한선단지지력 $q_B(kN/m^2)$	단위면적당 극한주면마찰력 $f_s(kN/m^2)$	내부굴착말뚝
매입말뚝	$200N$(≤12,000)(사질토) $6c_u$(≤12,000)(점성토)	$2.5N$(N≤50)(사질토) $0.8c_u$(c_u≤125)(점성토)	도로교설계기준해설(2008) 및 건축기초구조설계기준(2005)
	$250N$ (N≤60)	$2.0N_s$(사질토) $5.0q_u$(점성토)	주택공사, 말뚝기초 설계개선(안) (2008)

나. 암반지지 말뚝기초 연직지지력 산정방법

1) 일축압축강도 이용 - Goodman 제안식

$$Q_a = [q_u(N_\phi + 1)]A_p$$

여기서, A_p : 말뚝의 선단부 면적

q_u : 일축압축강도($\frac{q_{u(lab)}}{5}$)

N_ϕ : 지지력계수($\tan^2 45^\circ + \frac{\phi}{2}$)

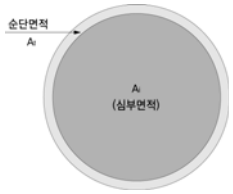
2) 일축압축강도 이용

$$Q_a = \frac{1}{FS}(443 q_u^{\frac{1}{2}} A_t^{\frac{2}{5}} A_i^{\frac{1}{3}})$$

여기서, q_u : 암반의 일축압축강도(≤10MPa)

A_t : 강관말뚝 선단부의 순 단면적

A_i : 강관말뚝 선단부의 심부단면적



〈A_t 및 A_i 산정〉

다. 말뚝기초 지지력 산정결과

1) 토사 및 풍화암 지지층의 지지력 산정결과

교량명	기초 위치	국도건설공사 설계실무요령	구조물기초 설계기준	재료 지지력	적용 (kN/본)	설계하중 (kN/본)	판정
옥산JCT Ramp-A교	P2	694	952	1,730	694	633	O.K
옥산JCT Ramp-D교	A1	882	1,102	1,644	882	663	O.K
	A2	690	863	2,060	690	687	O.K
병천천교(옥산방향)	P3	738	933	1,730	738	656	O.K
	P4	709	886	1,730	709	594	O.K
병천천교(오창방향)	A2	756	945	2,060	756	643	O.K
용두천교	A1	969	1,322	1,644	969	679	O.K
	P2	838	1,094	1,730	838	508	O.K
백현교	A1	995	1,243	1,644	995	860	O.K
서오창IC Ramp-A1교	A1	969	1,767	1,644	969	787	O.K
양청교	A2	780	1,186	2,060	780	650	O.K
양지교	A1	958	1,328	1,644	958	819	O.K
	A2	971	1,527	1,644	971	828	O.K
복현1교	A1	738	1,108	2,060	738	628	O.K
복현3교	A1	856	1,070	2,060	856	820	O.K
	P1	877	1,202	1,730	877	454	O.K
오창JCT Ramp-A교	A1	1,089	1,587	1,557	1,089	782	O.K
	P1	995	1,503	1,730	995	522	O.K
	A2	1,024	1,554	1,644	1,024	703	O.K
오창JCT Ramp-C교	A1	891	1,275	2,060	891	644	O.K
	P1	694	1,080	1,730	694	562	O.K
오창JCT Ramp-D교	P6	785	1,112	1,730	785	655	O.K
	A2	971	1,214	1,644	971	631	O.K

2) 암반 지지층의 지지력 산정결과

교량명	기초 위치	도로교 설계기준	구조물기초 설계기준	재료 지지력	적용 (kN/본)	설계하중 (kN/본)	판정
옥산JCT Ramp-A교	A2	5,092	2,700	1,557	1,557	808	O.K
옥산JCT Ramp-C교	A1	1,224	2,700	1,557	1,224	743	O.K
	P1	4,423	2,700	1,730	1,730	632	O.K
	P2	4,414	2,700	1,730	1,730	602	O.K
	A2	1,508	1,586	2,060	1,508	630	O.K
옥산JCT Ramp-D교	P1	1,594	2,700	1,730	1,594	687	O.K
병천천교(옥산)	A1	1,519	2,700	1,644	1,519	822	O.K
	P1	4,545	2,700	1,730	1,730	698	O.K
	P2	3,712	2,700	1,730	1,730	697	O.K
병천천교(오창)	A1	1,413	2,700	1,644	1,413	785	O.K
	P1	1,442	2,700	1,730	1,442	739	O.K
	P2	1,394	2,700	1,730	1,394	744	O.K
	P3	2,992	2,700	1,730	1,730	644	O.K
	P4	1,042	2,700	1,730	1,042	606	O.K
상장남교(옥산)	P1	5,033	2,700	1,730	1,730	549	O.K
	A2	5,678	1,586	2,060	1,586	815	O.K
상장남교(오창)	P1	5,033	2,700	1,730	1,730	553	O.K
	A2	5,678	1,586	2,060	1,586	828	O.K
용두천교	P1	4,703	2,700	1,730	1,730	536	O.K
	A2	1,932	2,700	1,557	1,557	878	O.K
백현교	A2	2,257	1,586	2,060	1,586	886	O.K
호죽1교(옥산)	A1	1,364	1,586	2,060	1,364	971	O.K
	A2	1,944	1,586	2,060	1,586	974	O.K
호죽1교(오창)	A1	1,385	1,586	2,060	1,385	920	O.K
	A2	1,956	1,586	2,060	1,586	924	O.K
호죽2교(옥산)	A1	3,194	1,586	2,060	1,586	738	O.K
	A2	4,892	1,586	2,060	1,586	711	O.K
호죽2교(오창)	A1	2,086	1,586	2,060	1,586	666	O.K
	A2	2,022	1,586	2,060	1,586	718	O.K
서오창IC Ramp-A1교	A2	3,907	1,586	2,060	1,586	929	O.K
서오창IC Ramp-A2교	A1	2,248	1,586	2,060	1,586	899	O.K
	A2	2,197	1,586	2,060	1,586	873	O.K
산수교(옥산)	A1	2,630	2,700	1,644	1,644	745	O.K
산수교(오창)	A1	4,694	2,700	1,644	1,644	776	O.K
복현1교	A2	4,554	1,586	2,060	1,586	825	O.K
복현2교	A1	5,699	1,586	2,060	1,586	702	O.K
	A2	5,603	1,586	2,060	1,586	805	O.K
복현3교	A2	6,276	1,586	2,060	1,586	873	O.K
오창JCT Ramp-D교	A1	2,086	1,586	2,060	1,586	621	O.K
	P1	1,878	2,700	1,730	1,730	566	O.K
	P5	5,319	2,700	1,730	1,730	652	O.K
	P7	5,404	2,700	1,730	1,730	786	O.K
	P8	5,497	2,700	1,730	1,730	915	O.K
	P9	5,548	2,700	1,730	1,730	810	O.K
수락천교	A1	4,309	1,586	2,060	1,586	847	O.K
	A2	4,274	1,586	2,060	1,586	852	O.K

8.6.4 말뚝기초 침하량 검토

가. 말뚝기초 침하량 산정방법

1) 반경험적 방법에 의한 침하량 산정 : Vesic(1977)

$$S_t = S_s + S_p + S_{ps}$$

① 말뚝자체의 압축으로 인한 침하 S_s

$$S_s = (Q_{ps} + \alpha_s \times Q_{fs}) \frac{L}{A E_p}$$

여기서, Q_{ps} : 작용하중 상태하에서 말뚝선단에 전달된 하중(힘단위)

Q_{fs} : 작용하중 상태하에서 주면마찰력에 전달된 하중(힘단위)

α_s : 말뚝주면마찰력 분포특성에 따른 계수

E_p : 말뚝의 탄성계수

L : 말뚝길이

A : 말뚝의 단면적

② 말뚝선단 하중에 의한 침하 S_p

$$S_p = \frac{C_p Q_{ps}}{B\ q_p}$$

여기서, q_p : 말뚝의 극한 선단지지력

C_p : 경험계수

B : 말뚝직경

Q_{ps} : 말뚝에 설계하중이 재하되었을 때 말뚝선단부에 전달되는 하중

〈경험계수 C_p〉

흙의종류	타입말뚝	굴착말뚝
사질토(조밀함~느슨함)	0.02~0.04	0.09~0.18
점토(강성~연약)	0.02~0.03	0.03~0.06
실트(조밀함~느슨함)	0.03~0.05	0.09~0.12

③ 말뚝주변의 지반침하로 인한 말뚝침하 S_3

$$S_3 = \frac{C_s Q_{fs}}{L_b\ q_p}$$

여기서, $C_s = [0.93 + 0.16\sqrt{L_b/B}]\, C_p$

Q_{fs} : 말뚝에 설계하중이 재하되었을 때 말뚝주변부의 하중

L_b : 지중에 매입된 말뚝길이

2) 경험적 방법에 의한 침하량 산정 : Vesic(1970, 1977)

$$S_t = \frac{B}{100} + \frac{Q_{ba} L}{A\ E_P}$$

여기서, Q_{ba} : 작용하중

E_p : 말뚝의 탄성계수

B : 말뚝직경

나. 말뚝기초 침하량 산정결과

교량명	기초 위치	지지층	구 조 물 기초설계	경험적 방 법	침하량 (mm)	허용침하량 (mm)	판정
옥산JCT Ramp-A교	P2	풍화암	5.68	5.10	5.68	25.0	O.K
	A2	연 암	10.33	9.84	10.33	25.0	O.K
옥산JCT Ramp-C교	A1	연 암	12.61	8.91	12.61	25.0	O.K
	P1	연 암	0.96	5.11	5.11	25.0	O.K
	P2	연 암	2.54	5.11	5.11	25.0	O.K
	A2	연 암	7.62	5.21	7.62	25.0	O.K
옥산JCT Ramp-D교	A1	풍화암	11.93	8.18	11.93	25.0	O.K
	P1	풍화암	8.01	5.20	8.01	25.0	O.K
	A2	풍화암	6.17	5.18	6.17	25.0	O.K
병천천교(옥산방향)	A1	연 암	10.16	9.02	10.16	25.0	O.K
	P1	연 암	2.87	5.15	5.15	25.0	O.K
	P2	연 암	3.46	5.12	5.12	25.0	O.K
	P3	풍화암	5.57	5.14	5.57	25.0	O.K
	P4	풍화암	5.22	5.12	5.22	25.0	O.K
병천천교(오창방향)	A1	연 암	9.82	8.39	9.82	25.0	O.K
	P1	연 암	3.30	5.23	5.23	25.0	O.K
	P2	연 암	3.31	5.13	5.13	25.0	O.K
	P3	풍화암	3.93	5.11	5.11	25.0	O.K
	P4	풍화암	3.61	5.11	5.11	25.0	O.K
	A2	연 암	5.25	5.14	5.25	25.0	O.K
상장남교(옥산방향)	P1	연 암	2.03	5.10	5.10	25.0	O.K
	A2	연 암	2.76	5.30	5.30	25.0	O.K
상장남교(오창방향)	P1	연 암	2.05	5.10	5.10	25.0	O.K
	A2	연 암	2.81	5.31	5.31	25.0	O.K
용두천교	A1	풍화암	11.14	7.93	11.14	25.0	O.K
	P1	연 암	2.13	5.10	5.10	25.0	O.K
	P2	풍화암	3.89	5.16	5.16	25.0	O.K
	A2	풍화암	9.47	9.43	9.47	25.0	O.K
백현교	A1	풍화암	13.98	8.92	13.98	25.0	O.K
	A2	연 암	7.25	5.37	7.25	25.0	O.K
호죽1교(옥산방향)	A1	연 암	4.55	5.38	5.38	25.0	O.K
	A2	연 암	9.22	5.35	9.22	25.0	O.K

교량명	기초 위치	지지층	구 조 물 기초설계	경험적 방 법	침하량 (mm)	허용침하량 (mm)	판정
호죽1교(오창방향)	A1	연 암	12.24	5.39	12.24	25.0	O.K
	A2	연 암	8.70	5.35	8.70	25.0	O.K
호죽2교(옥산방향)	A1	연 암	4.23	5.21	5.21	25.0	O.K
	A2	연 암	2.70	5.20	5.20	25.0	O.K
호죽2교(오창방향)	A1	연 암	5.78	5.20	5.78	25.0	O.K
	A2	연 암	6.46	5.21	6.46	25.0	O.K
서오창IC Ramp-A1교	A1	풍화암	12.90	8.39	12.90	25.0	O.K
	A2	연 암	4.48	5.34	5.34	25.0	O.K
서오창IC Ramp-A2교	A1	연 암	7.38	5.32	7.38	25.0	O.K
	A2	연 암	7.35	5.36	7.35	25.0	O.K
양청교	A2	풍화암	5.25	5.23	5.25	25.0	O.K
양지교	A1	풍화암	13.50	8.49	13.50	25.0	O.K
	A2	풍화암	13.61	8.65	13.61	25.0	O.K
산수교(옥산방향)	A1	연 암	6.34	8.10	8.10	25.0	O.K
산수교(오창방향)	A1	연 암	5.43	8.56	8.56	25.0	O.K
복현1교	A1	풍화암	5.32	5.20	5.32	25.0	O.K
	A2	연 암	3.50	5.37	5.37	25.0	O.K
복현2교	A1	연 암	2.39	5.28	5.28	25.0	O.K
	A2	연 암	2.72	5.25	5.25	25.0	O.K
복현3교	A1	풍화암	6.11	5.34	6.11	25.0	O.K
	P1	풍화암	3.32	5.16	5.16	25.0	O.K
	A2	연 암	2.77	5.39	5.39	25.0	O.K
오창JCT Ramp-A교	A1	풍화암	12.41	9.25	12.41	25.0	O.K
	P1	풍화암	3.47	5.24	5.24	25.0	O.K
	A2	풍화암	11.35	8.41	11.35	25.0	O.K
오창JCT Ramp-C교	A1	풍화암	4.64	5.30	5.30	25.0	O.K
	P1	풍화암	5.03	5.09	5.09	25.0	O.K
오창JCT Ramp-D교	A1	연 암	5.49	5.20	5.49	25.0	O.K
	P1	연 암	5.49	5.10	5.49	25.0	O.K
	P5	연 암	2.30	5.13	5.13	25.0	O.K
	P6	풍화암	5.26	5.17	5.26	25.0	O.K
	P7	연 암	2.78	5.21	5.21	25.0	O.K
	P8	연 암	3.21	5.26	5.26	25.0	O.K
	P9	연 암	2.82	5.23	5.23	25.0	O.K
	A2	풍화암	10.36	7.76	10.36	25.0	O.K
수락천교	A1	연 암	3.71	5.31	5.31	25.0	O.K
	A2	연 암	3.73	5.28	5.28	25.0	O.K

8.6.5 말뚝기초 수평지지력 검토

가. 수평지반반력계수(k_h)산정방법

1) 도로교설계기준

$$k_h = k_{ho}(B_H/30)^{(-\frac{3}{4})} = 0.34\alpha E_o^{1.1} d^{-0.31} EI^{-0.1}$$

여기서, k_{ho} : 직경 30cm 강체원판에 의한 재하시험 값에 상당하는 수평방향 지반반력계수

α : 지반반력계수 추정에 쓰이는 계수 d : 말뚝직경

E_o : 표에 의해 추정한 설계대상 위치에서의 지반변형계수

B_H : 하중작용 방향에 작용하는 기초의 환산재하폭(m)

〈E_o와 α〉

시험방법에 의한 변형계수(kg/㎠)	α	
	평상시	지진시
지름 30cm의 강체원판에 의한 평판재하시험을 반복시킨 곡선에서 구간 변형계수의 1/2	1	2
보링공내에서 측적한 변형계수	4	8
공시체의 1축 또는 3축 압축시험에서 구한 변형계수	4	8
표준관입시험의 N값에서 $E_o = 28N$으로 추정한 변형계수	1	2

〈토질조건에 따른 변형계수 E_o〉

흙의 종류	E_o		
	NAVFAC DM-7	도로교설계기준	한국지반공학회
실트,모래질 실트	4N	28N	12N
가는 내지 중간모래	7N		
굵은모래, 자갈이 함유된모래	10N		
모래질 자갈, 자갈	12N ~ 15N		

주) 도로교설계기준에서 제시한 $E_o = 28N$은 과대한 값을 나타내므로 안전측을 고려하여 NAVFAC DM-7(Schmertmann)의 제안식의 E_o/N값을 적용함.

2) Hukuoka 제안식(표준관입시험 N값 이용)

$k_h = 0.691N^{0.406}$(kg/cm^3) 여기서, N : 표준관입시험 N값

3) 수평반력계수 산정방법 선정

- 수평반력계수 산정 도로교설계기준 제안식과 Hukuoka제안식 중 최소값을 갖는 도로교 설계기준 제안식을 적용함(단, E_o값은 NAVFAC DM-7 제안식 적용).

나. 군말뚝효과 검토

1) 도로교 설계기준

• 말뚝중심간격이 2.5D 이상일 경우 말뚝의 수평지반반력계수의 작용에 있어 군말뚝효과를 고려하지 않고 있으며, 부득이 2.5D이하인 경우 다음과 같은 보정계수를 적용함.

$$\mu = 1 - 0.2(2.5 - \frac{L}{D})$$

여기서, μ : 보정계수
L : 말뚝중심간격
D : 말뚝직경

2) 구조물기초설계기준(Canadian Foundation E. Manual, 1992)

• 하중이 작용하는 방향의 말뚝 중심간 거리가 8D이하일 때 지반반력계수의 값을 줄여서 사용하며 하중직각방향 말뚝간 거리가 2.5D이상이면 그 방향의 무리말뚝 효과를 고려하지 않음.

〈하중방향 말뚝간격에 따른 수평지반반력계수 감소계수〉

하중방향 말뚝간격	수평지반반력계수의 감소계수
8D	1.00
6D	0.70
4D	0.40
3D	0.25

3) 검토결과

• 각종 연구결과 말뚝의 중심 간격이 말뚝지름의 2.5배 이상이면 군말뚝의 영향은 크지 않음

• 대부분의 말뚝기초는 풍화암 및 연암층에 지지되어 있고 말뚝의 중심 간격이 지름의 2.5배 이상으로 연직방향하중에 대하여 군말뚝 효과는 고려하지 않음

다. 수평지지력 산정방법

• 토압론에 의한 극한평형법(Broms, 1664)과 지반을 탄성스프링으로 가정하여 해석하는 탄성지반반력법(Chang)을 적용하여 수평방향 허용지지력을 산정하고, 이를 말뚝의 수평방향 반력과 비교하여 말뚝의 안정성 여부를 검토함.

1) Broms 방법(극한평형법)

• Broms는 수평하중을 받는 연직말뚝을 긴말뚝, 중간말뚝, 짧은말뚝으로 나누고, 말뚝머리 구속조건을 자유와 회전구속(고정)으로 분류하여 각각의 파괴형태를 가정하여 해석할 수 있다.

• 말뚝의 극한모멘트(My)로부터 제안된 수식을 이용하여 말뚝구속조건에 따른 극한 수평지지력을 산정한 후 안전율(상시 FS=2.5, 지진시 FS=1.5)을 적용하여 허용수평지지력을 산정함.(FHWA기준)

<수평지지력 산정(말뚝머리 회전구속 조건)>

구 분	말뚝구분		수평지지력
사질토	짧은말뚝	$\eta L < 2$	$Q_u = \frac{3}{2} K_p \gamma d L^2$
	중간말뚝	$2 \le \eta L \le 4$	$\left(\frac{Q_u}{K_p d^3 \gamma}\right)\left(\frac{L}{d}\right) - \frac{1}{2}\left(\frac{L}{d}\right)^3 = \frac{M_y}{K_p d^4 \gamma}$
	긴말뚝	$\eta L > 4$	$\frac{Q_u}{K_p d^3 \gamma} = 2.38\left(\frac{M_y}{K_p d^4 \gamma}\right)^{\frac{2}{3}}$
점성토	짧은말뚝	$\beta L \le 2.25$	$Q_u = 9 c_u d^2 \left(\frac{L}{d} - 1.5\right)$
	중간말뚝	–	$\left(\frac{Q_u}{c_u d^2}\right)^2 + \left(27 + 18\frac{L}{d}\right)\left(\frac{Q_u}{c_u d^2}\right) - 81\left(\frac{L}{d} - 1.5\right)^2 = 36\left(\frac{M_y}{c_u d^3}\right)$
	긴말뚝	$\beta L > 2.25$	$\left(\frac{Q_u}{c_u d^2}\right)^2 + 27\left(\frac{Q_u}{c_u d^2}\right) = 36\left(\frac{M_y}{c_u d^3}\right)$

$\beta = \left(\frac{k_h d}{4EI}\right)^{\frac{1}{4}} (\mathrm{cm}^{-1})$ $\quad \eta = \left(\frac{n_h}{EI}\right)^{\frac{1}{5}} (\mathrm{cm}^{-1})$ $\quad n_h = \frac{k_h d}{z} (\mathrm{kg/cm}^3)$

여기서, k_h : 수평지반반력계수 $\quad c_u$: 비배수전단강도

Q_u : 극한 수평저항력 $\quad EI$: 말뚝의 휨 강성

d : 말뚝의 직경 $\quad \gamma$: 흙의 단위중량

z : 깊이 $\quad L$: 말뚝의 근입장

M_y : 항복휨모멘트 $\quad \eta$: 말뚝 특성치

K_p : $(1+\sin\phi)/(1-\sin\phi)$

2) Chang 방법(탄성지반반력법)

• 말뚝을 탄성지반에 지지된 보라고 가정하여 허용수평변위를 기준으로 수평지지력을 역산하는 방법.(긴말뚝 조건에 적용)

$$H_a = k_h \frac{D}{\beta} y$$

여기서, H_a : 허용수평지지력

k_h : 수평지반반력계수

D : 말뚝직경

β : $\sqrt[4]{\frac{k_h D}{4EI}}$

y : 기준변위량(상시, 지진시 : 1.5cm)

3) Reese & Matlock 방법(탄성지반반력법)

- 말뚝을 탄성지반에 지지된 보로 가정하여 변위로부터 지지력을 산정하는 방법
- 긴말뚝 및 짧은말뚝으로 구분하여 다층지반에 적용 가능함.

$$H_a = (y_o\, EI)/(F_y\, T^3)$$

여기서, H_a : 허용수평지지력
y_o : 기준변위량(상시, 지진시 : 1.5cm)
F_y : Deflection coefficient
T : 상대강성계수$(((EI/n_h)^{0.2})$
n_h : 지반반력상수$(k_h D/z)$
EI : 말뚝의 휨 강성
$Z_{\max} = z/T$

〈F_y(Deflection coefficient)산정〉

$Z_{\max} = z/T$	F_y	F_m
0	1.10	−1.05
2	1.10	−1.05
3	1.03	−0.97
4	0.95	−0.93
5	0.93	−0.93
10	0.93	−0.93

라. 수평지지력 산정결과

교량명	기초 위치	허용수평지지력(kN/본)			적 용 (kN/본)	말뚝본당 수평반력 (kN/본)	판정
		R&M	Broms	Chang			
옥산JCT Ramp-A교	P2	1,394.7	626.2	771.6	626.2	28.3	O.K
	A2	261.9	147.1	143.2	143.2	128.8	O.K
옥산JCT Ramp-C교	A1	261.9	147.2	143.2	143.2	100.6	O.K
	P1	807.4	393.1	386.1	386.1	43.2	O.K
	P2	1,409.5	460.6	771.6	460.6	43.1	O.K
	A2	465.8	151.6	256.0	151.6	106.6	O.K
옥산JCT Ramp-D교	A1	261.9	147.4	143.2	143.2	102.2	O.K
	P1	850.8	460.0	386.1	386.1	23.9	O.K
	A2	877.6	161.7	593.6	161.7	112.5	O.K
병천천교(옥산방향)	A1	261.9	147.0	143.2	143.2	117.9	O.K
	P1	989.9	358.5	456.5	358.5	10.9	O.K
	P2	807.4	246.0	380.2	246.0	7.3	O.K
	P3	525.4	278.7	254.7	254.7	13.9	O.K
	P4	832.9	460.6	427.9	427.9	14.4	O.K
병천천교(오창방향)	A1	261.9	147.1	143.2	143.2	113.2	O.K
	P1	850.8	358.3	380.2	358.3	10.6	O.K
	P2	685.2	245.9	331.3	245.9	8.3	O.K
	P3	807.4	246.1	451.3	246.1	14.0	O.K
	P4	685.2	246.2	355.9	246.2	14.3	O.K
	A2	475.8	126.2	256.0	126.2	79.7	O.K
상장남교(옥산방향)	P1	807.4	246.3	380.2	246.3	41.4	O.K
	A2	475.8	151.1	256.0	151.1	111.4	O.K

교량명	기초위치	허용수평지지력(kN/본)			적 용 (kN/본)	말뚝본당 수평반력 (kN/본)	판정
		R&M	Broms	Chang			
상장남교(오창방향)	P1	685.2	246.3	355.9	246.3	34.3	O.K
	A2	475.8	151.1	256.0	151.1	112.9	O.K
용두천교	A1	261.9	147.3	143.2	143.2	85.9	O.K
	P1	807.4	246.4	386.1	246.4	31.7	O.K
	P2	850.8	359.5	386.1	359.5	26.4	O.K
	A2	261.9	146.9	143.2	143.2	110.1	O.K
백현교	A1	261.9	147.0	143.2	143.2	105.6	O.K
	A2	475.8	151.0	256.0	151.0	111.7	O.K
호죽1교(옥산방향)	A1	475.8	180.7	255.6	180.7	121.5	O.K
	A2	475.8	180.7	255.6	180.7	121.4	O.K
호죽1교(오창방향)	A1	475.8	180.8	255.6	180.8	116.5	O.K
	A2	475.8	180.8	255.6	180.8	116.4	O.K
호죽2교(옥산방향)	A1	470.7	181.3	255.6	181.3	116.8	O.K
	A2	470.7	126.0	293.5	126.0	114.0	O.K
호죽2교(오창방향)	A1	470.7	181.5	255.6	181.5	109.9	O.K
	A2	470.7	126.0	293.5	126.0	114.0	O.K
서오창IC Ramp-A1교	A1	261.9	147.1	143.2	143.2	94.7	O.K
	A2	475.8	150.9	256.0	150.9	111.8	O.K
서오창IC Ramp-A2교	A1	475.8	150.9	256.0	150.9	138.5	O.K
	A2	475.8	151.0	256.0	151.0	107.5	O.K
양청교	A2	475.8	126.2	293.5	126.2	114.0	O.K
양지교	A1	261.9	176.2	143.2	143.2	70.5	O.K
	A2	261.9	176.2	143.2	143.2	65.8	O.K
산수교(옥산방향)	A1	452.6	157.3	240.9	157.3	107.8	O.K
산수교(오창방향)	A1	452.6	157.2	240.9	157.2	110.4	O.K
복현1교	A1	475.8	161.9	256.0	161.9	92.2	O.K
	A2	475.8	161.4	256.0	161.4	119.6	O.K
복현2교	A1	475.8	161.7	256.0	161.7	114.8	O.K
	A2	475.8	156.5	293.5	156.5	127.3	O.K
복현3교	A1	475.8	161.4	256.0	161.4	154.3	O.K
	P1	850.8	341.3	386.1	341.3	33.8	O.K
	A2	475.8	161.3	256.0	161.3	143.4	O.K
오창JCT Ramp-A교	A1	261.9	157.2	143.2	143.2	101.9	O.K
	P1	630.1	340.9	306.3	306.3	9.7	O.K
	A2	261.9	157.4	143.2	143.2	107.7	O.K
오창JCT Ramp-C교	A1	475.8	156.8	255.6	156.8	112.7	O.K
	P1	791.2	220.1	386.1	220.1	21.1	O.K
오창JCT Ramp-D교	A1	475.8	131.5	293.5	131.5	67.5	O.K
	P1	685.2	226.9	336.8	226.9	37.2	O.K
	P5	604.1	242.3	306.3	242.3	40.5	O.K
	P6	630.1	340.3	306.3	306.3	29.9	O.K
	P7	850.8	459.4	386.1	386.1	33.4	O.K
	P8	850.8	372.3	386.1	372.3	40.5	O.K
	P9	630.1	339.5	306.3	306.3	39.9	O.K
	A2	452.6	157.5	240.9	157.5	115.4	O.K
수락천교	A1	475.8	181.0	255.6	181.0	61.3	O.K
	A2	475.8	181.0	255.6	181.0	61.3	O.K

8.6.6 말뚝기초 수평변위 검토

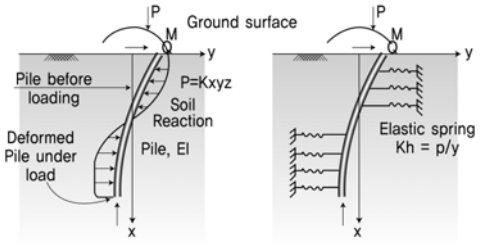
- 말뚝기초에 가해진 수평력에 의해 발생하는 수평변위는 말뚝자체의 강성으로 저항하는 동시에 말뚝주변 지반의 수평저항력으로 추가변위 발생을 억제한다.
- 본 검토에서는 탄성지반반력법에 의한 Chang 방법과 Reese & Matlock 방법에 의해 수평변위를 산정하였다.

가. 수평변위 산정방법

1) Chang 방법

$$y_{\max} = \frac{H}{4EI\beta^3} \text{ (두부고정시)}$$

여기서, H : 말뚝1본당 작용하는 수평력
EI : 말뚝의 휨 강성
β : 말뚝의 특성치($\sqrt[4]{\frac{k_h D}{4EI}}$)



2) Reese & Matlock 방법

$$y_{\max} = \frac{F_y H T^3}{EI}$$

여기서, H : 말뚝 1본당 작용하는 수평력
EI : 말뚝의 휨 강성
F_y : Deflection coefficient

3) 말뚝두부의 기준 변위량 적용기준

- 두부고정말뚝의 횡방향 허용지지력 계산 및 횡방향 지지력 작용시 최대 변위량을 산정하기 위하여 말뚝두부에 대한 기준 변위량이 필요하며 아래 기준을 적용

구 분	상시, 지진시(mm)	비 고
말뚝두부의 기준 변위량	15.0	도로교시방서, 도로교설계기준(2008)

나. 수평변위 산정결과

교 량 명	기초 위치	허용수평변위(mm)		적 용 (mm)	허용기준 (mm)	판 정
		Chang	R&M			
옥산JCT Ramp-A교	P2	0.55	0.30	0.55	15.0	O.K
	A2	13.49	7.38	13.49	15.0	O.K
옥산JCT Ramp-C교	A1	10.54	5.76	10.54	15.0	O.K
	P1	1.68	0.80	1.68	15.0	O.K
	P2	0.84	0.46	0.84	15.0	O.K
	A2	6.25	3.43	6.25	15.0	O.K
옥산JCT Ramp-D교	A1	10.70	5.85	10.70	15.0	O.K
	P1	0.93	0.42	0.93	15.0	O.K
	A2	2.84	1.92	2.84	15.0	O.K

교 량 명	기초 위치	허용수평변위(mm)		적 용 (mm)	허용기준 (mm)	판 정
		Chang	R&M			
병천천교(옥산방향)	A1	12.35	6.75	12.35	15.0	O.K
	P1	0.36	0.16	0.36	15.0	O.K
	P2	0.29	0.14	0.29	15.0	O.K
	P3	0.82	0.40	0.82	15.0	O.K
	P4	0.51	0.26	0.51	15.0	O.K
병천천교(오창방향)	A1	11.86	6.48	11.86	15.0	O.K
	P1	0.42	0.19	0.42	15.0	O.K
	P2	0.38	0.18	0.38	15.0	O.K
	P3	0.47	0.26	0.47	15.0	O.K
	P4	0.60	0.31	0.60	15.0	O.K
	A2	4.67	2.51	4.67	15.0	O.K
상장남교(옥산방향)	P1	1.63	0.77	1.63	15.0	O.K
	A2	6.53	3.51	6.53	15.0	O.K
상장남교(오창방향)	P1	1.44	0.75	1.44	15.0	O.K
	A2	6.61	3.56	6.61	15.0	O.K
용두천교	A1	9.00	4.92	9.00	15.0	O.K
	P1	1.23	0.59	1.23	15.0	O.K
	P2	1.03	0.47	1.03	15.0	O.K
	A2	11.53	6.31	11.53	15.0	O.K
백현교	A1	11.06	6.05	11.06	15.0	O.K
	A2	6.54	3.52	6.54	15.0	O.K
호죽1교(옥산방향)	A1	7.13	3.83	7.13	15.0	O.K
	A2	7.13	3.83	7.13	15.0	O.K
호죽1교(오창방향)	A1	6.84	3.67	6.84	15.0	O.K
	A2	6.83	3.67	6.83	15.0	O.K
호죽2교(옥산방향)	A1	6.85	3.72	6.85	15.0	O.K
	A2	5.83	3.63	5.83	15.0	O.K
호죽2교(오창방향)	A1	6.45	3.50	6.45	15.0	O.K
	A2	5.83	3.63	5.83	15.0	O.K

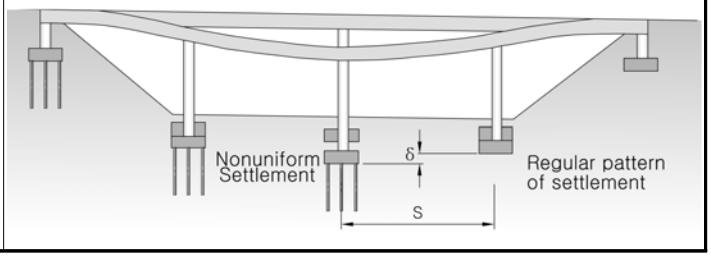
교 량 명	기초 위치	허용수평변위(mm)		적 용 (mm)	허용기준 (mm)	판 정
		Chang	R&M			
서오창IC Ramp-A1교	A1	9.91	5.42	9.91	15.0	O.K
	A2	6.55	3.52	6.55	15.0	O.K
서오창IC Ramp-A2교	A1	8.11	4.37	8.11	15.0	O.K
	A2	6.30	3.39	6.30	15.0	O.K
양청교	A2	5.83	3.59	5.83	15.0	O.K
양지교	A1	7.38	4.04	7.38	15.0	O.K
	A2	6.89	3.77	6.89	15.0	O.K
산수교(옥산방향)	A1	6.71	3.57	6.71	15.0	O.K
산수교(오창방향)	A1	6.87	3.66	6.87	15.0	O.K
복현1교	A1	5.40	2.91	5.40	15.0	O.K
	A2	7.01	3.77	7.01	15.0	O.K
복현2교	A1	6.73	3.62	6.73	15.0	O.K
	A2	6.50	4.01	6.50	15.0	O.K
복현3교	A1	9.04	4.86	9.04	15.0	O.K
	P1	1.31	0.60	1.31	15.0	O.K
	A2	8.40	4.52	8.40	15.0	O.K
오창JCT Ramp-A교	A1	10.67	5.84	10.67	15.0	O.K
	P1	0.48	0.23	0.48	15.0	O.K
	A2	11.28	6.17	11.28	15.0	O.K
오창JCT Ramp-C교	A1	6.61	3.55	6.61	15.0	O.K
	P1	0.82	0.40	0.82	15.0	O.K
오창JCT Ramp-D교	A1	3.45	2.13	3.45	15.0	O.K
	P1	1.66	0.82	1.66	15.0	O.K
	P5	1.99	1.01	1.99	15.0	O.K
	P6	1.46	0.71	1.46	15.0	O.K
	P7	1.30	0.59	1.30	15.0	O.K
	P8	1.57	0.71	1.57	15.0	O.K
	P9	1.95	0.95	1.95	15.0	O.K
	A2	7.18	3.82	7.18	15.0	O.K
수락천교	A1	3.60	1.93	3.60	15.0	O.K
	A2	3.60	1.93	3.60	15.0	O.K

8.7 기초의 부등침하 검토

가. 검토개요

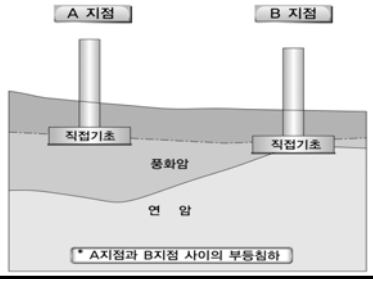
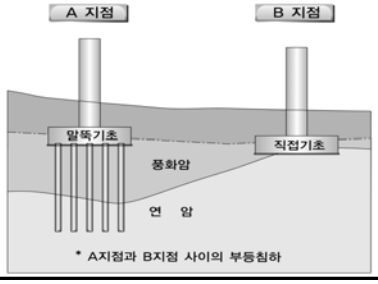
- 기초의 부등침하는 지반조건이 급격히 변하거나 동일 교량내에 기초형식이 변하는 구간(직접기초→말뚝기초, 말뚝기초→직접기초)에서 발생할 가능성이 있으므로 이에 대해서 검토하였다.
- Moulton & Barker의 연속교와 단순교 허용각 변위기준을 통해 부등침하에 대한 안정성 검토 실시하였으며 부등침하에 따른 각변위는 $\delta/L<0.004$(연속교)로 적용하였다.

나. 각 변위량 산정방법

부등침하 판정을 위한 각변위량	교량의 부등침하 개요도
$$A=\frac{\delta}{S}$$ 여기서, A : 각변위량 δ : 각 교각의 침하량 차 S : 경간길이	

다. 검토대상 및 기초현황

1) 검토대상

상이한 지지층 상의 동일한 기초형식	같은 지지층내 상이한 기초형식
	

2) 기초현황

검토대상	기초위치	지지층	기초형식	선정사유
산수교 (옥산방향)	P3	연 암	직접기초	•지지층이 상이한 경우
	A2	풍화암	직접기초	
서오창IC Ramp-A1교	A1	풍화암	말뚝기초	•지지층이 상이한 경우
	A2	연 암	말뚝기초	
양청교	A1	풍화암	직접기초	•기초형식이 상이한 경우
	A2	풍화암	말뚝기초	

라. 허용 각변위 기준 선정

1) Criteria for Magnitudes of Angular Distortion by Moulton et al.

• 허용각변위 기준, 도로교표준시방서 부록편(1996)

각 변 위	119개 연속교의 허용각변위에 대한 안전도	56개 단순교의 허용각변위에 대한 안전도
0.000 ~ 0.001	100%	98% (100%)
0.001 ~ 0.002	97%	98% (100%)
0.002 ~ 0.003	97%	98% (100%)
0.003 ~ 0.004	96%	98% (100%)
0.004 ~ 0.005	92%	98% (100%)
0.005 ~ 0.006	88%	96% (98%)
0.006 ~ 0.008	85%	93% (95%)
허 용 각 변 위	A = δ/L < 0.004	A = δ/L < 0.008

2) Manuals for Design of Bridge Foundation(TRB, 1991)

• 구조물 기초 설계기준 해설(2009)

각 변 위	연 속 교	단 순 교	구 조 물
허용 각변위	δ/L < 0.004	δ/L < 0.005	δ/L < 0.002
비 고	Moulton, et al.(1985)	Moulton, et al.(1985)	Bjerrum(1963)

3) 허용 각변위 선정

• 교량의 허용 각변위는 Moulton & Barker가 제안한 기준을 근거로 연속교인 경우 0.004를 적용.

• 허용부등침하량은 명확한 국내기준이 없으므로 교대상판 설계시 부정정구조물의 지점 침하량을 고려하여 20㎜로 적용.(도로교설계요령, 제3권 교량)

마. 부등침하 각변위 검토결과

검토대상	기초 위치	기초 형식	침하량 (mm)	부등침하량 (δ,mm)	경간거리 (m)	각변위(A)	판정
산수교 (옥산방향)	P3	직접기초	1.36	5.55	35.1	0.00016<0.004	O.K
	A2	직접기초	6.91				
서오창 IC Ramp-A1교	A1	말뚝기초	10.89	4.73	50.2	0.00009<0.004	O.K
	A2	말뚝기초	6.16				
양청교	A1	직접기초	18.11	12.48	25.1	0.00050<0.004	O.K
	A2	말뚝기초	5.63				

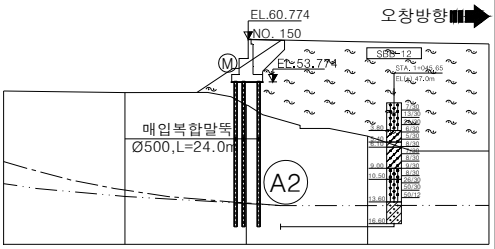
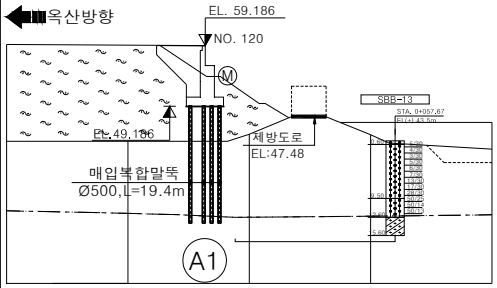
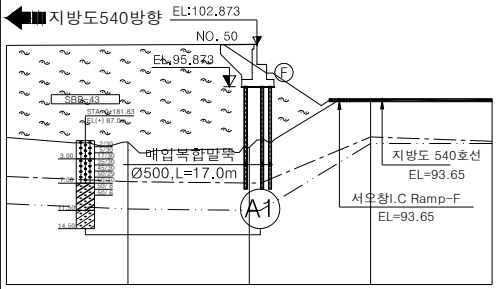
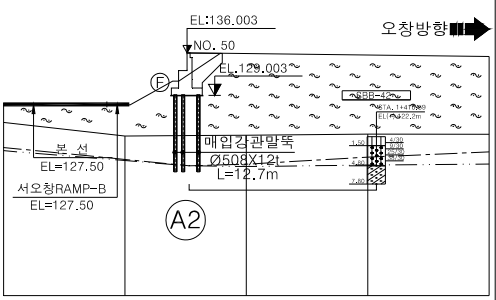
8.8 교대기초 안정성 검토

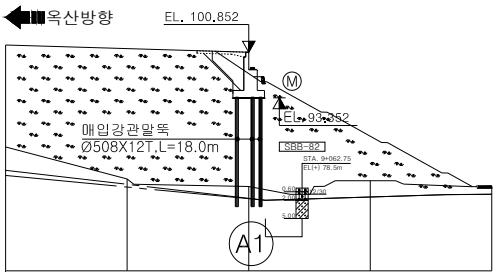
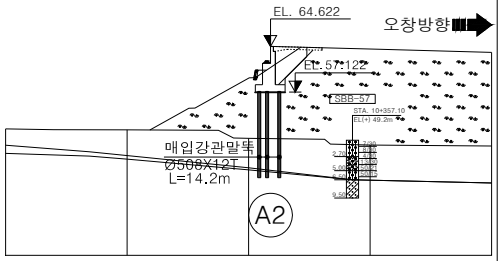
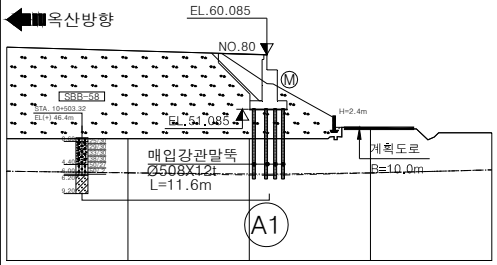
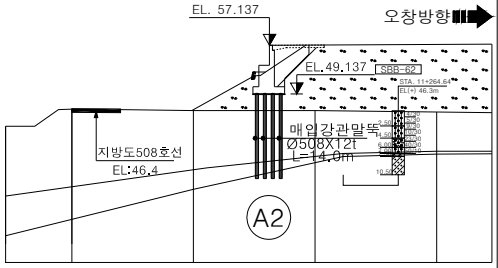
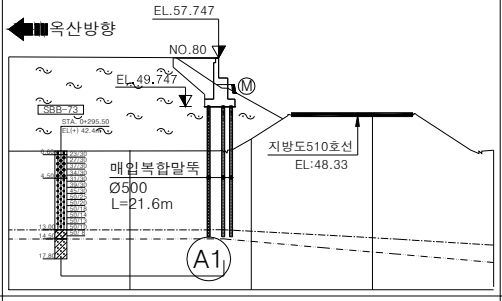
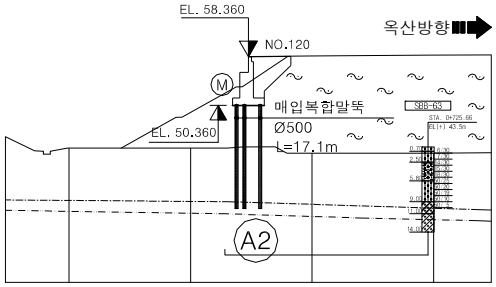
가. 검토개요

- 고성토 교대부의 기초지반은 교대배면에 쌓기로 인한 편재하중으로 측방토압을 받게 되며, 이러한 경우 말뚝기초는 수평변위가 발생되어 안정성에 영향을 미칠 수 있음.
- 측방토압을 고려한 안정성을 검토하기 위해 SLOPILE 프로그램을 이용하여 한계평형해석을 수행하였음.

나. 검토대상 및 기초현황

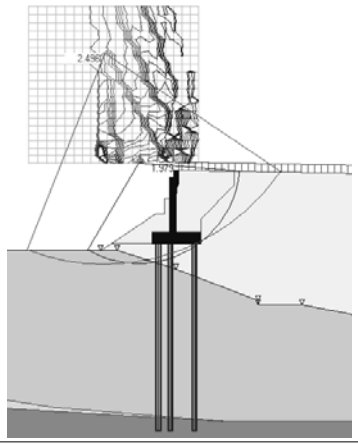
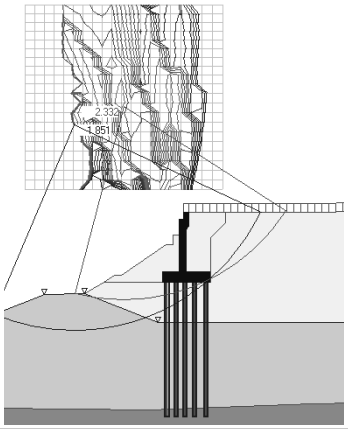
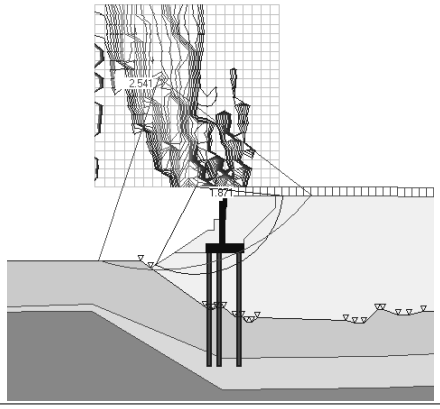
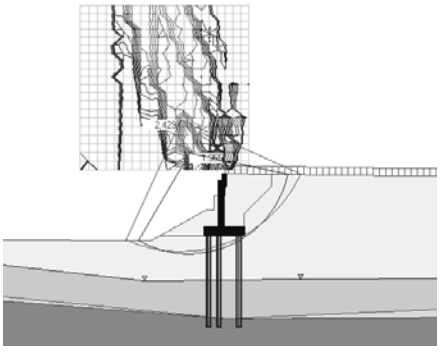
- 검토단면은 기초지반 특성과 쌓기고를 고려하여 선정함.

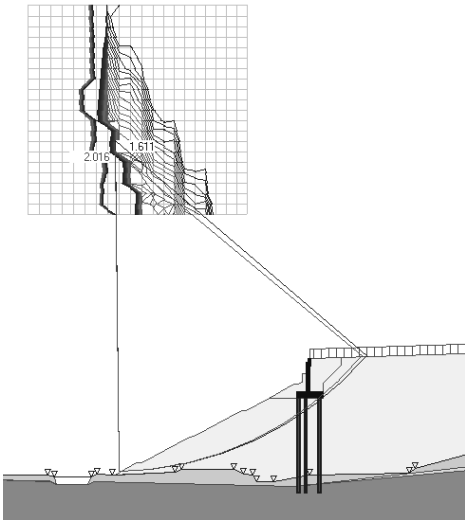
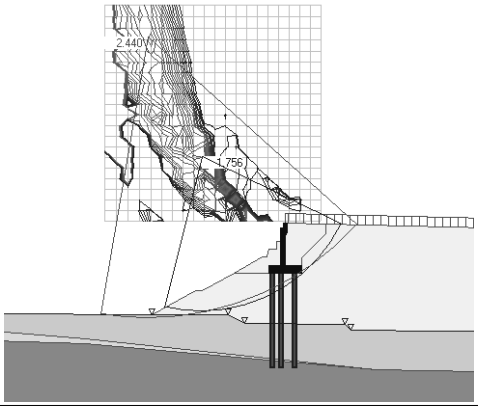
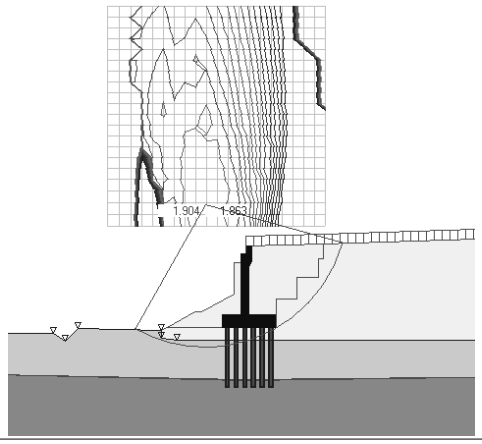
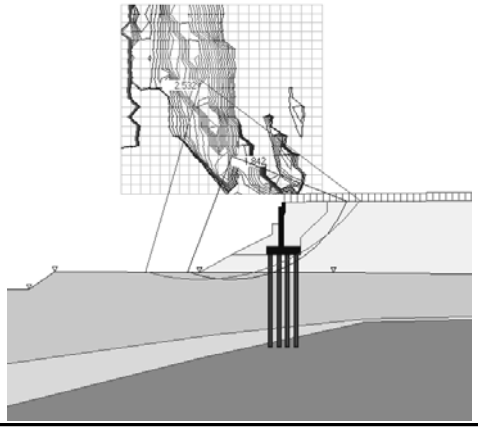
구 분	검토단면	검토현황
옥산JCT Ramp-A교		•검토단면 : 옥산JCT Ramp-A교 A2 •쌓기높이 : 15.2 m •말뚝길이 : 24.0 m •시 추 공 : SBB-12 •원지반 지층현황 : 매립층/충적층/풍화토/연암층
병천천교		•검토단면 : 병천천교 A1 •쌓기높이 : 16.0 m •말뚝길이 : 19.4 m •시 추 공 : SBB-13 •원지반 지층현황 : 전답층/풍화토/연암층
서오창IC Ramp-A1교		•검토단면 : 서오창IC Ramp-A1교 A1 •쌓기높이 : 17.3 m •말뚝길이 : 17.0 m •시 추 공 : SBB-43 •원지반 지층현황 : 붕적층/풍화토/풍화암/연암층
서오창IC Ramp-A2교		•검토단면 : 서오창IC Ramp-A2교 A2 •쌓기높이 : 13.5 m •말뚝길이 : 12.7 m •시 추 공 : SBB-42 •원지반 지층현황 : 붕적층/연암층

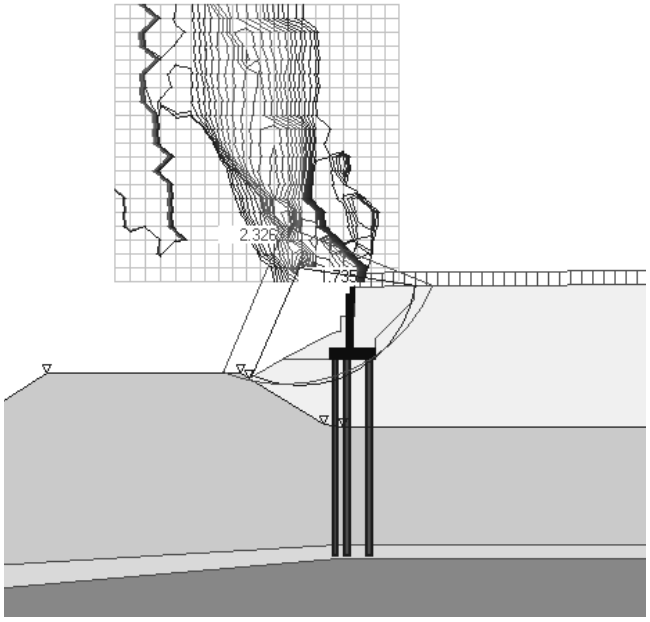
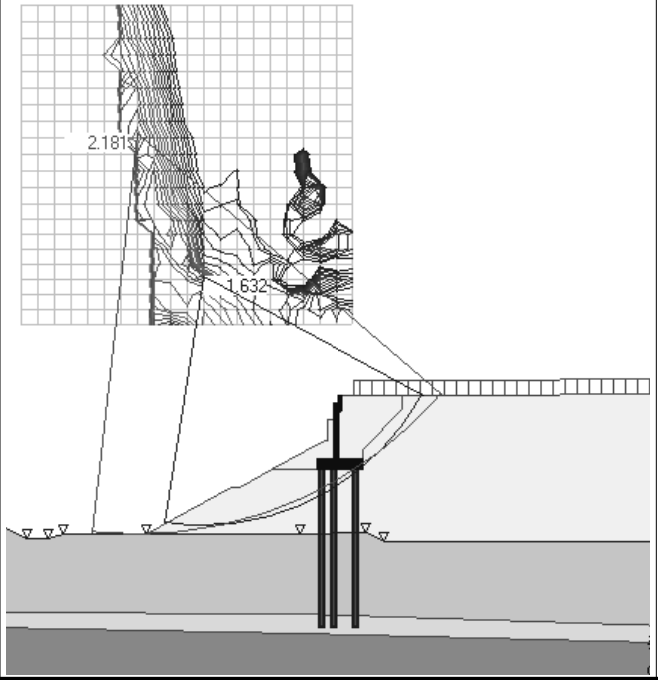
구 분	검토단면	검토현황
산수교		•검토단면 : 산수교 A1 •쌓기높이 : 22.1 m •말뚝길이 : 18.0 m •시 추 공 : SBB-82 •원지반 지층현황 : 전답층/풍화토/연암층
복현1교		•검토단면 : 복현1교 A2 •쌓기높이 : 15.1 m •말뚝길이 : 14.2 m •시 추 공 : SBB-57 •원지반 지층현황 : 전답층/충적측/풍화토/연암층
복현2교		•검토단면 : 복현2교 A1 •쌓기높이 : 14.2 m •말뚝길이 : 11.6 m •시 추 공 : SBB-58 •원지반 지층현황 : 매립층/충적층/풍화토/풍화암/연암층
복현3교		•검토단면 : 복현3교 A2 •쌓기높이 : 10.8 m •말뚝길이 : 14.0 m •시 추 공 : SBB-62 •원지반 지층현황 : 매립층/충적층/풍화토/풍화암/연암층
오창 JCT Ramp-A교		•검토단면 : 오창 JCT Ramp-A교 A1 •쌓기높이 : 15.5 m •말뚝길이 : 21.6 m •시 추 공 : SBB-73 •원지반 지층현황 : 전답층/매립층/풍화토/풍화암/연암층
오창 JCT Ramp-D교		•검토단면 : 오창 JCT Ramp-D교 A2 •쌓기높이 : 16.1 m •말뚝길이 : 17.1 m •시 추 공 : SBB-63 •원지반 지층현황 : 매립층/충적층/풍화토/풍화암/연암층

다. 한계평형해석 결과

1) 안정해석 결과

구 분	해석결과	안전율
옥산JCT Ramp-A교		•말뚝 미고려시 : FS = 1.979 > 1.5 … O.K •말뚝 고려시 : FS = 2.496 > 1.8 … O.K •지진시 : FS = 1.555 > 1.1 … O.K
병천천교		•말뚝 미고려시 : FS = 1.851 > 1.5 … O.K •말뚝 고려시 : FS = 2.332 > 1.8 … O.K •지진시 : FS = 1.435 > 1.1 … O.K
서오창IC Ramp-A1교		•말뚝 미고려시 : FS = 1.871 > 1.5 … O.K •말뚝 고려시 : FS = 2.541 > 1.8 … O.K •지진시 : FS = 1.472 > 1.1 … O.K
서오창IC Ramp-A2교		•말뚝 미고려시 : FS = 1.955 > 1.5 … O.K •말뚝 고려시 : FS = 2.429 > 1.8 … O.K •지진시 : FS = 1.524 > 1.1 … O.K

구 분	해석결과	안전율
산수교		•말뚝 미고려시 : FS = 1.611 > 1.5 … O.K •말뚝 고려시 : FS = 2.016 > 1.8 … O.K •지진시 : FS = 1.192 > 1.1 … O.K
복현1교		•말뚝 미고려시 : FS = 1.756 > 1.5 … O.K •말뚝 고려시 : FS = 2.440 > 1.8 … O.K •지진시 : FS = 1.339 > 1.1 … O.K
복현2교		•말뚝 미고려시 : FS = 1.863 > 1.5 … O.K •말뚝 고려시 : FS = 1.904 > 1.8 … O.K •지진시 : FS = 1.428 > 1.1 … O.K
복현3교		•말뚝 미고려시 : FS = 1.842 > 1.5 … O.K •말뚝 고려시 : FS = 2.532 > 1.8 … O.K •지진시 : FS = 1.436 > 1.1 … O.K

구 분	해석결과	안전율
오창 JCT Ramp-A교		•말뚝 미고려시 : FS = 1.735 > 1.5 … O.K •말뚝 고려시 : FS = 2.326 > 1.8 … O.K •지진시 : FS = 1.403 > 1.1 … O.K
오창 JCT Ramp-D교		•말뚝 미고려시 : FS = 1.632 > 1.5 … O.K •말뚝 고려시 : FS = 2.181 > 1.8 … O.K •지진시 : FS = 1.246 > 1.1 … O.K

2) 검토결과

- 국내에서 발생된 측방유동사례에 대한 연구결과에서 홍원표(1994)등은 말뚝효과 미고려시 FS=1.5, 고려시 FS=1.8의 기준안전율을 제안하였으며 본 검토시 이를 적용함.
- 한계평형해석결과, 안전율이 기준치 이상으로 교대를 포함한 쌓기부는 안정함.

8.9 교량기초 액상화 검토

8.9.1 지반의 액상화 검토

가. 개요

액상화란 느슨한 포화사질토가 비배수상태에서 급속한 진동하중을 받게 되면 과잉간극수압이 발생되어 유효응력이 감소됨에 따라 외력에 대한 전단저항을 상실하는 현상을 말한다. 본 설계에서는「기존 시설물의 기초 및 지반의 내진성능 평가 및 향상요령」의 기준에 따라, 국내 적용에 가장 적합한 것으로 알려진 Seed & Idriss방법을 이용하여 액상화 검토를 실시하였다.

나. 검토대상 교량 선정

1) 액상화 예비평가 기준

액상화 예비평가는 수집된 관련자료에 근거하여 지반의 액상화 가능성에 대하여 개괄적으로 판단하고 액상화 가능성이 없을 경우에는 액상화 평가를 생략하는 것으로 하였다. 다음의 경우에는 액상화에 대하여 안전한 것으로 판단하고 액상화 평가를 생략하였다.

① 지하수위 상부 지반
② 주상도상의 표준관입저항치(N)가 20 이상인 지반
③ 대상지반심도가 20m 이상인 지반
④ 소성지수(PI)가 10이상이고 점토성분이 20% 이상인 지반
⑤ 세립토 함유량이 35% 이상인 지반
⑥ 상대밀도가 80% 이상인 지반
⑦ 지진구역 Ⅱ에서의 내진 2등급 구조물
⑧ 지반분류가 S_A ~ S_D인 지반
⑨ 기타, 경제성을 위해서 내진 2등급 구조물에서는 전문가와 상의 후에 액상화 평가를 생략할 수 있다.

지반 분류	지반종류의 호칭	상부 30m에 대한 평균 지반 특성		
		전단파속도(m/s)	표준관입시험(회)	비배수전단강도(Su)
S_A	경암지반	1,500 초과	–	–
S_B	보통암지반	760~1,500		
S_C	매우 조밀한 토사, 연암지반	360~760	> 50	> 100
S_D	단단한 토사지반	180~360	15~50	50~100
S_E	연약한 토사지반	180 미만	< 15	< 50
S_F	부지 고유의 특성평가가 요구되는 지반			

2) 액상화 대상 교량 검토

액상화 발생가능성을 예비 평가한 결과 액상화 검토대상 위치는 아래와 같이 분석되었다.

< 액상화 가능성 예비평가 결과 >

교량명	교각명	흙의 분류	전단파속도주) (m/s)	검토내용	액상화 가능성
옥산JCT R-A교	A2(SBB-12)	세립토	949	지반분류가 S_B인 지반	평가생략
옥산JCT R-C교	A1(SBB-8)	세립토	936	세립토 함유량 35% 이상	평가생략
옥산JCT R-D교	A1(SBB-4)	세립토	944	지반분류가 S_B인 지반	평가생략
병천천교	A1(SBB-13)	조립토	990	지반분류가 S_B인 지반	평가생략
상장남교	A2(SBB-27)	조립토	1,179	지반분류가 S_B인 지반	평가생략
용두천교	A2(SBB-31)	조립토	875	지반분류가 S_B인 지반	평가생략
백현교	A1(NBB-17)	조립토	906	지반분류가 S_B인 지반	평가생략
	A2(SBB-32)	조립토	1,126	지반분류가 S_B인 지반	평가생략
호죽1교	A1(SBB-34)	조립토	1,005	지반분류가 S_B인 지반	평가생략
	A2(SBB-33)	조립토	1,085	지반분류가 S_B인 지반	평가생략
서오창IC R-A1교	A2(SBB-44)	조립토	1,271	지반분류가 S_B인 지반	평가생략
양지교	A1(SBB-47)	조립토	559	지반분류가 S_C인 지반	
	A2(SBB-48)	조립토	729	지반분류가 S_C인 지반	
복현1교	A2(SBB-57)	조립토	1,225	지하수위 위의 지반	평가생략
복현2교	A2(SBB-59)	조립토	1,229	지반분류가 S_B인 지반	평가생략
복현3교	A1(SBB-60)	조립토	1,020	지반분류가 S_B인 지반	평가생략
	A2(SBB-62)	조립토	1,187	지반분류가 S_B인 지반	평가생략
오창JCT R-A교	P1(SBB-74)	조립토	832	지반분류가 S_B인 지반	평가생략
오창JCT R-D교	A2(SBB-63)	조립토	1,101	지반분류가 S_B인 지반	평가생략

주) 「6.5.2 내진해석 설계지반정수 산정」의 지층별 전단파속도 값으로 산정.

3) 액상화 대상 교량 검토결과

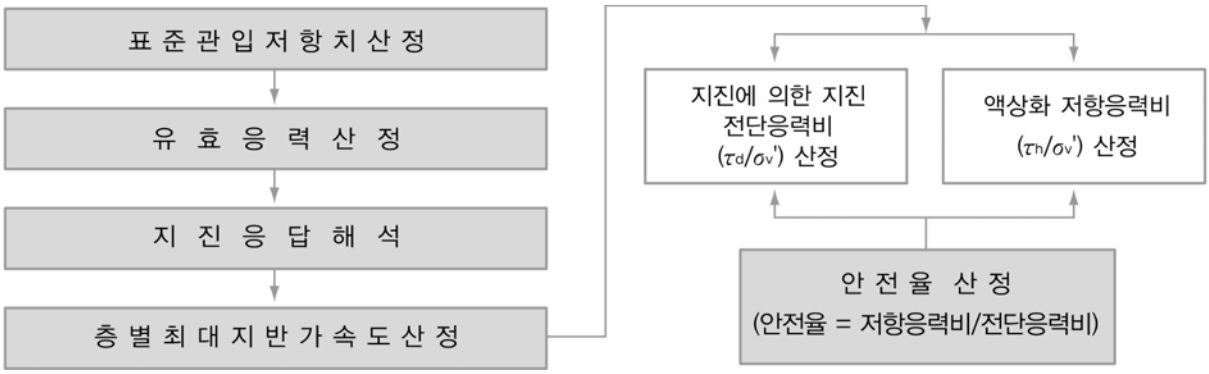
위치별 액상화 가능성에 대한 예비평가 결과, 액상화 발생 가능성이 큰 교량은 없지만 대상지반이 지하수위 이하이고 표준관입저항치(N)가 20이하인 지반의 심도가 큰 양지교 교대를 대표단면으로 선정하고 간이평가를 통하여 액상화에 대한 안정성을 검토하였다.

교량명	교각명	흙의 분류	검토내용
양지교	A1(SBB-47)	조립토	표준관입저항치(N)가 20 이하인 지반
	A2(SBB-48)	조립토	표준관입저항치(N)가 20 이하인 지반

다. 표준관입시험에 의한 액상화 평가

1) 수정 Seed & Idriss방법에 의한 액상화 가능성 검토

수정 Seed & Idriss방법은 많은 지진기록 및 피해사례에 대한 분석을 통하여 현장에서 획득이 용이한 N치와 액상화 저항응력비의 관계를 도시하여 간편하게 액상화 가능성을 검토하는 방법으로 본 과업에서는 다음과 같은 흐름으로 평가하였다.



2) 지진시 발생하는 최대전단응력비

발생 가능한 지진규모에 대한 지진응답해석을 실시하여 층별 최대가속도(α_{max})를 결정하고 다음 관계식에 의해 지진 전단응력비를 산정하였다.

- 지진전단 응력비 :

$$\frac{\tau_d}{\sigma_v'} = 0.65\frac{\alpha_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma_v'} \cdot \gamma_d$$

α_{max} : 액상화 평가대상 지반의 최대지반가속도

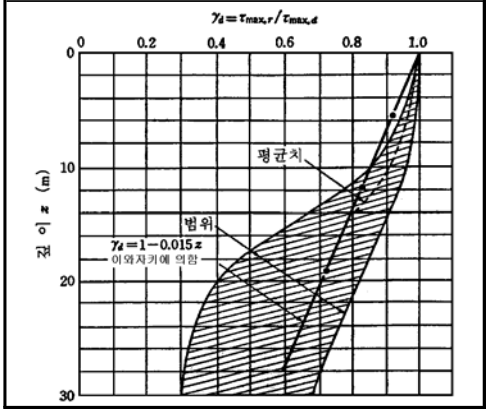
g : 중력가속도

σ_v : 액상화를 평가하고자 하는 깊이의 총상재압

σ_v' : 액상화를 평가하고자 하는 깊이의 유효상재압

γ_d : 깊이에 따른 응력저감계수 = 1−z/90

깊이에 따른 응력감소계수



3) 지반의 액상화 전단저항응력비

액상화 전단저항응력비는 표준관입시험에 의한 저항치$(N_1)_{60}$와 설계지진규모에서 CSR(액상화저항응력비) 관계로부터 구하고, 액상화 저항응력비(CSR) 값은 지진규모 6.5를 기준으로 하고 세립질 함유량을 고려하여 구하였다.

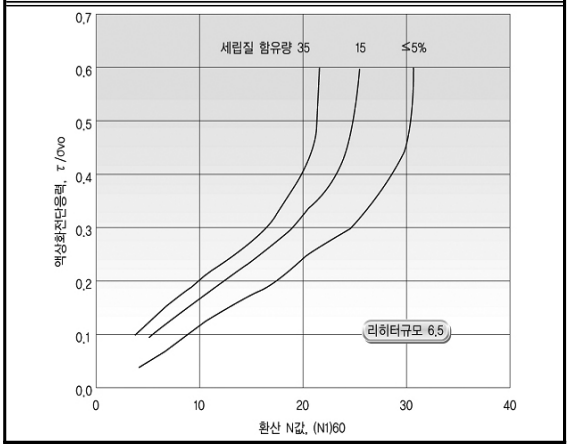
■ 액상화 저항응력비와 $(N_1)_{60}$ 관계

1999년 제정된 「항만 및 어항시설의 내진설계표준서」 에서는 액상화 저항응력비(CSR)와 보정 N값과 관계를 그림과 같이 나타냄

Seed 등(1983)이 전세계 지진자료를 토대로 작성한 곡선을 지진규모 6.5를 기준으로 수정

#200체 통과량을 고려하여 액상화 저항응력비를 산정

저항응력비(CSR)와 보정된 N치의 관계



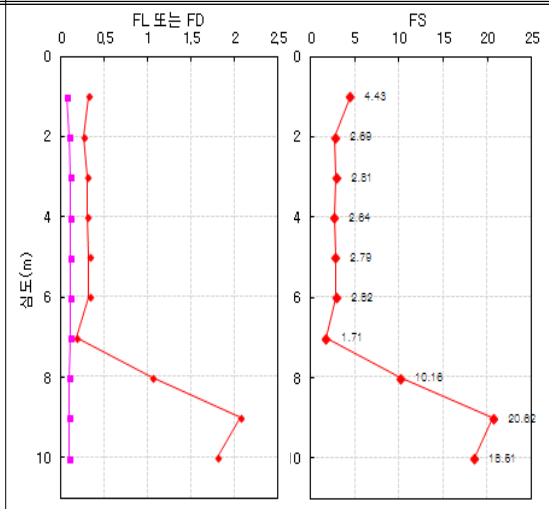
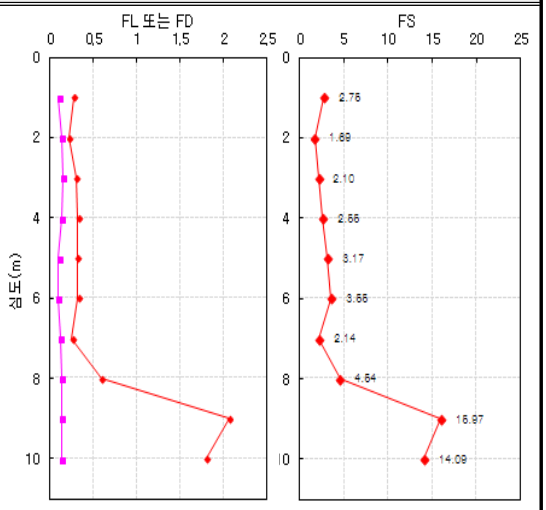
4) 액상화 안전율

액상화 발생에 대한 안전율은 지진에 의한 전단응력비와 지반의 액상화에 대한 저항응력비의 비로 산정하였다.

$$\text{FS (액상화)} = \frac{\text{지반의 액상화저항응력비}}{\text{지진에 의한 진동전단응력비}} = \frac{\tau_h / \sigma_v'}{\tau_d / \sigma_v'}$$

FS ≥ 1.5 : 액상화에 대해 안전, FS < 1.5 : 액상화 상세예측 필요

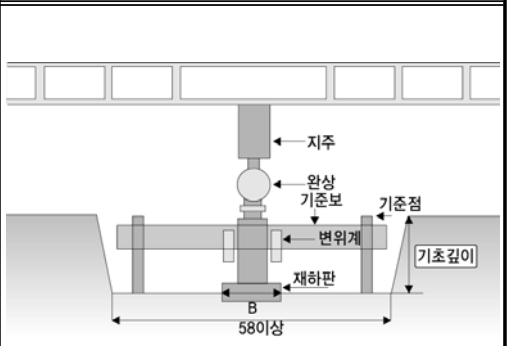
라. 액상화 평가 결과

구 분	양지교 A1	양지교 A2
액상화 해석 결과		
분석 결과	• FS = 1.71~20.62 ≥ 1.5 ∴ 안정	• FS = 1.69~15.97 ≥ 1.5 ∴ 안정

8.10 기초의 재하시험 계획

- 설계시 산정한 기초의 지지력은 시공 시 기초지반에 대한 현장시험을 통해 확인하여야 함
- 설계 유효성 확인을 위하여 시공 전 단계에 시행하는 재하시험은 현실적으로 적용이 곤란하므로 본 설계에서는 시공단계에서 품질확인을 목적으로 시행하도록 계획함.
- 직접기초는 평판재하시험을 계획하였으며, 말뚝기초는 말뚝 정·동재하시험 및 수평재하시험을 계획하여 합리적인 지내력 평가가 수행되도록 함.

가. 직접기초 지지력 확인 시험

시험계획	평판재하시험 개요도
• 직접기초는 지층 분석결과에 의해 기반암에 거치되도록 계획 • 시공시 풍화암지지 직접기초인 경우 평판재하시험(KS F2444)을 통해 지반의 허용지지력 확인 • 연암 이상의 기반암에 지지되므로 시공시 암석의 일축압축강도 시험을 통해 지지력 확인 • 직접기초로 시공되는 매 교대 및 교각에 대하여 재하시험 시행	

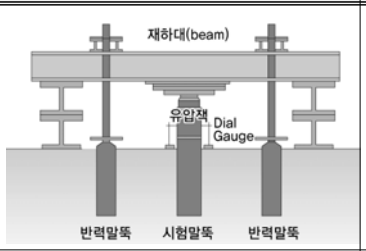
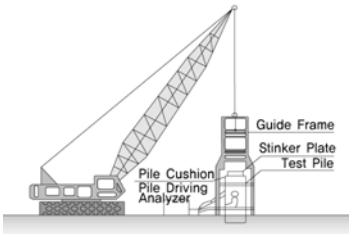
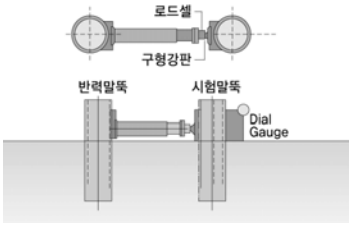
나. 말뚝기초 지지력 확인시험

1) 재하시험 적용기준

종 류	관련문헌	적용기준
정재하 시 험	도로교설계기준 구조물기초설계기준	• 말뚝 250개당 1회 또는 구조물별로 1회 시험 • 지반조건이 현저히 다르거나 다른 형태의 말뚝을 사용할 때마다 1회 이상 시험 • 정재하시험이 비용과 시간면에서 시행하기 어려울 경우 동재하시험으로 변경 가능
동재하 시 험	구조물기초설계기준 고속도로 전문시방서	• 푸팅별 말뚝 수 1~80본까지 동재하시험 2회 • 푸팅별 말뚝 수 80~160본까지 동재하시험 3회 • 푸팅별 말뚝 수 160본 이상 동재하시험 4회
수 평 재 하 시 험	• 국내에는 별도로 제시된 기준이 없으므로, 큰 수평력이 작용하는 교량에 대해서 1개소 실시	

2) 말뚝재하시험 선정

•본 과업구간의 말뚝 지지력, 말뚝 시공의 품질 관리 및 신뢰성을 확인하기 위하여 동재하 시험, 정재하시험 및 수평재하시험을 계획함.

구 분	정재하시험	동재하시험	수평재하시험
개 념 도			
특 성	• 말뚝의 거동을 파악하는 가장 확실한 방법으로 동재하시험과 병행하여 수행	• 시공장비의 성능확인, 장비의 적합성 판정, 말뚝의 건전도 확인, 시공시 지지력 확인	• 말뚝의 기준변위량에 대한 하중 확인
하중전달	• 고정하중, 주변말뚝, Earth Anchor	• 램 또는 해머에 의한 동적 충격하중	• 고정하중, 주변말뚝
관련기준	• KS F 2445 • ASTM D 1143	• ASTM D 4945	• ASTM D 3966
적 용	• 정재하시험은 말뚝기초로 계획된 교량별 1회 적용 • 동재하시험은 말뚝기초로 계획된 행선별 교각당 말뚝본수에 따라 기준별 적용 • 수평재하시험은 큰 수평력이 작용하는 교량에 대해서 1개소 실시		

다. 교량별 재하시험 계획

교량명	평판재하시험	정재하시험	동재하시험	수평재하시험	교량명	평판재하시험	정재하시험	동재하시험	수평재하시험
옥산JCT Ramp-A교	2	1	4	1	양지교	-	1	4	-
옥산JCT Ramp-C교	1	1	8	1	산수교	2	1	4	1
옥산JCT Ramp-D교	1	1	6	1	복현1교	2	1	4	1
병천천교	1	1	22	2	복현2교	-	1	5	1
상장남교	1	1	8	1	복현3교	-	1	7	1
용두천교	-	1	10	1	서오창IC Ramp-A1교	-	1	4	1
백현교	-	1	4	1	서오창IC Ramp-A2교	-	1	4	1
호죽1교	-	1	8	1	오창JCT Ramp-A교	-	1	6	1
호죽2교	-	1	8	1	오창JCT Ramp-C교	2	1	4	1
성산교	1	-	-	-	오창JCT Ramp-D교	3	1	16	1
양청교	1	1	3	1	수락천교	-	1	4	-

※ 상세한 교량별 시험 수량은 “수량산출서(교량구조물편)” 참조

※ 동재하시험은 초기항타와 재항타를 1회로 구분