제 Ⅱ 편 절 토 사 면 편

제1장 Sta.11+750~12+500(부산)

제2장 Sta.12+050~12+620(포항)

제3장 Sta.15+706~15+966(부산)

제4장 ta.16+200~16+646(부산)

제5장 Sta.19+780~20+300(포항)

제6장 Sta.19+780~20+300(부산)

제7장 Sta.47+050~47+300(부산)

제8장 Sta.47+050~47+630(부산)

제1장 부산울산선 Sta.11+750~12+500(부산)

1.1 대상 시설물 현황

1.2 관련 자료의 분석

1.3 현장조사

1.4 안전성능평가

1.5 내구성능평가

1.6 종합평가

1.7 유지관리전략 제안

1.8 종합결론

제1장 부산울산선 STA.11+750~12+500(부산)

1.1 대상 시설물 현황

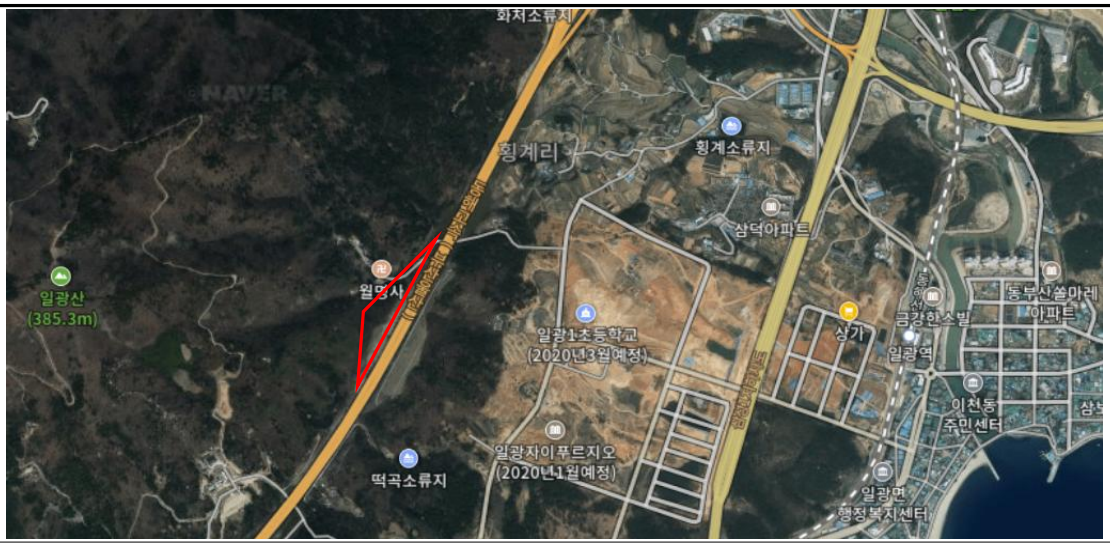
성능평가 대상 시설물인"절토사면-부산울산선 STA.11+750~12+500(부산)"비탈면 현황은 다음과 같다.

<표 2.1-1> 시설물 현황(부산울산선 STA.11+750~12+500(부산)

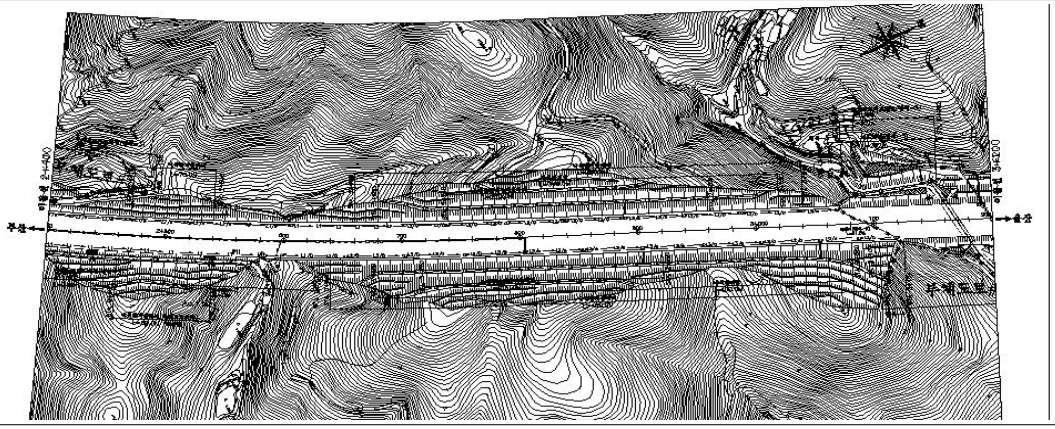
시설물 번호	SL2008-0000049		**관리번호**	-
시설물명	절토사면-부산울산선 STA.11+750~12+500(부산)		**시설물구분**	2종시설물
위 치	행정구역	부산광역시 기장군 일광면 횡계리 산28-10		
	위치좌표	시점 : N (35°16' 08.22"), E (129°13' 05.19")		
		종점 : N (35°15' 56.75"), E (129°12' 57.81")		
제 원	연 장	475m	높 이	59m
	경사/방향	63/127	노 선	고속국도65호선
관리주체	부산울산고속도로(주)		관리주체구분	민간
주변환경	인공구조물	-		
	주변지형	산악지형	자연비탈면경사	27°
시공현황	준공년도	2008년 12월 31일	시 공 자	삼성물산(주)
	부대시설	낙석방지망, 산마루측구, 야생동물유도울타리, 점검계단, 숏크리트, 소일네일링		
비 고				

대상 비탈면 전경

※ 상기의 제원 및 현황은 실측 제원임. FMS의 시설물관리대장상의 제원과 다소 상이.



위 치 도



평 면 도

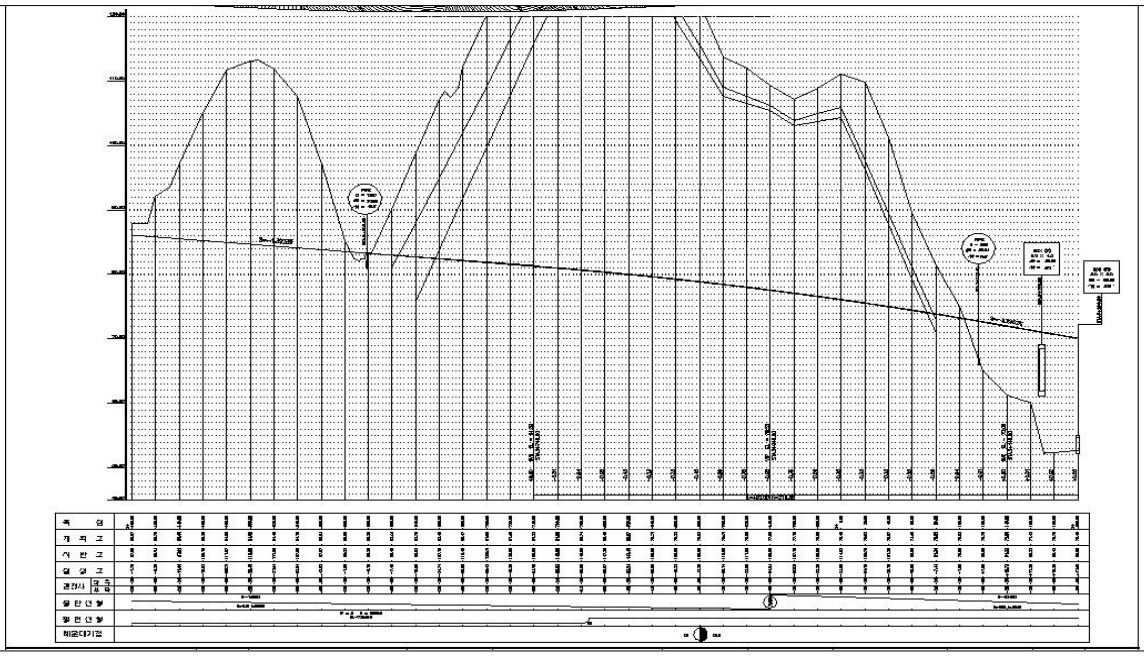


표 준 단 면 도

<그림 2.1-1> 대상 시설물 현황도

1.2 관련 자료의 분석

1.2.1 유지관리 관련 자료 현황

1) 관련 자료 수집 및 분석 현황

자료조사 및 분석은 시설물의 설계, 시공 및 유지관리 관련 자료 및 주변현황 자료로 구분되며 수집된 자료에 대한 분석을 통하여, 첫째로 과업수행의 전체적인 추진방향과 계획을 수립하고, 둘째로 구조물의 이력 확인, 결함 및 손상의 원인분석, 손상의 변화 및 진행성 여부, 보수·보강 대책 및 유지관리 방안을 수립하기 위한 기초자료로 활용하였으며, 자료수집 현황은 다음과 같다.

<표 2.1-2> 유지관리 관련자료 현황

보존대상 목록		보유현황	비 고
설계도서	ㅇ공통 - 준공내역서 - 공사 및 특별시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	 보유 보유 보유 보유 -	ㅇ고속국도 제65호선 부산~울산간 고속도로 민간투자사업 제3공구 준공도서
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등	보유	ㅇ고속국도 제65호선 부산~울산간 고속도로 민간투자사업 제3공구 준공도서
시 설 물 관리대장	ㅇ기본현황 ㅇ상세제원 ㅇ유지관리 이력	보유 보유 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS) ㅇ한국도로공사 비탈면유지관리시스템
시공관련 자 료	ㅇ시공관련자료 ㅇ품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 각종 시험기록 - 시설물 주요 구조 부위에 대한 계측자료 ㅇ사고자료	일부 보유 일부보유 일부보유 일부보유 - - -	ㅇ고속국도 제65호선 부산~울산간 고속도로 민간투자사업 제3공구 준공도서
안전점검 및 정밀안전진단 자료		보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
보수·보강 자료		일부 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)

2) 관련 자료 수집 및 분석 결과

본 시설물은 2008년 준공된 시설물로 설계 및 시공관련 자료 관리 및 보관상태는 대체로 양호한 것으로 조사되었다. 관련자료 분석을 통해 당초 시공시의 개략적인 지반상태를 파악할 수 있다.

1.2.2 지반조사 보고서 분석

본 시설물의 지반조사 분석은 준공도서에 포함된「고속국도 제65호선 부산~울산간 고속도로 민간투자사업(제3공구, 2005년) 토질조사보고서」를 요약·분석하여 성능평가의 기초 자료 활용 및 유지관리시 편의성 제공에 그 목적이 있다.

1) 지 형

본 조사지역은 행정구역상 부산광역시 기장군 기장읍 서부리를 시점으로 하여 기장군 일광면 화전리를 종점으로 하는 설계구간(L=4.84km)에 해당한다.

본 지역의 지형은 동해안에 인접하여 남북방향으로 이어지는 태백산맥의 남부아래에 동부의 북북동방향 및 북북서방향으로 이어지는 일연의 소산맥이 동남부 부근에서 합세하며 비교적 험준한 산세를 나타내고 있다.

또한, 본 3공구 노선 시점부근에서 북서쪽으로 산성(368)-일광산(395)-아홉산(360)-318고지-함박산(460)천미산(400)-달음산(588)-205고지가 산맥으로 이어져 있다. 그리고 노선부근의 하계발달은 남해로 직접동류 또는 서류하면서 유입하는 소하천이 많이 있지만 하폭과 유역평야의 발달은 매우 미약하다.

이러한 하계망의 발달상태를 보면 지질분포 및 지질구조와 밀접한 관계를 가지며 화강암류의 수지상으로 분포되어 있고 화산암류 분포지역은 방사상의 하계망을 이루고 있다. 그리고 본 노선의 동쪽으로 약 2km정도 떨어져 남북으로 단층선이 이어지는데 그 지역의 하천은 일반적으로 사행전이 아닌 직류로 이어지고 있다.

2) 지질 개요

본 지역은 한반도 남동부의 경상계 퇴적암층의 분포지역의 남단에 위치하고 있다. 노선 부근의 지질상태를 보면 경상계 신라총의 퇴적암층이 주류를 이루는 이천리층과 이를 관입 분출한 화산암류 그 후에 관입한 불국사 화강암류인 흑운모화강암, 화섬록암으로 분포되어 있으며 화산암류는 조직에 따라 안산암질류 유문암질류로 구분되고 화성심성암류는 화강섬록암 및 섬록반암이 소규모의 암주상 또는화강암이 연변상으로 산재되어 있는 것 외에는 전부 화강암류로 되어 있다. 또한 이 지역의 화강암류는 분화상 전혀 다른 불국사 화강암류와 마산암류로 나뉘는데 본 노선은 불국사 화강암류만이 나타난다.

불국사 화강암류는 섬록암에서 시작하여 이 분화작용의 소산물인 화강섬록암 각섬석화강암, 흑운모화강암 등이며 이 화강암류는 경상도에 널리 분포되어 있는 백악기의 암류이다.

이천리층은 노선 STA.2K+600에서 종점부까지 일광면 거의 전역에 널리 분포하고 있으며 구성암석은 대체로 흑색 또는 암회색의 셰일로 되어 있고 암회색 세립질 사암이 소량 함유되어 있다.

또한 이층은 안산암에 의해 대규모로 관입당한 상태이며 암회색의 셰일이 안산암으로 되감에 따라 회색 또는 백색의 치밀한 혼펠스로 된 상태이며 이것이 장석반점이 발달한 반점상흔펠스를 거쳐 마침내 반상의 안산암으로 이화하는 것이다.

그리고 일광면 부근에서는 주향이 N30~45E이고 경사는 대체로 일대의 18~30NW의 층리를 보이고 있다. 안산암질류는 이 노선의 시점부에서 인터체인지 부근까지 분포되어 있으며 신라총의 화산암류 중에서 초기에 형성된 것이며 또한, 후기 화산암류인 석영안산암류 내지 유문암질 분출암류에 피복되어 있으며 화강섬록암과 흑운모화강암 등이 불규칙하게 관입되어 나타나기도 한다. 그리고 노선 종점부에 상부지층에 충적층이 소하천 일대에 존재하나 그 발달은 미약한 상태이다.

1.2.3 점검 및 진단 이력

본 비탈면은 2009년부터 정기안전점검을 21회, 정밀안전점검 4회 실시한 것으로 조사되었다. 점검 결과 전반적으로 양호한 상태로 특별한 보수·보강을 필요한 구간은 없는 것으로 평가되었다.

<표 2.1-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2009. 03. 06 ~ 2009. 06. 30	정기안전점검	이상없음	양호
2	2009. 08. 04 ~ 2009. 11. 25	정기안전점검	이상없음	양호
3	2010. 01. 02 ~ 2010. 06. 30	정기안전점검	양호	양호
4	2010. 10. 01 ~ 2010. 11. 29	정밀안전점검	균열이 많고 식생이 불량하며, 국부적으로 녹생토 탈락으로 인한 망이 노출된 곳이 다수 조사됨. 숏크리트 하단부에 누수현상 있음. 사면파괴요인에서 위험요소 내포하고 있음	B
5	2010. 07. 07 ~ 2010. 12. 08	정기안전점검	양호함	양호
6	2011. 05. 23 ~ 2011. 06. 03	정기안전점검	양호함	양호
7	2011. 11. 01 ~ 2011. 11. 10	정기안전점검	양호함	양호
8	2012. 05. 02 ~ 2012. 05. 03	정기안전점검	이상없음	양호
9	2012. 10. 22 ~ 2012. 10. 24	정기안전점검	이상없음	양호
10	2013. 04. 15 ~ 2013. 04. 30	정기안전점검	이상없음	양호

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
11	2013. 09. 23 ~ 2013. 09. 27	정기안전점검	이상없음	양호
12	2013. 12. 06 ~ 2013. 12. 25	정밀안전점검	균열이 많고 식생이 불량하며, 국부적으로 녹생토 탈락으로 인한 망이 노출된 곳이 다수 조사됨.숏크리트 하단부에 폭1~2mm, 길이 15m정도의 균열이 발생, 누수현상이 있음.	B
13	2014. 04. 01 ~ 2014. 04. 01	정기안전점검	양호	양호
14	2014. 09. 01 ~ 2014. 09. 01	정기안전점검	양호	양호
15	2015. 05. 04 ~ 2015. 05. 04	정기안전점검	양호	양호
16	2015. 12. 07 ~ 2015. 12. 07	정기안전점검	양호	양호
17	2015. 09. 29 ~ 2015. 12. 27	정밀안전점검	우기 시 집중호우 등을 감안하면 추후 측구 설치가 필요할 것으로 판단된다. 그 외에 구조물의 균열이나 이음부 이격 등의 구조물 변형이나 지반변형 없이 전반적으로 양호한 상태로 조사됨	B
18	2016. 06. 07 ~ 2016. 06. 10	정기안전점검	전반적인 상태양호	양호
19	2016. 10. 10 ~ 2016. 10. 10	정기안전점검	전반적인 상태양호	양호
20	2017. 04. 24 ~ 2017. 04. 24	정기안전점검	양호	양호
21	2017. 12. 04 ~ 2017. 12. 04	정기안전점검	이상 무	양호

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
22	2017. 09. 29 ~ 2017. 12. 27	정밀안전점검	사면부 점검결과 : 종점부의 산마루 측구 및 소단배수로 외에는 자연수로를 형성하고 있는 것이 불안요소로 작용할 가능성이 있어 주의관찰이 필요, STA.0+240 위치의 점검 통로에 등나무 덩굴이 매우 발달 식생상태 : 대부분 식생이 불량하게 분포, 식생기반재가 탈락되어 낙석방지망이 노출된 구간 다수 배수시설 점검결과 : 종점부에 산마루 측구가 일부 시공되어 있으며 이 외 구간은 자연수로 발달 보호시설 점검현황 : 낙석방지망 파손 1개소, 그 외 보호시설 양호	B
23	2018. 04. 16 ~ 2018. 04. 16	정기안전점검	양호	양호
24	2018. 11. 26 ~ 2018. 11. 26	정기안전점검	이상없음	양호
25	2019. 04. 01 ~ 2019. 04. 01	정기안전점검	이상없음	양호

1.2.4 보수·보강이력

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 유지관리중 보수·보강이력은 없는 것으로 조사되었다.

<표 2.1-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

1.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 내진설계 적용여부에 대한 명확한 근거는 조사되지 않았다.

<표 2.1-5> 내진 설계 적용 여부

검토대상 부재	설계적용여부	결과	검토결과 요약	근거
절토사면	불명	-	내진관련 자료 부족으로 확인 불가	

1.2.6 관련 자료 분석 결과 요약

금회 성능평가시 유지관리 관련자료를 분석한 결과, 본 시설물은 특별한 사고이력 및 상태 변화가 없는 양호한 시설인 것으로 평가되었다. 관련 자료 분석 결과 요약 및 이를 기초로한 금회 성능평가 시행 방향은 다음과 같다.

<표 2.1-6> 관련 자료 분석 결과 요약 및 점검 방향

구 분	자료 분석 결과	성능평가 방향
설계도서	ㅇ준공도서 유지관리중 ㅇ위치도, 횡단면도 등 파악 가능 ㅇ원지반 상태 파악 가능	ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득 ㅇ설계도면과 현재 제원 비교
시설물 관리대장	ㅇ기본현황, 상세제원 확인 가능 ㅇ유지관리 이력 파악 ㅇ시설물 준공 후 최초의 성능평가	ㅇ현장조사를 위한 기초자료로 활용 ㅇ준공후 특별한 보수·보강이력이 없는 상태로서 금회 성능평가시 손상조사시 필요에 따라 보수·보강방안 수립
안전점검 및 정밀안전진단 자료	ㅇ준공후 정기안전점검, 정밀안전점검이 시행되었으며, 전반적으로 양호한 상태임.	ㅇ사면파괴징후에 대한 면밀한 조사 ㅇ필요시 보수보수·보강방안 수립 ㅇ시설물 특성을 고려한 적정한 유지관리방안 제시
보수·보강 자료	ㅇ유지관리 이력상 사면 기붕괴구간에 대한 숏크리트가 시공됨.	ㅇ숏크리트 상태 조사
유지관리 전략 제안	-	ㅇ현장조사 및 관련자료 분석을 통한 항목별 성능평가 시행 ㅇ성능평가 결과에 따라 성능목표 유지를 위한 유지관리 전략 제안

1.3 현장조사

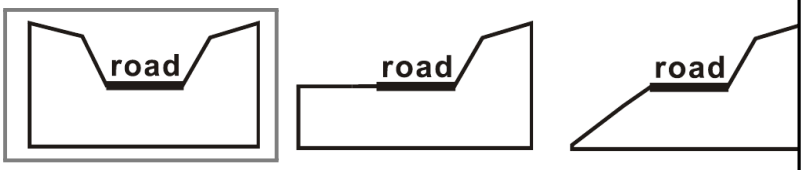
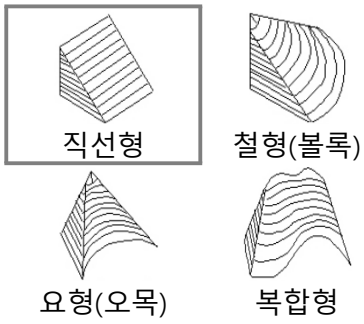
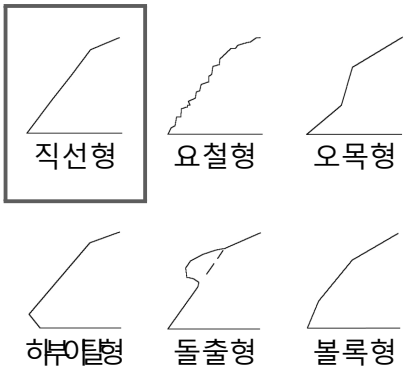
1.3.1 현장조사 체크리스트

관리주체에서 수집된 시설물 유지관리 자료를 참조로 하여 현장답사 및 기초 자료를 조사한 결과는 다음과 같다.

<표 2.1-7> 일반현황

<table>
<tr><td>조사일자</td><td colspan="2">2019년 9월 17일</td><td>조 사 자</td><td colspan="2">인승철</td></tr>
<tr><td>일 기</td><td colspan="2">맑음</td><td>준공년도</td><td colspan="2">2008년 12월 31일</td></tr>
<tr><td>행정구역</td><td colspan="5">부산광역시 기장군 일광면 횡계리 산28-10</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="5">시점 : N (35°16' 08.22"), E (129°13' 05.19")</td></tr>
<tr><td colspan="5">종점 : N (35°15' 56.75"), E (129°12' 57.81")</td></tr>
<tr><td rowspan="4">절토사면</td><td colspan="3">길 이 : 475m</td><td colspan="2">높 이 : 59m</td></tr>
<tr><td colspan="5">경 사/경사방향 : 63/127(평균경사 52°)</td></tr>
<tr><td colspan="3">구성물질 : 암반</td><td colspan="2">토층심도 : 0.02~0.15(약 1.0~3.0m)</td></tr>
<tr><td colspan="5">소 단 : 4</td></tr>
<tr><td rowspan="4">낙석/뜬돌</td><td colspan="3">낙석 존재유무 : 없음</td><td colspan="2">낙석의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="5">낙석 평균크기 : -
낙석 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td colspan="3">뜬돌 존재유무 : 없음</td><td colspan="2">뜬돌의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="5">뜬돌 평균크기 : -
뜬들 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td rowspan="11">절토사면
시공현황</td><td>종 류</td><td colspan="2">위 치</td><td colspan="2">상 태</td></tr>
<tr><td>식생현황</td><td colspan="2">STA.0+000~80, 440~475</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>식생현황</td><td colspan="2">STA.0+200~300(3소단 상부)</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>식생현황</td><td colspan="2">이외 구간 대부분</td><td colspan="2">불량</td></tr>
<tr><td>낙석방지망</td><td colspan="2">STA.0+000~480m(4소단 상부제외)</td><td colspan="2">양호(일부 불량)</td></tr>
<tr><td>산마루 측구</td><td colspan="2">STA.0+450~475</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>야생동물유도울타리</td><td colspan="2">STA.0+425~475</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>점검용 계단</td><td colspan="2">STA.0+340~475</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>점검통로</td><td colspan="2">STA.0+240</td><td colspan="2">통행불량</td></tr>
<tr><td>숏크리트+소일네일링</td><td colspan="2">STA.0+400~440</td><td colspan="2">양호(일부 불량)</td></tr>
<tr><td>절토사면 경보시스템</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">-</td></tr>
<tr><td rowspan="3">붕괴이력</td><td>유 형</td><td colspan="2">규 모</td><td colspan="2">위 치</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>기 타</td><td colspan="5">• 일부 구간을 제외한 전 구간 식생이 불량하고 사면계측기(절토사면 경보시스템)가 설치된 것을 육안으로 확인</td></tr>
</table>

<표 2.1-8> 지형·지질 및 식생

<table>
<tr><td rowspan="3">주변지형의 특성</td><td>주변 지형</td><td colspan="5">산악지형</td></tr>
<tr><td>종단면 형상</td><td colspan="5"> 
</td></tr>
<tr><td>기타 특징</td><td colspan="5">-</td></tr>
<tr><td>사면의 특성</td><td>종횡단면</td><td colspan="2"> 
</td><td>종단면특성</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="7">상부자연사면</td><td>경 사 도</td><td colspan="5">-5°</td></tr>
<tr><td>인장균열</td><td colspan="5">없음</td></tr>
<tr><td>포행흔적</td><td colspan="5">없음</td></tr>
<tr><td>수목의 기울어짐</td><td colspan="5">없음</td></tr>
<tr><td>인공구조물</td><td colspan="5">없음</td></tr>
<tr><td>산마루측구</td><td colspan="5">있음</td></tr>
<tr><td>계곡부</td><td colspan="5">없음</td></tr>
<tr><td>지 질</td><td>지질각론</td><td colspan="5">·본 지역은 중생대 백악기 시대의 경상계 신라층군 이천리층의 지층이 분포, 대표암석은 퇴적암</td></tr>
<tr><td rowspan="3">식 생</td><td>① 종 류</td><td>초 본</td><td>관 목</td><td>침 엽 수</td><td>활 엽 수</td></tr>
<tr><td>② 밀 도</td><td>하</td><td>하</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>③ 근계특징</td><td colspan="4">천근성 (O), 심근성 ( )</td></tr>
</table>

<표 2.1-9> 기초조사 자료

<table>
<tr><td rowspan="6">일반현황</td><td>거리표</td><td colspan="3">부산울산선 12.065~12.540k(부산)</td></tr>
<tr><td>위경도</td><td colspan="3">시점 : N (35°16' 08.22"), E (129°13' 05.19")
종점 : N (35°15' 56.75"), E (129°12' 57.81")</td></tr>
<tr><td>차선</td><td colspan="3">왕복 (4) 차선</td></tr>
<tr><td>조사일자</td><td colspan="3">2019년 9월 17일</td></tr>
<tr><td>조사자</td><td>인승철</td><td>조사기관</td><td>㈜명성엔지니어링</td></tr>
<tr><td rowspan="12">절토사면
특 성</td><td>길이</td><td>475.0m</td><td>최대높이</td><td>59.0m</td></tr>
<tr><td>경사</td><td>63°</td><td>상부경사</td><td>10°</td></tr>
<tr><td>이격거리</td><td>평균 1.0~2.0m</td><td>소단</td><td>4개소</td></tr>
<tr><td>종류</td><td>■암반 □혼합
□토사 □자연</td><td>주변지형</td><td>■산악 □준산악
□구릉 □평 지</td></tr>
<tr><td>지하수</td><td rowspan="2">■C.dry □damp
□wet □dripping
□flowing</td><td rowspan="2">누수위치</td><td>□상 □중 □하</td></tr>
<tr><td>□좌 □중 □우</td></tr>
<tr><td>풍화도</td><td>■F □S □M
□H □C □R</td><td>불연속면
방향성</td><td>□일치 □평행
■후방 □불가</td></tr>
<tr><td>사면형상</td><td>■직선형 □철형
□요형 □파형</td><td>측면형상</td><td>■직선형 □요철형
□탈락형 □돌출형</td></tr>
<tr><td>계곡부</td><td>무</td><td>붕괴이력</td><td>□유(영향) □낙석
□유(미영향) ■무</td></tr>
<tr><td>뜬돌</td><td>□대 □중
■소 □무</td><td>낙석</td><td>□대 □중
■소 □무</td></tr>
<tr><td>암종</td><td>사암 및 셰일</td><td>토층심도</td><td>1.0 ~ 3.0m</td></tr>
<tr><td>암반형태</td><td>□massive
□tabular
□columnar
□irregular
■blocky
□crushed</td><td>불연속면</td><td>■절리 ■층리
□엽리 □균열
□단층 □전단대
□암맥 □무</td></tr>
<tr><td>시공현황
(상태)</td><td colspan="3">■식생공(일부불량) ■낙석방지망(양호)
□옹벽 □낙석방지울타리
□격자블럭 ■배수로(보통)
■점검로(보통) ■기타(숏크리트+네일링)</td></tr>
<tr><td rowspan="6">조사자
소 견</td><td>위험도</td><td>□상 □중 ■하</td><td>피해도</td><td>□상 □중 ■하</td></tr>
<tr><td>붕괴 유형</td><td>□심층 □표층 ■무</td><td>위험등급</td><td>□A ■B □C
□D □E</td></tr>
<tr><td>위험구간
(붕괴유형)</td><td colspan="3">□상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( )
□상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( )
□상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( )</td></tr>
<tr><td>필요 주공법</td><td>식생공, 단면보수</td><td>조치</td><td>□응급 ■미응급</td></tr>
<tr><td>기타</td><td colspan="3"></td></tr>
</table>

1.3.2 사면분류 및 구간분할

대상 대상 시설물에 대한 현장조사 및 시험은 본 조사를 실시하기 이전에 현장을 답사하여 시설물의 주변 환경과 현 상태를 파악하고, 시설물의 접근방법 및 관련 자료를 검토 후 외관조사를 통하여 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성 확인을 위한 상세한 조사계획을 수하였다. 또한, 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단하기 위해 기본시설물 및 부대시설물 등 주요 부재의 현 상태와 시설물의 안전성을 저해할 만한 손상의 유무를 확인하였으며, 시설물 구성부재별로 외관조사 결과는 외관조사망도와 주요 사진을 중심으로 부록자료에 수록하여 향후 시설물 점검 및 유지관리 시에 효율적으로 활용할 수 있게 하였다.

가. 시설물 일반 현황

본 과업 대상 시설물은 부산울산고속도로 부산방향 12.065~12.540km에 위치하고 있으며, 길이는 475m, 높이 59.0m의 절토사면으로 시설물 안전법상 2종 시설물로 분류된 시설이다.

현장조사를 위한 실측조사 결과 본 구간의 절토사면 총 연장 및 높이는 시설물관리대장과 비교시 다소 상이한 것으로 조사되었다.

나. 절토사면의 분류

토층심도 깊이측정을 위한 자료는 준공도서 표준횡단면도를 참고하여 작성하였고, 블록크기 측정을 위한 절리간격은 사면특성조사시 각구간에 위치하는 절리군의 평균 간격을 측정하였다.

<표 2.1-10> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{1.0}{55.0}=0.018$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 97.4~144.2MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{2.0}{55.0}=0.036$로 0.01초과	절리암반	

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
2구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{1.0}{59.0}=0.016$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 97.4~144.2MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{2.0}{59.0}=0.033$로 0.01초과	절리암반	

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
3구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{20.0}=0.15$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 97.4~144.2MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.2}{20.0}=0.01$로 0.01이하	파쇄암반	

다. 비탈면 구간 분할

연장이 475m로써, 사면의 구간분할 기준인

1) 사면의 구성재료가 변화할 경우

2) 사면의 경사가 10°이상으로 변할 경우

3) 사면의 구성재료와 표준경사가 맞지 않을 경우

4) 사면의 경사방향이 40°이상 변화할 경우

5) 동일 구간의 연장이 200m 이상일 경우

위 기준중 5번에 해당하여, 그에 따라 3개구간으로 분할하여 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

<표 2.1-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	12.065~12.265km	200m
2구간	12.265~12.465km	200m
3구간	12.465~12.540km	75m

1.3.3 상태안전성능 조사

가. 집수지형

집수지형에 대한 평가는 시·종점부, 요철지형 등 지표수가 직·간접적으로 비탈면에 유입되는 지형에 대한 평가로서 외부와 내부로 구분하여 분석하였다.

비탈면 외부 지형조건은 상부 자연사면이 상향 10°경사를 이루고 있는 것으로 조사되었다. 사면 외부 집수지형에 대한 분석 결과, 강우시 소단배수로 및 산마루측구로 배수되며, 상단부는 자연사면을 통한 자연배수 형태이다.

사면내 기울기 및 경사방향 변화로 인한 사면내 오목한 지형 발생으로 인한 집수지형은 없는 상태이다.

<표 2.1-12> 집수 지형 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
집수지형	외부	시.종점부	EA	-	-	
		계곡부	EA	-	-	
	내부	집수지형 없음	EA	-	-	

나. 불안정 지질

불안정 지질은 절토사면에 분포하는 단층 및 전단대, 파쇄대, 습곡, 암맥 등 주변의 암반과 구성이 다르거나 특정 부분을 중심으로 균열이 집중적으로 발달하여 사면에 작용하는 불안정 요인으로 작용하는 지질 분포규모 및 상태를 평가하는 항목이다.

본 비탈면은 표면보호공으로 식생이 분포하여 전체 사면에 대한 불안정 지질 여부를 평가하기 곤란하여 부분적으로 원지반이 노출된 구간에 대해서 한정적으로 조사하였다.

그 결과 부분적으로 절리가 관찰되며, 보통 풍화 상태를 보이고 있는 것으로 분석되었다.

<표 2.1-13> 불안정 지질 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
불안정 지질	일부 분포	-	-	-	

다. 불연속면 특성

불연속면은 대개 물리적으로 분리되어 있는 면으로 매우 작은 인장강도를 갖거나 인장강도가 없어 암반으로 구성된 절토사면의 경우 불연속면의 존재는 사면의 안정에 절대적인 영향을 미치게 된다. 이와 관련하여 본 성능평가에서는 소단 하부에는 식생공이 없어 대기에 노출된 원지반을 대상으로 3개 구간에서 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

<표 2.1-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	74/326	76/353	74/326
간격(m)	2 이상	2 이상	2 이상
연장성(m)	< 1	< 1	< 1
틈새(mm)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만
거칠기	약간 거칠음	약간 거칠음	약간 거칠음
충진물질	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만
풍화도	Fresh	Fresh	Fresh
비고			

구 분	2구간		
	Set 4	Set 5	Set 6
방향성	70/040	52/020	70/040
간격(m)	2 이상	2 이상	2 이상
연장성(m)	< 1	< 1	< 1
틈새(mm)	0.1~1.0㎜	0.1~1.0㎜	0.1~1.0㎜
거칠기	거칠음	거칠음	거칠음
충진물질	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만
풍화도	Fresh	Fresh	Fresh
비고			

구 분	3구간		
	Set 7	Set 8	Set 9
방향성	55/165	88/192	90/198
간격(m)	2 이상	2 이상	2 이상
연장성(m)	< 1	< 1	< 1
틈새(mm)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만
거칠기	약간 거칠음	약간 거칠음	약간 거칠음
충진물질	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만
풍화도	Fresh	Fresh	Fresh
비고			

라. 지반 변형

지반 변형은 사면의 배부름 현황과 같은 지반 자체 변형과 관련된 항목이다. 본 성능평가에서는 전 구간에 걸쳐 외관조사를 시행하고, 관련 자료 및 청문조사를 통한 과거 이력에 대한 조사도 병행하였다. 외관조사 결과, 지반변형으로 인한 급격한 기울기 변화는 조사되지 않았으며, 과거 이력 조사 결과에서도 손상은 없었던 것으로 확인되었다.

<표 2.1-15> 지반 변형 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
지반 변형	없 음	-	-	-	

마. 배수 조건

사면내 배수시설은 소단배수로가 시공되어 있다.

소단배수로는 지반 변형으로 인한 부상 및 침하 등의 손상은 없는 것으로 확인되었다.

<표 2.1-16> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단 배수로	상태 양호	-	-	-	

바. 지하수

지하수에 대한 항목은 사면내 지하수량을 간접적으로 조사하는 항목이다.

비탈면내 누수 여부에 대한 조사 결과, 지하수 용출에 의한 습윤지역 및 누수 현상은 관찰되지 않는 상태이다.

<표 2.1-17> 지하수 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상원인	비 고
지하수	건조된 상태	-	-	-	우기시 조사 결과

사. 붕괴 이력

초기점검 및 기 점검사항을 토대로 확인한 결과, 붕괴이력은 조사되지 않았다.

<표 2.1-18> 붕괴 이력 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
붕괴 이력	상태 양호	-	-	-	

아. 낙석

낙석은 암반사면에서 빈번히 발생되는 붕괴유형으로 사면내 관찰되는 이완암 및 뜬돌의 규모 등을 조사하는 항목이다. 이와 관련하여 사면 하단부 및 소단부에서 낙석 여부 조사 결과 낙석은 조사되지 않았다

<표 2.1-19> 낙석 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상원인	비 고
낙 석	없음	-	-	-	현장조사, 청문조사

자. 인장균열

인장균열 조사는 개략적인 붕괴 규모나 양상을 예측하기 위한 참고 자료로 활용되는 항목으로 본 비탈면에 대한 외관조사 결과, 사면 내·외부에서 인장균열은 조사되지 않는 상태이다.

<표 2.1-20> 인장균열 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상원인	비 고
인장균열	없음	-	-	-	현장조사

1.3.4 내구성능 조사

가. 토사구간의 지반상태

본 비탈면에는 전 구간에 걸쳐 암반으로 구성되어 있으며, 토양경도계를 측정할 수 없으므로 토사구간의 지반상태는 제외토록 하였다.

나. 암반구간의 지반상태

암반강도시험은 총 3개소에서 실시하였으며, 시험 결과에 따른 암종 분류 결과 경암인 것으로 판단된다.

<표 2.1-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(MPa)	암 판정 결과	비고
12.25km	51.0	97.4	경암	
12.27km	51.0	97.5	경암	
12.45km	59.8	144.2	경암	
검토의견	·암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 51.0~59.8로 측정되었으며, 추정강도 97.4~144.2MPa로 경암으로 판정되어 암반의 강도는 양호한 것으로 판단된다.			

절리면 경사/경사방향 측정

암반 강도시험

다. 표면보호공

표면보호공은 사면의 안전성에는 직접적인 영향을 주지 않으나, 사면의 상태보호 및 유지에 영향을 미치는 요소이다. 식생의 경우는 전체 면적 대비 피복 면적의 비를 기준으로 분석하였으며, 숏크리트는 균열 및 박락 등의 손상을 기준으로 분석하였다.

낙석방지망은 시점부 비탈면 하면부터 1소단 배수로에 걸쳐 시공되어 있는 것으로 확인되었다. 망 파손이 조사되었다.

숏크리트 시공미흡에 의한 철근노출이 조사되었다.

<표 2.1-22> 표면보호공 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
표면 보호공	낙석방지망	파손	㎡	1/1.0	-	
	숏크리트	철근노출	㎡	1/1.0	-	

숏크리트 철근노출

낙석방지망 파손

라. 사면보강공

본 비탈면은 관련자료 분석 결과 식생 이외의 특별한 보강시설은 없는 것으로 조사되었으며, 현장조사시 확인한 결과 사면안정을 위한 소일네일링이 시공되어 있고, 양호한 상태이다.

<표 2.1-23> 사면보강공 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
사면 보강공	소일네일링	-	-	-	

1.4 안전성능평가

안전성능평가는 외관상 관찰되는 시설물의 결함을 평가하는 상태안전성능평가와 공학적인 안정성을 평가하는 구조안전성능으로 구분한다.

1.4.1 상태안전성능 평가

가. 시설물의 형식 및 안전성능지표

비탈면 분류는 현장조사 결과를 기초로 하여 관련 자료 분석을 통해 획득한 자료를 최대한 적용하였다. 그 결과 절토사면 높이에 대한 토층심도율이 0.016~0.15으로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 세부 분류는 절리암반비탈면, 파쇄암반비탈면으로 평가된다.

<표 2.1-24> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{1.0}{55.0}=0.018$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 97.4~144.2MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{2.0}{55.0}=0.036$로 0.01초과	절리암반	

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
2구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{1.0}{59.0}=0.016$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 97.4~144.2MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{2.0}{59.0}=0.033$로 0.01초과	절리암반	

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
3구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{20.0}=0.15$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 97.4~144.2MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.2}{20.0}=0.01$로 0.01이하	파쇄암반	

본 시설물은 사면 구성 재료의 특별한 변화가 없으며, 총연장이 475.0m로 사면 분할기준인 200.0m를 상회한다. 비탈면 구간 분할 기준에 의하여 동일 구간의 연장이 200m 이상일 경우로 하여 총 3개소로 분할하여 조사·평가하기로 한다.

<표 2.1-25> 비탈면 구간 분할

위치	비탈면 구간 분할 기준	시설물 현황		
		구성 재료	경사방향 변화	사면 연장
부산기점 STA.11+750 ~12+500	○ 사면 구성재료 변화 ○ 사면 경사방향 40°이상 변화 ○ 동일구간 연장 200.0m 이상	암반	없음 (직선형)	475.0m
구간 분할	○ 1구간 : 12.065~12.265K ○ 2구간 : 12.265~12.465K ○ 3구간 : 12.465~12.540K			

<표 2.1-26> 사면 형식별 상태안전성능지표

구 분	평가 요소		
	토사사면	암반사면	혼합사면
절토사면	○ 집수지형 ○ 지반변형 ○ 지하수 ○ 배수조건 ○ 사면상부 상태 ○ 붕괴이력	○ 집수지형 ○ 불안정지질 ○ 불연속면 특성 ○ 지반변형 ○ 지하수 ○ 배수조건 ○ 붕괴이력 ○ 낙석	○ 불안정지질 ○ 불연속면 특성 ○ 지반변형 ○ 지하수 ○ 배수조건 ○ 붕괴이력 ○ 낙석 ○ 사면상부 상태

나. 1구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 2.1-27> 집수지형 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가결과
사면 내·외 집수지형 개소 수	a	없음	계곡부 또는 집수지형 없음	없음	a
	b	1개소	계곡부 또는 집수지형 1개소		
	c	2개소	계곡부 또는 집수지형 2개소		
	d	3개소	계곡부 또는 집수지형 3개소		
	e	4개소	계곡부 또는 집수지형 4개소 이상		

<표 2.1-28> 불안정 지질 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
규모 및 상태	a	없음	없음	절리암반사면 국지적 분포	c
	b	일부 분포 (견고)	불안정 지질이 일부 분포하고 있으나 견고한 상태		
	c	국지적 분포 (파쇄)	불안정 지질이 국지적으로 분포하고 있으며 파쇄가 심한 상태		
	d	전반적인 분포 (파쇄)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심한상태		
	e	전반적인 분포 (파쇄, 누수 등)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심하고 누수 및 유실물 등이 발생하고 있는 상태		

<표 2.1-29> 불연속면 특성 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = (0+5+10+5+0+0) / 6 = 3.33	b
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 2.1-30> 불연속면 세부 상태 평가 결과(1구간)

평가항목	등급					현장조사 결과	평가 결과
	a	b	c	d	e		
점수	0	5	10	16	24		
①연장성	1.0m미만	1.0m이상 3.0m미만	3.0m이상 10.0m미만	10.0m이상 20.0m미만	20.0m이상	< 1	a
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.1㎜ 미만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거칠음	c
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	딱딱함, 5㎜미만	b
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	Fresh	a
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	2 이상	a

<표 2.1-31> 지반변형 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
포행, 단차, 배부름 등	a	변형 없음	지반변형이 없는 상태	지반변형 없음	a
	b	약간의 변형	일부 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	d	사면 전반에 걸친 변형	지반변형이 발생하여 붕괴위험은 있으나, 붕괴로 인해 사면하부 주 구조물에는 직접적인 영향이 없는 상태		
	e	사면 전반에 걸친 변형	평가대상 구간 전반에 변형이 발생하여 대규모 붕괴위험이 예상되며 붕괴발생으로 사면하부의 주구조물에 영향을 미칠 수 있는 상태		

<표 2.1-32> 지하수 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
누수 상태 및 위치	a	건조(dry)	지하수의 흐름이 관찰되지 않고 표면이 건조한 상태	건조한 상태	a
	b	젖음(wet) 사면하부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 하부에서 관찰되는 상태		
	c	젖음(wet) 사면상부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 상부에서 관찰되는 상태		
	d	흐름(flow) 사면하부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 하부에서 용출이 관찰되는 상태		
	e	흐름(flow) 사면상부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 상부에서 용출이 관찰되는 상태		

<표 2.1-33> 배수시설 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
배수 조건	a	완전배수	지표 및 지하배수구가 모두 적용되어 원활한 배수를 이루고 있는 상태 또는 사면이 건조한 상태로 배수시설의 적용이 필요하지 않은 상태	양호	b
	b	양호	배수시설이 노후 되었으나 배수기능이 원활한 상태		
	c	보통	배수시설이 노후 되고 일부 균열이 관찰되나, 배수기능이 원활한 상태		
	d	불량	배수시설이 노후 되고 균열 및 변형 등의 결함이 발생하여 배수기능이 불량한 상태		
	e	매우 불량	지표수 및 지하수로 인해 사면의 안전성능에 직접적인 영향을 미치며, 배수시설이 설치되어 있지 않거나 결함으로 인해 배수를 못하는 상태		

<표 2.1-34> 붕괴이력 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
붕괴이력	a	없음	없음	없음	a
	b	세굴 및 표층균열	사면의 표면 세굴 및 소규모 유실 등의 발생이력		
	c	표층파괴	표층유실 및 낙석, 암탈락 등 사면 표층파괴 발생이력		
	d	심층파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 심층파괴 발생이력		
	e	대규모파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 파괴가 발생하여 사면하부 주구조물에 피해가 발생한 상태		

<표 2.1-35> 낙석 발생 규모 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 없음	a
	b	1.0㎥미만		
	c	1.0㎥이상, 6.0㎥미만		
	d	6.0㎥이상, 10.0㎥미만		
	e	10.0㎥이상		

<표 2.1-36> 예상 낙석에너지 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
예상 낙석 에너지	a	없음	$E_i = (1 - \frac{u}{\tan\theta}) \times (1+\beta) \times m \times g \times H = 0$ 여기서, □E_i = 낙석에너지(kJ), □Θ= 사면의 경사, u□= 낙석의 등가마찰계수(0.15) □ β = 회전에너지계수(0.1) m = 낙석의 중량(t), □H= 낙석의 높이(m) g = 중력가속도(9.8m/sec^2) (u, β는 상수, 각각 0.15, 0.1 적용) → 현장조사 결과 뜬돌 및 이완암이 조사되지 않음	a
	b	50kJ미만		
	c	50kJ이상 70kJ미만		
	d	70kJ이상 120kJ미만		
	e	120kJ이상		

<표 2.1-37> 사면의 상부 상태 평가 결과 (1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
상부 자연사면 경사	a	없음	평지 또는 역경사	상향 10°	c
	b	10°미만	상부자연사면으로부터 지표수가 유입될 수 있는 정도를 평가하기 위한 것으로 자연사면의 대표 경사로 평가		
	c	10°이상 20°미만			
	d	20°이상 30°미만			
	e	30°이상			

다. 1구간 인장균열 평가 결과

인장균열이 확인되는 경우 인장균열을 반영한 상태안전성능평가 결과를 선정하고 구조안전성능 평가결과 및 현장 상태에 따라 보강 대책방안을 검토해야 한다. 인장균열의 결함점수는 d, e 등급에 따른 각각의 평균값으로 산정한다.

<표 2.1-38> 인장균열 결함점수 산정 결과(1구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가 결과
인장균열	a	8	0.08	인장균열 없음	a
	d	65	0.65		
	e	88	0.88		

본 비탈면의 경우 인장균열이 없는 상태로서 성능별 등급 결과에 따른 상태안전성능평가 결과를 최종 상태평가 안전등급으로 산정하기로 한다.

라. 1구간 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 2.1-39> 상태안전성능 평가 결과 범위(1구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
$0 \le f < 0.15$	$0.15 \le f < 0.30$	$0.30 \le f < 0.55$	$0.55 \le f < 0.75$	$0.75 \le f$

<표 2.1-40> 암반사면의 평가항목별 등급에 따른 점수(1구간)

평가항목	등급에 따른 점수				
	a	b	c	d	e
① 집수지형	0	1	3	4	6
② 불안정 지질	0	3	6	10	15
③ 불연속면의 특성	0	1~5	6~10	11~16	17~24
④ 지반변형	0	2	4	6	9
⑤ 지하수	0	2	3	5	8
⑥ 배수조건	0	2	5	7	11
⑦ 붕괴이력	0	2	4	7	10
⑧ 낙석	0	4	7	11	17
결함지수 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 2.1-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명	부산기점 STA.11+750~12+500			
사면 종류	절토사면	구성재료	절리암반사면	
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	0	a
	사면 외	0		
불안정 지질		6	6	c
블연속면 특성		3	4	b
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			12	
결함지수		0.12		
상태안전성능평가 결과		**A**		

마. 2구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 2.1-42> 집수지형 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가결과
사면 내·외 집수지형 개소 수	a	없음	계곡부 또는 집수지형 없음	없음	a
	b	1개소	계곡부 또는 집수지형 1개소		
	c	2개소	계곡부 또는 집수지형 2개소		
	d	3개소	계곡부 또는 집수지형 3개소		
	e	4개소	계곡부 또는 집수지형 4개소 이상		

<표 2.1-43> 불안정 지질 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
규모 및 상태	a	없음	없음	절리암반사면 국지적 분포	c
	b	일부 분포 (견고)	불안정 지질이 일부 분포하고 있으나 견고한 상태		
	c	국지적 분포 (파쇄)	불안정 지질이 국지적으로 분포하고 있으며 파쇄가 심한 상태		
	d	전반적인 분포 (파쇄)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심한상태		
	e	전반적인 분포 (파쇄, 누수 등)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심하고 누수 및 유실물 등이 발생하고 있는 상태		

<표 2.1-44> 불연속면 특성 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = (0+10+5+5+0+0) / 6 = 3.3	b
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 2.1-45> 불연속면 세부 상태 평가 결과(2구간)

평가항목	등급					현장조사 결과	평가 결과
	a	b	c	d	e		
점수	0	5	10	16	24		
①연장성	1.0m미만	1.0m이상 3.0m미만	3.0m이상 10.0m미만	10.0m이상 20.0m미만	20.0m이상	< 1	a
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.1~1.0 ㎜	c
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	거칠음	b
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	딱딱함, 5㎜미만	b
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	Fresh	a
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	2 이상	a

<표 2.1-46> 지반변형 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
포행, 단차, 배부름 등	a	변형 없음	지반변형이 없는 상태	지반변형 없음	a
	b	약간의 변형	일부 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	d	사면 전반에 걸친 변형	지반변형이 발생하여 붕괴위험은 있으나, 붕괴로 인해 사면하부 주 구조물에는 직접적인 영향이 없는 상태		
	e	사면 전반에 걸친 변형	평가대상 구간 전반에 변형이 발생하여 대규모 붕괴위험이 예상되며 붕괴발생으로 사면하부의 주구조물에 영향을 미칠 수 있는 상태		

<표 2.1-47> 지하수 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
누수 상태 및 위치	a	건조(dry)	지하수의 흐름이 관찰되지 않고 표면이 건조한 상태	건조한 상태	a
	b	젖음(wet) 사면하부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 하부에서 관찰되는 상태		
	c	젖음(wet) 사면상부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 상부에서 관찰되는 상태		
	d	흐름(flow) 사면하부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 하부에서 용출이 관찰되는 상태		
	e	흐름(flow) 사면상부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 상부에서 용출이 관찰되는 상태		

<표 2.1-48> 배수시설 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
배수 조건	a	완전배수	지표 및 지하배수구가 모두 적용되어 원활한 배수를 이루고 있는 상태 또는 사면이 건조한 상태로 배수시설의 적용이 필요하지 않은 상태	양호	b
	b	양호	배수시설이 노후 되었으나 배수기능이 원활한 상태		
	c	보통	배수시설이 노후 되고 일부 균열이 관찰되나, 배수기능이 원활한 상태		
	d	불량	배수시설이 노후 되고 균열 및 변형 등의 결함이 발생하여 배수기능이 불량한 상태		
	e	매우 불량	지표수 및 지하수로 인해 사면의 안전성능에 직접적인 영향을 미치며, 배수시설이 설치되어 있지 않거나 결함으로 인해 배수를 못하는 상태		

<표 2.1-49> 붕괴이력 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
붕괴이력	a	없음	없음	없음	a
	b	세굴 및 표층균열	사면의 표면 세굴 및 소규모 유실 등의 발생이력		
	c	표층파괴	표층유실 및 낙석, 암탈락 등 사면 표층 파괴 발생이력		
	d	심층파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 심층파괴 발생이력		
	e	대규모파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 파괴가 발생하여 사면하부 주구조물에 피해가 발생한 상태		

<표 2.1-50> 낙석 발생 규모 평가기준(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	없음	a
	b	1.0㎥미만		
	c	1.0㎥이상, 6.0㎥미만		
	d	6.0㎥이상, 10.0㎥미만		
	e	10.0㎥이상		

<표 2.1-51> 예상 낙석에너지 평가기준(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
예상 낙석 에너지	a	없음	$E_i = (1 - \frac{u}{\tan\theta}) \times (1+\beta) \times m \times g \times H = 0$ 여기서, □E_i = 낙석에너지(kJ), □Θ= 사면의 경사, u□= 낙석의 등가마찰계수(0.15) □ β = 회전에너지계수(0.1) m = 낙석의 중량(t), □H= 낙석의 높이(m) g = 중력가속도(9.8m/sec^2) (u, β는 상수, 각각 0.15, 0.1 적용) → 현장조사 결과 낙석방지망 내 뜬돌 및 이완암이 조사됨	c
	b	50kJ미만		
	c	50kJ이상 70kJ미만		
	d	70kJ이상 120kJ미만		
	e	120kJ이상		

<표 2.1-52> 사면의 상부 상태 평가 결과 (2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
상부 자연사면 경사	a	없음	평지 또는 역경사	상향 10°	c
	b	10°미만	상부자연사면으로부터 지표수가 유입될 수 있는 정도를 평가하기 위한 것으로 자연사면의 대표 경사로 평가		
	c	10°이상 20°미만			
	d	20°이상 30°미만			
	e	30°이상			

바. 2구간 인장균열 평가 결과

인장균열이 확인되는 경우 인장균열을 반영한 상태안전성능평가 결과를 선정하고 구조안전성능 평가결과 및 현장 상태에 따라 보강 대책방안을 검토해야 한다. 인장균열의 결함점수는 d, e 등급에 따른 각각의 평균값으로 산정한다.

<표 2.1-53> 인장균열 결함점수 산정 결과(2구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가 결과
인장균열	a	8	0.08	인장균열 없음	a
	d	65	0.65		
	e	88	0.88		

본 비탈면의 경우 인장균열이 없는 상태로서 성능별 등급 결과에 따른 상태안전성능평가 결과를 최종 상태평가 안전등급으로 산정하기로 한다.

사. 2구간 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 2.1-54> 상태안전성능 평가 결과 범위(2구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0 ≤ f < 0.15	0.15 ≤ f < 0.30	0.30 ≤ f < 0.55	0.55 ≤ f < 0.75	0.75 ≤ f

<표 2.1-55> 암반사면의 평가항목별 등급에 따른 점수(2구간)

평가항목	등급에 따른 점수				
	a	b	c	d	e
① 집수지형	0	1	3	4	6
② 불안정 지질	0	3	6	10	15
③ 불연속면의 특성	0	1~5	6~10	11~16	17~24
④ 지반변형	0	2	4	6	9
⑤ 지하수	0	2	3	5	8
⑥ 배수조건	0	2	5	7	11
⑦ 붕괴이력	0	2	4	7	10
⑧ 낙석	0	4	7	11	17
결함지수 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 2.1-56> 상태안전성능평가 결과(2구간)

시설물명		부산기점 STA.11+750~12+500		
사면 종류	절토사면	구성재료	절리암반사면	
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	0	a
	사면 외	0		
불안정 지질		6	6	c
블연속면 특성		3.3	4	b
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			12	
결함지수		0.12		
상태안전성능평가 결과		A		

아. 3구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 2.1-57> 집수지형 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가결과
사면 내·외 집수지형 개소 수	a	없음	계곡부 또는 집수지형 없음	없음	a
	b	1개소	계곡부 또는 집수지형 1개소		
	c	2개소	계곡부 또는 집수지형 2개소		
	d	3개소	계곡부 또는 집수지형 3개소		
	e	4개소	계곡부 또는 집수지형 4개소 이상		

<표 2.1-58> 불안정 지질 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
규모 및 상태	a	없음	없음	파쇄암반사면 일부 분포	b
	b	일부 분포 (견고)	불안정 지질이 일부 분포하고 있으나 견고한 상태		
	c	국지적 분포 (파쇄)	불안정 지질이 국지적으로 분포하고 있으며 파쇄가 심한 상태		
	d	전반적인 분포 (파쇄)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심한상태		
	e	전반적인 분포 (파쇄, 누수 등)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심하고 누수 및 유실물 등이 발생하고 있는 상태		

<표 2.1-59> 불연속면 특성 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = (0+5+10+5+0+0) / 6 = 3.3	b
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 2.1-60> 불연속면 세부 상태 평가 결과(3구간)

평가항목	등급					현장조사 결과	평가 결과
	a	b	c	d	e		
점수	0	5	10	16	24		
①연장성	1.0m미만	1.0m이상 3.0m미만	3.0m이상 10.0m미만	10.0m이상 20.0m미만	20.0m이상	< 1	a
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.1㎜ 미만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거칠음	c
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	딱딱함, 5㎜미만	b
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	Fresh	a
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	2 이상	a

<표 2.1-61> 지반변형 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
포행, 단차, 배부름 등	a	변형 없음	지반변형이 없는 상태	지반변형 없음	a
	b	약간의 변형	일부 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	d	사면 전반에 걸친 변형	지반변형이 발생하여 붕괴위험은 있으나, 붕괴로 인해 사면하부 주 구조물에는 직접적인 영향이 없는 상태		
	e	사면 전반에 걸친 변형	평가대상 구간 전반에 변형이 발생하여 대규모 붕괴위험이 예상되며 붕괴발생으로 사면하부의 주구조물에 영향을 미칠 수 있는 상태		

<표 2.1-62> 지하수 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
누수 상태 및 위치	a	건조(dry)	지하수의 흐름이 관찰되지 않고 표면이 건조한 상태	건조한 상태	a
	b	젖음(wet) 사면하부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 하부에서 관찰되는 상태		
	c	젖음(wet) 사면상부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 상부에서 관찰되는 상태		
	d	흐름(flow) 사면하부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 하부에서 용출이 관찰되는 상태		
	e	흐름(flow) 사면상부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 상부에서 용출이 관찰되는 상태		

<표 2.1-63> 배수시설 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
배수 조건	a	완전배수	지표 및 지하배수구가 모두 적용되어 원활한 배수를 이루고 있는 상태 또는 사면이 건조한 상태로 배수시설의 적용이 필요하지 않은 상태	양호	b
	b	양호	배수시설이 노후 되었으나 배수기능이 원활한 상태		
	c	보통	배수시설이 노후 되고 일부 균열이 관찰되나, 배수기능이 원활한 상태		
	d	불량	배수시설이 노후 되고 균열 및 변형 등의 결함이 발생하여 배수기능이 불량한 상태		
	e	매우 불량	지표수 및 지하수로 인해 사면의 안전성능에 직접적인 영향을 미치며, 배수시설이 설치되어 있지 않거나 결함으로 인해 배수를 못하는 상태		

<표 2.1-64> 붕괴이력 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
붕괴이력	a	없음	없음	없음	a
	b	세굴 및 표층균열	사면의 표면 세굴 및 소규모 유실 등의 발생이력		
	c	표층파괴	표층유실 및 낙석, 암탈락 등 사면 표층 파괴 발생이력		
	d	심층파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 심층파괴 발생이력		
	e	대규모파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 파괴가 발생하여 사면하부 주구조물에 피해가 발생한 상태		

<표 2.1-65> 낙석 발생 규모 평가기준(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 없음	a
	b	1.0㎥미만		
	c	1.0㎥이상, 6.0㎥미만		
	d	6.0㎥이상, 10.0㎥미만		
	e	10.0㎥이상		

<표 2.1-66> 예상 낙석에너지 평가기준(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
예상 낙석 에너지	a	없음	$E_i = (1 - \frac{u}{\tan\theta}) \times (1+\beta) \times m \times g \times H$ = 0 여기서, □E_i = 낙석에너지(kJ), □Θ= 사면의 경사, u□= 낙석의 등가마찰계수(0.15) □ β = 회전에너지계수(0.1) m = 낙석의 중량(t), □버= 낙석의 높이(m) g = 중력가속도(9.8m/sec^2) (u, β는 상수, 각각 0.15, 0.1 적용) → 현장조사 결과 뜬돌 및 이완암이 조사되지 않음	a
	b	50kJ미만		
	c	50kJ이상 70kJ미만		
	d	70kJ이상 120kJ미만		
	e	120kJ이상		

<표 2.1-67> 사면의 상부 상태 평가 결과 (3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
상부 자연사면 경사	a	없음	평지 또는 역경사	상향 10°	c
	b	10°미만	상부자연사면으로부터 지표수가 유입될 수 있는 정도를 평가하기 위한 것으로 자연사면의 대표 경사로 평가		
	c	10°이상 20°미만			
	d	20°이상 30°미만			
	e	30°이상			

자. 3구간 인장균열 평가 결과

인장균열이 확인되는 경우 인장균열을 반영한 상태안전성능평가 결과를 선정하고 구조안전성능 평가결과 및 현장 상태에 따라 보강 대책방안을 검토해야 한다. 인장균열의 결함점수는 d, e 등급에 따른 각각의 평균값으로 산정한다.

<표 2.1-68> 인장균열 결함점수 산정 결과(3구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가 결과
인장균열	a	8	0.08	인장균열 없음	a
	d	65	0.65		
	e	88	0.88		

본 비탈면의 경우 인장균열이 없는 상태로서 성능별 등급 결과에 따른 상태안전성능평가 결과를 최종 상태평가 안전등급으로 산정하기로 한다.

차. 3구간 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 2.1-69> 상태안전성능 평가 결과 범위(3구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
$0 \le f < 0.15$	$0.15 \le f < 0.30$	$0.30 \le f < 0.55$	$0.55 \le f < 0.75$	$0.75 \le f$

<표 2.1-70> 암반사면의 평가항목별 등급에 따른 점수(3구간)

평가항목	등급에 따른 점수				
	a	b	c	d	e
① 집수지형	0	1	3	4	6
② 불안정 지질	0	3	6	10	15
③ 불연속면의 특성	0	1~5	6~10	11~16	17~24
④ 지반변형	0	2	4	6	9
⑤ 지하수	0	2	3	5	8
⑥ 배수조건	0	2	5	7	11
⑦ 붕괴이력	0	2	4	7	10
⑧ 낙석	0	4	7	11	17
결함지수 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 2.1-71> 상태안전성능평가 결과(3구간)

시설물명		부산기점 STA.11+750~12+500		
사면 종류	절토사면	구성재료		절리암반사면
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	0	a
	사면 외	0		
불안정 지질		3	3	b
블연속면 특성		3.3	4	b
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			9	
결함지수		0.09		
상태안전성능평가 결과		**A**		

카. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 2.1-72> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
475.0m	1구간	12.065~12.265K	a(0.12)	A	인장균열 없음
	2구간	12.265~12.465K	a(0.12)		
	3구간	12.465~12.540K	a(0.09)		
	○ 구간별 평가 후 최소등급 선정 ○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

1.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

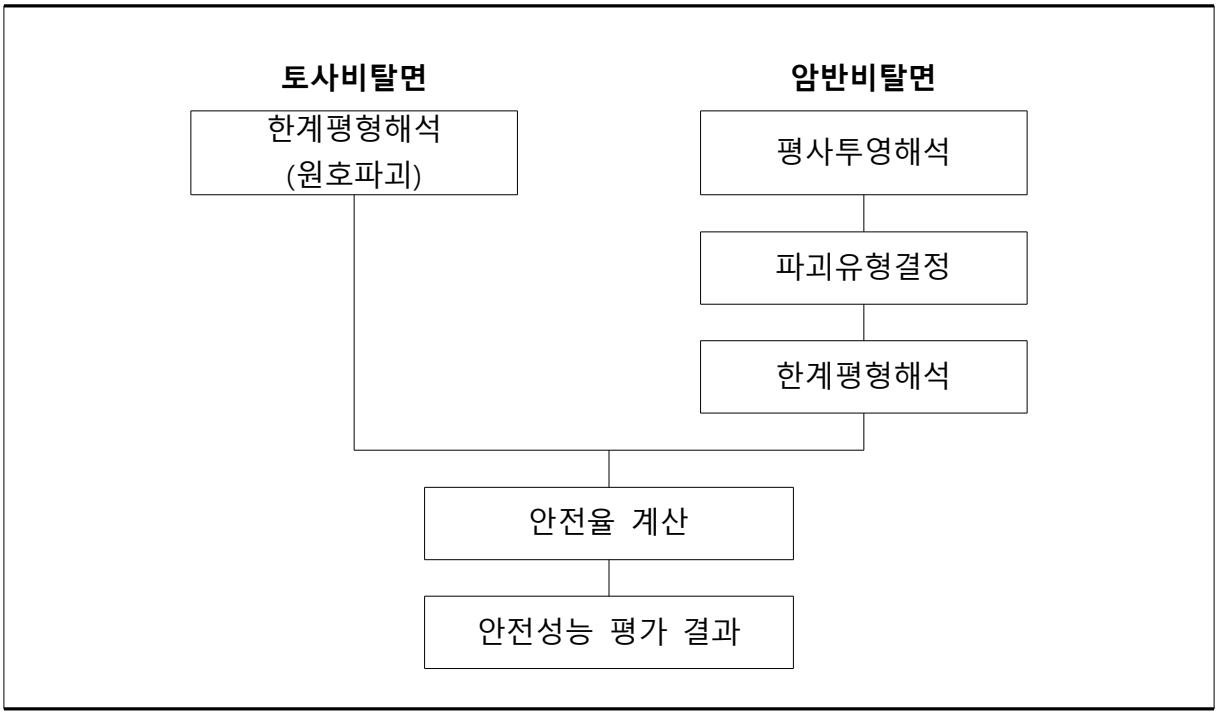
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

금회 성능평가에서는 설계 및 시공중 보강 관련 자료, 공용중 보강자료 등의 검토를 통해 구조안전성능평가에 필요한 항목을 검토하기로 한다. 또한, 이와 더불어 금회 성능평가 현장조사시 획득된 암반 절리 자료를 이용하여 평사투영해석을 시행하기로 한다.

나. 구조안전평가

1) 평가개요

비탈면의 안전성능 평가는 비탈면을 구성하는 지반의 구성물질 및 파괴거동에 따라 다양한 측면에서 검토되어야 한다. 토사비탈면과 토층은 일반적으로 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반비탈면은 평사투영해석을 실시하여 불연속면을 따른 암반의 파괴 가능성 및 파괴유형을 검토한 후 이에 부합하는 한계평형해석을 실시하여야 한다. 또한 암반비탈면의 경우라 할지라도 지반의 강도 특성이나 불연속면의 분포 특성 등에 따라 토사비탈면과 같은 연속적인 거동이 가능한 암반의 경우는 이와 별도로 원호파괴 가능성에 대한 검토가 이루어져야 한다.



<그림 2.1-2> 구조안전성능 평가과정

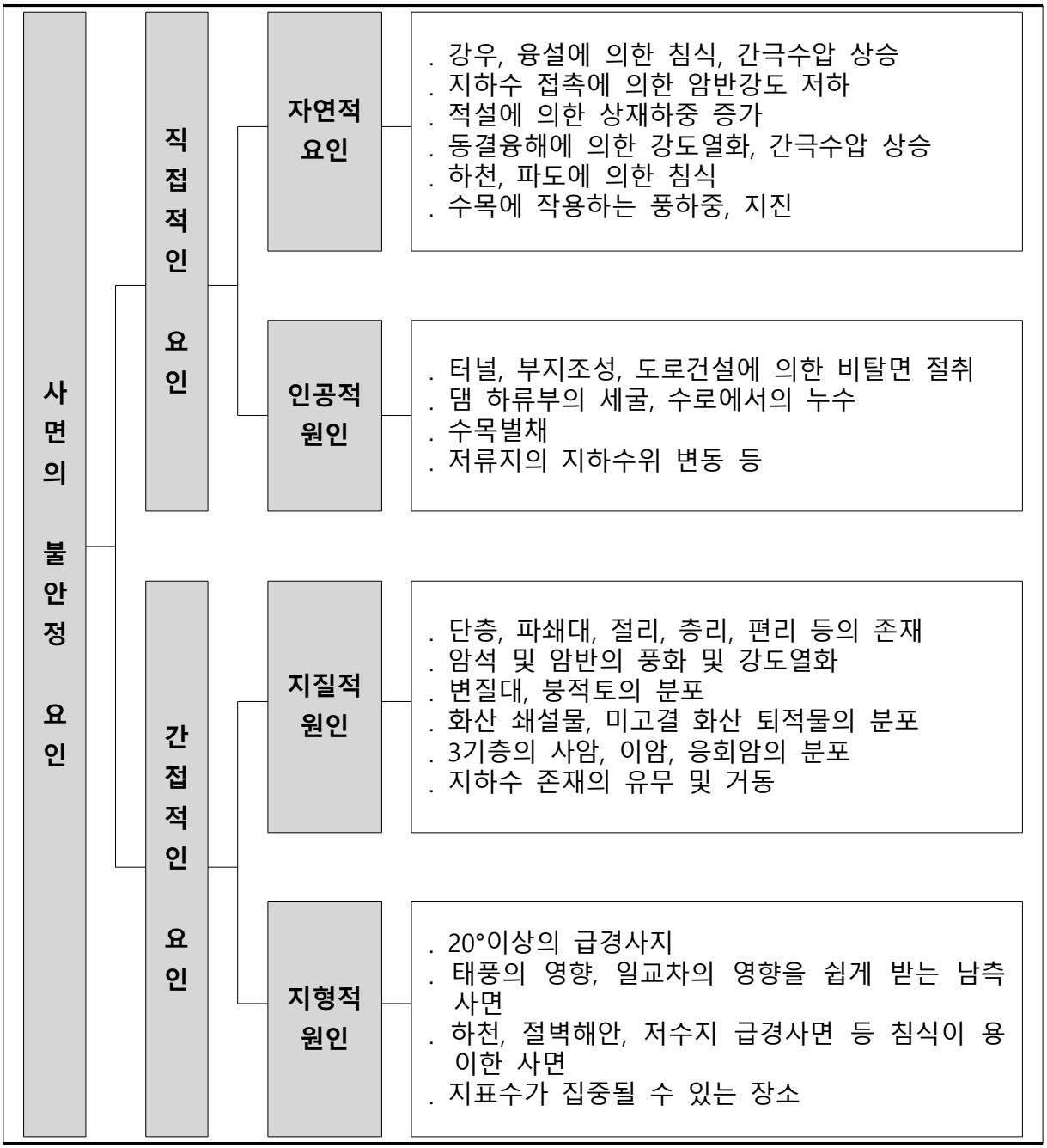
<표 2.1-73> 유형별 안정해석 범위

구 분	평사투영 해석	한계평형해석		비 고
		토 사	암 반	
토사비탈면	-	○	-	. 원호활동에 대한 한계평형 해석 실시
암반비탈면	○	△	○	. 평사투영해석결과 불안정시 파괴 유형에 따른 한계평형해석 수행 . 3m이상의 토층이 관찰되거나 풍화가 심하게 진행되어 원호활동이 예상되는 구간에 대해 평사투영해석결과와 별도로 원호파괴 해석을 실시
혼합비탈면	○	○	○	. 평사투영해석결과 불안정시 파괴 유형에 따른 한계평형해석 수행 . 평사투영해석결과와 별도로 토사구간에 대해 원호파괴해석 실시

ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득

ㅇ설계도면과 현재 제원 비교

2) 비탈면의 불안정 요인

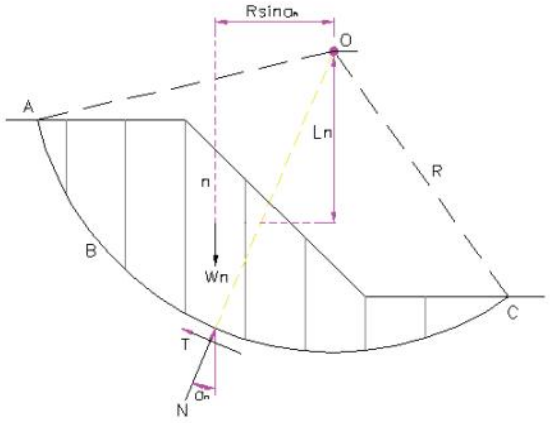


<그림 2.1-3> 구조안전성능 평가과정

3) 비탈면 안정해석 방법

① 한계평형법

한계평형 해석방법은 활동면을 따라 파괴가 일어나려는 순간에 토체의 안정성을 해석하려는 것이다. 문제를 단순화하기 위한 가정을 설정하고 이 방법을 사용하여 간단한 정역학적 이론으로 해를 얻으려 하는 것이다. 한계평형 해석법은 절성토 비탈면의 안정해석에 널리 사용되고 있으며 이 방법의 유용성과 신뢰성은 축적된 경험을 통하여 잘 알려져 있다. 한계평형 이론에 의한 비탈면안정 해석방법은 여러 가지가 있으며, 그 정확성은 강도정수와 비탈면의 기하학적 조건의 정확도 및 각 해석방법 고유의 정밀도에 따라 좌우된다. 한계평형 방법의 기본가정은 직선, 원호, 대수나선으로 가정된 파괴면을 따라 Coulomb의 파괴규준을 만족한다는 것으로 가능한 활동면을 따라 파괴가 일어나려는 순간에 토체의 안정성을 해석하는 것이다. 대표적인 해석방법으로는 ø=0 해석법, Fellenius 방법, Bishop 방법, Janbu 방법, Spencer 방법, Morgenstern & Price, 일반한계평형 방법(GLE) 등이 있다.



$$Fs = \frac{\sum_{n=1}^{n=p}(cb_n + W_n \tan\phi + \Delta T \tan\phi)\frac{1}{m}\alpha(n)}{\sum_{n=1}^{n=p}(\sin\alpha_n)}$$

$$m\alpha(n) = \cos\alpha \quad n + \frac{\tan\phi \cdot \sin\alpha_n}{F_S}$$

여기서

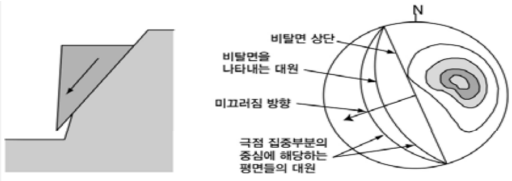
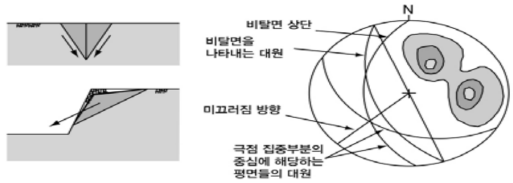
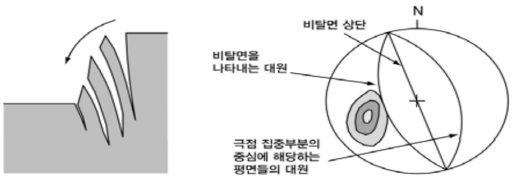
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 2.1-4> Bishop의 안전율 계산식

② 평사투영해석

평사투영법은 비탈면의 방향과 경사, 불연속면의 주향과 경사, 불연속면의 전단저항각을 고려하여 암반 비탈면의 안정성을 개략적으로 검토하는 방법이다. 암반비탈면에 발달하고 있는 불연속면의 방향에 따라 그 파괴형태가 다르게 나타난다. 일반적으로 암반비탈면의 파괴형태는 원형파괴(Circular Failure), 평면파괴(Planar Failure), 쐐기파괴(Wedge Failure) 및 전도파괴(Toppling Failure) 등이 있다.

<표 2.1-74> 비탈면 안정성 분석방법

구 분	파괴 모식도	분석방법
평면파괴		. 불연속면의 주절리가 한 방향으로 발달된 암반에서 발생가능
쐐기파괴		. 쐐기파괴는 두 개의 불연속면을 따라 발생하는 암반블록의 미끄러짐으로 인한 파괴형태
전도파괴		. 전도파괴으 발생조건은 절개면과 절리면의 경사방향이 반대이거나 절리면의 주향과 절개면의 주향이 비슷한 경우에 발생

4) 안전율 기준 - KDS 11 70 05 : 2016

<표 2.1-75> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

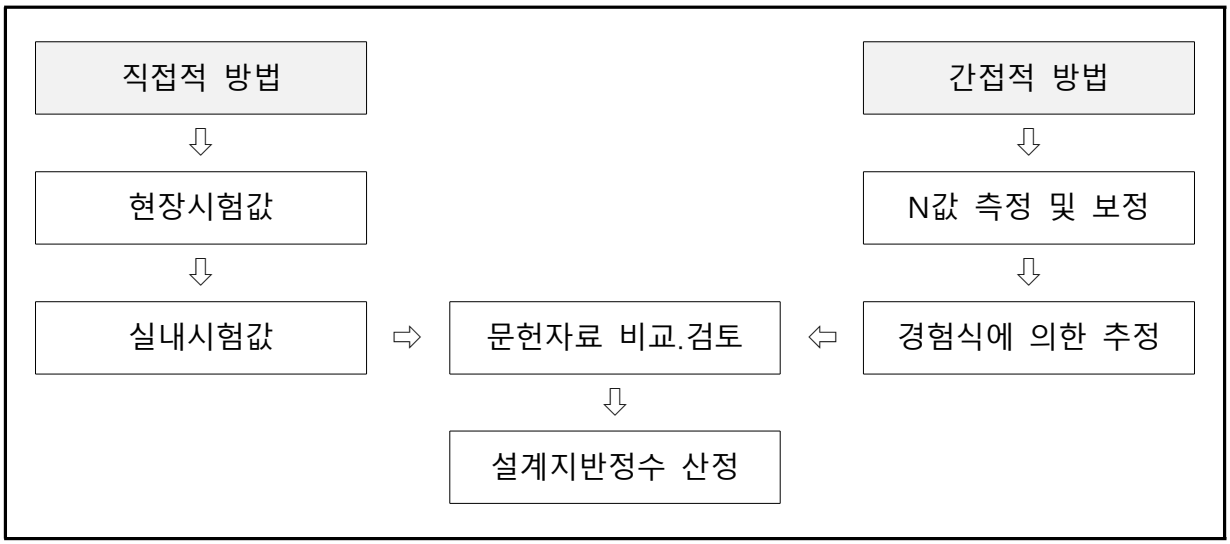
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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	. 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용시킴 . 실제측정 또는 평상시의 지하수위 적용

다. 지반정수 산정

1) 지반정수

대상지역의 지반-구조물의 상호작용에 따른 안정성을 평가하기 위해 현장조사결과를 토대로 경험식, 기존 적용사례 결과를 비교.분석하여 토사 및 암반의 지반정수를 적용하였다.

2) 지반정수 산정흐름



3) 토사/풍화암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 2.1-76> 지반조사편람(서울시, 1996)

지반명	단위중량 (kN/㎥)	점착력 c (MPa)	내부마찰각 (。)	변형계수 D(×10³kN/㎡)	포아송비
풍화토	17~20	0.00~0.01	25~30	20~40	0.5
풍화암	20~22	0.01~0.03	30~35	100~200	0.3~0.4
연 암	23~25	0.03~0.06	30~40	200~400	0.25~0.30
보통암	24~26	0.06~0.15	35~40	400~1,000	0.25
경 암	25~27	0.15~0.20	35~45	1,000~4,000	0.2

<표 2.1-77> 국도건설공사 설계실무요령(국토해양부, 2008)

종 류		재료의 상태		단위중량 (kN/㎥)	내부마찰각 ø(°)	점착력 c(MPa)	분류기호 (통일분류)
흙쌓기	자갈 및 자갈섞인모래	다진것		20	40	0.00	GW, GP
	모 래	다진것	입도가 좋은 것	20	35	0.00	SW, SP
			입도가 나쁜 것	19	30	0.00	
	사 질 토	다진것		18	25	0.03이하	SW, SC
	점 성 토	다진것		18	15	0.05이하	ML, CL MH, CH
자연지반	자 갈	밀실한 것, 입도가 좋은 것		20	40	0.00	GW, GP
		밀실치 않은 것, 입도가 나쁜 것		18	35	0.00	
	자갈섞인 모래	밀실한 것		18	40	0.00	GW, GP
		밀실치 않은 것		19	35	0.00	
	모 래	밀실한 것, 입도가 좋은 것		20	35	0.00	SW, SP
		밀실치 않은 것, 입도가 나쁜 것		18	30	0.00	
	사 질 토	밀실한 것		19	30	0.03이하	SM, SC
		밀실치 않은 것		17	25	0.00	
	점 성 토	굳은 것(손가갈으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=8~15)		18	25	0.05이하	ML, CL
		약간 무른 것(손가락 중간정도의 힘으로 들어감. N=4~8)		17	20	0.03이하	
		무른 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=2~4)		17	20	0.015이하	
	점토 및 실트	굳은 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=8~15)		17	20	0.05이하	CH, MH ML
		약간 무른 것(손가락 중간정도의 힘으로 들어감. N=4~8)		16	15	0.03이하	
		무른 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=2~4)		14	10	0.015이하	

<표 2.1-78> Geotechnical Engineering Investigation(Roy E. Hunt, 1987)

흙의 종류	다짐도	Dr,%	N	γ_{dry} (gf/㎤)	간극비 e	내부 마찰각(ø)
GW (입도분포가 좋은 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	90	2.21	0.22	40
	중간조밀	50	55	2.08	0.28	36
	느 슨	25	<28	1.97	0.36	32
GP (입도분포가 나쁜 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	70	2.04	0.33	38
	중간조밀	50	50	1.92	0.39	35
	느 슨	25	<20	1.83	0.47	32
SW (입도분포가 좋은 모래, 자갈질 모래)	조 밀	75	65	1.89	0.43	37
	중간조밀	50	35	1.79	0.49	34
	느슨	25	<15	1.70	0.57	30
SP (입도분포가 나쁜 모래, 자갈질 모래)	조밀	75	50	1.76	0.52	36
	중간조밀	50	30	1.67	0.60	33
	느슨	25	<10	1.59	0.65	29
SM (실트질 모래)	조밀	75	45	1.65	0.62	35
	중간조밀	50	25	1.55	0.74	32
	느슨	25	<8	1.49	0.80	29
ML (무기질 실트, 매우세립한 모래)	조밀	75	35	1.49	0.80	33
	중간조밀	50	20	1.41	0.90	31
	느슨	25	<4	1.35	1.00	27

◦ 경험식에 의한 방법

<표 2.1-79> 경험식에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

점착력 산정식		내부마찰력 산정식	
$\varnothing = 0$	$c = \frac{q_u}{2}$	Dunham	$\varnothing = \sqrt{12N} + 20$
Dunham	$q_u = \frac{N}{7.7}$	Peck	$\varnothing = 0.3N + 27$
Terzaghi-Peck	$q_u = \frac{N}{8}$	Ohsaki	$\varnothing = \sqrt{12N} + 15$
Ohsaki	$q_u = 4 + \frac{N}{2}$	도로교시방서	$\varnothing = \sqrt{15N} + 15$

◦ 기존 설계자료

<표 2.1-80> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각ø(°)	점착력c(MPa)	비고
기장~장안 국도건설공사	풍화(잔적)토	18	25	0.03	
	풍화암	21	30	0.05	
	연 암	25	32	0.10	
부산~울산간 고속도로 건설공사 (화전~좌동)	풍화(잔적)토	19	28	0.02	직접전단시험
	풍화암	20	30	0.03	
	연 암	24	30	0.10	
부산~울산간 고속도로 건설공사 (두현~굴화)	풍화(잔적)토	18	30	0.01	
	풍화암	20	30	0.05	
	연 암	23	35	0.01	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 2.1-81> Rock Slope Engineering(E. Hoek & J.W.Bary)

암 종	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각(°)	점착력(kN/㎡)
화 성 암 (화강암, 현무암 등)	25~30	35~45	35,000~55,000
변 성 암 (규암, 편마암, 슬레이트)	25~28	30~40	20,000~40,000
견고한 퇴적암 (석회암, 백운암, 사암)	23~28	35~45	10,000~30,000
연약한 퇴적암 (사암, 석탄, 백악, 셰일)	17~23	25~35	1,000~20,000

<표 2.1-82> 국내 암석의 실내시험 결과(지반공학회지)

암종	화강암	편마암	사암	세일	석회암	응회암
단위중량 (kN/㎥)	26.1±0.5	26.3~27.7	26.7±0.8	27.3±1.0	27.3±1.0	24.3~25.6
점착력 (kN/㎡)	13,500 ~25,000	-	15,000 ~40,000	10,000 ~25,000	15,000 ~34,000	4,000 ~15,000
내부마찰각 (°)	51~65	-	35~54	18~29	35~50	35~45

주)시료수 : 화강암(162~2,123), 편마암(117), 사암(494), 셰일(354), 석회암(150), 응회암(33)

<표 2.1-83> 암반의 전단강도 지수(한국도로공사, 도로설계실무편람)

암석종류 (강 도)	암 반 파 쇄 상 태		굴 착 난 이 도	암반의전단강도지수	
	NX 시 추 시 (Double Core Barrel 사용시)				
	T.C.R (%)	R.Q.D (%)		ϕ (°)	C (kN/㎡)
강한 풍화암으로서 파쇄가 거의 없는 경우와 대부분의 연.경암	20~30%	10~25%	발파암반 (연암)	33	130
	40~50%	25~35%	발파암반 (보통암)	35	150
	70% 이상	40~50%	발파암반 (경암)	40	200

◦ 경험식에 의한 방법

<표 2.1-84> Bieniawski(1989)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	-0.051 + 0.008RMR - 3.346×10-5RMR²(MPa)
마찰각(∅)	-0.086 + 0.7891RMR - 0.0031RMR²(degree)

<표 2.1-85> Trueman (1988)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	0.25exp(0.05RMR) (Mpa)
마찰각(∅)	0.5RMR + 5 (degree)

<표 2.1-86> 김교원 (1993)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	0.02exp(0.08RMR*) (Mpa)
마찰각(∅)	0.25(RMR*) + 27.5 (degree)

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 적용 지반정수 요약

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 MPa	프와송비	비 고
풍화토	18	28	0.02	0.3	
풍화암	20	30	0.03	0.3	
연 암	24	32	0.10	0.3	

6) 지반의 불포화 특성

실제 지반은 포화상태보다는 대부분 일정비율의 공기를 함유하고 있는 불포화상태이기 때문에 현실적인 해석결과를 검토하기 위해서는 불포화 특성이 고려된 비정상류 검토를 실시해야 한다. 다만 시험방법이 복잡하고 널리 알려지지 않아 수행에 다소의 어려움이 있어 현장여건을 최대한 반영하기 위해 관련 문헌자료를 이용하여 산정하였다. 불포화 특성은 지반의 불포화영역에서 음의 간극수압 크기에 따라 투수계수 및 함수비(포화도) 변화를 정의하는 것으로 압력수두(음의간극수압)에 따른 투수함수와 함수비함수를 직접정의(개별고려)하는 방법과 압력수두-체적함수비(포화도)-투수계수비의 관계를 정의(동시고려)하는 방법이 있다.

① 개별고려

불포화토 실험자료를 바탕으로 각각 제공되는 함수종류에 따라 Curve Fitting을 통하여 계수를 정의한다.

② 동시고려

JICE(일본국토기술연구센터, 2007)기준에 따라 불포화토 특성재료의 자료를 설정 가능하다. 지반종류별 제공된 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수는 다음과 같다.

<표 2.1-87> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비

구 분	압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비	
	체적함수율-압력수두	체적함수율-투수계수비
역질토	[G], [G-F], [GF]	[G], [G-F], [GF]
사질토	[S], [S-F], [SF]	[S], [S-F], [SF]
점성토	[M], [C]	[M], [C]

7) 수리정수 산정

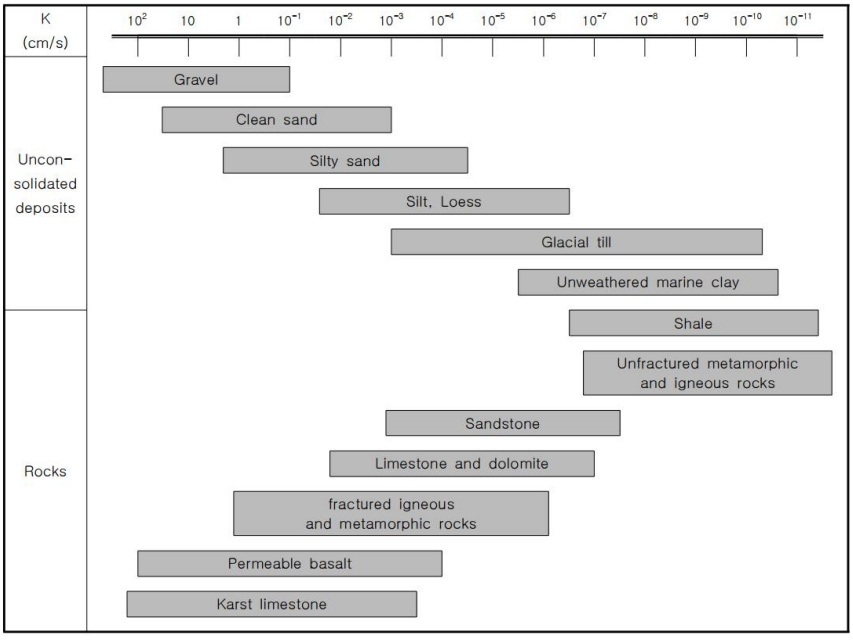
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 2.1-88> 대표적 투수계수

구 분		김 상 규(㎝/sec)	Braja M. Das(㎝/sec)
매립층	모래	1.0E-03~1.0	1.0E-03~1.0
	자갈, 사석	1.0E-02~1.0	1.0E-02~1.0
퇴적층	점성토	1.0E-08~1.0E-03	1.0E-06이하
	모래	1.0E-03~1.0	1.0E-03~1.0
풍화토		1.0E-06~1.0E-02	-

<표 2.1-89> 흙의 종류에 따른 일반적 투수계수(Rartick Power,1992)

흙의 종류	투수계수(㎝/sec)	흙의 종류
자갈(GP)	1.0 이상	양호한 모래(SW)
균등한 자갈(GP)	2.0E-01~1.0	실트질 모래(SM)
양호한 자갈(GW)	3.0E-02~5.0E-02	점토질 모래(SC)
균등한 모래(SP)	5.0E-03~2.0	실트(ML)



<그림 2.1-5> 퇴적물 및 암종별 투수계수(Freeze & Cherry, 1979)

라. 적용 강우강도

1) 강우강도

대상 비탈면에 적용된 강우강도는 한국확률강우량도의 지역별 확률강우량을 적용한다. 관측소가 없는 지역은 최인접 관측소의 확률강우량을 사용하되, 계획대상지점의 확률강우량을 이용하여 강우강도-지속시간-발생빈도 곡선(I.D.F 곡선, Intensity-Duration-Frequency)을 작성하여 최인접 관측소의 확률강우량과 비교 후 큰 값을 적용한다.

2) 설계강우빈도

① 도로배수시설 설계기준 KDS 44 40 00 : 2016

국가건설기준에 따른 도로배수시설의 설계빈도는 위험도・경제성 등을 고려하여 정하며, 구조물별 설계빈도의 적용은 다음 표와 같다.

<표 2.1-90> 도로배수시설 설계빈도

구분	설계빈도	적용위치 및 적용 방법
본선 횡단암거 및 배수관 (도시지역, 산지부)	30년 (50년) 50년 이상	. 일반구간 . 도심지, 도시계획구간 . 국지성 집중호우가 빈번히 발생하는 경우로 조사된 경우
노면 및 흙쌓기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	. 길어깨 및 중분대 등 노면 배수시설 . 흙쌓기부 도수로, 땅깎기흙쌓기경계부 측구 등
측도 및 도로 인접지 배수시설 땅깎기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	. 산마루 측구, 땅깎기부 도수로, 소단 측구 . 흙쌓기 비탈끝 배수시설, 수로이설
집수정 등 배수구조물 간 접속부	접속하는 시설물 중 빈도가 큰 값 적용	

② 비탈면배수시설 설계기준 KDS 11 70 25 : 2016

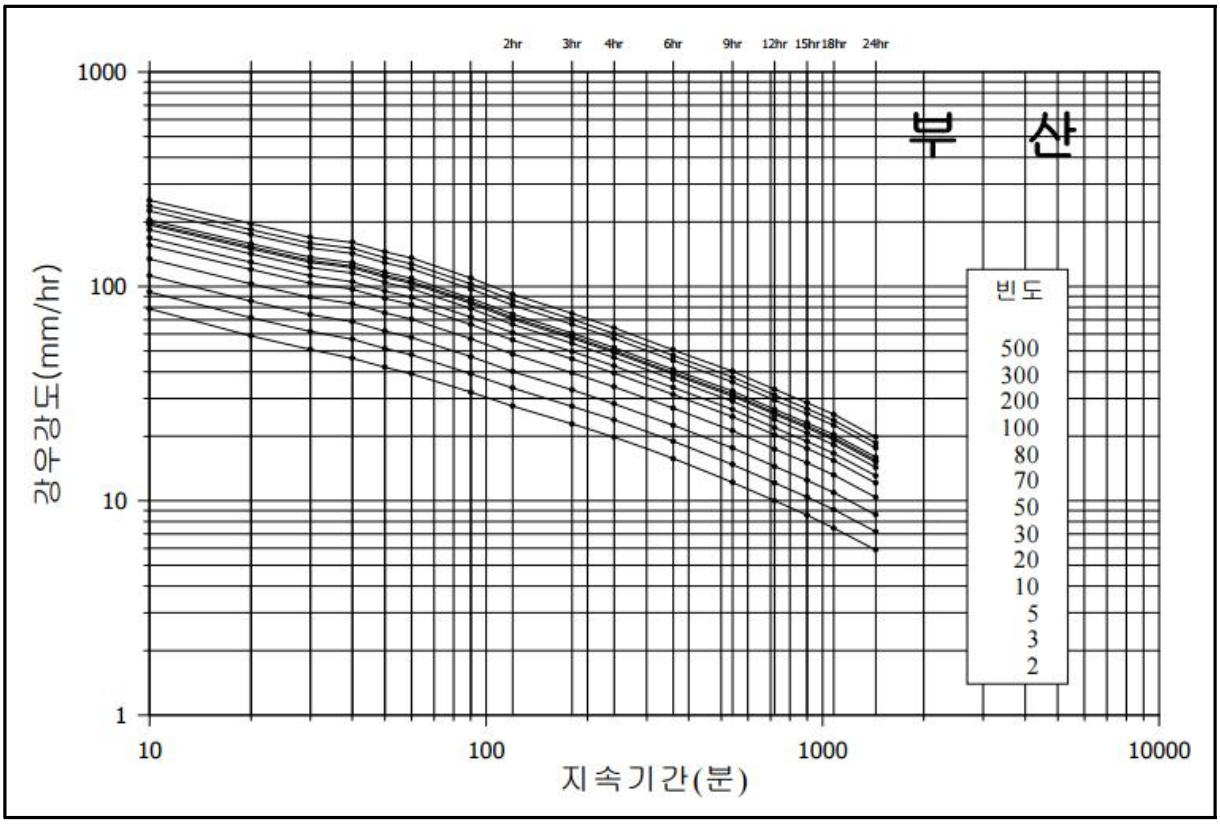
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

③ 적용 강우빈도

대상 비탈면에 적용할 강우빈도는 적용하기 위해 도로배수시설 및 비탈면배수시설의 설계기준을 참조하였으며 일반적으로 비탈면 배수시설에 적용하는 설계빈도는 20년 내외로 검토되었다. 다만 대상 비탈면의 중요도를 고려하여 적용할 강우 재현기간을 100년으로 선정하였다. 강우지속시간은 24시간을 기준으로 사용하였다.

2) 확률강우량 및 IDF곡선

① 부산지역



<그림 2.1-6> 부산지역 IDE곡선

재현기간(년) / 강우지속시간(hr)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	200	300
1	66.80	77.12	82.90	86.89	89.93	92.37	94.40	96.15	97.67	99.03	107.66	112.52
24	12.21	14.88	16.43	17.52	18.36	19.04	19.62	20.12	20.56	20.95	23.52	25.00
48	8.19	10.09	11.19	11.97	12.57	13.06	13.48	13.83	14.15	14.43	16.28	17.35

확률강우강도(㎜/hr)

<그림 2.1-7> 부산지역 확률강우강도

마. 지진시 비탈면 안정해석

1) 비탈면의 내진등급 및 성능목표

비탈면의 내진등급은 상위개념 내진설계기준을 준용하여 비탈면이 속해있는 주 구조물의 내진등급에 따라 Ⅰ등급, Ⅱ등급으로 구분하며 다음 원칙에 따라 결정한다. 비탈면의 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치지는 않으나 기능성 혹은 운영상에 일시적인 영향을 미치는 경우에는 주구조물 보다 한등급 아래의 내진등급을 적용한다. 또한 비탈면의 내진성능수준은 붕괴방지수준(비탈면 설계기준, 2011)으로 이는 비탈면에 인장균열, 부분적 탈락, 배부름 등의 파괴징조는 나타나지만 이로 인해 주구조물의 구조적 성능과 기능적인 역할에 피해를 유발시키지 않는 성능수준이다. 따라서 대상시설물은 주구조물이 고속도로인 내진Ⅰ등급에 해당되며 비탈면 붕괴가 발생할 경우 주구조물의 기능성 혹은 운영상에 일시적인 영향을 받으므로 주구조물과 같은 등급인 내진Ⅰ등급으로 선정하였다.

구조물분류	등급구분	적용대상
도로교	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별한 교량 (장대교량)
	내진Ⅰ등급	• 고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도상의 교량 • 지방도, 시도, 군도 중 방재계획상 필요한 도로에 건설된 교량 • 내진Ⅰ등급교가 건설되는 도로 위를 지나가는 고가교량
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 교량
고속철도	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별히 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	교량, 고가역사, 지하터널역사, 터널, 전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	이외의 구조물
공항구조물	내진특등급	관제탑, 구조 및 소방시설
	내진Ⅰ등급	교량, 지하구조물, 비행장시설, 도로, 건축물 등
	내진Ⅱ등급	하수도, 화물창고, 화물터미널
항만구조물	내진Ⅰ등급	항구의 입지적, 전략적 요건에 의해 주관적으로 분류
	내진Ⅱ등급	안벽, 제방 등 Ⅰ등급으로 할 필요가 없는 구조물
지중구조물	내진특등급	• 특별한 안전이 요구되는 시설 • 긴급구조, 국방 및 치안유지에 필요한 구조물
	내진Ⅰ등급	사회적 혼란이 야기되고 많은 인명, 재산피해를 주는 구조물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 일반적인 구조물
댐	내진특등급	중규모이상으로서 파괴시 하류에 중규모이상의 피해가 야기되는 댐
	내진Ⅰ등급	소규모로서 파괴시 하류에 낮은 수준의 피해가 야기되는 댐
터널	내진특등급	• 긴급구조, 구호, 국방 및 치안유지에 필요한 터널 • 내진특등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅰ등급	내진1등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅱ등급	그 외의 일반적인 터널
도로	내진Ⅰ등급	고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도
	내진Ⅱ등급	지방도, 시도, 군도
철도구조물	내진특등급	내진Ⅰ등급구조물중 복구난이도가 높고 경제사회적으로 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	국방, 치안유지 및 국가산업 활동에 중요역할을 하는 철도선상이나 도시지하철상의 교량,고가역사,지하철터널역사,터널,전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 구조물
건축물	내진특등급	방송국, 유독폭발성물질을 다량보관하는 구조물
	내진Ⅰ등급	소방서, 경찰서, 종합병원, 통신시설, 발전소, 바닥면적이 5000㎡이상인 집회시설, 바닥면적 10000㎡이상인 판매시설, 내진특등급 구조물을 지원하기 위해 필요한 시설물, 교육용건물, 교도소 및 구금시설, 6층 이상의 아파트나 숙박시설, 공공건물중 지진전후로 가동되어야 하는 건축물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 건축물

<그림 2.1-8> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 2.1-91> 설계지반운동 수준

구 분	특등급	Ⅰ등급	Ⅱ등급
붕괴방지수준	평균재현주기 2400년	평균재현주기 1000년	평균재현주기 500년
	-	해당	-

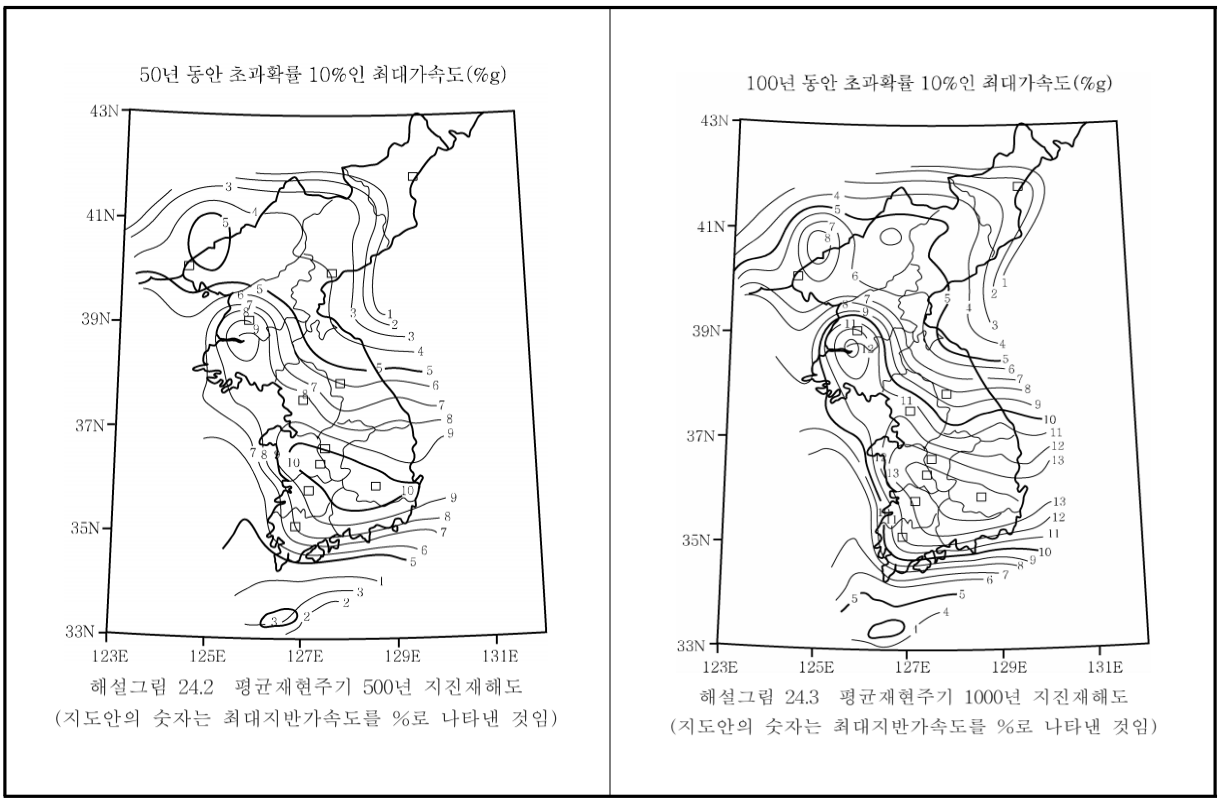
2) 설계지반운동

① 지반가속도계수

지반가속도계수는 지표면 자유장 최대가속도로 해당 지역의 보통암 암반노두를 기준으로 평가하며 지표면에서의 지반가속도계수는 국지적인 토질조건, 지질조건과 지표 및 지하지형이 지반운동에 미치는 영향을 고려해야 한다. 다만 깍기비탈면의 경우 보통암 상태의 노두가 노출되는 경우는 지진재해도 및 지진구역도에서 제시하는 지반가속도계수를 직접적으로 이용할 수 있다.

② 지진재해도를 이용한 지반가속도계수의 산정

지진의 평균 재현주기별로 작성된 지진재해도를 활용하여 비탈면의 내진등급에 따른 지반가속도계수를 산정한다.



해설그림 24.2 평균재현주기 500년 지진재해도
(지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

해설그림 24.3 평균재현주기 1000년 지진재해도
(지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

<그림 2.1-9> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

비탈면이 위치한 지역의 지진구역계수와 내진등급별 재현주기에 따른 위험도계수의 곱으로 지반가속도계수를 산정한다.

<표 2.1-92> 지진구역 구분 및 지진구역계수(재현주기 500년)

지진구역	행정구역		지진구역계수(g)
Ⅰ	시	. 서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시	0.11
	도	. 경기도, 강원도 남부(1), 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 북동부(2)	
Ⅱ	도	. 강원도 북부(3), 전라남도 남서부(4), 제주도	0.07

(1) 강원도 남부(군, 시) : 영월, 정선, 삼척시, 강릉시, 동해시, 원주시, 태백시

(2) 전라남도 북동부(군, 시) : 장성, 담양, 곡성, 구례, 장흥, 보성, 화순, 광양시, 나주시, 여수시, 순천시

(3) 강원도 북부(군, 시) : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천시, 속초시

(4) 전라남도 남서부(군, 시) : 무안, 신안, 완도, 영광, 진도 ,해남, 영암, 강진, 고흥, 함평, 목포시

<표 2.1-93> 지진구역 구분 및 지진구역계수(재현주기 1000년)

재현주기	50년	100년	200년	500년	1000년	2400년
위험도계수	0.4	0.57	0.73	1.00	1.40	2.0

지진구역계수는 각 지진구역별로 평균재현주기 1000년을 기준으로 결정되었으므로 위험도 계수를 이용하여 다른 재현주기에서의 구역별 최대 유효지반가속도를 결정한다.

지역별 최대 유효지반 가속도, g값 = 지진구역계수 × 위험도 계수

3) 지진가속도계수 선정

대상 비탈면의 주구조물은 고속도로로서 비탈면 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치므로 내진등급1등급으로 평가된다. 따라서 지진구역은 I구역으로 재현주기에 따른 위험도계수를 고려한 결과 지진가속도계수는 0.154g이다. 이는 수평방향의 성분으로서 수직방향의 성분의 지진계수는 수평방향의 2/3을 적용한다.(구조동역학(2005) 김두기 : 2/3, 일본기준 : 1/2로 제안)

마. 비탈면 검토구간 및 현황

<표 2.1-94> 검토대상 비탈면구간 및 현황

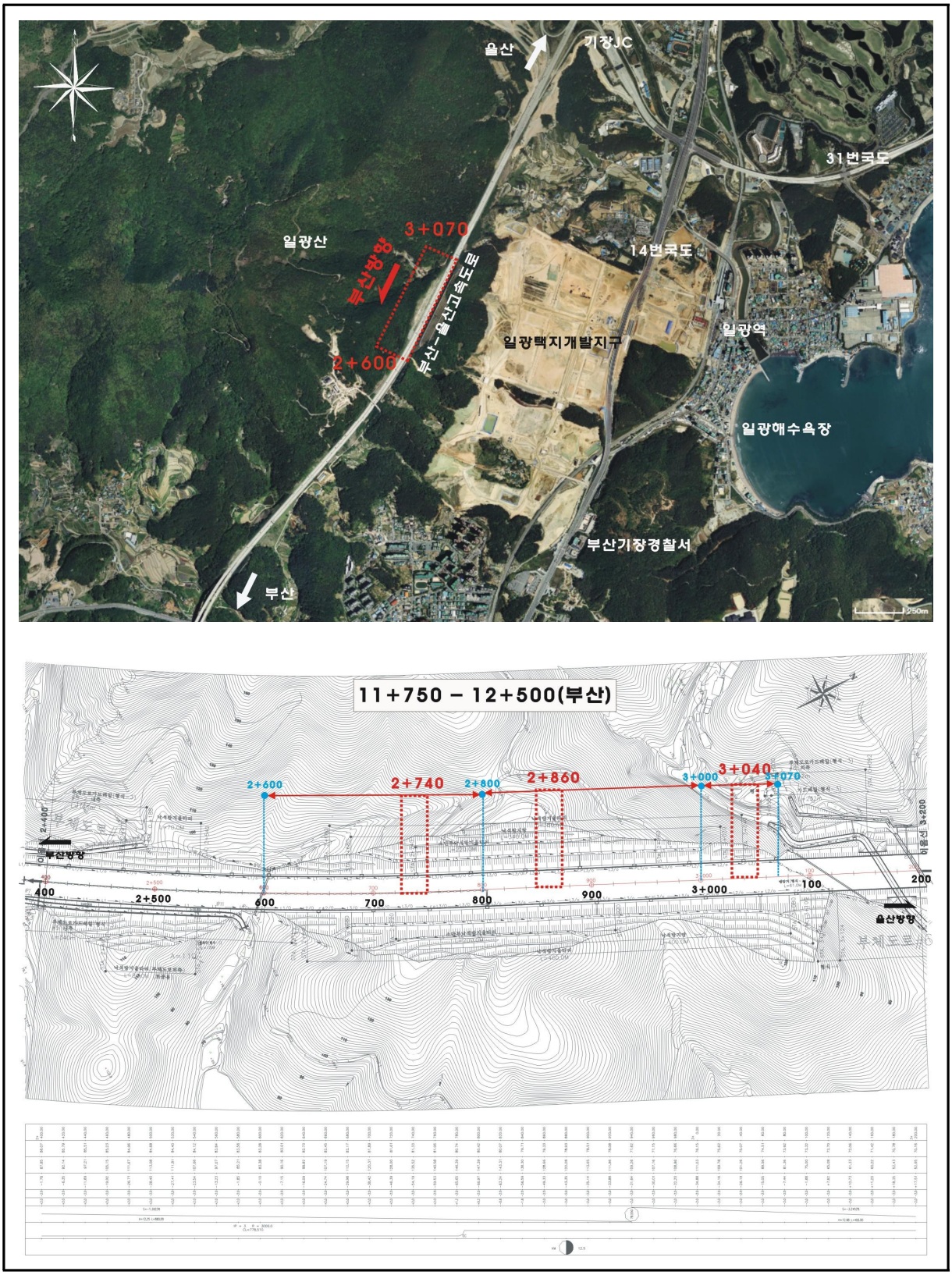
구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
STA.11+750~12+500 (부산)	부산광역시 기장군 일광면 삼성리	11.75 ~	STA.2+740	43.7	13.6	30.1	-	2008	63/127
			STA.2+860	57.1	8.6	48.5	-	2008	63/127
			STA.3+040	12.5	7.1	5.4	-	2008	63/127

※ 부산기점 STA.을 설계도면에서 표시된 공구별 STA.으로 분할하여 표시, 검토 표시하였음

<그림 2.1-10> 부산.울산선 검토대상 비탈면구간

사. STA.11+750~12+500(부산) 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



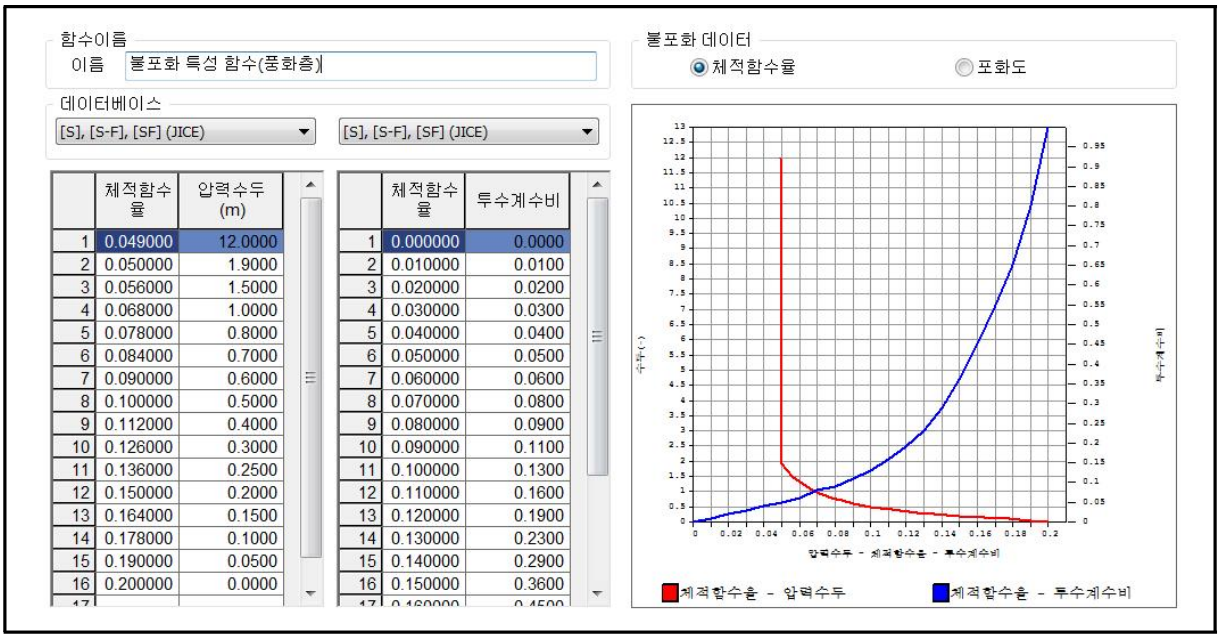
<그림 2.1-11> 부산.울산선 검토대상 비탈면구간

2) 적용 지반정수

지반 정수값은 대상시설물의 실시설계 지반조사보고서 및 주변에서 실시한 지반보고서를 비교, 분석하여 현장 시험값을 기초로 일반적 안전측으로 적용하였다. 투수계수는 문헌자료를 검토하여 일반적인 값을 적용하였다.

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 MPa	투수계수 ㎝/sec	비 고
풍화토	18	28	0.02	1.0E-03	
풍화암	20	30	0.03	1.0E-04	
연암	24	32	0.10	1.0E-05	

지반의 불포화토 특성은 JICE(일본국토기술연구센터, 2007)기준을 적용하였으며 대상지역의 풍화토 및 풍화암의 주된 성분이 실트질 모래 또는 모래섞인 실트로 JICE 기준의 사질토로 구분하여 적용하였다.



	체적함수율	압력수두 (m)
1	0.049000	12.0000
2	0.050000	1.9000
3	0.056000	1.5000
4	0.068000	1.0000
5	0.078000	0.8000
6	0.084000	0.7000
7	0.090000	0.6000
8	0.100000	0.5000
9	0.112000	0.4000
10	0.126000	0.3000
11	0.136000	0.2500
12	0.150000	0.2000
13	0.164000	0.1500
14	0.178000	0.1000
15	0.190000	0.0500
16	0.200000	0.0000

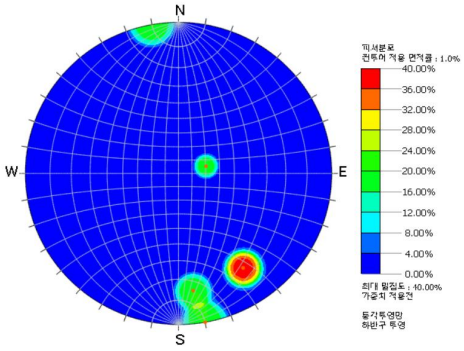
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 2.1-12> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

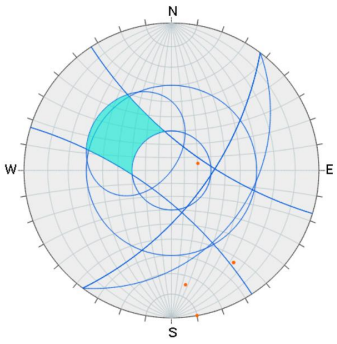
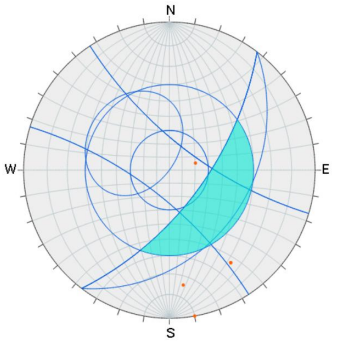
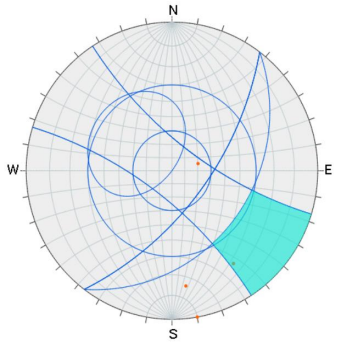
3) 1구간 (STA.2+740, 부산)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
		dip	dip direction
평사 투영도		74	326
		76	353
		74	326
		90	350
		21	255

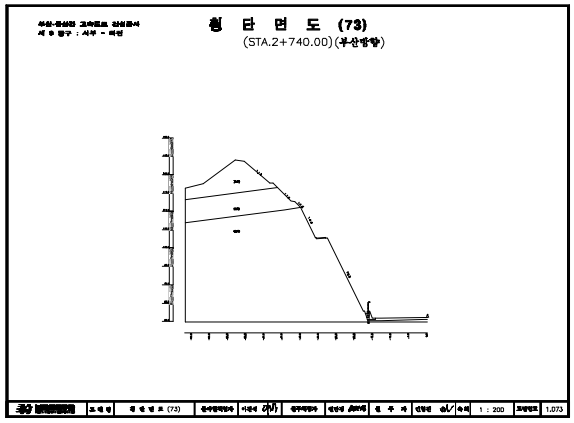
◦ 해석결과

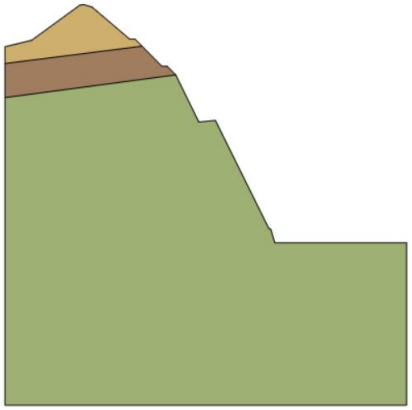
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	가능성
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 1개소 절리군의 극점(326/74)이 위치하여 전도파괴의 가능성이 내재됨		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

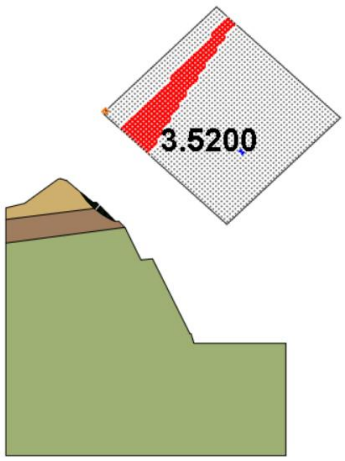
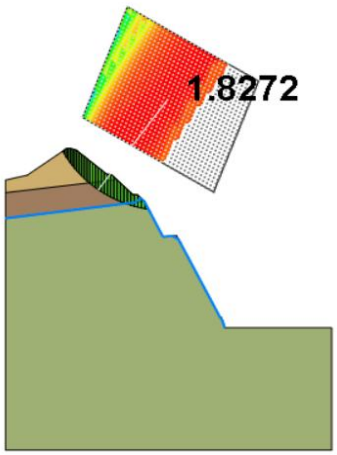
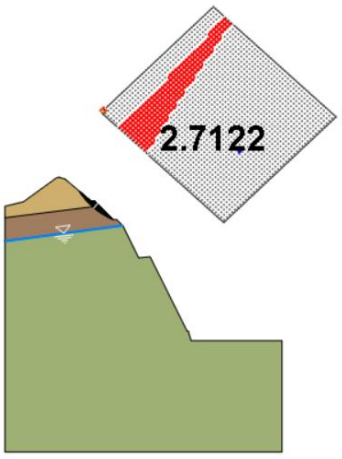
◦ 검토단면





대표단면 : STA.2+740, 부산

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 3.52	안전율 : 1.82	안전율 : 2.71

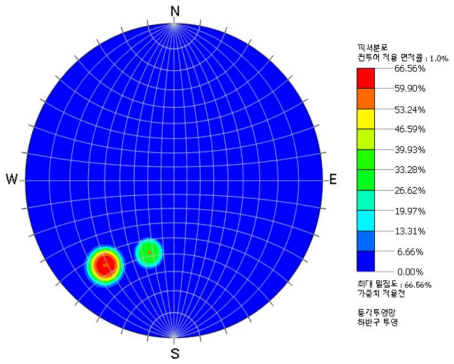
③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	우기시는 침투조건고려
	우기시	Fs ≥ 1.3 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

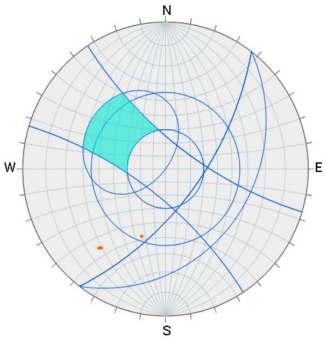
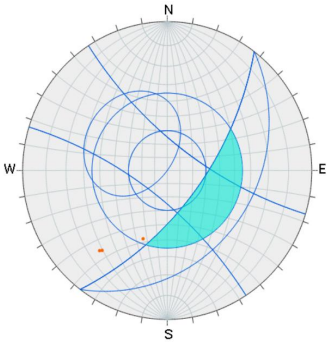
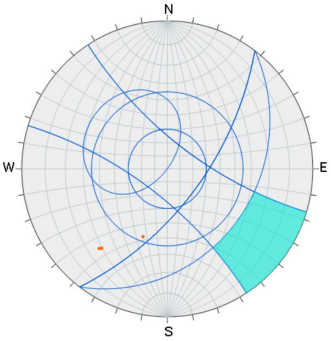
4) 2구간 (STA.2+860, 부산)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
		dip	dip direction
평사 투영도		52	20
		70	40
		70	40

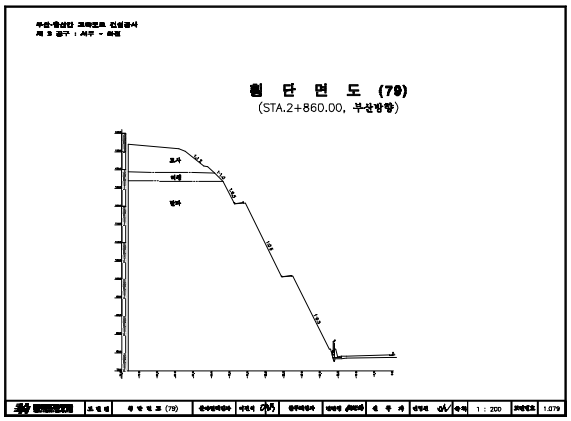
◦ 해석결과

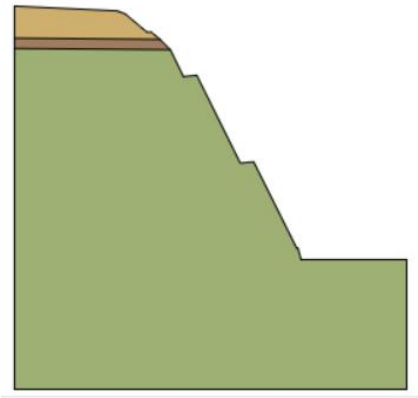
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

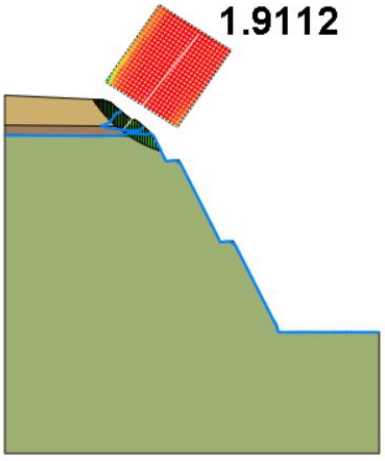
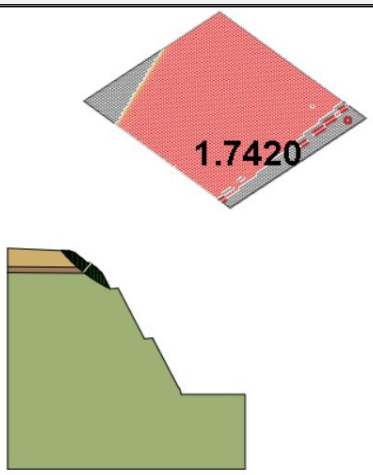
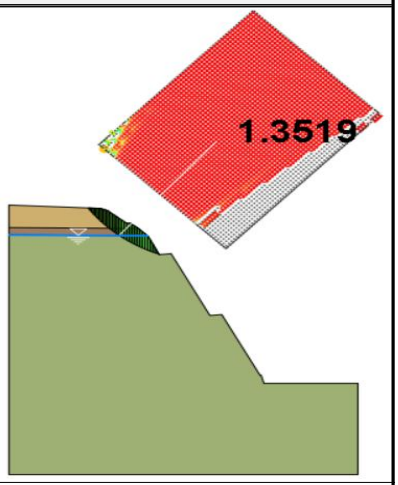
◦ 검토단면





대표단면 : STA.2+860, 부산

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 1.91	안전율 : 1.74	안전율 : 1.35

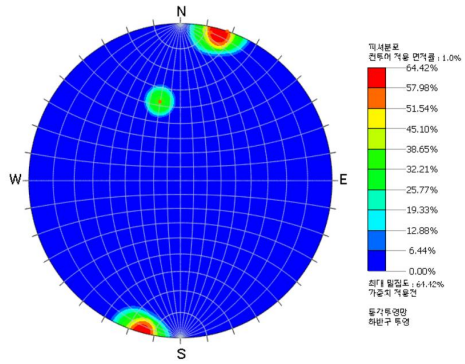
③ 2구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	우기시는 침투조건고려
	우기시	Fs ≥ 1.3 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

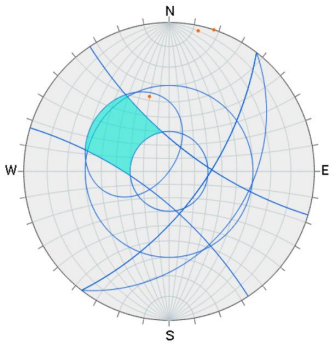
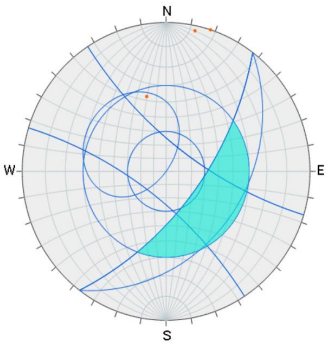
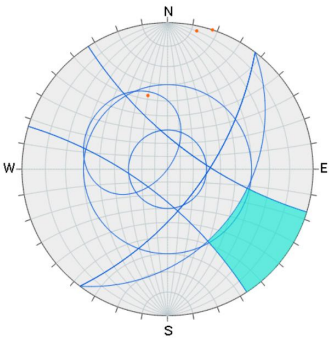
5) 3구간 (STA.3+040, 부산)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		55	165
		88	192
		90	198

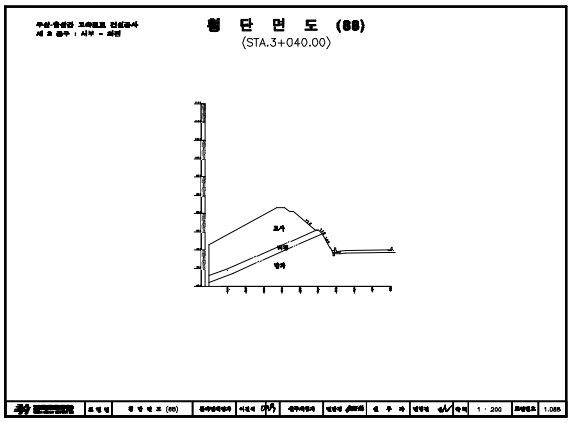
◦ 해석결과

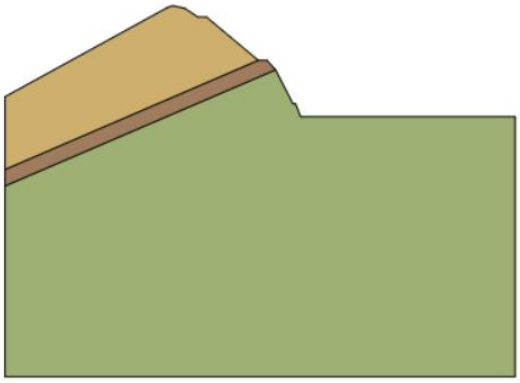
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

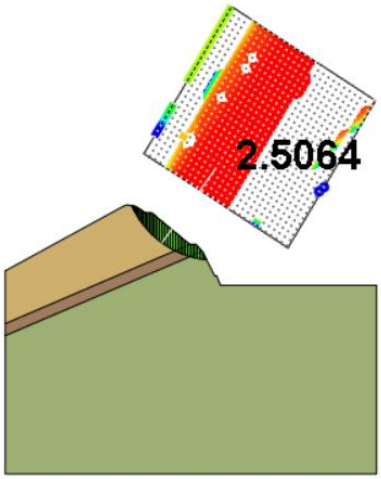
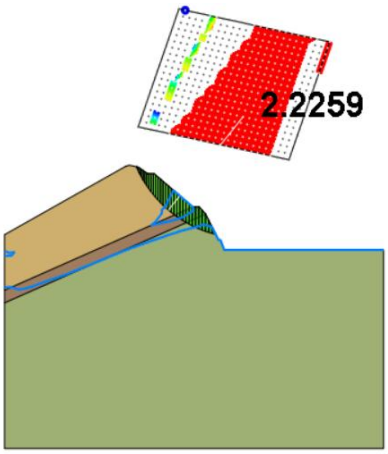
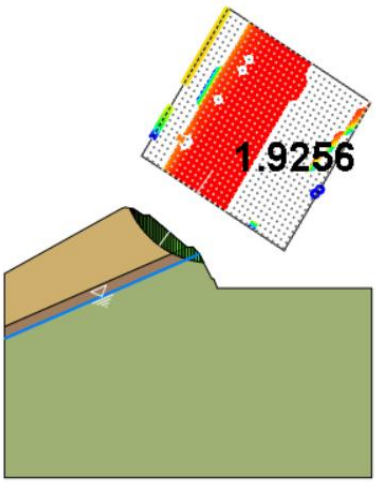
◦ 검토단면





대표단면 : STA.3+040, 부산

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.50	안전율 : 2.22	안전율 : 1.92

③ 2구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	우기시는 침투조건고려
	우기시	Fs ≥ 1.3 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

아. 안전성능평가 결과

구조안전성능평가는 설계 당시의 자료 및 금회 조사된 자료를 검토·분석하여 평가하기로 한다. 설계시 평사투영해석 결과 전도파괴 가능성이 분석되어 한계평형해석을 시행한 결과 건기 및 우기시 허용안전율을 상회하는 것으로 검토되었다. 금회 현장조사를 통한 평사투영해석 결과 각각의 파괴유형에 대한 안전한 것으로 분석되어 구조안전성능평가는 A등급으로 평가되었다.

<표 2.1-95> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**부산기점 STA.11+750~12+500**		
구성 재료	**파괴유형**	**최소안전율**	**평가 결과**	**비 고**
암반구간 (평사투영 해석)	평면파괴	안정	a	평면파괴 가능성 없음
	전도파괴	안정	a	전도파괴 가능성 없음
	쐐기파괴	안정	a	쐐기파괴 가능성 없음
토사구간 (한계평형 해석)	건기시	1.91	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	1.74	a	Fs ≥ 1.3 ⇨ O.K
	지진시	1.35	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

1.4.3 안전성능평가 결과

안전성능 평가는 상태안전성능과 구조안전성능 평가를 실시하여 둘 중 낮은 등급 결과에 따라 최종등급을 결정하여 그에 대한 대책을 마련한다.

상태안전성능평가 결과, 불연속면의 특성 및 지반 변형 등은 양호한 상태인 것으로 확인되었고 상태안전성능평가 결과 A등급으로 평가 되었다.

금회 본 시설물의 안전성능평가 결과, 외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준인 A등급으로 평가되었다.

<표 2.1-49> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**부산기점 STA.11+750~12+500**		
평가 구분	결함지수	평가 결과	비 고
상태안전성능	0.120	A	인장균열 없음
구조안전성능	0.080	A	특이파괴 유형 없음
안전성능	0.120	A	
안전성능 결과	ㅇ상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ㅇ**안전성능평가 결과 : A등급**		

<표 2.1-50> 안전성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

안전등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00 ≤(E)< 0.15	외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준
B (양호)	0.15 ≤(E)< 0.30	일부 부재에서 경미한 결함이 발생하였으며, 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30 ≤(E)< 0.55	광범위한 부재에서 결함이 발생하였으나, 전체적이 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강이 필요한 성능수준
D (미흡)	0.55 ≤(E)< 0.75	심각한 결함에 대한 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용 제한 여부를 결정해야 하는 성능 수준
E (불량)	0.75 ≤(E)< 1.00	심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축이 필요한 수준

1.5 내구성능 평가

1.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 2.1-51> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		절리암반사면	SR = 0/59 = 0.00
공용기간		10년	2008년 12월 준공
암반구간 설계(초기)강도		경암 : 20.27~24.15MPa	
면적	전체	13,864㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	13,864㎡	
표면보호공	식 생	13,714㎡	
사면보강공	-	-	

1.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

본 비탈면은 토층심도율을 적용한 결과 암반사면에 해당되며, 지반상태(암반), 표면보호공 및 사면보강공, 절리상태 및 풍화진행도에 대해 평가하기로 한다.

<표 2.1-52> 사면 형식별 내구 성능 지표

구 분	평가 요소		
	토사사면	암반사면	혼합사면
절토사면	○ 지반상태(토질) ○ 표면보호공 ○ 사면보강공	○ 지반상태(암반) ○ 표면보호공 ○ 사면보강공 ○ 절리상태 및 풍화진행도	○ 토사사면과 암반사면 지표를 모두 고려

1.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 2.1-53> 암반사면의 지반상태 평가 기준

항목	등급	그룹 A 암석 예			
		설계(초기 점검값) 대비 강도			
		극경암	경암	보통암	연암
지반상태 (암반)	a	97.5%이상 100%이하	96.0%이상 100%이하	94.0%이상 100%이하	90.0%이상 100%이하
	b	96.0%이상 97.5%미만	90.0%이상 96.0%미만	88.0%이상 94.0%미만	80.0%이상 90.0%미만
	c	92.5%이상 96.0%미만	86.0%이상 90.0%미만	82.0%이상 88.0%미만	70.0%이상 80.0%미만
	d	90.0%이상 92.5%미만	80.0%이상 86.0%미만	76.0%이상 82.0%미만	60.0%이상 70.0%미만
	e	90.0%미만	80.0%미만	76.0%미만	60.0%미만

<표 2.1-54> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
12.25km	97.4	114.1	초기 강도값(연암) : 85.4MPa 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
12.27km	97.5	114.2	
12.45km	144.2	168.9	
평균값	113.0	132.3	
등급	**a**		

<표 2.1-55> 표면보호공 평가 결과

항목	등급	보호공의 종류	
		식생 (식생 피복율, %)	콘크리트뿜어붙이기 (손상 면적율, %)
표면 보호공	a	매우 양호(90% 이상)	균열 및 박락 없음(0~10% 미만)
	b	양호(70%이상~90%미만)	일부 균열 발생(10%이상~30%미만)
	c	보통(50%이상~70%미만)	균열 및 일부 박락 발생(30%이상~50%미만)
	d	불량(30%이상~50%미만)	박락으로 일부 유실된 상태, 누수발생(50%이상~70%미만)
	e	매우 불량(0%~30%미만)	대부분의 범위에서 박락 및 유실, 누수발생(70%이상)

<표 2.1-56> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	13,714/13,865㎡	33.4%	-	-	
평가	식생 피복율이 98.9%이므로 "a등급"으로 평가함.				

<표 2.1-61> 암반의 풍화도 평가 등급 및 기준

평가항목	절리상태 및 풍화진행도				
	a	b	c	d	e
길이	< 1m	1~3m 미만	3~10m 미만	10~20m 미만	≥ 20m
틈새	0	< 0.1㎜	0.1~1㎜미만	1~5㎜ 미만	≥ 5㎜
거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄
충전물	없음	단단한 충전물 (< 5m)	단단한 충전물 (≥ 5m)	연약한 충전물 (< 5m)	연약한 충전물 (≥ 5m)
풍화진행도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화

<표 2.1-62> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(Set A)		
	Set 1	Set 2	Set 3
길이(m)	< 1	< 1	< 1
	a(0)	a(0)	a(0)
틈새(㎜)	< 0.1	< 0.1	< 0.1
	b(5)	b(5)	b(5)
거칠기	약간 거침	약간 거침	약간 거침
	c(10)	c(10)	c(10)
충전물	hard	hard	hard
	b(5)	b(5)	b(5)
풍화진행도	Fresh	Fresh	Fresh
	a(0)	a(0)	a(0)
합 계	20	20	20
평 균	4.0	4.0	4.0
평가 결과	b	b	b

평가항목	불연속면(Set B)		
	Set 4	Set 5	Set 6
길이(m)	< 1	< 1	< 1
	c(10)	c(10)	b(5)
틈새(㎜)	0.1~1.0	0.1~1.0	0.1~1.0
	c(10)	c(10)	c(10)
거칠기	거침	거침	거침
	b(5)	b(5)	b(5)
충전물	hard	hard	hard
	b(5)	b(5)	b(5)
풍화진행도	Fresh	Fresh	Fresh
	a(0)	a(0)	a(0)
합 계	30	30	30
평 균	6.0	6.0	6.0
평가 결과	c	c	c

평가항목	불연속면(Set C)		
	Set 7	Set 8	Set 9
길이(m)	< 1	< 1	< 1
	a(0)	a(0)	a(0)
틈새(㎜)	<0.1	<0.1	<0.1
	b(5)	b(5)	b(5)
거칠기	약간 거침	약간 거침	약간 거침
	c(10)	c(10)	c(10)
충전물	hard	hard	hard
	b(5)	b(5)	b(5)
풍화진행도	Fresh	Fresh	Fresh
	a(0)	a(0)	a(0)
합 계	15	15	15
평 균	3.0	3.0	3.0
평가 결과	b	b	b

<표 2.1-63> 절리상태 및 풍화진행도 평가 결과

시험 개소	시험개소별 등급	등급 점수	비 고
Set A- Set 1	b	0.23	
Set A- Set 2	b	0.23	
Set A- Set 3	b	0.23	
Set B- Set 4	c	0.43	
Set B- Set 5	c	0.43	
Set B- Set 6	c	0.43	
Set C- Set 7	b	0.23	
Set C- Set 8	b	0.23	
Set C- Set 9	b	0.23	
평균값		0.29	최소 및 최대 제외
등 급		**b**	

1.5.4 내구성능 평가 결과

1) 혼합사면 내구성능 가중치

본 비탈면은 혼합 사면으로 토사사면과 암반사면을 구분하여 평가하고, 각각의 해당되는 평가항목을 고려하여 가중치 보정값을 적용하기로 한다.

<표 2.1-64> 사면형식에 따른 지표별 가중치

사면구분	지표명	지표별 가중치				
		기본	가중치 보정			
암반사면	지반상태(암반)	25	28	33	38	-
	절리상태 및 풍화진행도	40	44	53	62	80
	표면보호공	10	-	14	-	20
	사면보강공	-	-	-	-	-

2) 암반구간 내구성능 등급

<표 2.1-66> 암반사면 내구성능 등급 산정

평가항목	등급	등급 점수 (a)	가중치 (b)	결함지수 (a)×(b)
지반상태(암반)	a	0.08	0.33	0.026
절리상태 및 풍화진행도	b	0.23	0.53	0.122
표면보호공	a	0.08	0.14	0.011
결함도 지수				0.159
등 급				**B**

금회 본 시설물의 내구성능평가 결과, 일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.

<표 2.1-68> 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

안전등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00 ≤(E)< 0.15	외부 환경조건 등으로 인한 내구성능 저하가 발생할 가능성이 낮은 성능 수준
B (양호)	0.15 ≤(E)< 0.30	일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30 ≤(E)< 0.55	광범위한 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었거나 주의가 필요한 수준으로 진행되어 간단한 보수가 필요한 성능 수준
D (미흡)	0.55 ≤(E)< 0.75	광범위한 부재에서 내구성 저하가 진행되어 긴급한 보수 또는 교체가 요구되는 성능 수준
E (불량)	0.75 ≤(E)< 1.00	광범위한 부재에서 내구성능의 저하가 심각하게 진행되어 즉각 사용을 금지하고 보수 또는 교체가 필요한 성능수준

1.6 종합평가

1.6.1 종합평가 개요

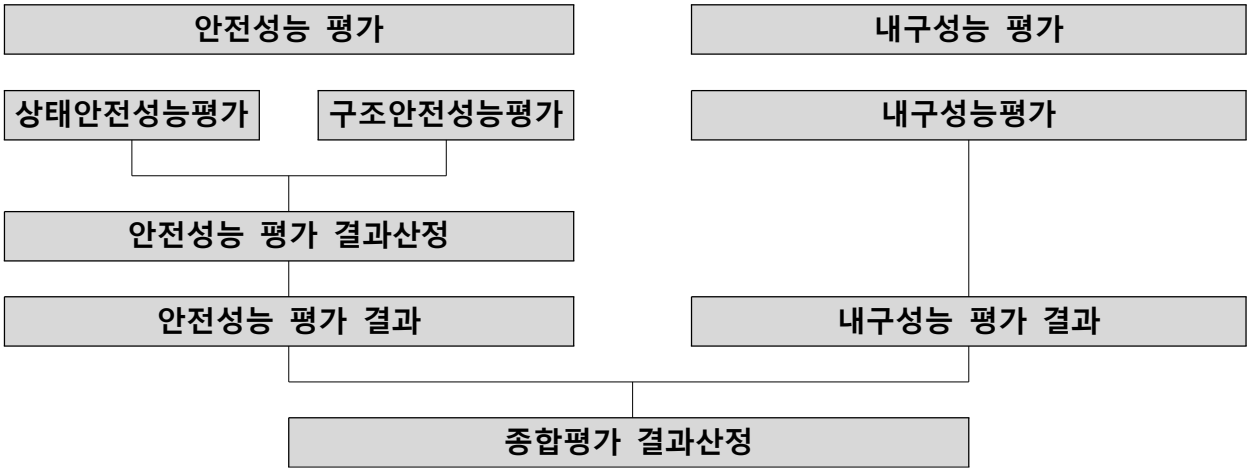
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때

· 안전성능 평가지수가 종합평가의 대표 지수로 산정

○ 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급이 아닐 경우

· 안전성능과 내구성능 각 성능항목의 가중치를 고려하여 산정



<그림 2.6-2> 종합평가 흐름도

1.6.2 종합평가 결과 산정결과

종합평가의 산정방법은 안전성능 평가와 내구성능 평가 지수에 대해 각 성능항목에 따라 부여된 가중치를 곱한 값을 합산하여 구한다. 단, 안전성능평가 결과가 최하위 등급일 경우에는 가중치와 상관없이 안전성능평가 결과를 최종등급으로 산정한다.

사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn))

<표 2.1-69> 성능간 가중치 산정 값

구분	분류	성능항목	
		안전성능	내구성능
성능간 가중치 (Wn)	일반도로 사면 고속도로 사면 일반철도 사면 고속철도 사면	0.8	0.2

<표 2.1-70> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	부산울산선 STA.11+750~12+500(부산)		**분류**	부산울산고속도로
평가 구분	**성능평가 지수**	**평가 결과**	**성능간가중치(Wn)**	**비 고**
안전성능평가	Ps=0.120	A	0.8	인장균열 없음
내구성능평가	Pd=0.159	B	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.122 × 0.8) + (0.265 × 0.2) = 0.128 ㅇ종합평가 결과 : A등급			

당해 시설물에 대해 종합적으로 성능평가를 실시한 결과 종합성능등급은 외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준인 A등급(우수)인 것으로 평가되었다.

<표 2.1-71> 절토사면의 종합평가 결과에 따른 종합성능 등급 기준

종합성능 등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00≤(P)<0.15	외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준
B (양호)	0.15≤(P)<0.30	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30≤(P)<0.55	광범위한 부재에서 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사 되었고 기능 또는 사용상의 편의에 일부 문제점이 있으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강 및 개선이 필요한 성능 수준
D (미흡)	0.55≤(P)<0.75	성능이 기준에 미치지 못하여 시설물의 지속적인 사용이 어려운 수준으로 긴급한 보수.보강 또는 개선이 필요하며 사용제한 여부를 검토해야 하는 성능 수준
E (불량)	0.75≤(P)<1.00	심각한 결함 또는 내구성능 저하로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있거나 기능을 발휘하지 못하는 수준으로 즉각 사용을 중단하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 성능 수준

1.7 유지관리 전략 제안

시설물의 성능목표를 설정하기 위해 성능평가 실시결과와 함께 시설물의 사용환경 등을 검토하여 성능목표에 대한 등급을 지정하여야 한다.

1.7.1 성능목표 설정

『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 성능평가편(2019.01)』에서의 절토사면의 성능목표는 대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 B등급으로 설정하도록 하였다.

□시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법□제6조 제9항 및 동법 시행령 제3조 제4항, 제5항에 의거 5년주기의 "중기 시설물 관리계획"을 수립하여야 한다. 중기 시설물 관리계획에 성능평가 대상시설물에 대한 성능목표 및 관리기준이 설정되어야 하나 아직 계획수립 전에 금회 성능평가가 실시되기 때문에 본 시설물의 성능목표는 관리주체 의견과 관련 법규를 종합적으로 분석하여"B(0.15≤P<0.30)"으로 설정하였다.

<표 2.1-72> 성능목표 등급의 분류기준에 따른 평가점수 범위

기준	A	B	C	D	E
결함도 범위	0.0≤P<0.15	0.15≤P<0.30	0.30≤P<0.55	0.55≤P<0.75	0.75≤P
성능목표	**B등급** 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준				

6.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "A등급(0.128)"으로 평가되었다.

<표 2.1-73> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.120	0.159	0.128
평가결과	A	B	A

1.7.3 유지관리 전략 제안

유지관리 전략 제안의 목적은 모든 보수·보강 후보를 대상으로 성능평가지표인 상태안전성능, 구조안전성능, 내구성능, 사용성능에 근거하여 경제적 측면, 환경적 측면, 사회적 영향 등을 고려하여 우선적으로 조치하여야 할 대상을 선정하는데 있다.

가. 손상별 보수·보강 방안

노후화된 구조물에 대한 보수·보강은 손상구조물의 영향정도, 구조물의 중요도, 사용환경조건 및 경제성 등에 의해서 보수·보강 공법 및 수준을 정한다. 본 절토사면의 성능평가 결과, 성능목표 이상인 "A등급"으로 금회 조사된 손상들에 대해서는 현상유지 수준의 주의관찰과 손상 진전 억제를 위한 보수가 적정할 것으로 판단된다.

<표 2.1-74> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구 분		손상 내용	보수·보강방안	보수.보강 수준
표면 보호공	표층	상태양호	주의관찰	현상유지
배수 조건	소단배수로	상태양호	주의관찰	현상유지
	산마루측구	상태양호	주의관찰	현상유지
상부 자연비탈면		상태양호	주의관찰	현상유지

나. 유지관리 전략 제안

본 비탈면은 현재 목표성능 이상인 "A등급"의 상태를 유지하고 있으며, 관리주체의 장기적 운영계획에 따라 성능수준 향상이 요구될 경우, 발생 손상들에 대해 아래와 같은 우선순위별 보수방안을 통한 유지관리 전략을 제안한다.

<표 2.1-74> 보수.보강 개략공사비

구 분	수량	단위	단가(천원)	공사비(천원)	비고
식생공	400	㎡	40	16,000	
숏크리트 보수(철근노출)	1	㎡	250	250	
낙석방지망 보수	1	㎡	30	30	
점검통로 정비	1식	-	200	200	
순 공사비(천원)				16,480	
재 경 비(천원)				8,240	
총 공사비(천원)				24,720	

※ 상기의 계략공사비는 순공사비 기준이며 실시설계시 공법선정 및 현장여건상 변동될 수 있음.
※ 보수물량은 보수효과 및 시공성을 위해 손상물량×1.5를 적용함

1.8 종합결론

본 성능평가는 현장조사 및 각종시험에 의해 시설물의 성능을 종합적으로 평가하여 시설물의 객관적인 현재의 상태와 장래의 성능 변화를 파악·예측하고, 이를 통해 관리주체가 보수·개량·교체 등의 최적시기 결정 등 합리적 유지관리 전략을 마련하는 데 그 목적을 두고 시행하였다.

1) 안전성능 평가는 외관상 관찰되는 시설물의 결함을 중심으로 조사·평가하였다. 상태안전성능평가 결과, 불연속면의 특성 및 지반 변형상태 등은 양호한 것으로 확인되었고, 상태안전성능평가 결과 A등급으로 평가 되었다. 일부 구간에서 숏크리트 배면 철근노출, 낙석방지망 파손, 녹생토 유실 등의 일부 손상이 확인되었다. 현재 손상 상태는 경미한 결함으로 시설물의 안전성에 미치는 영향은 매우 미소한 상태이다. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 결과, 외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준인 A등급으로 평가되었다.
2) 내구성능평가는 시간에 따라 변화하는 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로서 본 비탈면의 절리상태 및 표면 보호상태에 대한 평가를 시행하였다. 그 결과 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.

3) 안전성능평가, 내구성능평가 결과를 종합적으로 분석할 때, 외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준인 A(우수)등급으로 평가되었다.

4) 본 절토사면의 성능평가 결과, 성능목표인 "B등급"을 이상인 "A등급"인 상태로 주기적인 점검 및 관리를 통한 평가저해요소에 대한 관리가 이루어진다면 시설물의 안전 및 내구성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

제2장 부산울산선 Sta.12+050~12+620(포항)

2.1 대상 시설물 현황

2.2 관련 자료의 분석

2.3 현장조사

2.4 안전성능평가

2.5 내구성능평가

2.6 종합평가

2.7 유지관리전략 제안

2.8 종합결론

제2장 부산울산선 STA.12+050~12+620(포항)

2.1 대상 시설물 현황

성능평가 대상 시설물인"절토사면-부산울산선 STA.12+050~12+620(포항)"비탈면 현황은 다음과 같다.

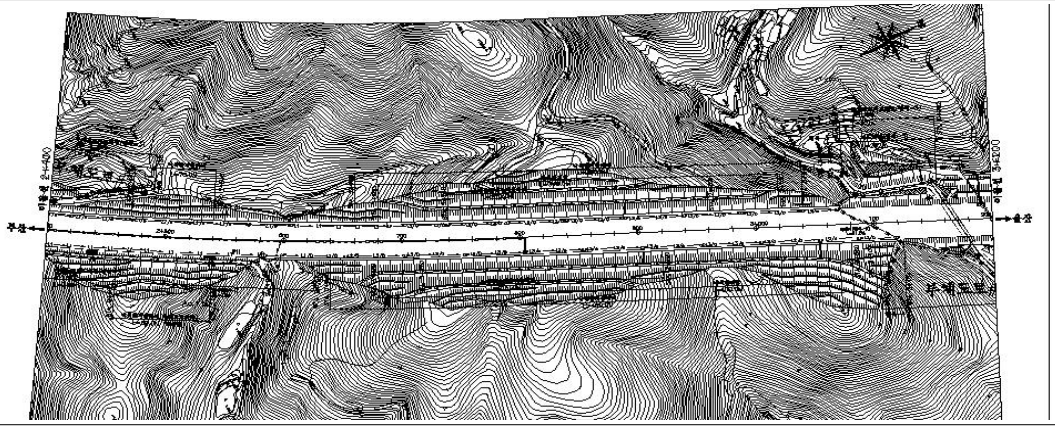
<표 2.2-1> 시설물 현황(부산울산선 STA.12+050~12+620(포항)

시설물 번호	SL2010-0000090		**관리번호**	-
시설물명	절토사면-부산울산선 STA.12+050~12+620(포항)		**시설물구분**	2종시설물
위 치	행정구역	부산광역시 기장군 일광면 삼성리 산38-5		
	위치좌표	시점 : N (35°15' 55.44"), E (129°12' 57.99")		
		종점 : N (35°16' 09.81"), E (129°13' 07.54")		
제 원	연 장	530m	높 이	52m
	경사/방향	63/307	노 선	고속국도65호선
관리주체	부산울산고속도로(주)		관리주체구분	민간
주변환경	인공구조물	-		
	주변지형	산악지형	자연비탈면경사	-5°
시공현황	준공년도	2008년 12월 31일	시 공 자	삼성물산(주)
	부대시설	낙석방지망, 산마루측구, 야생동물유도울타리, 점검계단, 숏크리트, 소일네일링, 앵커, 계단식옹벽		
비 고				

대상 비탈면 전경

※ 상기의 제원 및 현황은 실측 제원임. FMS의 시설물관리대장상의 제원과 다소 상이.

위 치 도



평 면 도

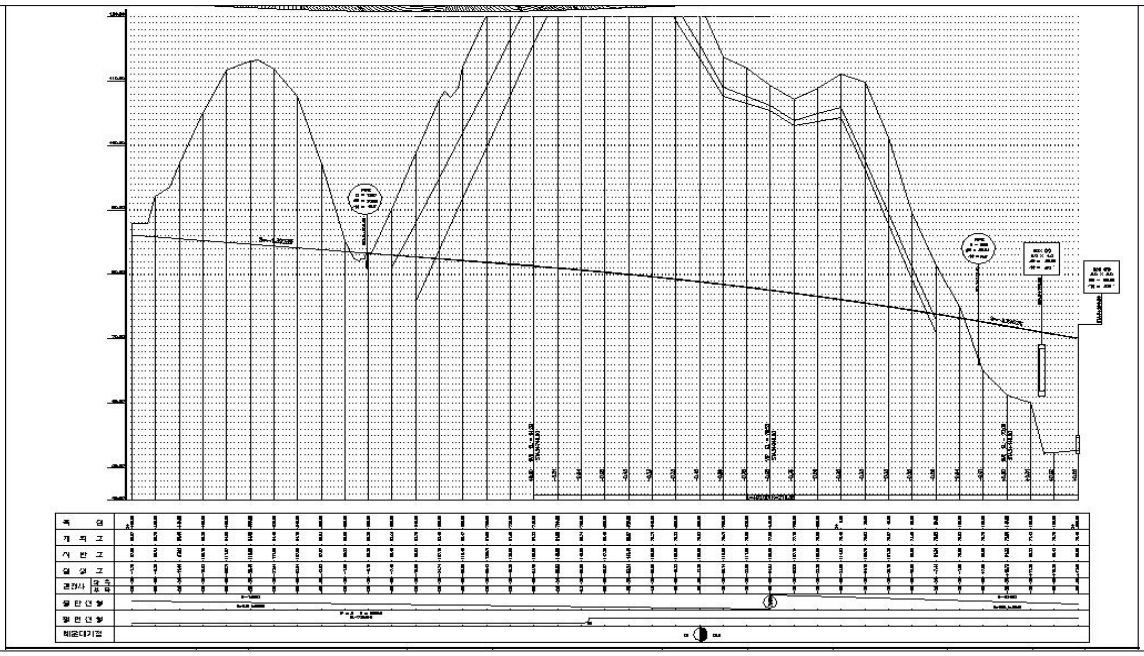


표 준 단 면 도

<그림 2.2-1> 대상 시설물 현황도

2.2 관련 자료의 분석

2.2.1 유지관리 관련 자료 현황

1) 관련 자료 수집 및 분석 현황

자료조사 및 분석은 시설물의 설계, 시공 및 유지관리 관련 자료 및 주변현황 자료로 구분되며 수집된 자료에 대한 분석을 통하여, 첫째로 과업수행의 전체적인 추진방향과 계획을 수립하고, 둘째로 구조물의 이력 확인, 결함 및 손상의 원인분석, 손상의 변화 및 진행성 여부, 보수·보강 대책 및 유지관리 방안을 수립하기 위한 기초자료로 활용하였으며, 자료수집 현황은 다음과 같다.

<표 2.2-2> 유지관리 관련자료 현황

보존대상 목록		보유현황	비 고
설계도서	ㅇ공통 - 준공내역서 - 공사 및 특별시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	 보유 보유 보유 보유 -	ㅇ고속국도 제65호선 부산~울산간 고속도로 민간투자사업 제3공구 준공도서
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등	보유	ㅇ고속국도 제65호선 부산~울산간 고속도로 민간투자사업 제3공구 준공도서
시 설 물 관리대장	ㅇ기본현황 ㅇ상세제원 ㅇ유지관리 이력	보유 보유 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS) ㅇ한국도로공사 비탈면유지관리시스템
시공관련 자 료	ㅇ시공관련자료 ㅇ품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 각종 시험기록 - 시설물 주요 구조 부위에 대한 계측자료 ㅇ사고자료	일부 보유 일부보유 일부보유 일부보유 - - -	ㅇ고속국도 제65호선 부산~울산간 고속도로 민간투자사업 제3공구 준공도서
안전점검 및 정밀안전진단 자료		보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
보수·보강 자료		일부 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)

2) 관련 자료 수집 및 분석 결과

본 시설물은 2008년 준공된 시설물로 설계 및 시공관련 자료 관리 및 보관상태는 대체로 양호한 것으로 조사되었다. 관련자료 분석을 통해 당초 시공시의 개략적인 지반상태를 파악할 수 있다.

2.2.2 지반조사 보고서 분석

본 시설물의 지반조사 분석은 준공도서에 포함된「고속국도 제65호선 부산~울산간 고속도로 민간투자사업(제3공구, 2005년) 토질조사보고서」를 요약·분석하여 성능평가의 기초 자료 활용 및 유지관리시 편의성 제공에 그 목적이 있다.

1) 지 형

본 조사지역은 행정구역상 부산광역시 기장군 기장읍 서부리를 시점으로 하여 기장군 일광면 화전리를 종점으로 하는 설계구간(L=4.84km)에 해당한다.

본 지역의 지형은 동해안에 인접하여 남북방향으로 이어지는 태백산맥의 남부아래에 동부의 북북동방향 및 북북서방향으로 이어지는 일연의 소산맥이 동남부 부근에서 합세하며 비교적 험준한 산세를 나타내고 있다.

또한, 본 3공구 노선 시점부근에서 북서쪽으로 산성(368)-일광산(395)-아홉산(360)-318고지-함박산(460)천미산(400)-달음산(588)-205고지가 산맥으로 이어져 있다. 그리고 노선부근의 하계발달은 남해로 직접동류 또는 서류하면서 유입하는 소하천이 많이 있지만 하폭과 유역평야의 발달은 매우 미약하다.

이러한 하계망의 발달상태를 보면 지질분포 및 지질구조와 밀접한 관계를 가지며 화강암류의 수지상으로 분포되어 있고 화산암류 분포지역은 방사상의 하계망을 이루고 있다. 그리고 본 노선의 동쪽으로 약 2km정도 떨어져 남북으로 단층선이 이어지는데 그 지역의 하천은 일반적으로 사행전이 아닌 직류로 이어지고 있다.

2) 지질 개요

본 지역은 한반도 남동부의 경상계 퇴적암층의 분포지역의 남단에 위치하고 있다. 노선 부근의 지질상태를 보면 경상계 신라총의 퇴적암층이 주류를 이루는 이천리층과 이를 관입 분출한 화산암류 그 후에 관입한 불국사 화강암류인 흑운모화강암, 화섬록암으로 분포되어 있으며 화산암류는 조직에 따라 안산암질류 유문암질류로 구분되고 화성심성암류는 화강섬록암 및 섬록반암이 소규모의 암주상 또는화강암이 연변상으로 산재되어 있는 것 외에는 전부 화강암류로 되어 있다. 또한 이 지역의 화강암류는 분화상 전혀 다른 불국사 화강암류와 마산암류로 나뉘는데 본 노선은 불국사 화강암류만이 나타난다.

불국사 화강암류는 섬록암에서 시작하여 이 분화작용의 소산물인 화강섬록암 각섬석화강암, 흑운모화강암 등이며 이 화강암류는 경상도에 널리 분포되어 있는 백악기의 암류이다.

이천리층은 노선 STA.2K+600에서 종점부까지 일광면 거의 전역에 널리 분포하고 있으며 구성암석은 대체로 흑색 또는 암회색의 셰일로 되어 있고 암회색 세립질 사암이 소량 함유되어 있다.

또한 이층은 안산암에 의해 대규모로 관입당한 상태이며 암회색의 셰일이 안산암으로 되감에 따라 회색 또는 백색의 치밀한 혼펠스로 된 상태이며 이것이 장석반점이 발달한 반점상흔펠스를 거쳐 마침내 반상의 안산암으로 이화하는 것이다.

그리고 일광면 부근에서는 주향이 N30~45E이고 경사는 대체로 일대의 18~30NW의 층리를 보이고 있다. 안산암질류는 이 노선의 시점부에서 인터체인지 부근까지 분포되어 있으며 신라총의 화산암류 중에서 초기에 형성된 것이며 또한, 후기 화산암류인 석영안산암류 내지 유문암질 분출암류에 피복되어 있으며 화강섬록암과 흑운모화강암 등이 불규칙하게 관입되어 나타나기도 한다. 그리고 노선 종점부에 상부지층에 충적층이 소하천 일대에 존재하나 그 발달은 미약한 상태이다.

2.2.3 점검 및 진단 이력

본 비탈면은 2010년부터 정기안전점검을 9회, 정밀안전점검 3회 실시한 것으로 조사되었다. 점검 결과 전반적으로 양호한 상태로 특별한 보수·보강을 필요한 구간은 없는 것으로 평가되었다.

<표 2.2-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2010. 01. 02 ~ 2010. 06. 30	정기안전점검	양호	양호
2	2010. 10. 01 ~ 2010. 11. 29	정밀안전점검	1단 경사면에 녹생토 탈락으로 인한 망노출이 다수 조사됨. 숏크리트부 누수발생. 2~4단 경사면은 녹생토 및 식생 양호. 사면파괴요인에서 위험요소 내포하고 있음	B
3	2010. 07. 07 ~ 2010. 12. 08	정기안전점검	양호함	양호
4	2011. 05. 23 ~ 2011. 06. 03	정기안전점검	양호함	양호
5	2013. 12. 06 ~ 2013. 12. 25	정밀안전점검	1단 경사면에 녹생토 탈락으로 인한 망노출이 다수 조사됨.숏크리트부 누수심함.2~4단 경사면의 녹생토와 식생 상태는 매우 양호.계단식옹벽 미세 균열 3개소 조사되었으며 충진공법 보수가 필요.	B
6	2016. 06. 07 ~ 2016. 06. 10	정기안전점검	전반적인 상태양호	양호
7	2017. 04. 24 ~ 2017. 04. 24	정기안전점검	양호	양호
8	2017. 12. 04 ~ 2017. 12. 04	정기안전점검	이상 무	양호
9	2017. 09. 29 ~ 2017. 12. 27	정밀안전점검	사면부 점검결과 : 시점부의 산마루 측구 및 소단배수로 외에는 자연수로를 형성하고 있는 것이 불안요소로 작용할 가능성이 있어 주의관찰이 필요하고 STA. 0+090~100 1소단 하부 일부구간에 누수 및 세굴 식생상태 : 전체적으로 식생이 불량한 구간과 양호한 구간이 확연히 구분 배수시설 : 산마루 측구가 일부 시공되어 있고 이 외 구간은 산마루 측구 없이 자연수로가 발달하였으며 2소단 콘크리트 배수로에 균열 발생 보호시설 : 낙석방지망 상태는 양호하고 사면 하부 옹벽에 균열 발생	B
10	2018. 04. 16 ~ 2018. 04. 16	정기안전점검	양호	양호

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전 등급
11	2018. 11. 26 ~ 2018. 11. 26	정기안전 점검	이상없음	양호
12	2019. 04. 01 ~ 2019. 04. 01	정기안전 점검	이상없음	양호

2.2.4 보수·보강이력

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 유지관리중 보수·보강이력은 1회 있는 것으로 조사되었다.

<표 2.2-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
1	2018.08.29. ~ 2018.11.26	2018년 부산포항선 비탈면 보강공사 숏크리트(1,000㎡)+수평배수공(50공)	122,100,000	

2.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 내진설계 적용여부에 대한 명확한 근거는 조사되지 않았다.

<표 2.2-5> 내진 설계 적용 여부

검토대상 부재	설계적용여부	결과	검토결과 요약	근거
절토사면	불명	-	내진관련 자료 부족으로 확인 불가	

2.2.6 관련 자료 분석 결과 요약

금회 성능평가시 유지관리 관련자료를 분석한 결과, 본 시설물은 특별한 사고이력 및 상태 변화가 없는 양호한 시설인 것으로 평가되었다. 관련 자료 분석 결과 요약 및 이를 기초로한 금회 성능평가 시행 방향은 다음과 같다.

<표 2.2-6> 관련 자료 분석 결과 요약 및 점검 방향

구 분	자료 분석 결과	성능평가 방향
설계도서	ㅇ준공도서 유지관리중 ㅇ위치도, 횡단면도 등 파악 가능 ㅇ원지반 상태 파악 가능	ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득 ㅇ설계도면과 현재 제원 비교
시설물 관리대장	ㅇ기본현황, 상세제원 확인 가능 ㅇ유지관리 이력 파악 ㅇ시설물 준공 후 최초의 성능평가	ㅇ현장조사를 위한 기초자료로 활용 ㅇ준공후 특별한 보수·보강이력이 없는 상태로서 금회 성능평가시 손상조사시 필요에 따라 보수·보강방안 수립
안전점검 및 정밀안전진단 자료	ㅇ준공후 정기안전점검, 정밀안전점검이 시행되었으며, 전반적으로 양호한 상태임.	ㅇ사면파괴징후에 대한 면밀한 조사 ㅇ필요시 보수보수·보강방안 수립 ㅇ시설물 특성을 고려한 적정한 유지관리방안 제시
보수·보강 자료	ㅇ유지관리 이력상 사면 기붕괴구간에 대한 숏크리트가 시공됨.	ㅇ숏크리트 상태 조사
유지관리 전략 제안	-	ㅇ현장조사 및 관련자료 분석을 통한 항목별 성능평가 시행 ㅇ성능평가 결과에 따라 성능목표 유지를 위한 유지관리 전략 제안

2.3 현장조사

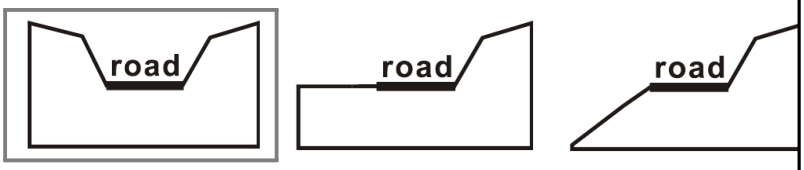
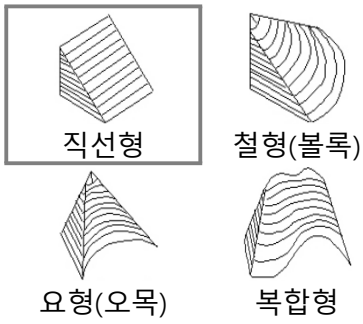
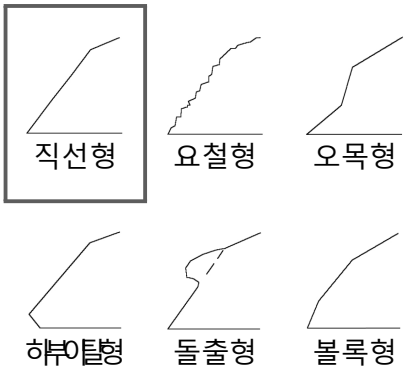
2.3.1 현장조사 체크리스트

관리주체에서 수집된 시설물 유지관리 자료를 참조로 하여 현장답사 및 기초 자료를 조사한 결과는 다음과 같다.

<표 2.2-7> 일반현황

조사일자	2019년 9월 17일		**조 사 자**	인승철
일 기	맑음		**준공년도**	2008년 12월 31일
행정구역	부산광역시 기장군 일광면 삼성리 산38-5			
위 경 도	시점 : N (35°15' 55.44"), E (129°12' 57.99")			
	종점 : N (35°16' 09.81"), E (129°13' 07.54")			
절토사면	길 이 : 530m		높 이 : 52m	
	경 사/경사방향 : 63/307(평균경사 39°)			
	구성물질 : 암반		토층심도 : 0.06~0.07(약 3.0m)	
	소 단 : 4			
낙석/뜬돌	낙석 존재유무 : 없음		낙석의 양 : -	
	낙석 평균크기 : - 낙석 최대크기 : -			
	뜬돌 존재유무 : 없음		뜬돌의 양 : -	
	뜬돌 평균크기 : - 뜬들 최대크기 : -			
절토사면 시공현황	**종 류**	**위 치**		**상 태**
	식생현황	STA.0+050~430(1소단 하부)		불량
	식생현황	이외 구간		양호
	낙석방지망	STA.0+000~530		양호
	야생동물유도울타리	STA.0+000~050		양호
	점검용 계단	STA.0+000~085(1소단 및 2소단 하부)		양호
	숏크리트+소일네일링	STA.0+047~100 1소단 하부 일부구간		누수
	산마루 측구	STA.0+000~050		양호
	앵커	STA.0+050~320		양호
	계단식 옹벽	STA.0+430~490		양호
	절토사면 경보시스템	-		-
붕괴이력	**유 형**	**규 모**		**위 치**
기 타	• 일부 구간 식생이 불량하고 사면계측기(절토사면 경보시스템)가 설치된 것을 육안으로 확인			

<표 2.2-8> 지형·지질 및 식생

<table>
<tr><td rowspan="3">주변지형의 특성</td><td>주변 지형</td><td colspan="5">산악지형</td></tr>
<tr><td>종단면 형상</td><td colspan="5"> 
</td></tr>
<tr><td>기타 특징</td><td colspan="5">-</td></tr>
<tr><td>사면의 특성</td><td>종횡단면</td><td colspan="2"> 
</td><td>종단면특성</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="7">상부자연사면</td><td>경 사 도</td><td colspan="5">-5°</td></tr>
<tr><td>인장균열</td><td colspan="5">없음</td></tr>
<tr><td>포행흔적</td><td colspan="5">없음</td></tr>
<tr><td>수목의 기울어짐</td><td colspan="5">없음</td></tr>
<tr><td>인공구조물</td><td colspan="5">없음</td></tr>
<tr><td>산마루측구</td><td colspan="5">있음</td></tr>
<tr><td>계곡부</td><td colspan="5">1개소</td></tr>
<tr><td>지 질</td><td>지질각론</td><td colspan="5">·본 지역은 중생대 백악기 시대의 경상계 신라층군 이천리층의 지층이 분포, 대표암석은 퇴적암</td></tr>
<tr><td rowspan="3">식 생</td><td>① 종 류</td><td>초 본</td><td>관 목</td><td>침 엽 수</td><td>활 엽 수</td></tr>
<tr><td>② 밀 도</td><td>하</td><td>하</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>③ 근계특징</td><td colspan="4">천근성 (O), 심근성 ( )</td></tr>
</table>

<표 2.2-9> 기초조사 자료

일반현황	거리표	부산울산선 12.070~12.600k(포항)		
	위경도	시점 : N (35°15' 55.44"), E (129°12' 57.99") 종점 : N (35°16' 09.81"), E (129°13' 07.54")		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2019년 9월 17일		
	조사자	인승철	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특 성	길이	530.0m	최대높이	52.0m
	경사	63°	상부경사	-5°
	이격거리	평균 1.0~2.0m	소단	3개소
	종류	■암반 □혼합 □토사 □자연	주변지형	■산악 □준산악 □구릉 □평 지
	지하수	■C.dry □damp □wet □dripping □flowing	누수위치	□상 □중 □하 □좌 □중 □우
	풍화도	■F ■S □M □H □C □R	불연속면 방향성	□일치 □평행 ■후방 □불가
	사면형상	■직선형 □철형 □요형 □파형	측면형상	■직선형 □요철형 □탈락형 □돌출형
	계곡부	1개소	붕괴이력	□유(영향) □낙석 □유(미영향) ■무
	뜬돌	□대 □중 ■소 □무	낙석	□대 □중 □소 ■무
	암종	사암 및 셰일	토층심도	3.0m
	암반형태	□massive □tabular □columnar □irregular ■blocky □crushed	불연속면	■절리 ■층리 □엽리 □균열 □단층 □전단대 □암맥 □무
	시공현황 (상태)	■식생공(일부불량) ■낙석방지망(양호) ■옹벽(양호) □낙석방지울타리 ■격자블럭(양호) ■배수로(보통) ■점검로(보통) ■기타(숏크리트+네일링)		
조사자 소 견	위험도	□상 □중 ■하	피해도	□상 □중 ■하
	붕괴 유형	□심층 □표층 ■무	위험등급	□A ■B □C □D □E
	위험구간 (붕괴유형)	□상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( ) □상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( ) □상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( )		
	필요 주공법	식생공, 단면보수	조치	□응급 ■미응급
	기타			

2.3.2 사면분류 및 구간분할

대상 대상 시설물에 대한 현장조사 및 시험은 본 조사를 실시하기 이전에 현장을 답사하여 시설물의 주변 환경과 현 상태를 파악하고, 시설물의 접근방법 및 관련 자료를 검토 후 외관조사를 통하여 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성 확인을 위한 상세한 조사계획을 수하였다. 또한, 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단하기 위해 기본시설물 및 부대시설물 등 주요 부재의 현 상태와 시설물의 안전성을 저해할 만한 손상의 유무를 확인하였으며, 시설물 구성부재별로 외관조사 결과는 외관조사망도와 주요 사진을 중심으로 부록자료에 수록하여 향후 시설물 점검 및 유지관리 시에 효율적으로 활용할 수 있게 하였다.

가. 시설물 일반 현황

본 과업 대상 시설물은 부산울산고속도로 포항방향 12.070~12.600km에 위치하고 있으며, 길이는 530m, 높이 52.0m의 절토사면으로 시설물 안전법상 2종 시설물로 분류된 시설이다.

현장조사를 위한 실측조사 결과 본 구간의 절토사면 총 연장 및 높이는 시설물관리대장과 비교시 다소 상이한 것으로 조사되었다.

나. 절토사면의 분류

토층심도 깊이측정을 위한 자료는 준공도서 표준횡단면도를 참고하여 작성하였고, 블록크기 측정을 위한 절리간격은 사면특성조사시 각구간에 위치하는 절리군의 평균 간격을 측정하였다.

<표 2.2-10> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{52.0}=0.057$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 92.5~153.3MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{52.0}=0.009$로 0.01이하	파쇄암반	

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
2구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{52.0}=0.057$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 92.5~153.3MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size \in dex}{Slope\,height}=\frac{2.0}{52.0}=0.038$로 0.01초과	절리암반	

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
3구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{44.0}=0.068$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 92.5~153.3MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size \in dex}{Slope\,height}=\frac{2.0}{44.0}=0.045$로 0.01초과	절리암반	

다. 비탈면 구간 분할

연장이 530m로써, 사면의 구간분할 기준인

1) 사면의 구성재료가 변화할 경우

2) 사면의 경사가 10°이상으로 변할 경우

3) 사면의 구성재료와 표준경사가 맞지 않을 경우

4) 사면의 경사방향이 40°이상 변화할 경우

5) 동일 구간의 연장이 200m 이상일 경우

위 기준중 5번에 해당하여, 그에 따라 3개구간으로 분할하여 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

<표 2.2-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	12.070~12.270km	200m
2구간	12.270~12.470km	200m
3구간	12.470~12.600km	130m

2.3.3 상태안전성능 조사

가. 집수지형

집수지형에 대한 평가는 시·종점부, 요철지형 등 지표수가 직·간접적으로 비탈면에 유입되는 지형에 대한 평가로서 외부와 내부로 구분하여 분석하였다.

비탈면 외부 지형조건은 상부 자연사면이 상향 5°경사를 이루고 있는 것으로 조사되었다. 사면 외부 집수지형에 대한 분석 결과, 강우시 소단배수로 및 산마루측구로 배수되며, 상단부는 자연사면을 통한 자연배수 형태이다.

사면내 기울기 및 경사방향 변화로 인한 사면내 오목한 지형 발생으로 인한 집수지형은 없는 상태이다.

<표 2.2-12> 집수 지형 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
집수지형	외부	시.종점부	EA	-	-	
		계곡부	EA	1	-	
	내부	집수지형 없음	EA	-	-	

나. 불안정 지질

불안정 지질은 절토사면에 분포하는 단층 및 전단대, 파쇄대, 습곡, 암맥 등 주변의 암반과 구성이 다르거나 특정 부분을 중심으로 균열이 집중적으로 발달하여 사면에 작용하는 불안정 요인으로 작용하는 지질 분포규모 및 상태를 평가하는 항목이다.

본 비탈면은 표면보호공으로 식생이 분포하여 전체 사면에 대한 불안정 지질 여부를 평가하기 곤란하여 부분적으로 원지반이 노출된 구간에 대해서 한정적으로 조사하였다.

그 결과 부분적으로 절리가 관찰되며, 보통 풍화 상태를 보이고 있는 것으로 분석되었다.

<표 2.2-13> 불안정 지질 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
불안정 지질	일부 분포	-	-	-	

다. 불연속면 특성

불연속면은 대개 물리적으로 분리되어 있는 면으로 매우 작은 인장강도를 갖거나 인장강도가 없어 암반으로 구성된 절토사면의 경우 불연속면의 존재는 사면의 안정에 절대적인 영향을 미치게 된다. 이와 관련하여 본 성능평가에서는 소단 하부에는 식생공이 없어 대기에 노출된 원지반을 대상으로 3개 구간에서 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

<표 2.2-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	90/215	89/202	90/215
간격(m)	2 이상	2 이상	2 이상
연장성(m)	< 1	< 1	< 1
틈새(mm)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만
거칠기	거침	거침	거침
충진물질	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만
풍화도	Fresh	SW	Fresh
비고			

구 분	2구간		
	Set 4	Set 5	Set 6
방향성	28/006		
간격(m)	2 이상		
연장성(m)	< 1		
틈새(mm)	0.1~1.0㎜		
거칠기	약간 거칠음		
충진물질	딱딱함, 5㎜미만		
풍화도	Fresh		
비고	식생공으로 인한 이외의 불연속면 특성조사 불가		

구 분	3구간		
	Set 7	Set 8	Set 9
방향성	90/002	25/035	2/006
간격(m)	2 이상	2 이상	2 이상
연장성(m)	< 1	< 1	< 1
틈새(mm)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만
거칠기	약간 거칠음	약간 거칠음	약간 거칠음
충진물질	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만
풍화도	Fresh	Fresh	Fresh
비고			

라. 지반 변형

지반 변형은 사면의 배부름 현황과 같은 지반 자체 변형과 관련된 항목이다. 본 성능평가에서는 전 구간에 걸쳐 외관조사를 시행하고, 관련 자료 및 청문조사를 통한 과거 이력에 대한 조사도 병행하였다. 외관조사 결과, 지반변형으로 인한 급격한 기울기 변화는 조사되지 않았으며, 과거 이력 조사 결과에서도 손상은 없었던 것으로 확인되었다.

<표 2.2-15> 지반 변형 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
지반 변형	없 음	-	-	-	

마. 배수 조건

사면내 배수시설은 소단배수로가 시공되어 있다.

소단배수로는 지반 변형으로 인한 부상 및 침하 등의 손상은 없는 것으로 확인되었다.

<표 2.2-16> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단 배수로	상태 양호	-	-	-	

바. 지하수

지하수에 대한 항목은 사면내 지하수량을 간접적으로 조사하는 항목이다.

비탈면내 누수 여부에 대한 조사 결과, 지하수 용출에 의한 습윤지역 및 누수 현상은 관찰되지 않는 상태이다.

<표 2.2-17> 지하수 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상원인	비 고
지하수	건조된 상태	-	-	-	

사. 붕괴 이력

초기점검 및 기 점검사항을 토대로 확인한 결과, 붕괴이력은 조사되지 않았다.

<표 2.2-18> 붕괴 이력 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
붕괴 이력	상태 양호	-	-	-	

아. 낙석

낙석은 암반사면에서 빈번히 발생되는 붕괴유형으로 사면내 관찰되는 이완암 및 뜬돌의 규모 등을 조사하는 항목이다. 이와 관련하여 사면 하단부 및 소단부에서 낙석 여부 조사 결과 낙석은 조사되지 않았다

<표 2.2-19> 낙석 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상원인	비 고
낙 석	없음	-	-	-	현장조사, 청문조사

자. 인장균열

인장균열 조사는 개략적인 붕괴 규모나 양상을 예측하기 위한 참고 자료로 활용되는 항목으로 본 비탈면에 대한 외관조사 결과, 사면 내·외부에서 인장균열은 조사되지 않는 상태이다.

<표 2.2-20> 인장균열 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상원인	비 고
인장균열	없음	-	-	-	현장조사

2.3.4 내구성능 조사

가. 토사구간의 지반상태

본 비탈면에는 전 구간에 걸쳐 암반으로 구성되어 있으며, 토양경도계를 측정할 수 없으므로 토사구간의 지반상태는 제외토록 하였다.

나. 암반구간의 지반상태

암반강도시험은 총 3개소에서 실시하였으며, 시험 결과에 따른 암종 분류 결과 보통암~극경암인 것으로 판단된다.

<표 2.2-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(MPa)	암 판정 결과	비고
12.17km	49.8	92.5	보통암	
12.27km	61.2	153.3	극경암	
12.47km	55.7	120.1	경암	
검토의견	·암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 49.8~61.2로 측정되었으며, 추정강도 92.5~153.3MPa로 보통암~극경암으로 판정되어 암반의 강도는 양호한 것으로 판단된다.			

절리면 경사/경사방향 측정

암반 강도시험

다. 표면보호공

표면보호공은 사면의 안전성에는 직접적인 영향을 주지 않으나, 사면의 상태보호 및 유지에 영향을 미치는 요소이다. 식생의 경우는 전체 면적 대비 피복 면적의 비를 기준으로 분석하였으며, 숏크리트는 균열 및 박락 등의 손상을 기준으로 분석하였다.

<표 2.2-22> 표면보호공 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
표면 보호공	낙석방지망	-	-	-	-	
	숏크리트	-	-	-	-	

표면보호공 전경

표면보호공 전경

라. 사면보강공

본 비탈면은 관련자료 분석 결과 식생 이외의 특별한 보강시설은 없는 것으로 조사되었으며, 현장조사시 확인한 결과 사면안정을 위한 소일네일링이 시공되어 있고, 양호한 상태이다.

<표 2.2-23> 사면보강공 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
사면 보강공	앵커공	-	-	-	
	네일링	-	-	-	

2.4 안전성능평가

안전성능평가는 외관상 관찰되는 시설물의 결함을 평가하는 상태안전성능평가와 공학적인 안정성을 평가하는 구조안전성능으로 구분한다.

2.4.1 상태안전성능 평가

가. 시설물의 형식 및 안전성능지표

비탈면 분류는 현장조사 결과를 기초로 하여 관련 자료 분석을 통해 획득한 자료를 최대한 적용하였다. 그 결과 절토사면 높이에 대한 토층심도율이 0.057~0.068으로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 세부 분류는 절리암반비탈면, 파쇄암반비탈면으로 평가된다.

<표 2.2-24> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{52.0}=0.057$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 92.5~153.3MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{52.0}=0.009$로 0.01이하	파쇄암반	

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
2구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{52.0}=0.057$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 92.5~153.3MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{2.0}{52.0}=0.038$로 0.01초과	절리암반	

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
3구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{44.0}=0.068$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 92.5~153.3MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{2.0}{44.0}=0.045$로 0.01초과	절리암반	

본 시설물은 사면 구성 재료의 특별한 변화가 없으며, 총연장이 530.0m로 사면 분할기준인 200.0m를 상회한다. 비탈면 구간 분할 기준에 의하여 동일 구간의 연장이 200m 이상일 경우로 하여 총 3개소로 분할하여 조사·평가하기로 한다.

<표 2.2-25> 비탈면 구간 분할

위치	비탈면 구간 분할 기준	시설물 현황		
		구성 재료	경사방향 변화	사면 연장
부산기점 STA.12+050 ~12+620	○ 사면 구성재료 변화 ○ 사면 경사방향 40°이상 변화 ○ 동일구간 연장 200.0m 이상	암반	없음 (직선형)	530.0m
구간 분할	○ 1구간 : 12.070~12.270K ○ 2구간 : 12.270~12.470K ○ 3구간 : 12.470~12.600K			

<표 2.2-26> 사면 형식별 상태안전성능지표

구 분	평가 요소		
	토사사면	암반사면	혼합사면
절토사면	○ 집수지형 ○ 지반변형 ○ 지하수 ○ 배수조건 ○ 사면상부 상태 ○ 붕괴이력	○ 집수지형 ○ 불안정지질 ○ 불연속면 특성 ○ 지반변형 ○ 지하수 ○ 배수조건 ○ 붕괴이력 ○ 낙석	○ 불안정지질 ○ 불연속면 특성 ○ 지반변형 ○ 지하수 ○ 배수조건 ○ 붕괴이력 ○ 낙석 ○ 사면상부 상태

나. 1구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 2.2-27> 집수지형 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가결과
사면 내·외 집수지형 개소 수	a	없음	계곡부 또는 집수지형 없음	없음	a
	b	1개소	계곡부 또는 집수지형 1개소		
	c	2개소	계곡부 또는 집수지형 2개소		
	d	3개소	계곡부 또는 집수지형 3개소		
	e	4개소	계곡부 또는 집수지형 4개소 이상		

<표 2.2-28> 불안정 지질 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
규모 및 상태	a	없음	없음	파쇄암반사면 국지적 분포	c
	b	일부 분포 (견고)	불안정 지질이 일부 분포하고 있으나 견고한 상태		
	c	국지적 분포 (파쇄)	불안정 지질이 국지적으로 분포하고 있으며 파쇄가 심한 상태		
	d	전반적인 분포 (파쇄)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심한상태		
	e	전반적인 분포 (파쇄, 누수 등)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심하고 누수 및 유실물 등이 발생하고 있는 상태		

<표 2.2-29> 불연속면 특성 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = (0+5+5+5+5+0) / 6 = 3.33	b
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 2.2-30> 불연속면 세부 상태 평가 결과(1구간)

평가항목	등급					현장조사 결과	평가 결과
	a	b	c	d	e		
점수	0	5	10	16	24		
①연장성	1.0m미만	1.0m이상 3.0m미만	3.0m이상 10.0m미만	10.0m이상 20.0m미만	20.0m이상	< 1	a
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.1㎜ 미만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	거침	b
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	딱딱함, 5㎜미만	b
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	SW	b
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	2 이상	a

<표 2.2-31> 지반변형 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
포행, 단차, 배부름 등	a	변형 없음	지반변형이 없는 상태	지반변형 없음	a
	b	약간의 변형	일부 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	d	사면 전반에 걸친 변형	지반변형이 발생하여 붕괴위험은 있으나, 붕괴로 인해 사면하부 주 구조물에는 직접적인 영향이 없는 상태		
	e	사면 전반에 걸친 변형	평가대상 구간 전반에 변형이 발생하여 대규모 붕괴위험이 예상되며 붕괴발생으로 사면하부의 주구조물에 영향을 미칠 수 있는 상태		

<표 2.2-32> 지하수 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
누수 상태 및 위치	a	건조(dry)	지하수의 흐름이 관찰되지 않고 표면이 건조한 상태	건조한 상태	a
	b	젖음(wet) 사면하부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 하부에서 관찰되는 상태		
	c	젖음(wet) 사면상부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 상부에서 관찰되는 상태		
	d	흐름(flow) 사면하부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 하부에서 용출이 관찰되는 상태		
	e	흐름(flow) 사면상부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 상부에서 용출이 관찰되는 상태		

<표 2.2-33> 배수시설 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
배수 조건	a	완전배수	지표 및 지하배수구가 모두 적용되어 원활한 배수를 이루고 있는 상태 또는 사면이 건조한 상태로 배수시설의 적용이 필요하지 않은 상태	양호	b
	b	양호	배수시설이 노후 되었으나 배수기능이 원활한 상태		
	c	보통	배수시설이 노후 되고 일부 균열이 관찰되나, 배수기능이 원활한 상태		
	d	불량	배수시설이 노후 되고 균열 및 변형 등의 결함이 발생하여 배수기능이 불량한 상태		
	e	매우 불량	지표수 및 지하수로 인해 사면의 안전성능에 직접적인 영향을 미치며, 배수시설이 설치되어 있지 않거나 결함으로 인해 배수를 못하는 상태		

<표 2.2-34> 붕괴이력 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
붕괴이력	a	없음	없음	없음	a
	b	세굴 및 표층균열	사면의 표면 세굴 및 소규모 유실 등의 발생이력		
	c	표층파괴	표층유실 및 낙석, 암탈락 등 사면 표층 파괴 발생이력		
	d	심층파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 심층파괴 발생이력		
	e	대규모파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 파괴가 발생하여 사면하부 주구조물에 피해가 발생한 상태		

<표 2.2-35> 낙석 발생 규모 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 없음	a
	b	1.0㎥미만		
	c	1.0㎥이상, 6.0㎥미만		
	d	6.0㎥이상, 10.0㎥미만		
	e	10.0㎥이상		

<표 2.2-36> 예상 낙석에너지 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
예상 낙석 에너지	a	없음	$E_i = (1 - \frac{u}{\tan\theta}) \times (1+\beta) \times m \times g \times H = 0$ 여기서, □E_i = 낙석에너지(kJ), □Θ= 사면의 경사, u□= 낙석의 등가마찰계수(0.15) □ β = 회전에너지계수(0.1) m = 낙석의 중량(t), □버= 낙석의 높이(m) g = 중력가속도(9.8m/sec^2) (u, β는 상수, 각각 0.15, 0.1 적용) → 현장조사 결과 뜬돌 및 이완암이 조사되지 않음	a
	b	50kJ미만		
	c	50kJ이상 70kJ미만		
	d	70kJ이상 120kJ미만		
	e	120kJ이상		

<표 2.2-37> 사면의 상부 상태 평가 결과 (1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
상부 자연사면 경사	a	없음	평지 또는 역경사	상향 5°	b
	b	10°미만	상부자연사면으로부터 지표수가 유입될 수 있는 정도를 평가하기 위한 것으로 자연사면의 대표 경사로 평가		
	c	10°이상 20°미만			
	d	20°이상 30°미만			
	e	30°이상			

다. 1구간 인장균열 평가 결과

인장균열이 확인되는 경우 인장균열을 반영한 상태안전성능평가 결과를 선정하고 구조안전성능 평가결과 및 현장 상태에 따라 보강 대책방안을 검토해야 한다. 인장균열의 결함점수는 d, e 등급에 따른 각각의 평균값으로 산정한다.

<표 2.2-38> 인장균열 결함점수 산정 결과(1구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가 결과
인장균열	a	8	0.08	인장균열 없음	a
	d	65	0.65		
	e	88	0.88		

본 비탈면의 경우 인장균열이 없는 상태로서 성능별 등급 결과에 따른 상태안전성능평가 결과를 최종 상태평가 안전등급으로 산정하기로 한다.

라. 1구간 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 2.2-39> 상태안전성능 평가 결과 범위(1구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
$0 \le f < 0.15$	$0.15 \le f < 0.30$	$0.30 \le f < 0.55$	$0.55 \le f < 0.75$	$0.75 \le f$

<표 2.2-40> 암반사면의 평가항목별 등급에 따른 점수(1구간)

평가항목	등급에 따른 점수				
	a	b	c	d	e
① 집수지형	0	1	3	4	6
② 불안정 지질	0	3	6	10	15
③ 불연속면의 특성	0	1~5	6~10	11~16	17~24
④ 지반변형	0	2	4	6	9
⑤ 지하수	0	2	3	5	8
⑥ 배수조건	0	2	5	7	11
⑦ 붕괴이력	0	2	4	7	10
⑧ 낙석	0	4	7	11	17
결함지수 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 2.2-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명		부산기점 Sta.12+050~12+620		
사면 종류	절토사면	구성재료	파쇄암반사면	
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	0	a
	사면 외	0		
불안정 지질		6	6	c
블연속면 특성		3.3	4	b
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			12	
결함지수		0.12		
상태안전성능평가 결과		**A**		

마. 2구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 2.2-42> 집수지형 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가결과
사면 내·외 집수지형 개소 수	a	없음	계곡부 또는 집수지형 없음	1개소	b
	b	1개소	계곡부 또는 집수지형 1개소		
	c	2개소	계곡부 또는 집수지형 2개소		
	d	3개소	계곡부 또는 집수지형 3개소		
	e	4개소	계곡부 또는 집수지형 4개소 이상		

<표 2.2-43> 불안정 지질 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
규모 및 상태	a	없음	없음	절리암반사면 국지적 분포	c
	b	일부 분포 (견고)	불안정 지질이 일부 분포하고 있으나 견고한 상태		
	c	국지적 분포 (파쇄)	불안정 지질이 국지적으로 분포하고 있으며 파쇄가 심한 상태		
	d	전반적인 분포 (파쇄)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심한상태		
	e	전반적인 분포 (파쇄, 누수 등)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심하고 누수 및 유실물 등이 발생하고 있는 상태		

<표 2.2-44> 불연속면 특성 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = (0+10+10+5+0+0) / 6 = 4.1	b
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 2.2-45> 불연속면 세부 상태 평가 결과(2구간)

평가항목	등급					현장조사 결과	평가 결과
	a	b	c	d	e		
점수	0	5	10	16	24		
①연장성	1.0m미만	1.0m이상 3.0m미만	3.0m이상 10.0m미만	10.0m이상 20.0m미만	20.0m이상	< 1	a
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.1~1.0㎜	c
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거칠음	c
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	딱딱함, 5㎜미만	b
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	Fresh	a
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	2 이상	a

<표 2.2-46> 지반변형 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
포행, 단차, 배부름 등	a	변형 없음	지반변형이 없는 상태	지반변형 없음	a
	b	약간의 변형	일부 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	d	사면 전반에 걸친 변형	지반변형이 발생하여 붕괴위험은 있으나, 붕괴로 인해 사면하부 주 구조물에는 직접적인 영향이 없는 상태		
	e	사면 전반에 걸친 변형	평가대상 구간 전반에 변형이 발생하여 대규모 붕괴위험이 예상되며 붕괴발생으로 사면하부의 주구조물에 영향을 미칠 수 있는 상태		

<표 2.2-47> 지하수 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
누수 상태 및 위치	a	건조(dry)	지하수의 흐름이 관찰되지 않고 표면이 건조한 상태	건조한 상태	a
	b	젖음(wet) 사면하부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 하부에서 관찰되는 상태		
	c	젖음(wet) 사면상부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 상부에서 관찰되는 상태		
	d	흐름(flow) 사면하부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 하부에서 용출이 관찰되는 상태		
	e	흐름(flow) 사면상부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 상부에서 용출이 관찰되는 상태		

<표 2.2-48> 배수시설 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
배수 조건	a	완전배수	지표 및 지하배수구가 모두 적용되어 원활한 배수를 이루고 있는 상태 또는 사면이 건조한 상태로 배수시설의 적용이 필요하지 않은 상태	양호	b
	b	양호	배수시설이 노후 되었으나 배수기능이 원활한 상태		
	c	보통	배수시설이 노후 되고 일부 균열이 관찰되나, 배수기능이 원활한 상태		
	d	불량	배수시설이 노후 되고 균열 및 변형 등의 결함이 발생하여 배수기능이 불량한 상태		
	e	매우 불량	지표수 및 지하수로 인해 사면의 안전성능에 직접적인 영향을 미치며, 배수시설이 설치되어 있지 않거나 결함으로 인해 배수를 못하는 상태		

<표 2.2-49> 붕괴이력 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
붕괴이력	a	없음	없음	없음	a
	b	세굴 및 표층균열	사면의 표면 세굴 및 소규모 유실 등의 발생이력		
	c	표층파괴	표층유실 및 낙석, 암탈락 등 사면 표층 파괴 발생이력		
	d	심층파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 심층파괴 발생이력		
	e	대규모파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 파괴가 발생하여 사면하부 주구조물에 피해가 발생한 상태		

<표 2.2-50> 낙석 발생 규모 평가기준(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	없음	a
	b	1.0㎥미만		
	c	1.0㎥이상, 6.0㎥미만		
	d	6.0㎥이상, 10.0㎥미만		
	e	10.0㎥이상		

<표 2.2-51> 예상 낙석에너지 평가기준(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
예상 낙석 에너지	a	없음	$E_i = (1 - \frac{u}{\tan\theta}) \times (1+\beta) \times m \times g \times H = 0$ 여기서, □E_i = 낙석에너지(kJ), □Θ= 사면의 경사, u□= 낙석의 등가마찰계수(0.15) □ β = 회전에너지계수(0.1) m = 낙석의 중량(t), □H= 낙석의 높이(m) g = 중력가속도(9.8m/sec^2) (u, β는 상수, 각각 0.15, 0.1 적용) → 현장조사 결과 낙석방지망 내 뜬돌 및 이완암이 조사됨	c
	b	50kJ미만		
	c	50kJ이상 70kJ미만		
	d	70kJ이상 120kJ미만		
	e	120kJ이상		

<표 2.2-52> 사면의 상부 상태 평가 결과 (2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
상부 자연사면 경사	a	없음	평지 또는 역경사	상향 5°	b
	b	10°미만	상부자연사면으로부터 지표수가 유입될 수 있는 정도를 평가하기 위한 것으로 자연사면의 대표 경사로 평가		
	c	10°이상 20°미만			
	d	20°이상 30°미만			
	e	30°이상			

바. 2구간 인장균열 평가 결과

인장균열이 확인되는 경우 인장균열을 반영한 상태안전성능평가 결과를 선정하고 구조안전성능 평가결과 및 현장 상태에 따라 보강 대책방안을 검토해야 한다. 인장균열의 결함점수는 d, e 등급에 따른 각각의 평균값으로 산정한다.

<표 2.2-53> 인장균열 결함점수 산정 결과(2구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가 결과
인장균열	a	8	0.08	인장균열 없음	a
	d	65	0.65		
	e	88	0.88		

본 비탈면의 경우 인장균열이 없는 상태로서 성능별 등급 결과에 따른 상태안전성능평가 결과를 최종 상태평가 안전등급으로 산정하기로 한다.

사. 2구간 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 2.2-54> 상태안전성능 평가 결과 범위(2구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0 ≤ f < 0.15	0.15 ≤ f < 0.30	0.30 ≤ f < 0.55	0.55 ≤ f < 0.75	0.75 ≤ f

<표 2.2-55> 암반사면의 평가항목별 등급에 따른 점수(2구간)

평가항목	등급에 따른 점수				
	a	b	c	d	e
① 집수지형	0	1	3	4	6
② 불안정 지질	0	3	6	10	15
③ 불연속면의 특성	0	1~5	6~10	11~16	17~24
④ 지반변형	0	2	4	6	9
⑤ 지하수	0	2	3	5	8
⑥ 배수조건	0	2	5	7	11
⑦ 붕괴이력	0	2	4	7	10
⑧ 낙석	0	4	7	11	17
결함지수 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 2.2-56> 상태안전성능평가 결과(2구간)

시설물명		부산기점 Sta.12+050~12+620		
사면 종류	절토사면	구성재료	절리암반사면	
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	1	b
	사면 외	1		
불안정 지질		6	6	c
블연속면 특성		4.1	4	b
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			13	
결함지수		0.13		
상태안전성능평가 결과		A		

아. 3구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 2.2-57> 집수지형 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가결과
사면 내·외 집수지형 개소 수	a	없음	계곡부 또는 집수지형 없음	없음	a
	b	1개소	계곡부 또는 집수지형 1개소		
	c	2개소	계곡부 또는 집수지형 2개소		
	d	3개소	계곡부 또는 집수지형 3개소		
	e	4개소	계곡부 또는 집수지형 4개소 이상		

<표 2.2-58> 불안정 지질 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
규모 및 상태	a	없음	없음	절리암반사면 일부 분포	b
	b	일부 분포 (견고)	불안정 지질이 일부 분포하고 있으나 견고한 상태		
	c	국지적 분포 (파쇄)	불안정 지질이 국지적으로 분포하고 있으며 파쇄가 심한 상태		
	d	전반적인 분포 (파쇄)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심한상태		
	e	전반적인 분포 (파쇄, 누수 등)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심하고 누수 및 유실물 등이 발생하고 있는 상태		

<표 2.2-59> 불연속면 특성 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = (0+5+10+5+0+0) / 6 = 3.3	b
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 2.2-60> 불연속면 세부 상태 평가 결과(3구간)

평가항목	등급					현장조사 결과	평가 결과
	a	b	c	d	e		
점수	0	5	10	16	24		
①연장성	1.0m미만	1.0m이상 3.0m미만	3.0m이상 10.0m미만	10.0m이상 20.0m미만	20.0m이상	< 1	a
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.1㎜ 미만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거칠음	c
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	딱딱함, 5㎜미만	b
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	Fresh	a
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	2 이상	a

<표 2.2-61> 지반변형 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
포행, 단차, 배부름 등	a	변형 없음	지반변형이 없는 상태	지반변형 없음	a
	b	약간의 변형	일부 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	d	사면 전반에 걸친 변형	지반변형이 발생하여 붕괴위험은 있으나, 붕괴로 인해 사면하부 주 구조물에는 직접적인 영향이 없는 상태		
	e	사면 전반에 걸친 변형	평가대상 구간 전반에 변형이 발생하여 대규모 붕괴위험이 예상되며 붕괴발생으로 사면하부의 주구조물에 영향을 미칠 수 있는 상태		

<표 2.2-62> 지하수 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
누수 상태 및 위치	a	건조(dry)	지하수의 흐름이 관찰되지 않고 표면이 건조한 상태	건조한 상태	a
	b	젖음(wet) 사면하부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 하부에서 관찰되는 상태		
	c	젖음(wet) 사면상부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 상부에서 관찰되는 상태		
	d	흐름(flow) 사면하부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 하부에서 용출이 관찰되는 상태		
	e	흐름(flow) 사면상부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 상부에서 용출이 관찰되는 상태		

<표 2.2-63> 배수시설 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
배수 조건	a	완전배수	지표 및 지하배수구가 모두 적용되어 원활한 배수를 이루고 있는 상태 또는 사면이 건조한 상태로 배수시설의 적용이 필요하지 않은 상태	양호	b
	b	양호	배수시설이 노후 되었으나 배수기능이 원활한 상태		
	c	보통	배수시설이 노후 되고 일부 균열이 관찰되나, 배수기능이 원활한 상태		
	d	불량	배수시설이 노후 되고 균열 및 변형 등의 결함이 발생하여 배수기능이 불량한 상태		
	e	매우 불량	지표수 및 지하수로 인해 사면의 안전성능에 직접적인 영향을 미치며, 배수시설이 설치되어 있지 않거나 결함으로 인해 배수를 못하는 상태		

<표 2.2-64> 붕괴이력 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
붕괴이력	a	없음	없음	없음	a
	b	세굴 및 표층균열	사면의 표면 세굴 및 소규모 유실 등의 발생이력		
	c	표층파괴	표층유실 및 낙석, 암탈락 등 사면 표층 파괴 발생이력		
	d	심층파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 심층파괴 발생이력		
	e	대규모파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 파괴가 발생하여 사면하부 주구조물에 피해가 발생한 상태		

<표 2.2-65> 낙석 발생 규모 평가기준(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 없음	a
	b	1.0㎥미만		
	c	1.0㎥이상, 6.0㎥미만		
	d	6.0㎥이상, 10.0㎥미만		
	e	10.0㎥이상		

<표 2.2-66> 예상 낙석에너지 평가기준(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
예상 낙석 에너지	a	없음	$E_i = (1 - \frac{u}{\tan\theta}) \times (1+\beta) \times m \times g \times H = 0$ 여기서, □E_i = 낙석에너지(kJ), □Θ= 사면의 경사, u□= 낙석의 등가마찰계수(0.15) □ β = 회전에너지계수(0.1) m = 낙석의 중량(t), □H= 낙석의 높이(m) g = 중력가속도(9.8m/sec^2) (u, β는 상수, 각각 0.15, 0.1 적용) → 현장조사 결과 뜬돌 및 이완암이 조사되지 않음	a
	b	50kJ미만		
	c	50kJ이상 70kJ미만		
	d	70kJ이상 120kJ미만		
	e	120kJ이상		

<표 2.2-67> 사면의 상부 상태 평가 결과 (3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
상부 자연사면 경사	a	없음	평지 또는 역경사	상향 5°	b
	b	10°미만	상부자연사면으로부터 지표수가 유입될 수 있는 정도를 평가하기 위한 것으로 자연사면의 대표 경사로 평가		
	c	10°이상 20°미만			
	d	20°이상 30°미만			
	e	30°이상			

자. 3구간 인장균열 평가 결과

인장균열이 확인되는 경우 인장균열을 반영한 상태안전성능평가 결과를 선정하고 구조안전성능 평가결과 및 현장 상태에 따라 보강 대책방안을 검토해야 한다. 인장균열의 결함점수는 d, e 등급에 따른 각각의 평균값으로 산정한다.

<표 2.2-68> 인장균열 결함점수 산정 결과(3구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가 결과
인장균열	a	8	0.08	인장균열 없음	a
	d	65	0.65		
	e	88	0.88		

본 비탈면의 경우 인장균열이 없는 상태로서 성능별 등급 결과에 따른 상태안전성능평가 결과를 최종 상태평가 안전등급으로 산정하기로 한다.

차. 3구간 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 2.2-69> 상태안전성능 평가 결과 범위(3구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
$0 \le f < 0.15$	$0.15 \le f < 0.30$	$0.30 \le f < 0.55$	$0.55 \le f < 0.75$	$0.75 \le f$

<표 2.2-70> 암반사면의 평가항목별 등급에 따른 점수(3구간)

평가항목	등급에 따른 점수				
	a	b	c	d	e
① 집수지형	0	1	3	4	6
② 불안정 지질	0	3	6	10	15
③ 불연속면의 특성	0	1~5	6~10	11~16	17~24
④ 지반변형	0	2	4	6	9
⑤ 지하수	0	2	3	5	8
⑥ 배수조건	0	2	5	7	11
⑦ 붕괴이력	0	2	4	7	10
⑧ 낙석	0	4	7	11	17
결함지수 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 2.2-71> 상태안전성능평가 결과(3구간)

시설물명		부산기점 Sta.12+050~12+620		
사면 종류	절토사면	구성재료	절리암반사면	
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	0	a
	사면 외	0		
불안정 지질		3	3	b
블연속면 특성		3.3	4	b
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			9	
결함지수		0.09		
상태안전성능평가 결과		**A**		

카. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 2.2-72> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
530.0m	1구간	12.070~12.270K	a(0.12)	A	인장균열 없음
	2구간	12.270~12.470K	a(0.13)		
	3구간	12.470~12.600K	a(0.09)		
	○구간별 평가 후 최소등급 선정 ○인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

2.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

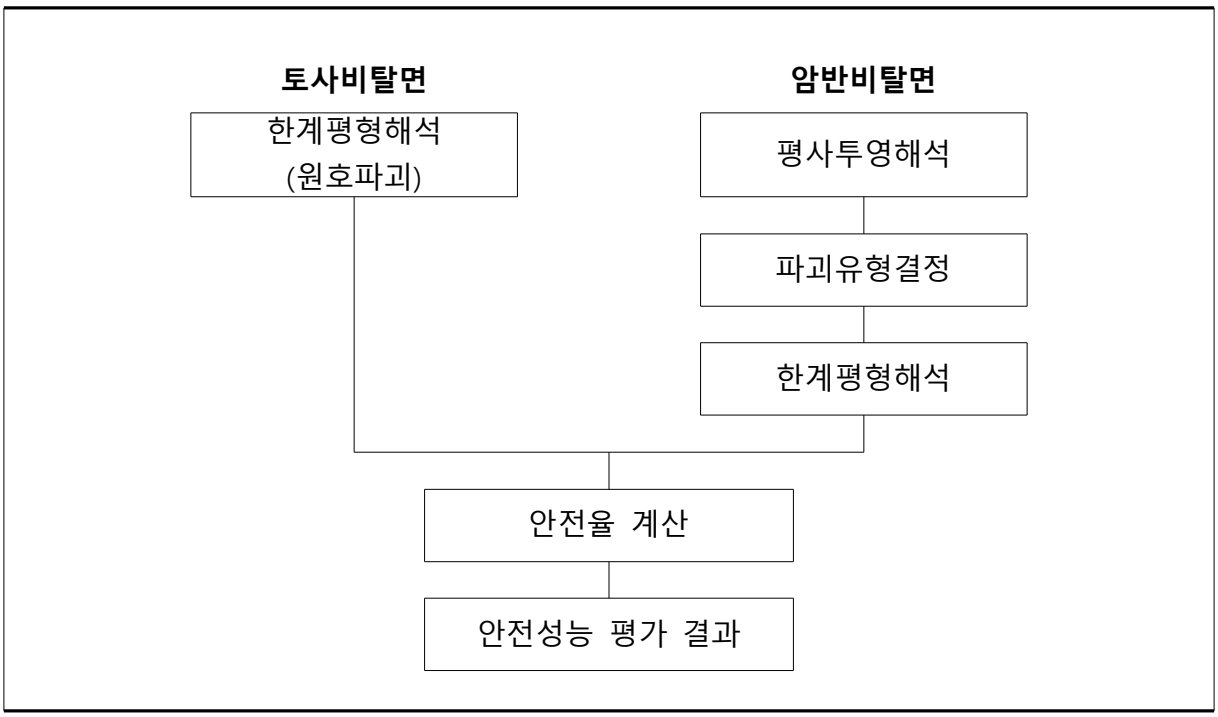
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

금회 성능평가에서는 설계 및 시공중 보강 관련 자료, 공용중 보강자료 등의 검토를 통해 구조안전성능평가에 필요한 항목을 검토하기로 한다. 또한, 이와 더불어 금회 성능평가 현장조사시 획득된 암반 절리 자료를 이용하여 평사투영해석을 시행하기로 한다.

나. 구조안전평가

1) 평가개요

비탈면의 안전성능 평가는 비탈면을 구성하는 지반의 구성물질 및 파괴거동에 따라 다양한 측면에서 검토되어야 한다. 토사비탈면과 토층은 일반적으로 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반비탈면은 평사투영해석을 실시하여 불연속면을 따른 암반의 파괴 가능성 및 파괴유형을 검토한 후 이에 부합하는 한계평형해석을 실시하여야 한다. 또한 암반비탈면의 경우라 할지라도 지반의 강도 특성이나 불연속면의 분포 특성 등에 따라 토사비탈면과 같은 연속적인 거동이 가능한 암반의 경우는 이와 별도로 원호파괴 가능성에 대한 검토가 이루어져야 한다.



<그림 2.2-2> 구조안전성능 평가과정

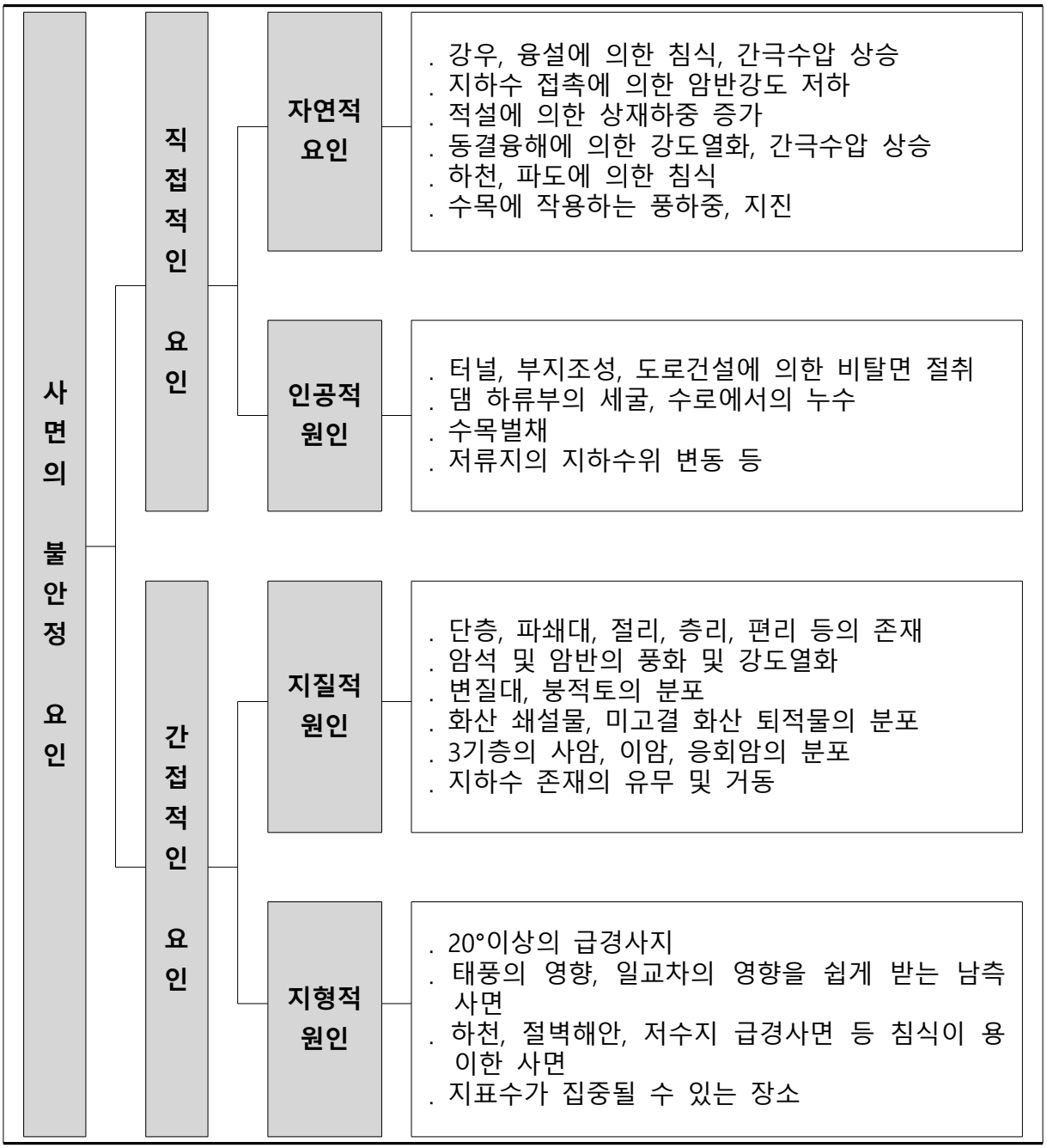
<표 2.2-73> 유형별 안정해석 범위

구 분	평사투영 해석	한계평형해석		비 고
		토 사	암 반	
토사비탈면	-	○	-	. 원호활동에 대한 한계평형 해석 실시
암반비탈면	○	△	○	. 평사투영해석결과 불안정시 파괴 유형에 따른 한계평형해석 수행 . 3m이상의 토층이 관찰되거나 풍화가 심하게 진행되어 원호활동이 예상되는 구간에 대해 평사투영해석결과와 별도로 원호파괴 해석을 실시
혼합비탈면	○	○	○	. 평사투영해석결과 불안정시 파괴 유형에 따른 한계평형해석 수행 . 평사투영해석결과와 별도로 토사구간에 대해 원호파괴해석 실시

ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득

ㅇ설계도면과 현재 제원 비교

2) 비탈면의 불안정 요인

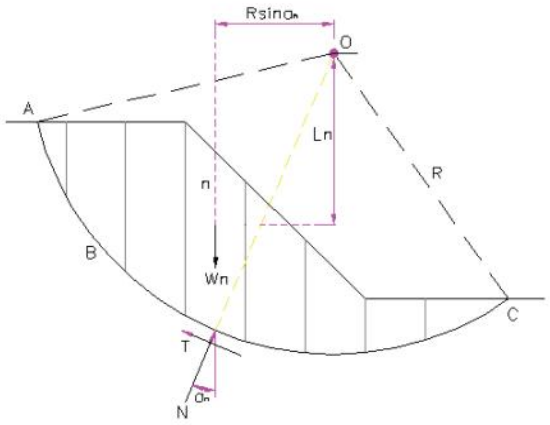


<그림 2.2-3> 구조안전성능 평가과정

3) 비탈면 안정해석 방법

① 한계평형법

한계평형 해석방법은 활동면을 따라 파괴가 일어나려는 순간에 토체의 안정성을 해석하려는 것이다. 문제를 단순화하기 위한 가정을 설정하고 이 방법을 사용하여 간단한 정역학적 이론으로 해를 얻으려 하는 것이다. 한계평형 해석법은 절성토 비탈면의 안정해석에 널리 사용되고 있으며 이 방법의 유용성과 신뢰성은 축적된 경험을 통하여 잘 알려져 있다. 한계평형 이론에 의한 비탈면안정 해석방법은 여러 가지가 있으며, 그 정확성은 강도정수와 비탈면의 기하학적 조건의 정확도 및 각 해석방법 고유의 정밀도에 따라 좌우된다. 한계평형 방법의 기본가정은 직선, 원호, 대수나선으로 가정된 파괴면을 따라 Coulomb의 파괴규준을 만족한다는 것으로 가능한 활동면을 따라 파괴가 일어나려는 순간에 토체의 안정성을 해석하는 것이다. 대표적인 해석방법으로는 ø=0 해석법, Fellenius 방법, Bishop 방법, Janbu 방법, Spencer 방법, Morgenstern & Price, 일반한계평형 방법(GLE) 등이 있다.



$$Fs = \frac{\sum_{n=1}^{n=p}(cb_n + W_n \tan\phi + \Delta T \tan\phi)\frac{1}{m}\alpha(n)}{\sum_{n=1}^{n=p}(\sin\alpha_n)}$$

$$m\alpha(n) = \cos\alpha \quad n + \frac{\tan\phi \cdot \sin\alpha_n}{F_S}$$

여기서

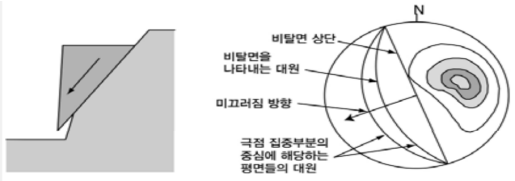
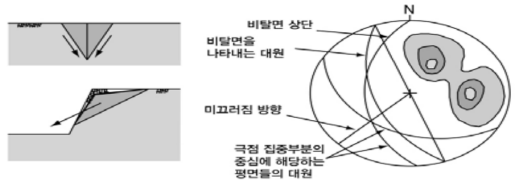
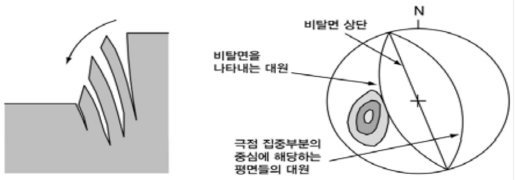
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 2.2-4> Bishop의 안전율 계산식

② 평사투영해석

평사투영법은 비탈면의 방향과 경사, 불연속면의 주향과 경사, 불연속면의 전단저항각을 고려하여 암반 비탈면의 안정성을 개략적으로 검토하는 방법이다. 암반비탈면에 발달하고 있는 불연속면의 방향에 따라 그 파괴형태가 다르게 나타난다. 일반적으로 암반비탈면의 파괴형태는 원형파괴(Circular Failure), 평면파괴(Planar Failure), 쐐기파괴(Wedge Failure) 및 전도파괴(Toppling Failure) 등이 있다.

<표 2.2-74> 비탈면 안정성 분석방법

구 분	파괴 모식도	분석방법
평면파괴		. 불연속면의 주절리가 한 방향으로 발달된 암반에서 발생가능
쐐기파괴		. 쐐기파괴는 두 개의 불연속면을 따라 발생하는 암반블록의 미끄러짐으로 인한 파괴형태
전도파괴		. 전도파괴으 발생조건은 절개면과 절리면의 경사방향이 반대이거나 절리면의 주향과 절개면의 주향이 비슷한 경우에 발생

4) 안전율 기준 - KDS 11 70 05 : 2016

<표 2.2-75> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

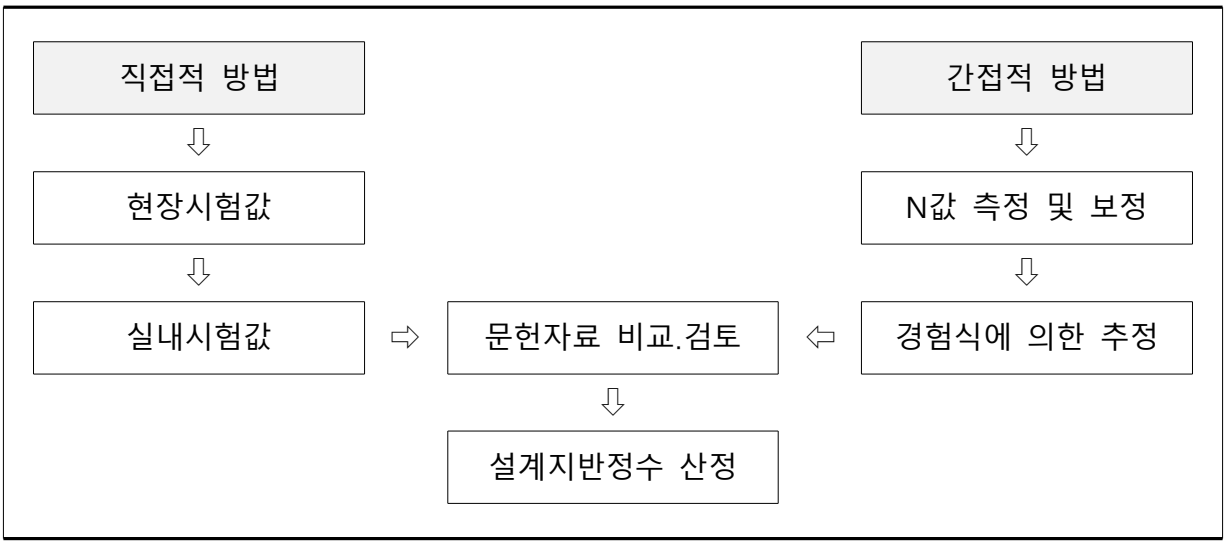
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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	. 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용시킴 . 실제측정 또는 평상시의 지하수위 적용

다. 지반정수 산정

1) 지반정수

대상지역의 지반-구조물의 상호작용에 따른 안정성을 평가하기 위해 현장조사결과를 토대로 경험식, 기존 적용사례 결과를 비교.분석하여 토사 및 암반의 지반정수를 적용하였다.

2) 지반정수 산정흐름



3) 토사/풍화암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 2.2-76> 지반조사편람(서울시, 1996)

지반명	단위중량 (kN/㎥)	점착력 c (MPa)	내부마찰각 (。)	변형계수 D(×10³kN/㎡)	포아송비
풍화토	17~20	0.00~0.01	25~30	20~40	0.5
풍화암	20~22	0.01~0.03	30~35	100~200	0.3~0.4
연 암	23~25	0.03~0.06	30~40	200~400	0.25~0.30
보통암	24~26	0.06~0.15	35~40	400~1,000	0.25
경 암	25~27	0.15~0.20	35~45	1,000~4,000	0.2

<표 2.2-77> 국도건설공사 설계실무요령(국토해양부, 2008)

종 류		재료의 상태		단위중량 (kN/㎥)	내부마찰각 ø(°)	점착력 c(MPa)	분류기호 (통일분류)
흙쌓기	자갈 및 자갈섞인모래	다진것		20	40	0.00	GW, GP
	모 래	다진것	입도가 좋은 것	20	35	0.00	SW, SP
			입도가 나쁜 것	19	30	0.00	
	사 질 토	다진것		18	25	0.03이하	SW, SC
	점 성 토	다진것		18	15	0.05이하	ML, CL MH, CH
자연지반	자 갈	밀실한 것, 입도가 좋은 것		20	40	0.00	GW, GP
		밀실치 않은 것, 입도가 나쁜 것		18	35	0.00	
	자갈섞인 모래	밀실한 것		18	40	0.00	GW, GP
		밀실치 않은 것		19	35	0.00	
	모 래	밀실한 것, 입도가 좋은 것		20	35	0.00	SW, SP
		밀실치 않은 것, 입도가 나쁜 것		18	30	0.00	
	사 질 토	밀실한 것		19	30	0.03이하	SM, SC
		밀실치 않은 것		17	25	0.00	
	점 성 토	굳은 것(손가갈으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=8~15)		18	25	0.05이하	ML, CL
		약간 무른 것(손가락 중간정도의 힘으로 들어감. N=4~8)		17	20	0.03이하	
		무른 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=2~4)		17	20	0.015이하	
	점토 및 실트	굳은 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=8~15)		17	20	0.05이하	CH, MH ML
		약간 무른 것(손가락 중간정도의 힘으로 들어감. N=4~8)		16	15	0.03이하	
		무른 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=2~4)		14	10	0.015이하	

<표 2.2-78> Geotechnical Engineering Investigation(Roy E. Hunt, 1987)

흙의 종류	다짐도	Dr,%	N	γ_{dry} (gf/㎤)	간극비 e	내부 마찰각(ø)
GW (입도분포가 좋은 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	90	2.21	0.22	40
	중간조밀	50	55	2.08	0.28	36
	느 슨	25	<28	1.97	0.36	32
GP (입도분포가 나쁜 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	70	2.04	0.33	38
	중간조밀	50	50	1.92	0.39	35
	느 슨	25	<20	1.83	0.47	32
SW (입도분포가 좋은 모래, 자갈질 모래)	조 밀	75	65	1.89	0.43	37
	중간조밀	50	35	1.79	0.49	34
	느슨	25	<15	1.70	0.57	30
SP (입도분포가 나쁜 모래, 자갈질 모래)	조밀	75	50	1.76	0.52	36
	중간조밀	50	30	1.67	0.60	33
	느슨	25	<10	1.59	0.65	29
SM (실트질 모래)	조밀	75	45	1.65	0.62	35
	중간조밀	50	25	1.55	0.74	32
	느슨	25	<8	1.49	0.80	29
ML (무기질 실트, 매우세립한 모래)	조밀	75	35	1.49	0.80	33
	중간조밀	50	20	1.41	0.90	31
	느슨	25	<4	1.35	1.00	27

◦ 경험식에 의한 방법

<표 2.2-79> 경험식에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

점착력 산정식		내부마찰력 산정식	
$\varnothing = 0$	$c = \frac{q_u}{2}$	Dunham	$\varnothing = \sqrt{12N} + 20$
Dunham	$q_u = \frac{N}{7.7}$	Peck	$\varnothing = 0.3N + 27$
Terzaghi-Peck	$q_u = \frac{N}{8}$	Ohsaki	$\varnothing = \sqrt{12N} + 15$
Ohsaki	$q_u = 4 + \frac{N}{2}$	도로교시방서	$\varnothing = \sqrt{15N} + 15$

◦ 기존 설계자료

<표 2.2-80> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각ø(°)	점착력c(MPa)	비고
기장~장안 국도건설공사	풍화(잔적)토	18	25	0.03	
	풍화암	21	30	0.05	
	연 암	25	32	0.10	
부산~울산간 고속도로 건설공사 (화전~좌동)	풍화(잔적)토	19	28	0.02	직접전단시험
	풍화암	20	30	0.03	
	연 암	24	30	0.10	
부산~울산간 고속도로 건설공사 (두현~굴화)	풍화(잔적)토	18	30	0.01	
	풍화암	20	30	0.05	
	연 암	23	35	0.01	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 2.2-81> Rock Slope Engineering(E. Hoek & J.W.Bary)

암 종	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각(°)	점착력(kN/㎡)
화 성 암 (화강암, 현무암 등)	25~30	35~45	35,000~55,000
변 성 암 (규암, 편마암, 슬레이트)	25~28	30~40	20,000~40,000
견고한 퇴적암 (석회암, 백운암, 사암)	23~28	35~45	10,000~30,000
연약한 퇴적암 (사암, 석탄, 백악, 셰일)	17~23	25~35	1,000~20,000

<표 2.2-82> 국내 암석의 실내시험 결과(지반공학회지)

암종	화강암	편마암	사암	세일	석회암	응회암
단위중량 (kN/㎥)	26.1±0.5	26.3~27.7	26.7±0.8	27.3±1.0	27.3±1.0	24.3~25.6
점착력 (kN/㎡)	13,500 ~25,000	-	15,000 ~40,000	10,000 ~25,000	15,000 ~34,000	4,000 ~15,000
내부마찰각 (°)	51~65	-	35~54	18~29	35~50	35~45

주)시료수 : 화강암(162~2,123), 편마암(117), 사암(494), 셰일(354), 석회암(150), 응회암(33)

<표 2.2-83> 암반의 전단강도 지수(한국도로공사, 도로설계실무편람)

암석종류 (강 도)	암 반 파 쇄 상 태		굴 착 난 이 도	암반의전단강도지수	
	NX 시 추 시 (Double Core Barrel 사용시)				
	T.C.R (%)	R.Q.D (%)		ϕ (°)	C (kN/㎡)
강한 풍화암으로서 파쇄가 거의 없는 경우와 대부분의 연.경암	20~30%	10~25%	발파암반 (연암)	33	130
	40~50%	25~35%	발파암반 (보통암)	35	150
	70% 이상	40~50%	발파암반 (경암)	40	200

◦ 경험식에 의한 방법

<표 2.2-84> Bieniawski(1989)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	-0.051 + 0.008RMR - 3.346×10-5RMR²(MPa)
마찰각(∅)	-0.086 + 0.7891RMR - 0.0031RMR²(degree)

<표 2.2-85> Trueman (1988)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	0.25exp(0.05RMR) (Mpa)
마찰각(∅)	0.5RMR + 5 (degree)

<표 2.2-86> 김교원 (1993)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	0.02exp(0.08RMR*) (Mpa)
마찰각(∅)	0.25(RMR*) + 27.5 (degree)

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 적용 지반정수 요약

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 MPa	프와송비	비 고
풍화토	18	28	0.02	0.3	
풍화암	20	30	0.03	0.3	
연 암	24	32	0.10	0.3	

6) 지반의 불포화 특성

실제 지반은 포화상태보다는 대부분 일정비율의 공기를 함유하고 있는 불포화상태이기 때문에 현실적인 해석결과를 검토하기 위해서는 불포화 특성이 고려된 비정상류 검토를 실시해야 한다. 다만 시험방법이 복잡하고 널리 알려지지 않아 수행에 다소의 어려움이 있어 현장여건을 최대한 반영하기 위해 관련 문헌자료를 이용하여 산정하였다. 불포화 특성은 지반의 불포화영역에서 음의 간극수압 크기에 따라 투수계수 및 함수비(포화도) 변화를 정의하는 것으로 압력수두(음의간극수압)에 따른 투수함수와 함수비함수를 직접정의(개별고려)하는 방법과 압력수두-체적함수비(포화도)-투수계수비의 관계를 정의(동시고려)하는 방법이 있다.

① 개별고려

불포화토 실험자료를 바탕으로 각각 제공되는 함수종류에 따라 Curve Fitting을 통하여 계수를 정의한다.

② 동시고려

JICE(일본국토기술연구센터, 2007)기준에 따라 불포화토 특성재료의 자료를 설정 가능하다. 지반종류별 제공된 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수는 다음과 같다.

<표 2.2-87> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비

구 분	압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비	
	체적함수율-압력수두	체적함수율-투수계수비
역질토	[G], [G-F], [GF]	[G], [G-F], [GF]
사질토	[S], [S-F], [SF]	[S], [S-F], [SF]
점성토	[M], [C]	[M], [C]

7) 수리정수 산정

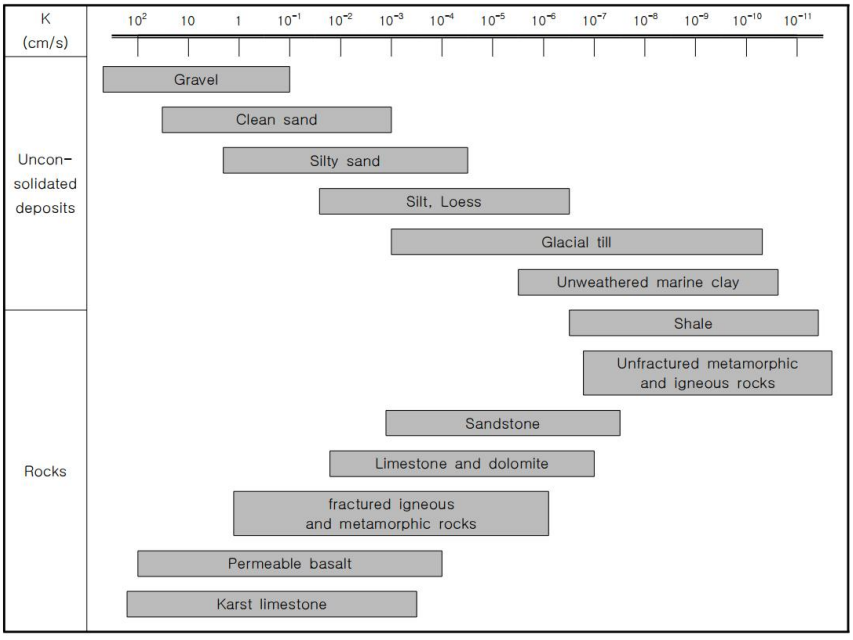
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 2.2-88> 대표적 투수계수

구 분		김 상 규(㎝/sec)	Braja M. Das(㎝/sec)
매립층	모래	1.0E-03~1.0	1.0E-03~1.0
	자갈, 사석	1.0E-02~1.0	1.0E-02~1.0
퇴적층	점성토	1.0E-08~1.0E-03	1.0E-06이하
	모래	1.0E-03~1.0	1.0E-03~1.0
풍화토		1.0E-06~1.0E-02	-

<표 2.2-89> 흙의 종류에 따른 일반적 투수계수(Rartick Power,1992)

흙의 종류	투수계수(㎝/sec)	흙의 종류
자갈(GP)	1.0 이상	양호한 모래(SW)
균등한 자갈(GP)	2.0E-01~1.0	실트질 모래(SM)
양호한 자갈(GW)	3.0E-02~5.0E-02	점토질 모래(SC)
균등한 모래(SP)	5.0E-03~2.0	실트(ML)



<그림 2.2-5> 퇴적물 및 암종별 투수계수(Freeze & Cherry, 1979)

라. 적용 강우강도

1) 강우강도

대상 비탈면에 적용된 강우강도는 한국확률강우량도의 지역별 확률강우량을 적용한다. 관측소가 없는 지역은 최인접 관측소의 확률강우량을 사용하되, 계획대상지점의 확률강우량을 이용하여 강우강도-지속시간-발생빈도 곡선(I.D.F 곡선, Intensity-Duration-Frequency)을 작성하여 최인접 관측소의 확률강우량과 비교 후 큰 값을 적용한다.

2) 설계강우빈도

① 도로배수시설 설계기준 KDS 44 40 00 : 2016

국가건설기준에 따른 도로배수시설의 설계빈도는 위험도・경제성 등을 고려하여 정하며, 구조물별 설계빈도의 적용은 다음 표와 같다.

<표 2.2-90> 도로배수시설 설계빈도

구분	설계빈도	적용위치 및 적용 방법
본선 횡단암거 및 배수관 (도시지역, 산지부)	30년 (50년) 50년 이상	. 일반구간 . 도심지, 도시계획구간 . 국지성 집중호우가 빈번히 발생하는 경우로 조사된 경우
노면 및 흙쌓기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	. 길어깨 및 중분대 등 노면 배수시설 . 흙쌓기부 도수로, 땅깎기흙쌓기경계부 측구 등
측도 및 도로 인접지 배수시설 땅깎기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	. 산마루 측구, 땅깎기부 도수로, 소단 측구 . 흙쌓기 비탈끝 배수시설, 수로이설
집수정 등 배수구조물 간 접속부	접속하는 시설물 중 빈도가 큰 값 적용	

② 비탈면배수시설 설계기준 KDS 11 70 25 : 2016

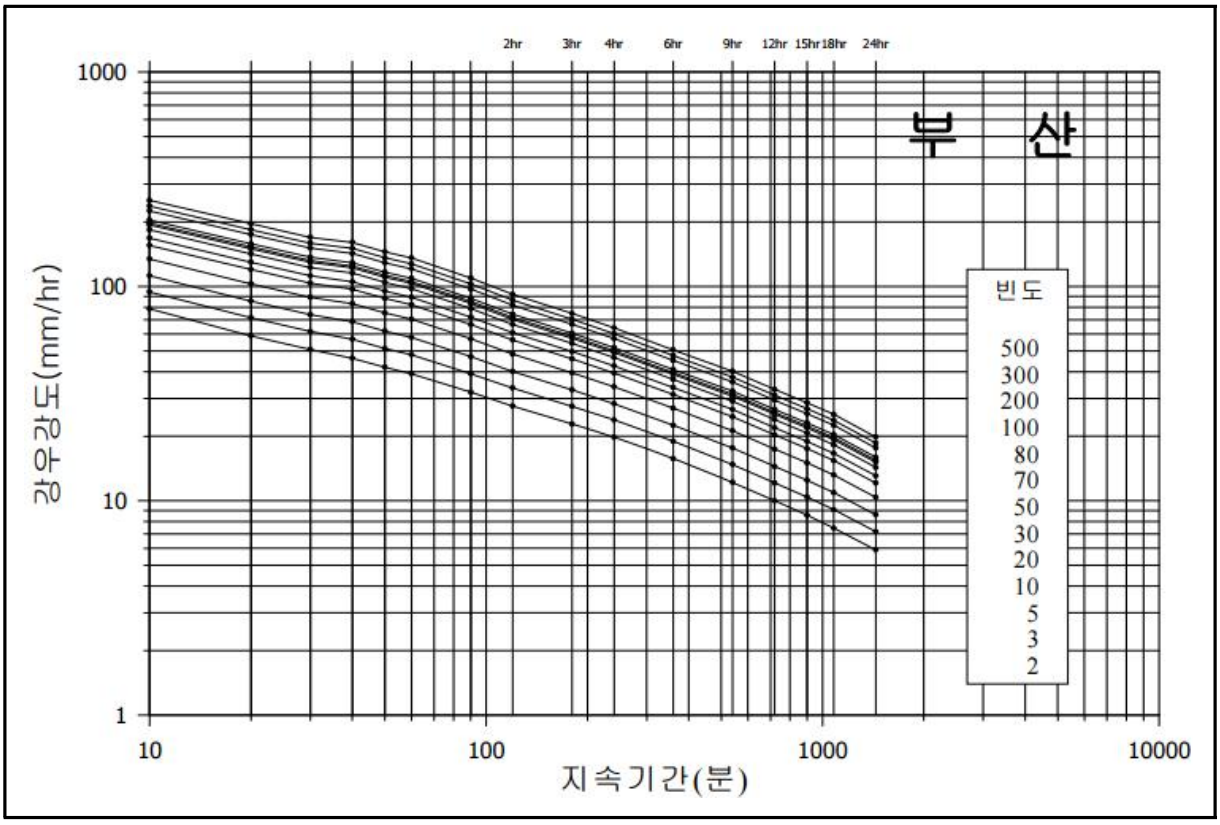
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

③ 적용 강우빈도

대상 비탈면에 적용할 강우빈도는 적용하기 위해 도로배수시설 및 비탈면배수시설의 설계기준을 참조하였으며 일반적으로 비탈면 배수시설에 적용하는 설계빈도는 20년 내외로 검토되었다. 다만 대상 비탈면의 중요도를 고려하여 적용할 강우 재현기간을 100년으로 선정하였다. 강우지속시간은 24시간을 기준으로 사용하였다.

2) 확률강우량 및 IDF곡선

① 부산지역



<그림 2.2-6> 부산지역 IDE곡선

재현기간(년) / 강우지속시간(hr)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	200	300
1	66.80	77.12	82.90	86.89	89.93	92.37	94.40	96.15	97.67	99.03	107.66	112.52
24	12.21	14.88	16.43	17.52	18.36	19.04	19.62	20.12	20.56	20.95	23.52	25.00
48	8.19	10.09	11.19	11.97	12.57	13.06	13.48	13.83	14.15	14.43	16.28	17.35

확률강우강도(㎜/hr)

<그림 2.2-7> 부산지역 확률강우강도

마. 지진시 비탈면 안정해석

1) 비탈면의 내진등급 및 성능목표

비탈면의 내진등급은 상위개념 내진설계기준을 준용하여 비탈면이 속해있는 주 구조물의 내진등급에 따라 Ⅰ등급, Ⅱ등급으로 구분하며 다음 원칙에 따라 결정한다. 비탈면의 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치지는 않으나 기능성 혹은 운영상에 일시적인 영향을 미치는 경우에는 주구조물 보다 한등급 아래의 내진등급을 적용한다. 또한 비탈면의 내진성능수준은 붕괴방지수준(비탈면 설계기준, 2011)으로 이는 비탈면에 인장균열, 부분적 탈락, 배부름 등의 파괴징조는 나타나지만 이로 인해 주구조물의 구조적 성능과 기능적인 역할에 피해를 유발시키지 않는 성능수준이다. 따라서 대상시설물은 주구조물이 고속도로인 내진Ⅰ등급에 해당되며 비탈면 붕괴가 발생할 경우 주구조물의 기능성 혹은 운영상에 일시적인 영향을 받으므로 주구조물과 같은 등급인 내진Ⅰ등급으로 선정하였다.

구조물분류	등급구분	적용대상
도로교	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별한 교량 (장대교량)
	내진Ⅰ등급	• 고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도상의 교량 • 지방도, 시도, 군도 중 방재계획상 필요한 도로에 건설된 교량 • 내진Ⅰ등급교가 건설되는 도로 위를 지나가는 고가교량
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 교량
고속철도	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별히 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	교량, 고가역사, 지하터널역사, 터널, 전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	이외의 구조물
공항구조물	내진특등급	관제탑, 구조 및 소방시설
	내진Ⅰ등급	교량, 지하구조물, 비행장시설, 도로, 건축물 등
	내진Ⅱ등급	하수도, 화물창고, 화물터미널
항만구조물	내진Ⅰ등급	항구의 입지적, 전략적 요건에 의해 주관적으로 분류
	내진Ⅱ등급	안벽, 제방 등 Ⅰ등급으로 할 필요가 없는 구조물
지중구조물	내진특등급	• 특별한 안전이 요구되는 시설 • 긴급구조, 국방 및 치안유지에 필요한 구조물
	내진Ⅰ등급	사회적 혼란이 야기되고 많은 인명, 재산피해를 주는 구조물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 일반적인 구조물
댐	내진특등급	중규모이상으로서 파괴시 하류에 중규모이상의 피해가 야기되는 댐
	내진Ⅰ등급	소규모로서 파괴시 하류에 낮은 수준의 피해가 야기되는 댐
터널	내진특등급	• 긴급구조, 구호, 국방 및 치안유지에 필요한 터널 • 내진특등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅰ등급	내진1등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅱ등급	그 외의 일반적인 터널
도로	내진Ⅰ등급	고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도
	내진Ⅱ등급	지방도, 시도, 군도
철도구조물	내진특등급	내진Ⅰ등급구조물중 복구난이도가 높고 경제사회적으로 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	국방, 치안유지 및 국가산업 활동에 중요역할을 하는 철도선상이나 도시지하철상의 교량,고가역사,지하철터널역사,터널,전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 구조물
건축물	내진특등급	방송국, 유독폭발성물질을 다량보관하는 구조물
	내진Ⅰ등급	소방서, 경찰서, 종합병원, 통신시설, 발전소, 바닥면적이 5000㎡이상인 집회시설, 바닥면적 10000㎡이상인 판매시설, 내진특등급 구조물을 지원하기 위해 필요한 시설물, 교육용건물, 교도소 및 구금시설, 6층 이상의 아파트나 숙박시설, 공공건물중 지진전후로 가동되어야 하는 건축물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 건축물

<그림 2.2-8> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 2.2-91> 설계지반운동 수준

구 분	특등급	Ⅰ등급	Ⅱ등급
붕괴방지수준	평균재현주기 2400년	평균재현주기 1000년	평균재현주기 500년
	-	해당	-

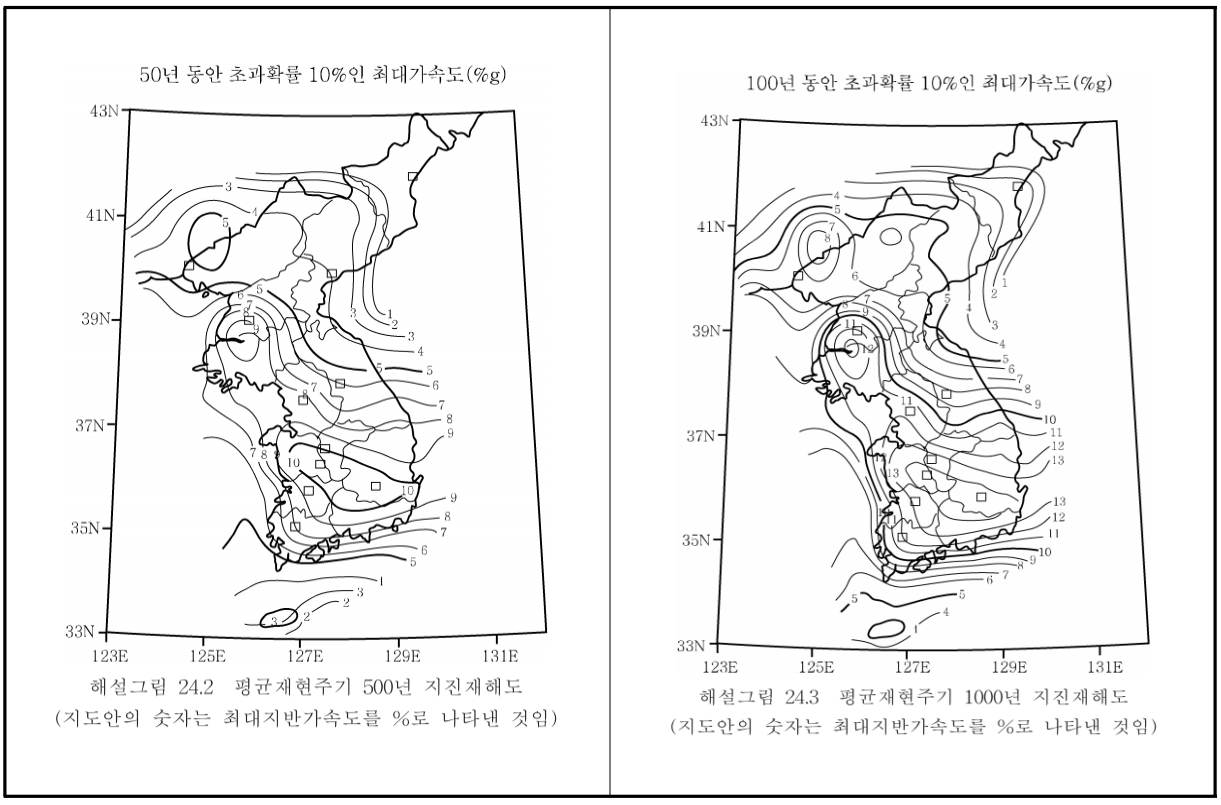
2) 설계지반운동

① 지반가속도계수

지반가속도계수는 지표면 자유장 최대가속도로 해당 지역의 보통암 암반노두를 기준으로 평가하며 지표면에서의 지반가속도계수는 국지적인 토질조건, 지질조건과 지표 및 지하지형이 지반운동에 미치는 영향을 고려해야 한다. 다만 깍기비탈면의 경우 보통암 상태의 노두가 노출되는 경우는 지진재해도 및 지진구역도에서 제시하는 지반가속도계수를 직접적으로 이용할 수 있다.

② 지진재해도를 이용한 지반가속도계수의 산정

지진의 평균 재현주기별로 작성된 지진재해도를 활용하여 비탈면의 내진등급에 따른 지반가속도계수를 산정한다.



해설그림 24.2 평균재현주기 500년 지진재해도
(지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

해설그림 24.3 평균재현주기 1000년 지진재해도
(지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

<그림 2.2-9> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

비탈면이 위치한 지역의 지진구역계수와 내진등급별 재현주기에 따른 위험도계수의 곱으로 지반가속도계수를 산정한다.

<표 2.2-92> 지진구역 구분 및 지진구역계수(재현주기 500년)

지진구역	행정구역		지진구역계수(g)
Ⅰ	시	. 서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시	0.11
	도	. 경기도, 강원도 남부(1), 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 북동부(2)	
Ⅱ	도	. 강원도 북부(3), 전라남도 남서부(4), 제주도	0.07

(1) 강원도 남부(군, 시) : 영월, 정선, 삼척시, 강릉시, 동해시, 원주시, 태백시

(2) 전라남도 북동부(군, 시) : 장성, 담양, 곡성, 구례, 장흥, 보성, 화순, 광양시, 나주시, 여수시, 순천시

(3) 강원도 북부(군, 시) : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천시, 속초시

(4) 전라남도 남서부(군, 시) : 무안, 신안, 완도, 영광, 진도 ,해남, 영암, 강진, 고흥, 함평, 목포시

<표 2.2-93> 지진구역 구분 및 지진구역계수(재현주기 1000년)

재현주기	50년	100년	200년	500년	1000년	2400년
위험도계수	0.4	0.57	0.73	1.00	1.40	2.0

지진구역계수는 각 지진구역별로 평균재현주기 1000년을 기준으로 결정되었으므로 위험도 계수를 이용하여 다른 재현주기에서의 구역별 최대 유효지반가속도를 결정한다.

지역별 최대 유효지반 가속도, g값 = 지진구역계수 × 위험도 계수

3) 지진가속도계수 선정

대상 비탈면의 주구조물은 고속도로로서 비탈면 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치므로 내진등급1등급으로 평가된다. 따라서 지진구역은 I구역으로 재현주기에 따른 위험도계수를 고려한 결과 지진가속도계수는 0.154g이다. 이는 수평방향의 성분으로서 수직방향의 성분의 지진계수는 수평방향의 2/3을 적용한다.(구조동역학(2005) 김두기 : 2/3, 일본기준 : 1/2로 제안)

마. 비탈면 검토구간 및 현황

<표 2.2-94> 검토대상 비탈면구간 및 현황

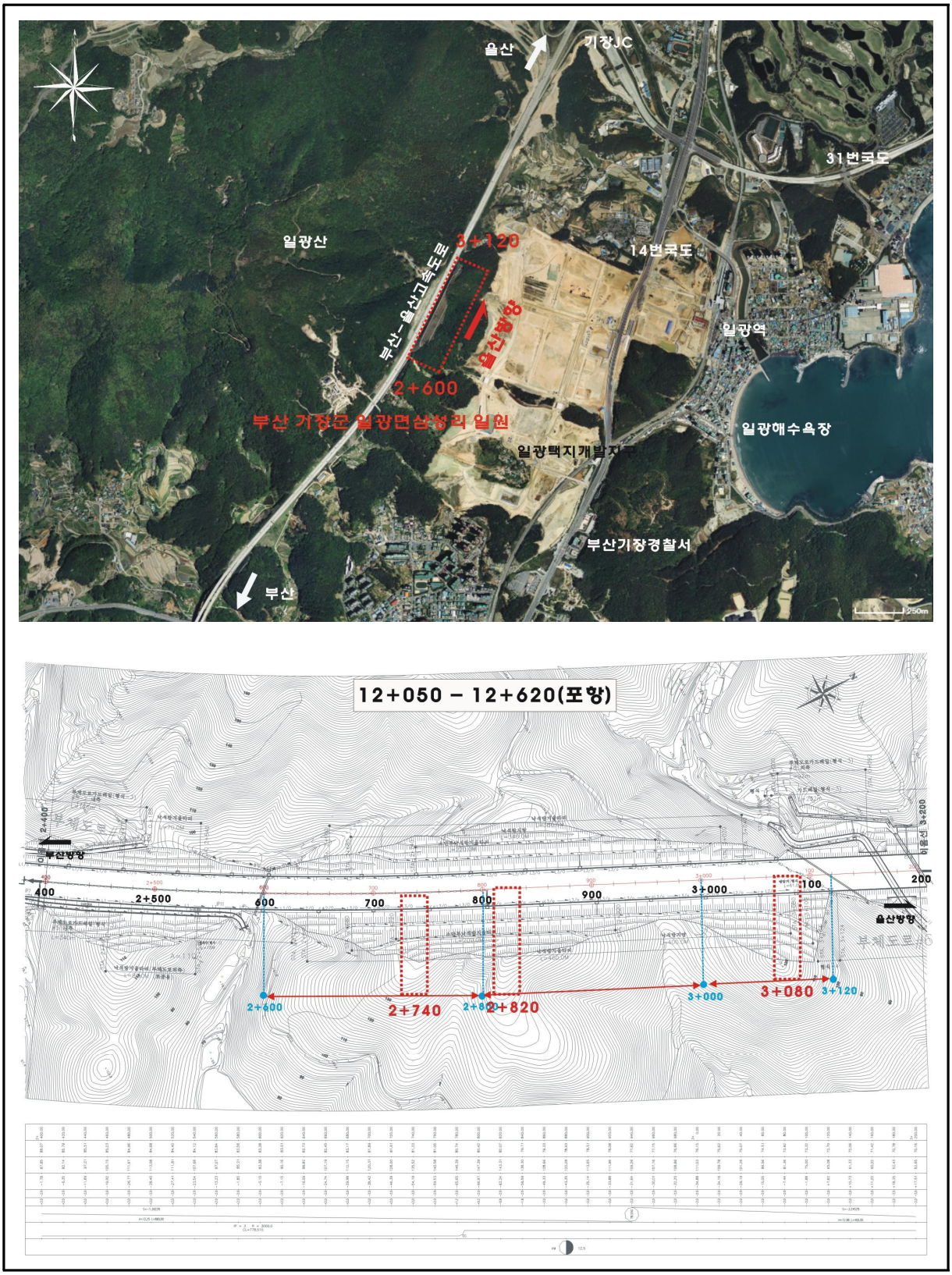
구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
STA.12+050~12+620 (포항)	부산광역시 기장군 일광면 삼성리	12.05 ~	STA.2+740	56.2	12.7	43.5	-	2008	63/307
			STA.2+820	58.8	17	41.8	-	2008	63/307
			STA.3+080	44.7	4.1	40.6	-	2008	63/307

※ 부산기점 STA.을 설계도면에서 표시된 공구별 STA.으로 분할하여 표시, 검토 표시하였음

<그림 2.2-10> 부산.울산선 검토대상 비탈면구간

사. STA.12+050~12+620(포항) 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



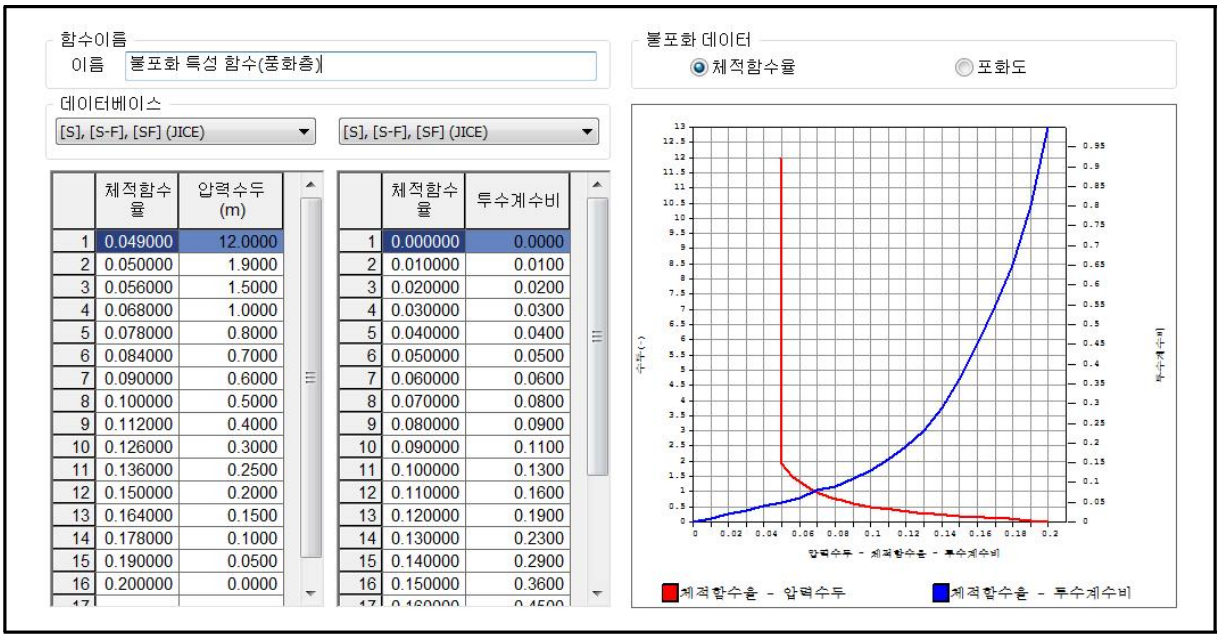
<그림 2.2-11> 부산.울산선 검토대상 비탈면구간

2) 적용 지반정수

지반 정수값은 대상시설물의 실시설계 지반조사보고서 및 주변에서 실시한 지반보고서를 비교, 분석하여 현장 시험값을 기초로 일반적 안전측으로 적용하였다. 투수계수는 문헌자료를 검토하여 일반적인 값을 적용하였다.

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 MPa	투수계수 ㎝/sec	비 고
풍화토	18	28	0.02	1.0E-03	
풍화암	20	30	0.03	1.0E-04	
연암	24	32	0.10	1.0E-05	

지반의 불포화토 특성은 JICE(일본국토기술연구센터, 2007)기준을 적용하였으며 대상지역의 풍화토 및 풍화암의 주된 성분이 실트질 모래 또는 모래섞인 실트로 JICE 기준의 사질토로 구분하여 적용하였다.



	체적함수율	압력수두 (m)
1	0.049000	12.0000
2	0.050000	1.9000
3	0.056000	1.5000
4	0.068000	1.0000
5	0.078000	0.8000
6	0.084000	0.7000
7	0.090000	0.6000
8	0.100000	0.5000
9	0.112000	0.4000
10	0.126000	0.3000
11	0.136000	0.2500
12	0.150000	0.2000
13	0.164000	0.1500
14	0.178000	0.1000
15	0.190000	0.0500
16	0.200000	0.0000

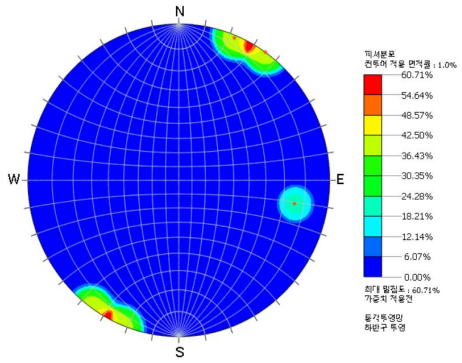
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 2.2-12> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

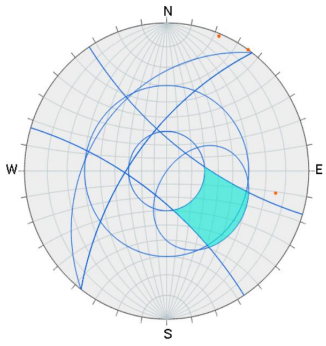
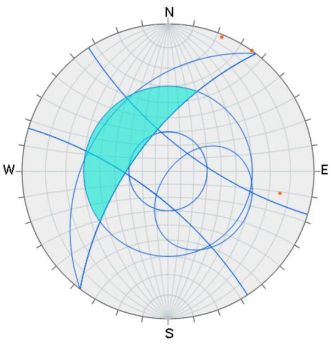
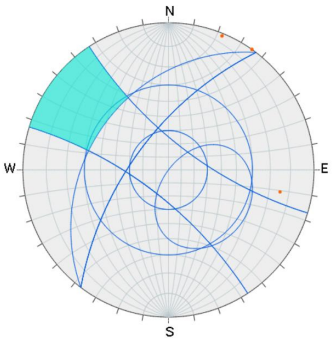
3) 1구간 (STA.2+740, 포항

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		90	215
		89	202
		90	215
		76	281
		89	202

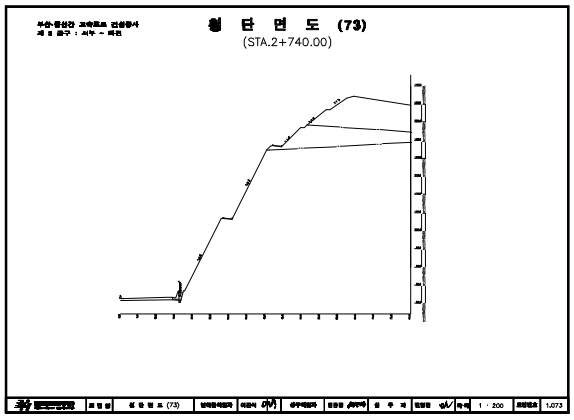
◦ 해석결과

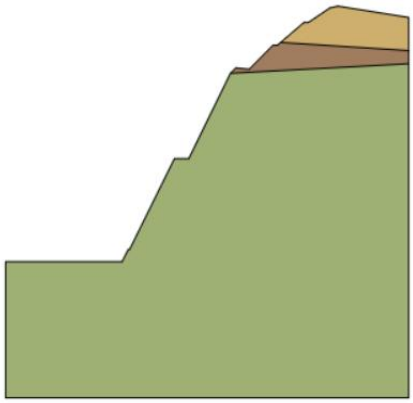
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

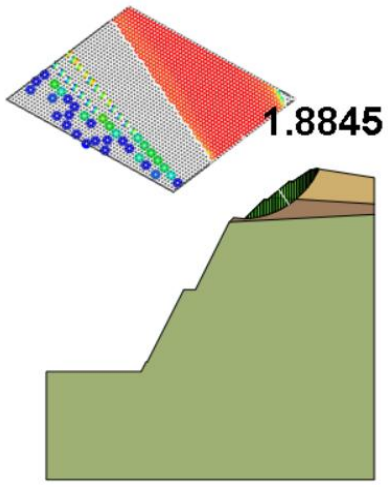
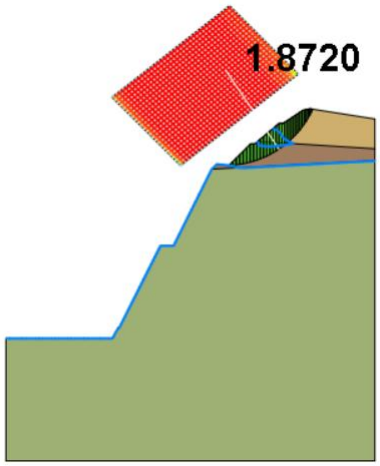
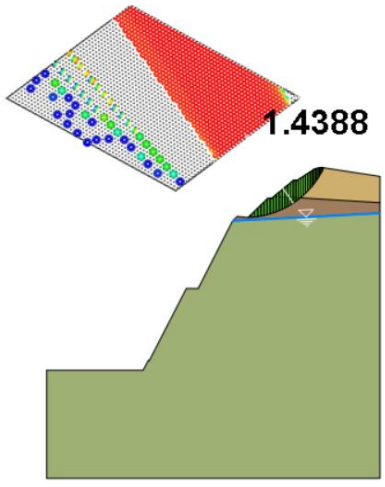
◦ 검토단면





대표단면 : STA.2+740, 포항

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 1.88	안전율 : 1.87	안전율 : 1.43

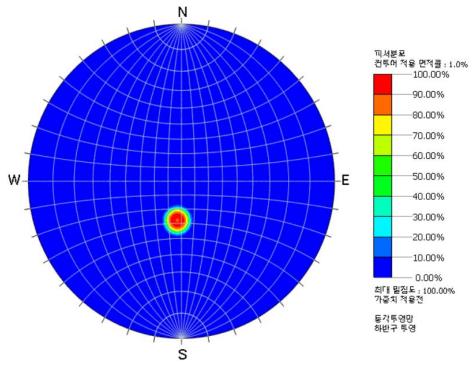
③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	우기시는 침투조건고려
	우기시	Fs ≥ 1.3 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

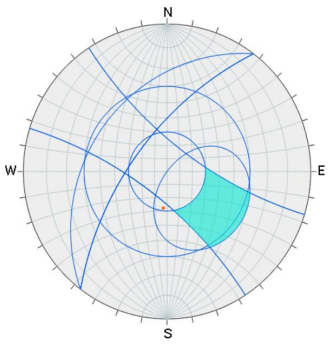
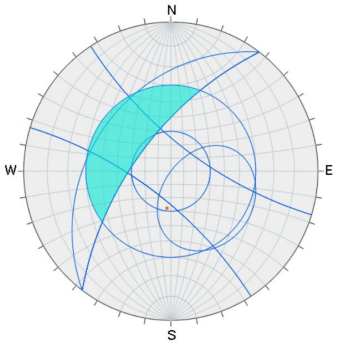
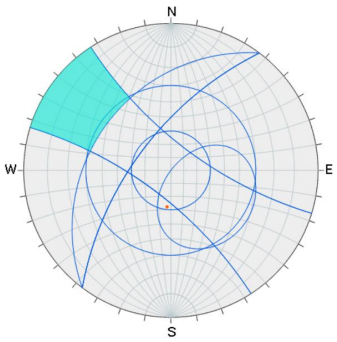
4) 2구간 (STA.2+820, 포항)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		28	6
		28	6
		28	6

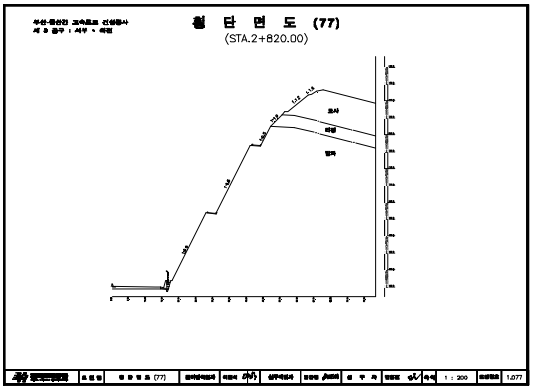
◦ 해석결과

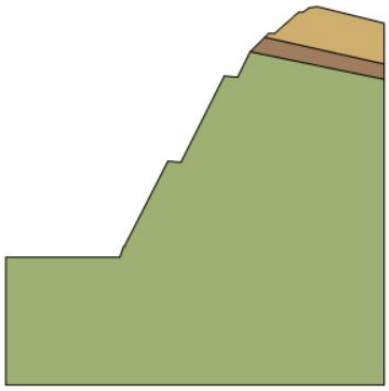
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	일부 가능성	가능성
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

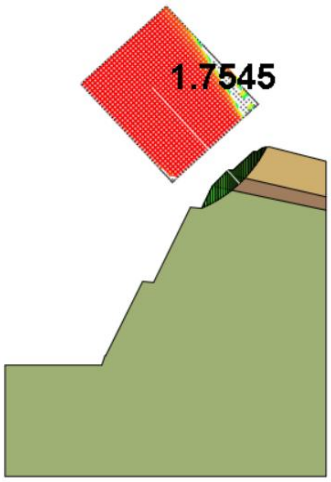
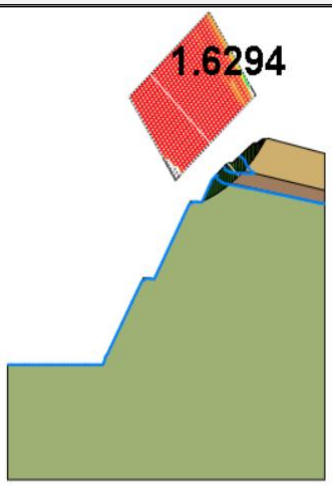
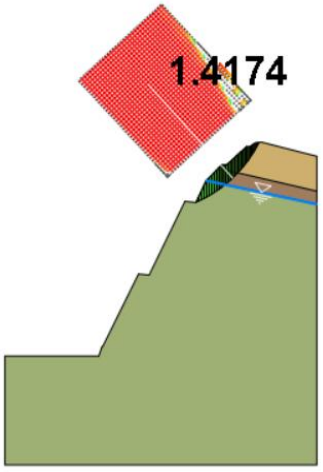
◦ 검토단면





대표단면 : STA.2+820, 포항

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 1.75	안전율 : 1.62	안전율 : 1.41

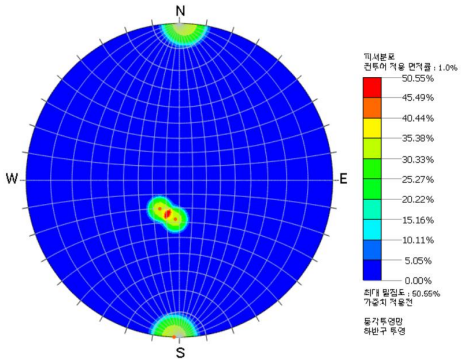
③ 2구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	우기시는 침투조건고려
	우기시	Fs ≥ 1.3 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

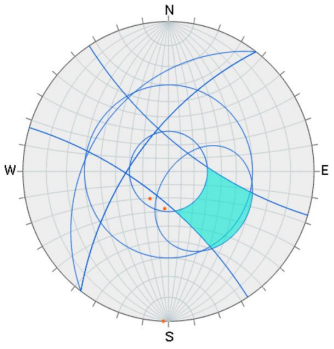
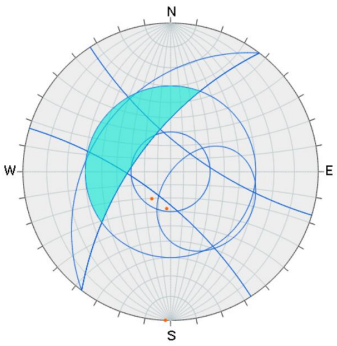
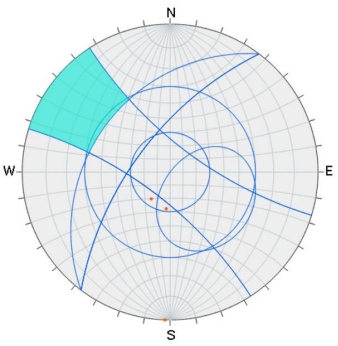
5) 3구간 (STA.3+080, 포항)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip 90 25 28	dip direction 2 35 6

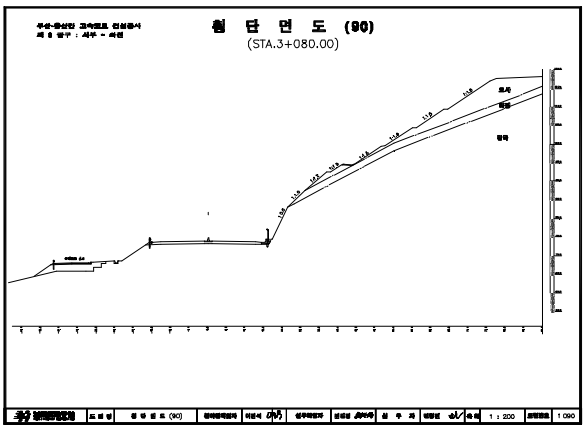
◦ 해석결과

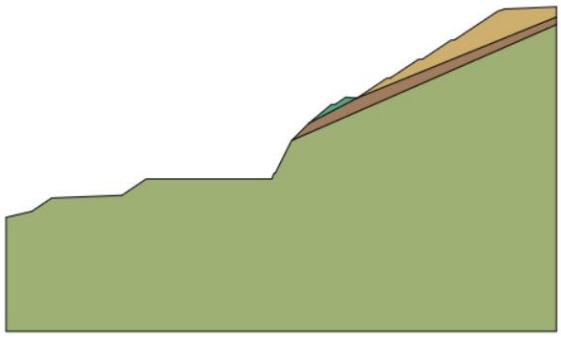
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

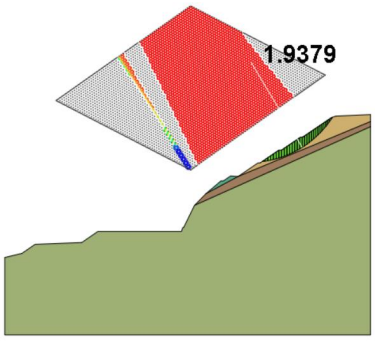
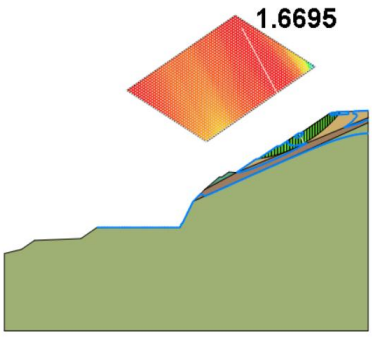
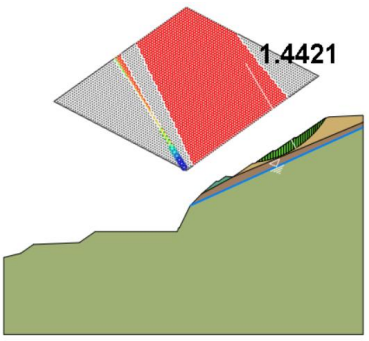
◦ 검토단면





대표단면 : STA.3+080, 포항

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 1.93	안전율 : 1.66	안전율 : 1.44

③ 3구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	우기시는 침투조건고려
	우기시	Fs ≥ 1.3 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

아. 안전성능평가 결과

구조안전성능평가는 설계 당시의 자료 및 금회 조사된 자료를 검토·분석하여 평가하기로 한다. 설계시 평사투영해석 결과 전도파괴 가능성이 분석되어 한계평형해석을 시행한 결과 건기 및 우기시 허용안전율을 상회하는 것으로 검토되었다. 금회 현장조사를 통한 평사투영해석 결과 각각의 파괴유형에 대한 안전한 것으로 분석되어 구조안전성능평가는 A등급으로 평가되었다.

<표 2.2-95> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**부산기점 Sta.12+050~12+620**		
구성 재료	**파괴유형**	**최소안전율**	**평가 결과**	**비 고**
암반구간 (평사투영 해석)	평면파괴	안정	a	평면파괴 가능성 없음
	전도파괴	안정	a	전도파괴 가능성 없음
	쐐기파괴	안정	a	쐐기파괴 가능성 없음
토사구간 (한계평형 해석)	건기시	1.75	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	1.62	a	Fs ≥ 1.3 ⇨ O.K
	지진시	1.41	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

2.4.3 안전성능평가 결과

안전성능 평가는 상태안전성능과 구조안전성능 평가를 실시하여 둘 중 낮은 등급 결과에 따라 최종등급을 결정하여 그에 대한 대책을 마련한다.

상태안전성능평가 결과, 불연속면의 특성 및 지반 변형 등은 양호한 상태인 것으로 확인되었고 상태안전성능평가 결과 A등급으로 평가 되었다.

금회 본 시설물의 안전성능평가 결과, 외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준인 A등급으로 평가되었다.

<표 2.2-49> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**부산기점 STA.47+050~47+630**		
평가 구분	결함지수	평가 결과	비 고
상태안전성능	0.130	A	인장균열 없음
구조안전성능	0.080	A	특이파괴 유형 없음
안전성능	0.130	A	
안전성능 결과	ㅇ상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ㅇ**안전성능평가 결과 : A등급**		

<표 2.2-50> 안전성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

안전등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00 ≤(E)< 0.15	외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준
B (양호)	0.15 ≤(E)< 0.30	일부 부재에서 경미한 결함이 발생하였으며, 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30 ≤(E)< 0.55	광범위한 부재에서 결함이 발생하였으나, 전체적이 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강이 필요한 성능수준
D (미흡)	0.55 ≤(E)< 0.75	심각한 결함에 대한 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용 제한 여부를 결정해야 하는 성능 수준
E (불량)	0.75 ≤(E)< 1.00	심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축이 필요한 수준

2.5 내구성능 평가

2.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 2.2-51> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		절리암반사면	SR = 0/52 = 0.00
공용기간		10년	2008년 12월 준공
암반구간 설계(초기)강도		경암 : 20.27~24.15MPa	
면적	전체	19,536㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	19,536㎡	
표면보호공	식 생	16,158㎡	
	숏크리트	2,456㎡	
사면보강공	계단식 옹벽	922㎡	

2.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

본 비탈면은 토층심도율을 적용한 결과 암반사면에 해당되며, 지반상태(암반), 표면보호공 및 사면보강공, 절리상태 및 풍화진행도에 대해 평가하기로 한다.

<표 2.2-52> 사면 형식별 내구 성능 지표

구 분	평가 요소		
	토사사면	암반사면	혼합사면
절토사면	○ 지반상태(토질) ○ 표면보호공 ○ 사면보강공	○ 지반상태(암반) ○ 표면보호공 ○ 사면보강공 ○ 절리상태 및 풍화진행도	○ 토사사면과 암반사면 지표를 모두 고려

2.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 2.2-53> 암반사면의 지반상태 평가 기준

항목	등급	그룹 A 암석 예			
		설계(초기 점검값) 대비 강도			
		극경암	경암	보통암	연암
지반상태 (암반)	a	97.5%이상 100%이하	96.0%이상 100%이하	94.0%이상 100%이하	90.0%이상 100%이하
	b	96.0%이상 97.5%미만	90.0%이상 96.0%미만	88.0%이상 94.0%미만	80.0%이상 90.0%미만
	c	92.5%이상 96.0%미만	86.0%이상 90.0%미만	82.0%이상 88.0%미만	70.0%이상 80.0%미만
	d	90.0%이상 92.5%미만	80.0%이상 86.0%미만	76.0%이상 82.0%미만	60.0%이상 70.0%미만
	e	90.0%미만	80.0%미만	76.0%미만	60.0%미만

<표 2.2-54> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
12.17km	92.5	108.3	초기 강도값(경암) : 85.4MPa 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
12.27km	153.3	179.5	
12.47km	120.1	140.6	
평균값	121.9	142.7	
등급	**A등급**		

<표 2.2-55> 표면보호공 평가 결과

항목	등급	보호공의 종류	
		식생 (식생 피복율, %)	콘크리트뿜어붙이기 (손상 면적율, %)
표면 보호공	a	매우 양호(90% 이상)	균열 및 박락 없음(0~10% 미만)
	b	양호(70%이상~90%미만)	일부 균열 발생(10%이상~30%미만)
	c	보통(50%이상~70%미만)	균열 및 일부 박락 발생(30%이상~50%미만)
	d	불량(30%이상~50%미만)	박락으로 일부 유실된 상태, 누수발생(50%이상~70%미만)
	e	매우 불량(0%~30%미만)	대부분의 범위에서 박락 및 유실, 누수발생(70%이상)

<표 2.2-56> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	19,536/19,536㎡	100.0%	-	-	
평가	식생 피복율이 100.0%이므로 "a등급"으로 평가함.				

<표 2.2-61> 암반의 풍화도 평가 등급 및 기준

평가항목	절리상태 및 풍화진행도				
	a	b	c	d	e
길이	< 1m	1~3m 미만	3~10m 미만	10~20m 미만	≥ 20m
틈새	0	< 0.1㎜	0.1~1㎜미만	1~5㎜ 미만	≥ 5㎜
거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄
충전물	없음	단단한 충전물 (< 5m)	단단한 충전물 (≥ 5m)	연약한 충전물 (< 5m)	연약한 충전물 (≥ 5m)
풍화진행도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화

<표 2.2-62> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(Set A)		
	Set 1	Set 2	Set 3
길이(m)	< 1	< 1	< 1
	a(0)	a(0)	a(0)
틈새(㎜)	< 0.1	< 0.1	< 0.1
	b(5)	b(5)	b(5)
거칠기	약간 거침	약간 거침	약간 거침
	c(10)	c(10)	c(10)
충전물	hard	hard	hard
	b(5)	b(5)	b(5)
풍화진행도	Fresh	SW	Fresh
	a(0)	b(5)	a(0)
합 계	20	25	20
평 균	4.0	5.0	4.0
평가 결과	b	b	b

평가항목	불연속면(Set B)		
	Set 4	Set 5	Set 6
길이(m)	< 1	-	-
	a(0)	-	-
틈새(㎜)	0.1~1.0	-	-
	c(10)	-	-
거칠기	약간 거침	-	-
	c(10)	-	-
충전물	hard	-	-
	b(5)	-	-
풍화진행도	Fresh	-	-
	a(0)	-	-
합 계	25	-	-
평 균	6.0	-	-
평가 결과	b	-	-

평가항목	불연속면(Set C)		
	Set 7	Set 8	Set 9
길이(m)	< 1	< 1	< 1
	a(0)	a(0)	a(0)
틈새(㎜)	<0.1	<0.1	<0.1
	b(5)	b(5)	b(5)
거칠기	약간 거침	약간 거침	약간 거침
	c(10)	c(10)	c(10)
충전물	hard	hard	hard
	b(5)	b(5)	b(5)
풍화진행도	Fresh	Fresh	Fresh
	a(0)	a(0)	a(0)
합 계	15	15	15
평 균	3.0	3.0	3.0
평가 결과	b	b	b

<표 2.2-63> 절리상태 및 풍화진행도 평가 결과

시험 개소	시험개소별 등급	등급 점수	비 고
Set A- Set 1	b	0.23	
Set A- Set 2	b	0.23	
Set A- Set 3	b	0.23	
Set B- Set 4	b	0.23	
Set B- Set 5	-	-	
Set B- Set 6	-	-	
Set C- Set 7	b	0.23	
Set C- Set 8	b	0.23	
Set C- Set 9	b	0.23	
평균값		0.23	최소 및 최대 제외
등 급		**b**	

2.5.4 내구성능 평가 결과

1) 혼합사면 내구성능 가중치

본 비탈면은 혼합 사면으로 토사사면과 암반사면을 구분하여 평가하고, 각각의 해당되는 평가항목을 고려하여 가중치 보정값을 적용하기로 한다.

<표 2.2-64> 사면형식에 따른 지표별 가중치

사면구분	지표명	지표별 가중치				
		기본	가중치 보정			
암반사면	지반상태(암반)	25	28	33	38	-
	절리상태 및 풍화진행도	40	44	53	62	80
	표면보호공	10	-	14	-	20
	사면보강공	-	-	-	-	-

2) 암반구간 내구성능 등급

<표 2.2-66> 암반사면 내구성능 등급 산정

평가항목	등급	등급 점수 (a)	가중치 (b)	결함지수 (a)×(b)
지반상태(암반)	a	0.08	0.33	0.026
절리상태 및 풍화진행도	b	0.23	0.53	0.122
표면보호공	a	0.08	0.14	0.011
결함도 지수				0.159
등 급				**B**

금회 본 시설물의 내구성능평가 결과, 일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.

<표 2.2-68> 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

안전등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00 ≤(E)< 0.15	외부 환경조건 등으로 인한 내구성능 저하가 발생할 가능성이 낮은 성능 수준
B (양호)	0.15 ≤(E)< 0.30	일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30 ≤(E)< 0.55	광범위한 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었거나 주의가 필요한 수준으로 진행되어 간단한 보수가 필요한 성능 수준
D (미흡)	0.55 ≤(E)< 0.75	광범위한 부재에서 내구성 저하가 진행되어 긴급한 보수 또는 교체가 요구되는 성능 수준
E (불량)	0.75 ≤(E)< 1.00	광범위한 부재에서 내구성능의 저하가 심각하게 진행되어 즉각 사용을 금지하고 보수 또는 교체가 필요한 성능수준

2.6 종합평가

2.6.1 종합평가 개요

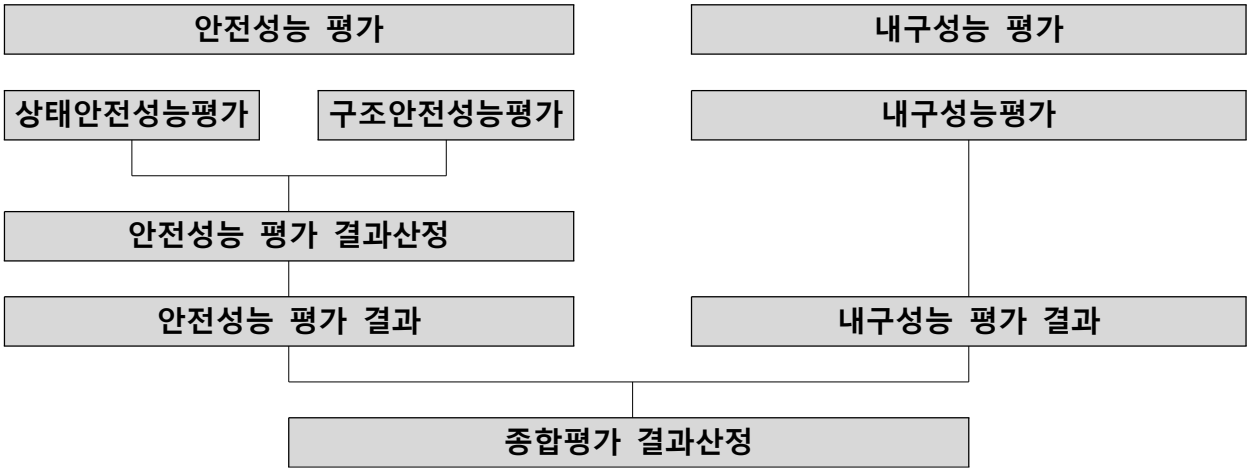
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때

· 안전성능 평가지수가 종합평가의 대표 지수로 산정

○ 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급이 아닐 경우

· 안전성능과 내구성능 각 성능항목의 가중치를 고려하여 산정



<그림 2.6-2> 종합평가 흐름도

2.6.2 종합평가 결과 산정결과

종합평가의 산정방법은 안전성능 평가와 내구성능 평가 지수에 대해 각 성능항목에 따라 부여된 가중치를 곱한 값을 합산하여 구한다. 단, 안전성능평가 결과가 최하위 등급일 경우에는 가중치와 상관없이 안전성능평가 결과를 최종등급으로 산정한다.

사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn))

<표 2.2-69> 성능간 가중치 산정 값

구분	분류	성능항목	
		안전성능	내구성능
성능간 가중치 (Wn)	일반도로 사면 고속도로 사면 일반철도 사면 고속철도 사면	0.8	0.2

<표 2.2-70> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	부산울산선 STA.12+050~12+620(포항)		**분류**	부산울산고속도로
평가 구분	**성능평가 지수**	**평가 결과**	**성능간가중치(Wn)**	**비 고**
안전성능평가	Ps=0.130	A	0.8	인장균열 없음
내구성능평가	Pd=0.159	B	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.130 × 0.8) + (0.265 × 0.2) = 0.150 ㅇ종합평가 결과 : B등급			

당해 시설물에 대해 종합적으로 성능평가를 실시한 결과 종합성능등급은 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B등급(양호)인 것으로 평가되었다.

<표 2.2-71> 절토사면의 종합평가 결과에 따른 종합성능 등급 기준

종합성능 등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00≤(P)<0.15	외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준
B (양호)	0.15≤(P)<0.30	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30≤(P)<0.55	광범위한 부재에서 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사 되었고 기능 또는 사용상의 편의에 일부 문제점이 있으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강 및 개선이 필요한 성능 수준
D (미흡)	0.55≤(P)<0.75	성능이 기준에 미치지 못하여 시설물의 지속적인 사용이 어려운 수준으로 긴급한 보수.보강 또는 개선이 필요하며 사용제한 여부를 검토해야 하는 성능 수준
E (불량)	0.75≤(P)<1.00	심각한 결함 또는 내구성능 저하로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있거나 기능을 발휘하지 못하는 수준으로 즉각 사용을 중단하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 성능 수준

2.7 유지관리 전략 제안

시설물의 성능목표를 설정하기 위해 성능평가 실시결과와 함께 시설물의 사용환경 등을 검토하여 성능목표에 대한 등급을 지정하여야 한다.

2.7.1 성능목표 설정

『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 성능평가편(2019.01)』에서의 절토사면의 성능목표는 대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 B등급으로 설정하도록 하였다.

□시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법□제6조 제9항 및 동법 시행령 제3조 제4항, 제5항에 의거 5년주기의 "중기 시설물 관리계획"을 수립하여야 한다. 중기 시설물 관리계획에 성능평가 대상시설물에 대한 성능목표 및 관리기준이 설정되어야 하나 아직 계획수립 전에 금회 성능평가가 실시되기 때문에 본 시설물의 성능목표는 관리주체 의견과 관련 법규를 종합적으로 분석하여"B(0.15≤P<0.30)"으로 설정하였다.

<표 2.2-72> 성능목표 등급의 분류기준에 따른 평가점수 범위

기준	A	B	C	D	E
결함도 범위	0.0≤P<0.15	0.15≤P<0.30	0.30≤P<0.55	0.55≤P<0.75	0.75≤P
성능목표	**B등급** 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준				

2.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "B등급(0.150)"으로 평가되었다.

<표 2.2-73> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.130	0.159	0.150
평가결과	A	B	B

2.7.3 유지관리 전략 제안

유지관리 전략 제안의 목적은 모든 보수·보강 후보를 대상으로 성능평가지표인 상태안전성능, 구조안전성능, 내구성능, 사용성능에 근거하여 경제적 측면, 환경적 측면, 사회적 영향 등을 고려하여 우선적으로 조치하여야 할 대상을 선정하는데 있다.

가. 손상별 보수·보강 방안

노후화된 구조물에 대한 보수·보강은 손상구조물의 영향정도, 구조물의 중요도, 사용환경조건 및 경제성 등에 의해서 보수·보강 공법 및 수준을 정한다. 본 절토사면의 성능평가 결과, 성능목표 등급인 "B등급"으로 금회 조사된 손상들에 대해서는 현상유지 수준의 주의관찰과 손상 진전 억제를 위한 보수가 적정할 것으로 판단된다.

<표 2.2-74> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구 분		손상 내용	보수·보강방안	보수.보강 수준
표면 보호공	표층	상태양호	주의관찰	현상유지
배수 조건	소단배수로	상태양호	주의관찰	현상유지
	산마루측구	상태양호	주의관찰	현상유지
상부 자연비탈면		상태양호	주의관찰	현상유지

나. 유지관리 전략 제안

본 비탈면은 현재 목표성능 등급인 "B등급"의 상태를 유지하고 있으며, 관리주체의 장기적 운영계획에 따라 성능수준 향상이 요구될 경우, 발생 손상들에 대해 아래와 같은 우선순위별 보수방안을 통한 유지관리 전략을 제안한다.

<표 2.2-74> 보수.보강 개략공사비

구 분	수량	단위	단가(천원)	공사비(천원)	비고
식생공	50	㎡	40	2,000	
배수로 균열 보수	22	m	75	1,650	
배수로 파손, 들뜸 보수	1.2	㎡	230	276	
배수로 정비	1식	-	200	200	
사면하부 옹벽 균열 보수	8.0	m	75	600	
순 공사비(천원)				4,726	
재 경 비(천원)				2,363	
총 공사비(천원)				7,089	

※ 상기의 계략공사비는 순공사비 기준이며 실시설계시 공법선정 및 현장여건상 변동될 수 있음.
※ 보수물량은 보수효과 및 시공성을 위해 손상물량×1.5를 적용함

2.8 종합결론

본 성능평가는 현장조사 및 각종시험에 의해 시설물의 성능을 종합적으로 평가하여 시설물의 객관적인 현재의 상태와 장래의 성능 변화를 파악·예측하고, 이를 통해 관리주체가 보수·개량·교체 등의 최적시기 결정 등 합리적 유지관리 전략을 마련하는 데 그 목적을 두고 시행하였다.

1) 안전성능 평가는 외관상 관찰되는 시설물의 결함을 중심으로 조사·평가하였다. 상태안전성능평가 결과, 불연속면의 특성 및 지반 변형상태 등은 양호한 것으로 확인되었고, 상태안전성능평가 결과 B등급으로 평가 되었다. 일부 구간에서 배수로 균열, 파손, 들뜸, 옹벽 균열, 녹생토 유실 등의 일부 손상이 확인되었다. 현재 손상 상태는 경미한 결함으로 시설물의 안전성에 미치는 영향은 매우 미소한 상태이다. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 결과, 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
2) 내구성능평가는 시간에 따라 변화하는 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로서 본 비탈면의 절리상태 및 표면 보호상태에 대한 평가를 시행하였다. 그 결과 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.

3) 안전성능평가, 내구성능평가 결과를 종합적으로 분석할 때, 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B(양호)등급으로 평가되었다.

4) 본 절토사면의 성능평가 결과, 성능목표인 "B등급"과 동인한 "B등급"인 상태로 주기적인 점검 및 관리를 통한 평가저해요소에 대한 관리가 이루어진다면 시설물의 안전 및 내구성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

제3장 부산울산선 Sta.15+706~15+966(부산)

3.1 대상 시설물 현황

3.2 관련 자료의 분석

3.3 현장조사

3.4 안전성능평가

3.5 내구성능평가

3.6 종합평가

3.7 유지관리전략 제안

3.8 종합결론

제3장 부산울산선 Sta.15+706~15+966(부산)

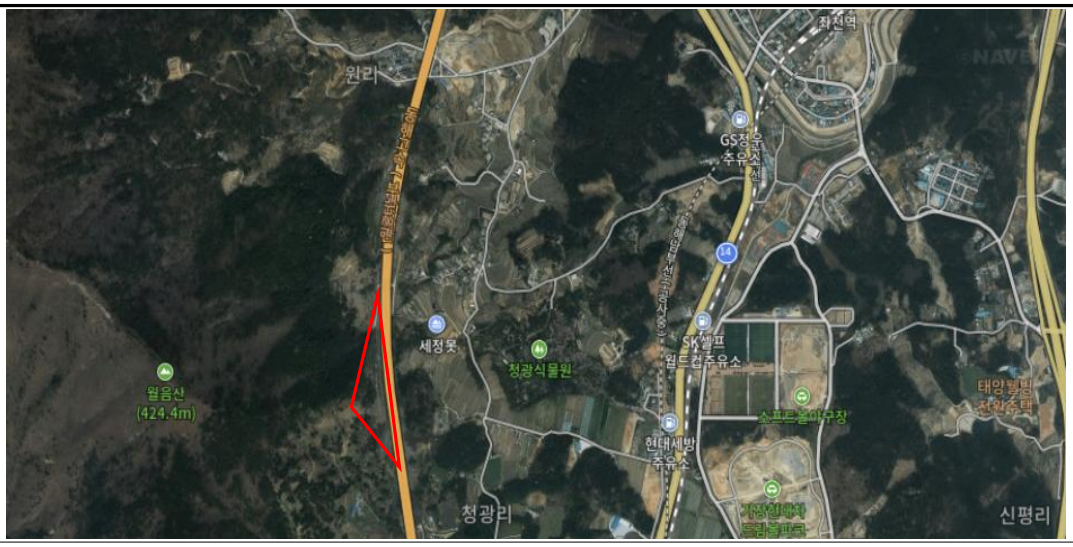
3.1 대상 시설물 현황

성능평가 대상 시설물인"절토사면-부산울산선 Sta.15+706~15+966(부산)"비탈면 현황은 다음과 같다.

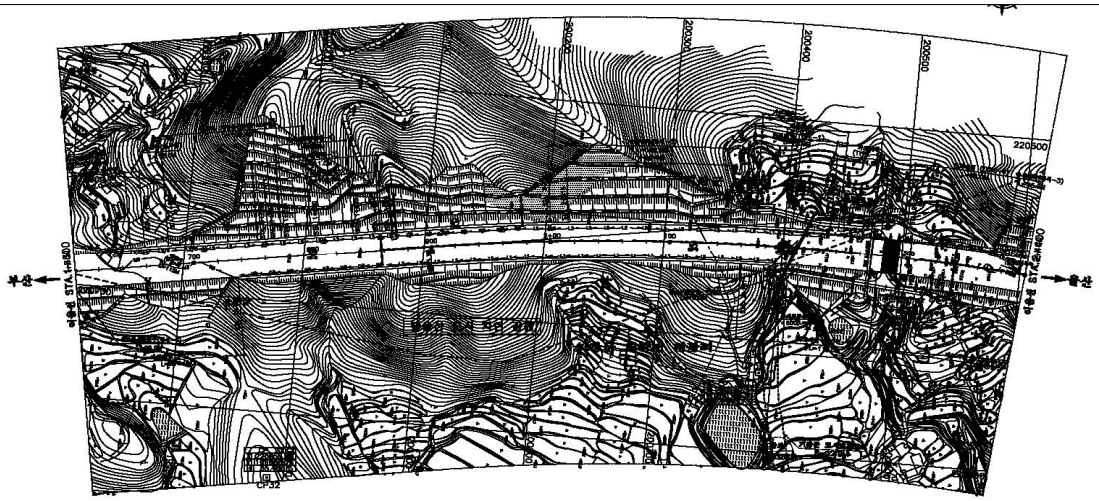
<표 2.3-1> 시설물 현황(부산울산선 Sta.15+706~15+966(부산))

<table>
<tr><td>시설물 번호</td><td colspan="3">SL2008-0000050</td><td>관리번호</td><td>-</td></tr>
<tr><td>시설물명</td><td colspan="3">절토사면-부산울산선 Sta.15+706~15+966(부산)</td><td>시설물구분</td><td>2종시설물</td></tr>
<tr><td rowspan="3">위 치</td><td>행정구역</td><td colspan="4">부산광역시 기장군 일광면 원리 산138-24</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위치좌표</td><td colspan="4">시점 : N (35°18' 08.22"), E (129°13' 38.05")</td></tr>
<tr><td colspan="4">종점 : N (35°17' 54.00"), E (129°13' 39.87")</td></tr>
<tr><td rowspan="2">제 원</td><td>연 장</td><td>530m</td><td>높 이</td><td colspan="2">52m</td></tr>
<tr><td>경사/방향</td><td>45/089</td><td>노 선</td><td colspan="2">고속국도65호선</td></tr>
<tr><td>관리주체</td><td colspan="2">부산울산고속도로(주)</td><td>관리주체구분</td><td colspan="2">민간</td></tr>
<tr><td rowspan="2">주변환경</td><td>인공구조물</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>주변지형</td><td>산악지형</td><td>자연비탈면경사</td><td colspan="2">-20°</td></tr>
<tr><td rowspan="2">시공현황</td><td>준공년도</td><td>2008년 12월 31일</td><td>시 공 자</td><td colspan="2">코오롱건설(주)</td></tr>
<tr><td>부대시설</td><td colspan="4">낙석방지망, 낙석방지울타리, 야생동물유도울타리, 숏크리트, 점검계단, 수직도수로</td></tr>
<tr><td>비 고</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td colspan="6"> </td></tr>
<tr><td colspan="6">대상 비탈면 전경</td></tr>
</table>

※ 상기의 제원 및 현황은 실측 제원임. FMS의 시설물관리대장상의 제원과 다소 상이.



위 치 도



평 면 도

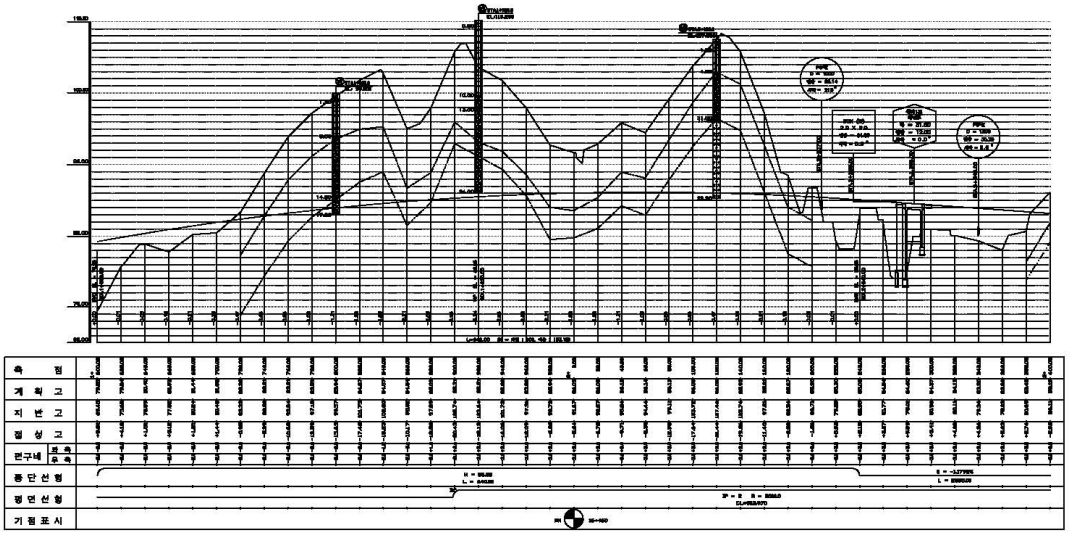


표 준 단 면 도

<그림 2.3-1> 대상 시설물 현황도

3.2 관련 자료의 분석

3.2.1 유지관리 관련 자료 현황

1) 관련 자료 수집 및 분석 현황

자료조사 및 분석은 시설물의 설계, 시공 및 유지관리 관련 자료 및 주변현황 자료로 구분되며 수집된 자료에 대한 분석을 통하여, 첫째로 과업수행의 전체적인 추진방향과 계획을 수립하고, 둘째로 구조물의 이력 확인, 결함 및 손상의 원인분석, 손상의 변화 및 진행성 여부, 보수·보강 대책 및 유지관리 방안을 수립하기 위한 기초자료로 활용하였으며, 자료수집 현황은 다음과 같다.

<표 2.3-2> 유지관리 관련자료 현황

보존대상 목록		보유현황	비 고
설계도서	ㅇ공통 - 준공내역서 - 공사 및 특별시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	 보유 보유 보유 보유 -	ㅇ고속국도 제65호선 부산~울산간 고속도로 민간투자사업 제4공구 준공도서
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등	보유	ㅇ고속국도 제65호선 부산~울산간 고속도로 민간투자사업 제4공구 준공도서
시 설 물 관리대장	ㅇ기본현황 ㅇ상세제원 ㅇ유지관리 이력	보유 보유 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS) ㅇ한국도로공사 비탈면유지관리시스템
시공관련 자 료	ㅇ시공관련자료 ㅇ품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 각종 시험기록 - 시설물 주요 구조 부위에 대한 계측자료 ㅇ사고자료	일부 보유 일부보유 일부보유 일부보유 - - -	ㅇ고속국도 제65호선 부산~울산간 고속도로 민간투자사업 제4공구 준공도서
안전점검 및 정밀안전진단 자료		보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
보수·보강 자료		일부 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)

2) 관련 자료 수집 및 분석 결과

본 시설물은 2008년 준공된 시설물로 설계 및 시공관련 자료 관리 및 보관상태는 대체로 양호한 것으로 조사되었다. 관련자료 분석을 통해 당초 시공시의 개략적인 지반상태를 파악할 수 있다.

3.2.2 지반조사 보고서 분석

본 시설물의 지반조사 분석은 준공도서에 포함된「고속국도 제65호선 부산~울산간 고속도로 민간투자사업(제4공구, 1999년) 지반조사보고서」를 요약·분석하여 성능평가의 기초 자료 활용 및 유지관리시 편의성 제공에 그 목적이 있다.

1) 지 형

본 조사지역은 행정구역상 부산광역시 기장군 일광면 화전리를 시점으로 하여 기장군 장안읍 좌동리를 종점으로 하는 설계구간(L=5.78㎞)에 해당한다.

본 조사지역의 지형상 산계를 관찰해보면 북서쪽의 달음산(586m)과 남서쪽의 양달산(291m)이 북서쪽에서 남서방향으로 연결되고 있으며, 주로 그 능선들이 북서-남서방향으로 그리고 대개 육지의 능선 들은 북동-남동 방향으로 발달되어 있다. 시점부와 종점부는 완만한 지형을 나타내고 있어 현재 농경지로 이용되고 있다.

본 조사지역의 주류를 이루는 수계를 보면남쪽의 설계 시점부의 일광천과 종점부로 가는 중간부분에 계곡과 병행하는 좌광천이 사행하여 동해로 빠져나가는 계곡물로서 비교적 단조로운편이다.

광역적인 관찰에 의한 본 지역의 지형으로 볼때 산세는 대체로 일광면 소재지 서쪽 달음산(586m)에서 동해 남부선철도 쪽에 이르는 부채꼴 모양으로 발전되어 있으나 본노선을 끼는 산세는 북서방향의 비교적 뚜렷한 산준이 발달되어 있으며 대표적으로 본 조사지역을 동-서방향으로 통과하는 좌동-예림리의 국도14호선, 본 노선과 비교적 평행하게 진행하는 동해남부선 철도 연변은 비교적 하폭이 넓고 해안으로 연결되는 산수면도 비교적 다른지역보다 완만한 상태를 나타내고 있다.

일광면과 장안면, 정관면에서의 소규모의 계류는 서측 내륙부보다 각 산능선, 단위산능의 집합체가 각각 분수령의 역할을 함으로서 일정한 방향성 없이 직접 동해바다에 유입된다.

2) 지질 개요

본 조사지역의 광역적인 관찰에 의하면 과업수행 노선지역의 일광면을 중심으로 하여 광범위하게 흑색 또는 암회색 셰일로 구성된 이천리층이 분포하고 있고 노선바깥쪽으로 안산암질암류가 남서쪽의 일광산(378m), 아홉산(360m), 산성(368m)등지에 거대하게 분포하고 있으며 종점부의 좌동리 부근에서는 국부적으로 이천리층을 관입하고 있다. 일광광산 주위에서는 작은 암주상의 독립암체로 흑운모화강암이 나타나고 있으며 덕선리 부근에 화강섬록암이 아주 미세하게 발견되고 있다. 한편 노선의 우측으로는 이천리층과 충적토가 번갈아가며 출현하고 있다.

조사지역에 광범위하게 분포하고 있는 이천리층은 암석중에서 화석이 아직까지 발견된 것이 없기 때문에 그 지질시대를 확실히 알 수가 없지만 구성암석의 여러 가지 특징들로 미루어 보아 대개 경상계의 신라통에 대비되는 것으로 사료된다. 일광면 일대에서 본 층은 인접한 안산암에 의해 대규모로 관입당한 산출상태를 보여 준다.

시점부의 화전리 부근에 있는 충적토는 전역에 걸쳐 계곡 및 낮은 평야지대에 분포된다. 특히 본 조사지역 남동부에는 매우 넓은 충적토로 덮인 평야가 발달되어 있으며 바위, 모래 및 점토 등으로 구성되어 있고 대부분이 농경지로서 이용되고 있다.

종점부의 좌동리 부근에 있는 안산암질암류는 신라통의 화산암류 중에서 초기에 형성된 것이며 국부적으로는 이천리층을 관입한 관입암체도 산출되나, 주로 안산암질암류로 인정되는 산출상태 및 조직을 가지는 암체로 나타난다. 본암은 입도로 보아 세립질인 것, 반상조직을 가지는 것이 조직상의 특징을 다리하는 대표적인 암종이다.

일광산 주위의 흑운모화강암은 일발적으로 중립질의 입상조직을 보여주고, 안산암이나 이천리층을 관입하여 그 접촉부가 미립질로 변화되며 유색광물이 희소해지는 경향을 볼 수 있다.

정관면에서부터 이어져 덕선리 부근에 미세하게 나타나는 화강섬록암의 구성광물은 주로 석영, 사장석, 정장석, 흑운모 등으로 되어 있고 부구성광물로서 각섬석, 연니석, 자철석, 자류광석, 인회석 등이 나타난다. 사장석은 본암의 약 35%로 정장석보다 더 많이 함유되어 있다.

3.2.3 점검 및 진단 이력

본 비탈면은 2009년부터 정기안전점검을 21회, 정밀안전점검 4회 실시한 것으로 조사되었다. 점검 결과 전반적으로 양호한 상태로 특별한 보수·보강을 필요한 구간은 없는 것으로 평가되었다.

<표 2.3-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2009. 03. 06 ~ 2009. 06. 30	정기안전점검	이상없음	양호
2	2009. 08. 04 ~ 2009. 11. 25	정기안전점검	이상없음	양호
3	2010. 01. 02 ~ 2010. 06. 30	정기안전점검	양호	양호
4	2010. 10. 01 ~ 2010. 11. 29	정밀안전점검	절취사면은 퇴적암(셰일)로 이루어져 있으며, 절리상태(절리 간격 및 충진물 유무)가 양호. 사면 파괴요인에서 위험요소 내포하고 있음	B
5	2010. 07. 07 ~ 2010. 12. 08	정기안전점검	양호함	양호
6	2011. 05. 23 ~ 2011. 06. 03	정기안전점검	양호함	양호
7	2011. 11. 01 ~ 2011. 11. 10	정기안전점검	양호함	양호
8	2012. 05. 02 ~ 2012. 05. 03	정기안전점검	이상없음	양호
9	2012. 10. 22 ~ 2012. 10. 24	정기안전점검	이상없음	양호
10	2013. 04. 15 ~ 2013. 04. 30	정기안전점검	이상없음	양호

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
11	2013. 09. 23 ~ 2013. 09. 27	정기안전점검	이상없음	양호
12	2013. 12. 06 ~ 2013. 12. 25	정밀안전점검	절취사면은 퇴적암(셰일)로 이루어져 있으며, 절리 상태(절리 간격 및 충진물 유무)가 양호.불연속면 사이 큰나무 다수 자람.낙석방지망, 낙석방지휀스 및 기타구조물(수로, 소단 등) 상태 양호	B
13	2014. 04. 01 ~ 2014. 04. 01	정기안전점검	양호	양호
14	2014. 09. 01 ~ 2014. 09. 01	정기안전점검	양호	양호
15	2015. 05. 04 ~ 2015. 05. 04	정기안전점검	양호	양호
16	2015. 12. 07 ~ 2015. 12. 07	정기안전점검	양호	양호
17	2015. 09. 29 ~ 2015. 12. 27	정밀안전점검	소단배수로에서 일부 균열 및 이격이 발생하였는데, 손상의 원인은 기 점검에서도 발견된 손상으로 보아 시공 당시 초기 침하에 의한 손상으로 보이며, 충진공법에 의한 보수 후 주기적인 점검을 통해 주의 관찰함이 바람직 할 것으로 판단됨	B
18	2016. 06. 07 ~ 2016. 06. 10	정기안전점검	전반적인 상태양호	양호
19	2016. 10. 10 ~ 2016. 10. 10	정기안전점검	전반적인 상태양호	양호
20	2017. 04. 24 ~ 2017. 04. 24	정기안전점검	양호	양호
21	2017. 12. 04 ~ 2017. 12. 04	정기안전점검	이상 무	양호

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
22	2017. 09. 29 ~ 2017. 12. 27	정밀안전점검	사면부 점검결과 : 자연수로를 형성하고 있는 구간이 존재하는 것과 다수의 뜬돌 및 낙석이 확인된 것과 쐐기 및 전도파괴 형상의 절리가 발달한 것이 불안요소로 작용할 가능성이 있어 주의관찰을 통한 유지관리가 필요하고 STA.0+300 위치의 점검통로 ⓐ, STA.0+150~210 구간의 4소단 배수로에 등나무 덩굴이 매우 발달된 상태이다. 식생상태 : 일부 암노출 구간을 제외하면 식생상태가 대체로 양호 배수시설 점검결과 : 소단배수로, 산마루 측구, 수직도수로가 시공되어 있으며 이 외 구간은 산마루 측구 없이 자연수로 발달 보호시설 점검현황 : 낙석방지망 상태는 양호하나, 지속적인 유지관리 필요	B
23	2018. 04. 16 ~ 2018. 04. 16	정기안전점검	양호	양호
24	2018. 11. 26 ~ 2018. 11. 26	정기안전점검	이상없음	양호
25	2019. 04. 01 ~ 2019. 04. 01	정기안전점검	이상없음	양호

3.2.4 보수·보강이력

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 유지관리중 보수·보강이력은 없는 것으로 조사되었다.

<표 2.3-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

3.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 내진설계 적용여부에 대한 명확한 근거는 조사되지 않았다.

<표 2.3-5> 내진 설계 적용 여부

검토대상 부재	설계적용여부	결과	검토결과 요약	근거
절토사면	불명	-	내진관련 자료 부족으로 확인 불가	

3.2.6 관련 자료 분석 결과 요약

금회 성능평가시 유지관리 관련자료를 분석한 결과, 본 시설물은 특별한 사고이력 및 상태 변화가 없는 양호한 시설인 것으로 평가되었다. 관련 자료 분석 결과 요약 및 이를 기초로한 금회 성능평가 시행 방향은 다음과 같다.

<표 2.3-6> 관련 자료 분석 결과 요약 및 점검 방향

구 분	자료 분석 결과	성능평가 방향
설계도서	ㅇ준공도서 유지관리중 ㅇ위치도, 횡단면도 등 파악 가능 ㅇ원지반 상태 파악 가능	ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득 ㅇ설계도면과 현재 제원 비교
시설물 관리대장	ㅇ기본현황, 상세제원 확인 가능 ㅇ유지관리 이력 파악 ㅇ시설물 준공 후 최초의 성능평가	ㅇ현장조사를 위한 기초자료로 활용 ㅇ준공후 특별한 보수·보강이력이 없는 상태로서 금회 성능평가시 손상조사시 필요에 따라 보수·보강방안 수립
안전점검 및 정밀안전진단 자료	ㅇ준공후 정기안전점검, 정밀안전점검이 시행되었으며, 전반적으로 양호한 상태임.	ㅇ사면파괴징후에 대한 면밀한 조사 ㅇ필요시 보수보수·보강방안 수립 ㅇ시설물 특성을 고려한 적정한 유지관리방안 제시
보수·보강 자료	ㅇ유지관리 이력상 사면 기붕괴구간에 대한 숏크리트가 시공됨.	ㅇ숏크리트 상태 조사
유지관리 전략 제안	-	ㅇ현장조사 및 관련자료 분석을 통한 항목별 성능평가 시행 ㅇ성능평가 결과에 따라 성능목표 유지를 위한 유지관리 전략 제안

3.3 현장조사

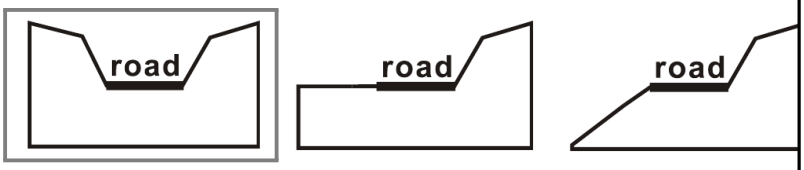
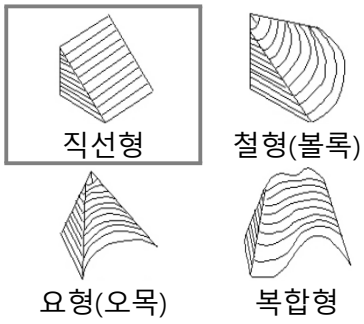
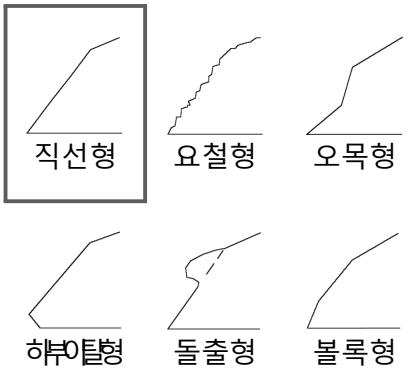
3.3.1 현장조사 체크리스트

관리주체에서 수집된 시설물 유지관리 자료를 참조로 하여 현장답사 및 기초 자료를 조사한 결과는 다음과 같다.

<표 2.3-7> 일반현황

조사일자	2019년 9월 18일		**조 사 자**	인승철
일 기	맑음		**준공년도**	2008년 12월 31일
행정구역	부산광역시 기장군 일광면 원리 산138-24			
위 경 도	시점 : N (35°18' 08.22"), E (129°13' 38.05")			
	종점 : N (35°17' 54.00"), E (129°13' 39.87")			
절토사면	길 이 : 530m		높 이 : 52m	
	경 사/경사방향 : 45/089(평균경사 38°)			
	구성물질 : 암반		토층심도 : 0.06~0.09(약 3.0m)	
	소 단 : 4			
낙석/뜬돌	낙석 존재유무 : 있음		낙석의 양 : 0.60㎥	
	낙석 평균크기 : 0.1×0.1×0.1 낙석 최대크기 : 0.3×0.2×0.1			
	뜬돌 존재유무 : 있음		뜬돌의 양 : 0.50㎥	
	뜬돌 평균크기 : 0.2×0.2×0.1 뜬들 최대크기 : 0.5×0.5×0.2			
절토사면 시공현황	**종 류**	**위 치**		**상 태**
	식생현황	STA.0+100~200, 360~440(4소단 하부)		불량
	식생현황	이외 구간		양호
	낙석방지망	STA.0+000~530		양호
	낙석방지울타리	STA.0+060~510		양호
	야생동물유도울타리	STA.0+000~050, 510~530		양호
	숏크리트 보강	STA.0+130~180 2소단 하부 일부구간		양호
	산마루 측구	STA.0+000~120, 220~260, 345~360, 435~530		양호
	점검용 계단	STA.0+460~530		양호
	점검통로	STA.0+300, 430		양호
	수직도수로	STA.0+260, 350		양호
붕괴이력	**유 형**	**규 모**		**위 치**
기 타	• 일부 구간 식생이 불량하고 사면계측기(절토사면 경보시스템)가 설치된 것을 육안으로 확인			

<표 2.3-8> 지형·지질 및 식생

<table>
<tr><td rowspan="3">주변지형의 특성</td><td>주변 지형</td><td colspan="5">산악지형</td></tr>
<tr><td>종단면 형상</td><td colspan="5"> 
</td></tr>
<tr><td>기타 특징</td><td colspan="5">-</td></tr>
<tr><td>사면의 특성</td><td>종횡단면</td><td colspan="2"> 
</td><td>종단면특성</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="7">상부자연사면</td><td>경 사 도</td><td colspan="5">-20°</td></tr>
<tr><td>인장균열</td><td colspan="5">없음</td></tr>
<tr><td>포행흔적</td><td colspan="5">없음</td></tr>
<tr><td>수목의 기울어짐</td><td colspan="5">없음</td></tr>
<tr><td>인공구조물</td><td colspan="5">없음</td></tr>
<tr><td>산마루측구</td><td colspan="5">있음</td></tr>
<tr><td>계곡부</td><td colspan="5">2개소</td></tr>
<tr><td>지 질</td><td>지질각론</td><td colspan="5">·본 지역은 중생대 백악기 시대의 경상계 신라층군 이천리층의 지층이 분포, 대표암석은 퇴적암</td></tr>
<tr><td rowspan="3">식 생</td><td>① 종 류</td><td>초 본</td><td>관 목</td><td>침 엽 수</td><td>활 엽 수</td></tr>
<tr><td>② 밀 도</td><td>중</td><td>중</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>③ 근계특징</td><td colspan="4">천근성 (O), 심근성 ( )</td></tr>
</table>

<표 2.3-9> 기초조사 자료

일반현황	거리표	부산울산선 15.935~16.465k(부산)		
	위경도	시점 : N (35°18' 08.22"), E (129°13' 38.05") 종점 : N (35°17' 54.00"), E (129°13' 39.87")		
	차선	왕복 (4) 차선		
	조사일자	2019년 9월 18일		
	조사자	인승철	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특 성	길이	530.0m	최대높이	52.0m
	경사	45°	상부경사	-20°
	이격거리	평균 1.0~2.0m	소단	4개소
	종류	■암반 □혼합 □토사 □자연	주변지형	■산악 □준산악 □구릉 □평 지
	지하수	■C.dry □damp □wet □dripping □flowing	누수위치	□상 □중 □하 □좌 □중 □우
	풍화도	■F ■S ■M □H □C □R	불연속면 방향성	□일치 □평행 ■후방 □불가
	사면형상	■직선형 □철형 □요형 □파형	측면형상	■직선형 □요철형 □탈락형 □돌출형
	계곡부	2개소	붕괴이력	□유(영향) □낙석 □유(미영향) ■무
	뜬돌	□대 □중 ■소 □무	낙석	□대 □중 ■소 □무
	암종	사암 및 셰일	토층심도	3.0m
	암반형태	□massive □tabular □columnar □irregular ■blocky □crushed	불연속면	■절리 ■층리 □엽리 □균열 □단층 □전단대 □암맥 □무
	시공현황 (상태)	■식생공(일부불량) ■낙석방지망(양호) □옹벽 ■낙석방지울타리(양호) □격자블럭 ■배수로(보통) ■점검로(보통) ■기타(숏크리트)		
조사자 소 견	위험도	□상 □중 ■하	피해도	□상 □중 ■하
	붕괴 유형	□심층 □표층 ■무	위험등급	□A ■B □C □D □E
	위험구간 (붕괴유형)	□상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( ) □상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( ) □상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( )		
	필요 주공법	균열보수, 단면보수	조치	□응급 ■미응급
	기타			

3.3.2 사면분류 및 구간분할

대상 대상 시설물에 대한 현장조사 및 시험은 본 조사를 실시하기 이전에 현장을 답사하여 시설물의 주변 환경과 현 상태를 파악하고, 시설물의 접근방법 및 관련 자료를 검토 후 외관조사를 통하여 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성 확인을 위한 상세한 조사계획을 수하였다. 또한, 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단하기 위해 기본시설물 및 부대시설물 등 주요 부재의 현 상태와 시설물의 안전성을 저해할 만한 손상의 유무를 확인하였으며, 시설물 구성부재별로 외관조사 결과는 외관조사망도와 주요 사진을 중심으로 부록자료에 수록하여 향후 시설물 점검 및 유지관리 시에 효율적으로 활용할 수 있게 하였다.

가. 시설물 일반 현황

본 과업 대상 시설물은 부산울산고속도로 부산방향 15.935~16.465km에 위치하고 있으며, 길이는 530m, 높이 52.0m의 절토사면으로 시설물 안전법상 2종 시설물로 분류된 시설이다.

현장조사를 위한 실측조사 결과 본 구간의 절토사면 총 연장 및 높이는 시설물관리대장과 비교시 다소 상이한 것으로 조사되었다.

나. 절토사면의 분류

토층심도 깊이측정을 위한 자료는 준공도서 표준횡단면도를 참고하여 작성하였고, 블록크기 측정을 위한 절리간격은 사면특성조사시 각구간에 위치하는 절리군의 평균 간격을 측정하였다.

<표 2.3-10> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{50.0}=0.06$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 113.4~137.3MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{50.0}=0.01$로 0.01이하	파쇄암반	

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
2구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{48.0}=0.062$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 113.4~137.3MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{1.0}{48.0}=0.02$로 0.01초과	절리암반	

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
3구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{52.0}=0.057$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 113.4~137.3MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{52.0}=0.009$로 0.01이하	파쇄암반	

다. 비탈면 구간 분할

연장이 530m로써, 사면의 구간분할 기준인

1) 사면의 구성재료가 변화할 경우

2) 사면의 경사가 10°이상으로 변할 경우

3) 사면의 구성재료와 표준경사가 맞지 않을 경우

4) 사면의 경사방향이 40°이상 변화할 경우

5) 동일 구간의 연장이 200m 이상일 경우

위 기준중 5번에 해당하여, 그에 따라 3개구간으로 분할하여 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

<표 2.3-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	15.935~16.115km	180m
2구간	16.115~16.265km	150m
3구간	16.265~16.465km	200m

3.3.3 상태안전성능 조사

가. 집수지형

집수지형에 대한 평가는 시·종점부, 요철지형 등 지표수가 직·간접적으로 비탈면에 유입되는 지형에 대한 평가로서 외부와 내부로 구분하여 분석하였다.

비탈면 외부 지형조건은 상부 자연사면이 상향 -20°경사를 이루고 있는 것으로 조사되었다. 사면 외부 집수지형에 대한 분석 결과, 강우시 소단배수로 및 산마루측구, 수직도수로로 배수되며, 상단부는 자연사면을 통한 자연배수 형태이다.

사면내 기울기 및 경사방향 변화로 인한 사면내 오목한 지형 발생으로 인한 집수지형은 없는 상태이다.

<표 2.3-12> 집수 지형 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
집수지형	외부	시.종점부	EA	-	-	
		계곡부	EA	2	-	
	내부	집수지형 없음	EA	-	-	

나. 불안정 지질

불안정 지질은 절토사면에 분포하는 단층 및 전단대, 파쇄대, 습곡, 암맥 등 주변의 암반과 구성이 다르거나 특정 부분을 중심으로 균열이 집중적으로 발달하여 사면에 작용하는 불안정 요인으로 작용하는 지질 분포규모 및 상태를 평가하는 항목이다.

본 비탈면은 표면보호공으로 식생이 분포하여 전체 사면에 대한 불안정 지질 여부를 평가하기 곤란하여 부분적으로 원지반이 노출된 구간에 대해서 한정적으로 조사하였다.

그 결과 부분적으로 절리가 관찰되며, 보통 풍화 상태를 보이고 있는 것으로 분석되었다.

<표 2.3-13> 불안정 지질 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
불안정 지질	일부 분포	-	-	-	

다. 불연속면 특성

불연속면은 대개 물리적으로 분리되어 있는 면으로 매우 작은 인장강도를 갖거나 인장강도가 없어 암반으로 구성된 절토사면의 경우 불연속면의 존재는 사면의 안정에 절대적인 영향을 미치게 된다. 이와 관련하여 본 성능평가에서는 소단 하부에는 식생공이 없어 대기에 노출된 원지반을 대상으로 3개 구간에서 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

<표 2.3-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	70/004	20/161	90/004
간격(m)	0.2~0.6	2 이상	0.2~0.6
연장성(m)	< 1	< 1	< 1
틈새(mm)	0.1㎜ 미만	0.1~1.0㎜	0.1㎜ 미만
거칠기	약간 거칠음	약간 거칠음	약간 거칠음
충진물질	딱딱함, 5㎜이상	딱딱함, 5㎜이상	딱딱함, 5㎜이상
풍화도	Fresh	SW	Fresh
비고			

구 분	2구간		
	Set 4	Set 5	Set 6
방향성	20/161	90/004	
간격(m)	2 이상	0.2~0.6	
연장성(m)	1~3	< 1	
틈새(mm)	0.1~1.0㎜	0.1㎜ 미만	
거칠기	약간 거칠음	약간 거칠음	
충진물질	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만	
풍화도	Fresh	Fresh	
비고	식생공으로 인한 이외의 불연속면 특성조사 불가		

구 분	3구간		
	Set 7	Set 8	Set 9
방향성	15/170	63/012	
간격(m)	2 이상	0.2~0.6	
연장성(m)	1~3	< 1	
틈새(mm)	0.1~1.0㎜	0.1㎜ 미만	
거칠기	약간 거칠음	약간 거칠음	
충진물질	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만	
풍화도	Fresh	Fresh	
비고	식생공으로 인한 이외의 불연속면 특성조사 불가		

라. 지반 변형

지반 변형은 사면의 배부름 현황과 같은 지반 자체 변형과 관련된 항목이다. 본 성능평가에서는 전 구간에 걸쳐 외관조사를 시행하고, 관련 자료 및 청문조사를 통한 과거 이력에 대한 조사도 병행하였다. 외관조사 결과, 지반변형으로 인한 급격한 기울기 변화는 조사되지 않았으며, 과거 이력 조사 결과에서도 손상은 없었던 것으로 확인되었다.

<표 2.3-15> 지반 변형 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
지반 변형	없 음	-	-	-	

마. 배수 조건

사면내 배수시설은 소단배수로가 시공되어 있다.

소단배수로는 지반 변형으로 인한 부상 및 침하 등의 손상은 없는 것으로 확인되었다.

<표 2.3-16> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단 배수로	파손	㎡	2 / 1.0	-	

바. 지하수

지하수에 대한 항목은 사면내 지하수량을 간접적으로 조사하는 항목이다.

비탈면내 누수 여부에 대한 조사 결과, 지하수 용출에 의한 습윤지역 및 누수 현상은 관찰되지 않는 상태이다.

<표 2.3-17> 지하수 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상원인	비 고
지하수	건조된 상태	-	-	-	

사. 붕괴 이력

초기점검 및 기 점검사항을 토대로 확인한 결과, 붕괴이력은 조사되지 않았다.

<표 2.3-18> 붕괴 이력 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
붕괴 이력	상태 양호	-	-	-	

아. 낙석

낙석은 암반사면에서 빈번히 발생되는 붕괴유형으로 사면내 관찰되는 이완암 및 뜬돌의 규모 등을 조사하는 항목이다. 이와 관련하여 사면 하단부 및 소단부에서 낙석 여부 조사 결과 낙석은 조사되지 않았다

<표 2.3-19> 낙석 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상원인	비 고
낙 석	없음	-	-	-	현장조사, 청문조사

자. 인장균열

인장균열 조사는 개략적인 붕괴 규모나 양상을 예측하기 위한 참고 자료로 활용되는 항목으로 본 비탈면에 대한 외관조사 결과, 사면 내·외부에서 인장균열은 조사되지 않는 상태이다.

<표 2.3-20> 인장균열 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상원인	비 고
인장균열	없음	-	-	-	현장조사

3.3.4 내구성능 조사

가. 토사구간의 지반상태

본 비탈면에는 전 구간에 걸쳐 암반으로 구성되어 있으며, 토양경도계를 측정할 수 없으므로 토사구간의 지반상태는 제외토록 하였다.

나. 암반구간의 지반상태

암반강도시험은 총 3개소에서 실시하였으며, 시험 결과에 따른 암종 분류 결과 경암인 것으로 판단된다.

<표 2.3-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(MPa)	암 판정 결과	비고
16.065km	54.4	113.4	경암	
16.065km	57.0	126.9	경암	
16.305km	58.7	137.3	경암	
검토의견	·암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 54.4~58.7로 측정되었으며, 추정강도 113.4~137.3MPa로 경암으로 판정되어 암반의 강도는 양호한 것으로 판단된다.			

절리면 경사/경사방향 측정

암반 강도시험

다. 표면보호공

표면보호공은 사면의 안전성에는 직접적인 영향을 주지 않으나, 사면의 상태보호 및 유지에 영향을 미치는 요소이다. 식생의 경우는 전체 면적 대비 피복 면적의 비를 기준으로 분석하였으며, 숏크리트는 균열 및 박락 등의 손상을 기준으로 분석하였다.

<표 2.3-22> 표면보호공 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
표면 보호공	낙석방지망	-	-	-	-	
	숏크리트	-	-	-	-	

낙석방지망 전경

낙석방지망, 낙석방지울타리 전경

라. 사면보강공

본 비탈면은 관련자료 분석 결과 식생 이외의 특별한 보강시설은 없는 것으로 조사되었으며, 현장조사시 확인한 결과 사면안정을 위한 숏크리트가 시공되어 있고, 양호한 상태이다.

<표 2.3-23> 사면보강공 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
사면 보강공	숏크리트	-	-	-	
	-	-	-	-	

3.4 안전성능평가

안전성능평가는 외관상 관찰되는 시설물의 결함을 평가하는 상태안전성능평가와 공학적인 안정성을 평가하는 구조안전성능으로 구분한다.

3.4.1 상태안전성능 평가

가. 시설물의 형식 및 안전성능지표

비탈면 분류는 현장조사 결과를 기초로 하여 관련 자료 분석을 통해 획득한 자료를 최대한 적용하였다. 그 결과 절토사면 높이에 대한 토층심도율이 0.057~0.062으로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 세부 분류는 절리암반비탈면, 파쇄암반비탈면으로 평가된다.

<표 2.3-24> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{50.0}=0.06$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 113.4~137.3MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{50.0}=0.01$로 0.01이하	파쇄암반	

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
2구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{48.0}=0.062$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 113.4~137.3MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{1.0}{48.0}=0.02$로 0.01초과	절리암반	

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
3구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{52.0}=0.057$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 113.4~137.3MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{52.0}=0.009$로 0.01이하	파쇄암반	

본 시설물은 사면 구성 재료의 특별한 변화가 없으며, 총연장이 530.0m로 사면 분할기준인 200.0m를 상회한다. 비탈면 구간 분할 기준에 의하여 동일 구간의 연장이 200m 이상일 경우로 하여 총 3개소로 분할하여 조사·평가하기로 한다.

<표 2.3-25> 비탈면 구간 분할

위치	비탈면 구간 분할 기준	시설물 현황		
		구성 재료	경사방향 변화	사면 연장
부산기점 STA.15+706 ~15+966	○ 사면 구성재료 변화 ○ 사면 경사방향 40°이상 변화 ○ 동일구간 연장 200.0m 이상	암반	없음 (직선형)	530.0m
구간 분할	○ 1구간 : 15.935~16.115K ○ 2구간 : 16.115~16.265K ○ 3구간 : 16.265~16.465K			

<표 2.3-26> 사면 형식별 상태안전성능지표

구 분	평가 요소		
	토사사면	암반사면	혼합사면
절토사면	○ 집수지형 ○ 지반변형 ○ 지하수 ○ 배수조건 ○ 사면상부 상태 ○ 붕괴이력	○ 집수지형 ○ 불안정지질 ○ 불연속면 특성 ○ 지반변형 ○ 지하수 ○ 배수조건 ○ 붕괴이력 ○ 낙석	○ 불안정지질 ○ 불연속면 특성 ○ 지반변형 ○ 지하수 ○ 배수조건 ○ 붕괴이력 ○ 낙석 ○ 사면상부 상태

나. 1구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 2.3-27> 집수지형 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가결과
사면 내·외 집수지형 개소 수	a	없음	계곡부 또는 집수지형 없음	1개소	b
	b	1개소	계곡부 또는 집수지형 1개소		
	c	2개소	계곡부 또는 집수지형 2개소		
	d	3개소	계곡부 또는 집수지형 3개소		
	e	4개소	계곡부 또는 집수지형 4개소 이상		

<표 2.3-28> 불안정 지질 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
규모 및 상태	a	없음	없음	파쇄암반사면 국지적 분포	c
	b	일부 분포 (견고)	불안정 지질이 일부 분포하고 있으나 견고한 상태		
	c	국지적 분포 (파쇄)	불안정 지질이 국지적으로 분포하고 있으며 파쇄가 심한 상태		
	d	전반적인 분포 (파쇄)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심한상태		
	e	전반적인 분포 (파쇄, 누수 등)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심하고 누수 및 유실물 등이 발생하고 있는 상태		

<표 2.3-29> 불연속면 특성 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = (0+5+10+5+0+10) / 6 = 5	b
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 2.3-30> 불연속면 세부 상태 평가 결과(1구간)

평가항목	등급					현장조사 결과	평가 결과
	a	b	c	d	e		
점수	0	5	10	16	24		
①연장성	1.0m미만	1.0m이상 3.0m미만	3.0m이상 10.0m미만	10.0m이상 20.0m미만	20.0m이상	< 1	a
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.1㎜ 미만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거칠음	c
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	딱딱함, 5㎜이상	b
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	Fresh	a
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	0.2~0.6	c

<표 2.3-31> 지반변형 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
포행, 단차, 배부름 등	a	변형 없음	지반변형이 없는 상태	지반변형 없음	a
	b	약간의 변형	일부 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	d	사면 전반에 걸친 변형	지반변형이 발생하여 붕괴위험은 있으나, 붕괴로 인해 사면하부 주 구조물에는 직접적인 영향이 없는 상태		
	e	사면 전반에 걸친 변형	평가대상 구간 전반에 변형이 발생하여 대규모 붕괴위험이 예상되며 붕괴발생으로 사면하부의 주구조물에 영향을 미칠 수 있는 상태		

<표 2.3-32> 지하수 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
누수 상태 및 위치	a	건조(dry)	지하수의 흐름이 관찰되지 않고 표면이 건조한 상태	건조한 상태	a
	b	젖음(wet) 사면하부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 하부에서 관찰되는 상태		
	c	젖음(wet) 사면상부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 상부에서 관찰되는 상태		
	d	흐름(flow) 사면하부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 하부에서 용출이 관찰되는 상태		
	e	흐름(flow) 사면상부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 상부에서 용출이 관찰되는 상태		

<표 2.3-33> 배수시설 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
배수 조건	a	완전배수	지표 및 지하배수구가 모두 적용되어 원활한 배수를 이루고 있는 상태 또는 사면이 건조한 상태로 배수시설의 적용이 필요하지 않은 상태	보통	c
	b	양호	배수시설이 노후 되었으나 배수기능이 원활한 상태		
	c	보통	배수시설이 노후 되고 일부 균열이 관찰되나, 배수기능이 원활한 상태		
	d	불량	배수시설이 노후 되고 균열 및 변형 등의 결함이 발생하여 배수기능이 불량한 상태		
	e	매우 불량	지표수 및 지하수로 인해 사면의 안전성능에 직접적인 영향을 미치며, 배수시설이 설치되어 있지 않거나 결함으로 인해 배수를 못하는 상태		

<표 2.3-34> 붕괴이력 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
붕괴이력	a	없음	없음	없음	a
	b	세굴 및 표층균열	사면의 표면 세굴 및 소규모 유실 등의 발생이력		
	c	표층파괴	표층유실 및 낙석, 암탈락 등 사면 표층 파괴 발생이력		
	d	심층파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 심층파괴 발생이력		
	e	대규모파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 파괴가 발생하여 사면하부 주구조물에 피해가 발생한 상태		

<표 2.3-35> 낙석 발생 규모 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 없음	a
	b	1.0㎥미만		
	c	1.0㎥이상, 6.0㎥미만		
	d	6.0㎥이상, 10.0㎥미만		
	e	10.0㎥이상		

<표 2.3-36> 예상 낙석에너지 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
예상 낙석 에너지	a	없음	$E_i = (1 - \frac{u}{\tan\theta}) \times (1+\beta) \times m \times g \times H = 0$ 여기서, □E_i = 낙석에너지(kJ), □Θ= 사면의 경사, u□= 낙석의 등가마찰계수(0.15) □ β = 회전에너지계수(0.1) m = 낙석의 중량(t), □H= 낙석의 높이(m) g = 중력가속도(9.8m/sec^2) (u, β는 상수, 각각 0.15, 0.1 적용) → 현장조사 결과 뜬돌 및 이완암이 조사되지 않음	a
	b	50kJ미만		
	c	50kJ이상 70kJ미만		
	d	70kJ이상 120kJ미만		
	e	120kJ이상		

<표 2.3-37> 사면의 상부 상태 평가 결과 (1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
상부 자연사면 경사	a	없음	평지 또는 역경사	상향 5°	b
	b	10°미만	상부자연사면으로부터 지표수가 유입될 수 있는 정도를 평가하기 위한 것으로 자연사면의 대표 경사로 평가		
	c	10°이상 20°미만			
	d	20°이상 30°미만			
	e	30°이상			

다. 1구간 인장균열 평가 결과

인장균열이 확인되는 경우 인장균열을 반영한 상태안전성능평가 결과를 선정하고 구조안전성능 평가결과 및 현장 상태에 따라 보강 대책방안을 검토해야 한다. 인장균열의 결함점수는 d, e 등급에 따른 각각의 평균값으로 산정한다.

<표 2.3-38> 인장균열 결함점수 산정 결과(1구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가 결과
인장균열	a	8	0.08	인장균열 없음	a
	d	65	0.65		
	e	88	0.88		

본 비탈면의 경우 인장균열이 없는 상태로서 성능별 등급 결과에 따른 상태안전성능평가 결과를 최종 상태평가 안전등급으로 산정하기로 한다.

라. 1구간 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 2.3-39> 상태안전성능 평가 결과 범위(1구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
$0 \le f < 0.15$	$0.15 \le f < 0.30$	$0.30 \le f < 0.55$	$0.55 \le f < 0.75$	$0.75 \le f$

<표 2.3-40> 암반사면의 평가항목별 등급에 따른 점수(1구간)

평가항목	등급에 따른 점수				
	a	b	c	d	e
① 집수지형	0	1	3	4	6
② 불안정 지질	0	3	6	10	15
③ 불연속면의 특성	0	1~5	6~10	11~16	17~24
④ 지반변형	0	2	4	6	9
⑤ 지하수	0	2	3	5	8
⑥ 배수조건	0	2	5	7	11
⑦ 붕괴이력	0	2	4	7	10
⑧ 낙석	0	4	7	11	17
결함지수 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 B등급으로 평가되었다.

<표 2.3-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명		부산기점 Sta.15+706~15+966		
사면 종류	절토사면	구성재료	파쇄암반사면	
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	1	b
	사면 외	1		
불안정 지질		6	6	c
블연속면 특성		5	5	b
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		5	5	c
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			17	
결함지수		0.17		
상태안전성능평가 결과		**B**		

마. 2구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 2.3-42> 집수지형 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가결과
사면 내·외 집수지형 개소 수	a	없음	계곡부 또는 집수지형 없음	1개소	b
	b	1개소	계곡부 또는 집수지형 1개소		
	c	2개소	계곡부 또는 집수지형 2개소		
	d	3개소	계곡부 또는 집수지형 3개소		
	e	4개소	계곡부 또는 집수지형 4개소 이상		

<표 2.3-43> 불안정 지질 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
규모 및 상태	a	없음	없음	절리암반사면 국지적 분포	c
	b	일부 분포 (견고)	불안정 지질이 일부 분포하고 있으나 견고한 상태		
	c	국지적 분포 (파쇄)	불안정 지질이 국지적으로 분포하고 있으며 파쇄가 심한 상태		
	d	전반적인 분포 (파쇄)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심한상태		
	e	전반적인 분포 (파쇄, 누수 등)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심하고 누수 및 유실물 등이 발생하고 있는 상태		

<표 2.3-44> 불연속면 특성 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = (0+5+10+5+0+10) / 6 = 5.0	b
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 2.3-45> 불연속면 세부 상태 평가 결과(2구간)

평가항목	등급					현장조사 결과	평가 결과
	a	b	c	d	e		
점수	0	5	10	16	24		
①연장성	1.0m미만	1.0m이상 3.0m미만	3.0m이상 10.0m미만	10.0m이상 20.0m미만	20.0m이상	< 1	a
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.1㎜ 미만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거칠음	c
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	딱딱함, 5㎜미만	b
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	Fresh	a
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	0.2~0.6	c

<표 2.3-46> 지반변형 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
포행, 단차, 배부름 등	a	변형 없음	지반변형이 없는 상태	지반변형 없음	a
	b	약간의 변형	일부 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	d	사면 전반에 걸친 변형	지반변형이 발생하여 붕괴위험은 있으나, 붕괴로 인해 사면하부 주 구조물에는 직접적인 영향이 없는 상태		
	e	사면 전반에 걸친 변형	평가대상 구간 전반에 변형이 발생하여 대규모 붕괴위험이 예상되며 붕괴발생으로 사면하부의 주구조물에 영향을 미칠 수 있는 상태		

<표 2.3-47> 지하수 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
누수 상태 및 위치	a	건조(dry)	지하수의 흐름이 관찰되지 않고 표면이 건조한 상태	건조한 상태	a
	b	젖음(wet) 사면하부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 하부에서 관찰되는 상태		
	c	젖음(wet) 사면상부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 상부에서 관찰되는 상태		
	d	흐름(flow) 사면하부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 하부에서 용출이 관찰되는 상태		
	e	흐름(flow) 사면상부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 상부에서 용출이 관찰되는 상태		

<표 2.3-48> 배수시설 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
배수 조건	a	완전배수	지표 및 지하배수구가 모두 적용되어 원활한 배수를 이루고 있는 상태 또는 사면이 건조한 상태로 배수시설의 적용이 필요하지 않은 상태	보통	c
	b	양호	배수시설이 노후 되었으나 배수기능이 원활한 상태		
	c	보통	배수시설이 노후 되고 일부 균열이 관찰되나, 배수기능이 원활한 상태		
	d	불량	배수시설이 노후 되고 균열 및 변형 등의 결함이 발생하여 배수기능이 불량한 상태		
	e	매우 불량	지표수 및 지하수로 인해 사면의 안전성능에 직접적인 영향을 미치며, 배수시설이 설치되어 있지 않거나 결함으로 인해 배수를 못하는 상태		

<표 2.3-49> 붕괴이력 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
붕괴이력	a	없음	없음	없음	a
	b	세굴 및 표층균열	사면의 표면 세굴 및 소규모 유실 등의 발생이력		
	c	표층파괴	표층유실 및 낙석, 암탈락 등 사면 표층 파괴 발생이력		
	d	심층파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 심층파괴 발생이력		
	e	대규모파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 파괴가 발생하여 사면하부 주구조물에 피해가 발생한 상태		

<표 2.3-50> 낙석 발생 규모 평가기준(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	없음	a
	b	1.0㎥미만		
	c	1.0㎥이상, 6.0㎥미만		
	d	6.0㎥이상, 10.0㎥미만		
	e	10.0㎥이상		

<표 2.3-51> 예상 낙석에너지 평가기준(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
예상 낙석 에너지	a	없음	$E_i = (1 - \frac{u}{\tan\theta}) \times (1+\beta) \times m \times g \times H = 0$ 여기서, □E_i = 낙석에너지(kJ), □Θ= 사면의 경사, u□= 낙석의 등가마찰계수(0.15) □ β = 회전에너지계수(0.1) m = 낙석의 중량(t), □H= 낙석의 높이(m) g = 중력가속도(9.8m/sec^2) (u, β는 상수, 각각 0.15, 0.1 적용) → 현장조사 결과 낙석방지망 내 뜬돌 및 이완암이 조사됨	c
	b	50kJ미만		
	c	50kJ이상 70kJ미만		
	d	70kJ이상 120kJ미만		
	e	120kJ이상		

<표 2.3-52> 사면의 상부 상태 평가 결과 (2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
상부 자연사면 경사	a	없음	평지 또는 역경사	상향 5°	b
	b	10°미만	상부자연사면으로부터 지표수가 유입될 수 있는 정도를 평가하기 위한 것으로 자연사면의 대표 경사로 평가		
	c	10°이상 20°미만			
	d	20°이상 30°미만			
	e	30°이상			

바. 2구간 인장균열 평가 결과

인장균열이 확인되는 경우 인장균열을 반영한 상태안전성능평가 결과를 선정하고 구조안전성능 평가결과 및 현장 상태에 따라 보강 대책방안을 검토해야 한다. 인장균열의 결함점수는 d, e 등급에 따른 각각의 평균값으로 산정한다.

<표 2.3-53> 인장균열 결함점수 산정 결과(2구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가 결과
인장균열	a	8	0.08	인장균열 없음	a
	d	65	0.65		
	e	88	0.88		

본 비탈면의 경우 인장균열이 없는 상태로서 성능별 등급 결과에 따른 상태안전성능평가 결과를 최종 상태평가 안전등급으로 산정하기로 한다.

사. 2구간 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 2.3-54> 상태안전성능 평가 결과 범위(2구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0 ≤ f < 0.15	0.15 ≤ f < 0.30	0.30 ≤ f < 0.55	0.55 ≤ f < 0.75	0.75 ≤ f

<표 2.3-55> 암반사면의 평가항목별 등급에 따른 점수(2구간)

평가항목	등급에 따른 점수				
	a	b	c	d	e
① 집수지형	0	1	3	4	6
② 불안정 지질	0	3	6	10	15
③ 불연속면의 특성	0	1~5	6~10	11~16	17~24
④ 지반변형	0	2	4	6	9
⑤ 지하수	0	2	3	5	8
⑥ 배수조건	0	2	5	7	11
⑦ 붕괴이력	0	2	4	7	10
⑧ 낙석	0	4	7	11	17
결함지수 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 B등급으로 평가되었다.

<표 2.3-56> 상태안전성능평가 결과(2구간)

시설물명		부산기점 Sta.15+706~15+966		
사면 종류	절토사면	구성재료	절리암반사면	
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	1	b
	사면 외	1		
불안정 지질		6	6	c
블연속면 특성		5.0	5	b
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		5	5	c
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			17	
결함지수		0.17		
상태안전성능평가 결과		**B**		

아. 3구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 2.3-57> 집수지형 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가결과
사면 내·외 집수지형 개소 수	a	없음	계곡부 또는 집수지형 없음	없음	a
	b	1개소	계곡부 또는 집수지형 1개소		
	c	2개소	계곡부 또는 집수지형 2개소		
	d	3개소	계곡부 또는 집수지형 3개소		
	e	4개소	계곡부 또는 집수지형 4개소 이상		

<표 2.3-58> 불안정 지질 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
규모 및 상태	a	없음	없음	파쇄암반사면 일부 분포	b
	b	일부 분포 (견고)	불안정 지질이 일부 분포하고 있으나 견고한 상태		
	c	국지적 분포 (파쇄)	불안정 지질이 국지적으로 분포하고 있으며 파쇄가 심한 상태		
	d	전반적인 분포 (파쇄)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심한상태		
	e	전반적인 분포 (파쇄, 누수 등)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심하고 누수 및 유실물 등이 발생하고 있는 상태		

<표 2.3-59> 불연속면 특성 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = (5+10+10+5+0+0) / 6 = 5.0	b
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 2.3-60> 불연속면 세부 상태 평가 결과(3구간)

평가항목	등급					현장조사 결과	평가 결과
	a	b	c	d	e		
점수	0	5	10	16	24		
①연장성	1.0m미만	1.0m이상 3.0m미만	3.0m이상 10.0m미만	10.0m이상 20.0m미만	20.0m이상	1~3	b
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.1~1.0㎜	c
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거칠음	c
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	딱딱함, 5㎜미만	b
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	Fresh	a
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	2 이상	a

<표 2.3-61> 지반변형 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
포행, 단차, 배부름 등	a	변형 없음	지반변형이 없는 상태	지반변형 없음	a
	b	약간의 변형	일부 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	d	사면 전반에 걸친 변형	지반변형이 발생하여 붕괴위험은 있으나, 붕괴로 인해 사면하부 주 구조물에는 직접적인 영향이 없는 상태		
	e	사면 전반에 걸친 변형	평가대상 구간 전반에 변형이 발생하여 대규모 붕괴위험이 예상되며 붕괴발생으로 사면하부의 주구조물에 영향을 미칠 수 있는 상태		

<표 2.3-62> 지하수 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
누수 상태 및 위치	a	건조(dry)	지하수의 흐름이 관찰되지 않고 표면이 건조한 상태	건조한 상태	a
	b	젖음(wet) 사면하부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 하부에서 관찰되는 상태		
	c	젖음(wet) 사면상부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 상부에서 관찰되는 상태		
	d	흐름(flow) 사면하부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 하부에서 용출이 관찰되는 상태		
	e	흐름(flow) 사면상부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 상부에서 용출이 관찰되는 상태		

<표 2.3-63> 배수시설 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
배수 조건	a	완전배수	지표 및 지하배수구가 모두 적용되어 원활한 배수를 이루고 있는 상태 또는 사면이 건조한 상태로 배수시설의 적용이 필요하지 않은 상태	보통	c
	b	양호	배수시설이 노후 되었으나 배수기능이 원활한 상태		
	c	보통	배수시설이 노후 되고 일부 균열이 관찰되나, 배수기능이 원활한 상태		
	d	불량	배수시설이 노후 되고 균열 및 변형 등의 결함이 발생하여 배수기능이 불량한 상태		
	e	매우 불량	지표수 및 지하수로 인해 사면의 안전성능에 직접적인 영향을 미치며, 배수시설이 설치되어 있지 않거나 결함으로 인해 배수를 못하는 상태		

<표 2.3-64> 붕괴이력 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
붕괴이력	a	없음	없음	없음	a
	b	세굴 및 표층균열	사면의 표면 세굴 및 소규모 유실 등의 발생이력		
	c	표층파괴	표층유실 및 낙석, 암탈락 등 사면 표층 파괴 발생이력		
	d	심층파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 심층파괴 발생이력		
	e	대규모파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 파괴가 발생하여 사면하부 주구조물에 피해가 발생한 상태		

<표 2.3-65> 낙석 발생 규모 평가기준(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 없음	a
	b	1.0㎥미만		
	c	1.0㎥이상, 6.0㎥미만		
	d	6.0㎥이상, 10.0㎥미만		
	e	10.0㎥이상		

<표 2.3-66> 예상 낙석에너지 평가기준(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
예상 낙석 에너지	a	없음	$E_i = (1 - \frac{u}{\tan\theta}) \times (1+\beta) \times m \times g \times H$ = 0 여기서, □E_i = 낙석에너지(kJ), □Θ= 사면의 경사, u□= 낙석의 등가마찰계수(0.15) □ β = 회전에너지계수(0.1) m = 낙석의 중량(t), □H= 낙석의 높이(m) g = 중력가속도(9.8m/sec^2) (u, β는 상수, 각각 0.15, 0.1 적용) → 현장조사 결과 뜬돌 및 이완암이 조사되지 않음	a
	b	50kJ미만		
	c	50kJ이상 70kJ미만		
	d	70kJ이상 120kJ미만		
	e	120kJ이상		

<표 2.3-67> 사면의 상부 상태 평가 결과 (3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
상부 자연사면 경사	a	없음	평지 또는 역경사	상향 5°	b
	b	10°미만	상부자연사면으로부터 지표수가 유입될 수 있는 정도를 평가하기 위한 것으로 자연사면의 대표 경사로 평가		
	c	10°이상 20°미만			
	d	20°이상 30°미만			
	e	30°이상			

자. 3구간 인장균열 평가 결과

인장균열이 확인되는 경우 인장균열을 반영한 상태안전성능평가 결과를 선정하고 구조안전성능 평가결과 및 현장 상태에 따라 보강 대책방안을 검토해야 한다. 인장균열의 결함점수는 d, e 등급에 따른 각각의 평균값으로 산정한다.

<표 2.3-68> 인장균열 결함점수 산정 결과(3구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가 결과
인장균열	a	8	0.08	인장균열 없음	a
	d	65	0.65		
	e	88	0.88		

본 비탈면의 경우 인장균열이 없는 상태로서 성능별 등급 결과에 따른 상태안전성능평가 결과를 최종 상태평가 안전등급으로 산정하기로 한다.

차. 3구간 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 2.3-69> 상태안전성능 평가 결과 범위(3구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
$0 \le f < 0.15$	$0.15 \le f < 0.30$	$0.30 \le f < 0.55$	$0.55 \le f < 0.75$	$0.75 \le f$

<표 2.3-70> 암반사면의 평가항목별 등급에 따른 점수(3구간)

평가항목	등급에 따른 점수				
	a	b	c	d	e
① 집수지형	0	1	3	4	6
② 불안정 지질	0	3	6	10	15
③ 불연속면의 특성	0	1~5	6~10	11~16	17~24
④ 지반변형	0	2	4	6	9
⑤ 지하수	0	2	3	5	8
⑥ 배수조건	0	2	5	7	11
⑦ 붕괴이력	0	2	4	7	10
⑧ 낙석	0	4	7	11	17
결함지수 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 2.3-71> 상태안전성능평가 결과(3구간)

시설물명		부산기점 Sta.15+706~15+966		
사면 종류	절토사면	구성재료	절리암반사면	
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	0	a
	사면 외	0		
불안정 지질		3	3	b
블연속면 특성		5.0	5	b
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		5	5	c
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			13	
결함지수		0.13		
상태안전성능평가 결과		**A**		

카. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 2.3-72> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
530.0m	1구간	15.935~16.115K	b(0.17)	B	인장균열 없음
	2구간	16.115~16.265K	b(0.17)		
	3구간	16.265~16.465K	a(0.13)		
	○ 구간별 평가 후 최소등급 선정 ○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

1.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

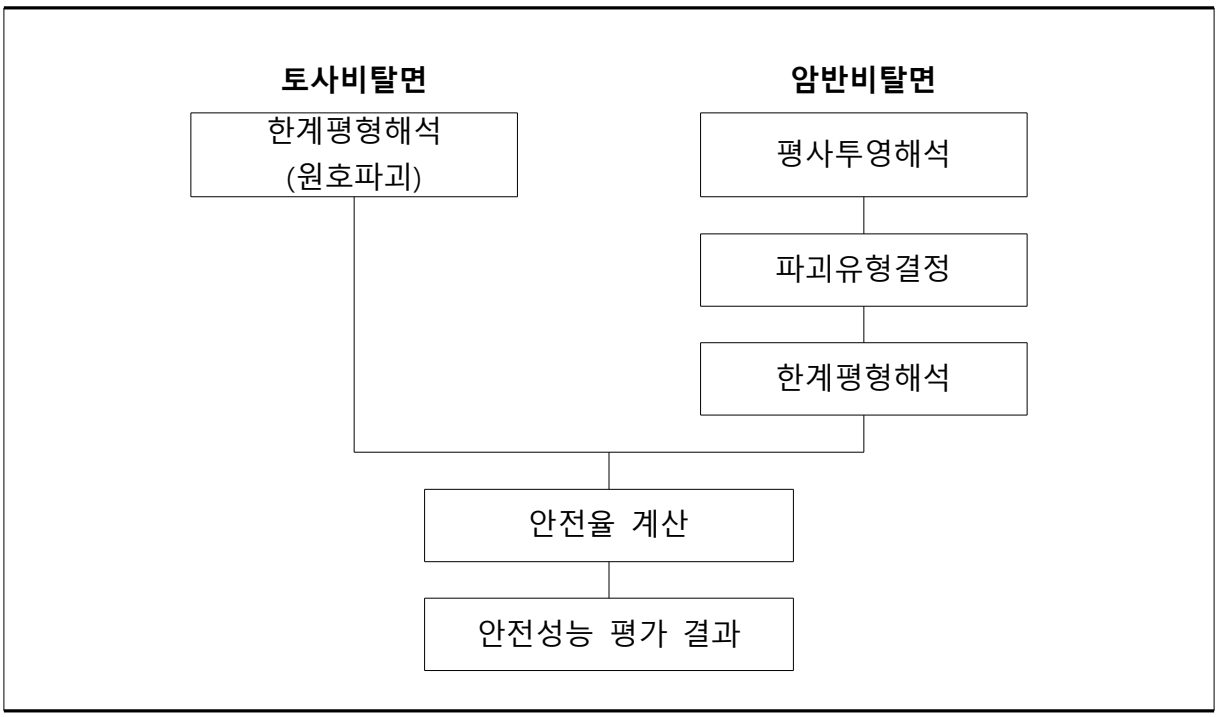
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

금회 성능평가에서는 설계 및 시공중 보강 관련 자료, 공용중 보강자료 등의 검토를 통해 구조안전성능평가에 필요한 항목을 검토하기로 한다. 또한, 이와 더불어 금회 성능평가 현장조사시 획득된 암반 절리 자료를 이용하여 평사투영해석을 시행하기로 한다.

나. 구조안전평가

1) 평가개요

비탈면의 안전성능 평가는 비탈면을 구성하는 지반의 구성물질 및 파괴거동에 따라 다양한 측면에서 검토되어야 한다. 토사비탈면과 토층은 일반적으로 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반비탈면은 평사투영해석을 실시하여 불연속면을 따른 암반의 파괴 가능성 및 파괴유형을 검토한 후 이에 부합하는 한계평형해석을 실시하여야 한다. 또한 암반비탈면의 경우라 할지라도 지반의 강도 특성이나 불연속면의 분포 특성 등에 따라 토사비탈면과 같은 연속적인 거동이 가능한 암반의 경우는 이와 별도로 원호파괴 가능성에 대한 검토가 이루어져야 한다.



<그림 2.1-2> 구조안전성능 평가과정

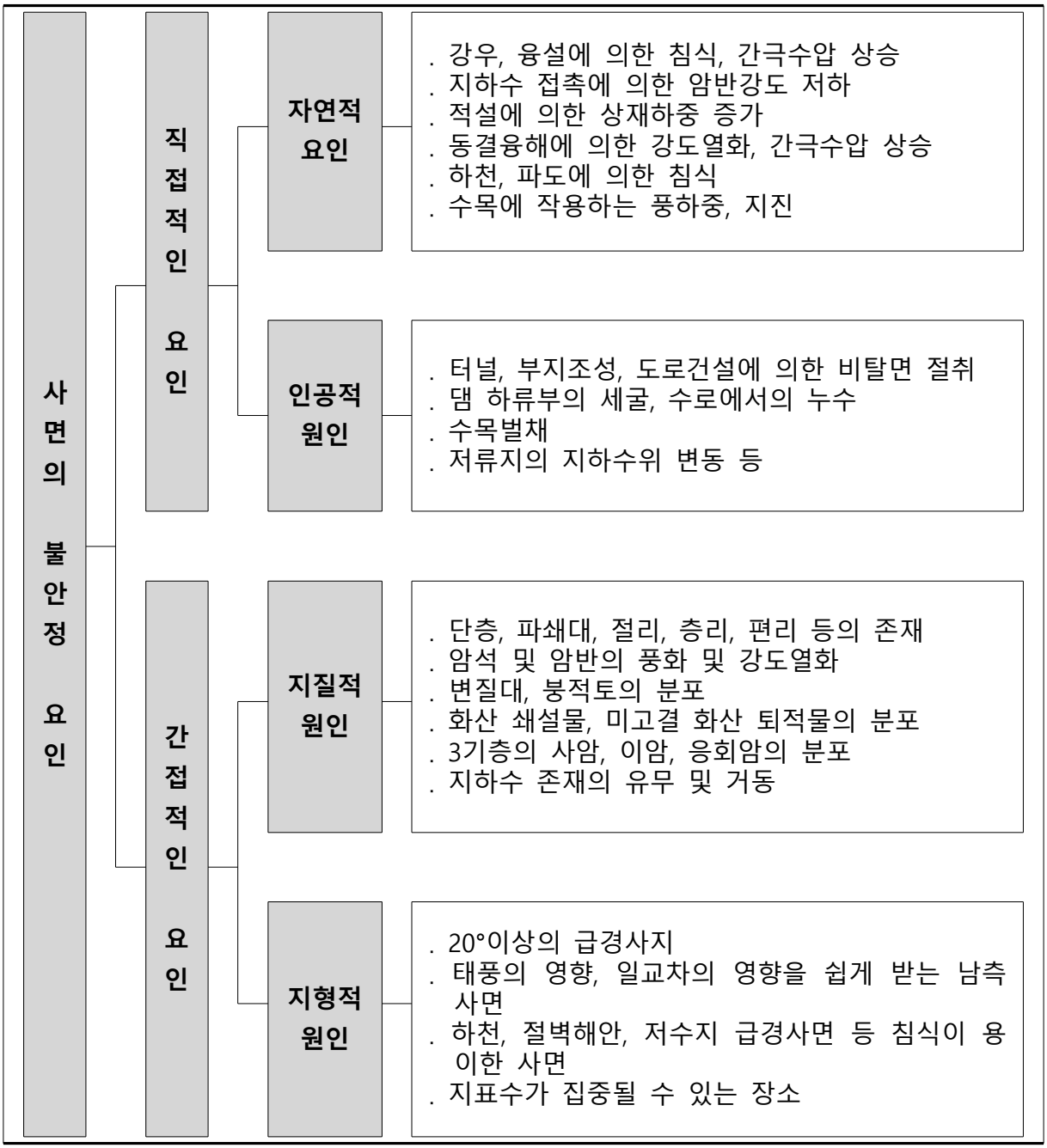
<표 2.1-73> 유형별 안정해석 범위

구 분	평사투영 해석	한계평형해석		비 고
		토 사	암 반	
토사비탈면	-	○	-	. 원호활동에 대한 한계평형 해석 실시
암반비탈면	○	△	○	. 평사투영해석결과 불안정시 파괴 유형에 따른 한계평형해석 수행 . 3m이상의 토층이 관찰되거나 풍화가 심하게 진행되어 원호활동이 예상되는 구간에 대해 평사투영해석결과와 별도로 원호파괴 해석을 실시
혼합비탈면	○	○	○	. 평사투영해석결과 불안정시 파괴 유형에 따른 한계평형해석 수행 . 평사투영해석결과와 별도로 토사구간에 대해 원호파괴해석 실시

ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득

ㅇ설계도면과 현재 제원 비교

2) 비탈면의 불안정 요인

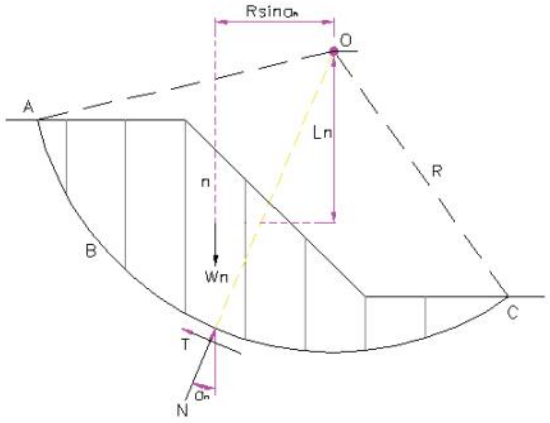


<그림 2.1-3> 구조안전성능 평가과정

3) 비탈면 안정해석 방법

① 한계평형법

한계평형 해석방법은 활동면을 따라 파괴가 일어나려는 순간에 토체의 안정성을 해석하려는 것이다. 문제를 단순화하기 위한 가정을 설정하고 이 방법을 사용하여 간단한 정역학적 이론으로 해를 얻으려 하는 것이다. 한계평형 해석법은 절성토 비탈면의 안정해석에 널리 사용되고 있으며 이 방법의 유용성과 신뢰성은 축적된 경험을 통하여 잘 알려져 있다. 한계평형 이론에 의한 비탈면안정 해석방법은 여러 가지가 있으며, 그 정확성은 강도정수와 비탈면의 기하학적 조건의 정확도 및 각 해석방법 고유의 정밀도에 따라 좌우된다. 한계평형 방법의 기본가정은 직선, 원호, 대수나선으로 가정된 파괴면을 따라 Coulomb의 파괴규준을 만족한다는 것으로 가능한 활동면을 따라 파괴가 일어나려는 순간에 토체의 안정성을 해석하는 것이다. 대표적인 해석방법으로는 ø=0 해석법, Fellenius 방법, Bishop 방법, Janbu 방법, Spencer 방법, Morgenstern & Price, 일반한계평형 방법(GLE) 등이 있다.



$$Fs = \frac{\sum_{n=1}^{n=p}(cb_n + W_n \tan\phi + \Delta T \tan\phi)\frac{1}{m}\alpha(n)}{\sum_{n=1}^{n=p}(\sin\alpha_n)}$$

$$m\alpha(n) = \cos\alpha \quad n + \frac{\tan\phi \cdot \sin\alpha_n}{F_S}$$

여기서

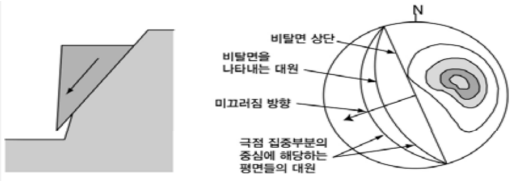
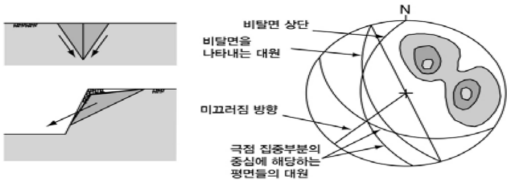
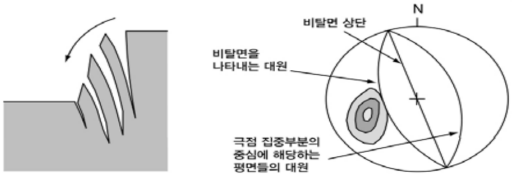
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 2.1-4> Bishop의 안전율 계산식

② 평사투영해석

평사투영법은 비탈면의 방향과 경사, 불연속면의 주향과 경사, 불연속면의 전단저항각을 고려하여 암반 비탈면의 안정성을 개략적으로 검토하는 방법이다. 암반비탈면에 발달하고 있는 불연속면의 방향에 따라 그 파괴형태가 다르게 나타난다. 일반적으로 암반비탈면의 파괴형태는 원형파괴(Circular Failure), 평면파괴(Planar Failure), 쐐기파괴(Wedge Failure) 및 전도파괴(Toppling Failure) 등이 있다.

<표 2.1-74> 비탈면 안정성 분석방법

구 분	파괴 모식도	분석방법
평면파괴		. 불연속면의 주절리가 한 방향으로 발달된 암반에서 발생가능
쐐기파괴		. 쐐기파괴는 두 개의 불연속면을 따라 발생하는 암반블록의 미끄러짐으로 인한 파괴형태
전도파괴		. 전도파괴으 발생조건은 절개면과 절리면의 경사방향이 반대이거나 절리면의 주향과 절개면의 주향이 비슷한 경우에 발생

4) 안전율 기준 - KDS 11 70 05 : 2016

<표 2.1-75> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

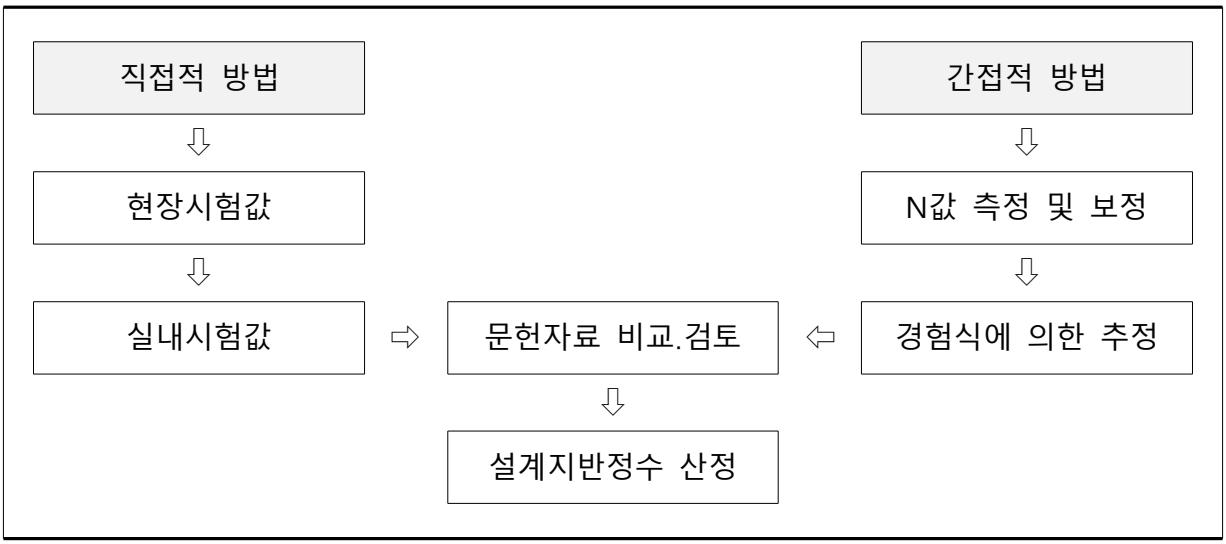
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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	. 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용시킴 . 실제측정 또는 평상시의 지하수위 적용

다. 지반정수 산정

1) 지반정수

대상지역의 지반-구조물의 상호작용에 따른 안정성을 평가하기 위해 현장조사결과를 토대로 경험식, 기존 적용사례 결과를 비교.분석하여 토사 및 암반의 지반정수를 적용하였다.

2) 지반정수 산정흐름



3) 토사/풍화암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 2.1-76> 지반조사편람(서울시, 1996)

지반명	단위중량 (kN/㎥)	점착력 c (MPa)	내부마찰각 (。)	변형계수 D(×10³kN/㎡)	포아송비
풍화토	17~20	0.00~0.01	25~30	20~40	0.5
풍화암	20~22	0.01~0.03	30~35	100~200	0.3~0.4
연 암	23~25	0.03~0.06	30~40	200~400	0.25~0.30
보통암	24~26	0.06~0.15	35~40	400~1,000	0.25
경 암	25~27	0.15~0.20	35~45	1,000~4,000	0.2

<표 2.1-77> 국도건설공사 설계실무요령(국토해양부, 2008)

종 류		재료의 상태		단위중량 (kN/㎥)	내부마찰각 ø(°)	점착력 c(MPa)	분류기호 (통일분류)
흙쌓기	자갈 및 자갈섞인모래	다진것		20	40	0.00	GW, GP
	모 래	다진것	입도가 좋은 것	20	35	0.00	SW, SP
			입도가 나쁜 것	19	30	0.00	
	사 질 토	다진것		18	25	0.03이하	SW, SC
	점 성 토	다진것		18	15	0.05이하	ML, CL MH, CH
자연지반	자 갈	밀실한 것, 입도가 좋은 것		20	40	0.00	GW, GP
		밀실치 않은 것, 입도가 나쁜 것		18	35	0.00	
	자갈섞인 모래	밀실한 것		18	40	0.00	GW, GP
		밀실치 않은 것		19	35	0.00	
	모 래	밀실한 것, 입도가 좋은 것		20	35	0.00	SW, SP
		밀실치 않은 것, 입도가 나쁜 것		18	30	0.00	
	사 질 토	밀실한 것		19	30	0.03이하	SM, SC
		밀실치 않은 것		17	25	0.00	
	점 성 토	굳은 것(손가갈으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=8~15)		18	25	0.05이하	ML, CL
		약간 무른 것(손가락 중간정도의 힘으로 들어감. N=4~8)		17	20	0.03이하	
		무른 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=2~4)		17	20	0.015이하	
	점토 및 실트	굳은 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=8~15)		17	20	0.05이하	CH, MH ML
		약간 무른 것(손가락 중간정도의 힘으로 들어감. N=4~8)		16	15	0.03이하	
		무른 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=2~4)		14	10	0.015이하	

<표 2.1-78> Geotechnical Engineering Investigation(Roy E. Hunt, 1987)

흙의 종류	다짐도	Dr,%	N	γ_{dry} (gf/㎤)	간극비 e	내부 마찰각(ø)
GW (입도분포가 좋은 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	90	2.21	0.22	40
	중간조밀	50	55	2.08	0.28	36
	느 슨	25	<28	1.97	0.36	32
GP (입도분포가 나쁜 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	70	2.04	0.33	38
	중간조밀	50	50	1.92	0.39	35
	느 슨	25	<20	1.83	0.47	32
SW (입도분포가 좋은 모래, 자갈질 모래)	조 밀	75	65	1.89	0.43	37
	중간조밀	50	35	1.79	0.49	34
	느슨	25	<15	1.70	0.57	30
SP (입도분포가 나쁜 모래, 자갈질 모래)	조밀	75	50	1.76	0.52	36
	중간조밀	50	30	1.67	0.60	33
	느슨	25	<10	1.59	0.65	29
SM (실트질 모래)	조밀	75	45	1.65	0.62	35
	중간조밀	50	25	1.55	0.74	32
	느슨	25	<8	1.49	0.80	29
ML (무기질 실트, 매우세립한 모래)	조밀	75	35	1.49	0.80	33
	중간조밀	50	20	1.41	0.90	31
	느슨	25	<4	1.35	1.00	27

◦ 경험식에 의한 방법

<표 2.1-79> 경험식에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

점착력 산정식		내부마찰력 산정식	
$\varnothing = 0$	$c = \frac{q_u}{2}$	Dunham	$\varnothing = \sqrt{12N} + 20$
Dunham	$q_u = \frac{N}{7.7}$	Peck	$\varnothing = 0.3N + 27$
Terzaghi-Peck	$q_u = \frac{N}{8}$	Ohsaki	$\varnothing = \sqrt{12N} + 15$
Ohsaki	$q_u = 4 + \frac{N}{2}$	도로교시방서	$\varnothing = \sqrt{15N} + 15$

◦ 기존 설계자료

<표 2.1-80> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각ø(°)	점착력c(MPa)	비고
기장~장안 국도건설공사	풍화(잔적)토	18	25	0.03	
	풍화암	21	30	0.05	
	연 암	25	32	0.10	
부산~울산간 고속도로 건설공사 (화전~좌동)	풍화(잔적)토	19	28	0.02	직접전단시험
	풍화암	20	30	0.03	
	연 암	24	30	0.10	
부산~울산간 고속도로 건설공사 (두현~굴화)	풍화(잔적)토	18	30	0.01	
	풍화암	20	30	0.05	
	연 암	23	35	0.01	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 2.1-81> Rock Slope Engineering(E. Hoek & J.W.Bary)

암 종	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각(°)	점착력(kN/㎡)
화 성 암 (화강암, 현무암 등)	25~30	35~45	35,000~55,000
변 성 암 (규암, 편마암, 슬레이트)	25~28	30~40	20,000~40,000
견고한 퇴적암 (석회암, 백운암, 사암)	23~28	35~45	10,000~30,000
연약한 퇴적암 (사암, 석탄, 백악, 셰일)	17~23	25~35	1,000~20,000

<표 2.1-82> 국내 암석의 실내시험 결과(지반공학회지)

암종	화강암	편마암	사암	세일	석회암	응회암
단위중량 (kN/㎥)	26.1±0.5	26.3~27.7	26.7±0.8	27.3±1.0	27.3±1.0	24.3~25.6
점착력 (kN/㎡)	13,500 ~25,000	-	15,000 ~40,000	10,000 ~25,000	15,000 ~34,000	4,000 ~15,000
내부마찰각 (°)	51~65	-	35~54	18~29	35~50	35~45

주)시료수 : 화강암(162~2,123), 편마암(117), 사암(494), 셰일(354), 석회암(150), 응회암(33)

<표 2.1-83> 암반의 전단강도 지수(한국도로공사, 도로설계실무편람)

암석종류 (강 도)	암 반 파 쇄 상 태		굴 착 난 이 도	암반의전단강도지수	
	NX 시 추 시 (Double Core Barrel 사용시)				
	T.C.R (%)	R.Q.D (%)		ϕ (°)	C (kN/㎡)
강한 풍화암으로서 파쇄가 거의 없는 경우와 대부분의 연.경암	20~30%	10~25%	발파암반 (연암)	33	130
	40~50%	25~35%	발파암반 (보통암)	35	150
	70% 이상	40~50%	발파암반 (경암)	40	200

◦ 경험식에 의한 방법

<표 2.1-84> Bieniawski(1989)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	-0.051 + 0.008RMR - 3.346×10-5RMR²(MPa)
마찰각(∅)	-0.086 + 0.7891RMR - 0.0031RMR²(degree)

<표 2.1-85> Trueman (1988)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	0.25exp(0.05RMR) (Mpa)
마찰각(∅)	0.5RMR + 5 (degree)

<표 2.1-86> 김교원 (1993)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	0.02exp(0.08RMR*) (Mpa)
마찰각(∅)	0.25(RMR*) + 27.5 (degree)

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 적용 지반정수 요약

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 MPa	프와송비	비 고
풍화토	18	28	0.02	0.3	
풍화암	20	30	0.03	0.3	
연 암	24	32	0.10	0.3	

6) 지반의 불포화 특성

실제 지반은 포화상태보다는 대부분 일정비율의 공기를 함유하고 있는 불포화상태이기 때문에 현실적인 해석결과를 검토하기 위해서는 불포화 특성이 고려된 비정상류 검토를 실시해야 한다. 다만 시험방법이 복잡하고 널리 알려지지 않아 수행에 다소의 어려움이 있어 현장여건을 최대한 반영하기 위해 관련 문헌자료를 이용하여 산정하였다. 불포화 특성은 지반의 불포화영역에서 음의 간극수압 크기에 따라 투수계수 및 함수비(포화도) 변화를 정의하는 것으로 압력수두(음의간극수압)에 따른 투수함수와 함수비함수를 직접정의(개별고려)하는 방법과 압력수두-체적함수비(포화도)-투수계수비의 관계를 정의(동시고려)하는 방법이 있다.

① 개별고려

불포화토 실험자료를 바탕으로 각각 제공되는 함수종류에 따라 Curve Fitting을 통하여 계수를 정의한다.

② 동시고려

JICE(일본국토기술연구센터, 2007)기준에 따라 불포화토 특성재료의 자료를 설정 가능하다. 지반종류별 제공된 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수는 다음과 같다.

<표 2.1-87> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비

구 분	압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비	
	체적함수율-압력수두	체적함수율-투수계수비
역질토	[G], [G-F], [GF]	[G], [G-F], [GF]
사질토	[S], [S-F], [SF]	[S], [S-F], [SF]
점성토	[M], [C]	[M], [C]

7) 수리정수 산정

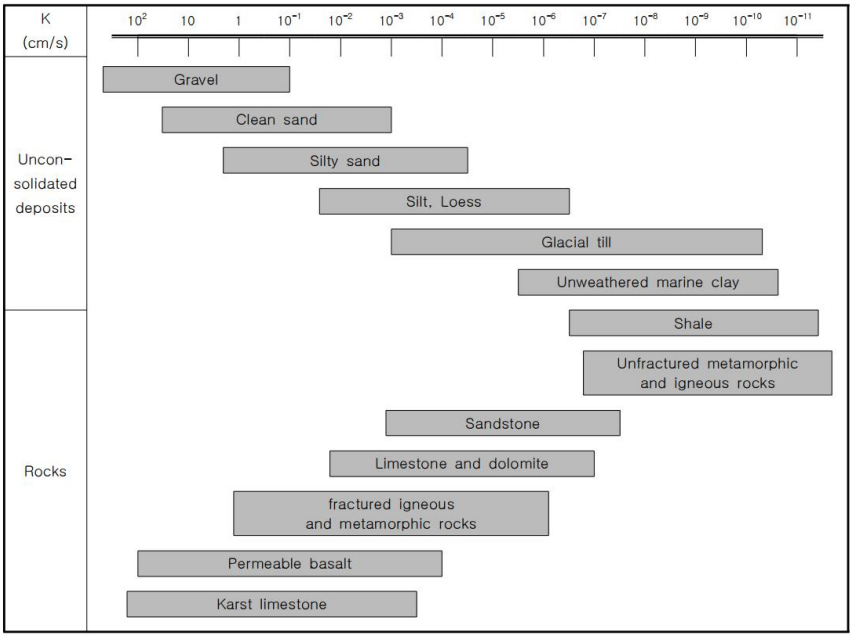
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 2.1-88> 대표적 투수계수

구 분		김 상 규(㎝/sec)	Braja M. Das(㎝/sec)
매립층	모래	1.0E-03~1.0	1.0E-03~1.0
	자갈, 사석	1.0E-02~1.0	1.0E-02~1.0
퇴적층	점성토	1.0E-08~1.0E-03	1.0E-06이하
	모래	1.0E-03~1.0	1.0E-03~1.0
풍화토		1.0E-06~1.0E-02	-

<표 2.1-89> 흙의 종류에 따른 일반적 투수계수(Rartick Power,1992)

흙의 종류	투수계수(㎝/sec)	흙의 종류
자갈(GP)	1.0 이상	양호한 모래(SW)
균등한 자갈(GP)	2.0E-01~1.0	실트질 모래(SM)
양호한 자갈(GW)	3.0E-02~5.0E-02	점토질 모래(SC)
균등한 모래(SP)	5.0E-03~2.0	실트(ML)



<그림 2.1-5> 퇴적물 및 암종별 투수계수(Freeze & Cherry, 1979)

라. 적용 강우강도

1) 강우강도

대상 비탈면에 적용된 강우강도는 한국확률강우량도의 지역별 확률강우량을 적용한다. 관측소가 없는 지역은 최인접 관측소의 확률강우량을 사용하되, 계획대상지점의 확률강우량을 이용하여 강우강도-지속시간-발생빈도 곡선(I.D.F 곡선, Intensity-Duration-Frequency)을 작성하여 최인접 관측소의 확률강우량과 비교 후 큰 값을 적용한다.

2) 설계강우빈도

① 도로배수시설 설계기준 KDS 44 40 00 : 2016

국가건설기준에 따른 도로배수시설의 설계빈도는 위험도・경제성 등을 고려하여 정하며, 구조물별 설계빈도의 적용은 다음 표와 같다.

<표 2.1-90> 도로배수시설 설계빈도

구분	설계빈도	적용위치 및 적용 방법
본선 횡단암거 및 배수관 (도시지역, 산지부)	30년 (50년) 50년 이상	. 일반구간 . 도심지, 도시계획구간 . 국지성 집중호우가 빈번히 발생하는 경우로 조사된 경우
노면 및 흙쌓기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	. 길어깨 및 중분대 등 노면 배수시설 . 흙쌓기부 도수로, 땅깎기흙쌓기경계부 측구 등
측도 및 도로 인접지 배수시설 땅깎기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	. 산마루 측구, 땅깎기부 도수로, 소단 측구 . 흙쌓기 비탈끝 배수시설, 수로이설
집수정 등 배수구조물 간 접속부	접속하는 시설물 중 빈도가 큰 값 적용	

② 비탈면배수시설 설계기준 KDS 11 70 25 : 2016

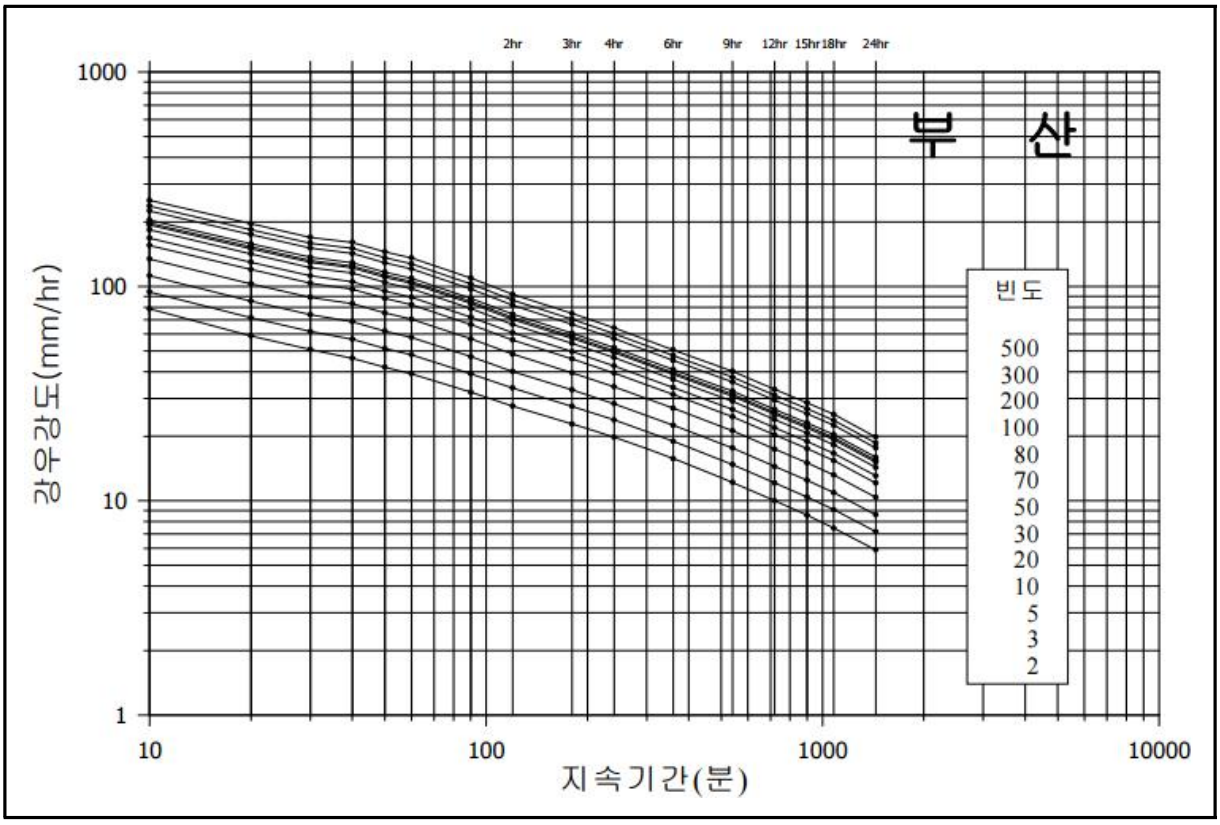
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

③ 적용 강우빈도

대상 비탈면에 적용할 강우빈도는 적용하기 위해 도로배수시설 및 비탈면배수시설의 설계기준을 참조하였으며 일반적으로 비탈면 배수시설에 적용하는 설계빈도는 20년 내외로 검토되었다. 다만 대상 비탈면의 중요도를 고려하여 적용할 강우 재현기간을 100년으로 선정하였다. 강우지속시간은 24시간을 기준으로 사용하였다.

2) 확률강우량 및 IDF곡선

① 부산지역



<그림 2.1-6> 부산지역 IDE곡선

재현기간(년) / 강우지속시간(hr)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	200	300
1	66.80	77.12	82.90	86.89	89.93	92.37	94.40	96.15	97.67	99.03	107.66	112.52
24	12.21	14.88	16.43	17.52	18.36	19.04	19.62	20.12	20.56	20.95	23.52	25.00
48	8.19	10.09	11.19	11.97	12.57	13.06	13.48	13.83	14.15	14.43	16.28	17.35

확률강우강도(㎜/hr)

<그림 2.1-7> 부산지역 확률강우강도

마. 지진시 비탈면 안정해석

1) 비탈면의 내진등급 및 성능목표

비탈면의 내진등급은 상위개념 내진설계기준을 준용하여 비탈면이 속해있는 주 구조물의 내진등급에 따라 Ⅰ등급, Ⅱ등급으로 구분하며 다음 원칙에 따라 결정한다. 비탈면의 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치지는 않으나 기능성 혹은 운영상에 일시적인 영향을 미치는 경우에는 주구조물 보다 한등급 아래의 내진등급을 적용한다. 또한 비탈면의 내진성능수준은 붕괴방지수준(비탈면 설계기준, 2011)으로 이는 비탈면에 인장균열, 부분적 탈락, 배부름 등의 파괴징조는 나타나지만 이로 인해 주구조물의 구조적 성능과 기능적인 역할에 피해를 유발시키지 않는 성능수준이다. 따라서 대상시설물은 주구조물이 고속도로인 내진Ⅰ등급에 해당되며 비탈면 붕괴가 발생할 경우 주구조물의 기능성 혹은 운영상에 일시적인 영향을 받으므로 주구조물과 같은 등급인 내진Ⅰ등급으로 선정하였다.

구조물분류	등급구분	적용대상
도로교	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별한 교량 (장대교량)
	내진Ⅰ등급	• 고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도상의 교량 • 지방도, 시도, 군도 중 방재계획상 필요한 도로에 건설된 교량 • 내진Ⅰ등급교가 건설되는 도로 위를 지나가는 고가교량
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 교량
고속철도	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별히 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	교량, 고가역사, 지하터널역사, 터널, 전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	이외의 구조물
공항구조물	내진특등급	관제탑, 구조 및 소방시설
	내진Ⅰ등급	교량, 지하구조물, 비행장시설, 도로, 건축물 등
	내진Ⅱ등급	하수도, 화물창고, 화물터미널
항만구조물	내진Ⅰ등급	항구의 입지적, 전략적 요건에 의해 주관적으로 분류
	내진Ⅱ등급	안벽, 제방 등 Ⅰ등급으로 할 필요가 없는 구조물
지중구조물	내진특등급	• 특별한 안전이 요구되는 시설 • 긴급구조, 국방 및 치안유지에 필요한 구조물
	내진Ⅰ등급	사회적 혼란이 야기되고 많은 인명, 재산피해를 주는 구조물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 일반적인 구조물
댐	내진특등급	중규모이상으로서 파괴시 하류에 중규모이상의 피해가 야기되는 댐
	내진Ⅰ등급	소규모로서 파괴시 하류에 낮은 수준의 피해가 야기되는 댐
터널	내진특등급	• 긴급구조, 구호, 국방 및 치안유지에 필요한 터널 • 내진특등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅰ등급	내진1등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅱ등급	그 외의 일반적인 터널
도로	내진Ⅰ등급	고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도
	내진Ⅱ등급	지방도, 시도, 군도
철도구조물	내진특등급	내진Ⅰ등급구조물중 복구난이도가 높고 경제사회적으로 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	국방, 치안유지 및 국가산업 활동에 중요역할을 하는 철도선상이나 도시지하철상의 교량,고가역사,지하철터널역사,터널,전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 구조물
건축물	내진특등급	방송국, 유독폭발성물질을 다량보관하는 구조물
	내진Ⅰ등급	소방서, 경찰서, 종합병원, 통신시설, 발전소, 바닥면적이 5000㎡이상인 집회시설, 바닥면적 10000㎡이상인 판매시설, 내진특등급 구조물을 지원하기 위해 필요한 시설물, 교육용건물, 교도소 및 구금시설, 6층 이상의 아파트나 숙박시설, 공공건물중 지진전후로 가동되어야 하는 건축물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 건축물

<그림 2.1-8> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 2.1-91> 설계지반운동 수준

구 분	특등급	Ⅰ등급	Ⅱ등급
붕괴방지수준	평균재현주기 2400년	평균재현주기 1000년	평균재현주기 500년
	-	해당	-

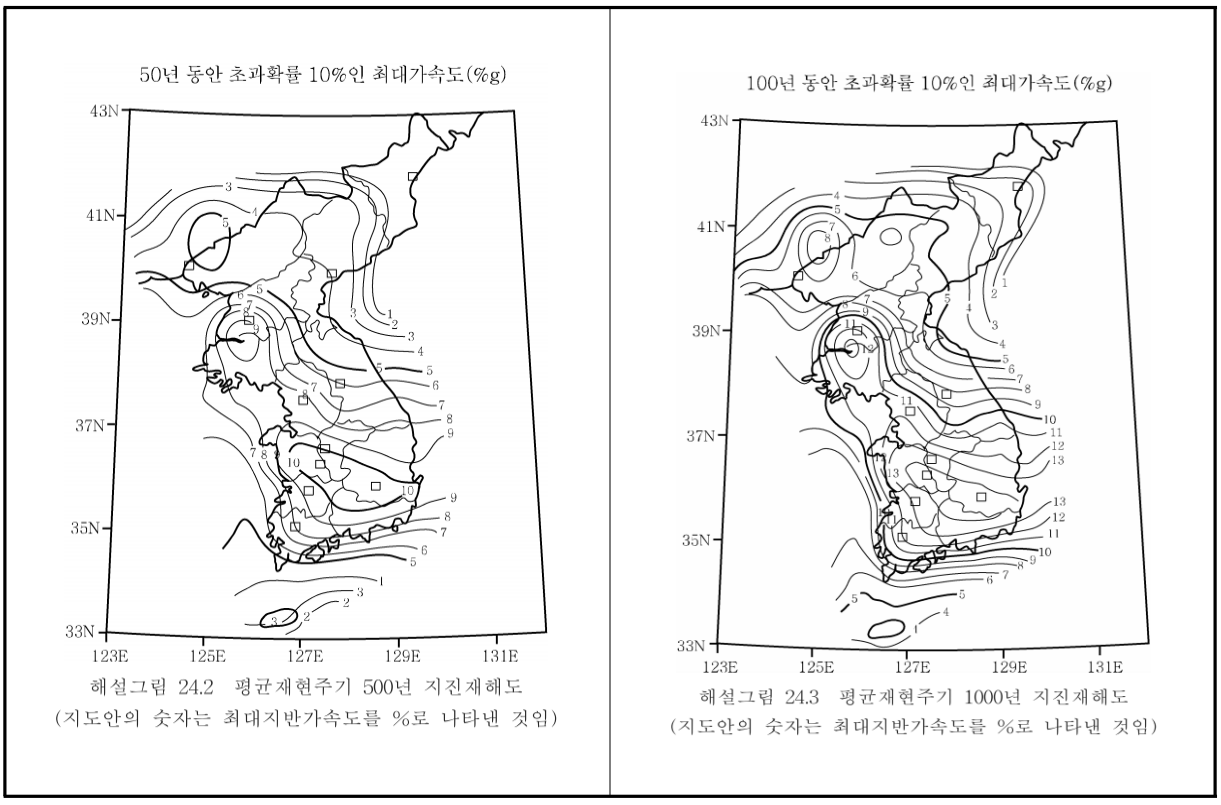
2) 설계지반운동

① 지반가속도계수

지반가속도계수는 지표면 자유장 최대가속도로 해당 지역의 보통암 암반노두를 기준으로 평가하며 지표면에서의 지반가속도계수는 국지적인 토질조건, 지질조건과 지표 및 지하지형이 지반운동에 미치는 영향을 고려해야 한다. 다만 깍기비탈면의 경우 보통암 상태의 노두가 노출되는 경우는 지진재해도 및 지진구역도에서 제시하는 지반가속도계수를 직접적으로 이용할 수 있다.

② 지진재해도를 이용한 지반가속도계수의 산정

지진의 평균 재현주기별로 작성된 지진재해도를 활용하여 비탈면의 내진등급에 따른 지반가속도계수를 산정한다.



해설그림 24.2 평균재현주기 500년 지진재해도
(지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

해설그림 24.3 평균재현주기 1000년 지진재해도
(지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

<그림 2.1-9> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

비탈면이 위치한 지역의 지진구역계수와 내진등급별 재현주기에 따른 위험도계수의 곱으로 지반가속도계수를 산정한다.

<표 2.1-92> 지진구역 구분 및 지진구역계수(재현주기 500년)

지진구역	행정구역		지진구역계수(g)
Ⅰ	시	. 서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시	0.11
	도	. 경기도, 강원도 남부(1), 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 북동부(2)	
Ⅱ	도	. 강원도 북부(3), 전라남도 남서부(4), 제주도	0.07

(1) 강원도 남부(군, 시) : 영월, 정선, 삼척시, 강릉시, 동해시, 원주시, 태백시

(2) 전라남도 북동부(군, 시) : 장성, 담양, 곡성, 구례, 장흥, 보성, 화순, 광양시, 나주시, 여수시, 순천시

(3) 강원도 북부(군, 시) : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천시, 속초시

(4) 전라남도 남서부(군, 시) : 무안, 신안, 완도, 영광, 진도 ,해남, 영암, 강진, 고흥, 함평, 목포시

<표 2.1-93> 지진구역 구분 및 지진구역계수(재현주기 1000년)

재현주기	50년	100년	200년	500년	1000년	2400년
위험도계수	0.4	0.57	0.73	1.00	1.40	2.0

지진구역계수는 각 지진구역별로 평균재현주기 1000년을 기준으로 결정되었으므로 위험도 계수를 이용하여 다른 재현주기에서의 구역별 최대 유효지반가속도를 결정한다.

지역별 최대 유효지반 가속도, g값 = 지진구역계수 × 위험도 계수

3) 지진가속도계수 선정

대상 비탈면의 주구조물은 고속도로로서 비탈면 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치므로 내진등급1등급으로 평가된다. 따라서 지진구역은 I구역으로 재현주기에 따른 위험도계수를 고려한 결과 지진가속도계수는 0.154g이다. 이는 수평방향의 성분으로서 수직방향의 성분의 지진계수는 수평방향의 2/3을 적용한다.(구조동역학(2005) 김두기 : 2/3, 일본기준 : 1/2로 제안)

마. 비탈면 검토구간 및 현황

<표 2.1-94> 검토대상 비탈면구간 및 현황

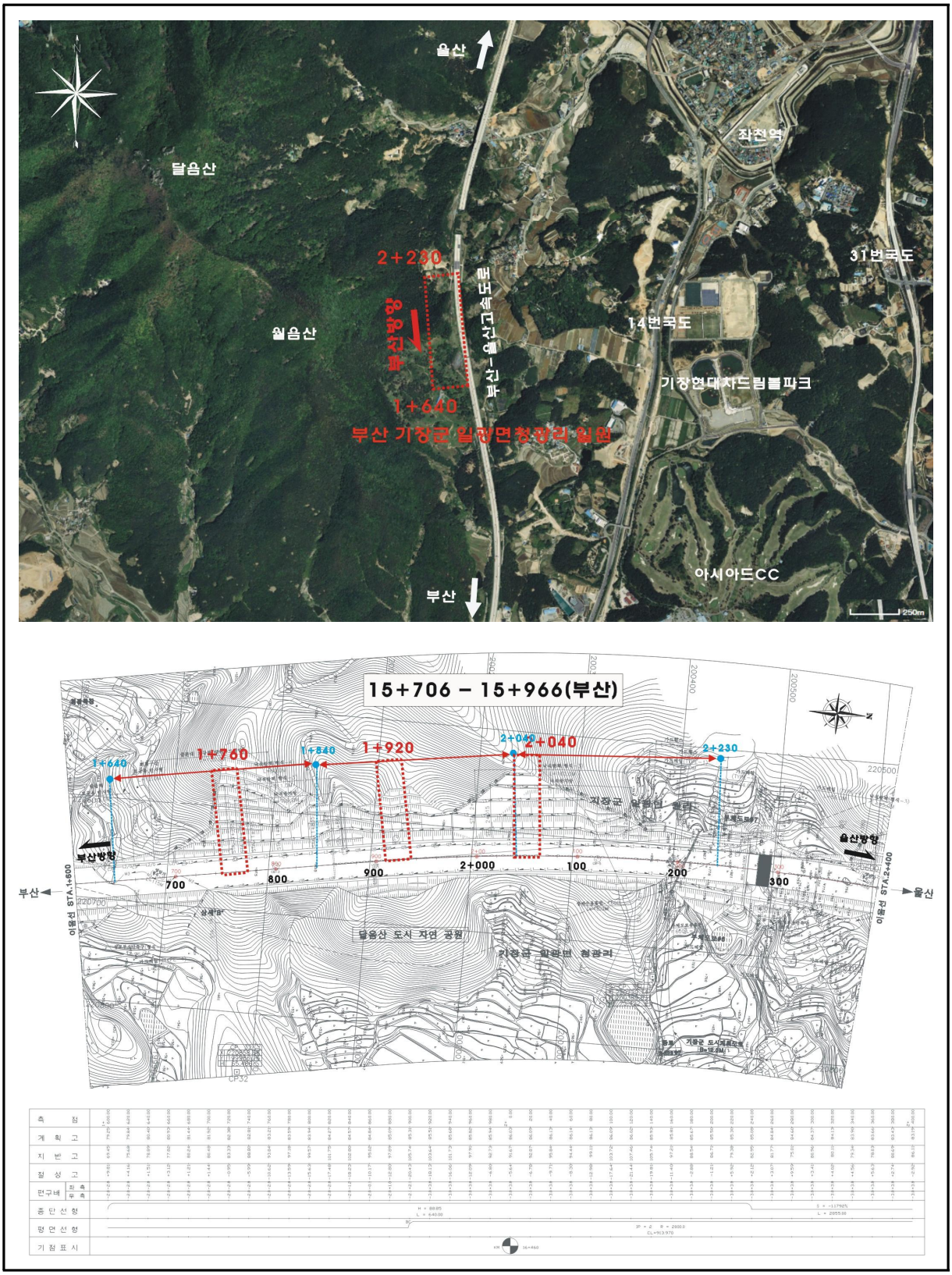
구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
STA.15+706~15+966 (부산)	부산광역시 기장군 일광면 청광리	15.70 ~	STA.1+760	65.2	22	43.2	소일레일	2008	45/089
			STA.1+920	36.3	20.8	15.5	-	2008	45/089
			STA.2+040	57.4	9.2	48.2	-	2008	45/089

※ 부산기점 STA.을 설계도면에서 표시된 공구별 STA.으로 분할하여 표시, 검토 표시하였음

<그림 2.1-10> 부산.울산선 검토대상 비탈면구간

사. STA.15+706~15+966(부산) 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



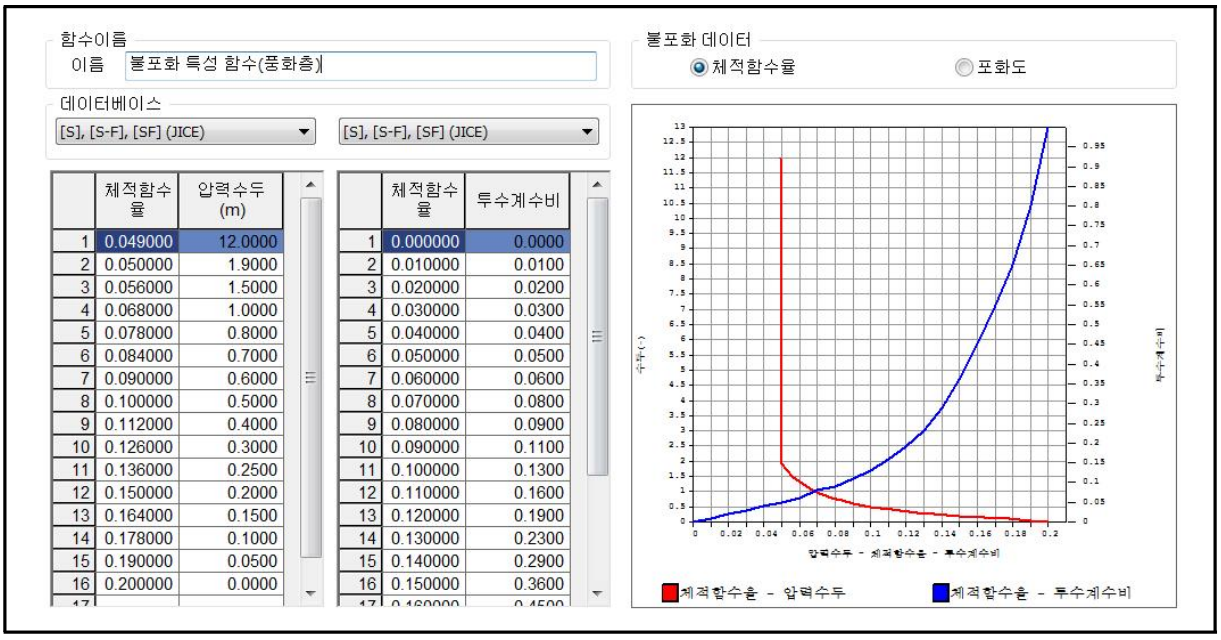
<그림 2.1-11> 부산.울산선 검토대상 비탈면구간

2) 적용 지반정수

지반 정수값은 대상시설물의 실시설계 지반조사보고서 및 주변에서 실시한 지반보고서를 비교, 분석하여 현장 시험값을 기초로 일반적 안전측으로 적용하였다. 투수계수는 문헌자료를 검토하여 일반적인 값을 적용하였다.

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 MPa	투수계수 ㎝/sec	비 고
풍화토	18	28	0.02	1.0E-03	
풍화암	20	30	0.03	1.0E-04	
연암	24	32	0.10	1.0E-05	

지반의 불포화토 특성은 JICE(일본국토기술연구센터, 2007)기준을 적용하였으며 대상지역의 풍화토 및 풍화암의 주된 성분이 실트질 모래 또는 모래섞인 실트로 JICE 기준의 사질토로 구분하여 적용하였다.



	체적함수율	압력수두 (m)
1	0.049000	12.0000
2	0.050000	1.9000
3	0.056000	1.5000
4	0.068000	1.0000
5	0.078000	0.8000
6	0.084000	0.7000
7	0.090000	0.6000
8	0.100000	0.5000
9	0.112000	0.4000
10	0.126000	0.3000
11	0.136000	0.2500
12	0.150000	0.2000
13	0.164000	0.1500
14	0.178000	0.1000
15	0.190000	0.0500
16	0.200000	0.0000

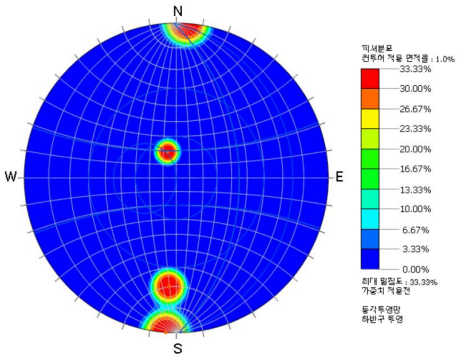
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 2.1-12> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

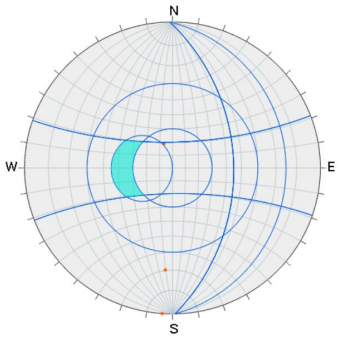
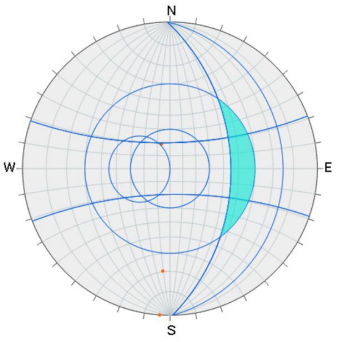
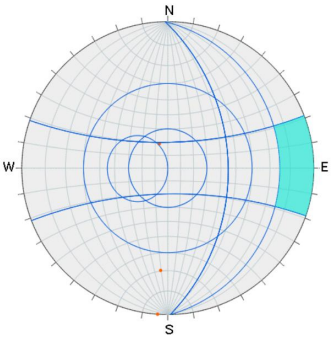
3) 1구간 (STA.1+760, 부산)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		70	4
		20	161
		20	161
		20	161
		20	161
		90	4
		90	4
		90	4

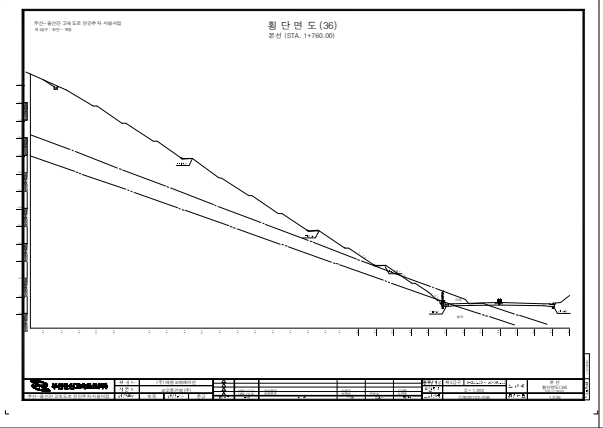
◦ 해석결과

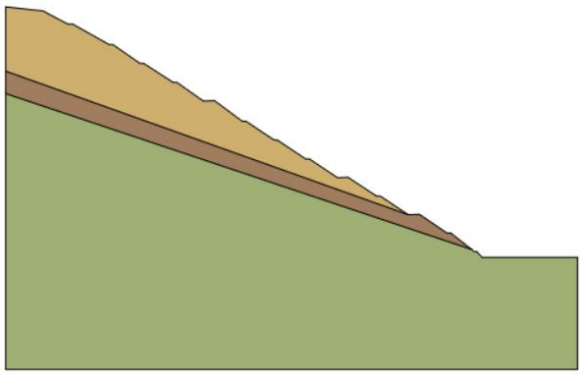
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

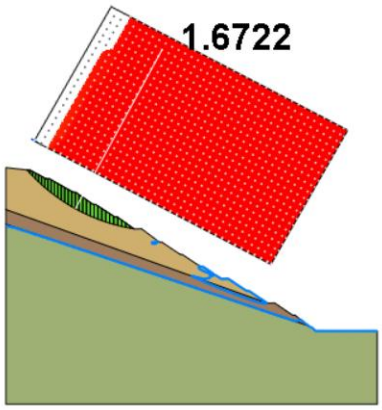
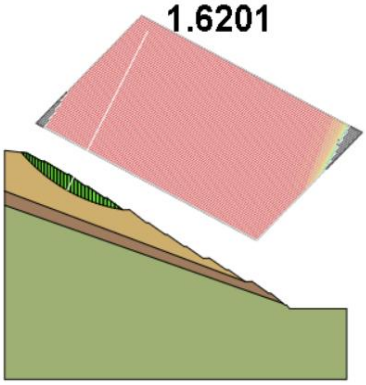
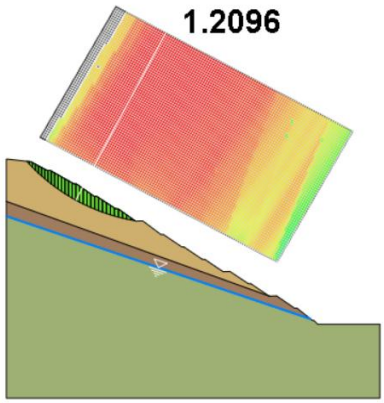
◦ 검토단면





대표단면 : STA.1+760, 부산

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 1.67	안전율 : 1.62	안전율 : 1.20

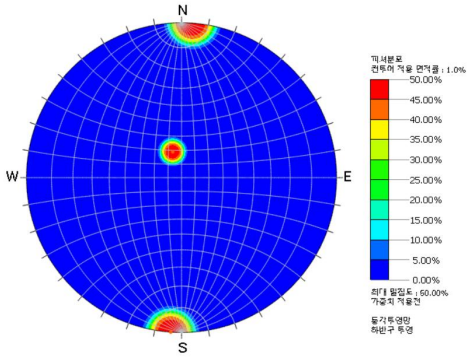
③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	우기시는 침투조건고려
	우기시	Fs ≥ 1.3 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

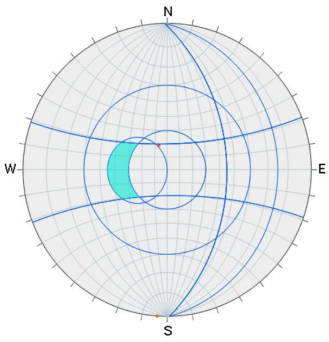
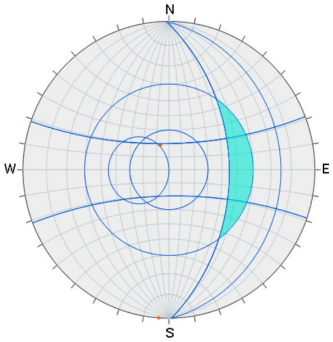
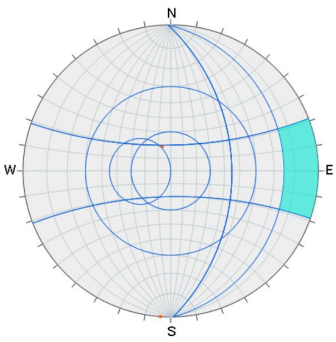
4) 2구간 (STA.1+920, 부산)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		20	161
		20	161
		20	161
		90	4
		90	4

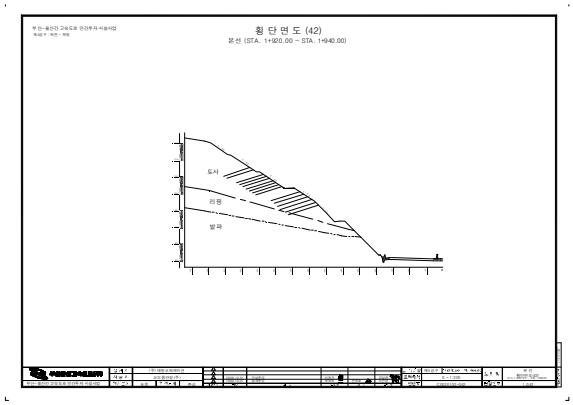
◦ 해석결과

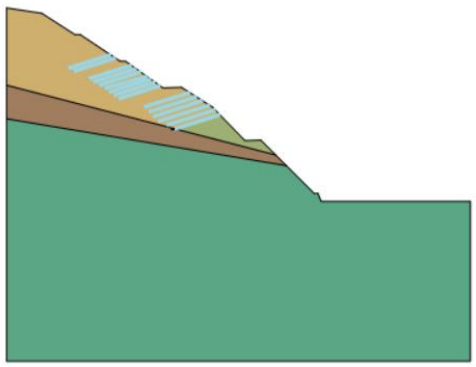
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	일부 가능성	가능성
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

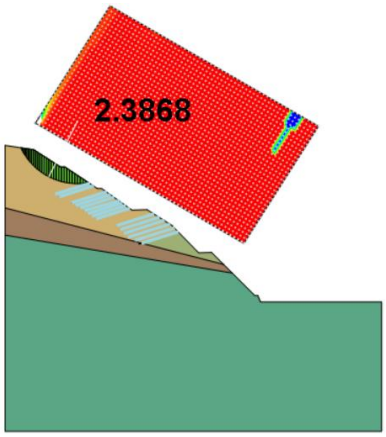
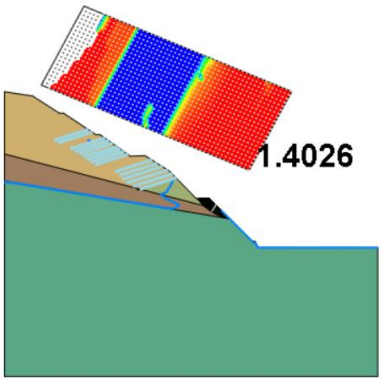
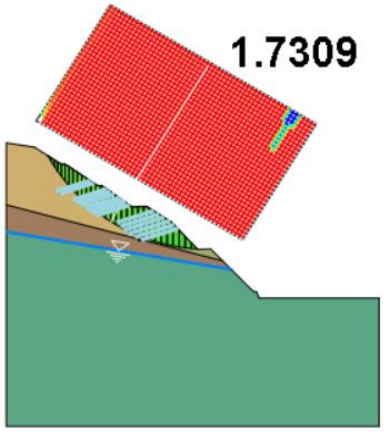
◦ 검토단면





대표단면 : STA.1+920, 부산

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.38	안전율 : 1.40	안전율 : 1.73

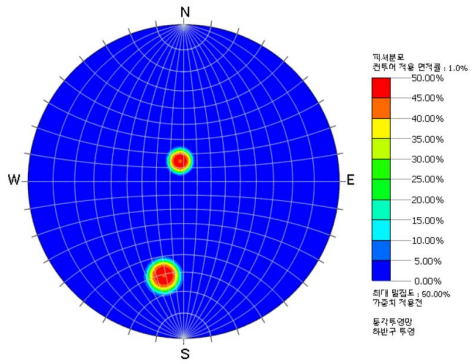
③ 2구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	우기시는 침투조건고려
	우기시	Fs ≥ 1.3 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

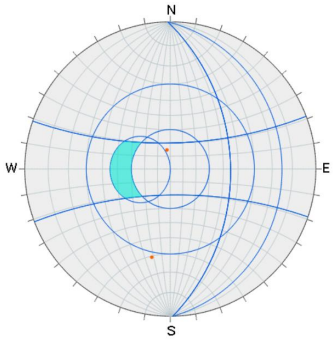
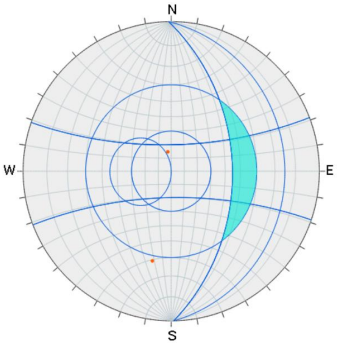
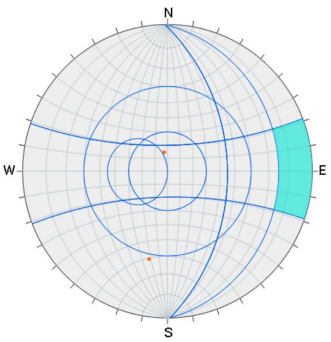
5) 3구간 (STA.2+040, 부산)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		15	170
		63	12
		15	170
		15	170
		15	170
		63	12
		63	12

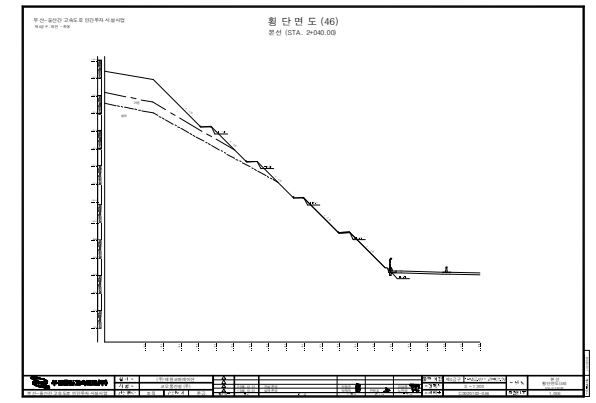
◦ 해석결과

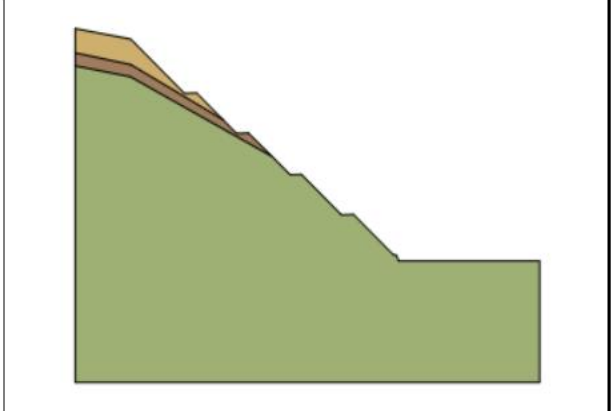
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	일부 가능성	가능성
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

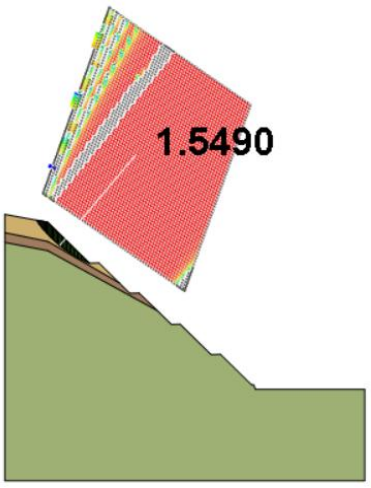
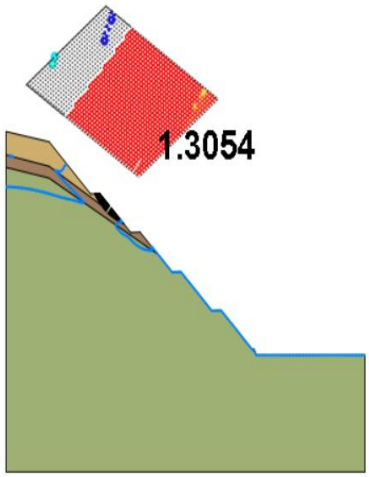
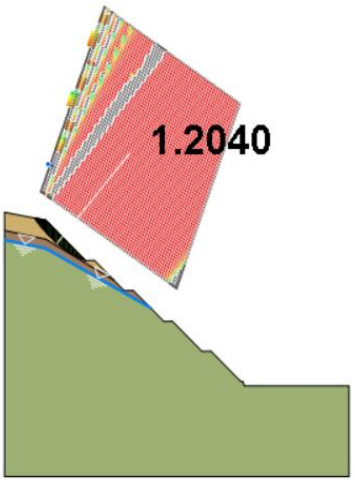
◦ 검토단면





대표단면 : STA.2+040, 부산

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 1.54	안전율 : 1.30	안전율 : 1.20

③ 3구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	우기시는 침투조건고려
	우기시	Fs ≥ 1.3 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

아. 안전성능평가 결과

구조안전성능평가는 설계 당시의 자료 및 금회 조사된 자료를 검토·분석하여 평가하기로 한다. 설계시 평사투영해석 결과 전도파괴 가능성이 분석되어 한계평형해석을 시행한 결과 건기 및 우기시 허용안전율을 상회하는 것으로 검토되었다. 금회 현장조사를 통한 평사투영해석 결과 각각의 파괴유형에 대한 안전한 것으로 분석되어 구조안전성능평가는 A등급으로 평가되었다.

<표 2.1-95> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**부산기점 STA.47+050~47+630**		
구성 재료	**파괴유형**	**최소안전율**	**평가 결과**	**비 고**
암반구간 (평사투영 해석)	평면파괴	안정	a	평면파괴 가능성 없음
	전도파괴	안정	a	전도파괴 가능성 없음
	쐐기파괴	안정	a	쐐기파괴 가능성 없음
토사구간 (한계평형 해석)	건기시	1.54	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	1.30	a	Fs ≥ 1.3 ⇨ O.K
	지진시	1.20	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

3.4.3 안전성능평가 결과

안전성능 평가는 상태안전성능과 구조안전성능 평가를 실시하여 둘 중 낮은 등급 결과에 따라 최종등급을 결정하여 그에 대한 대책을 마련한다.

상태안전성능평가 결과, 불연속면의 특성 및 지반 변형 등은 양호한 상태인 것으로 확인되었고 상태안전성능평가 결과 A등급으로 평가 되었다.

금회 본 시설물의 안전성능평가 결과, 일부 부재에서 경미한 결함이 발생하였으며, 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.

<표 2.3-49> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**부산기점 STA.47+050~47+630**		
평가 구분	결함지수	평가 결과	비 고
상태안전성능	0.170	B	인장균열 없음
구조안전성능	0.080	A	특이파괴 유형 없음
안전성능	0.170	B	
안전성능 결과	ㅇ상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ㅇ**안전성능평가 결과 : B등급**		

<표 2.3-50> 안전성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

안전등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00 ≤(E)< 0.15	외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준
B (양호)	0.15 ≤(E)< 0.30	일부 부재에서 경미한 결함이 발생하였으며, 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30 ≤(E)< 0.55	광범위한 부재에서 결함이 발생하였으나, 전체적이 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강이 필요한 성능수준
D (미흡)	0.55 ≤(E)< 0.75	심각한 결함에 대한 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용 제한 여부를 결정해야 하는 성능 수준
E (불량)	0.75 ≤(E)< 1.00	심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축이 필요한 수준

3.5 내구성능 평가

3.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 2.3-51> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		절리암반사면	SR = 0/52 = 0.00
공용기간		10년	2008년 12월 준공
암반구간 설계(초기)강도		경암 : 20.27~24.15MPa	
면적	전체	15,636㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	15,636㎡	
표면보호공	식 생	15,434㎡	
	숏크리트	202㎡	
사면보강공	-	-	

3.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

본 비탈면은 토층심도율을 적용한 결과 암반사면에 해당되며, 지반상태(암반), 표면보호공 및 사면보강공, 절리상태 및 풍화진행도에 대해 평가하기로 한다.

<표 2.3-52> 사면 형식별 내구 성능 지표

구 분	평가 요소		
	토사사면	암반사면	혼합사면
절토사면	○ 지반상태(토질) ○ 표면보호공 ○ 사면보강공	○ 지반상태(암반) ○ 표면보호공 ○ 사면보강공 ○ 절리상태 및 풍화진행도	○ 토사사면과 암반사면 지표를 모두 고려

3.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 2.3-53> 암반사면의 지반상태 평가 기준

항목	등급	그룹 A 암석 예			
		설계(초기 점검값) 대비 강도			
		극경암	경암	보통암	연암
지반상태 (암반)	a	97.5%이상 100%이하	96.0%이상 100%이하	94.0%이상 100%이하	90.0%이상 100%이하
	b	96.0%이상 97.5%미만	90.0%이상 96.0%미만	88.0%이상 94.0%미만	80.0%이상 90.0%미만
	c	92.5%이상 96.0%미만	86.0%이상 90.0%미만	82.0%이상 88.0%미만	70.0%이상 80.0%미만
	d	90.0%이상 92.5%미만	80.0%이상 86.0%미만	76.0%이상 82.0%미만	60.0%이상 70.0%미만
	e	90.0%미만	80.0%미만	76.0%미만	60.0%미만

<표 2.3-54> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
16.065km	113.4	132.8	초기 강도값(경암) : 85.4MPa 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
16.065km	126.9	148.6	
16.305km	137.3	160.8	
평균값	125.87	147.4	
등급	**A등급**		

<표 2.3-55> 표면보호공 평가 결과

항목	등급	보호공의 종류	
		식생 (식생 피복율, %)	콘크리트뿜어붙이기 (손상 면적율, %)
표면 보호공	a	매우 양호(90% 이상)	균열 및 박락 없음(0~10% 미만)
	b	양호(70%이상~90%미만)	일부 균열 발생(10%이상~30%미만)
	c	보통(50%이상~70%미만)	균열 및 일부 박락 발생(30%이상~50%미만)
	d	불량(30%이상~50%미만)	박락으로 일부 유실된 상태, 누수발생(50%이상~70%미만)
	e	매우 불량(0%~30%미만)	대부분의 범위에서 박락 및 유실, 누수발생(70%이상)

<표 2.3-56> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	15,636/15,636㎡	100.0%	-	-	
평가	식생 피복율이 100.0%이므로 "a등급"으로 평가함.				

<표 2.3-61> 암반의 풍화도 평가 등급 및 기준

평가항목	절리상태 및 풍화진행도				
	a	b	c	d	e
길이	< 1m	1~3m 미만	3~10m 미만	10~20m 미만	≥ 20m
틈새	0	< 0.1㎜	0.1~1㎜미만	1~5㎜ 미만	≥ 5㎜
거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄
충전물	없음	단단한 충전물 (< 5m)	단단한 충전물 (≥ 5m)	연약한 충전물 (< 5m)	연약한 충전물 (≥ 5m)
풍화진행도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화

<표 2.3-62> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(Set A)		
	Set 1	Set 2	Set 3
길이(m)	< 1	< 1	< 1
	a(0)	a(0)	a(0)
틈새(㎜)	< 0.1	0.1~1.0㎜	< 0.1
	b(5)	c(10)	b(5)
거칠기	약간 거침	약간 거침	약간 거침
	c(10)	c(10)	c(10)
충전물	hard	hard	hard
	b(5)	b(5)	b(5)
풍화진행도	Fresh	SW	Fresh
	a(0)	b(5)	a(0)
합 계	20	25	20
평 균	5.0	5.0	5.0
평가 결과	b	b	b

평가항목	불연속면(Set B)		
	Set 4	Set 5	Set 6
길이(m)	1~3	< 1	-
	b(5)	a(0)	-
틈새(㎜)	0.1~1.0	< 1	-
	c(10)	b(5)	-
거칠기	약간 거침	약간 거침	-
	c(10)	c(10)	-
충전물	hard	hard	-
	b(5)	b(5)	-
풍화진행도	Fresh	Fresh	-
	a(0)	a(0)	-
합 계	20	20	-
평 균	6.0	6.0	-
평가 결과	b	b	-

평가항목	불연속면(Set C)		
	Set 7	Set 8	Set 9
길이(m)	1~3	< 1	-
	b(5)	a(0)	-
틈새(㎜)	0.1~1.0㎜	<0.1	-
	c(10)	b(5)	-
거칠기	약간 거침	약간 거침	-
	c(10)	c(10)	-
충전물	hard	hard	-
	b(5)	b(5)	-
풍화진행도	Fresh	Fresh	-
	a(0)	a(0)	-
합 계	30	30	-
평 균	6.0	6.0	-
평가 결과	c	c	-

<표 2.3-63> 절리상태 및 풍화진행도 평가 결과

시험 개소	시험개소별 등급	등급 점수	비 고
Set A- Set 1	b	0.23	
Set A- Set 2	b	0.23	
Set A- Set 3	b	0.23	
Set B- Set 4	b	0.23	
Set B- Set 5	b	0.23	
Set B- Set 6	-	-	
Set C- Set 7	c	0.48	
Set C- Set 8	c	0.48	
Set C- Set 9	-	-	
평균값		0.20	최소 및 최대 제외
등 급		**b**	

3.5.4 내구성능 평가 결과

1) 혼합사면 내구성능 가중치

본 비탈면은 혼합 사면으로 토사사면과 암반사면을 구분하여 평가하고, 각각의 해당되는 평가항목을 고려하여 가중치 보정값을 적용하기로 한다.

<표 2.3-64> 사면형식에 따른 지표별 가중치

사면구분	지표명	지표별 가중치				
		기본	가중치 보정			
암반사면	지반상태(암반)	25	28	33	38	-
	절리상태 및 풍화진행도	40	44	53	62	80
	표면보호공	10	-	14	-	20
	사면보강공	-	-	-	-	-

2) 암반구간 내구성능 등급

<표 2.3-66> 암반사면 내구성능 등급 산정

평가항목	등급	등급 점수 (a)	가중치 (b)	결함지수 (a)×(b)
지반상태(암반)	a	0.08	0.33	0.026
절리상태 및 풍화진행도	b	0.20	0.53	0.106
표면보호공	a	0.08	0.14	0.011
결함도 지수				0.143
등 급				**A**

금회 본 시설물의 내구성능평가 결과, 외부 환경조건 등으로 인한 내구성능 저하가 발생할 가능성이 낮은 성능 수준인 A등급으로 평가되었다.

<표 2.3-68> 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

안전등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00 ≤(E)< 0.15	외부 환경조건 등으로 인한 내구성능 저하가 발생할 가능성이 낮은 성능 수준
B (양호)	0.15 ≤(E)< 0.30	일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30 ≤(E)< 0.55	광범위한 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었거나 주의가 필요한 수준으로 진행되어 간단한 보수가 필요한 성능 수준
D (미흡)	0.55 ≤(E)< 0.75	광범위한 부재에서 내구성 저하가 진행되어 긴급한 보수 또는 교체가 요구되는 성능 수준
E (불량)	0.75 ≤(E)< 1.00	광범위한 부재에서 내구성능의 저하가 심각하게 진행되어 즉각 사용을 금지하고 보수 또는 교체가 필요한 성능수준

3.6 종합평가

3.6.1 종합평가 개요

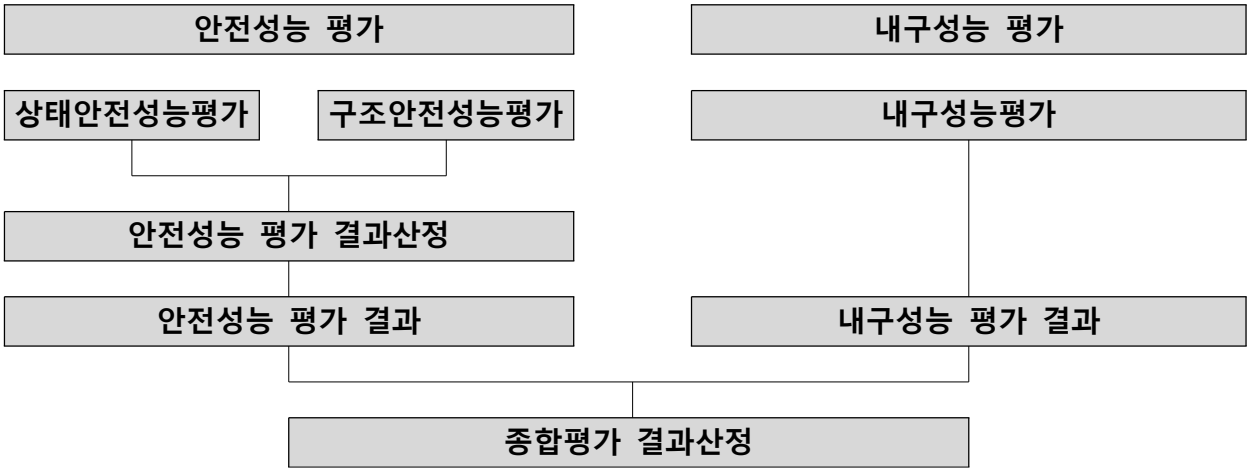
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때

· 안전성능 평가지수가 종합평가의 대표 지수로 산정

○ 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급이 아닐 경우

· 안전성능과 내구성능 각 성능항목의 가중치를 고려하여 산정



<그림 2.6-2> 종합평가 흐름도

3.6.2 종합평가 결과 산정결과

종합평가의 산정방법은 안전성능 평가와 내구성능 평가 지수에 대해 각 성능항목에 따라 부여된 가중치를 곱한 값을 합산하여 구한다. 단, 안전성능평가 결과가 최하위 등급일 경우에는 가중치와 상관없이 안전성능평가 결과를 최종등급으로 산정한다.

사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn))

<표 2.3-69> 성능간 가중치 산정 값

구분	분류	성능항목	
		안전성능	내구성능
성능간 가중치 (Wn)	일반도로 사면 고속도로 사면 일반철도 사면 고속철도 사면	0.8	0.2

<표 2.3-70> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	부산울산선 STA.15+706~15+966(부산)		**분류**	부산울산고속도로
평가 구분	**성능평가 지수**	**평가 결과**	**성능간가중치(Wn)**	**비 고**
안전성능평가	Ps=0.170	B	0.8	인장균열 없음
내구성능평가	Pd=0.143	A	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.170 × 0.8) + (0.143 × 0.2) = 0.165 ㅇ종합평가 결과 : B등급			

당해 시설물에 대해 종합적으로 성능평가를 실시한 결과 종합성능등급은 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B등급(양호)인 것으로 평가되었다.

<표 2.3-71> 절토사면의 종합평가 결과에 따른 종합성능 등급 기준

종합성능 등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00≤(P)<0.15	외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준
B (양호)	0.15≤(P)<0.30	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30≤(P)<0.55	광범위한 부재에서 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사 되었고 기능 또는 사용상의 편의에 일부 문제점이 있으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강 및 개선이 필요한 성능 수준
D (미흡)	0.55≤(P)<0.75	성능이 기준에 미치지 못하여 시설물의 지속적인 사용이 어려운 수준으로 긴급한 보수.보강 또는 개선이 필요하며 사용제한 여부를 검토해야 하는 성능 수준
E (불량)	0.75≤(P)<1.00	심각한 결함 또는 내구성능 저하로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있거나 기능을 발휘하지 못하는 수준으로 즉각 사용을 중단하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 성능 수준

3.7 유지관리 전략 제안

시설물의 성능목표를 설정하기 위해 성능평가 실시결과와 함께 시설물의 사용환경 등을 검토하여 성능목표에 대한 등급을 지정하여야 한다.

3.7.1 성능목표 설정

『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 성능평가편(2019.01)』에서의 절토사면의 성능목표는 대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 B등급으로 설정하도록 하였다.

□시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법□제6조 제9항 및 동법 시행령 제3조 제4항, 제5항에 의거 5년주기의 "중기 시설물 관리계획"을 수립하여야 한다. 중기 시설물 관리계획에 성능평가 대상시설물에 대한 성능목표 및 관리기준이 설정되어야 하나 아직 계획수립 전에 금회 성능평가가 실시되기 때문에 본 시설물의 성능목표는 관리주체 의견과 관련 법규를 종합적으로 분석하여"B(0.15≤P<0.30)"으로 설정하였다.

<표 2.3-72> 성능목표 등급의 분류기준에 따른 평가점수 범위

기준	A	B	C	D	E
결함도 범위	0.0≤P<0.15	0.15≤P<0.30	0.30≤P<0.55	0.55≤P<0.75	0.75≤P
성능목표	**B등급** 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준				

3.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "B등급(0.165)"으로 평가되었다.

<표 2.3-73> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.170	0.143	0.165
평가결과	B	A	B

3.7.3 유지관리 전략 제안

유지관리 전략 제안의 목적은 모든 보수·보강 후보를 대상으로 성능평가지표인 상태안전성능, 구조안전성능, 내구성능, 사용성능에 근거하여 경제적 측면, 환경적 측면, 사회적 영향 등을 고려하여 우선적으로 조치하여야 할 대상을 선정하는데 있다.

가. 손상별 보수·보강 방안

노후화된 구조물에 대한 보수·보강은 손상구조물의 영향정도, 구조물의 중요도, 사용환경조건 및 경제성 등에 의해서 보수·보강 공법 및 수준을 정한다. 본 절토사면의 성능평가 결과, 성능목표 등급인 "B등급"으로 금회 조사된 손상들에 대해서는 현상유지 수준의 주의관찰과 손상 진전 억제를 위한 보수가 적정할 것으로 판단된다.

<표 2.3-74> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구 분		손상 내용	보수·보강방안	보수.보강 수준
표면 보호공	표층	상태양호	주의관찰	현상유지
배수 조건	소단배수로	일부 퇴적	정비	현상유지
	산마루측구	상태양호	주의관찰	현상유지
상부 자연비탈면		상태양호	주의관찰	현상유지

나. 유지관리 전략 제안

본 비탈면은 현재 목표성능 등급인 "B등급"의 상태를 유지하고 있으며, 관리주체의 장기적 운영계획에 따라 성능수준 향상이 요구될 경우, 발생 손상들에 대해 아래와 같은 우선순위별 보수방안을 통한 유지관리 전략을 제안한다.

<표 2.3-74> 보수.보강 개략공사비

구 분	수량	단위	단가(천원)	공사비(천원)	비고
배수로 균열 보수	4.0	m	75	300	
배수로 파손 보수	1.0	㎡	230	230	
배수로 정비	1식	-	200	200	
순 공사비(천원)				730	
재 경 비(천원)				365	
총 공사비(천원)				1,095	

※ 상기의 계략공사비는 순공사비 기준이며 실시설계시 공법선정 및 현장여건상 변동될 수 있음.
※ 보수물량은 보수효과 및 시공성을 위해 손상물량×1.5를 적용함

3.8 종합결론

본 성능평가는 현장조사 및 각종시험에 의해 시설물의 성능을 종합적으로 평가하여 시설물의 객관적인 현재의 상태와 장래의 성능 변화를 파악·예측하고, 이를 통해 관리주체가 보수·개량·교체 등의 최적시기 결정 등 합리적 유지관리 전략을 마련하는 데 그 목적을 두고 시행하였다.

1) 안전성능 평가는 외관상 관찰되는 시설물의 결함을 중심으로 조사·평가하였다. 상태안전성능평가 결과, 불연속면의 특성 및 지반 변형상태 등은 양호한 것으로 확인되었고, 상태안전성능평가 결과 B등급으로 평가 되었다. 일부 구간에서 배수로 균열, 파손, 들뜸, 옹벽 균열, 녹생토 유실 등의 일부 손상이 확인되었다. 현재 손상 상태는 경미한 결함으로 시설물의 안전성에 미치는 영향은 매우 미소한 상태이다. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 결과, 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
2) 내구성능평가는 시간에 따라 변화하는 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로서 본 비탈면의 절리상태 및 표면 보호상태에 대한 평가를 시행하였다. 그 결과 외부 환경조건 등으로 인한 내구성능 저하가 발생할 가능성이 낮은 성능 수준인 A등급으로 평가되었다.

3) 안전성능평가, 내구성능평가 결과를 종합적으로 분석할 때, 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B(양호)등급으로 평가되었다.

4) 본 절토사면의 성능평가 결과, 성능목표인 "B등급"과 동일한 "B등급"인 상태로 주기적인 점검 및 관리를 통한 평가저해요소에 대한 관리가 이루어진다면 시설물의 안전 및 내구성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

제4장 부산울산선 Sta.16+200~16+646(부산)

4.1 대상 시설물 현황

4.2 관련 자료의 분석

4.3 현장조사

4.4 안전성능평가

4.5 내구성능평가

4.6 종합평가

4.7 유지관리전략 제안

4.8 종합결론

제4장 부산울산선 Sta.16+200~16+646(부산)

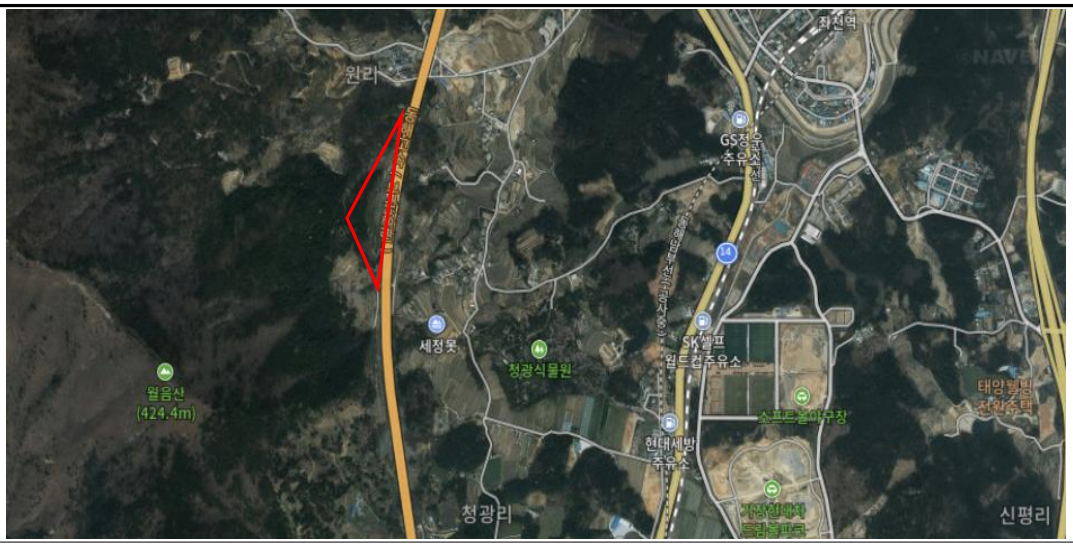
4.1 대상 시설물 현황

성능평가 대상 시설물인"절토사면-부산울산선 Sta.16+200~16+646(부산)"비탈면 현황은 다음과 같다.

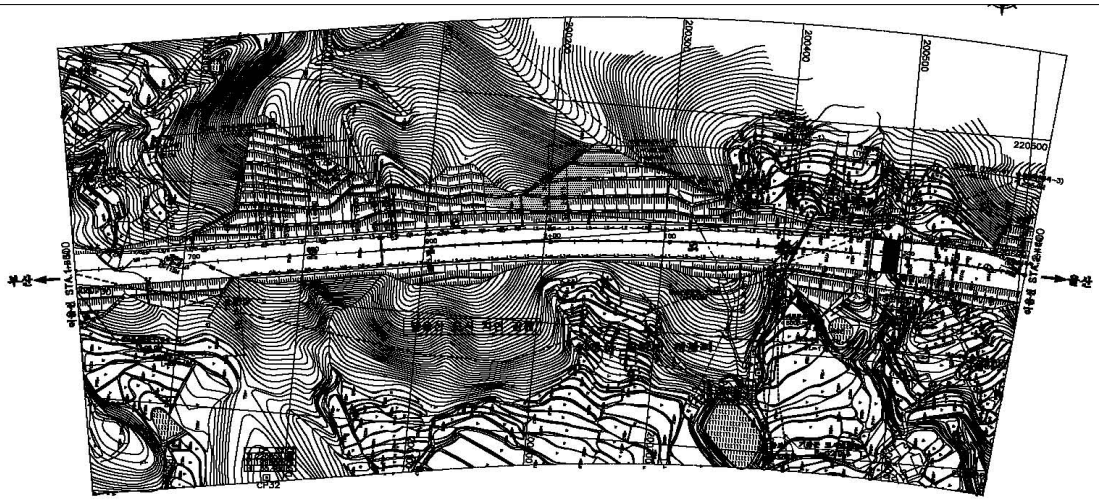
<표 2.4-1> 시설물 현황(부산울산선 Sta.16+200~16+646(부산))

<table>
<tr><td>시설물 번호</td><td colspan="3">SL2008-0000051</td><td>관리번호</td><td>-</td></tr>
<tr><td>시설물명</td><td colspan="3">절토사면-부산울산선 Sta.16+200~16+646(부산)</td><td>시설물구분</td><td>2종시설물</td></tr>
<tr><td rowspan="3">위 치</td><td>행정구역</td><td colspan="4">부산광역시 기장군 일광면 원리 산116-1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위치좌표</td><td colspan="4">시점 : N (35°18' 27.43"), E (129°13' 40.74")</td></tr>
<tr><td colspan="4">종점 : N (35°18' 15.25"), E (129°13' 37.89")</td></tr>
<tr><td rowspan="2">제 원</td><td>연 장</td><td>395m</td><td>높 이</td><td colspan="2">54m</td></tr>
<tr><td>경사/방향</td><td>45/106</td><td>노 선</td><td colspan="2">고속국도65호선</td></tr>
<tr><td>관리주체</td><td colspan="2">부산울산고속도로(주)</td><td>관리주체구분</td><td colspan="2">민간</td></tr>
<tr><td rowspan="2">주변환경</td><td>인공구조물</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>주변지형</td><td>산악지형</td><td>자연비탈면경사</td><td colspan="2">-5°</td></tr>
<tr><td rowspan="2">시공현황</td><td>준공년도</td><td>2008년 12월 31일</td><td>시 공 자</td><td colspan="2">코오롱건설(주)</td></tr>
<tr><td>부대시설</td><td colspan="4">낙석방지망, 낙석방지울타리, 야생동물유도울타리, 점검계단, 수직도수로, 일광터널</td></tr>
<tr><td>비 고</td><td colspan="5"></td></tr>
<tr><td colspan="6"> </td></tr>
<tr><td colspan="6">대상 비탈면 전경</td></tr>
</table>

※ 상기의 제원 및 현황은 실측 제원임. FMS의 시설물관리대장상의 제원과 다소 상이.



위 치 도



평 면 도

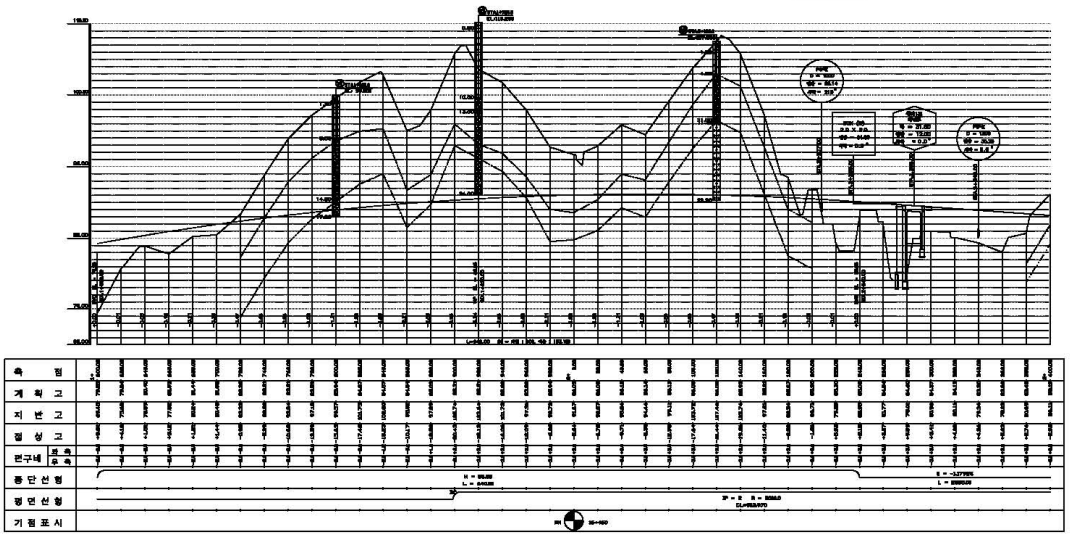


표 준 단 면 도

<그림 2.4-1> 대상 시설물 현황도

4.2 관련 자료의 분석

4.2.1 유지관리 관련 자료 현황

1) 관련 자료 수집 및 분석 현황

자료조사 및 분석은 시설물의 설계, 시공 및 유지관리 관련 자료 및 주변현황 자료로 구분되며 수집된 자료에 대한 분석을 통하여, 첫째로 과업수행의 전체적인 추진방향과 계획을 수립하고, 둘째로 구조물의 이력 확인, 결함 및 손상의 원인분석, 손상의 변화 및 진행성 여부, 보수·보강 대책 및 유지관리 방안을 수립하기 위한 기초자료로 활용하였으며, 자료수집 현황은 다음과 같다.

<표 2.4-2> 유지관리 관련자료 현황

보존대상 목록		보유현황	비 고
설계도서	ㅇ공통 - 준공내역서 - 공사 및 특별시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	 보유 보유 보유 보유 -	ㅇ고속국도 제65호선 부산~울산간 고속도로 민간투자사업 제4공구 준공도서
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등	보유	ㅇ고속국도 제65호선 부산~울산간 고속도로 민간투자사업 제4공구 준공도서
시 설 물 관리대장	ㅇ기본현황 ㅇ상세제원 ㅇ유지관리 이력	보유 보유 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS) ㅇ한국도로공사 비탈면유지관리시스템
시공관련 자 료	ㅇ시공관련자료 ㅇ품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 각종 시험기록 - 시설물 주요 구조 부위에 대한 계측자료 ㅇ사고자료	일부 보유 일부보유 일부보유 일부보유 - - -	ㅇ고속국도 제65호선 부산~울산간 고속도로 민간투자사업 제4공구 준공도서
안전점검 및 정밀안전진단 자료		보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
보수·보강 자료		일부 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)

2) 관련 자료 수집 및 분석 결과

본 시설물은 2008년 준공된 시설물로 설계 및 시공관련 자료 관리 및 보관상태는 대체로 양호한 것으로 조사되었다. 관련자료 분석을 통해 당초 시공시의 개략적인 지반상태를 파악할 수 있다.

4.2.2 지반조사 보고서 분석

본 시설물의 지반조사 분석은 준공도서에 포함된「고속국도 제65호선 부산~울산간 고속도로 민간투자사업(제4공구, 1999년) 지반조사보고서」를 요약·분석하여 성능평가의 기초 자료 활용 및 유지관리시 편의성 제공에 그 목적이 있다.

1) 지 형

본 조사지역은 행정구역상 부산광역시 기장군 일광면 화전리를 시점으로 하여 기장군 장안읍 좌동리를 종점으로 하는 설계구간(L=5.78㎞)에 해당한다.

본 조사지역의 지형상 산계를 관찰해보면 북서쪽의 달음산(586m)과 남서쪽의 양달산(291m)이 북서쪽에서 남서방향으로 연결되고 있으며, 주로 그 능선들이 북서-남서방향으로 그리고 대개 육지의 능선 들은 북동-남동 방향으로 발달되어 있다. 시점부와 종점부는 완만한 지형을 나타내고 있어 현재 농경지로 이용되고 있다.

본 조사지역의 주류를 이루는 수계를 보면남쪽의 설계 시점부의 일광천과 종점부로 가는 중간부분에 계곡과 병행하는 좌광천이 사행하여 동해로 빠져나가는 계곡물로서 비교적 단조로운편이다.

광역적인 관찰에 의한 본 지역의 지형으로 볼때 산세는 대체로 일광면 소재지 서쪽 달음산(586m)에서 동해 남부선철도 쪽에 이르는 부채꼴 모양으로 발전되어 있으나 본노선을 끼는 산세는 북서방향의 비교적 뚜렷한 산준이 발달되어 있으며 대표적으로 본 조사지역을 동-서방향으로 통과하는 좌동-예림리의 국도14호선, 본 노선과 비교적 평행하게 진행하는 동해남부선 철도 연변은 비교적 하폭이 넓고 해안으로 연결되는 산수면도 비교적 다른지역보다 완만한 상태를 나타내고 있다.

일광면과 장안면, 정관면에서의 소규모의 계류는 서측 내륙부보다 각 산능선, 단위산능의 집합체가 각각 분수령의 역할을 함으로서 일정한 방향성 없이 직접 동해바다에 유입된다.

2) 지질 개요

본 조사지역의 광역적인 관찰에 의하면 과업수행 노선지역의 일광면을 중심으로 하여 광범위하게 흑색 또는 암회색 셰일로 구성된 이천리층이 분포하고 있고 노선바깥쪽으로 안산암질암류가 남서쪽의 일광산(378m), 아홉산(360m), 산성(368m)등지에 거대하게 분포하고 있으며 종점부의 좌동리 부근에서는 국부적으로 이천리층을 관입하고 있다. 일광광산 주위에서는 작은 암주상의 독립암체로 흑운모화강암이 나타나고 있으며 덕선리 부근에 화강섬록암이 아주 미세하게 발견되고 있다. 한편 노선의 우측으로는 이천리층과 충적토가 번갈아가며 출현하고 있다.

조사지역에 광범위하게 분포하고 있는 이천리층은 암석중에서 화석이 아직까지 발견된 것이 없기 때문에 그 지질시대를 확실히 알 수가 없지만 구성암석의 여러 가지 특징들로 미루어 보아 대개 경상계의 신라통에 대비되는 것으로 사료된다. 일광면 일대에서 본 층은 인접한 안산암에 의해 대규모로 관입당한 산출상태를 보여 준다.

시점부의 화전리 부근에 있는 충적토는 전역에 걸쳐 계곡 및 낮은 평야지대에 분포된다. 특히 본 조사지역 남동부에는 매우 넓은 충적토로 덮인 평야가 발달되어 있으며 바위, 모래 및 점토 등으로 구성되어 있고 대부분이 농경지로서 이용되고 있다.

종점부의 좌동리 부근에 있는 안산암질암류는 신라통의 화산암류 중에서 초기에 형성된 것이며 국부적으로는 이천리층을 관입한 관입암체도 산출되나, 주로 안산암질암류로 인정되는 산출상태 및 조직을 가지는 암체로 나타난다. 본암은 입도로 보아 세립질인 것, 반상조직을 가지는 것이 조직상의 특징을 다리하는 대표적인 암종이다.

일광산 주위의 흑운모화강암은 일발적으로 중립질의 입상조직을 보여주고, 안산암이나 이천리층을 관입하여 그 접촉부가 미립질로 변화되며 유색광물이 희소해지는 경향을 볼 수 있다.

정관면에서부터 이어져 덕선리 부근에 미세하게 나타나는 화강섬록암의 구성광물은 주로 석영, 사장석, 정장석, 흑운모 등으로 되어 있고 부구성광물로서 각섬석, 연니석, 자철석, 자류광석, 인회석 등이 나타난다. 사장석은 본암의 약 35%로 정장석보다 더 많이 함유되어 있다.

4.2.3 점검 및 진단 이력

본 비탈면은 2009년부터 정기안전점검을 20회, 정밀안전점검 4회 실시한 것으로 조사되었다. 점검 결과 전반적으로 양호한 상태로 특별한 보수·보강을 필요한 구간은 없는 것으로 평가되었다.

<표 2.4-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2009. 08. 04 ~ 2009. 11. 25	정기안전점검	이상없음	양호
2	2010. 01. 02 ~ 2010. 06. 30	정기안전점검	양호	양호
3	2010. 10. 01 ~ 2010. 11. 29	정밀안전점검	절취사면은 퇴적암(셰일)로 이루어져 있으며, 절리상태(절리 간격 및 충진물 유무)가 양호. 사면 파괴요인에서 위험요소 내포하고 있음	B
4	2010. 07. 07 ~ 2010. 12. 08	정기안전점검	양호함	양호
5	2011. 05. 23 ~ 2011. 06. 03	정기안전점검	양호함	양호
6	2011. 11. 01 ~ 2011. 11. 10	정기안전점검	양호함	양호
7	2012. 05. 02 ~ 2012. 05. 03	정기안전점검	이상없음	양호
8	2012. 10. 22 ~ 2012. 10. 24	정기안전점검	이상없음	양호
9	2013. 04. 15 ~ 2013. 04. 30	정기안전점검	이상없음	양호
10	2013. 09. 23 ~ 2013. 09. 27	정기안전점검	이상없음	양호

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전 등급
11	2013. 12. 06 ~ 2013. 12. 25	정밀안전 점검	절취사면은 퇴적암(셰일)로 이루어져 있으며, 절리 상태(절리 간격 및 충진물 유무)가 양호.불연속면 사이 큰나무 다수 자람.낙석방지망, 낙석방지휀스 및 기타구조물(수로, 소단 등) 상태 양호	B
12	2014. 04. 01 ~ 2014. 04. 01	정기안전 점검	양호	양호
13	2014. 09. 01 ~ 2014. 09. 01	정기안전 점검	양호	양호
14	2015. 05. 04 ~ 2015. 05. 04	정기안전 점검	양호	양호
15	2015. 12. 07 ~ 2015. 12. 07	정기안전 점검	양호	양호
16	2015. 09. 29 ~ 2015. 12. 27	정밀안전 점검	좌측 산마루 측구에 걸쳐 있는 규모가 큰 암석(D=1000mm)은 낙석으로 인해 자칫 대형 사고 등을 유발할 수 있으므로 조속히 제거하는 것이 바람직하다. 또한 우측 2단 사면 숏크리트 구간에서 일부 숏크리트가 미타설된 구간에는 숏크리트를 타설하여 추가적인 손상을 방지하는 것이 바람직함	B
17	2016. 06. 07 ~ 2016. 06. 10	정기안전 점검	전반적인 상태양호	양호
18	2016. 10. 10 ~ 2016. 10. 10	정기안전 점검	전반적인 상태양호	양호
19	2017. 04. 24 ~ 2017. 04. 24	정기안전 점검	양호	양호
20	2017. 12. 04 ~ 2017. 12. 04	정기안전 점검	이상 무	양호
21	2017. 09. 29 ~ 2017. 12. 27	정밀안전 점검	사면부 점검결과 : 낙석방지망이 일부 구간에 설치되어 있지 않은 것과 정상부에서 4소단까지 자연수로를 형성하고 있는 것이 불안요소로 작용할 가능성이 있으며 절리가 발달하여 소규모 낙석이 다수 적치되어 있어 주의관찰을 통한 유지관리가 필요 식생상태 : 일부 암노출 구간을 제외하면 식생상태가 대체로 양호 배수시설 점검결과 : 소단배수로, 산마루 측구, 정상부에서 4소단까지는 자연수로, 산마루 측구 위에 중규모 낙석 거치 보호시설 점검현황 : 낙석방지망 상태는 양호하나, 지속적인 유지관리 필요	B

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
22	2018. 04. 16 ~ 2018. 04. 16	정기안전점검	양호	양호
23	2018. 11. 26 ~ 2018. 11. 26	정기안전점검	이상없음	양호
24	2019. 04. 01 ~ 2019. 04. 01	정기안전점검	이상없음	양호

4.2.4 보수·보강이력

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 유지관리중 보수·보강이력은 없는 것으로 조사되었다.

<표 2.4-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

4.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 내진설계 적용여부에 대한 명확한 근거는 조사되지 않았다.

<표 2.4-5> 내진 설계 적용 여부

검토대상 부재	설계적용여부	결과	검토결과 요약	근거
절토사면	불명	-	내진관련 자료 부족으로 확인 불가	

4.2.6 관련 자료 분석 결과 요약

금회 성능평가시 유지관리 관련자료를 분석한 결과, 본 시설물은 특별한 사고이력 및 상태 변화가 없는 양호한 시설인 것으로 평가되었다. 관련 자료 분석 결과 요약 및 이를 기초로한 금회 성능평가 시행 방향은 다음과 같다.

<표 2.4-6> 관련 자료 분석 결과 요약 및 점검 방향

구 분	자료 분석 결과	성능평가 방향
설계도서	ㅇ준공도서 유지관리중 ㅇ위치도, 횡단면도 등 파악 가능 ㅇ원지반 상태 파악 가능	ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득 ㅇ설계도면과 현재 제원 비교
시설물 관리대장	ㅇ기본현황, 상세제원 확인 가능 ㅇ유지관리 이력 파악 ㅇ시설물 준공 후 최초의 성능평가	ㅇ현장조사를 위한 기초자료로 활용 ㅇ준공후 특별한 보수·보강이력이 없는 상태로서 금회 성능평가시 손상조사시 필요에 따라 보수·보강방안 수립
안전점검 및 정밀안전진단 자료	ㅇ준공후 정기안전점검, 정밀안전점검이 시행되었으며, 전반적으로 양호한 상태임.	ㅇ사면파괴징후에 대한 면밀한 조사 ㅇ필요시 보수보수·보강방안 수립 ㅇ시설물 특성을 고려한 적정한 유지관리방안 제시
보수·보강 자료	ㅇ유지관리 이력상 사면 기붕괴구간에 대한 숏크리트가 시공됨.	ㅇ숏크리트 상태 조사
유지관리 전략 제안	-	ㅇ현장조사 및 관련자료 분석을 통한 항목별 성능평가 시행 ㅇ성능평가 결과에 따라 성능목표 유지를 위한 유지관리 전략 제안

4.3 현장조사

4.3.1 현장조사 체크리스트

관리주체에서 수집된 시설물 유지관리 자료를 참조로 하여 현장답사 및 기초 자료를 조사한 결과는 다음과 같다.

<표 2.4-7> 일반현황

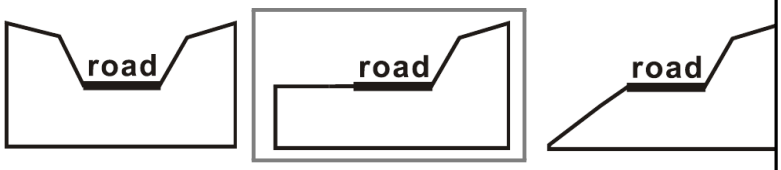
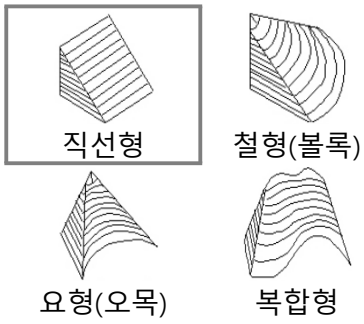
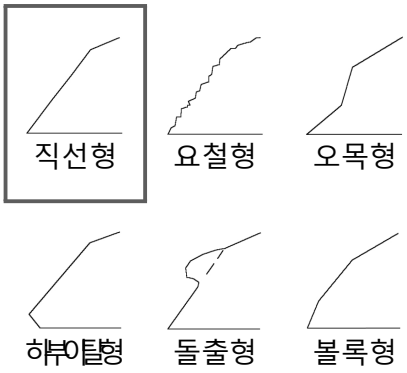
조사일자	2019년 9월 18일	**조 사 자**	인승철
일 기	맑음	**준공년도**	2008년 12월 31일
행정구역	부산광역시 기장군 일광면 원리 산116-1		
위 경 도	시점 : N (35°18' 27.43"), E (129°13' 40.74")		
	종점 : N (35°18' 15.25"), E (129°13' 37.89")		
절토사면	길 이 : 395m	높 이 : 54m	
	경 사/경사방향 : 45/106 (평균경사 39°)		
	구성물질 : 암반	토층심도 : 0.06~0.07(약 3.0m)	
	소 단 : 5		
낙석/뜬돌	낙석 존재유무 : 있음	낙석의 양 : 0.52㎥	
	낙석 평균크기 : 0.1×0.2×0.1 낙석 최대크기 : 0.3×0.2×0.1		
	뜬돌 존재유무 : 있음	뜬돌의 양 : 0.05㎥	
	뜬돌 평균크기 : 0.1×0.1×0.1 뜬들 최대크기 : 0.2×0.2×0.1		

	종 류	위 치	상 태
절토사면 시공현황	식생현황	STA.0+100~280(3소단 하부)	불량
	식생현황	이외 구간	양호
	낙석방지망	STA.0+000~395 일부구간 제외	양호
	낙석방지울타리	STA.0+000~185, 315~385	양호
	산마루 측구	STA.0+000~195, 310~395	일부 불량
	점검용 계단	STA.0+310~395	양호
	야생동물유도울타리	STA.0+000~035, 385~395	양호
	수직도수로	STA.0+050	양호
	상부도로(폭5.0m)	STA.0+000~035	양호
	일광터널	STA.0+185~315	양호
	절토사면경보시스템	-	-

	유 형	규 모	위 치
붕괴이력			

기 타	• 일부 구간 식생이 불량하고 사면계측기(절토사면 경보시스템)가 설치된 것을 육안으로 확인

<표 2.4-8> 지형·지질 및 식생

<table>
<tr><td rowspan="3">주변지형의 특성</td><td>주변 지형</td><td colspan="5">산악지형</td></tr>
<tr><td>종단면 형상</td><td colspan="5"> 
</td></tr>
<tr><td>기타 특징</td><td colspan="5">-</td></tr>
<tr><td>사면의 특성</td><td>종횡단면</td><td colspan="2"> 
</td><td>종단면특성</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="7">상부자연사면</td><td>경 사 도</td><td colspan="5">-5°</td></tr>
<tr><td>인장균열</td><td colspan="5">없음</td></tr>
<tr><td>포행흔적</td><td colspan="5">없음</td></tr>
<tr><td>수목의 기울어짐</td><td colspan="5">없음</td></tr>
<tr><td>인공구조물</td><td colspan="5">없음</td></tr>
<tr><td>산마루측구</td><td colspan="5">있음</td></tr>
<tr><td>계곡부</td><td colspan="5">없음</td></tr>
<tr><td>지 질</td><td>지질각론</td><td colspan="5">·본 지역은 중생대 백악기 시대의 경상계 신라층군 이천리층의 지층이 분포, 대표암석은 퇴적암</td></tr>
<tr><td rowspan="3">식 생</td><td>① 종 류</td><td>초 본</td><td>관 목</td><td>침 엽 수</td><td>활 엽 수</td></tr>
<tr><td>② 밀 도</td><td>중</td><td>중</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>③ 근계특징</td><td colspan="4">천근성 (O), 심근성 ( )</td></tr>
</table>

<표 2.4-9> 기초조사 자료

<table>
<tr><td rowspan="6">일반현황</td><td>거리표</td><td colspan="3">부산울산선 16.580~16.975k(부산)</td></tr>
<tr><td>위경도</td><td colspan="3">시점 : N (35°18' 27.43"), E (129°13' 40.74")
종점 : N (35°18' 15.25"), E (129°13' 37.89")</td></tr>
<tr><td>차선</td><td colspan="3">왕복 (4) 차선</td></tr>
<tr><td>조사일자</td><td colspan="3">2019년 9월 18일</td></tr>
<tr><td>조사자</td><td>인승철</td><td>조사기관</td><td>㈜명성엔지니어링</td></tr>
<tr><td rowspan="14">절토사면
특 성</td><td>길이</td><td>395.0m</td><td>최대높이</td><td>54.0m</td></tr>
<tr><td>경사</td><td>45°</td><td>상부경사</td><td>-5°</td></tr>
<tr><td>이격거리</td><td>평균 1.0~2.0m</td><td>소단</td><td>5개소</td></tr>
<tr><td>종류</td><td>■암반 □혼합
□토사 □자연</td><td>주변지형</td><td>■산악 □준산악
□구릉 □평 지</td></tr>
<tr><td>지하수</td><td rowspan="2">■C.dry □damp
□wet □dripping
□flowing</td><td rowspan="2">누수위치</td><td>□상 □중 □하</td></tr>
<tr><td>□좌 □중 □우</td></tr>
<tr><td>풍화도</td><td>■F ■S □M
□H □C □R</td><td>불연속면
방향성</td><td>□일치 □평행
■후방 □불가</td></tr>
<tr><td>사면형상</td><td>■직선형 □철형
□요형 □파형</td><td>측면형상</td><td>■직선형 □요철형
□탈락형 □돌출형</td></tr>
<tr><td>계곡부</td><td>없음</td><td>붕괴이력</td><td>□유(영향) □낙석
□유(미영향) ■무</td></tr>
<tr><td>뜬돌</td><td>□대 □중
■소 □무</td><td>낙석</td><td>□대 □중
■소 □무</td></tr>
<tr><td>암종</td><td>사암 및 셰일</td><td>토층심도</td><td>3.0m</td></tr>
<tr><td>암반형태</td><td>□massive
□tabular
□columnar
□irregular
■blocky
□crushed</td><td>불연속면</td><td>■절리 ■층리
□엽리 □균열
□단층 □전단대
□암맥 □무</td></tr>
<tr><td>시공현황
(상태)</td><td colspan="3">■식생공(일부불량) ■낙석방지망(양호)
□옹벽 ■낙석방지울타리(양호)
□격자블럭 ■배수로(보통)
■점검로(보통) ■기타(일광터널)</td></tr>
<tr><td rowspan="5">조사자
소 견</td><td>위험도</td><td>□상 □중 ■하</td><td>피해도</td><td>□상 □중 ■하</td></tr>
<tr><td>붕괴 유형</td><td>□심층 □표층 ■무</td><td>위험등급</td><td>□A ■B □C
□D □E</td></tr>
<tr><td>위험구간
(붕괴유형)</td><td colspan="3">□상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( )
□상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( )
□상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( )</td></tr>
<tr><td>필요 주공법</td><td>-</td><td>조치</td><td>□응급 ■미응급</td></tr>
<tr><td>기타</td><td colspan="3"></td></tr>
</table>

4.3.2 사면분류 및 구간분할

대상 대상 시설물에 대한 현장조사 및 시험은 본 조사를 실시하기 이전에 현장을 답사하여 시설물의 주변 환경과 현 상태를 파악하고, 시설물의 접근방법 및 관련 자료를 검토 후 외관조사를 통하여 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성 확인을 위한 상세한 조사계획을 수하였다. 또한, 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단하기 위해 기본시설물 및 부대시설물 등 주요 부재의 현 상태와 시설물의 안전성을 저해할 만한 손상의 유무를 확인하였으며, 시설물 구성부재별로 외관조사 결과는 외관조사망도와 주요 사진을 중심으로 부록자료에 수록하여 향후 시설물 점검 및 유지관리 시에 효율적으로 활용할 수 있게 하였다.

가. 시설물 일반 현황

본 과업 대상 시설물은 부산울산고속도로 부산방향 16.580~16.975km에 위치하고 있으며, 길이는 395m, 높이 54.0m의 절토사면으로 시설물 안전법상 2종 시설물로 분류된 시설이다.

현장조사를 위한 실측조사 결과 본 구간의 절토사면 총 연장 및 높이는 시설물관리대장과 비교시 다소 상이한 것으로 조사되었다.

나. 절토사면의 분류

토층심도 깊이측정을 위한 자료는 준공도서 표준횡단면도를 참고하여 작성하였고, 블록크기 측정을 위한 절리간격은 사면특성조사시 각구간에 위치하는 절리군의 평균 간격을 측정하였다.

<표 2.4-10> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{54.0}=0.055$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 107.1~129.9MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{54.0}=0.009$로 0.01이하	파쇄암반	

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
2구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{40.0}=0.075$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 107.1~129.9MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size \in dex}{Slope\,height}=\frac{0.3}{40.0}=0.007$로 0.01이하	파쇄암반	

다. 비탈면 구간 분할

연장이 395m로써, 사면의 구간분할 기준인

1) 사면의 구성재료가 변화할 경우

2) 사면의 경사가 10°이상으로 변할 경우

3) 사면의 구성재료와 표준경사가 맞지 않을 경우

4) 사면의 경사방향이 40°이상 변화할 경우

5) 동일 구간의 연장이 200m 이상일 경우

위 기준중 5번에 해당하여, 그에 따라 2개구간으로 분할하여 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

<표 2.4-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	16.580~16.775km	195m
2구간	16.775~16.975km	200m

4.3.3 상태안전성능 조사

가. 집수지형

집수지형에 대한 평가는 시·종점부, 요철지형 등 지표수가 직·간접적으로 비탈면에 유입되는 지형에 대한 평가로서 외부와 내부로 구분하여 분석하였다.

비탈면 외부 지형조건은 상부 자연사면이 상향 -5°경사를 이루고 있는 것으로 조사되었다. 사면 외부 집수지형에 대한 분석 결과, 강우시 소단배수로 및 산마루측구, 수직도수로로 배수되며, 상단부는 자연사면을 통한 자연배수 형태이다.

사면내 기울기 및 경사방향 변화로 인한 사면내 오목한 지형 발생으로 인한 집수지형은 없는 상태이다.

<표 2.4-12> 집수 지형 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
집수지형	외부	시.종점부	EA	-	-	
		계곡부	EA	-	-	
	내부	집수지형 없음	EA	-	-	

나. 불안정 지질

불안정 지질은 절토사면에 분포하는 단층 및 전단대, 파쇄대, 습곡, 암맥 등 주변의 암반과 구성이 다르거나 특정 부분을 중심으로 균열이 집중적으로 발달하여 사면에 작용하는 불안정 요인으로 작용하는 지질 분포규모 및 상태를 평가하는 항목이다.

본 비탈면은 표면보호공으로 식생이 분포하여 전체 사면에 대한 불안정 지질 여부를 평가하기 곤란하여 부분적으로 원지반이 노출된 구간에 대해서 한정적으로 조사하였다.

그 결과 부분적으로 절리가 관찰되며, 보통 풍화 상태를 보이고 있는 것으로 분석되었다.

<표 2.4-13> 불안정 지질 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
불안정 지질	일부 분포	-	-	-	

다. 불연속면 특성

불연속면은 대개 물리적으로 분리되어 있는 면으로 매우 작은 인장강도를 갖거나 인장강도가 없어 암반으로 구성된 절토사면의 경우 불연속면의 존재는 사면의 안정에 절대적인 영향을 미치게 된다. 이와 관련하여 본 성능평가에서는 소단 하부에는 식생공이 없어 대기에 노출된 원지반을 대상으로 3개 구간에서 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

<표 2.4-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	85/202		
간격(m)	0.2~0.6		
연장성(m)	1~3		
틈새(mm)	0.1㎜ 미만		
거칠기	약간 거칠음		
충진물질	딱딱함, 5㎜미만		
풍화도	Fresh		
비고	식생공으로 인한 이외의 불연속면 특성조사 불가		

구 분	2구간		
	Set 4	Set 5	Set 6
방향성	45/132	35/150	89/200
간격(m)	0.2~0.6	0.2~0.6	0.2~0.6
연장성(m)	1~3	< 1	< 1
틈새(mm)	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만	0.1㎜ 미만
거칠기	약간 거칠음	약간 거칠음	약간 거칠음
충진물질	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만	딱딱함, 5㎜미만
풍화도	Fresh	Fresh	SW
비고			

라. 지반 변형

지반 변형은 사면의 배부름 현황과 같은 지반 자체 변형과 관련된 항목이다. 본 성능평가에서는 전 구간에 걸쳐 외관조사를 시행하고, 관련 자료 및 청문조사를 통한 과거 이력에 대한 조사도 병행하였다. 외관조사 결과, 지반변형으로 인한 급격한 기울기 변화는 조사되지 않았으며, 과거 이력 조사 결과에서도 손상은 없었던 것으로 확인되었다.

<표 2.4-15> 지반 변형 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
지반 변형	없 음	-	-	-	

마. 배수 조건

사면내 배수시설은 소단배수로가 시공되어 있다.

소단배수로는 지반 변형으로 인한 부상 및 침하 등의 손상은 없는 것으로 확인되었다.

<표 2.4-16> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단 배수로	-	-	-	-	

바. 지하수

지하수에 대한 항목은 사면내 지하수량을 간접적으로 조사하는 항목이다.

비탈면내 누수 여부에 대한 조사 결과, 지하수 용출에 의한 습윤지역 및 누수 현상은 관찰되지 않는 상태이다.

<표 2.4-17> 지하수 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상원인	비 고
지하수	건조된 상태	-	-	-	

사. 붕괴 이력

초기점검 및 기 점검사항을 토대로 확인한 결과, 붕괴이력은 조사되지 않았다.

<표 2.4-18> 붕괴 이력 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
붕괴 이력	상태 양호	-	-	-	

아. 낙석

낙석은 암반사면에서 빈번히 발생되는 붕괴유형으로 사면내 관찰되는 이완암 및 뜬돌의 규모 등을 조사하는 항목이다. 이와 관련하여 사면 하단부 및 소단부에서 낙석 여부 조사 결과 낙석은 조사되지 않았다

<표 2.4-19> 낙석 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상원인	비 고
낙 석	없음	-	-	-	현장조사, 청문조사

자. 인장균열

인장균열 조사는 개략적인 붕괴 규모나 양상을 예측하기 위한 참고 자료로 활용되는 항목으로 본 비탈면에 대한 외관조사 결과, 사면 내·외부에서 인장균열은 조사되지 않는 상태이다.

<표 2.4-20> 인장균열 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상원인	비 고
인장균열	없음	-	-	-	현장조사

4.3.4 내구성능 조사

가. 토사구간의 지반상태

본 비탈면에는 전 구간에 걸쳐 암반으로 구성되어 있으며, 토양경도계를 측정할 수 없으므로 토사구간의 지반상태는 제외토록 하였다.

나. 암반구간의 지반상태

암반강도시험은 총 3개소에서 실시하였으며, 시험 결과에 따른 암종 분류 결과 경암인 것으로 판단된다.

<표 2.4-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(MPa)	암 판정 결과	비고
16.750km	57.5	129.9	경암	
16.800km	53.1	107.1	경암	
16.820km	57.4	129.4	경암	
검토의견	·암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 53.1~57.5로 측정되었으며, 추정강도 107.1~129.9MPa로 경암으로 판정되어 암반의 강도는 양호한 것으로 판단된다.			

절리면 경사/경사방향 측정

암반 강도시험

다. 표면보호공

표면보호공은 사면의 안전성에는 직접적인 영향을 주지 않으나, 사면의 상태보호 및 유지에 영향을 미치는 요소이다.

<표 2.4-22> 표면보호공 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
표면 보호공	낙석방지망	-	-	-	-	
	-	-	-	-	-	

낙석방지망 전경

낙석방지망 전경

라. 사면보강공

본 비탈면은 관련자료 분석 결과 식생 이외의 특별한 보강시설은 없는 것으로 조사되었으며, 현장조사시 확인한 결과 보강공은 시공되어 있지 않다.

<표 2.4-23> 사면보강공 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
사면 보강공	-	-	-	-	
	-	-	-	-	

4.4 안전성능평가

안전성능평가는 외관상 관찰되는 시설물의 결함을 평가하는 상태안전성능평가와 공학적인 안정성을 평가하는 구조안전성능으로 구분한다.

4.4.1 상태안전성능 평가

가. 시설물의 형식 및 안전성능지표

비탈면 분류는 현장조사 결과를 기초로 하여 관련 자료 분석을 통해 획득한 자료를 최대한 적용하였다. 그 결과 절토사면 높이에 대한 토층심도율이 0.055~0.075으로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 세부 분류는 절리암반비탈면, 파쇄암반비탈면으로 평가된다.

<표 2.4-24> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{54.0}=0.055$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 107.1~129.9MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{54.0}=0.009$로 0.01이하	파쇄암반	

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
2구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{40.0}=0.075$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 107.1~129.9MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.3}{40.0}=0.007$로 0.01이하	파쇄암반	

본 시설물은 사면 구성 재료의 특별한 변화가 없으며, 총연장이 395.0m로 사면 분할기준인 200.0m를 상회한다. 비탈면 구간 분할 기준에 의하여 동일 구간의 연장이 200m 이상일 경우로 하여 총 2개소로 분할하여 조사·평가하기로 한다.

<표 2.4-25> 비탈면 구간 분할

위치	비탈면 구간 분할 기준	시설물 현황		
		구성 재료	경사방향 변화	사면 연장
부산기점 STA.16+200 ~16+646	○ 사면 구성재료 변화 ○ 사면 경사방향 40°이상 변화 ○ 동일구간 연장 200.0m 이상	암반	없음 (직선형)	395.0m
구간 분할	○ 1구간 : 16.580~16.775K ○ 2구간 : 16.775~16.975K			

<표 2.4-26> 사면 형식별 상태안전성능지표

구 분	평가 요소		
	토사사면	암반사면	혼합사면
절토사면	○ 집수지형 ○ 지반변형 ○ 지하수 ○ 배수조건 ○ 사면상부 상태 ○ 붕괴이력	○ 집수지형 ○ 불안정지질 ○ 불연속면 특성 ○ 지반변형 ○ 지하수 ○ 배수조건 ○ 붕괴이력 ○ 낙석	○ 불안정지질 ○ 불연속면 특성 ○ 지반변형 ○ 지하수 ○ 배수조건 ○ 붕괴이력 ○ 낙석 ○ 사면상부 상태

나. 1구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 2.4-27> 집수지형 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가결과
사면 내·외 집수지형 개소 수	a	없음	계곡부 또는 집수지형 없음	없음	a
	b	1개소	계곡부 또는 집수지형 1개소		
	c	2개소	계곡부 또는 집수지형 2개소		
	d	3개소	계곡부 또는 집수지형 3개소		
	e	4개소	계곡부 또는 집수지형 4개소 이상		

<표 2.4-28> 불안정 지질 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
규모 및 상태	a	없음	없음	파쇄암반사면 국지적 분포	c
	b	일부 분포 (견고)	불안정 지질이 일부 분포하고 있으나 견고한 상태		
	c	국지적 분포 (파쇄)	불안정 지질이 국지적으로 분포하고 있으며 파쇄가 심한 상태		
	d	전반적인 분포 (파쇄)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심한상태		
	e	전반적인 분포 (파쇄, 누수 등)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심하고 누수 및 유실물 등이 발생하고 있는 상태		

<표 2.4-29> 불연속면 특성 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = (5+5+10+5+0+10) / 6 = 5.8	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 2.4-30> 불연속면 세부 상태 평가 결과(1구간)

평가항목	등급					현장조사 결과	평가 결과
	a	b	c	d	e		
점수	0	5	10	16	24		
①연장성	1.0m미만	1.0m이상 3.0m미만	3.0m이상 10.0m미만	10.0m이상 20.0m미만	20.0m이상	1~3	b
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.1㎜ 미만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거칠음	c
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	딱딱함, 5㎜미만	b
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	Fresh	a
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	0.2~0.6	c

<표 2.4-31> 지반변형 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
포행, 단차, 배부름 등	a	변형 없음	지반변형이 없는 상태	지반변형 없음	a
	b	약간의 변형	일부 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	d	사면 전반에 걸친 변형	지반변형이 발생하여 붕괴위험은 있으나, 붕괴로 인해 사면하부 주 구조물에는 직접적인 영향이 없는 상태		
	e	사면 전반에 걸친 변형	평가대상 구간 전반에 변형이 발생하여 대규모 붕괴위험이 예상되며 붕괴발생으로 사면하부의 주구조물에 영향을 미칠 수 있는 상태		

<표 2.4-32> 지하수 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
누수 상태 및 위치	a	건조(dry)	지하수의 흐름이 관찰되지 않고 표면이 건조한 상태	건조한 상태	a
	b	젖음(wet) 사면하부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 하부에서 관찰되는 상태		
	c	젖음(wet) 사면상부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 상부에서 관찰되는 상태		
	d	흐름(flow) 사면하부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 하부에서 용출이 관찰되는 상태		
	e	흐름(flow) 사면상부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 상부에서 용출이 관찰되는 상태		

<표 2.4-33> 배수시설 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
배수 조건	a	완전배수	지표 및 지하배수구가 모두 적용되어 원활한 배수를 이루고 있는 상태 또는 사면이 건조한 상태로 배수시설의 적용이 필요하지 않은 상태	양호	b
	b	양호	배수시설이 노후 되었으나 배수기능이 원활한 상태		
	c	보통	배수시설이 노후 되고 일부 균열이 관찰되나, 배수기능이 원활한 상태		
	d	불량	배수시설이 노후 되고 균열 및 변형 등의 결함이 발생하여 배수기능이 불량한 상태		
	e	매우 불량	지표수 및 지하수로 인해 사면의 안전성능에 직접적인 영향을 미치며, 배수시설이 설치되어 있지 않거나 결함으로 인해 배수를 못하는 상태		

<표 2.4-34> 붕괴이력 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
붕괴이력	a	없음	없음	없음	a
	b	세굴 및 표층균열	사면의 표면 세굴 및 소규모 유실 등의 발생이력		
	c	표층파괴	표층유실 및 낙석, 암탈락 등 사면 표층 파괴 발생이력		
	d	심층파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 심층파괴 발생이력		
	e	대규모파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 파괴가 발생하여 사면하부 주구조물에 피해가 발생한 상태		

<표 2.4-35> 낙석 발생 규모 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 없음	a
	b	1.0㎥미만		
	c	1.0㎥이상, 6.0㎥미만		
	d	6.0㎥이상, 10.0㎥미만		
	e	10.0㎥이상		

<표 2.4-36> 예상 낙석에너지 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
예상 낙석 에너지	a	없음	$E_i = (1 - \frac{u}{\tan\theta}) \times (1+\beta) \times m \times g \times H = 0$ 여기서, □E_i = 낙석에너지(kJ), □Θ= 사면의 경사, u□= 낙석의 등가마찰계수(0.15) □ β = 회전에너지계수(0.1) m = 낙석의 중량(t), □H= 낙석의 높이(m) g = 중력가속도(9.8m/sec^2) (u, β는 상수, 각각 0.15, 0.1 적용) → 현장조사 결과 뜬돌 및 이완암이 조사되지 않음	a
	b	50kJ미만		
	c	50kJ이상 70kJ미만		
	d	70kJ이상 120kJ미만		
	e	120kJ이상		

<표 2.4-37> 사면의 상부 상태 평가 결과 (1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
상부 자연사면 경사	a	없음	평지 또는 역경사	상향 5°	b
	b	10°미만	상부자연사면으로부터 지표수가 유입될 수 있는 정도를 평가하기 위한 것으로 자연사면의 대표 경사로 평가		
	c	10°이상 20°미만			
	d	20°이상 30°미만			
	e	30°이상			

다. 1구간 인장균열 평가 결과

인장균열이 확인되는 경우 인장균열을 반영한 상태안전성능평가 결과를 선정하고 구조안전성능 평가결과 및 현장 상태에 따라 보강 대책방안을 검토해야 한다. 인장균열의 결함점수는 d, e 등급에 따른 각각의 평균값으로 산정한다.

<표 2.4-38> 인장균열 결함점수 산정 결과(1구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가 결과
인장균열	a	8	0.08	인장균열 없음	a
	d	65	0.65		
	e	88	0.88		

본 비탈면의 경우 인장균열이 없는 상태로서 성능별 등급 결과에 따른 상태안전성능평가 결과를 최종 상태평가 안전등급으로 산정하기로 한다.

라. 1구간 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 2.4-39> 상태안전성능 평가 결과 범위(1구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
$0 \le f < 0.15$	$0.15 \le f < 0.30$	$0.30 \le f < 0.55$	$0.55 \le f < 0.75$	$0.75 \le f$

<표 2.4-40> 암반사면의 평가항목별 등급에 따른 점수(1구간)

평가항목	등급에 따른 점수				
	a	b	c	d	e
① 집수지형	0	1	3	4	6
② 불안정 지질	0	3	6	10	15
③ 불연속면의 특성	0	1~5	6~10	11~16	17~24
④ 지반변형	0	2	4	6	9
⑤ 지하수	0	2	3	5	8
⑥ 배수조건	0	2	5	7	11
⑦ 붕괴이력	0	2	4	7	10
⑧ 낙석	0	4	7	11	17
결함지수 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 2.4-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명	부산기점 Sta.16+200~16+646			
사면 종류	절토사면	구성재료	파쇄암반사면	
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	0	a
	사면 외	0		
불안정 지질		6	6	c
블연속면 특성		5.8	6	c
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	c
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			14	
결함지수		0.14		
상태안전성능평가 결과		**A**		

마. 2구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 2.4-42> 집수지형 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
사면 내·외 집수지형 개소 수	a	없음	계곡부 또는 집수지형 없음	없음	a
	b	1개소	계곡부 또는 집수지형 1개소		
	c	2개소	계곡부 또는 집수지형 2개소		
	d	3개소	계곡부 또는 집수지형 3개소		
	e	4개소	계곡부 또는 집수지형 4개소 이상		

<표 2.4-43> 불안정 지질 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
규모 및 상태	a	없음	없음	파쇄암반사면 국지적 분포	c
	b	일부 분포 (견고)	불안정 지질이 일부 분포하고 있으나 견고한 상태		
	c	국지적 분포 (파쇄)	불안정 지질이 국지적으로 분포하고 있으며 파쇄가 심한 상태		
	d	전반적인 분포 (파쇄)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심한상태		
	e	전반적인 분포 (파쇄, 누수 등)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심하고 누수 및 유실물 등이 발생하고 있는 상태		

<표 2.4-44> 불연속면 특성 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = (5+5+10+5+0+10) / 6 = 5.8	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 2.4-45> 불연속면 세부 상태 평가 결과(2구간)

평가항목	등급					현장조사 결과	평가 결과
	a	b	c	d	e		
점수	0	5	10	16	24		
①연장성	1.0m미만	1.0m이상 3.0m미만	3.0m이상 10.0m미만	10.0m이상 20.0m미만	20.0m이상	1~3	b
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.1㎜ 미만	b
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거칠음	c
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	딱딱함, 5㎜미만	b
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	Fresh	a
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	0.2~0.6	c

<표 2.4-46> 지반변형 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
포행, 단차, 배부름 등	a	변형 없음	지반변형이 없는 상태	지반변형 없음	a
	b	약간의 변형	일부 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	d	사면 전반에 걸친 변형	지반변형이 발생하여 붕괴위험은 있으나, 붕괴로 인해 사면하부 주 구조물에는 직접적인 영향이 없는 상태		
	e	사면 전반에 걸친 변형	평가대상 구간 전반에 변형이 발생하여 대규모 붕괴위험이 예상되며 붕괴발생으로 사면하부의 주구조물에 영향을 미칠 수 있는 상태		

<표 2.4-47> 지하수 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
누수 상태 및 위치	a	건조(dry)	지하수의 흐름이 관찰되지 않고 표면이 건조한 상태	건조한 상태	a
	b	젖음(wet) 사면하부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 하부에서 관찰되는 상태		
	c	젖음(wet) 사면상부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 상부에서 관찰되는 상태		
	d	흐름(flow) 사면하부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 하부에서 용출이 관찰되는 상태		
	e	흐름(flow) 사면상부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 상부에서 용출이 관찰되는 상태		

<표 2.4-48> 배수시설 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
배수 조건	a	완전배수	지표 및 지하배수구가 모두 적용되어 원활한 배수를 이루고 있는 상태 또는 사면이 건조한 상태로 배수시설의 적용이 필요하지 않은 상태	양호	b
	b	양호	배수시설이 노후 되었으나 배수기능이 원활한 상태		
	c	보통	배수시설이 노후 되고 일부 균열이 관찰되나, 배수기능이 원활한 상태		
	d	불량	배수시설이 노후 되고 균열 및 변형 등의 결함이 발생하여 배수기능이 불량한 상태		
	e	매우 불량	지표수 및 지하수로 인해 사면의 안전성능에 직접적인 영향을 미치며, 배수시설이 설치되어 있지 않거나 결함으로 인해 배수를 못하는 상태		

<표 2.4-49> 붕괴이력 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
붕괴이력	a	없음	없음	없음	a
	b	세굴 및 표층균열	사면의 표면 세굴 및 소규모 유실 등의 발생이력		
	c	표층파괴	표층유실 및 낙석, 암탈락 등 사면 표층 파괴 발생이력		
	d	심층파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 심층파괴 발생이력		
	e	대규모파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 파괴가 발생하여 사면하부 주구조물에 피해가 발생한 상태		

<표 2.4-50> 낙석 발생 규모 평가기준(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	없음	a
	b	1.0㎥미만		
	c	1.0㎥이상, 6.0㎥미만		
	d	6.0㎥이상, 10.0㎥미만		
	e	10.0㎥이상		

<표 2.4-51> 예상 낙석에너지 평가기준(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
예상 낙석 에너지	a	없음	$E_i = (1 - \frac{u}{\tan\theta}) \times (1+\beta) \times m \times g \times H = 0$ 여기서, □E_i = 낙석에너지(kJ), □Θ= 사면의 경사, u□= 낙석의 등가마찰계수(0.15) □ β = 회전에너지계수(0.1) m = 낙석의 중량(t), □H= 낙석의 높이(m) g = 중력가속도(9.8m/sec^2) (u, β는 상수, 각각 0.15, 0.1 적용) → 현장조사 결과 낙석방지망 내 뜬돌 및 이완암이 조사됨	c
	b	50kJ미만		
	c	50kJ이상 70kJ미만		
	d	70kJ이상 120kJ미만		
	e	120kJ이상		

<표 2.4-52> 사면의 상부 상태 평가 결과 (2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
상부 자연사면 경사	a	없음	평지 또는 역경사	상향 5°	b
	b	10°미만	상부자연사면으로부터 지표수가 유입될 수 있는 정도를 평가하기 위한 것으로 자연사면의 대표 경사로 평가		
	c	10°이상 20°미만			
	d	20°이상 30°미만			
	e	30°이상			

바. 2구간 인장균열 평가 결과

인장균열이 확인되는 경우 인장균열을 반영한 상태안전성능평가 결과를 선정하고 구조안전성능 평가결과 및 현장 상태에 따라 보강 대책방안을 검토해야 한다. 인장균열의 결함점수는 d, e 등급에 따른 각각의 평균값으로 산정한다.

<표 2.4-53> 인장균열 결함점수 산정 결과(2구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가 결과
인장균열	a	8	0.08	인장균열 없음	a
	d	65	0.65		
	e	88	0.88		

본 비탈면의 경우 인장균열이 없는 상태로서 성능별 등급 결과에 따른 상태안전성능평가 결과를 최종 상태평가 안전등급으로 산정하기로 한다.

사. 2구간 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 2.4-54> 상태안전성능 평가 결과 범위(2구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0 ≤ f < 0.15	0.15 ≤ f < 0.30	0.30 ≤ f < 0.55	0.55 ≤ f < 0.75	0.75 ≤ f

<표 2.4-55> 암반사면의 평가항목별 등급에 따른 점수(2구간)

평가항목	등급에 따른 점수				
	a	b	c	d	e
① 집수지형	0	1	3	4	6
② 불안정 지질	0	3	6	10	15
③ 불연속면의 특성	0	1~5	6~10	11~16	17~24
④ 지반변형	0	2	4	6	9
⑤ 지하수	0	2	3	5	8
⑥ 배수조건	0	2	5	7	11
⑦ 붕괴이력	0	2	4	7	10
⑧ 낙석	0	4	7	11	17
결함지수 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 2.4-56> 상태안전성능평가 결과(2구간)

시설물명		부산기점 Sta.16+200~16+646		
사면 종류	절토사면	구성재료		절리암반사면
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	0	a
	사면 외	0		
불안정 지질		6	6	c
블연속면 특성		5.8	6	c
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			14	
결함지수		0.14		
상태안전성능평가 결과		**A**		

아. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 2.4-72> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
395.0m	1구간	16.580~16.775K	a(0.14)	A	인장균열 없음
	2구간	16.775~16.975K	a(0.14)		
	○ 구간별 평가 후 최소등급 선정 ○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

1.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

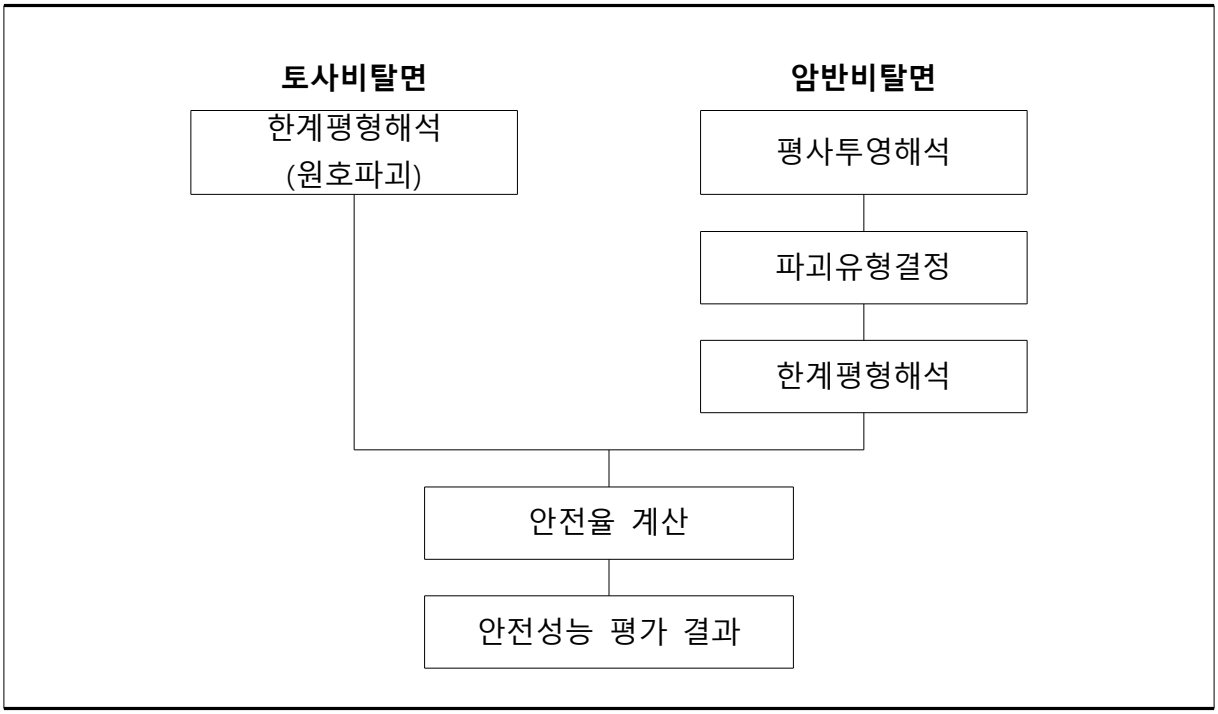
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

금회 성능평가에서는 설계 및 시공중 보강 관련 자료, 공용중 보강자료 등의 검토를 통해 구조안전성능평가에 필요한 항목을 검토하기로 한다. 또한, 이와 더불어 금회 성능평가 현장조사시 획득된 암반 절리 자료를 이용하여 평사투영해석을 시행하기로 한다.

나. 구조안전평가

1) 평가개요

비탈면의 안전성능 평가는 비탈면을 구성하는 지반의 구성물질 및 파괴거동에 따라 다양한 측면에서 검토되어야 한다. 토사비탈면과 토층은 일반적으로 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반비탈면은 평사투영해석을 실시하여 불연속면을 따른 암반의 파괴 가능성 및 파괴유형을 검토한 후 이에 부합하는 한계평형해석을 실시하여야 한다. 또한 암반비탈면의 경우라 할지라도 지반의 강도 특성이나 불연속면의 분포 특성 등에 따라 토사비탈면과 같은 연속적인 거동이 가능한 암반의 경우는 이와 별도로 원호파괴 가능성에 대한 검토가 이루어져야 한다.



<그림 2.1-2> 구조안전성능 평가과정

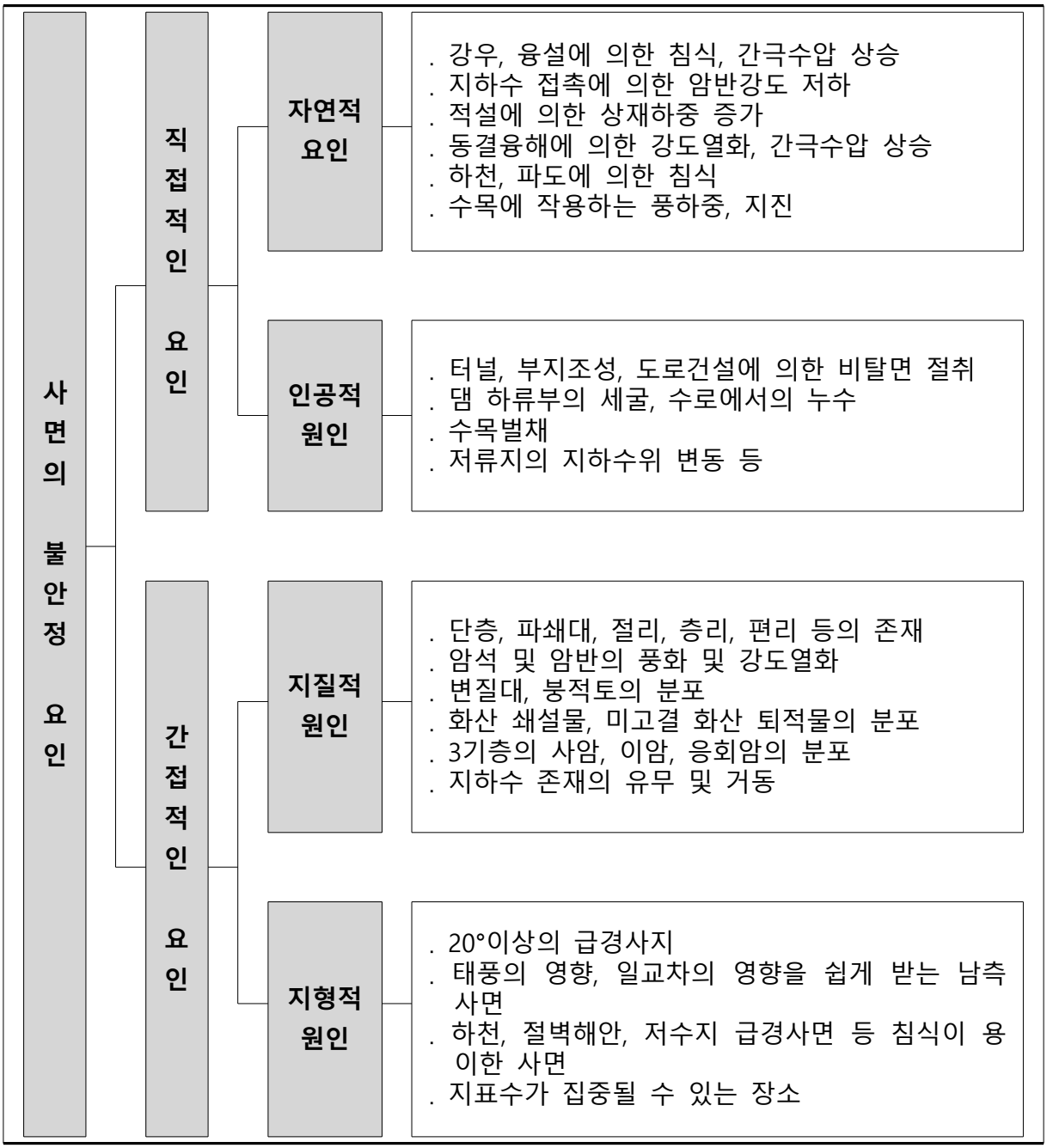
<표 2.1-73> 유형별 안정해석 범위

구 분	평사투영 해석	한계평형해석		비 고
		토 사	암 반	
토사비탈면	-	○	-	. 원호활동에 대한 한계평형 해석 실시
암반비탈면	○	△	○	. 평사투영해석결과 불안정시 파괴 유형에 따른 한계평형해석 수행 . 3m이상의 토층이 관찰되거나 풍화가 심하게 진행되어 원호활동이 예상되는 구간에 대해 평사투영해석결과와 별도로 원호파괴 해석을 실시
혼합비탈면	○	○	○	. 평사투영해석결과 불안정시 파괴 유형에 따른 한계평형해석 수행 . 평사투영해석결과와 별도로 토사구간에 대해 원호파괴해석 실시

ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득

ㅇ설계도면과 현재 제원 비교

2) 비탈면의 불안정 요인

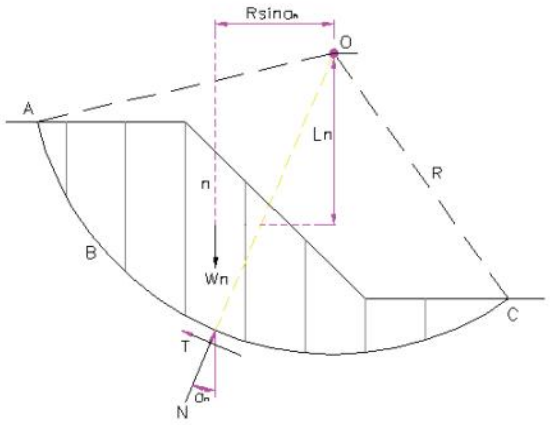


<그림 2.1-3> 구조안전성능 평가과정

3) 비탈면 안정해석 방법

① 한계평형법

한계평형 해석방법은 활동면을 따라 파괴가 일어나려는 순간에 토체의 안정성을 해석하려는 것이다. 문제를 단순화하기 위한 가정을 설정하고 이 방법을 사용하여 간단한 정역학적 이론으로 해를 얻으려 하는 것이다. 한계평형 해석법은 절성토 비탈면의 안정해석에 널리 사용되고 있으며 이 방법의 유용성과 신뢰성은 축적된 경험을 통하여 잘 알려져 있다. 한계평형 이론에 의한 비탈면안정 해석방법은 여러 가지가 있으며, 그 정확성은 강도정수와 비탈면의 기하학적 조건의 정확도 및 각 해석방법 고유의 정밀도에 따라 좌우된다. 한계평형 방법의 기본가정은 직선, 원호, 대수나선으로 가정된 파괴면을 따라 Coulomb의 파괴규준을 만족한다는 것으로 가능한 활동면을 따라 파괴가 일어나려는 순간에 토체의 안정성을 해석하는 것이다. 대표적인 해석방법으로는 ø=0 해석법, Fellenius 방법, Bishop 방법, Janbu 방법, Spencer 방법, Morgenstern & Price, 일반한계평형 방법(GLE) 등이 있다.



$$Fs = \frac{\sum_{n=1}^{n=p}(cb_n + W_n \tan\phi + \Delta T \tan\phi)\frac{1}{m}\alpha(n)}{\sum_{n=1}^{n=p}(\sin\alpha_n)}$$

$$m\alpha(n) = \cos\alpha \quad n + \frac{\tan\phi \cdot \sin\alpha_n}{F_S}$$

여기서

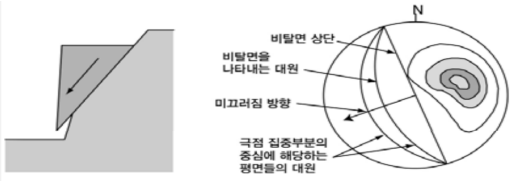
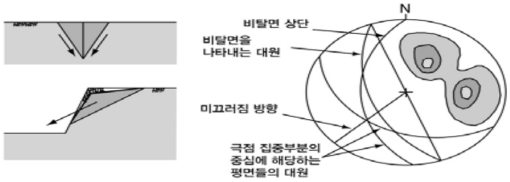
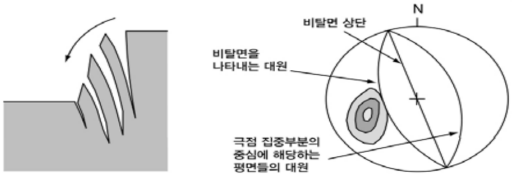
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 2.1-4> Bishop의 안전율 계산식

② 평사투영해석

평사투영법은 비탈면의 방향과 경사, 불연속면의 주향과 경사, 불연속면의 전단저항각을 고려하여 암반 비탈면의 안정성을 개략적으로 검토하는 방법이다. 암반비탈면에 발달하고 있는 불연속면의 방향에 따라 그 파괴형태가 다르게 나타난다. 일반적으로 암반비탈면의 파괴형태는 원형파괴(Circular Failure), 평면파괴(Planar Failure), 쐐기파괴(Wedge Failure) 및 전도파괴(Toppling Failure) 등이 있다.

<표 2.1-74> 비탈면 안정성 분석방법

구 분	파괴 모식도	분석방법
평면파괴		. 불연속면의 주절리가 한 방향으로 발달된 암반에서 발생가능
쐐기파괴		. 쐐기파괴는 두 개의 불연속면을 따라 발생하는 암반블록의 미끄러짐으로 인한 파괴형태
전도파괴		. 전도파괴으 발생조건은 절개면과 절리면의 경사방향이 반대이거나 절리면의 주향과 절개면의 주향이 비슷한 경우에 발생

4) 안전율 기준 - KDS 11 70 05 : 2016

<표 2.1-75> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

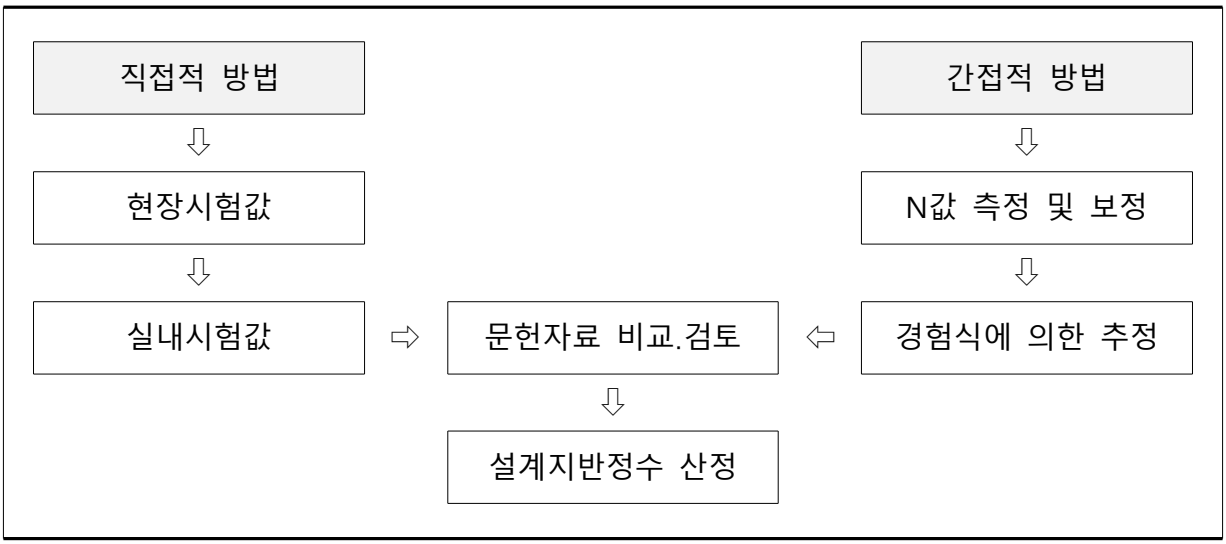
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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	. 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용시킴 . 실제측정 또는 평상시의 지하수위 적용

다. 지반정수 산정

1) 지반정수

대상지역의 지반-구조물의 상호작용에 따른 안정성을 평가하기 위해 현장조사결과를 토대로 경험식, 기존 적용사례 결과를 비교.분석하여 토사 및 암반의 지반정수를 적용하였다.

2) 지반정수 산정흐름



3) 토사/풍화암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 2.1-76> 지반조사편람(서울시, 1996)

지반명	단위중량 (kN/㎥)	점착력 c (MPa)	내부마찰각 (。)	변형계수 D(×10³kN/㎡)	포아송비
풍화토	17~20	0.00~0.01	25~30	20~40	0.5
풍화암	20~22	0.01~0.03	30~35	100~200	0.3~0.4
연 암	23~25	0.03~0.06	30~40	200~400	0.25~0.30
보통암	24~26	0.06~0.15	35~40	400~1,000	0.25
경 암	25~27	0.15~0.20	35~45	1,000~4,000	0.2

<표 2.1-77> 국도건설공사 설계실무요령(국토해양부, 2008)

종 류		재료의 상태		단위중량 (kN/㎥)	내부마찰각 ø(°)	점착력 c(MPa)	분류기호 (통일분류)
흙쌓기	자갈 및 자갈섞인모래	다진것		20	40	0.00	GW, GP
	모 래	다진것	입도가 좋은 것	20	35	0.00	SW, SP
			입도가 나쁜 것	19	30	0.00	
	사 질 토	다진것		18	25	0.03이하	SW, SC
	점 성 토	다진것		18	15	0.05이하	ML, CL MH, CH
자연지반	자 갈	밀실한 것, 입도가 좋은 것		20	40	0.00	GW, GP
		밀실치 않은 것, 입도가 나쁜 것		18	35	0.00	
	자갈섞인 모래	밀실한 것		18	40	0.00	GW, GP
		밀실치 않은 것		19	35	0.00	
	모 래	밀실한 것, 입도가 좋은 것		20	35	0.00	SW, SP
		밀실치 않은 것, 입도가 나쁜 것		18	30	0.00	
	사 질 토	밀실한 것		19	30	0.03이하	SM, SC
		밀실치 않은 것		17	25	0.00	
	점 성 토	굳은 것(손가갈으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=8~15)		18	25	0.05이하	ML, CL
		약간 무른 것(손가락 중간정도의 힘으로 들어감. N=4~8)		17	20	0.03이하	
		무른 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=2~4)		17	20	0.015이하	
	점토 및 실트	굳은 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=8~15)		17	20	0.05이하	CH, MH ML
		약간 무른 것(손가락 중간정도의 힘으로 들어감. N=4~8)		16	15	0.03이하	
		무른 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=2~4)		14	10	0.015이하	

<표 2.1-78> Geotechnical Engineering Investigation(Roy E. Hunt, 1987)

흙의 종류	다짐도	Dr,%	N	γ_{dry} (gf/㎤)	간극비 e	내부 마찰각(ø)
GW (입도분포가 좋은 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	90	2.21	0.22	40
	중간조밀	50	55	2.08	0.28	36
	느 슨	25	<28	1.97	0.36	32
GP (입도분포가 나쁜 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	70	2.04	0.33	38
	중간조밀	50	50	1.92	0.39	35
	느 슨	25	<20	1.83	0.47	32
SW (입도분포가 좋은 모래, 자갈질 모래)	조 밀	75	65	1.89	0.43	37
	중간조밀	50	35	1.79	0.49	34
	느슨	25	<15	1.70	0.57	30
SP (입도분포가 나쁜 모래, 자갈질 모래)	조밀	75	50	1.76	0.52	36
	중간조밀	50	30	1.67	0.60	33
	느슨	25	<10	1.59	0.65	29
SM (실트질 모래)	조밀	75	45	1.65	0.62	35
	중간조밀	50	25	1.55	0.74	32
	느슨	25	<8	1.49	0.80	29
ML (무기질 실트, 매우세립한 모래)	조밀	75	35	1.49	0.80	33
	중간조밀	50	20	1.41	0.90	31
	느슨	25	<4	1.35	1.00	27

◦ 경험식에 의한 방법

<표 2.1-79> 경험식에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

점착력 산정식		내부마찰력 산정식	
$\varnothing = 0$	$c = \frac{q_u}{2}$	Dunham	$\varnothing = \sqrt{12N} + 20$
Dunham	$q_u = \frac{N}{7.7}$	Peck	$\varnothing = 0.3N + 27$
Terzaghi-Peck	$q_u = \frac{N}{8}$	Ohsaki	$\varnothing = \sqrt{12N} + 15$
Ohsaki	$q_u = 4 + \frac{N}{2}$	도로교시방서	$\varnothing = \sqrt{15N} + 15$

◦ 기존 설계자료

<표 2.1-80> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각ø(°)	점착력c(MPa)	비고
기장~장안 국도건설공사	풍화(잔적)토	18	25	0.03	
	풍화암	21	30	0.05	
	연 암	25	32	0.10	
부산~울산간 고속도로 건설공사 (화전~좌동)	풍화(잔적)토	19	28	0.02	직접전단시험
	풍화암	20	30	0.03	
	연 암	24	30	0.10	
부산~울산간 고속도로 건설공사 (두현~굴화)	풍화(잔적)토	18	30	0.01	
	풍화암	20	30	0.05	
	연 암	23	35	0.01	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 2.1-81> Rock Slope Engineering(E. Hoek & J.W.Bary)

암 종	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각(°)	점착력(kN/㎡)
화 성 암 (화강암, 현무암 등)	25~30	35~45	35,000~55,000
변 성 암 (규암, 편마암, 슬레이트)	25~28	30~40	20,000~40,000
견고한 퇴적암 (석회암, 백운암, 사암)	23~28	35~45	10,000~30,000
연약한 퇴적암 (사암, 석탄, 백악, 셰일)	17~23	25~35	1,000~20,000

<표 2.1-82> 국내 암석의 실내시험 결과(지반공학회지)

암종	화강암	편마암	사암	세일	석회암	응회암
단위중량 (kN/㎥)	26.1±0.5	26.3~27.7	26.7±0.8	27.3±1.0	27.3±1.0	24.3~25.6
점착력 (kN/㎡)	13,500 ~25,000	-	15,000 ~40,000	10,000 ~25,000	15,000 ~34,000	4,000 ~15,000
내부마찰각 (°)	51~65	-	35~54	18~29	35~50	35~45

주)시료수 : 화강암(162~2,123), 편마암(117), 사암(494), 셰일(354), 석회암(150), 응회암(33)

<표 2.1-83> 암반의 전단강도 지수(한국도로공사, 도로설계실무편람)

암석종류 (강 도)	암 반 파 쇄 상 태		굴 착 난 이 도	암반의전단강도지수	
	NX 시 추 시 (Double Core Barrel 사용시)			ϕ (°)	C (kN/㎡)
	T.C.R (%)	R.Q.D (%)			
강한 풍화암으로서 파쇄가 거의 없는 경우와 대부분의 연.경암	20~30%	10~25%	발파암반 (연암)	33	130
	40~50%	25~35%	발파암반 (보통암)	35	150
	70% 이상	40~50%	발파암반 (경암)	40	200

◦ 경험식에 의한 방법

<표 2.1-84> Bieniawski(1989)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	-0.051 + 0.008RMR - 3.346×10-5RMR²(MPa)
마찰각(∅)	-0.086 + 0.7891RMR - 0.0031RMR²(degree)

<표 2.1-85> Trueman (1988)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	0.25exp(0.05RMR) (Mpa)
마찰각(∅)	0.5RMR + 5 (degree)

<표 2.1-86> 김교원 (1993)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	0.02exp(0.08RMR*) (Mpa)
마찰각(∅)	0.25(RMR*) + 27.5 (degree)

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 적용 지반정수 요약

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 MPa	프와송비	비 고
풍화토	18	28	0.02	0.3	
풍화암	20	30	0.03	0.3	
연 암	24	32	0.10	0.3	

6) 지반의 불포화 특성

실제 지반은 포화상태보다는 대부분 일정비율의 공기를 함유하고 있는 불포화상태이기 때문에 현실적인 해석결과를 검토하기 위해서는 불포화 특성이 고려된 비정상류 검토를 실시해야 한다. 다만 시험방법이 복잡하고 널리 알려지지 않아 수행에 다소의 어려움이 있어 현장여건을 최대한 반영하기 위해 관련 문헌자료를 이용하여 산정하였다. 불포화 특성은 지반의 불포화영역에서 음의 간극수압 크기에 따라 투수계수 및 함수비(포화도) 변화를 정의하는 것으로 압력수두(음의간극수압)에 따른 투수함수와 함수비함수를 직접정의(개별고려)하는 방법과 압력수두-체적함수비(포화도)-투수계수비의 관계를 정의(동시고려)하는 방법이 있다.

① 개별고려

불포화토 실험자료를 바탕으로 각각 제공되는 함수종류에 따라 Curve Fitting을 통하여 계수를 정의한다.

② 동시고려

JICE(일본국토기술연구센터, 2007)기준에 따라 불포화토 특성재료의 자료를 설정 가능하다. 지반종류별 제공된 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수는 다음과 같다.

<표 2.1-87> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비

구 분	압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비	
	체적함수율-압력수두	체적함수율-투수계수비
역질토	[G], [G-F], [GF]	[G], [G-F], [GF]
사질토	[S], [S-F], [SF]	[S], [S-F], [SF]
점성토	[M], [C]	[M], [C]

7) 수리정수 산정

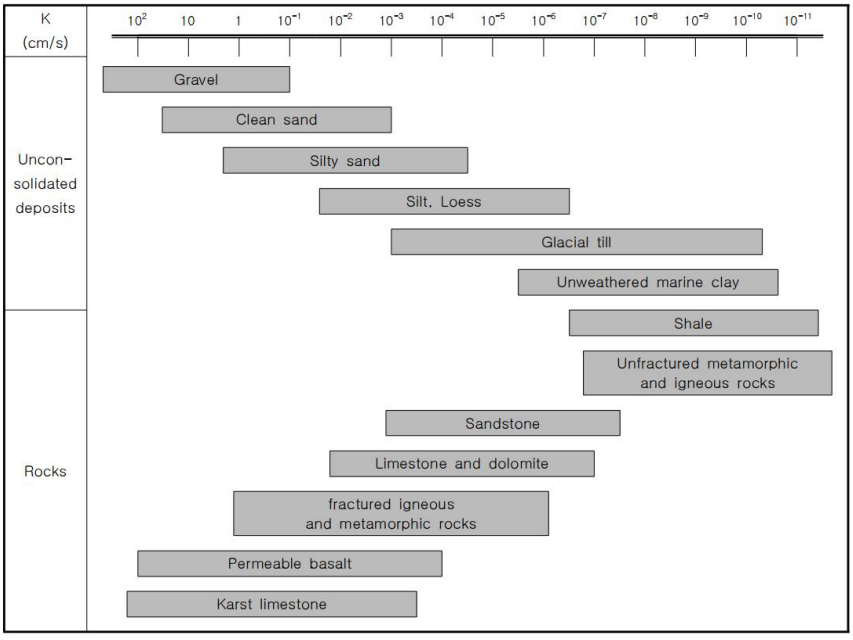
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 2.1-88> 대표적 투수계수

구 분		김 상 규(㎝/sec)	Braja M. Das(㎝/sec)
매립층	모래	1.0E-03~1.0	1.0E-03~1.0
	자갈, 사석	1.0E-02~1.0	1.0E-02~1.0
퇴적층	점성토	1.0E-08~1.0E-03	1.0E-06이하
	모래	1.0E-03~1.0	1.0E-03~1.0
풍화토		1.0E-06~1.0E-02	-

<표 2.1-89> 흙의 종류에 따른 일반적 투수계수(Rartick Power,1992)

흙의 종류	투수계수(㎝/sec)	흙의 종류
자갈(GP)	1.0 이상	양호한 모래(SW)
균등한 자갈(GP)	2.0E-01~1.0	실트질 모래(SM)
양호한 자갈(GW)	3.0E-02~5.0E-02	점토질 모래(SC)
균등한 모래(SP)	5.0E-03~2.0	실트(ML)



<그림 2.1-5> 퇴적물 및 암종별 투수계수(Freeze & Cherry, 1979)

라. 적용 강우강도

1) 강우강도

대상 비탈면에 적용된 강우강도는 한국확률강우량도의 지역별 확률강우량을 적용한다. 관측소가 없는 지역은 최인접 관측소의 확률강우량을 사용하되, 계획대상지점의 확률강우량을 이용하여 강우강도-지속시간-발생빈도 곡선(I.D.F 곡선, Intensity-Duration-Frequency)을 작성하여 최인접 관측소의 확률강우량과 비교 후 큰 값을 적용한다.

2) 설계강우빈도

① 도로배수시설 설계기준 KDS 44 40 00 : 2016

국가건설기준에 따른 도로배수시설의 설계빈도는 위험도·경제성 등을 고려하여 정하며, 구조물별 설계빈도의 적용은 다음 표와 같다.

<표 2.1-90> 도로배수시설 설계빈도

구분	설계빈도	적용위치 및 적용 방법
본선 횡단암거 및 배수관 (도시지역, 산지부)	30년 (50년) 50년 이상	. 일반구간 . 도심지, 도시계획구간 . 국지성 집중호우가 빈번히 발생하는 경우로 조사된 경우
노면 및 흙쌓기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	. 길어깨 및 중분대 등 노면 배수시설 . 흙쌓기부 도수로, 땅깎기흙쌓기경계부 측구 등
측도 및 도로 인접지 배수시설 땅깎기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	. 산마루 측구, 땅깎기부 도수로, 소단 측구 . 흙쌓기 비탈끝 배수시설, 수로이설
집수정 등 배수구조물 간 접속부	접속하는 시설물 중 빈도가 큰 값 적용	

② 비탈면배수시설 설계기준 KDS 11 70 25 : 2016

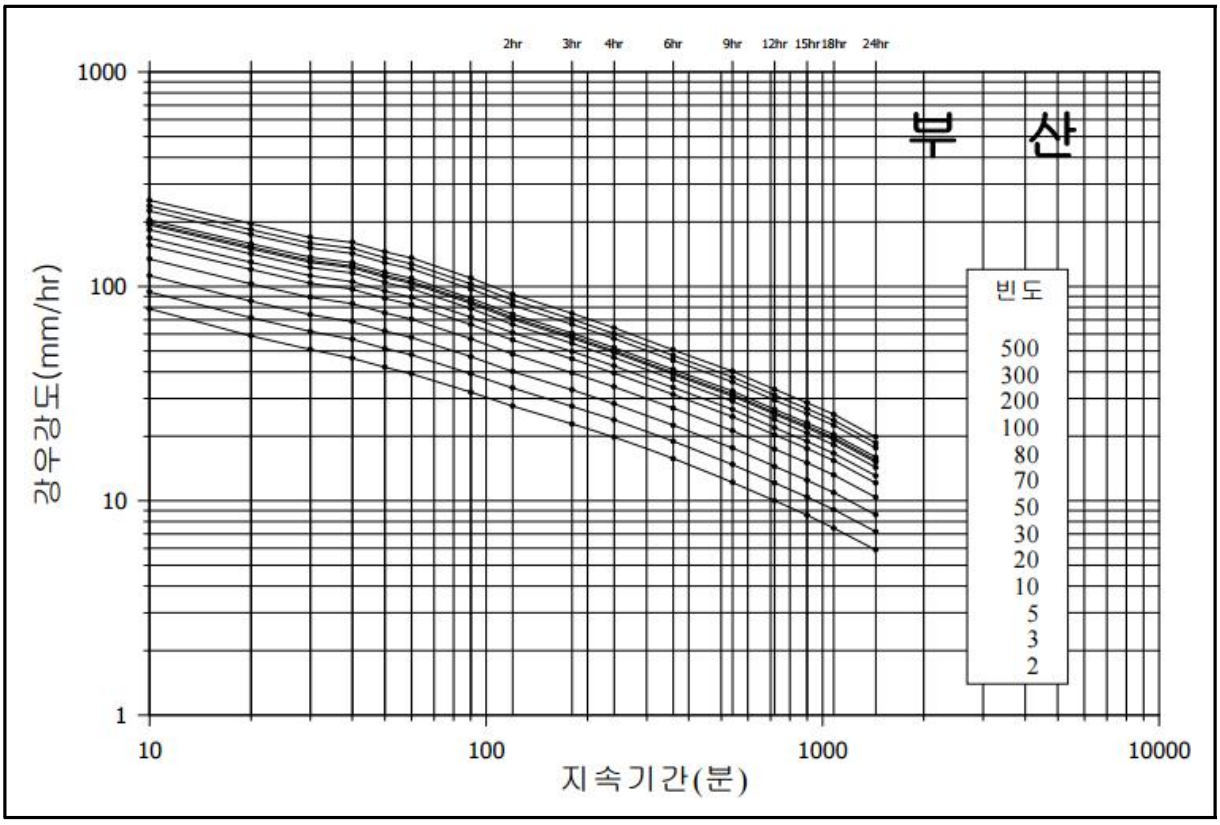
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

③ 적용 강우빈도

대상 비탈면에 적용할 강우빈도는 적용하기 위해 도로배수시설 및 비탈면배수시설의 설계기준을 참조하였으며 일반적으로 비탈면 배수시설에 적용하는 설계빈도는 20년 내외로 검토되었다. 다만 대상 비탈면의 중요도를 고려하여 적용할 강우 재현기간을 100년으로 선정하였다. 강우지속시간은 24시간을 기준으로 사용하였다.

2) 확률강우량 및 IDF곡선

① 부산지역



<그림 2.1-6> 부산지역 IDE곡선

재현기간(년) / 강우지속시간(hr)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	200	300
1	66.80	77.12	82.90	86.89	89.93	92.37	94.40	96.15	97.67	99.03	107.66	112.52
24	12.21	14.88	16.43	17.52	18.36	19.04	19.62	20.12	20.56	20.95	23.52	25.00
48	8.19	10.09	11.19	11.97	12.57	13.06	13.48	13.83	14.15	14.43	16.28	17.35

확률강우강도(㎜/hr)

<그림 2.1-7> 부산지역 확률강우강도

마. 지진시 비탈면 안정해석

1) 비탈면의 내진등급 및 성능목표

비탈면의 내진등급은 상위개념 내진설계기준을 준용하여 비탈면이 속해있는 주 구조물의 내진등급에 따라 Ⅰ등급, Ⅱ등급으로 구분하며 다음 원칙에 따라 결정한다. 비탈면의 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치지는 않으나 기능성 혹은 운영상에 일시적인 영향을 미치는 경우에는 주구조물 보다 한등급 아래의 내진등급을 적용한다. 또한 비탈면의 내진성능수준은 붕괴방지수준(비탈면 설계기준, 2011)으로 이는 비탈면에 인장균열, 부분적 탈락, 배부름 등의 파괴징조는 나타나지만 이로 인해 주구조물의 구조적 성능과 기능적인 역할에 피해를 유발시키지 않는 성능수준이다. 따라서 대상시설물은 주구조물이 고속도로인 내진Ⅰ등급에 해당되며 비탈면 붕괴가 발생할 경우 주구조물의 기능성 혹은 운영상에 일시적인 영향을 받으므로 주구조물과 같은 등급인 내진Ⅰ등급으로 선정하였다.

구조물분류	등급구분	적용대상
도로교	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별한 교량 (장대교량)
	내진Ⅰ등급	• 고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도상의 교량 • 지방도, 시도, 군도 중 방재계획상 필요한 도로에 건설된 교량 • 내진Ⅰ등급교가 건설되는 도로 위를 지나가는 고가교량
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 교량
고속철도	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별히 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	교량, 고가역사, 지하터널역사, 터널, 전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	이외의 구조물
공항구조물	내진특등급	관제탑, 구조 및 소방시설
	내진Ⅰ등급	교량, 지하구조물, 비행장시설, 도로, 건축물 등
	내진Ⅱ등급	하수도, 화물창고, 화물터미널
항만구조물	내진Ⅰ등급	항구의 입지적, 전략적 요건에 의해 주관적으로 분류
	내진Ⅱ등급	안벽, 제방 등 Ⅰ등급으로 할 필요가 없는 구조물
지중구조물	내진특등급	• 특별한 안전이 요구되는 시설 • 긴급구조, 국방 및 치안유지에 필요한 구조물
	내진Ⅰ등급	사회적 혼란이 야기되고 많은 인명, 재산피해를 주는 구조물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 일반적인 구조물
댐	내진특등급	중규모이상으로서 파괴시 하류에 중규모이상의 피해가 야기되는 댐
	내진Ⅰ등급	소규모로서 파괴시 하류에 낮은 수준의 피해가 야기되는 댐
터널	내진특등급	• 긴급구조, 구호, 국방 및 치안유지에 필요한 터널 • 내진특등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅰ등급	내진1등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅱ등급	그 외의 일반적인 터널
도로	내진Ⅰ등급	고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도
	내진Ⅱ등급	지방도, 시도, 군도
철도구조물	내진특등급	내진Ⅰ등급구조물중 복구난이도가 높고 경제사회적으로 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	국방, 치안유지 및 국가산업 활동에 중요역할을 하는 철도선상이나 도시지하철상의 교량,고가역사,지하철터널역사,터널,전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 구조물
건축물	내진특등급	방송국, 유독폭발성물질을 다량보관하는 구조물
	내진Ⅰ등급	소방서, 경찰서, 종합병원, 통신시설, 발전소, 바닥면적이 5000㎡이상인 집회시설, 바닥면적 10000㎡이상인 판매시설, 내진특등급 구조물을 지원하기 위해 필요한 시설물, 교육용건물, 교도소 및 구금시설, 6층 이상의 아파트나 숙박시설, 공공건물중 지진전후로 가동되어야 하는 건축물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 건축물

<그림 2.1-8> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 2.1-91> 설계지반운동 수준

구 분	특등급	Ⅰ등급	Ⅱ등급
붕괴방지수준	평균재현주기 2400년	평균재현주기 1000년	평균재현주기 500년
	-	해당	-

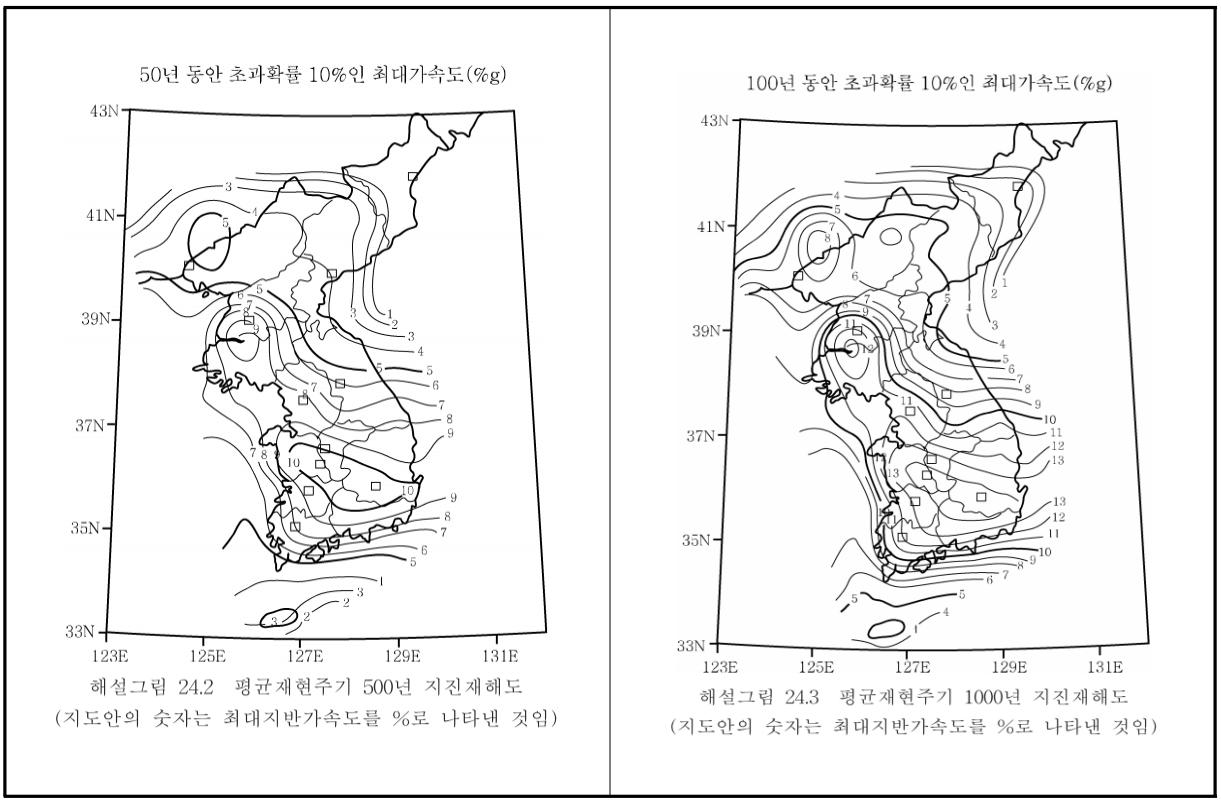
2) 설계지반운동

① 지반가속도계수

지반가속도계수는 지표면 자유장 최대가속도로 해당 지역의 보통암 암반노두를 기준으로 평가하며 지표면에서의 지반가속도계수는 국지적인 토질조건, 지질조건과 지표 및 지하지형이 지반운동에 미치는 영향을 고려해야 한다. 다만 깍기비탈면의 경우 보통암 상태의 노두가 노출되는 경우는 지진재해도 및 지진구역도에서 제시하는 지반가속도계수를 직접적으로 이용할 수 있다.

② 지진재해도를 이용한 지반가속도계수의 산정

지진의 평균 재현주기별로 작성된 지진재해도를 활용하여 비탈면의 내진등급에 따른 지반가속도계수를 산정한다.



해설그림 24.2 평균재현주기 500년 지진재해도
(지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

해설그림 24.3 평균재현주기 1000년 지진재해도
(지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

<그림 2.1-9> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

비탈면이 위치한 지역의 지진구역계수와 내진등급별 재현주기에 따른 위험도계수의 곱으로 지반가속도계수를 산정한다.

<표 2.1-92> 지진구역 구분 및 지진구역계수(재현주기 500년)

지진구역	행정구역		지진구역계수(g)
Ⅰ	시	. 서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시	0.11
	도	. 경기도, 강원도 남부(1), 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 북동부(2)	
Ⅱ	도	. 강원도 북부(3), 전라남도 남서부(4), 제주도	0.07

(1) 강원도 남부(군, 시) : 영월, 정선, 삼척시, 강릉시, 동해시, 원주시, 태백시

(2) 전라남도 북동부(군, 시) : 장성, 담양, 곡성, 구례, 장흥, 보성, 화순, 광양시, 나주시, 여수시, 순천시

(3) 강원도 북부(군, 시) : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천시, 속초시

(4) 전라남도 남서부(군, 시) : 무안, 신안, 완도, 영광, 진도 ,해남, 영암, 강진, 고흥, 함평, 목포시

<표 2.1-93> 지진구역 구분 및 지진구역계수(재현주기 1000년)

재현주기	50년	100년	200년	500년	1000년	2400년
위험도계수	0.4	0.57	0.73	1.00	1.40	2.0

지진구역계수는 각 지진구역별로 평균재현주기 1000년을 기준으로 결정되었으므로 위험도 계수를 이용하여 다른 재현주기에서의 구역별 최대 유효지반가속도를 결정한다.

지역별 최대 유효지반 가속도, g값 = 지진구역계수 × 위험도 계수

3) 지진가속도계수 선정

대상 비탈면의 주구조물은 고속도로로서 비탈면 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치므로 내진등급1등급으로 평가된다. 따라서 지진구역은 I구역으로 재현주기에 따른 위험도계수를 고려한 결과 지진가속도계수는 0.154g이다. 이는 수평방향의 성분으로서 수직방향의 성분의 지진계수는 수평방향의 2/3을 적용한다.(구조동역학(2005) 김두기 : 2/3, 일본기준 : 1/2로 제안)

마. 비탈면 검토구간 및 현황

<표 2.1-94> 검토대상 비탈면구간 및 현황

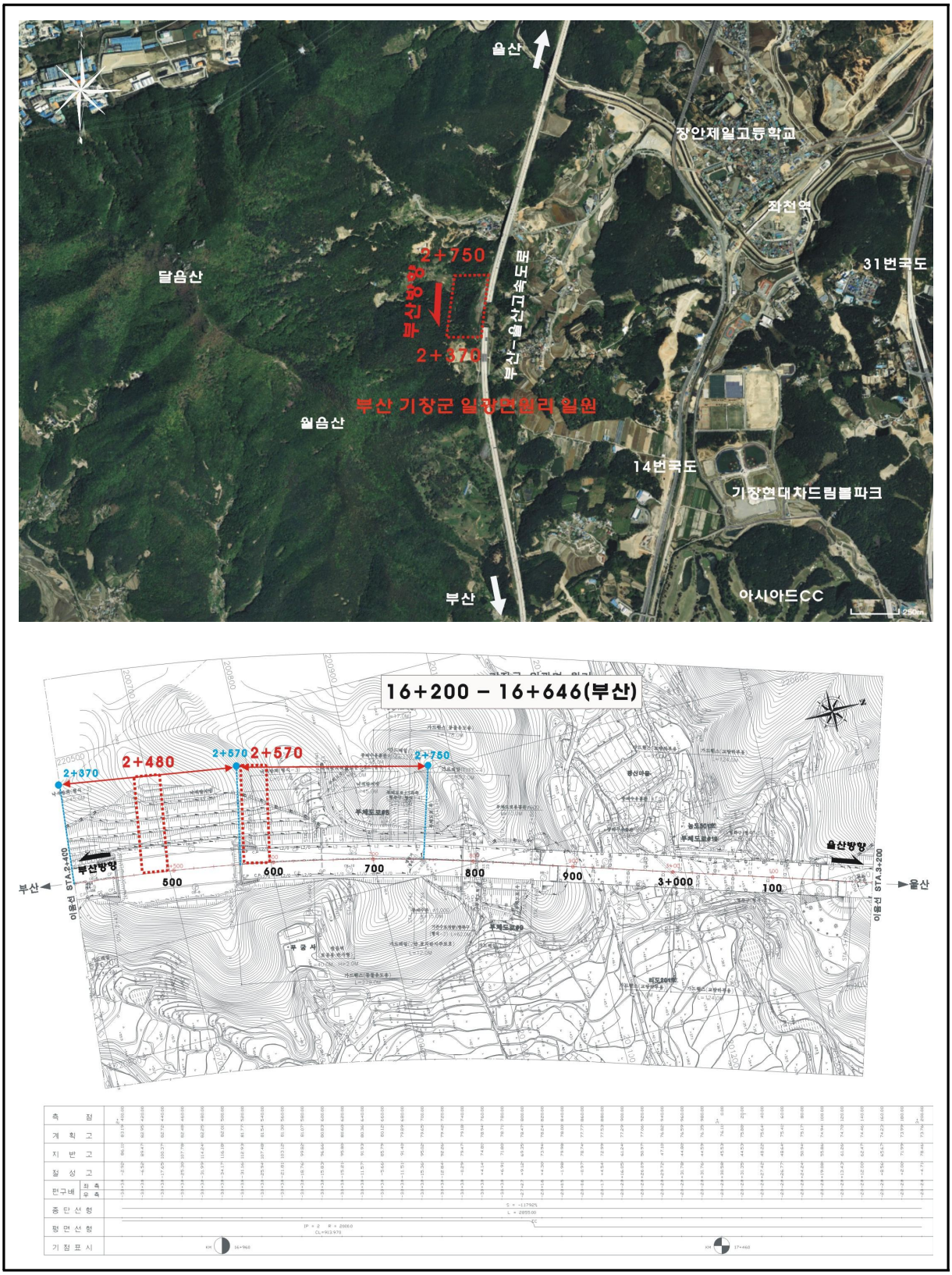
구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
STA.16+200~16+646 (부산)	부산광역시 기장군 일광면 원리	16.20 ~	STA.2+480	58.2	16.7	41.5	-	2008	45/106
			STA.2+570	38.5	13.4	25.1	-	2008	45/106

※ 부산기점 STA.을 설계도면에서 표시된 공구별 STA.으로 분할하여 표시, 검토 표시하였음

<그림 2.1-10> 부산.울산선 검토대상 비탈면구간

사. STA.16+200~16+646(부산) 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



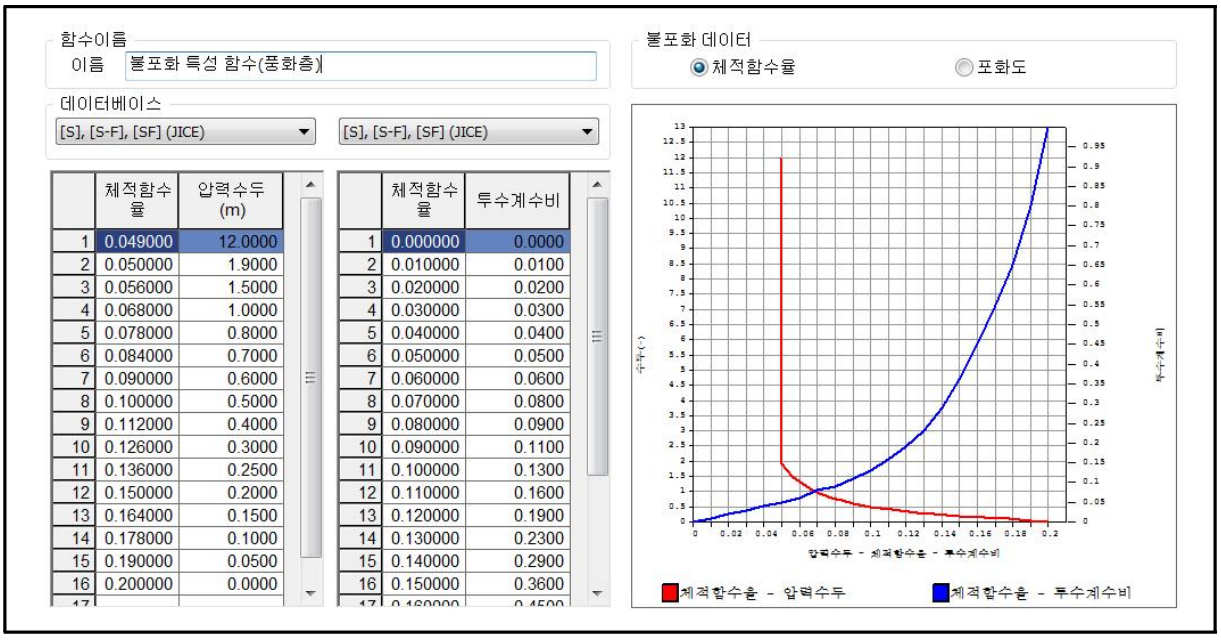
<그림 2.1-11> 부산.울산선 검토대상 비탈면구간

2) 적용 지반정수

지반 정수값은 대상시설물의 실시설계 지반조사보고서 및 주변에서 실시한 지반보고서를 비교, 분석하여 현장 시험값을 기초로 일반적 안전측으로 적용하였다. 투수계수는 문헌자료를 검토하여 일반적인 값을 적용하였다.

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 MPa	투수계수 ㎝/sec	비 고
풍화토	18	28	0.02	1.0E-03	
풍화암	20	30	0.03	1.0E-04	
연암	24	32	0.10	1.0E-05	

지반의 불포화토 특성은 JICE(일본국토기술연구센터, 2007)기준을 적용하였으며 대상지역의 풍화토 및 풍화암의 주된 성분이 실트질 모래 또는 모래섞인 실트로 JICE 기준의 사질토로 구분하여 적용하였다.



	체적함수율	압력수두 (m)
1	0.049000	12.0000
2	0.050000	1.9000
3	0.056000	1.5000
4	0.068000	1.0000
5	0.078000	0.8000
6	0.084000	0.7000
7	0.090000	0.6000
8	0.100000	0.5000
9	0.112000	0.4000
10	0.126000	0.3000
11	0.136000	0.2500
12	0.150000	0.2000
13	0.164000	0.1500
14	0.178000	0.1000
15	0.190000	0.0500
16	0.200000	0.0000

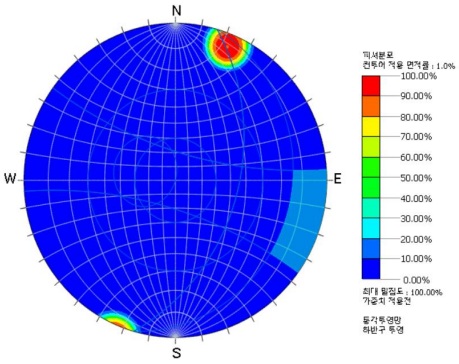
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 2.1-12> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

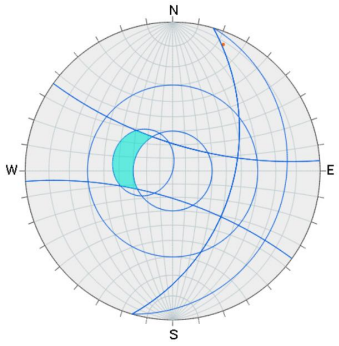
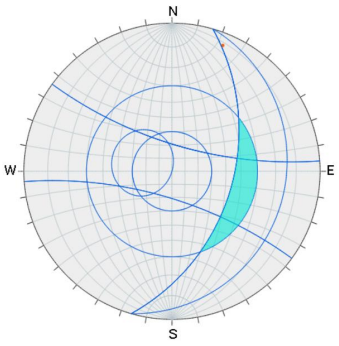
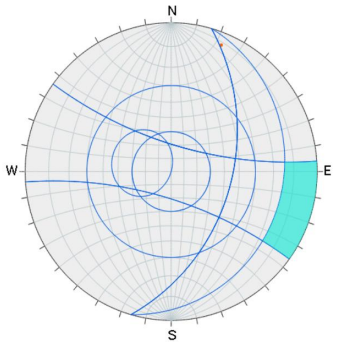
3) 1구간 (STA.2+480, 부산)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
		dip	dip direction
평사 투영도		85	202
		85	202
		85	202
		85	202

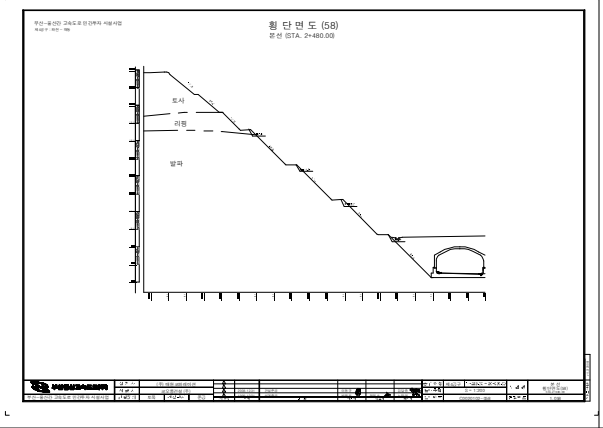
◦ 해석결과

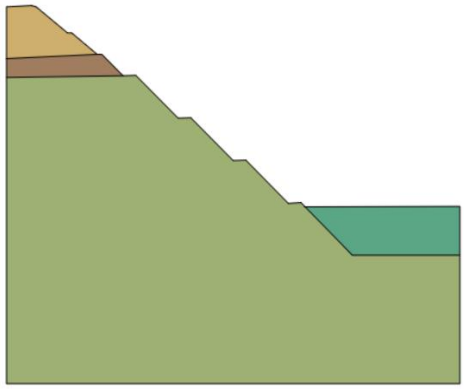
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

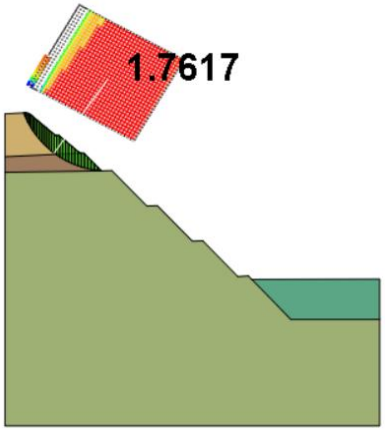
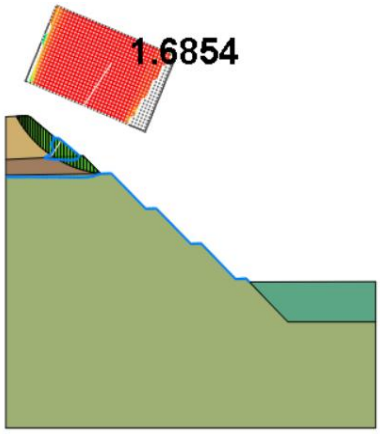
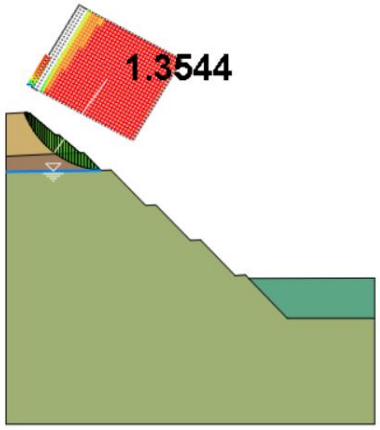
◦ 검토단면





대표단면 : STA.2+480, 부산

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 1.76	안전율 : 1.68	안전율 : 1.35

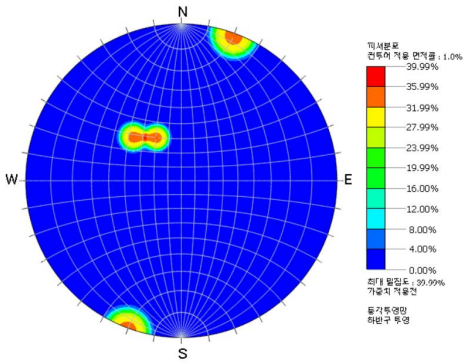
③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	우기시는 침투조건고려
	우기시	Fs ≥ 1.3 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

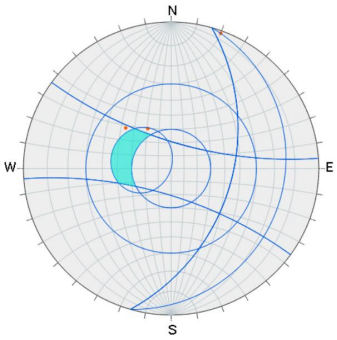
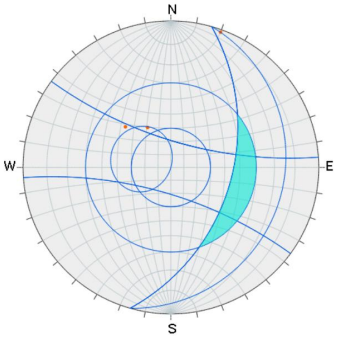
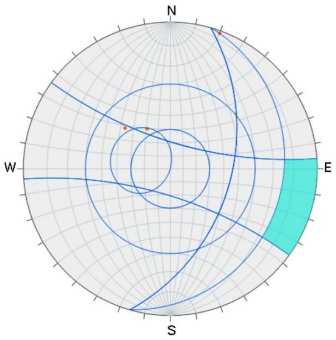
4) 2구간 (STA.2+570, 부산)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
		dip	dip direction
평사 투영도		45	132
		35	150
		89	200
		45	132
		45	132
		45	132
		89	200
		89	200
		35	150

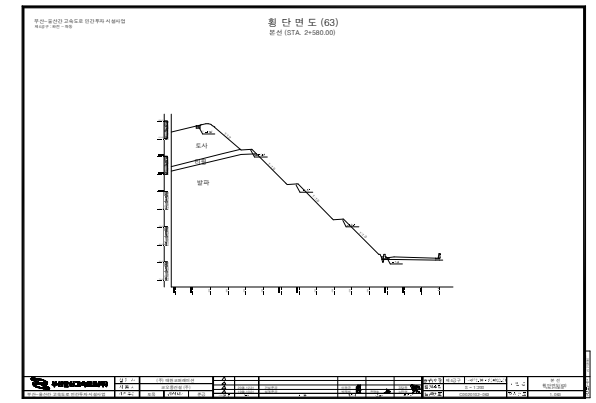
◦ 해석결과

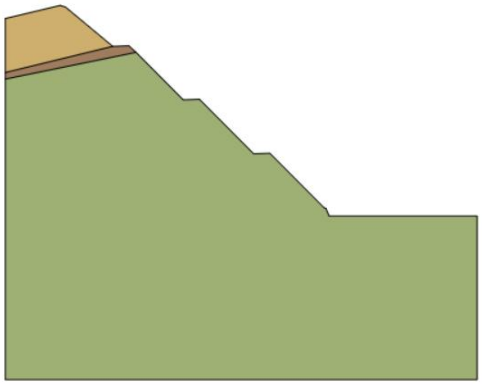
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	일부 가능성	가능성
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

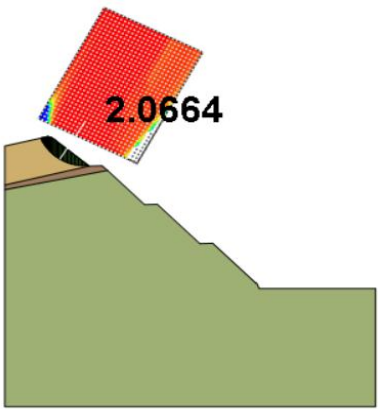
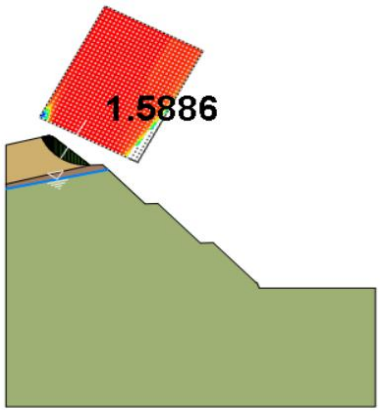
◦ 검토단면





대표단면 : STA.2+570, 부산

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.07	안전율 : 2.06	안전율 : 1.58

③ 2구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	우기시는 침투조건고려
	우기시	Fs ≥ 1.3 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

아. 안전성능평가 결과

구조안전성능평가는 설계 당시의 자료 및 금회 조사된 자료를 검토·분석하여 평가하기로 한다. 설계시 평사투영해석 결과 전도파괴 가능성이 분석되어 한계평형해석을 시행한 결과 건기 및 우기시 허용안전율을 상회하는 것으로 검토되었다. 금회 현장조사를 통한 평사투영해석 결과 각각의 파괴유형에 대한 안전한 것으로 분석되어 구조안전성능평가는 A등급으로 평가되었다.

<표 2.1-95> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**부산기점 STA.16+200~16+646(부산)**		
구성 재료	**파괴유형**	**최소안전율**	**평가 결과**	**비 고**
암반구간 (평사투영 해석)	평면파괴	안정	a	평면파괴 가능성 없음
	전도파괴	안정	a	전도파괴 가능성 없음
	쐐기파괴	안정	a	쐐기파괴 가능성 없음
토사구간 (한계평형 해석)	건기시	1.76	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	1.68	a	Fs ≥ 1.3 ⇨ O.K
	지진시	1.35	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

4.4.3 안전성능평가 결과

안전성능 평가는 상태안전성능과 구조안전성능 평가를 실시하여 둘 중 낮은 등급 결과에 따라 최종등급을 결정하여 그에 대한 대책을 마련한다.

상태안전성능평가 결과, 불연속면의 특성 및 지반 변형 등은 양호한 상태인 것으로 확인되었고 상태안전성능평가 결과 A등급으로 평가 되었다.

금회 본 시설물의 안전성능평가 결과, 외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준인 A등급으로 평가되었다.

<표 2.4-49> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**부산기점 STA.16+200~16+646(부산)**		
평가 구분	결함지수	평가 결과	비 고
상태안전성능	0.140	A	인장균열 없음
구조안전성능	0.080	A	특이파괴 유형 없음
안전성능	0.140	A	
안전성능 결과	ㅇ상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ㅇ**안전성능평가 결과 : A등급**		

<표 2.4-50> 안전성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

안전등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00 ≤(E)< 0.15	외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준
B (양호)	0.15 ≤(E)< 0.30	일부 부재에서 경미한 결함이 발생하였으며, 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30 ≤(E)< 0.55	광범위한 부재에서 결함이 발생하였으나, 전체적이 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강이 필요한 성능수준
D (미흡)	0.55 ≤(E)< 0.75	심각한 결함에 대한 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용 제한 여부를 결정해야 하는 성능 수준
E (불량)	0.75 ≤(E)< 1.00	심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축이 필요한 수준

4.5 내구성능 평가

4.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 2.4-51> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		절리암반사면	SR = 0/52 = 0.00
공용기간		10년	2008년 12월 준공
암반구간 설계(초기)강도		경암 : 85.4MPa	
면적	전체	9,639㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	9,639㎡	
표면보호공	식 생	9,639㎡	
	숏크리트	-	
사면보강공	-	-	

4.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

본 비탈면은 토층심도율을 적용한 결과 암반사면에 해당되며, 지반상태(암반), 표면보호공 및 사면보강공, 절리상태 및 풍화진행도에 대해 평가하기로 한다.

<표 2.4-52> 사면 형식별 내구 성능 지표

구 분	평가 요소		
	토사사면	암반사면	혼합사면
절토사면	○ 지반상태(토질) ○ 표면보호공 ○ 사면보강공	○ 지반상태(암반) ○ 표면보호공 ○ 사면보강공 ○ 절리상태 및 풍화진행도	○ 토사사면과 암반사면 지표를 모두 고려

4.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 2.4-53> 암반사면의 지반상태 평가 기준

항목	등급	그룹 A 암석 예			
		설계(초기 점검값) 대비 강도			
		극경암	경암	보통암	연암
지반상태 (암반)	a	97.5%이상 100%이하	96.0%이상 100%이하	94.0%이상 100%이하	90.0%이상 100%이하
	b	96.0%이상 97.5%미만	90.0%이상 96.0%미만	88.0%이상 94.0%미만	80.0%이상 90.0%미만
	c	92.5%이상 96.0%미만	86.0%이상 90.0%미만	82.0%이상 88.0%미만	70.0%이상 80.0%미만
	d	90.0%이상 92.5%미만	80.0%이상 86.0%미만	76.0%이상 82.0%미만	60.0%이상 70.0%미만
	e	90.0%미만	80.0%미만	76.0%미만	60.0%미만

<표 2.4-54> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
16.750km	129.9	152.1	초기 강도값(경암) : 85.4MPa 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
16.800km	107.1	125.4	
16.820km	129.4	151.5	
평균값	122.13	143.0	
등급	**A등급**		

<표 2.4-55> 표면보호공 평가 결과

항목	등급	보호공의 종류	
		식생 (식생 피복율, %)	콘크리트뿜어붙이기 (손상 면적율, %)
표면 보호공	a	매우 양호(90% 이상)	균열 및 박락 없음(0~10% 미만)
	b	양호(70%이상~90%미만)	일부 균열 발생(10%이상~30%미만)
	c	보통(50%이상~70%미만)	균열 및 일부 박락 발생(30%이상~50%미만)
	d	불량(30%이상~50%미만)	박락으로 일부 유실된 상태, 누수발생(50%이상~70%미만)
	e	매우 불량(0%~30%미만)	대부분의 범위에서 박락 및 유실, 누수발생(70%이상)

<표 2.4-56> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	9,639/9,639㎡	100.0%	-	-	
평가	식생 피복율이 100.0%이므로 "a등급"으로 평가함.				

<표 2.4-61> 암반의 풍화도 평가 등급 및 기준

평가항목	절리상태 및 풍화진행도				
	a	b	c	d	e
길이	< 1m	1~3m 미만	3~10m 미만	10~20m 미만	≥ 20m
틈새	0	< 0.1㎜	0.1~1㎜미만	1~5㎜ 미만	≥ 5㎜
거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄
충전물	없음	단단한 충전물 (< 5m)	단단한 충전물 (≥ 5m)	연약한 충전물 (< 5m)	연약한 충전물 (≥ 5m)
풍화진행도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화

<표 2.4-62> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(Set A)		
	Set 1	Set 2	Set 3
길이(m)	1~3	-	-
	b(5)	-	-
틈새(㎜)	< 0.1	-	-
	b(5)	-	-
거칠기	약간 거침	-	-
	c(10)	-	-
충전물	hard	-	-
	b(5)	-	-
풍화진행도	Fresh	-	-
	a(0)	-	-
합 계	25	-	-
평 균	5.0	-	-
평가 결과	b	-	-

평가항목	불연속면(Set B)		
	Set 4	Set 5	Set 6
길이(m)	1~3	< 1	< 1
	b(5)	a(0)	a(0)
틈새(㎜)	< 0.1	< 0.1	< 0.1
	b(5)	b(5)	b(5)
거칠기	약간 거침	약간 거침	약간 거침
	c(10)	c(10)	c(10)
충전물	hard	hard	hard
	b(5)	b(5)	b(5)
풍화진행도	Fresh	Fresh	Fresh
	a(0)	a(0)	a(0)
합 계	20.0	20.0	20.0
평 균	6.0	6.0	6.0
평가 결과	b	b	b

<표 2.4-63> 절리상태 및 풍화진행도 평가 결과

시험 개소	시험개소별 등급	등급 점수	비 고
Set A- Set 1	b	0.23	
Set A- Set 2	-	-	
Set A- Set 3	-	-	
Set B- Set 4	b	0.23	
Set B- Set 5	b	0.23	
Set B- Set 6	b	0.23	
평균값		0.23	최소 및 최대 제외
등 급		**b**	

4.5.4 내구성능 평가 결과

1) 혼합사면 내구성능 가중치

본 비탈면은 혼합 사면으로 토사사면과 암반사면을 구분하여 평가하고, 각각의 해당되는 평가항목을 고려하여 가중치 보정값을 적용하기로 한다.

<표 2.4-64> 사면형식에 따른 지표별 가중치

사면구분	지표명	지표별 가중치				
		기본	가중치 보정			
암반사면	지반상태(암반)	25	28	33	38	-
	절리상태 및 풍화진행도	40	44	53	62	80
	표면보호공	10	-	14	-	20
	사면보강공	-	-	-	-	-

2) 암반구간 내구성능 등급

<표 2.4-66> 암반사면 내구성능 등급 산정

평가항목	등급	등급 점수 (a)	가중치 (b)	결함지수 (a)×(b)
지반상태(암반)	a	0.08	0.33	0.026
절리상태 및 풍화진행도	b	0.23	0.53	0.122
표면보호공	a	0.08	0.14	0.011
결함도 지수				0.159
등 급				**B**

금회 본 시설물의 내구성능평가 결과, 일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.

<표 2.4-68> 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

안전등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00 ≤(E)< 0.15	외부 환경조건 등으로 인한 내구성능 저하가 발생할 가능성이 낮은 성능 수준
B (양호)	0.15 ≤(E)< 0.30	일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30 ≤(E)< 0.55	광범위한 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었거나 주의가 필요한 수준으로 진행되어 간단한 보수가 필요한 성능 수준
D (미흡)	0.55 ≤(E)< 0.75	광범위한 부재에서 내구성 저하가 진행되어 긴급한 보수 또는 교체가 요구되는 성능 수준
E (불량)	0.75 ≤(E)< 1.00	광범위한 부재에서 내구성능의 저하가 심각하게 진행되어 즉각 사용을 금지하고 보수 또는 교체가 필요한 성능수준

4.6 종합평가

4.6.1 종합평가 개요

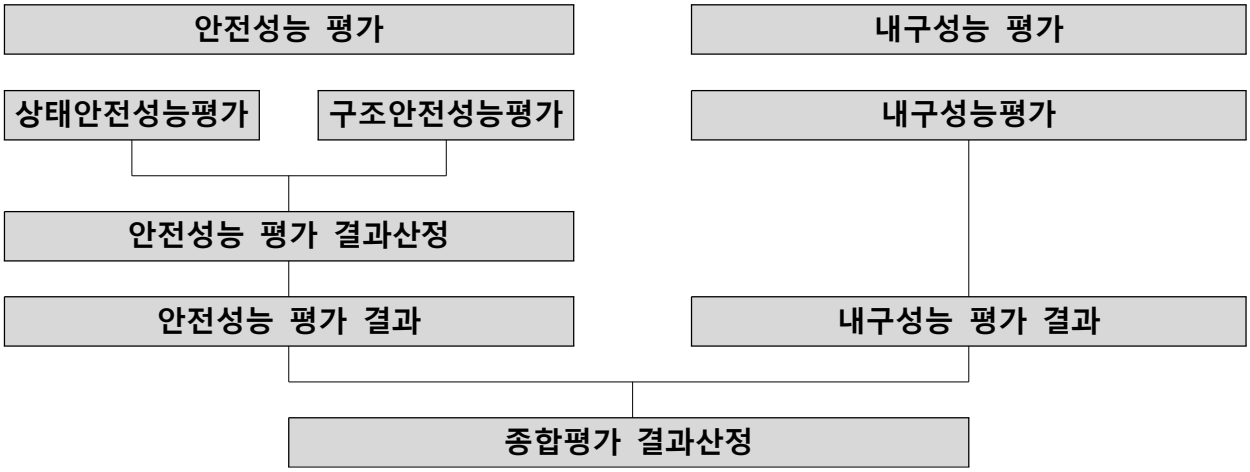
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때

· 안전성능 평가지수가 종합평가의 대표 지수로 산정

○ 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급이 아닐 경우

· 안전성능과 내구성능 각 성능항목의 가중치를 고려하여 산정



<그림 2.6-2> 종합평가 흐름도

4.6.2 종합평가 결과 산정결과

종합평가의 산정방법은 안전성능 평가와 내구성능 평가 지수에 대해 각 성능항목에 따라 부여된 가중치를 곱한 값을 합산하여 구한다. 단, 안전성능평가 결과가 최하위 등급일 경우에는 가중치와 상관없이 안전성능평가 결과를 최종등급으로 산정한다.

사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn))

<표 2.4-69> 성능간 가중치 산정 값

구분	분류	성능항목	
		안전성능	내구성능
성능간 가중치 (Wn)	일반도로 사면 고속도로 사면 일반철도 사면 고속철도 사면	0.8	0.2

<표 2.4-70> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	부산울산선 STA.16+200~16+646(부산)		**분류**	부산울산고속도로
평가 구분	**성능평가 지수**	**평가 결과**	**성능간가중치(Wn)**	**비 고**
안전성능평가	Ps=0.140	A	0.8	인장균열 없음
내구성능평가	Pd=0.159	B	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.140 × 0.8) + (0.259 × 0.2) = 0.144 ㅇ종합평가 결과 : A등급			

당해 시설물에 대해 종합적으로 성능평가를 실시한 결과 종합성능등급은 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B등급(양호)인 것으로 평가되었다.

<표 2.4-71> 절토사면의 종합평가 결과에 따른 종합성능 등급 기준

종합성능 등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00≤(P)<0.15	외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준
B (양호)	0.15≤(P)<0.30	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30≤(P)<0.55	광범위한 부재에서 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사 되었고 기능 또는 사용상의 편의에 일부 문제점이 있으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강 및 개선이 필요한 성능 수준
D (미흡)	0.55≤(P)<0.75	성능이 기준에 미치지 못하여 시설물의 지속적인 사용이 어려운 수준으로 긴급한 보수.보강 또는 개선이 필요하며 사용제한 여부를 검토해야 하는 성능 수준
E (불량)	0.75≤(P)<1.00	심각한 결함 또는 내구성능 저하로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있거나 기능을 발휘하지 못하는 수준으로 즉각 사용을 중단하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 성능 수준

4.7 유지관리 전략 제안

시설물의 성능목표를 설정하기 위해 성능평가 실시결과와 함께 시설물의 사용환경 등을 검토하여 성능목표에 대한 등급을 지정하여야 한다.

4.7.1 성능목표 설정

『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 성능평가편(2019.01)』에서의 절토사면의 성능목표는 대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 B등급으로 설정하도록 하였다.

□시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법□제6조 제9항 및 동법 시행령 제3조 제4항, 제5항에 의거 5년주기의 "중기 시설물 관리계획"을 수립하여야 한다. 중기 시설물 관리계획에 성능평가 대상시설물에 대한 성능목표 및 관리기준이 설정되어야 하나 아직 계획수립 전에 금회 성능평가가 실시되기 때문에 본 시설물의 성능목표는 관리주체 의견과 관련 법규를 종합적으로 분석하여"B(0.15≤P<0.30)"으로 설정하였다.

<표 2.4-72> 성능목표 등급의 분류기준에 따른 평가점수 범위

기준	A	B	C	D	E
결함도 범위	0.0≤P<0.15	0.15≤P<0.30	0.30≤P<0.55	0.55≤P<0.75	0.75≤P
성능목표	**B등급** 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준				

4.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "A등급(0.140)"으로 평가되었다.

<표 2.4-73> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.140	0.159	0.144
평가결과	A	B	A

4.7.3 유지관리 전략 제안

유지관리 전략 제안의 목적은 모든 보수·보강 후보를 대상으로 성능평가지표인 상태안전성능, 구조안전성능, 내구성능, 사용성능에 근거하여 경제적 측면, 환경적 측면, 사회적 영향 등을 고려하여 우선적으로 조치하여야 할 대상을 선정하는데 있다.

가. 손상별 보수·보강 방안

노후화된 구조물에 대한 보수·보강은 손상구조물의 영향정도, 구조물의 중요도, 사용환경조건 및 경제성 등에 의해서 보수·보강 공법 및 수준을 정한다. 본 절토사면의 성능평가 결과, 성능목표 이상인 "A등급"으로 금회 조사된 손상들에 대해서는 현상유지 수준의 주의관찰과 손상 진전 억제를 위한 보수가 적정할 것으로 판단된다.

<표 2.4-74> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구 분		손상 내용	보수·보강방안	보수.보강 수준
표면 보호공	표층	상태양호	주의관찰	현상유지
배수 조건	소단배수로	상태양호	주의관찰	현상유지
	산마루측구	상태양호	주의관찰	현상유지
상부 자연비탈면		상태양호	주의관찰	현상유지

나. 유지관리 전략 제안

본 비탈면은 현재 목표성능 이상인 "A등급"의 상태를 유지하고 있으며, 주기적인 점검을 통한 손상의 발생여후 확인 등의 유지관리 전략을 제안한다.

4.8 종합결론

본 성능평가는 현장조사 및 각종시험에 의해 시설물의 성능을 종합적으로 평가하여 시설물의 객관적인 현재의 상태와 장래의 성능 변화를 파악·예측하고, 이를 통해 관리주체가 보수·개량·교체 등의 최적시기 결정 등 합리적 유지관리 전략을 마련하는 데 그 목적을 두고 시행하였다.

1) 안전성능 평가는 외관상 관찰되는 시설물의 결함을 중심으로 조사·평가하였다. 상태안전성능평가 결과, 불연속면의 특성 및 지반 변형상태 등은 양호한 것으로 확인되었고, 상태안전성능평가 결과 A등급으로 평가 되었다. 일부 구간에서 낙석방지망내 낙석퇴적이 조사되었다. 현재 손상 상태는 경미한 결함으로 시설물의 안전성에 미치는 영향은 매우 미소한 상태이다. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 결과, 외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준인 A등급으로 평가되었다.
2) 내구성능평가는 시간에 따라 변화하는 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로서 본 비탈면의 절리상태 및 표면 보호상태에 대한 평가를 시행하였다. 그 결과 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.
3) 안전성능평가, 내구성능평가 결과를 종합적으로 분석할 때, 외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준인 A(우수)등급으로 평가되었다.
4) 본 절토사면의 성능평가 결과, 성능목표인 "B등급" 이상인 "A등급"인 상태로 주기적인 점검 및 관리를 통한 평가저해요소에 대한 관리가 이루어진다면 시설물의 안전 및 내구성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

제5장 부산울산선 Sta.19+780~20+300(포항)

5.1 대상 시설물 현황

5.2 관련 자료의 분석

5.3 현장조사

5.4 안전성능평가

5.5 내구성능평가

5.6 종합평가

5.7 유지관리전략 제안

5.8 종합결론

제5장 부산울산선 STA.19+780~20+300(포항)

5.1 대상 시설물 현황

성능평가 대상 시설물인"절토사면-부산울산선 STA.19+780~20+300(포항)"비탈면 현황은 다음과 같다.

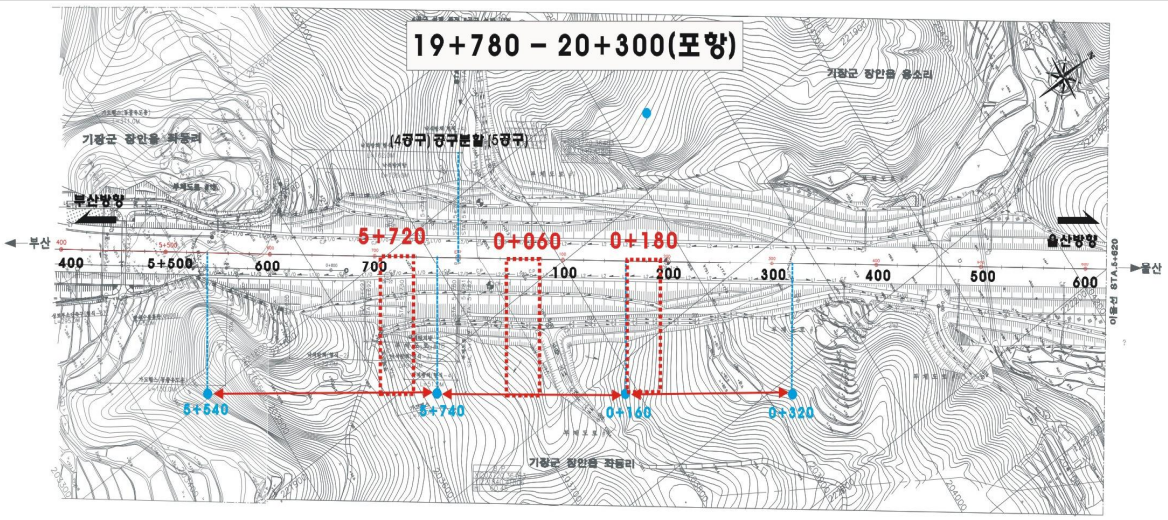
<표 2.5-1> 시설물 현황(부산울산선 STA.19+780~20+300(포항)

시설물 번호	SL2005-0000048		**관리번호**	-
시설물명	절토사면-부산포항선 STA.19+780~20+300(포항)		**시설물구분**	2종시설물
위 치	행정구역	부산광역시 기장군 장안읍 좌동리 산19-1, 용소리 319		
	위치좌표	시점 : N (35°19' 50.29"), E (129°14' 22.00")		
		종점 : N (35°20' 05.76"), E (129°14' 35.94")		
제 원	연 장	600m	높 이	45m
	경사/방향	63/310	노 선	고속국도65호선
관리주체	부산울산고속도로(주)		관리주체구분	민간
주변환경	인공구조물	-		
	주변지형	산악지형	자연비탈면경사	10°
시공현황	준공년도	2008년 12월 31일	시 공 자	삼성물산(주)
	부대시설	낙석방지망, 산마루 측구, 낙석방지울타리, 야생동물유도울타리, 숏크리트 보강부, 계단식옹벽, 점검용 계단, 수직도수로		
비 고				

대상 비탈면 전경

※ 상기의 제원 및 현황은 FMS의 시설물관리대장상의 제원을 표기한 것임.
※ 성능평가 결과 관리대장과 상이한 사항은 보고서내 별도 표기 및 이를 기준으로 조사 및 평가를 시행함.

위 치 도



평 면 도

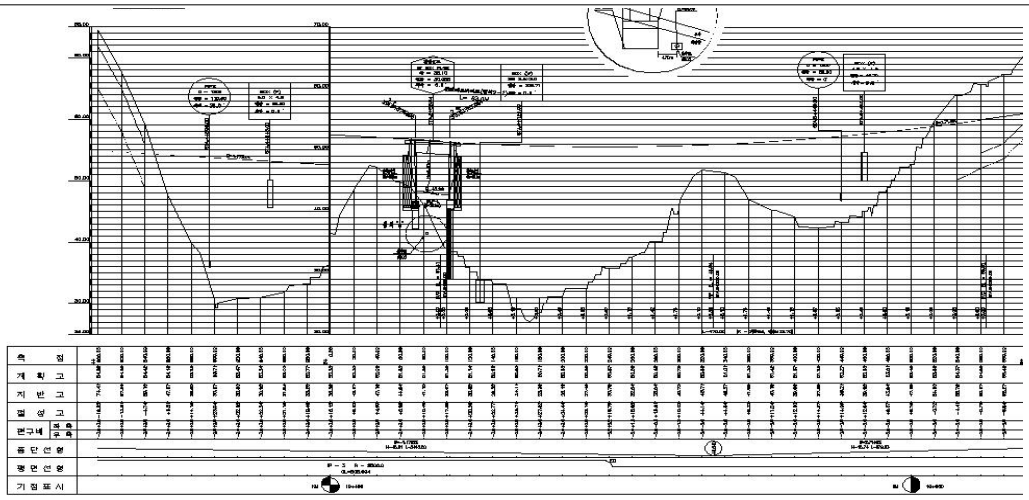


표 준 단 면 도

<그림 2.5-1> 대상 시설물 현황도

5.2 관련 자료의 분석

5.2.1 유지관리 관련 자료 현황

1) 관련 자료 수집 및 분석 현황

자료조사 및 분석은 시설물의 설계, 시공 및 유지관리 관련 자료 및 주변현황 자료로 구분되며 수집된 자료에 대한 분석을 통하여, 첫째로 과업수행의 전체적인 추진방향과 계획을 수립하고, 둘째로 구조물의 이력 확인, 결함 및 손상의 원인분석, 손상의 변화 및 진행성 여부, 보수·보강 대책 및 유지관리 방안을 수립하기 위한 기초자료로 활용하였으며, 자료수집 현황은 다음과 같다.

<표 2.5-2> 유지관리 관련자료 현황

보존대상 목록		보유현황	비 고
설계도서	ㅇ공통 - 준공내역서 - 공사 및 특별시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	 보유 보유 보유 보유 -	ㅇ고속국도 제65호선 부산~울산간 고속도로 민간투자사업 제9공구 준공도서
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등	보유	ㅇ고속국도 제65호선 부산~울산간 고속도로 민간투자사업 제9공구 준공도서
시 설 물 관리대장	ㅇ기본현황 ㅇ상세제원 ㅇ유지관리 이력	보유 보유 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS) ㅇ한국도로공사 비탈면유지관리시스템
시공관련 자 료	ㅇ시공관련자료 ㅇ품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 각종 시험기록 - 시설물 주요 구조 부위에 대한 계측자료 ㅇ사고자료	일부 보유 일부보유 일부보유 일부보유 - - -	ㅇ고속국도 제65호선 부산~울산간 고속도로 민간투자사업 제9공구 준공도서
안전점검 및 정밀안전진단 자료		보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
보수·보강 자료		일부 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)

2) 관련 자료 수집 및 분석 결과

본 시설물은 2008년 준공된 시설물로 설계 및 시공관련 자료 관리 및 보관상태는 대체로 양호한 것으로 조사되었다. 관련자료 분석을 통해 당초 시공시의 개략적인 지반상태를 파악할 수 있다.

본 시설물은 2016년「시설물의 안전관리에 관한 특별법」개정시 2종 시설물로 편입된 시설물이다. 따라서, 준공시 초기점검과 준공년도부터 법 개정전까지 시특법에 의한 점검은 시행되지 않았던 것으로 조사되었다. 시특법 개정이후인 2016년부터 자체적으로 정기점검이 시행된 것으로 파악된다.

5.2.2 지반조사 보고서 분석

본 시설물의 지반조사 분석은 준공도서에 포함된「고속국도 제65호선 부산~울산간 고속도로 민간투자사업(제9공구, 2008년) 지반조사보고서」를 요약·분석하여 성능평가의 기초 자료 활용 및 유지관리시 편의성 제공에 그 목적이 있다.

1) 지 형

조사 지역은 행정 구역 상 부산 광역시 기장군 일광면 화전리를 시점으로하여 기장 군 장안읍 좌동리를 종점으로하는 설계 구간 (L-5.78km)에 해당한다. 조사 지역의 지 형상 산계를 관찰 해보면 북서쪽의 달음산 (586m)과 남서쪽의 양달 본 산 (291m)이 북서쪽에서 남서 방향으로 연결되고 있으며, 주로 그 능선들이 북서-남서 방향으로, 그리고 대개 육지의 능선들은 북동-남동 방향으로 발달되어있다. 시점 부와 종점부는 완만 한 지형을 나타내고 있어 현재 농경지로 이용되고있다. 본 조사 지역의 주류를 이루는 수계를 보면 남쪽의 설계 시점 부의 일 광천과 종점부로가는 중간 부분에 계곡과 병행하는 좌 광천이 사행하여 동해로 빠져 나가는 계곡 물로서 비교적 단조로운 편이다. 광역적인 관찰에 의한 본 지역의 지형으로 볼 때 산세는 대체로 일광면 소재지 서쪽 달음산 (586m)에서 동해 남부선 철도쪽에 이르는 부채꼴 모양으로 발전되어 있으나 본노 선을 끼는 산세는 북서 방향의 비교적 뚜렷한 산준이 발달되어 있으며 대표적으로 본 예림리의 국도 14 호선, 본 노선과 비교적 조사 지역을 동 · 서 방향으로 동과하는 좌동 평행하게 진행하는 동해 남부선 철도 연변은 비교적 하폭이 넓고 해안으로 연결되는 산수 면도 비교적 다른 지역보다 완만 한 상태를 나타내고있다. 일광면과 장안면, 정관면에서의 소규모의 계류는 서측 내륙부보다 각 산능선, 단위 산능의 집합체가 각각 분수령의 역할을 함으로서 일정한 방향성없이 직접 동해 바다에 유입된다.

2) 지질 개요

조사 지역의 광역적인 관찰에 의하면 노선 지역의 일광면을 중심으로 하 과업 수행 본여 광범위하게 흑색 또는 암회색 셰일로 구성된 이천리 층이 분포하고 있고 노선 바깥 일광산 (378m), 아홉산 (360m), 산성 (368m) 등지에 안산암 질 암류가 남서쪽의 거쪽으로 대하게 분포하고 있으며 종점부의 좌동리 부근에서는 국부적으로 이천리 층을 관입하고 있다. 일광 광산 주위에서는 작은 암 주상의 독립 암체로 흑운모 화강암이 나타나고 있으며 덕선리 부근에 화강 섬록암이 아주 미세하게 발견되고 있다. 한편 노선의 우측으로는 이천리 층과 충적토가 번갈아 가며 출현하고있다. 분포하고있는 이천리 층은 조사 지역에 광범위하게 암석 중에서 화석이 아직까지 발 견된 것이 없기 때문에 그 지질 시대를 확실히 알 수가 없지만 구성 암석의 여러 가지 특징들로 미루어 보아 대개 경상계의 신라 통에 대비되는 것으로 사료된다. 일광면 일 대에서 본 층은 인점 한 안산암에 의해 대규모로 관입당한 산출 상태를 보여 준다. 시점 부의 화전리 부근에 있는 충적토는 전역에 걸쳐 계곡 및 낮은 평야 지대에 분포된다. 특히 본 조사 지역 남동부에는 매우 넓은 충적토로 덮인 평야가 발달되어 있으며 바위, 모래 및 점토 등으로 구성되어 있고 대부분이 농경지로서 이용되고 있다. 종점부의 좌동리 부근에 있는 안산암 질 암류는 신라 통의 화산암 류 중에서 초기에 형 성 된 것이며 국부적으로는 이천리 층을 관입 한 관입암 체도 산출 되나, 주로 안산암 질암 류로 인정되는 산출 상태 및 조직을 가지는 암체로 나타난다. 본 암은 입도로 보아 세립 질인 것, 반상 조직을 가지는 것이 조직상의 특징을 달리하는 대표적인 암증이다. 입상 조직을 보여 주고, 안산 일광 광산 주위의 일반적으로 중립 질의 흑운모 화강암은 암이나 이천리 층을 관입하여 그 접촉부가 미립 질로 변화되며 유색 광물이 희소해지는 경향을 볼 수 있다. 정관면에서부터 이어져 덕선리 부근에 미세하게 나타나는 화강 섬록암의 구성 광물은 주로 석영, 사장석, 정장석, 혹 운모 등으로 되어 있고 부 구성 광물로서 각섬석, 연니석, 자철석, 자류 광석, 인회석 나타난다. 본 암의 약 35 %로 정장석보다 더 등이 사장석은 많이 함유되어있다.

5.2.3 점검 및 진단 이력

본 비탈면은 2009년부터 정기안전점검을 8회, 정밀안전점검 4회 실시한 것으로 조사되었다. 점검 결과 전반적으로 양호한 상태로 특별한 보수·보강을 필요한 구간은 없는 것으로 평가되었다.

<표 2.5-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2005-05-01 ~ 2005-12-31	초기안전점검	양호한 상태	A
2	2009-03-06 ~ 2009-06-30	정기안전점검	이상없음	양호
3	2009-05-04 ~ 2009-11-25	정기안전점검	이상없음	양호
4	2010-10-01 ~ 2010-11-29	정밀안전점검	숏크리트 구간에서 일부 균열 및 백태, 소단(1단)에서 다수의 균열이 조사되었으며 이 외에 그물망 찢김 등 일반적이 손상이 발생되었다. 사면 보호공인 녹생토 시공은 일부 탈락된 것으로 조사되었으나 전반적으로 양호한 상태이며 계단식 옹벽 및 낙석방지망의 상태도 양호한 것으로 조사되었다.	B
5	2010-07-07 ~ 2010-12-08	정기안전점검	양호함	양호
6	2011-05-23 ~ 2011-06-03	정기안전점검	양호함	양호
7	2011-11-01 ~ 2011-11-10	정기안전점검	양호	양호
8	2012-05-02 ~ 2012-05-03	정기안전점검	이상없음	양호
9	2012-10-22 ~ 2012-10-24	정기안전점검	이상없음	양호

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
10	2013-04-15 ~ 2013-04-30	정기안전점검	이상없음	양호
11	2013-09-23 ~ 2013-09-27	정기안전점검	이상없음	양호
12	2013-12-06 ~ 2013-12-25	정밀안전점검	숏크리트 구간에서 일부 균열 및 백태, 소단(1단)에서 다수의 균열이 조사되었으며 이 외에 그물망 찢김 등 일반적이 손상이 발생되었다. 사면 보호공인 녹생토 시공은 일부 탈락된 것으로 조사되었으나 전반적으로 양호한 상태이며 계단식 옹벽 및 낙석방지망의 상태도 양호한 것으로 조사되었다.	B
13	2014-04-01	정기안전점검	양호	양호
14	2014-09-01	정기안전점검	양호	양호
15	2015-05-26	정기안전점검	양호	양호
16	2015-12-07	정기안전점검	양호	양호
17	2015-09-29 ~ 2015-12-27	정밀안전점검	산마루측구, 도수로, 소단배수로 등 배수로 점검 결과 구조물의 균열이나 이음부 이격 등의 구조물 변형이나 지반변형 없이 전반적으로 양호한 상태	B
18	2016-06-13 ~ 2016-06-16	정기안전점검	전반적인 상태양호	양호
19	2016-10-19	정기안전점검	전반적인 상태양호	양호
20	2017-04-25	정기안전점검	양호	양호
21	2017-12-04	정기안전점검	양호	양호

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
22	2017-09-29 2017-12-27	정밀안전점검	사면부 점검결과 : 숏크리트 보강부 일부 파손 1개소 (0.3×0.4) 탈락3 개소의 손상이 확인 되었으며 1소단 상부의 록앵커는 전체적으로 다소 부식이 발생하였고 보호캡 손실과 플레이트 고정불량이 확인됨. 또한 계단식 옹벽의 균열 등이 본 사면의 불안 요소로 작용할 가능성이 있어 주의관찰이 필요. 식생상태 : 일부 암노출 구간을 제외하면 식생상태가 대체로 양호 배수시설 점검결과 : 상부 도로 (콘크리트배수로),소단 콘크리트 배수로,산마루측구, 보호시설 점검현황 : 낙석방지망 상태는 양호하나, 지속적인 유지관리 필요	B
23	2015-04-17	정기안전점검	양호.	양호

5.2.4 보수·보강이력

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 유지관리중 보수·보강이력은 없는 것으로 조사되었다.

<표 2.5-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

5.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 내진설계 적용여부에 대한 명확한 근거는 조사되지 않았다.

<표 2.5-5> 내진 설계 적용 여부

검토대상 부재	설계적용여부	결과	검토결과 요약	근거
절토사면	불명	-	내진관련 자료 부족으로 확인 불가	

5.2.6 관련 자료 분석 결과 요약

금회 성능평가시 유지관리 관련자료를 분석한 결과, 본 시설물은 특별한 사고이력 및 상태 변화가 없는 양호한 시설인 것으로 평가되었다. 관련 자료 분석 결과 요약 및 이를 기초로한 금회 성능평가 시행 방향은 다음과 같다.

<표 2.5-6> 관련 자료 분석 결과 요약 및 점검 방향

구 분	자료 분석 결과	성능평가 방향
설계도서	ㅇ준공도서 유지관리중 ㅇ위치도, 횡단면도 등 파악 가능 ㅇ원지반 상태 파악 가능	ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득 ㅇ설계도면과 현재 제원 비교
시설물 관리대장	ㅇ기본현황, 상세제원 확인 가능 ㅇ유지관리 이력 파악 ㅇ시설물 준공 후 최초의 성능평가	ㅇ현장조사를 위한 기초자료로 활용 ㅇ준공후 특별한 보수·보강이력이 없는 상태로서 금회 성능평가시 손상조사시 필요에 따라 보수·보강방안 수립
안전점검 및 정밀안전진단 자료	ㅇ준공후 정기안전점검, 정밀안전점검이 시행되었으며, 전반적으로 양호한 상태임.	ㅇ사면파괴징후에 대한 면밀한 조사 ㅇ필요시 보수보수·보강방안 수립 ㅇ시설물 특성을 고려한 적정한 유지관리방안 제시
보수·보강 자료	ㅇ유지관리 이력상 사면 기붕괴구간에 대한 숏크리트가 시공됨.	ㅇ숏크리트 상태 조사
유지관리 전략 제안	-	ㅇ현장조사 및 관련자료 분석을 통한 항목별 성능평가 시행 ㅇ성능평가 결과에 따라 성능목표 유지를 위한 유지관리 전략 제안

5.3 현장조사

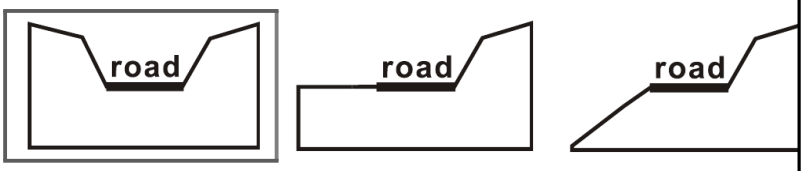
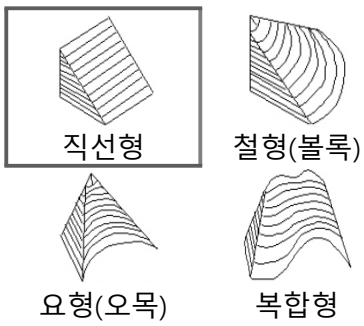
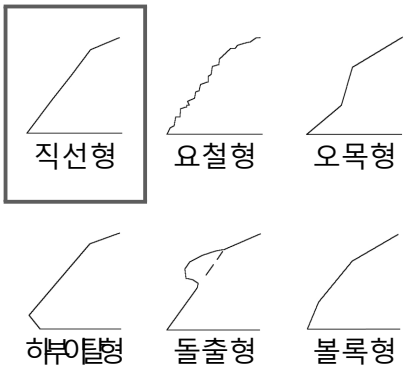
5.3.1 현장조사 체크리스트

관리주체에서 수집된 시설물 유지관리 자료를 참조로하여 현장답사 및 기초 자료를 조사한 결과는 다음과 같다.

<표 2.5-7> 일반현황

<table>
<tr><td>조사일자</td><td colspan="2">2019년 10월 17일</td><td>조 사 자</td><td colspan="2">인승철</td></tr>
<tr><td>일 기</td><td colspan="2">맑음</td><td>준공년도</td><td colspan="2">2008년 12월 31일</td></tr>
<tr><td>행정구역</td><td colspan="5">부산광역시 기장군 장안읍 좌동리 산19-1, 용소리 319</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="5">시점 : N (35°19' 50.29"), E (129°14' 22.00")</td></tr>
<tr><td colspan="5">종점 : N (35°20' 05.76"), E (129°14' 35.94")</td></tr>
<tr><td rowspan="4">절토사면</td><td colspan="3">길 이 : 600m</td><td colspan="2">높 이 : 45m</td></tr>
<tr><td colspan="5">경 사/경사방향 : 63/310 (평균경사 60°)</td></tr>
<tr><td colspan="3">구성물질 : 암반</td><td colspan="2">토층심도 : 1구간 0.03(약 1.0m)
2구간 0.02(약 1.0m)
3구간 0.03(약 1.0m)</td></tr>
<tr><td colspan="5">소 단 : 1</td></tr>
<tr><td rowspan="4">낙석/뜬돌</td><td colspan="3">낙석 존재유무 : 없음</td><td colspan="2">낙석의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="5">낙석 평균크기 : -
낙석 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td colspan="3">뜬돌 존재유무 : 없음</td><td colspan="2">뜬돌의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="5">뜬돌 평균크기 : -
뜬들 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td rowspan="14">절토사면
시공현황</td><td>종 류</td><td colspan="3">위 치</td><td>상 태</td></tr>
<tr><td>식생현황</td><td colspan="3">STA.0+240~340(1소단 상·하부 일부)</td><td>불량</td></tr>
<tr><td>식생현황</td><td colspan="3">STA.0+360~480(1소단 하부)</td><td>불량</td></tr>
<tr><td>식생현황</td><td colspan="3">이외 구간</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>낙석방지망</td><td colspan="3">STA.0+360(일부구간 제외)</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>낙석방지울타리</td><td colspan="3">STA.0+000~590, 205~360(1소단)</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>숏크리트 보강</td><td colspan="3">STA.0+110~130 1소단하부, 360~440
1소단 상·하부</td><td>일부불량</td></tr>
<tr><td>계단식 옹벽</td><td colspan="3">STA.0+360~410</td><td>일부불량</td></tr>
<tr><td>수직도수로</td><td colspan="3">STA.0+320, 395</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>산마루 측구</td><td colspan="3">STA.0+000~130</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>점검용 계단</td><td colspan="3">STA.0+000~130</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>야생동물유도울타리</td><td colspan="3">STA.0+150~600</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>절토사면경보시스템</td><td colspan="3">-</td><td>-</td></tr>
<tr><td rowspan="3">붕괴이력</td><td>유 형</td><td colspan="3">규 모</td><td>위 치</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="3"></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td colspan="3"></td><td></td></tr>
<tr><td>기 타</td><td colspan="5">・일부 식생이 불량한 부위에서 노두가 관찰되었으며, 사면계측기(절토사면 경보시스템)가 설치된 것을 육안으로 확인</td></tr>
</table>

<표 2.5-8> 지형·지질 및 식생

<table>
<tr><td rowspan="3">주변지형의 특성</td><td>주변 지형</td><td colspan="5">산악지형</td></tr>
<tr><td>종단면 형상</td><td colspan="5"> 
</td></tr>
<tr><td>기타 특징</td><td colspan="5">-</td></tr>
<tr><td>사면의 특성</td><td>종횡단면</td><td colspan="5"> 
</td></tr>
<tr><td></td><td>종단면특성</td><td colspan="5"> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="7">상부자연사면</td><td>경 사 도</td><td colspan="5">10°</td></tr>
<tr><td>인장균열</td><td colspan="5">없음</td></tr>
<tr><td>포행흔적</td><td colspan="5">없음</td></tr>
<tr><td>수목의 기울어짐</td><td colspan="5">없음</td></tr>
<tr><td>인공구조물</td><td colspan="5">없음</td></tr>
<tr><td>산마루측구</td><td colspan="5">있음(STA.0+000~130)</td></tr>
<tr><td>계곡부</td><td colspan="5">없음</td></tr>
<tr><td>지 질</td><td>지질각론</td><td colspan="5">·녹생토 및 식생으로 덮여 있어 불연속면 관찰이 곤란</td></tr>
<tr><td rowspan="3">식 생</td><td>① 종 류</td><td>초 본</td><td>관 목</td><td>침 엽 수</td><td>활 엽 수</td></tr>
<tr><td>② 밀 도</td><td>중</td><td>하</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>③ 근계특징</td><td colspan="4">천근성 (O), 심근성 ( )</td></tr>
</table>

<표 2.5-9> 기초조사 자료

일반현황	거리표	-		
	위경도	시점 : N (35°19' 50.29"), E (129°14' 22.00") 종점 : N (35°20' 05.76"), E (129°14' 35.94")		
	차선	편도 (2) 차선		
	조사일자	2019년 10월 17일		
	조사자	인승철	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특 성	길이	600.0m	최대높이	45.0m
	경사	63°(1:0.5)	상부경사	10°
	이격거리	평균 1.0~2.0m	소단	1개소
	종류	■암반 □혼합 □토사 □자연	주변지형	■산악 □준산악 □구릉 □평 지
	지하수	■C.dry □damp □wet □dripping □flowing	누수위치	□상 □중 □하 □좌 □중 □우
	풍화도	□F ■S ■M □H □C □R	불연속면 방향성	□일치 □평행 ■후방 □불가
	사면형상	□직선형 ■철형 □요형 □파형	측면형상	■직선형 □요철형 □탈락형 □돌출형
	계곡부	-	붕괴이력	□유(영향) □낙석 □유(미영향) ■무
	뜬돌	□대 □중 ■소 □무	낙석	□대 □중 ■소 □무
	암종	사암 및 셰일	토층심도	5.0 ~ 10.0m
	암반형태	□massive □tabular □columnar □irregular ■blocky □crushed	불연속면	■절리 ■층리 □엽리 □균열 □단층 □전단대 □암맥 □무
	시공현황 (상태)	■낙석방지망( ) ■낙석방지울타리( ) ■측구( ) □옹벽( ) ■식생공(불량) □돌망태옹벽( ) ■계단식옹벽( ) ■도수로(양호) □기타( )		
조사자 소 견	위험도	□상 □중 ■하	피해도	□상 □중 ■하
	붕괴 유형	□심층 □표층 ■무	위험등급	■A □B □C □D □E
	위험구간 (붕괴유형)	□상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( ) □상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( ) □상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( )		
	필요 주공법	표면보호공	조치	□응급 ■미응급
	기타			

8.3.2 사면분류 및 구간분할

대상 대상 시설물에 대한 현장조사 및 시험은 본 조사를 실시하기 이전에 현장을 답사하여 시설물의 주변 환경과 현 상태를 파악하고, 시설물의 접근방법 및 관련 자료를 검토 후 외관조사를 통하여 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성 확인을 위한 상세한 조사계획을 수하였다. 또한, 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단하기 위해 기본시설물 및 부대시설물 등 주요 부재의 현 상태와 시설물의 안전성을 저해할 만한 손상의 유무를 확인하였으며, 시설물 구성부재별로 외관조사 결과는 외관조사망도와 주요 사진을 중심으로 부록자료에 수록하여 향후 시설물 점검 및 유지관리 시에 효율적으로 활용할 수 있게 하였다.

가. 시설물 일반 현황

본 과업 대상 시설물은 부산울산고속도로 부산방향 STA.19+780~20+300에 위치하고 있으며, 시설물관리대장상 길이는 600.0m, 높이 45.0m의 절토사면으로 시설물 안전법상 2종 시설물로 분류된 시설이다.

현장조사를 위한 실측조사 결과 본 구간의 절토사면 총 연장 및 높이는 시설물관리대장과 동일한 것으로 조사되었다.

나. 절토사면의 분류

토층심도 깊이측정을 위한 자료는 준공도서 표준횡단면도를 참고하여 작성하였고, 블록크기 측정을 위한 절리간격은 사면특성조사시 Set1~3에 위치하는 절리군의 평균 간격을 측정하였다.

<표 2.5-10> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{1.2}{45}=0.03$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 137.8~185.4MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{1.5}{45}=0.033$로 0.01초과	절리암반	

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
2구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{0.8}{45}=0.018$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 137.8~185.4MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{1.7}{45}=0.038$로 0.01초과	절리암반	

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
3구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{1.4}{45}=0.031$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 137.8~185.4MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{1.0}{45}=0.022$로 0.01초과	절리암반	

다. 비탈면 구간 분할

연장이 600m로써, 사면의 구간분할 기준인

1) 사면의 구성재료가 변화할 경우

2) 사면의 경사가 10°이상으로 변할 경우

3) 사면의 구성재료와 표준경사가 맞지 않을 경우

4) 사면의 경사방향이 40°이상 변화할 경우

5) 동일 구간의 연장이 200m 이상일 경우

위 기준중 5번에 해당하여, 그에 따라 3개구간으로 분할하여 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

<표 2.5-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	19.760~19.960K	
2구간	19.960~20.160K	
3구간	20.160~20.360K	

5.3.3 상태안전성능 조사

가. 집수지형

집수지형에 대한 평가는 시·종점부, 요철지형 등 지표수가 직·간접적으로 비탈면에 유입되는 지형에 대한 평가로서 외부와 내부로 구분하여 분석하였다.

비탈면 외부 지형조건은 상부 자연사면이 상향 5°경사를 이루고 있는 것으로 조사되었다. 종점부측으로는 산마루 배수로가 있고, 계곡부에는 수직 도수로가 시공되어 있는 것으로 확인되었다. 유입되는 지표수는 산마루 배수로 및 수직 도수로를 통해 배수되는 것으로 파악되었다.

사면내 기울기 및 경사방향 변화로 인한 사면내 오목한 지형 발생으로 인한 집수지형은 없는 상태이다.

<표 2.5-12> 집수 지형 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
집수지형	외부	시.종점부	EA	1	-	
		계곡부	EA	-	-	
	내부	집수지형 없음	EA	-	-	

나. 불안정 지질

불안정 지질은 절토사면에 분포하는 단층 및 전단대, 파쇄대, 습곡, 암맥 등 주변의 암반과 구성이 다르거나 특정 부분을 중심으로 균열이 집중적으로 발달하여 사면에 작용하는 불안정 요인으로 작용하는 지질 분포규모 및 상태를 평가하는 항목이다.

본 비탈면은 표면보호공으로 식생이 분포하여 전체 사면에 대한 불안정 지질 여부를 평가하기 곤란하여 부분적으로 원지반이 노출된 구간에 대해서 한정적으로 조사하였다.

그 결과 부분적으로 절리가 관찰되며, 보통 풍화 상태를 보이고 있는 것으로 분석되었다.

<표 2.5-13> 불안정 지질 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
불안정 지질	보통 풍화	-	-	-	

다. 불연속면 특성

불연속면은 대개 물리적으로 분리되어 있는 면으로 매우 작은 인장강도를 갖거나 인장강도가 없어 암반으로 구성된 절토사면의 경우 불연속면의 존재는 사면의 안정에 절대적인 영향을 미치게 된다. 이와 관련하여 본 성능평가에서는 소단 하부에는 식생공이 없어 대기에 노출된 원지반을 대상으로 2개 구간에서 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

<표 2.5-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	2구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	70/230	32/077	70/230
간격(m)	0.6~2.0	> 2.0	0.6~2.0
연장성(m)	1.0~3.0	3.0~10.0	1.0~3.0
틈새(mm)	<0.1	0.1~1.0	0.1~1.0
거칠기	약간거침	약간거침	약간거침
충진물질	hard	hard	hard
풍화도	S.W	S.W	S.W
비고			

구 분	3구간		
	Set 4	Set 5	Set 6
방향성	60/220	60/220	60/220
간격(m)	> 2.0	0.6~2.0	0.6~2.0
연장성(m)	3.0~10.0	3.0~10.0	1.0~3.0
틈새(mm)	<0.1	<0.1	0.1~1.0
거칠기	약간거침	약간거침	약간거침
충진물질	hard	hard	hard
풍화도	S.W	S.W	S.W
비고			

라. 지반 변형

지반 변형은 사면의 배부름 현황과 같은 지반 자체 변형과 관련된 항목이다. 본 성능평가에서는 전 구간에 걸쳐 외관조사를 시행하고, 관련 자료 및 청문조사를 통한 과거 이력에 대한 조사도 병행하였다. 외관조사 결과, 지반변형으로 인한 급격한 기울기 변화는 조사되지 않았으며, 과거 이력 조사 결과에서도 손상은 없었던 것으로 확인되었다.

<표 2.5-15> 지반 변형 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
지반 변형	없 음	-	-	-	

마. 배수 조건

사면내 배수시설은 소단배수로가 시공되어 있다.

소단배수로는 지반 변형으로 인한 부상 및 침하 등의 손상은 없는 것으로 확인되었다.

<표 2.5-16> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단 배수로	상태 양호	-	-	-	

소단배수로 상태양호

수직 도수로 상태양호

바. 지하수

지하수에 대한 항목은 사면내 지하수량을 간접적으로 조사하는 항목이다.

비탈면내 누수 여부에 대한 조사 결과, 지하수 용출에 의한 습윤지역 및 누수 현상은 관찰되지 않는 상태이다.

<표 2.5-17> 지하수 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상원인	비 고
지하수	건조된 상태	-	-	-	우기시 조사 결과

사. 붕괴 이력

초기점검 및 기 점검사항을 토대로 확인한 결과, 붕괴이력은 조사되지 않았다.

<표 2.5-18> 붕괴 이력 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
붕괴 이력	상태 양호	-	-	-	

아. 낙석

낙석은 암반사면에서 빈번히 발생되는 붕괴유형으로 사면내 관찰되는 이완암 및 뜬돌의 규모 등을 조사하는 항목이다. 이와 관련하여 사면 하단부 및 소단부에서 낙석 여부 조사 결과 낙석은 조사되지 않았다

<표 2.5-19> 낙석 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상원인	비 고
낙 석	없음	-	-	-	현장조사, 청문조사

자. 인장균열

인장균열 조사는 개략적인 붕괴 규모나 양상을 예측하기 위한 참고 자료로 활용되는 항목으로 본 비탈면에 대한 외관조사 결과, 사면 내·외부에서 인장균열은 조사되지 않는 상태이다.

<표 2.5-20> 인장균열 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상원인	비 고
인장균열	없음	-	-	-	현장조사

5.3.4 내구성능 조사

가. 토사구간의 지반상태

본 비탈면에는 전 구간에 걸쳐 암반으로 구성되어 있으며, 토양경도계를 측정할 수 없으므로 토사구간의 지반상태는 제외토록 하였다.

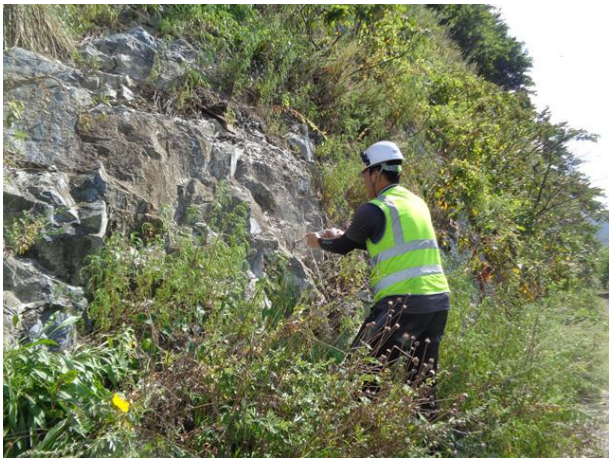
나. 암반구간의 지반상태

암반강도시험은 총 3개소에서 실시하였으며, 시험 결과에 따른 암종 분류 결과 극경암~경암인 것으로 판단된다.

<표 2.5-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(MPa)	암 판정 결과	비고
20.00K 2단	61.0	169.7	극경암	
20.06K 2단	62.9	185.4	극경암	
20.10K 1단	56.5	137.8	경암	
20.22K 1단	59.4	157.4	경암	
검토의견	·슈미트해머에 의한 암반 강도 조사결과 반발경도 59.4~62.9의 평균치를 보이며 추정강도 137.8~185.4MPa로 극경암~경암으로 판정되어 암반의 강도는 양호한 상태이다.			

절리면 경사/경사방향 측정



암반 강도시험

다. 표면보호공

표면보호공은 사면의 안전성에는 직접적인 영향을 주지 않으나, 사면의 상태보호 및 유지에 영향을 미치는 요소이다. 식생의 경우는 전체 면적 대비 피복 면적의 비를 기준으로 분석하였으며, 숏크리트는 균열 및 박락 등의 손상을 기준으로 분석하였다.

관련 자료 분석 결과 표층보호를 위한 녹화공법은 사면 전 구간에 걸쳐 녹생토공법이 적용되었으며, 녹생토 부착망의 표층은 양호한 상태로 확인되었다.

낙석방지망은 시점부 비탈면 하면부터 1소단 배수로에 걸쳐 시공되어 있는 것으로 확인되었다. 와이어 및 망 등에는 파손, 이완 등에 의한 손상은 없으며, 인접부의 낙석도 없는 것으로 조사되었다.

<표 2.5-22> 표면보호공 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
표면 보호공	식생 및 표층	-	-	-	-	
	숏크리트	-	-	-	-	

삭생 양호

숏크리트 양호

라. 사면보강공

본 비탈면은 관련자료 분석 결과 식생 이외의 특별한 보강시설은 없는 것으로 조사되었으며, 현장조사시 확인한 결과 사면안정을 위한 특별한 보강시설은 확인되지 않았다.

<표 2.5-23> 사면보강공 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
사면 보강공	시설 없음	-	-	-	

5.4 안전성능평가

안전성능평가는 외관상 관찰되는 시설물의 결함을 평가하는 상태안전성능평가와 공학적인 안정성을 평가하는 구조안전성능으로 구분한다.

5.4.1 상태안전성능 평가

가. 시설물의 형식 및 안전성능지표

비탈면 분류는 현장조사 결과를 기초로 하여 관련 자료 분석을 통해 획득한 자료를 최대한 적용하였다. 그 결과 절토사면 높이에 대한 토층심도율이 0.00으로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 세부 분류는 절리암반비탈면으로 평가된다. 불연속면 특성시 1구간은 전구간 식생으로 확인이 불가능 하여 평가등급을 지정하지 않고 평가 하였다.

<표 2.5-24> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{1.2}{45}=0.03$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 137.8~185.4MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{1.5}{45}=0.033$로 0.01초과	절리암반	

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
2구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{0.8}{45}=0.018$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 137.8~185.4MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{1.7}{45}=0.038$로 0.01초과	절리암반	

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
3구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{1.4}{45}=0.031$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 137.8~185.4MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{1.0}{45}=0.022$로 0.01초과	절리암반	

본 시설물은 사면 구성 재료의 특별한 변화가 없으며, 총연장이 600.0m로 사면 분할기준인 200.0m를 상회한다. 비탈면 구간 분할 기준에 의하여 동일 구간의 연장이 200m 이상일 경우로 하여 총 3개소로 분할하여 조사·평가하기로 한다.

<표 2.5-25> 비탈면 구간 분할

위치	비탈면 구간 분할 기준	시설물 현황		
		구성 재료	경사방향 변화	사면 연장
부산기점 STA.19+780 ~20+300	○ 사면 구성재료 변화 ○ 사면 경사방향 40°이상 변화 ○ 동일구간 연장 200.0m 이상	암반	없음 (직선형)	600.0m
구간 분할	○ 1구간 : 19.760~19.960K ○ 2구간 : 19.960~20.160K ○ 3구간 : 20.160~20.360K			

<표 2.5-26> 사면 형식별 상태안전성능지표

구 분	평가 요소		
	토사사면	암반사면	혼합사면
절토사면	○ 집수지형 ○ 지반변형 ○ 지하수 ○ 배수조건 ○ 사면상부 상태 ○ 붕괴이력	○ 집수지형 ○ 불안정지질 ○ 불연속면 특성 ○ 지반변형 ○ 지하수 ○ 배수조건 ○ 붕괴이력 ○ 낙석	○ 불안정지질 ○ 불연속면 특성 ○ 지반변형 ○ 지하수 ○ 배수조건 ○ 붕괴이력 ○ 낙석 ○ 사면상부 상태

나. 1구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 2.5-27> 집수지형 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가결과
사면 내·외 집수지형 개소 수	a	없음	계곡부 또는 집수지형 없음	1개소	b
	b	1개소	계곡부 또는 집수지형 1개소		
	c	2개소	계곡부 또는 집수지형 2개소		
	d	3개소	계곡부 또는 집수지형 3개소		
	e	4개소	계곡부 또는 집수지형 4개소 이상		

<표 2.5-28> 불안정 지질 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
규모 및 상태	a	없음	없음	절리암반사면 국부적으로 절리 발달	b
	b	일부 분포 (견고)	불안정 지질이 일부 분포하고 있으나 견고한 상태		
	c	국지적 분포 (파쇄)	불안정 지질이 국지적으로 분포하고 있으며 파쇄가 심한 상태		
	d	전반적인 분포 (파쇄)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심한상태		
	e	전반적인 분포 (파쇄, 누수 등)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심하고 누수 및 유실물 등이 발생하고 있는 상태		

<표 2.5-29> 불연속면 특성 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = - / 6 = -	-
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 2.5-30> 불연속면 세부 상태 평가 결과(1구간)

평가항목	등급					현장조사 결과	평가 결과
	a	b	c	d	e		
점수	0	5	10	16	24		
①연장성	1.0m미만	1.0m이상 3.0m미만	3.0m이상 10.0m미만	10.0m이상 20.0m미만	20.0m이상	3.0~10.0m	-
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 5.0㎜미만	5.0㎜이상	0.0~0.1㎜	-
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거침	-
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	없음	-
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	보통풍화	-
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	0.06~0.2m	-

<표 2.5-31> 지반변형 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
포행, 단차, 배부름 등	a	변형 없음	지반변형이 없는 상태	지반변형 없음	a
	b	약간의 변형	일부 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	d	사면 전반에 걸친 변형	지반변형이 발생하여 붕괴위험은 있으나, 붕괴로 인해 사면하부 주 구조물에는 직접적인 영향이 없는 상태		
	e	사면 전반에 걸친 변형	평가대상 구간 전반에 변형이 발생하여 대규모 붕괴위험이 예상되며 붕괴발생으로 사면하부의 주구조물에 영향을 미칠 수 있는 상태		

<표 2.5-32> 지하수 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
누수 상태 및 위치	a	건조(dry)	지하수의 흐름이 관찰되지 않고 표면이 건조한 상태	건조한 상태	a
	b	젖음(wet) 사면하부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 하부에서 관찰되는 상태		
	c	젖음(wet) 사면상부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 상부에서 관찰되는 상태		
	d	흐름(flow) 사면하부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 하부에서 용출이 관찰되는 상태		
	e	흐름(flow) 사면상부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 상부에서 용출이 관찰되는 상태		

<표 2.5-33> 배수시설 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
배수 조건	a	완전배수	지표 및 지하배수구가 모두 적용되어 원활한 배수를 이루고 있는 상태 또는 사면이 건조한 상태로 배수시설의 적용이 필요하지 않은 상태	양호	b
	b	양호	배수시설이 노후 되었으나 배수기능이 원활한 상태		
	c	보통	배수시설이 노후 되고 일부 균열이 관찰되나, 배수기능이 원활한 상태		
	d	불량	배수시설이 노후 되고 균열 및 변형 등의 결함이 발생하여 배수기능이 불량한 상태		
	e	매우 불량	지표수 및 지하수로 인해 사면의 안전성능에 직접적인 영향을 미치며, 배수시설이 설치되어 있지 않거나 결함으로 인해 배수를 못하는 상태		

<표 2.5-34> 붕괴이력 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
붕괴이력	a	없음	없음	없음	a
	b	세굴 및 표층균열	사면의 표면 세굴 및 소규모 유실 등의 발생이력		
	c	표층파괴	표층유실 및 낙석, 암탈락 등 사면 표층 파괴 발생이력		
	d	심층파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 심층파괴 발생이력		
	e	대규모파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 파괴가 발생하여 사면하부 주구조물에 피해가 발생한 상태		

<표 2.5-35> 낙석 발생 규모 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 없음	a
	b	1.0㎥미만		
	c	1.0㎥이상, 5.0㎥미만		
	d	5.0㎥이상, 10.0㎥미만		
	e	10.0㎥이상		

<표 2.5-36> 예상 낙석에너지 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
예상 낙석 에너지	a	없음	$E_i = (1 - \frac{u}{\tan\theta}) \times (1+\beta) \times m \times g \times H = 0$ 여기서, □E_i = 낙석에너지(kJ), □Θ= 사면의 경사, u□= 낙석의 등가마찰계수(0.15) □ β = 회전에너지계수(0.1) m = 낙석의 중량(t), □버= 낙석의 높이(m) g = 중력가속도(9.8m/sec^2) (u, β는 상수, 각각 0.15, 0.1 적용) → 현장조사 결과 뜬돌 및 이완암이 조사되지 않음	a
	b	50kJ미만		
	c	50kJ이상 70kJ미만		
	d	70kJ이상 120kJ미만		
	e	120kJ이상		

<표 2.5-37> 사면의 상부 상태 평가 결과 (1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
상부 자연사면 경사	a	없음	평지 또는 역경사	상향 10°	c
	b	10°미만	상부자연사면으로부터 지표수가 유입될 수 있는 정도를 평가하기 위한 것으로 자연사면의 대표 경사로 평가		
	c	10°이상 20°미만			
	d	20°이상 30°미만			
	e	30°이상			

다. 1구간 인장균열 평가 결과

인장균열이 확인되는 경우 인장균열을 반영한 상태안전성능평가 결과를 선정하고 구조안전성능 평가결과 및 현장 상태에 따라 보강 대책방안을 검토해야 한다. 인장균열의 결함점수는 d, e 등급에 따른 각각의 평균값으로 산정한다.

<표 2.5-38> 인장균열 결함점수 산정 결과(1구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가 결과
인장균열	a	8	0.08	인장균열 없음	a
	d	65	0.65		
	e	88	0.88		

본 비탈면의 경우 인장균열이 없는 상태로서 성능별 등급 결과에 따른 상태안전성능평가 결과를 최종 상태평가 안전등급으로 산정하기로 한다.

라. 1구간 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 2.7-39> 상태안전성능 평가 결과 범위(1구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
$0 \le f < 0.15$	$0.15 \le f < 0.30$	$0.30 \le f < 0.55$	$0.55 \le f < 0.75$	$0.75 \le f$

<표 2.7-40> 암반사면의 평가항목별 등급에 따른 점수(1구간)

평가항목	등급에 따른 점수				
	a	b	c	d	e
① 집수지형	0	1	3	4	6
② 불안정 지질	0	3	6	10	15
③ 불연속면의 특성	0	1~5	6~10	11~16	17~24
④ 지반변형	0	2	4	6	9
⑤ 지하수	0	2	3	5	8
⑥ 배수조건	0	2	5	7	11
⑦ 붕괴이력	0	2	4	7	10
⑧ 낙석	0	4	7	11	17
결함지수 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 2.7-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명	부산기점 STA.19+780~20+300			
사면 종류	절토사면	구성재료	절리암반사면	
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	1	1	b
	사면 외	0		
불안정 지질		3	3	b
블연속면 특성		0	0	a
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			6	
결함지수		0.060		
상태안전성능평가 결과		**A**		

마. 2구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 2.5-42> 집수지형 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가결과
사면 내·외 집수지형 개소 수	a	없음	계곡부 또는 집수지형 없음	없음	a
	b	1개소	계곡부 또는 집수지형 1개소		
	c	2개소	계곡부 또는 집수지형 2개소		
	d	3개소	계곡부 또는 집수지형 3개소		
	e	4개소	계곡부 또는 집수지형 4개소 이상		

<표 2.5-43> 불안정 지질 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
규모 및 상태	a	없음	없음	절리암반사면 국부적으로 절리 발달	b
	b	일부 분포 (견고)	불안정 지질이 일부 분포하고 있으나 견고한 상태		
	c	국지적 분포 (파쇄)	불안정 지질이 국지적으로 분포하고 있으며 파쇄가 심한 상태		
	d	전반적인 분포 (파쇄)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심한상태		
	e	전반적인 분포 (파쇄, 누수 등)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심하고 누수 및 유실물 등이 발생하고 있는 상태		

<표 2.5-44> 불연속면 특성 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = 45 / 6 = 7.5	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 2.5-45> 불연속면 세부 상태 평가 결과(2구간)

평가항목	등급					현장조사 결과	평가 결과
	a	b	c	d	e		
점수	0	5	10	16	24		
①연장성	1.0m미만	1.0m이상 3.0m미만	3.0m이상 10.0m미만	10.0m이상 20.0m미만	20.0m이상	3.0~10.0m	c (10)
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 5.0㎜미만	5.0㎜이상	0.0~0.1㎜	c (10)
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거침	c (10)
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	없음	b (5)
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	약한 풍화	b (5)
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	0.06~0.2m	b (5)

<표 2.5-46> 지반변형 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
포행, 단차, 배부름 등	a	변형 없음	지반변형이 없는 상태	지반변형 없음	a
	b	약간의 변형	일부 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	d	사면 전반에 걸친 변형	지반변형이 발생하여 붕괴위험은 있으나, 붕괴로 인해 사면하부 주 구조물에는 직접적인 영향이 없는 상태		
	e	사면 전반에 걸친 변형	평가대상 구간 전반에 변형이 발생하여 대규모 붕괴위험이 예상되며 붕괴발생으로 사면하부의 주구조물에 영향을 미칠 수 있는 상태		

<표 2.5-47> 지하수 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
누수 상태 및 위치	a	건조(dry)	지하수의 흐름이 관찰되지 않고 표면이 건조한 상태	건조한 상태	a
	b	젖음(wet) 사면하부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 하부에서 관찰되는 상태		
	c	젖음(wet) 사면상부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 상부에서 관찰되는 상태		
	d	흐름(flow) 사면하부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 하부에서 용출이 관찰되는 상태		
	e	흐름(flow) 사면상부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 상부에서 용출이 관찰되는 상태		

<표 2.5-48> 배수시설 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
배수 조건	a	완전배수	지표 및 지하배수구가 모두 적용되어 원활한 배수를 이루고 있는 상태 또는 사면이 건조한 상태로 배수시설의 적용이 필요하지 않은 상태	양호	b
	b	양호	배수시설이 노후 되었으나 배수기능이 원활한 상태		
	c	보통	배수시설이 노후 되고 일부 균열이 관찰되나, 배수기능이 원활한 상태		
	d	불량	배수시설이 노후 되고 균열 및 변형 등의 결함이 발생하여 배수기능이 불량한 상태		
	e	매우 불량	지표수 및 지하수로 인해 사면의 안전성능에 직접적인 영향을 미치며, 배수시설이 설치되어 있지 않거나 결함으로 인해 배수를 못하는 상태		

<표 2.5-49> 붕괴이력 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
붕괴이력	a	없음	없음	없음	a
	b	세굴 및 표층균열	사면의 표면 세굴 및 소규모 유실 등의 발생이력		
	c	표층파괴	표층유실 및 낙석, 암탈락 등 사면 표층 파괴 발생이력		
	d	심층파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 심층파괴 발생이력		
	e	대규모파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 파괴가 발생하여 사면하부 주구조물에 피해가 발생한 상태		

<표 2.5-50> 낙석 발생 규모 평가기준(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 없음	a
	b	1.0㎥미만		
	c	1.0㎥이상, 5.0㎥미만		
	d	5.0㎥이상, 10.0㎥미만		
	e	10.0㎥이상		

<표 2.5-51> 예상 낙석에너지 평가기준(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
예상 낙석 에너지	a	없음	$E_i = (1 - \frac{u}{\tan\theta}) \times (1+\beta) \times m \times g \times H = 0$ 여기서, □E_i = 낙석에너지(kJ), □Θ= 사면의 경사, u□= 낙석의 등가마찰계수(0.15) □ β = 회전에너지계수(0.1) m = 낙석의 중량(t), □버= 낙석의 높이(m) g = 중력가속도(9.8m/sec^2) (u, β는 상수, 각각 0.15, 0.1 적용) → 현장조사 결과 뜬돌 및 이완암이 조사되지 않음	a
	b	50kJ미만		
	c	50kJ이상 70kJ미만		
	d	70kJ이상 120kJ미만		
	e	120kJ이상		

<표 2.5-52> 사면의 상부 상태 평가 결과 (2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
상부 자연사면 경사	a	없음	평지 또는 역경사	상향 10°	c
	b	10°미만	상부자연사면으로부터 지표수가 유입될 수 있는 정도를 평가하기 위한 것으로 자연사면의 대표 경사로 평가		
	c	10°이상 20°미만			
	d	20°이상 30°미만			
	e	30°이상			

바. 2구간 인장균열 평가 결과

인장균열이 확인되는 경우 인장균열을 반영한 상태안전성능평가 결과를 선정하고 구조안전성능 평가결과 및 현장 상태에 따라 보강 대책방안을 검토해야 한다. 인장균열의 결함점수는 d, e 등급에 따른 각각의 평균값으로 산정한다.

<표 2.5-53> 인장균열 결함점수 산정 결과(2구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가 결과
인장균열	a	8	0.08	인장균열 없음	a
	d	65	0.65		
	e	88	0.88		

본 비탈면의 경우 인장균열이 없는 상태로서 성능별 등급 결과에 따른 상태안전성능평가 결과를 최종 상태평가 안전등급으로 산정하기로 한다.

사. 2구간 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 2.7-54> 상태안전성능 평가 결과 범위(2구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
$0 \le f < 0.15$	$0.15 \le f < 0.30$	$0.30 \le f < 0.55$	$0.55 \le f < 0.75$	$0.75 \le f$

<표 2.7-55> 암반사면의 평가항목별 등급에 따른 점수(2구간)

평가항목	등급에 따른 점수				
	a	b	c	d	e
① 집수지형	0	1	3	4	6
② 불안정 지질	0	3	6	10	15
③ 불연속면의 특성	0	1~5	6~10	11~16	17~24
④ 지반변형	0	2	4	6	9
⑤ 지하수	0	2	3	5	8
⑥ 배수조건	0	2	5	7	11
⑦ 붕괴이력	0	2	4	7	10
⑧ 낙석	0	4	7	11	17
결함지수 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 2.7-56> 상태안전성능평가 결과(2구간)

시설물명		부산기점 STA.19+780~20+300		
사면 종류	절토사면	구성재료		절리암반사면
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	0	a
	사면 외	0		
불안정 지질		3	3	b
블연속면 특성		7.5	7.5	c
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			12.5	
결함지수		0.125		
상태안전성능평가 결과		A		

아. 3구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 2.5-57> 집수지형 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가결과
사면 내·외 집수지형 개소 수	a	없음	계곡부 또는 집수지형 없음	1개소	b
	b	1개소	계곡부 또는 집수지형 1개소		
	c	2개소	계곡부 또는 집수지형 2개소		
	d	3개소	계곡부 또는 집수지형 3개소		
	e	4개소	계곡부 또는 집수지형 4개소 이상		

<표 2.5-58> 불안정 지질 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
규모 및 상태	a	없음	없음	절리암반사면 국부적으로 절리 발달	b
	b	일부 분포 (견고)	불안정 지질이 일부 분포하고 있으나 견고한 상태		
	c	국지적 분포 (파쇄)	불안정 지질이 국지적으로 분포하고 있으며 파쇄가 심한 상태		
	d	전반적인 분포 (파쇄)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심한상태		
	e	전반적인 분포 (파쇄, 누수 등)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심하고 누수 및 유실물 등이 발생하고 있는 상태		

<표 2.5-59> 불연속면 특성 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = 50 / 6 = 8.3	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 2.5-60> 불연속면 세부 상태 평가 결과(3구간)

평가항목	등급					현장조사 결과	평가 결과
	a	b	c	d	e		
점수	0	5	10	16	24		
①연장성	1.0m미만	1.0m이상 3.0m미만	3.0m이상 10.0m미만	10.0m이상 20.0m미만	20.0m이상	3.0~10.0m	c (10)
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 5.0㎜미만	5.0㎜이상	0.0~0.1㎜	c (10)
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거침	c (10)
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	없음	c (10)
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	약한풍화	b (5)
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	0.06~0.2m	b (5)

<표 2.5-61> 지반변형 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
포행, 단차, 배부름 등	a	변형 없음	지반변형이 없는 상태	지반변형 없음	a
	b	약간의 변형	일부 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	d	사면 전반에 걸친 변형	지반변형이 발생하여 붕괴위험은 있으나, 붕괴로 인해 사면하부 주 구조물에는 직접적인 영향이 없는 상태		
	e	사면 전반에 걸친 변형	평가대상 구간 전반에 변형이 발생하여 대규모 붕괴위험이 예상되며 붕괴발생으로 사면하부의 주구조물에 영향을 미칠 수 있는 상태		

<표 2.5-62> 지하수 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
누수 상태 및 위치	a	건조(dry)	지하수의 흐름이 관찰되지 않고 표면이 건조한 상태	건조한 상태	a
	b	젖음(wet) 사면하부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 하부에서 관찰되는 상태		
	c	젖음(wet) 사면상부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 상부에서 관찰되는 상태		
	d	흐름(flow) 사면하부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 하부에서 용출이 관찰되는 상태		
	e	흐름(flow) 사면상부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 상부에서 용출이 관찰되는 상태		

<표 2.5-63> 배수시설 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
배수 조건	a	완전배수	지표 및 지하배수구가 모두 적용되어 원활한 배수를 이루고 있는 상태 또는 사면이 건조한 상태로 배수시설의 적용이 필요하지 않은 상태	양호	b
	b	양호	배수시설이 노후 되었으나 배수기능이 원활한 상태		
	c	보통	배수시설이 노후 되고 일부 균열이 관찰되나, 배수기능이 원활한 상태		
	d	불량	배수시설이 노후 되고 균열 및 변형 등의 결함이 발생하여 배수기능이 불량한 상태		
	e	매우 불량	지표수 및 지하수로 인해 사면의 안전성능에 직접적인 영향을 미치며, 배수시설이 설치되어 있지 않거나 결함으로 인해 배수를 못하는 상태		

<표 2.5-64> 붕괴이력 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
붕괴이력	a	없음	없음	없음	a
	b	세굴 및 표층균열	사면의 표면 세굴 및 소규모 유실 등의 발생이력		
	c	표층파괴	표층유실 및 낙석, 암탈락 등 사면 표층 파괴 발생이력		
	d	심층파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 심층파괴 발생이력		
	e	대규모파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 파괴가 발생하여 사면하부 주구조물에 피해가 발생한 상태		

<표 2.5-65> 낙석 발생 규모 평가기준(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 없음	a
	b	1.0㎥미만		
	c	1.0㎥이상, 5.0㎥미만		
	d	5.0㎥이상, 10.0㎥미만		
	e	10.0㎥이상		

<표 2.5-66> 예상 낙석에너지 평가기준(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
예상 낙석 에너지	a	없음	$E_i = (1 - \frac{u}{\tan\theta}) \times (1+\beta) \times m \times g \times H = 0$ 여기서, □E_i = 낙석에너지(kJ), □Θ= 사면의 경사, u□= 낙석의 등가마찰계수(0.15) □ β = 회전에너지계수(0.1) m = 낙석의 중량(t), □버= 낙석의 높이(m) g = 중력가속도(9.8m/sec^2) (u, β는 상수, 각각 0.15, 0.1 적용) → 현장조사 결과 뜬돌 및 이완암이 조사되지 않음	a
	b	50kJ미만		
	c	50kJ이상 70kJ미만		
	d	70kJ이상 120kJ미만		
	e	120kJ이상		

<표 2.5-67> 사면의 상부 상태 평가 결과 (3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
상부 자연사면 경사	a	없음	평지 또는 역경사	상향 10°	c
	b	10°미만	상부자연사면으로부터 지표수가 유입될 수 있는 정도를 평가하기 위한 것으로 자연사면의 대표 경사로 평가		
	c	10°이상 20°미만			
	d	20°이상 30°미만			
	e	30°이상			

자. 3구간 인장균열 평가 결과

인장균열이 확인되는 경우 인장균열을 반영한 상태안전성능평가 결과를 선정하고 구조안전성능 평가결과 및 현장 상태에 따라 보강 대책방안을 검토해야 한다. 인장균열의 결함점수는 d, e 등급에 따른 각각의 평균값으로 산정한다.

<표 2.5-68> 인장균열 결함점수 산정 결과(3구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가 결과
인장균열	a	8	0.08	인장균열 없음	a
	d	65	0.65		
	e	88	0.88		

본 비탈면의 경우 인장균열이 없는 상태로서 성능별 등급 결과에 따른 상태안전성능평가 결과를 최종 상태평가 안전등급으로 산정하기로 한다.

차. 3구간 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 2.7-69> 상태안전성능 평가 결과 범위(3구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
$0 \le f < 0.15$	$0.15 \le f < 0.30$	$0.30 \le f < 0.55$	$0.55 \le f < 0.75$	$0.75 \le f$

<표 2.7-70> 암반사면의 평가항목별 등급에 따른 점수(3구간)

평가항목	등급에 따른 점수				
	a	b	c	d	e
① 집수지형	0	1	3	4	6
② 불안정 지질	0	3	6	10	15
③ 불연속면의 특성	0	1~5	6~10	11~16	17~24
④ 지반변형	0	2	4	6	9
⑤ 지하수	0	2	3	5	8
⑥ 배수조건	0	2	5	7	11
⑦ 붕괴이력	0	2	4	7	10
⑧ 낙석	0	4	7	11	17
결함지수 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 2.7-71> 상태안전성능평가 결과(3구간)

시설물명		부산기점 STA.19+780~20+300		
사면 종류	절토사면	구성재료		절리암반사면
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	1	1	b
	사면 외	0		
불안정 지질		3	3	b
블연속면 특성		8.3	8.3	c
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			13.3	
결함지수		0.133		
상태안전성능평가 결과		**A**		

카. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 2.5-72> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
340.0m	1구간	19.760~19.960K	a(0.060)	A	인장균열 없음
	2구간	19.960~20.160K	a(0.125)		
	3구간	20.160~20.360K	a(0.133)		
	○구간별 평가 후 최소등급 선정 ○인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

5.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

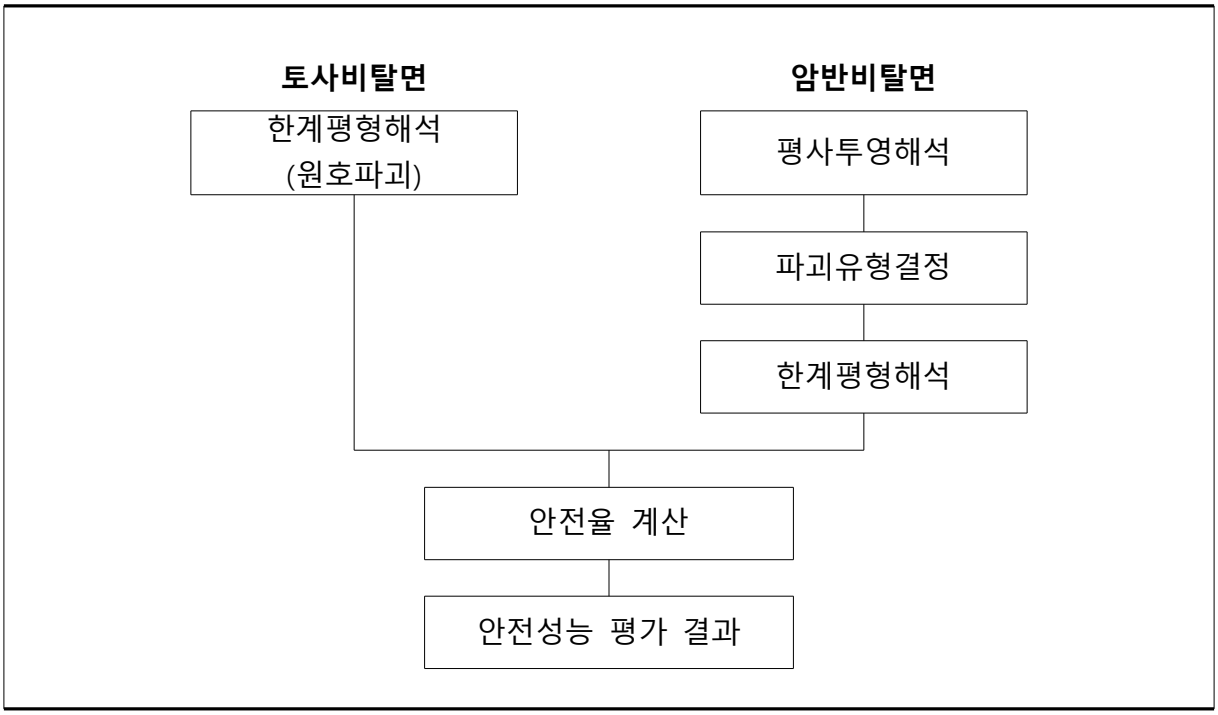
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

금회 성능평가에서는 설계 및 시공중 보강 관련 자료, 공용중 보강자료 등의 검토를 통해 구조안전성능평가에 필요한 항목을 검토하기로 한다. 또한, 이와 더불어 금회 성능평가 현장조사시 획득된 암반 절리 자료를 이용하여 평사투영해석을 시행하기로 한다.

나. 구조안전평가

1) 평가개요

비탈면의 안전성능 평가는 비탈면을 구성하는 지반의 구성물질 및 파괴거동에 따라 다양한 측면에서 검토되어야 한다. 토사비탈면과 토층은 일반적으로 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반비탈면은 평사투영해석을 실시하여 불연속면을 따른 암반의 파괴 가능성 및 파괴유형을 검토한 후 이에 부합하는 한계평형해석을 실시하여야 한다. 또한 암반비탈면의 경우라 할지라도 지반의 강도 특성이나 불연속면의 분포 특성 등에 따라 토사비탈면과 같은 연속적인 거동이 가능한 암반의 경우는 이와 별도로 원호파괴 가능성에 대한 검토가 이루어져야 한다.



<그림 2.5-2> 구조안전성능 평가과정

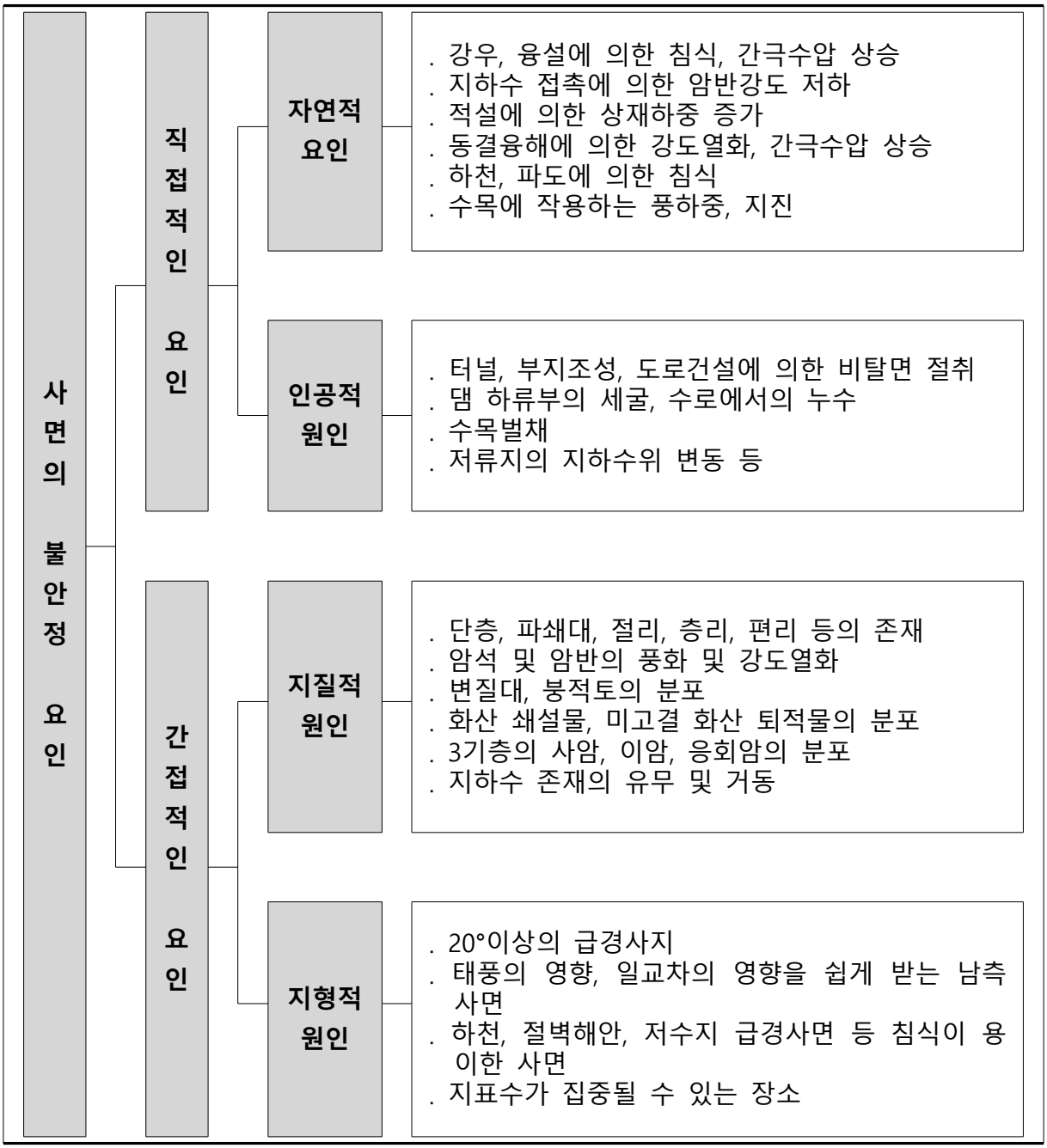
<표 2.5-73> 유형별 안정해석 범위

구 분	평사투영 해석	한계평형해석		비 고
		토 사	암 반	
토사비탈면	-	○	-	. 원호활동에 대한 한계평형 해석 실시
암반비탈면	○	△	○	. 평사투영해석결과 불안정시 파괴 유형에 따른 한계평형해석 수행 . 3m이상의 토층이 관찰되거나 풍화가 심하게 진행되어 원호활동이 예상되는 구간에 대해 평사투영해석결과와 별도로 원호파괴 해석을 실시
혼합비탈면	○	○	○	. 평사투영해석결과 불안정시 파괴 유형에 따른 한계평형해석 수행 . 평사투영해석결과와 별도로 토사구간에 대해 원호파괴해석 실시

ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득

ㅇ설계도면과 현재 제원 비교

2) 비탈면의 불안정 요인

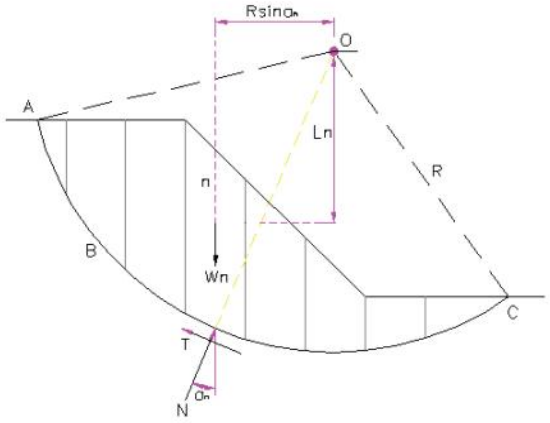


<그림 2.5-3> 구조안전성능 평가과정

3) 비탈면 안정해석 방법

① 한계평형법

한계평형 해석방법은 활동면을 따라 파괴가 일어나려는 순간에 토체의 안정성을 해석하려는 것이다. 문제를 단순화하기 위한 가정을 설정하고 이 방법을 사용하여 간단한 정역학적 이론으로 해를 얻으려 하는 것이다. 한계평형 해석법은 절성토 비탈면의 안정해석에 널리 사용되고 있으며 이 방법의 유용성과 신뢰성은 축적된 경험을 통하여 잘 알려져 있다. 한계평형 이론에 의한 비탈면안정 해석방법은 여러 가지가 있으며, 그 정확성은 강도정수와 비탈면의 기하학적 조건의 정확도 및 각 해석방법 고유의 정밀도에 따라 좌우된다. 한계평형 방법의 기본가정은 직선, 원호, 대수나선으로 가정된 파괴면을 따라 Coulomb의 파괴규준을 만족한다는 것으로 가능한 활동면을 따라 파괴가 일어나려는 순간에 토체의 안정성을 해석하는 것이다. 대표적인 해석방법으로는 ø=0 해석법, Fellenius 방법, Bishop 방법, Janbu 방법, Spencer 방법, Morgenstern & Price, 일반한계평형 방법(GLE) 등이 있다.



$$Fs = \frac{\sum_{n=1}^{n=p}(cb_n + W_n \tan\phi + \Delta T \tan\phi)\frac{1}{m}\alpha(n)}{\sum_{n=1}^{n=p}(\sin\alpha_n)}$$

$$m\alpha(n) = \cos\alpha \quad n + \frac{\tan\phi \cdot \sin\alpha_n}{F_S}$$

여기서

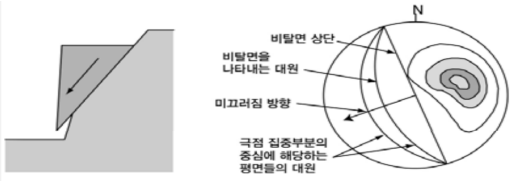
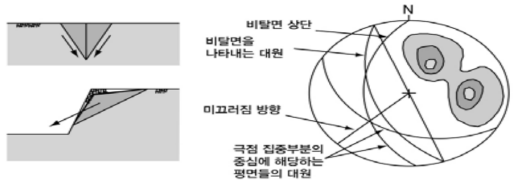
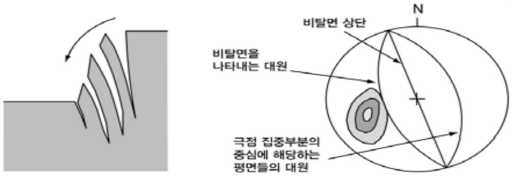
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 2.5-4> Bishop의 안전율 계산식

② 평사투영해석

평사투영법은 비탈면의 방향과 경사, 불연속면의 주향과 경사, 불연속면의 전단저항각을 고려하여 암반 비탈면의 안정성을 개략적으로 검토하는 방법이다. 암반비탈면에 발달하고 있는 불연속면의 방향에 따라 그 파괴형태가 다르게 나타난다. 일반적으로 암반비탈면의 파괴형태는 원형파괴(Circular Failure), 평면파괴(Planar Failure), 쐐기파괴(Wedge Failure) 및 전도파괴(Toppling Failure) 등이 있다.

<표 2.5-74> 비탈면 안정성 분석방법

구 분	파괴 모식도	분석방법
평면파괴		. 불연속면의 주절리가 한 방향으로 발달된 암반에서 발생가능
쐐기파괴		. 쐐기파괴는 두 개의 불연속면을 따라 발생하는 암반블록의 미끄러짐으로 인한 파괴형태
전도파괴		. 전도파괴으 발생조건은 절개면과 절리면의 경사방향이 반대이거나 절리면의 주향과 절개면의 주향이 비슷한 경우에 발생

4) 안전율 기준 - KDS 11 70 05 : 2016

<표 2.5-75> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

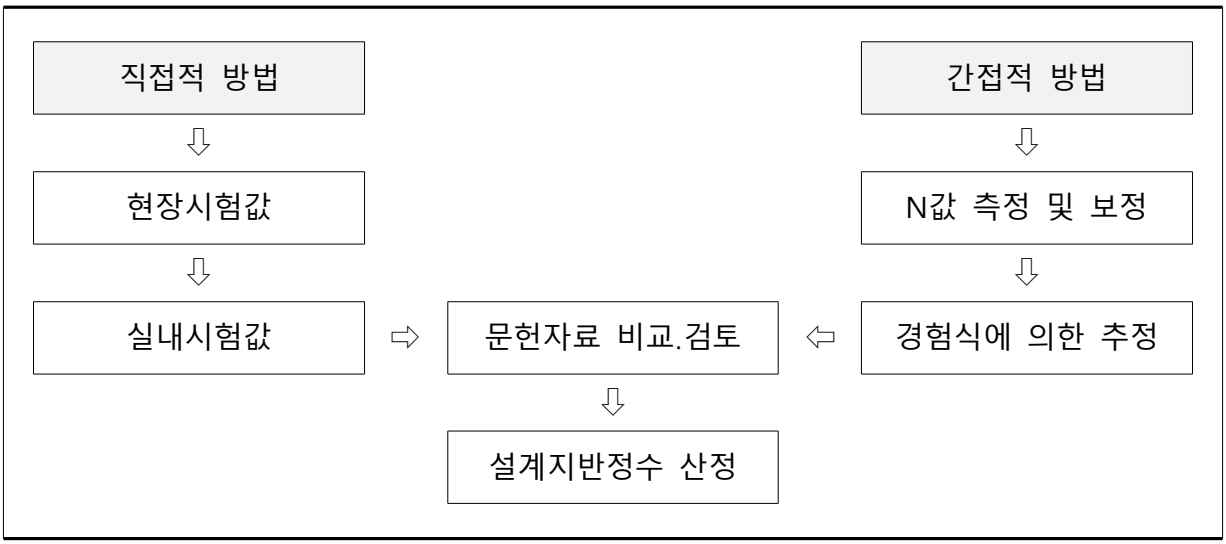
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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	. 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용시킴 . 실제측정 또는 평상시의 지하수위 적용

다. 지반정수 산정

1) 지반정수

대상지역의 지반-구조물의 상호작용에 따른 안정성을 평가하기 위해 현장조사결과를 토대로 경험식, 기존 적용사례 결과를 비교.분석하여 토사 및 암반의 지반정수를 적용하였다.

2) 지반정수 산정흐름



3) 토사/풍화암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 2.5-76> 지반조사편람(서울시, 1996)

지반명	단위중량 (kN/㎥)	점착력 c (MPa)	내부마찰각 (。)	변형계수 D(×10³kN/㎡)	포아송비
풍화토	17~20	0.00~0.01	25~30	20~40	0.5
풍화암	20~22	0.01~0.03	30~35	100~200	0.3~0.4
연 암	23~25	0.03~0.06	30~40	200~400	0.25~0.30
보통암	24~26	0.06~0.15	35~40	400~1,000	0.25
경 암	25~27	0.15~0.20	35~45	1,000~4,000	0.2

<표 2.5-77> 국도건설공사 설계실무요령(국토해양부, 2008)

종 류		재료의 상태		단위중량 (kN/㎥)	내부마찰각 ø(°)	점착력 c(MPa)	분류기호 (통일분류)
흙쌓기	자갈 및 자갈섞인모래	다진것		20	40	0.00	GW, GP
	모 래	다진것	입도가 좋은 것	20	35	0.00	SW, SP
			입도가 나쁜 것	19	30	0.00	
	사 질 토	다진것		18	25	0.03이하	SW, SC
	점 성 토	다진것		18	15	0.05이하	ML, CL MH, CH
자연지반	자 갈	밀실한 것, 입도가 좋은 것		20	40	0.00	GW, GP
		밀실치 않은 것, 입도가 나쁜 것		18	35	0.00	
	자갈섞인 모래	밀실한 것		18	40	0.00	GW, GP
		밀실치 않은 것		19	35	0.00	
	모 래	밀실한 것, 입도가 좋은 것		20	35	0.00	SW, SP
		밀실치 않은 것, 입도가 나쁜 것		18	30	0.00	
	사 질 토	밀실한 것		19	30	0.03이하	SM, SC
		밀실치 않은 것		17	25	0.00	
	점 성 토	굳은 것(손가갈으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=8~15)		18	25	0.05이하	ML, CL
		약간 무른 것(손가락 중간정도의 힘으로 들어감. N=4~8)		17	20	0.03이하	
		무른 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=2~4)		17	20	0.015이하	
	점토 및 실트	굳은 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=8~15)		17	20	0.05이하	CH, MH ML
		약간 무른 것(손가락 중간정도의 힘으로 들어감. N=4~8)		16	15	0.03이하	
		무른 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=2~4)		14	10	0.015이하	

<표 2.5-78> Geotechnical Engineering Investigation(Roy E. Hunt, 1987)

흙의 종류	다짐도	Dr,%	N	γ_{dry} (gf/㎤)	간극비 e	내부 마찰각(ø)
GW (입도분포가 좋은 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	90	2.21	0.22	40
	중간조밀	50	55	2.08	0.28	36
	느 슨	25	<28	1.97	0.36	32
GP (입도분포가 나쁜 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	70	2.04	0.33	38
	중간조밀	50	50	1.92	0.39	35
	느 슨	25	<20	1.83	0.47	32
SW (입도분포가 좋은 모래, 자갈질 모래)	조 밀	75	65	1.89	0.43	37
	중간조밀	50	35	1.79	0.49	34
	느슨	25	<15	1.70	0.57	30
SP (입도분포가 나쁜 모래, 자갈질 모래)	조밀	75	50	1.76	0.52	36
	중간조밀	50	30	1.67	0.60	33
	느슨	25	<10	1.59	0.65	29
SM (실트질 모래)	조밀	75	45	1.65	0.62	35
	중간조밀	50	25	1.55	0.74	32
	느슨	25	<8	1.49	0.80	29
ML (무기질 실트, 매우세립한 모래)	조밀	75	35	1.49	0.80	33
	중간조밀	50	20	1.41	0.90	31
	느슨	25	<4	1.35	1.00	27

◦ 경험식에 의한 방법

<표 2.5-79> 경험식에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

점착력 산정식		내부마찰력 산정식	
$\varnothing = 0$	$c = \frac{q_u}{2}$	Dunham	$\varnothing = \sqrt{12N} + 20$
Dunham	$q_u = \frac{N}{7.7}$	Peck	$\varnothing = 0.3N + 27$
Terzaghi-Peck	$q_u = \frac{N}{8}$	Ohsaki	$\varnothing = \sqrt{12N} + 15$
Ohsaki	$q_u = 4 + \frac{N}{2}$	도로교시방서	$\varnothing = \sqrt{15N} + 15$

◦ 기존 설계자료

<표 2.5-80> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각ø(°)	점착력c(MPa)	비고
기장~장안 국도건설공사	풍화(잔적)토	18	25	0.03	
	풍화암	21	30	0.05	
	연 암	25	32	0.10	
부산~울산간 고속도로 건설공사 (화전~좌동)	풍화(잔적)토	19	28	0.02	직접전단시험
	풍화암	20	30	0.03	
	연 암	24	30	0.10	
부산~울산간 고속도로 건설공사 (두현~굴화)	풍화(잔적)토	18	30	0.01	
	풍화암	20	30	0.05	
	연 암	23	35	0.01	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 2.5-81> Rock Slope Engineering(E. Hoek & J.W.Bary)

암 종	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각(°)	점착력(kN/㎡)
화 성 암 (화강암, 현무암 등)	25~30	35~45	35,000~55,000
변 성 암 (규암, 편마암, 슬레이트)	25~28	30~40	20,000~40,000
견고한 퇴적암 (석회암, 백운암, 사암)	23~28	35~45	10,000~30,000
연약한 퇴적암 (사암, 석탄, 백악, 셰일)	17~23	25~35	1,000~20,000

<표 2.5-82> 국내 암석의 실내시험 결과(지반공학회지)

암종	화강암	편마암	사암	세일	석회암	응회암
단위중량 (kN/㎥)	26.1±0.5	26.3~27.7	26.7±0.8	27.3±1.0	27.3±1.0	24.3~25.6
점착력 (kN/㎡)	13,500 ~25,000	-	15,000 ~40,000	10,000 ~25,000	15,000 ~34,000	4,000 ~15,000
내부마찰각 (°)	51~65	-	35~54	18~29	35~50	35~45

주)시료수 : 화강암(162~2,123), 편마암(117), 사암(494), 셰일(354), 석회암(150), 응회암(33)

<표 2.5-83> 암반의 전단강도 지수(한국도로공사, 도로설계실무편람)

암석종류 (강 도)	암 반 파 쇄 상 태		굴 착 난 이 도	암반의전단강도지수	
	NX 시 추 시 (Double Core Barrel 사용시)				
	T.C.R (%)	R.Q.D (%)		ϕ (°)	C (kN/㎡)
강한 풍화암으로서 파쇄가 거의 없는 경우와 대부분의 연.경암	20~30%	10~25%	발파암반 (연암)	33	130
	40~50%	25~35%	발파암반 (보통암)	35	150
	70% 이상	40~50%	발파암반 (경암)	40	200

◦ 경험식에 의한 방법

<표 2.5-84> Bieniawski(1989)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	-0.051 + 0.008RMR - 3.346×10-5RMR²(MPa)
마찰각(∅)	-0.086 + 0.7891RMR - 0.0031RMR²(degree)

<표 2.5-85> Trueman (1988)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	0.25exp(0.05RMR) (Mpa)
마찰각(∅)	0.5RMR + 5 (degree)

<표 2.5-86> 김교원 (1993)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	0.02exp(0.08RMR*) (Mpa)
마찰각(∅)	0.25(RMR*) + 27.5 (degree)

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 적용 지반정수 요약

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 MPa	프와송비	비 고
풍화토	18	28	0.02	0.3	
풍화암	20	30	0.03	0.3	
연 암	24	32	0.10	0.3	

6) 지반의 불포화 특성

실제 지반은 포화상태보다는 대부분 일정비율의 공기를 함유하고 있는 불포화상태이기 때문에 현실적인 해석결과를 검토하기 위해서는 불포화 특성이 고려된 비정상류 검토를 실시해야 한다. 다만 시험방법이 복잡하고 널리 알려지지 않아 수행에 다소의 어려움이 있어 현장여건을 최대한 반영하기 위해 관련 문헌자료를 이용하여 산정하였다. 불포화 특성은 지반의 불포화영역에서 음의 간극수압 크기에 따라 투수계수 및 함수비(포화도) 변화를 정의하는 것으로 압력수두(음의간극수압)에 따른 투수함수와 함수비함수를 직접정의(개별고려)하는 방법과 압력수두-체적함수비(포화도)-투수계수비의 관계를 정의(동시고려)하는 방법이 있다.

① 개별고려

불포화토 실험자료를 바탕으로 각각 제공되는 함수종류에 따라 Curve Fitting을 통하여 계수를 정의한다.

② 동시고려

JICE(일본국토기술연구센터, 2007)기준에 따라 불포화토 특성재료의 자료를 설정 가능하다. 지반종류별 제공된 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수는 다음과 같다.

<표 2.5-87> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비

구 분	압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비	
	체적함수율-압력수두	체적함수율-투수계수비
역질토	[G], [G-F], [GF]	[G], [G-F], [GF]
사질토	[S], [S-F], [SF]	[S], [S-F], [SF]
점성토	[M], [C]	[M], [C]

7) 수리정수 산정

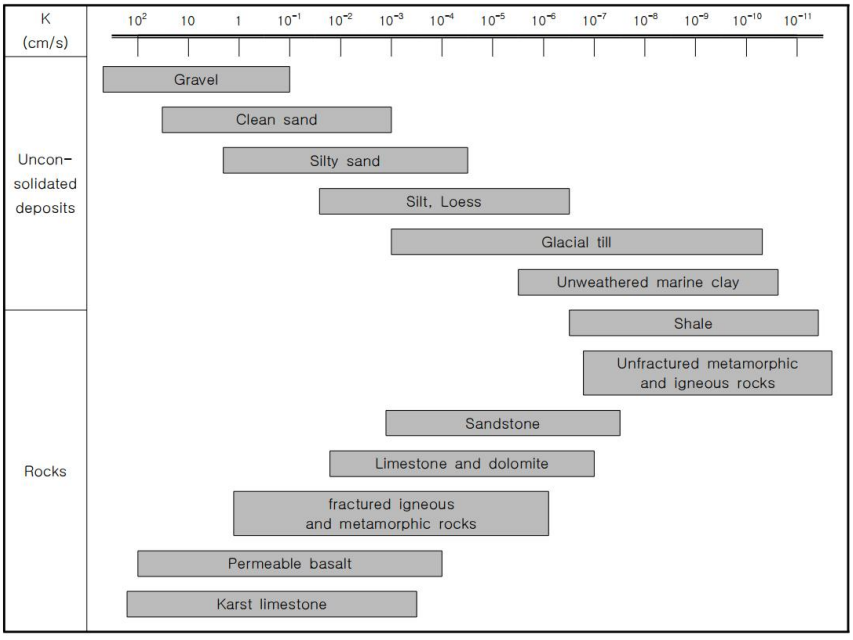
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 2.5-88> 대표적 투수계수

구 분		김 상 규(㎝/sec)	Braja M. Das(㎝/sec)
매립층	모래	1.0E-03~1.0	1.0E-03~1.0
	자갈, 사석	1.0E-02~1.0	1.0E-02~1.0
퇴적층	점성토	1.0E-08~1.0E-03	1.0E-06이하
	모래	1.0E-03~1.0	1.0E-03~1.0
풍화토		1.0E-06~1.0E-02	-

<표 2.5-89> 흙의 종류에 따른 일반적 투수계수(Rartick Power,1992)

흙의 종류	투수계수(㎝/sec)	흙의 종류
자갈(GP)	1.0 이상	양호한 모래(SW)
균등한 자갈(GP)	2.0E-01~1.0	실트질 모래(SM)
양호한 자갈(GW)	3.0E-02~5.0E-02	점토질 모래(SC)
균등한 모래(SP)	5.0E-03~2.0	실트(ML)



<그림 2.5-5> 퇴적물 및 암종별 투수계수(Freeze & Cherry, 1979)

라. 적용 강우강도

1) 강우강도

대상 비탈면에 적용된 강우강도는 한국확률강우량도의 지역별 확률강우량을 적용한다. 관측소가 없는 지역은 최인접 관측소의 확률강우량을 사용하되, 계획대상지점의 확률강우량을 이용하여 강우강도-지속시간-발생빈도 곡선(I.D.F 곡선, Intensity-Duration-Frequency)을 작성하여 최인접 관측소의 확률강우량과 비교 후 큰 값을 적용한다.

2) 설계강우빈도

① 도로배수시설 설계기준 KDS 44 40 00 : 2016

국가건설기준에 따른 도로배수시설의 설계빈도는 위험도・경제성 등을 고려하여 정하며, 구조물별 설계빈도의 적용은 다음 표와 같다.

<표 2.5-90> 도로배수시설 설계빈도

구분	설계빈도	적용위치 및 적용 방법
본선 횡단암거 및 배수관 (도시지역, 산지부)	30년 (50년) 50년 이상	. 일반구간 . 도심지, 도시계획구간 . 국지성 집중호우가 빈번히 발생하는 경우로 조사된 경우
노면 및 흙쌓기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	. 길어깨 및 중분대 등 노면 배수시설 . 흙쌓기부 도수로, 땅깎기흙쌓기경계부 측구 등
측도 및 도로 인접지 배수시설 땅깎기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	. 산마루 측구, 땅깎기부 도수로, 소단 측구 . 흙쌓기 비탈끝 배수시설, 수로이설
집수정 등 배수구조물 간 접속부	접속하는 시설물 중 빈도가 큰 값 적용	

② 비탈면배수시설 설계기준 KDS 11 70 25 : 2016

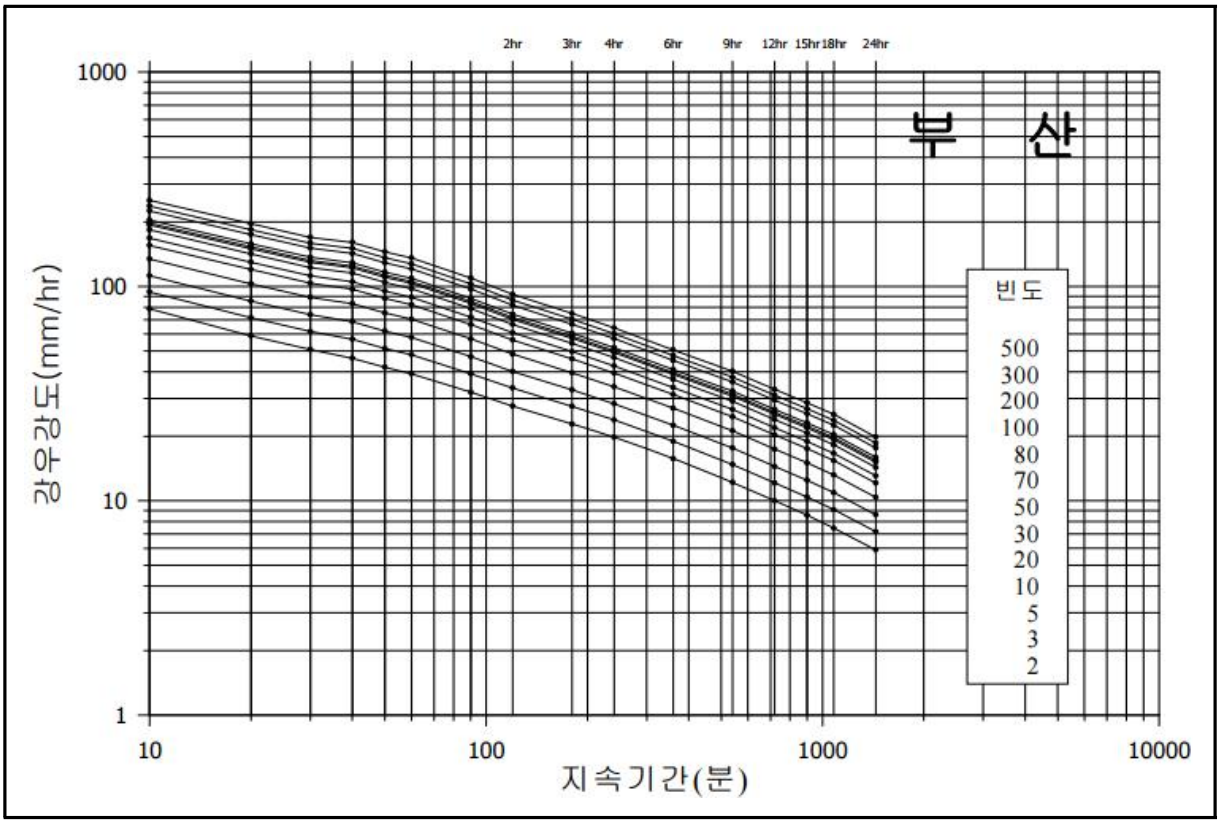
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

③ 적용 강우빈도

대상 비탈면에 적용할 강우빈도는 적용하기 위해 도로배수시설 및 비탈면배수시설의 설계기준을 참조하였으며 일반적으로 비탈면 배수시설에 적용하는 설계빈도는 20년 내외로 검토되었다. 다만 대상 비탈면의 중요도를 고려하여 적용할 강우 재현기간을 100년으로 선정하였다. 강우지속시간은 24시간을 기준으로 사용하였다.

2) 확률강우량 및 IDF곡선

① 부산지역



<그림 2.5-6> 부산지역 IDE곡선

재현기간(년) / 강우지속시간(hr)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	200	300
1	66.80	77.12	82.90	86.89	89.93	92.37	94.40	96.15	97.67	99.03	107.66	112.52
24	12.21	14.88	16.43	17.52	18.36	19.04	19.62	20.12	20.56	20.95	23.52	25.00
48	8.19	10.09	11.19	11.97	12.57	13.06	13.48	13.83	14.15	14.43	16.28	17.35

확률강우강도(㎜/hr)

<그림 2.5-7> 부산지역 확률강우강도

마. 지진시 비탈면 안정해석

1) 비탈면의 내진등급 및 성능목표

비탈면의 내진등급은 상위개념 내진설계기준을 준용하여 비탈면이 속해있는 주 구조물의 내진등급에 따라 Ⅰ등급, Ⅱ등급으로 구분하며 다음 원칙에 따라 결정한다. 비탈면의 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치지는 않으나 기능성 혹은 운영상에 일시적인 영향을 미치는 경우에는 주구조물 보다 한등급 아래의 내진등급을 적용한다. 또한 비탈면의 내진성능수준은 붕괴방지수준(비탈면 설계기준, 2011)으로 이는 비탈면에 인장균열, 부분적 탈락, 배부름 등의 파괴징조는 나타나지만 이로 인해 주구조물의 구조적 성능과 기능적인 역할에 피해를 유발시키지 않는 성능수준이다. 따라서 대상시설물은 주구조물이 고속도로인 내진Ⅰ등급에 해당되며 비탈면 붕괴가 발생할 경우 주구조물의 기능성 혹은 운영상에 일시적인 영향을 받으므로 주구조물과 같은 등급인 내진Ⅰ등급으로 선정하였다.

구조물분류	등급구분	적용대상
도로교	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별한 교량 (장대교량)
	내진Ⅰ등급	• 고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도상의 교량 • 지방도, 시도, 군도 중 방재계획상 필요한 도로에 건설된 교량 • 내진Ⅰ등급교가 건설되는 도로 위를 지나가는 고가교량
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 교량
고속철도	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별히 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	교량, 고가역사, 지하터널역사, 터널, 전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	이외의 구조물
공항구조물	내진특등급	관제탑, 구조 및 소방시설
	내진Ⅰ등급	교량, 지하구조물, 비행장시설, 도로, 건축물 등
	내진Ⅱ등급	하수도, 화물창고, 화물터미널
항만구조물	내진Ⅰ등급	항구의 입지적, 전략적 요건에 의해 주관적으로 분류
	내진Ⅱ등급	안벽, 제방 등 Ⅰ등급으로 할 필요가 없는 구조물
지중구조물	내진특등급	• 특별한 안전이 요구되는 시설 • 긴급구조, 국방 및 치안유지에 필요한 구조물
	내진Ⅰ등급	사회적 혼란이 야기되고 많은 인명, 재산피해를 주는 구조물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 일반적인 구조물
댐	내진특등급	중규모이상으로서 파괴시 하류에 중규모이상의 피해가 야기되는 댐
	내진Ⅰ등급	소규모로서 파괴시 하류에 낮은 수준의 피해가 야기되는 댐
터널	내진특등급	• 긴급구조, 구호, 국방 및 치안유지에 필요한 터널 • 내진특등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅰ등급	내진1등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅱ등급	그 외의 일반적인 터널
도로	내진Ⅰ등급	고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도
	내진Ⅱ등급	지방도, 시도, 군도
철도구조물	내진특등급	내진Ⅰ등급구조물중 복구난이도가 높고 경제사회적으로 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	국방, 치안유지 및 국가산업 활동에 중요역할을 하는 철도선상이나 도시지하철상의 교량,고가역사,지하철터널역사,터널,전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 구조물
건축물	내진특등급	방송국, 유독폭발성물질을 다량보관하는 구조물
	내진Ⅰ등급	소방서, 경찰서, 종합병원, 통신시설, 발전소, 바닥면적이 5000㎡이상인 집회시설, 바닥면적 10000㎡이상인 판매시설, 내진특등급 구조물을 지원하기 위해 필요한 시설물, 교육용건물, 교도소 및 구금시설, 6층 이상의 아파트나 숙박시설, 공공건물중 지진전후로 가동되어야 하는 건축물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 건축물

<그림 2.5-8> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 2.5-91> 설계지반운동 수준

구 분	특등급	Ⅰ등급	Ⅱ등급
붕괴방지수준	평균재현주기 2400년	평균재현주기 1000년	평균재현주기 500년
	-	해당	-

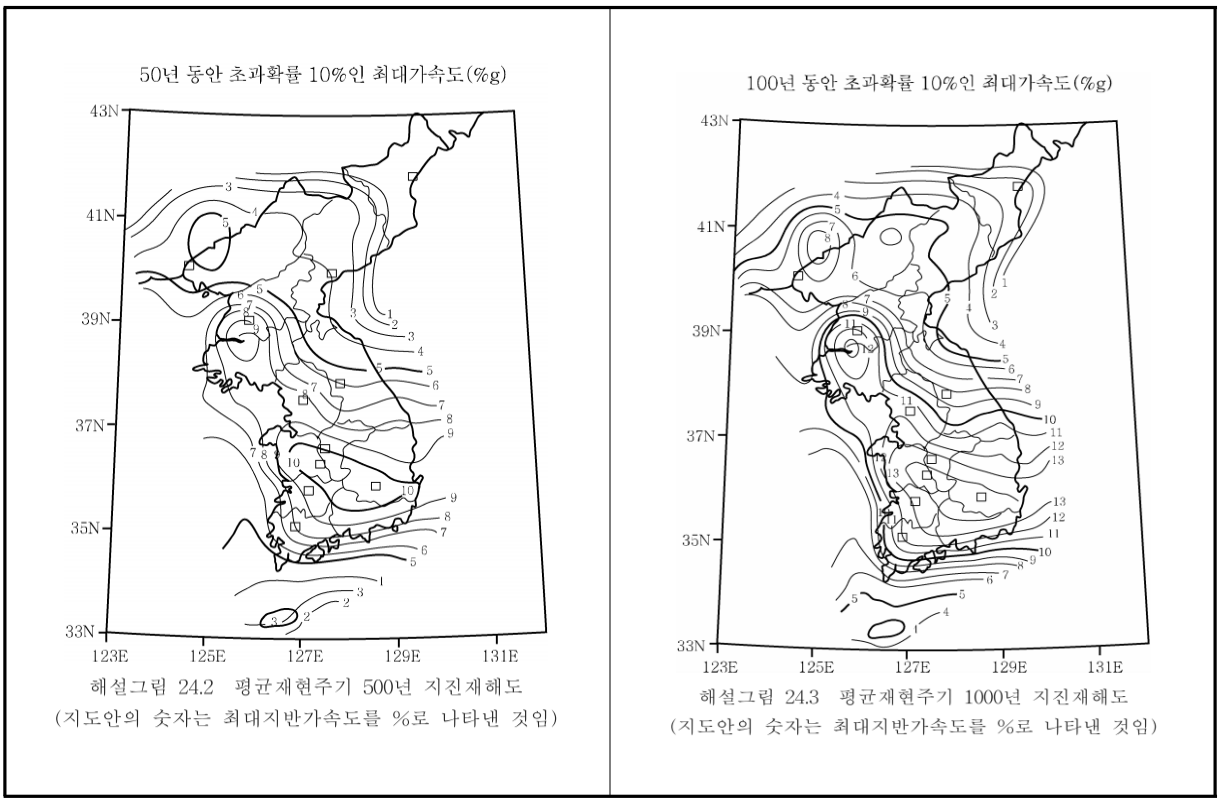
2) 설계지반운동

① 지반가속도계수

지반가속도계수는 지표면 자유장 최대가속도로 해당 지역의 보통암 암반노두를 기준으로 평가하며 지표면에서의 지반가속도계수는 국지적인 토질조건, 지질조건과 지표 및 지하지형이 지반운동에 미치는 영향을 고려해야 한다. 다만 깍기비탈면의 경우 보통암 상태의 노두가 노출되는 경우는 지진재해도 및 지진구역도에서 제시하는 지반가속도계수를 직접적으로 이용할 수 있다.

② 지진재해도를 이용한 지반가속도계수의 산정

지진의 평균 재현주기별로 작성된 지진재해도를 활용하여 비탈면의 내진등급에 따른 지반가속도계수를 산정한다.



해설그림 24.2 평균재현주기 500년 지진재해도
(지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

해설그림 24.3 평균재현주기 1000년 지진재해도
(지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

<그림 2.5-9> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

비탈면이 위치한 지역의 지진구역계수와 내진등급별 재현주기에 따른 위험도계수의 곱으로 지반가속도계수를 산정한다.

<표 2.5-92> 지진구역 구분 및 지진구역계수(재현주기 500년)

지진구역	행정구역		지진구역계수(g)
Ⅰ	시	. 서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시	0.11
	도	. 경기도, 강원도 남부(1), 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 북동부(2)	
Ⅱ	도	. 강원도 북부(3), 전라남도 남서부(4), 제주도	0.07

(1) 강원도 남부(군, 시) : 영월, 정선, 삼척시, 강릉시, 동해시, 원주시, 태백시

(2) 전라남도 북동부(군, 시) : 장성, 담양, 곡성, 구례, 장흥, 보성, 화순, 광양시, 나주시, 여수시, 순천시

(3) 강원도 북부(군, 시) : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천시, 속초시

(4) 전라남도 남서부(군, 시) : 무안, 신안, 완도, 영광, 진도 ,해남, 영암, 강진, 고흥, 함평, 목포시

<표 2.5-93> 지진구역 구분 및 지진구역계수(재현주기 1000년)

재현주기	50년	100년	200년	500년	1000년	2400년
위험도계수	0.4	0.57	0.73	1.00	1.40	2.0

지진구역계수는 각 지진구역별로 평균재현주기 1000년을 기준으로 결정되었으므로 위험도 계수를 이용하여 다른 재현주기에서의 구역별 최대 유효지반가속도를 결정한다.

지역별 최대 유효지반 가속도, g값 = 지진구역계수 × 위험도 계수

3) 지진가속도계수 선정

대상 비탈면의 주구조물은 고속도로로서 비탈면 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치므로 내진등급1등급으로 평가된다. 따라서 지진구역은 I구역으로 재현주기에 따른 위험도계수를 고려한 결과 지진가속도계수는 0.154g이다. 이는 수평방향의 성분으로서 수직방향의 성분의 지진계수는 수평방향의 2/3을 적용한다.(구조동역학(2005) 김두기 : 2/3, 일본기준 : 1/2로 제안)

마. 비탈면 검토구간 및 현황

<표 2.5-94> 검토대상 비탈면구간 및 현황

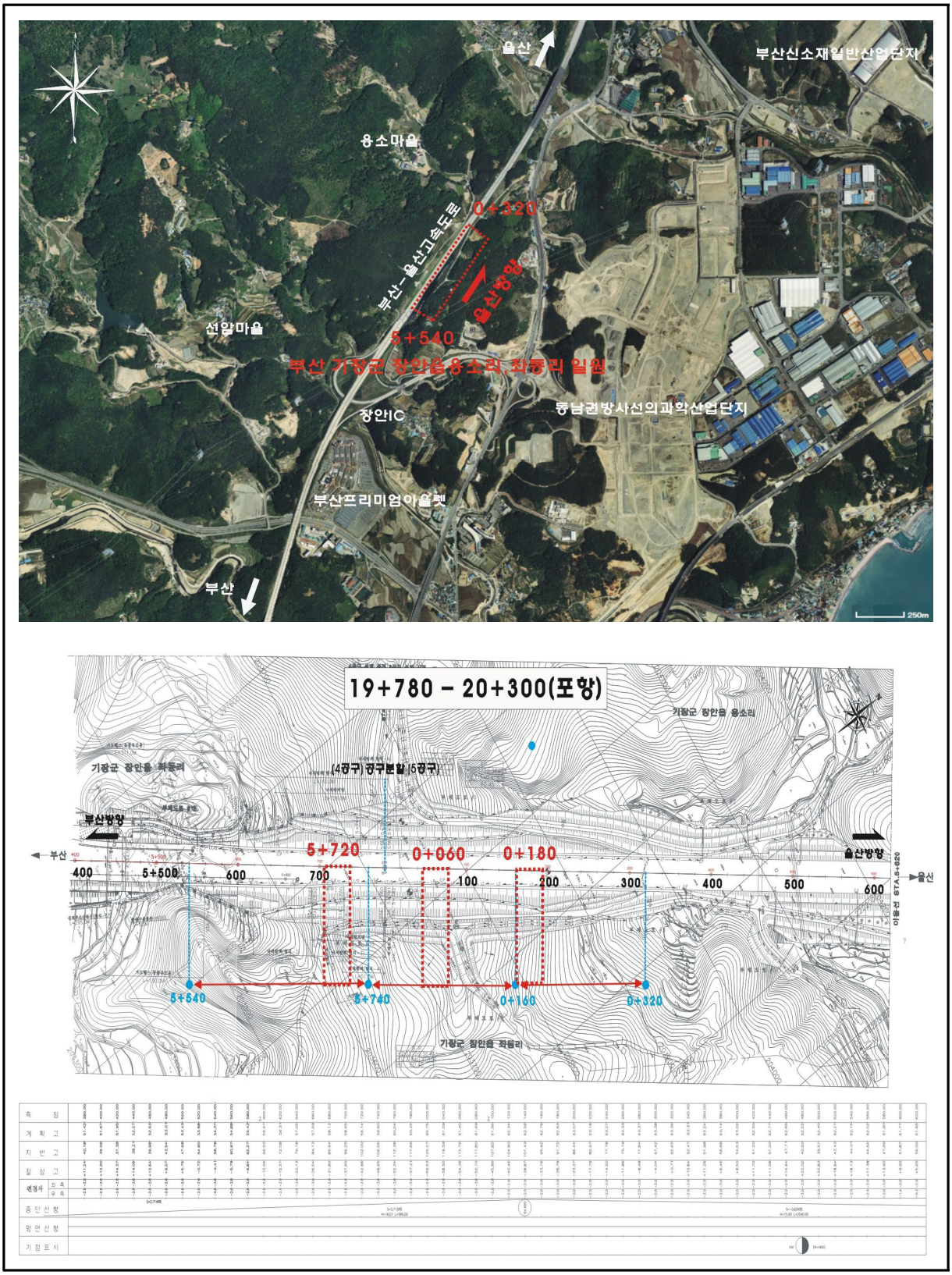
구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
STA.19+780~20+300 (포항)	부산광역시 기장군 장안읍 좌동리	19.78 ~	STA.5+720	39.7	15.3	24.4	-	2008	63/310
			STA.0+060	53.7	19.3	34.4	-	2008	63/310
			STA.0+180	37.7	19.4	18.3	-	2008	63/310

※ 부산기점 STA.을 설계도면에서 표시된 공구별 STA.으로 분할하여 표시, 검토 표시하였음

<그림 2.5-10> 부산.울산선 검토대상 비탈면구간

사. STA.19+780~20+300(포항) 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



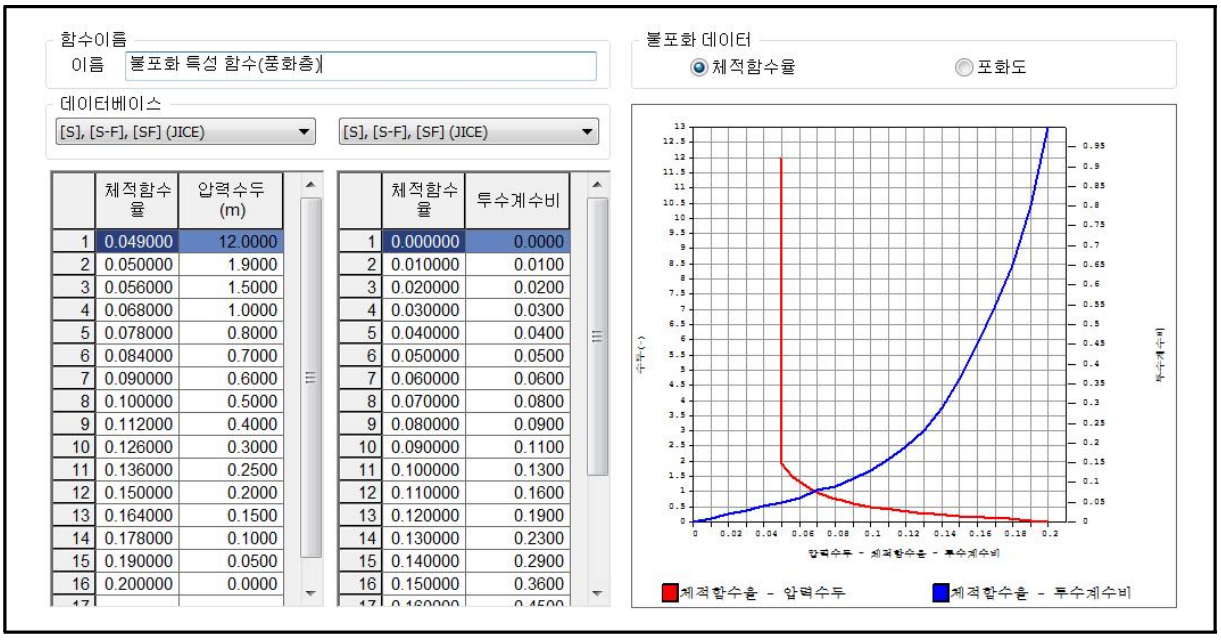
<그림 2.5-11> 부산.울산선 검토대상 비탈면구간

2) 적용 지반정수

지반 정수값은 대상시설물의 실시설계 지반조사보고서 및 주변에서 실시한 지반보고서를 비교, 분석하여 현장 시험값을 기초로 일반적 안전측으로 적용하였다. 투수계수는 문헌자료를 검토하여 일반적인 값을 적용하였다.

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 MPa	투수계수 ㎝/sec	비 고
풍화토	18	28	0.02	1.0E-03	
풍화암	20	30	0.03	1.0E-04	
연암	24	32	0.10	1.0E-05	

지반의 불포화토 특성은 JICE(일본국토기술연구센터, 2007)기준을 적용하였으며 대상지역의 풍화토 및 풍화암의 주된 성분이 실트질 모래 또는 모래섞인 실트로 JICE 기준의 사질토로 구분하여 적용하였다.



	체적함수율	압력수두 (m)
1	0.049000	12.0000
2	0.050000	1.9000
3	0.056000	1.5000
4	0.068000	1.0000
5	0.078000	0.8000
6	0.084000	0.7000
7	0.090000	0.6000
8	0.100000	0.5000
9	0.112000	0.4000
10	0.126000	0.3000
11	0.136000	0.2500
12	0.150000	0.2000
13	0.164000	0.1500
14	0.178000	0.1000
15	0.190000	0.0500
16	0.200000	0.0000

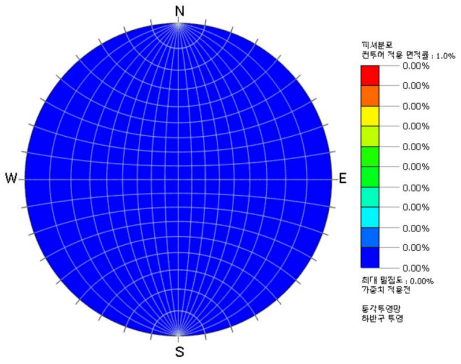
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 2.5-12> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

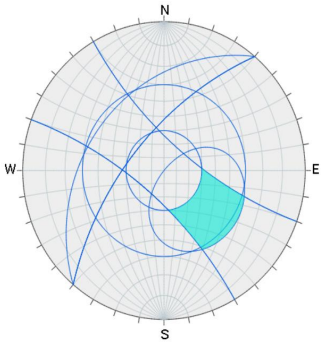
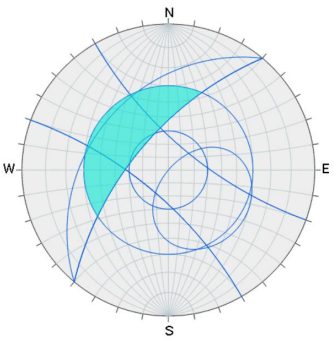
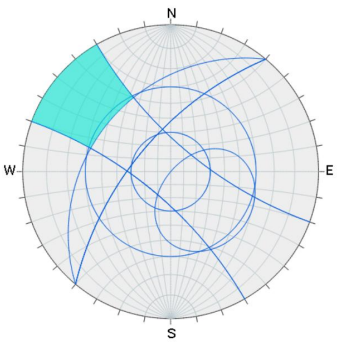
3) 1구간 (STA.5+720, 포항)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과	
평사 투영도		dip dip direction 녹화공법 적용으로 노출된 노두없음(측정불가)

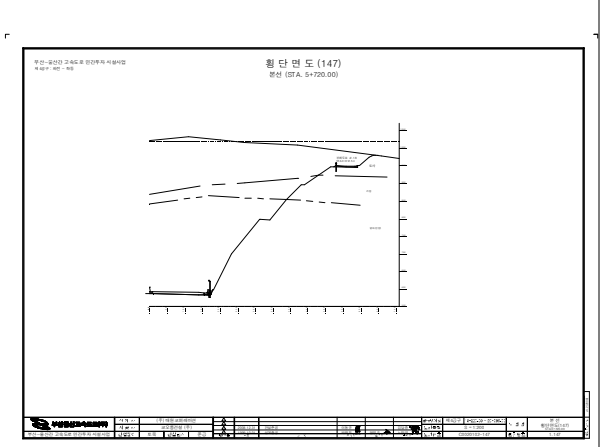
◦ 해석결과

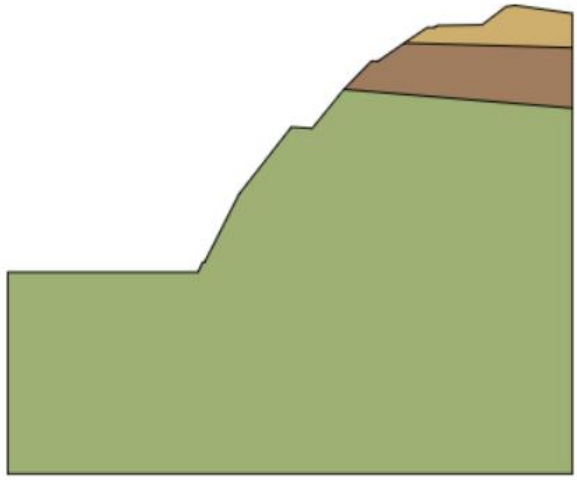
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◉ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◉ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◉ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

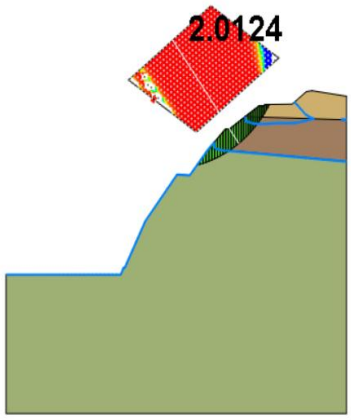
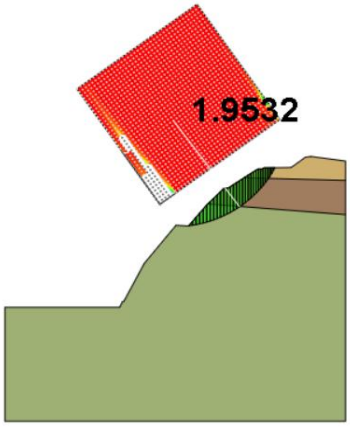
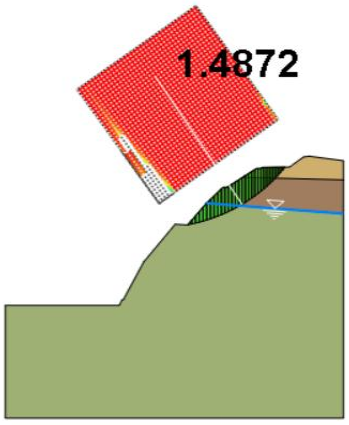
◦ 검토단면





대표단면 : STA.5+720, 포항

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.01	안전율 : 1.95	안전율 : 1.48

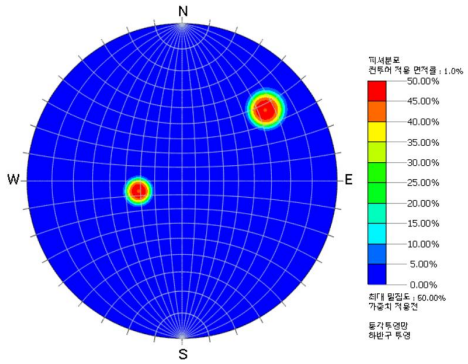
③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	우기시는 침투조건고려
	우기시	Fs ≥ 1.3 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

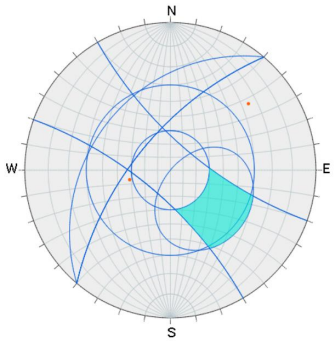
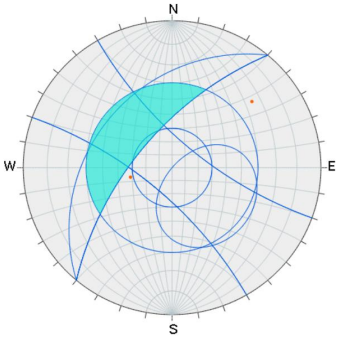
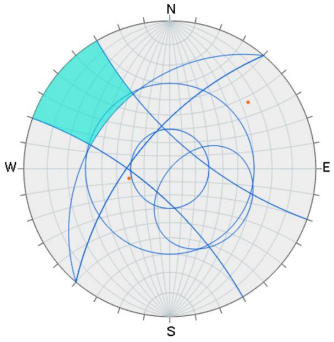
4) 2구간 (STA.0+060, 포항)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		70	230
		32	77
		70	230
		70	230
		32	77
		32	77

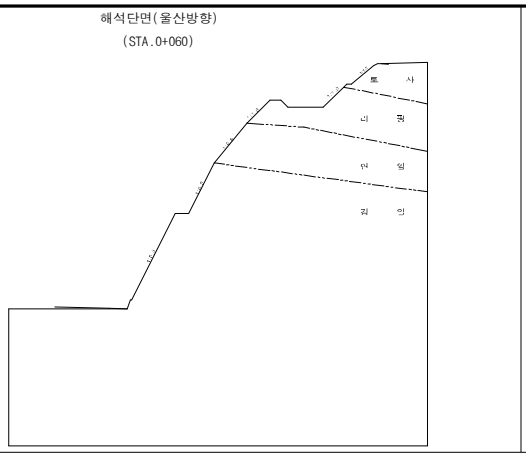
◦ 해석결과

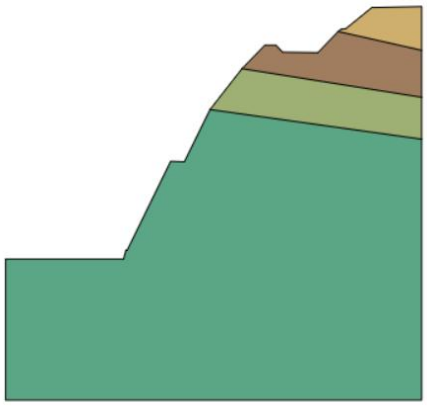
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	일부 가능성	가능성
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

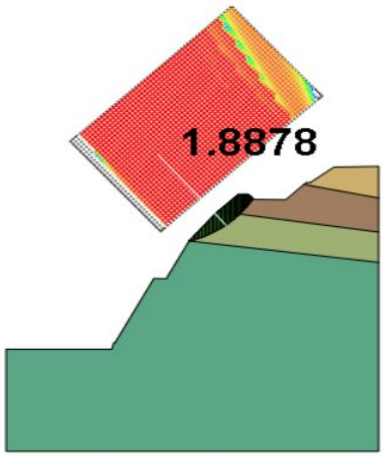
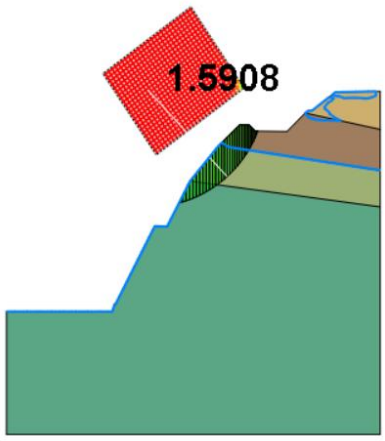
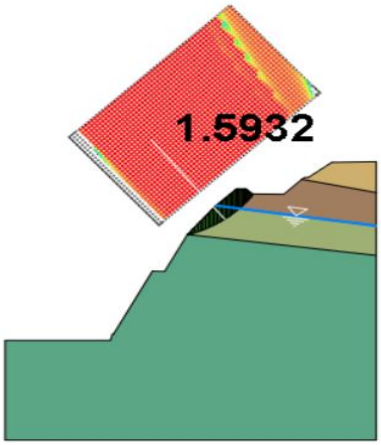
◦ 검토단면





대표단면 : STA.0+060, 포항

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 1.88	안전율 : 1.59	안전율 : 1.59

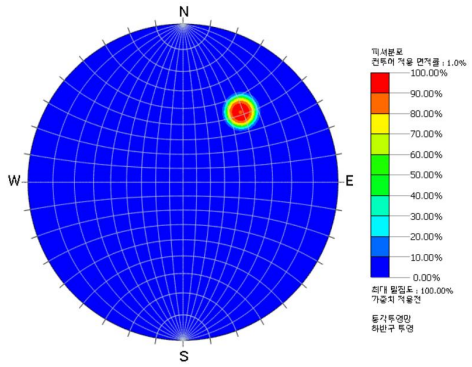
③ 2구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	우기시는 침투조건고려
	우기시	Fs ≥ 1.3 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

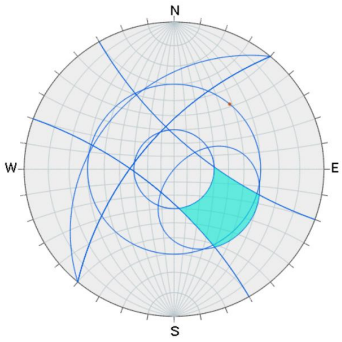
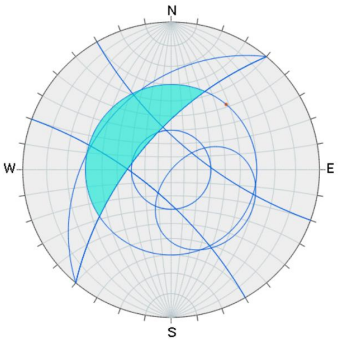
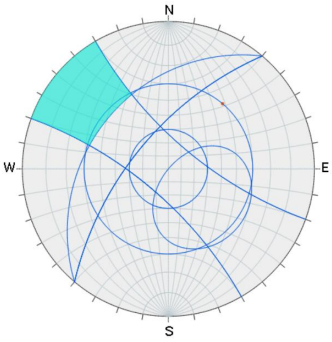
5) 3구간 (STA.0+180, 포항)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip 60 60 60	dip direction 220 220 220

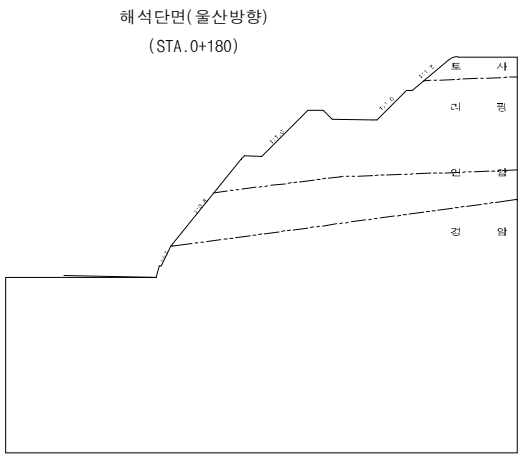
◦ 해석결과

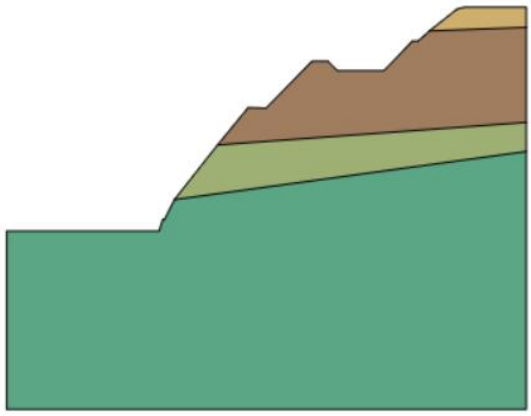
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	일부 가능성	가능성
평 가	◉ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◉ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◉ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

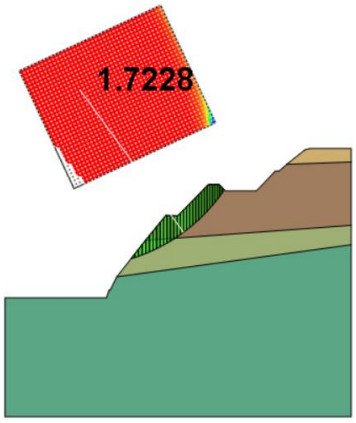
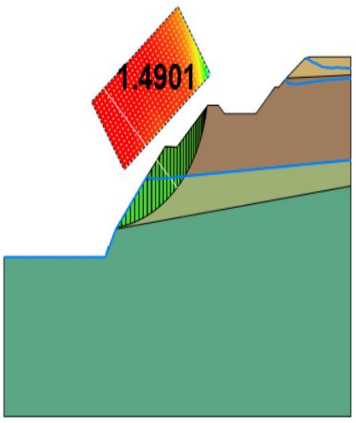
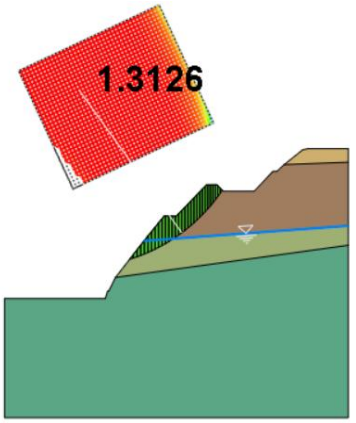
◦ 검토단면





대표단면 : STA.0+180, 포항

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 1.72	안전율 : 1.49	안전율 : 1.31

③ 3구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	우기시는 침투조건고려
	우기시	Fs ≥ 1.3 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

아. 안전성능평가 결과

구조안전성능평가는 설계 당시의 자료 및 금회 조사된 자료를 검토·분석하여 평가하기로 한다. 설계시 평사투영해석 결과 전도파괴 가능성이 분석되어 한계평형해석을 시행한 결과 건기 및 우기시 허용안전율을 상회하는 것으로 검토되었다. 금회 현장조사를 통한 평사투영해석 결과 각각의 파괴유형에 대한 안전한 것으로 분석되어 구조안전성능평가는 A등급으로 평가되었다.

<표 2.5-95> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**부산기점 STA.19+780~20+300**		
구성 재료	**파괴유형**	**최소안전율**	**평가 결과**	**비 고**
암반구간 (평사투영 해석)	평면파괴	안정	a	평면파괴 가능성 없음
	전도파괴	안정	a	전도파괴 가능성 없음
	쐐기파괴	안정	a	쐐기파괴 가능성 없음
토사구간 (한계평형 해석)	건기시	1.72	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	1.49	a	Fs ≥ 1.3 ⇨ O.K
	지진시	1.31	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

5.4.3 안전성능평가 결과

안전성능 평가는 상태안전성능과 구조안전성능 평가를 실시하여 둘 중 낮은 등급 결과에 따라 최종등급을 결정하여 그에 대한 대책을 마련한다.

상태안전성능평가 결과, 불연속면의 특성 및 지반 변형 등은 양호한 상태인 것으로 확인되었으나, 일부 숏크리트 탈락, 계단식옹벽 균열 등의 손상이 조사되었고, 상태안전성능평가 결과 B등급으로 평가 되었다.

금회 본 시설물의 안전성능평가 결과, 일부 부재에서 경미한 결함이 발생하였으며, 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.

<표 2.5-96> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**부산기점 STA.19+780~20+300**		
평가 구분	**결함지수**	**평가 결과**	**비 고**
상태안전성능	0.133	A	인장균열 없음
구조안전성능	0.080	A	특이파괴 유형 없음
안전성능	0.133	A	
안전성능 결과	ㅇ상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ㅇ**안전성능평가 결과 : A등급**		

<표 2.5-97> 안전성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

안전등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00 ≤(E)< 0.15	외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준
B (양호)	0.15 ≤(E)< 0.30	일부 부재에서 경미한 결함이 발생하였으며, 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30 ≤(E)< 0.55	광범위한 부재에서 결함이 발생하였으나, 전체적이 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강이 필요한 성능수준
D (미흡)	0.55 ≤(E)< 0.75	심각한 결함에 대한 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용 제한 여부를 결정해야 하는 성능 수준
E (불량)	0.75 ≤(E)< 1.00	심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축이 필요한 수준

5.5 내구성능 평가

5.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 2.5-98> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		절리암반사면	SR = 0/45 = 0.
공용기간		10년	2008년 12월 준공
암반구간 설계(초기)강도		경암 : 20.27~24.15MPa	
면적	전체	17,550㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	17,550㎡	
표면보호공	식 생	16,550㎡	
	숏크리트	500㎡	
사면보강공	계단식옹벽	500㎡	

5.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

본 비탈면은 토층심도율을 적용한 결과 암반사면에 해당되며, 지반상태(암반), 표면보호공 및 사면보강공, 절리상태 및 풍화진행도에 대해 평가하기로 한다.

<표 2.5-99> 사면 형식별 내구 성능 지표

구 분	평가 요소		
	토사사면	암반사면	혼합사면
절토사면	○ 지반상태(토질) ○ 표면보호공 ○ 사면보강공	○ 지반상태(암반) ○ 표면보호공 ○ 사면보강공 ○ 절리상태 및 풍화진행도	○ 토사사면과 암반사면 지표를 모두 고려

5.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 2.5-100> 암반사면의 지반상태 평가 기준

항목	등급	그룹 A 암석 예			
		설계(초기 점검값) 대비 강도			
		극경암	경암	보통암	연암
지반상태 (암반)	a	97.5%이상 100%이하	95.0%이상 100%이하	94.0%이상 100%이하	90.0%이상 100%이하
	b	95.0%이상 97.5%미만	90.0%이상 95.0%미만	88.0%이상 94.0%미만	80.0%이상 90.0%미만
	c	92.5%이상 95.0%미만	85.0%이상 90.0%미만	82.0%이상 88.0%미만	70.0%이상 80.0%미만
	d	90.0%이상 92.5%미만	80.0%이상 85.0%미만	75.0%이상 82.0%미만	60.0%이상 70.0%미만
	e	90.0%미만	80.0%미만	75.0%미만	60.0%미만

<표 2.5-101> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
하단부 40m	169.7	702.7	초기 강도값(연암) : 24.15MPa 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
하단부 60m	185.4	767.7	
하단부 80m	137.8	570.6	
평균값	157.4	651.8	
등급	**a**		

<표 2.5-102> 표면보호공 평가 결과

항목	등급	보호공의 종류	
		식생 (식생 피복율, %)	콘크리트뿜어붙이기 (손상 면적율, %)
표면 보호공	a	매우 양호(90% 이상)	균열 및 박락 없음(0~10% 미만)
	b	양호(70%이상~90%미만)	일부 균열 발생(10%이상~30%미만)
	c	보통(50%이상~70%미만)	균열 및 일부 박락 발생(30%이상~50%미만)
	d	불량(30%이상~50%미만)	박락으로 일부 유실된 상태, 누수발생(50%이상~70%미만)
	e	매우 불량(0%~30%미만)	대부분의 범위에서 박락 및 유실, 누수발생(70%이상)

<표 2.5-103> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	17,550/17,550㎡	100.0%	-	-	
평가	식생 피복율이 100.0%이므로 "a등급"으로 평가함.				

<표 2.5-104> 암반의 풍화도 평가 등급 및 기준

평가항목	절리상태 및 풍화진행도				
	a	b	c	d	e
길이	< 1m	1~3m 미만	3~10m 미만	10~20m 미만	≥ 20m
틈새	0	< 0.1㎜	0.1~1㎜미만	1~5㎜ 미만	≥ 5㎜
거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄
충전물	없음	단단한 충전물 (< 5m)	단단한 충전물 (≥ 5m)	연약한 충전물 (< 5m)	연약한 충전물 (≥ 5m)
풍화진행도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화

<표 2.5-105> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(Set A)		
	Set 1	Set 2	Set 3
길이(m)	1.0~3.0	3.0~10.0	1.0~3.0
	b(5)	c(10)	b(5)
틈새(㎜)	<0.1	0.1~1.0	0.1~1.0
	b(5)	c(10)	c(10)
거칠기	약간 거침	약간 거침	약간 거침
	c(10)	c(10)	c(10)
충전물	hard	hard	hard
	b(5)	b(5)	b(5)
풍화진행도	약한 풍화	약한 풍화	약한 풍화
	b(5)	b(5)	b(5)
합 계	30	40	35
평 균	5.0	6.7	6.8
평가 결과	c	c	c

평가항목	불연속면(Set B)		
	Set 4	Set 5	Set 6
길이(m)	3.0~10.0	3.0~10.0	1.0~3.0
	b(10)	c(10)	b(5)
틈새(㎜)	<0.1	<0.1	0.1~1.0
	b(5)	b(5)	c(10)
거칠기	약간 거침	약간 거침	약간 거침
	c(10)	c(10)	c(10)
충전물	hard	hard	hard
	c(10)	c(10)	c(10)
풍화진행도	약한 풍화	약한 풍화	약한 풍화
	b(5)	b(5)	b(5)
합 계	40	40	40
평 균	6.7	6.7	6.7
평가 결과	c	c	c

<표 2.5-106> 절리상태 및 풍화진행도 평가 결과

시험 개소	시험개소별 등급	등급 점수	비 고
Set A- Set 1	c	0.43	
Set A- Set 2	c	0.43	
Set A- Set 3	c	0.43	
Set B- Set 4	c	0.43	
Set B- Set 5	c	0.43	
Set B- Set 6	c	0.43	
평균값		0.43	최소 및 최대 제외
등 급		**c**	

5.5.4 내구성능 평가 결과

본 비탈면은 암반강도 및 절리상태 및 풍화 진행도, 표면 보호공, 사면 보강공이 있으므로 이를 고려하여 가중치 보정값을 적용하기로 한다.

<표 2.5-107> 사면형식에 따른 지표별 가중치

사면구분	지표명	지표별 가중치				
		기본	가중치 보정			
암반사면	지반상태(암반)	25	28	33	38	-
	절리상태 및 풍화진행도	40	44	53	62	80
	표면보호공	10	-	14	-	20
	사면보강공	-	-	-	-	-

<표 2.5-108> 암반사면 내구성능 등급 산정

평가항목	등급	등급 점수 (a)	가중치 (b)	결함지수 (a)×(b)
지반상태(암반)	a	0.08	0.33	0.026
절리상태 및 풍화진행도	c	0.43	0.53	0.228
표면보호공	a	0.08	0.14	0.011
결함도 지수				0.286
등 급				**B**

금회 본 시설물의 내구성능평가 결과, 일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.

<표 2.5-109> 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

안전등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00 ≤(E)< 0.15	외부 환경조건 등으로 인한 내구성능 저하가 발생할 가능성이 낮은 성능 수준
B (양호)	0.15 ≤(E)< 0.30	일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30 ≤(E)< 0.55	광범위한 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었거나 주의가 필요한 수준으로 진행되어 간단한 보수가 필요한 성능 수준
D (미흡)	0.55 ≤(E)< 0.75	광범위한 부재에서 내구성 저하가 진행되어 긴급한 보수 또는 교체가 요구되는 성능 수준
E (불량)	0.75 ≤(E)< 1.00	광범위한 부재에서 내구성능의 저하가 심각하게 진행되어 즉각 사용을 금지하고 보수 또는 교체가 필요한 성능수준

5.6 종합평가

5.6.1 종합평가 개요

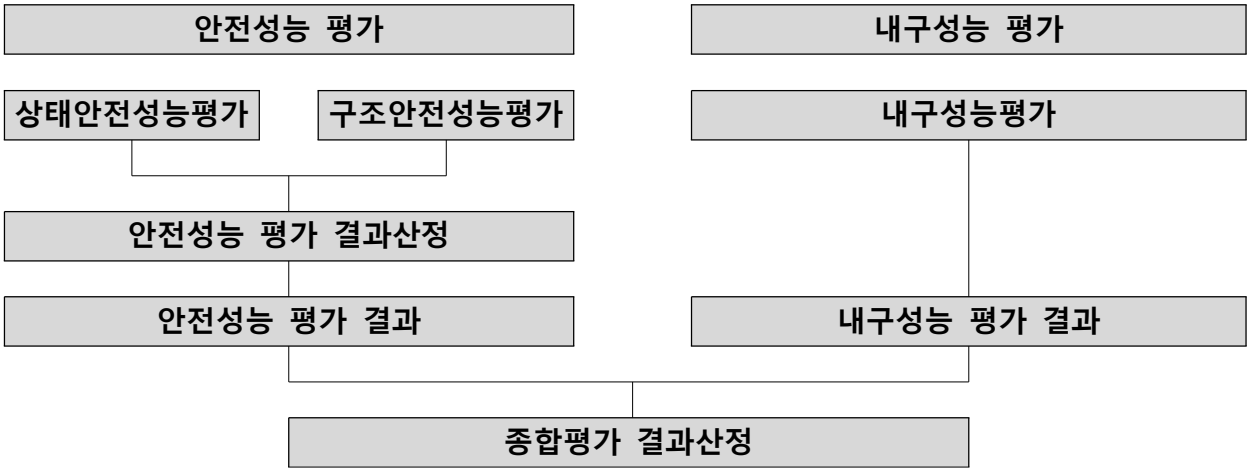
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때

· 안전성능 평가지수가 종합평가의 대표 지수로 산정

○ 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급이 아닐 경우

· 안전성능과 내구성능 각 성능항목의 가중치를 고려하여 산정



<그림 2.5-13> 종합평가 흐름도

5.6.2 종합평가 결과 산정결과

종합평가의 산정방법은 안전성능 평가와 내구성능 평가 지수에 대해 각 성능항목에 따라 부여된 가중치를 곱한 값을 합산하여 구한다. 단, 안전성능평가 결과가 최하위 등급일 경우에는 가중치와 상관없이 안전성능평가 결과를 최종등급으로 산정한다.

사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn))

<표 2.5-110> 성능간 가중치 산정 값

구분	분류	성능항목	
		안전성능	내구성능
성능간 가중치 (Wn)	일반도로 사면 고속도로 사면 일반철도 사면 고속철도 사면	0.8	0.2

<표 2.5-111> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	부산울산선 STA.19+780~20+300(포항)		**분류**	부산울산고속도로
평가 구분	**성능평가 지수**	**평가 결과**	**성능간가중치(Wn)**	**비 고**
안전성능평가	Ps=0.133	B	0.8	인장균열 없음
내구성능평가	Pd=0.286	B	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.133 × 0.8) + (0.286 × 0.2) = 0.164 ㅇ종합평가 결과 : B등급			

당해 시설물에 대해 종합적으로 성능평가를 실시한 결과 종합성능등급은 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B등급(양호)인 것으로 평가되었다.

<표 2.5-112> 절토사면의 종합평가 결과에 따른 종합성능 등급 기준

종합성능 등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00≤(P)<0.15	외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준
B (양호)	0.15≤(P)<0.30	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30≤(P)<0.55	광범위한 부재에서 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었고 기능 또는 사용상의 편의에 일부 문제점이 있으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강 및 개선이 필요한 성능 수준
D (미흡)	0.55≤(P)<0.75	성능이 기준에 미치지 못하여 시설물의 지속적인 사용이 어려운 수준으로 긴급한 보수.보강 또는 개선이 필요하며 사용제한 여부를 검토해야 하는 성능 수준
E (불량)	0.75≤(P)<1.00	심각한 결함 또는 내구성능 저하로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있거나 기능을 발휘하지 못하는 수준으로 즉각 사용을 중단하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 성능 수준

5.7 유지관리 전략 제안

시설물의 성능목표를 설정하기 위해 성능평가 실시결과와 함께 시설물의 사용환경 등을 검토하여 성능목표에 대한 등급을 지정하여야 한다.

5.7.1 성능목표 설정

『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 성능평가편(2019.01)』에서의 절토사면의 성능목표는 대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 B등급으로 설정하도록 하였다.

□시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법□제6조 제9항 및 동법 시행령 제3조 제4항, 제5항에 의거 5년주기의 "중기 시설물 관리계획"을 수립하여야 한다. 중기 시설물 관리계획에 성능평가 대상시설물에 대한 성능목표 및 관리기준이 설정되어야 하나 아직 계획수립 전에 금회 성능평가가 실시되기 때문에 본 시설물의 성능목표는 관리주체 의견과 관련 법규를 종합적으로 분석하여"B(0.15≤P<0.30)"으로 설정하였다.

<표 2.5-113> 성능목표 등급의 분류기준에 따른 평가점수 범위

기준	A	B	C	D	E
결함도 범위	0.0≤P<0.15	0.15≤P<0.30	0.30≤P<0.55	0.55≤P<0.75	0.75≤P
성능목표	**B등급** 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준				

5.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "B등급(0.164)"으로 평가되었다. 이는 성능목표와 동일한 등급을 유지하고 있는 양호한 상태인 것으로 분석되었다.

<표 2.5-114> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.133	0.286	0.164
평가결과	A	B	B

5.7.3 유지관리 전략 제안

유지관리 전략 제안의 목적은 모든 보수·보강 후보를 대상으로 성능평가지표인 상태안전성능, 구조안전성능, 내구성능, 사용성능에 근거하여 경제적 측면, 환경적 측면, 사회적 영향 등을 고려하여 우선적으로 조치하여야 할 대상을 선정하는데 있다.

가. 손상별 보수·보강 방안

노후화된 구조물에 대한 보수·보강은 손상구조물의 영향정도, 구조물의 중요도, 사용환경조건 및 경제성 등에 의해서 보수·보강 공법 및 수준을 정한다. 본 절토사면의 성능평가 결과, 성능목표인 "B등급"을 만족하는 상태로 금회 조사된 손상들에 대해서는 현상유지 수준의 주의관찰이 적정할 것으로 판단된다.

<표 2.5-115> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구 분		손상 내용	보수·보강방안	보수.보강 수준
표면 보호공	표층	상태양호	주의관찰	현상유지
	숏크리트	숏크리트 탈락, 들뜸	단면보수	현상유지
배수 조건	소단배수로	상태양호	주의관찰	현상유지
상부 자연비탈면		상태양호	주의관찰	현상유지

나. 유지관리 전략 제안

본 비탈면은 현재 목표성능을 만족하는 "B등급"의 상태를 유지하고 있으나, 본 사면에서 발생한 손상은 경미하고 국부적인 손상으로 성능수준 유지를 위해서는 지속적인 주의 관찰이 필요할 것이다.

5.8 종합결론

본 성능평가는 현장조사 및 각종시험에 의해 시설물의 성능을 종합적으로 평가하여 시설물의 객관적인 현재의 상태와 장래의 성능 변화를 파악·예측하고, 이를 통해 관리주체가 보수·개량·교체 등의 최적시기 결정 등 합리적 유지관리 전략을 마련하는 데 그 목적을 두고 시행하였다.

1) 안전성능 평가는 외관상 관찰되는 시설물의 결함을 중심으로 조사·평가하였다. 상태안전성능평가 결과, 불연속면의 특성 및 지반 변형 등은 양호한 상태인 것으로 확인되었으나, 일부 숏크리트 탈락, 계단식옹벽 균열 등의 손상이 조사되었고, 상태안전성능평가 결과 B등급으로 평가 되었다.

2) 내구성능평가는 시간에 따라 변화하는 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로서 본 비탈면의 절리상태 및 표면 보호상태에 대한 평가를 시행하였다. 그 결과 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.

3) 안전성능평가, 내구성능평가 결과를 종합적으로 분석할 때, 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B(양호)등급으로 평가되었다.

4) 본 절토비탈면의 성능목표 등급은 세부지침에 의거하여 절토비탈면의 일반적인 성능목표인 "B"등급으로 성능목표를 설정하였으며, 현재 성능은 목표성능을 만족하는 상태로 주기적인 점검 및 관리를 통한 평가저해요소에 대한 관리가 이루어진다면 시설물의 안전 및 내구성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

제6장 부산울산선 Sta.19+800~20+350(부산)

6.1 대상 시설물 현황

6.2 관련 자료의 분석

6.3 현장조사

6.4 안전성능평가

6.5 내구성능평가

6.6 종합평가

6.7 유지관리전략 제안

6.8 종합결론

제6장 부산울산선 STA.19+800~20+350(부산)

6.1 대상 시설물 현황

성능평가 대상 시설물인"절토사면-부산울산선 STA.19+800~20+350(부산)"비탈면 현황은 다음과 같다.

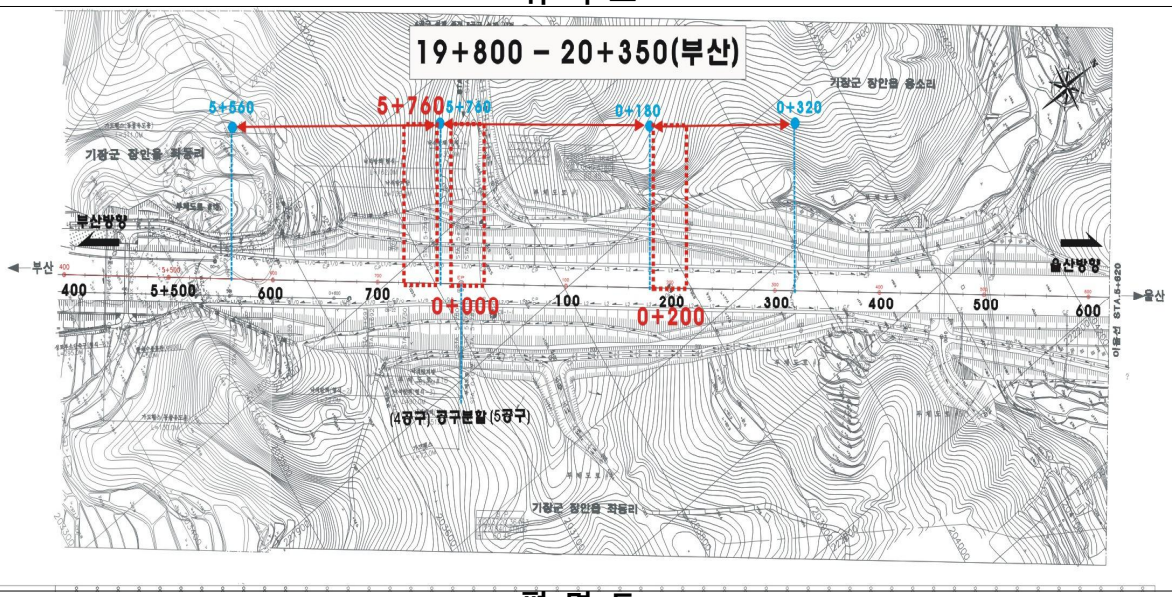
<표 2.6-1> 시설물 현황(부산울산선 STA.19+800~20+350(부산)

시설물 번호	SL2008-0000047		**관리번호**	-
시설물명	절토사면-부산울산선 STA.19+800~20+350(부산)		**시설물구분**	2종시설물
위 치	행정구역	부산광역시 기장군 장안읍 용소리 315, 좌동리 96-1		
	위치좌표	시점 : N (35°20' 05.26"), E (129°14' 33.53")		
		종점 : N (35°19' 52.70"), E (129°14' 22.20")		
제 원	연 장	590m	높 이	56m
	경사/방향	63/130	노 선	고속국도65호선
관리주체	부산울산고속도로(주)		관리주체구분	민간
주변환경	인공구조물	-		
	주변지형	산악지형	자연비탈면경사	5°
시공현황	준공년도	2008년 12월 31일	시 공 자	삼성물산(주)
	부대시설	낙석방지망, 산마루 측구, 낙석방지울타리, 야생동물유도울타리, 숏크리트 보강부, 점검통로, 수직도수로		
비 고				

대상 비탈면 전경

※ 상기의 제원 및 현황은 FMS의 시설물관리대장상의 제원을 표기한 것임.
※ 성능평가 결과 관리대장과 상이한 사항은 보고서내 별도 표기 및 이를 기준으로 조사 및 평가를 시행함.

위 치 도



평 면 도

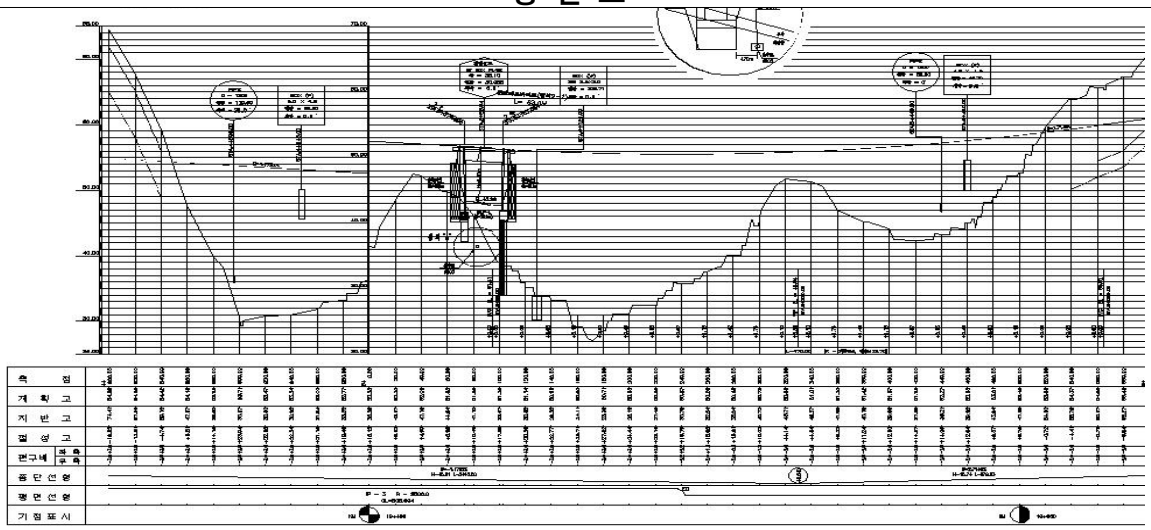


표 준 단 면 도

<그림 2.6-1> 대상 시설물 현황도

6.2 관련 자료의 분석

6.2.1 유지관리 관련 자료 현황

1) 관련 자료 수집 및 분석 현황

자료조사 및 분석은 시설물의 설계, 시공 및 유지관리 관련 자료 및 주변현황 자료로 구분되며 수집된 자료에 대한 분석을 통하여, 첫째로 과업수행의 전체적인 추진방향과 계획을 수립하고, 둘째로 구조물의 이력 확인, 결함 및 손상의 원인분석, 손상의 변화 및 진행성 여부, 보수·보강 대책 및 유지관리 방안을 수립하기 위한 기초자료로 활용하였으며, 자료수집 현황은 다음과 같다.

<표 2.6-2> 유지관리 관련자료 현황

보존대상 목록		보유현황	비 고
설계도서	ㅇ공통 - 준공내역서 - 공사 및 특별시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	 보유 보유 보유 보유 -	ㅇ고속국도 제65호선 부산~울산간 고속도로 민간투자사업 제9공구 준공도서
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등	보유	ㅇ고속국도 제65호선 부산~울산간 고속도로 민간투자사업 제9공구 준공도서
시 설 물 관리대장	ㅇ기본현황 ㅇ상세제원 ㅇ유지관리 이력	보유 보유 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS) ㅇ한국도로공사 비탈면유지관리시스템
시공관련 자 료	ㅇ시공관련자료 ㅇ품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 각종 시험기록 - 시설물 주요 구조 부위에 대한 계측자료 ㅇ사고자료	일부 보유 일부보유 일부보유 일부보유 - - -	ㅇ고속국도 제65호선 부산~울산간 고속도로 민간투자사업 제9공구 준공도서
안전점검 및 정밀안전진단 자료		보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
보수·보강 자료		일부 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)

2) 관련 자료 수집 및 분석 결과

본 시설물은 2008년 준공된 시설물로 설계 및 시공관련 자료 관리 및 보관상태는 대체로 양호한 것으로 조사되었다. 관련자료 분석을 통해 당초 시공시의 개략적인 지반상태를 파악할 수 있다.

6.2.2 지반조사 보고서 분석

본 시설물의 지반조사 분석은 준공도서에 포함된「고속국도 제65호선 부산~울산간 고속도로 민간투자사업(제9공구, 2008년) 지반조사보고서」를 요약·분석하여 성능평가의 기초 자료 활용 및 유지관리시 편의성 제공에 그 목적이 있다.

1) 지 형

조사 지역은 행정 구역 상 부산 광역시 기장군 일광면 화전리를 시점으로하여 기장 군 장안읍 좌동리를 종점으로하는 설계 구간 (L-6.78km)에 해당한다. 조사 지역의 지 형상 산계를 관찰 해보면 북서쪽의 달음산 (586m)과 남서쪽의 양달 본 산 (291m)이 북서쪽에서 남서 방향으로 연결되고 있으며, 주로 그 능선들이 북서-남서 방향으로, 그리고 대개 육지의 능선들은 북동-남동 방향으로 발달되어있다. 시점 부와 종점부는 완만 한 지형을 나타내고 있어 현재 농경지로 이용되고있다. 본 조사 지역의 주류를 이루는 수계를 보면 남쪽의 설계 시점 부의 일 광천과 종점부로가는 중간 부분에 계곡과 병행하는 좌 광천이 사행하여 동해로 빠져 나가는 계곡 물로서 비교적 단조로운 편이다. 광역적인 관찰에 의한 본 지역의 지형으로 볼 때 산세는 대체로 일광면 소재지 서쪽 달음산 (586m)에서 동해 남부선 철도쪽에 이르는 부채꼴 모양으로 발전되어 있으나 본노 선을 끼는 산세는 북서 방향의 비교적 뚜렷한 산준이 발달되어 있으며 대표적으로 본 예림리의 국도 14 호선, 본 노선과 비교적 조사 지역을 동 · 서 방향으로 동과하는 좌동 평행하게 진행하는 동해 남부선 철도 연변은 비교적 하폭이 넓고 해안으로 연결되는 산수 면도 비교적 다른 지역보다 완만 한 상태를 나타내고있다. 일광면과 장안면, 정관면에서의 소규모의 계류는 서측 내륙부보다 각 산능선, 단위 산능의 집합체가 각각 분수령의 역할을 함으로서 일정한 방향성없이 직접 동해 바다에 유입된다.

2) 지질 개요

조사 지역의 광역적인 관찰에 의하면 노선 지역의 일광면을 중심으로 하 과업 수행 본여 광범위하게 흑색 또는 암회색 셰일로 구성된 이천리 층이 분포하고 있고 노선 바깥 일광산 (378m), 아홉산 (360m), 산성 (368m) 등지에 안산암 질 암류가 남서쪽의 거쪽으로 대하게 분포하고 있으며 종점부의 좌동리 부근에서는 국부적으로 이천리 층을 관입하고 있다. 일광 광산 주위에서는 작은 암 주상의 독립 암체로 흑운모 화강암이 나타나고 있으며 덕선리 부근에 화강 섬록암이 아주 미세하게 발견되고 있다. 한편 노선의 우측으로는 이천리 층과 충적토가 번갈아 가며 출현하고있다. 분포하고있는 이천리 층은 조사 지역에 광범위하게 암석 중에서 화석이 아직까지 발 견된 것이 없기 때문에 그 지질 시대를 확실히 알 수가 없지만 구성 암석의 여러 가지 특징들로 미루어 보아 대개 경상계의 신라 통에 대비되는 것으로 사료된다. 일광면 일 대에서 본 층은 인점 한 안산암에 의해 대규모로 관입당한 산출 상태를 보여 준다. 시점 부의 화전리 부근에 있는 충적토는 전역에 걸쳐 계곡 및 낮은 평야 지대에 분포된다. 특히 본 조사 지역 남동부에는 매우 넓은 충적토로 덮인 평야가 발달되어 있으며 바위, 모래 및 점토 등으로 구성되어 있고 대부분이 농경지로서 이용되고 있다. 종점부의 좌동리 부근에 있는 안산암 질 암류는 신라 통의 화산암 류 중에서 초기에 형 성 된 것이며 국부적으로는 이천리 층을 관입 한 관입암 체도 산출 되나, 주로 안산암 질암 류로 인정되는 산출 상태 및 조직을 가지는 암체로 나타난다. 본 암은 입도로 보아 세립 질인 것, 반상 조직을 가지는 것이 조직상의 특징을 달리하는 대표적인 암증이다. 입상 조직을 보여 주고, 안산 일광 광산 주위의 일반적으로 중립 질의 흑운모 화강암은 암이나 이천리 층을 관입하여 그 접촉부가 미립 질로 변화되며 유색 광물이 희소해지는 경향을 볼 수 있다. 정관면에서부터 이어져 덕선리 부근에 미세하게 나타나는 화강 섬록암의 구성 광물은 주로 석영, 사장석, 정장석, 혹 운모 등으로 되어 있고 부 구성 광물로서 각섬석, 연니석, 자철석, 자류 광석, 인회석 나타난다. 본 암의 약 35 %로 정장석보다 더 등이 사장석은 많이 함유되어있다.

6.2.3 점검 및 진단 이력

본 비탈면은 2009년부터 정기안전점검을 8회, 정밀안전점검 4회 실시한 것으로 조사되었다. 점검 결과 전반적으로 양호한 상태로 특별한 보수·보강을 필요한 구간은 없는 것으로 평가되었다.

<표 2.6-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2008-08-01 ~ 2008-12-31	초기안전점검	양호한 상태	A
2	2009-03-06 ~ 2009-06-30	정기안전점검	이상없음	양호
3	2009-08-04 ~ 2009-11-25	정기안전점검	이상없음	양호
4	2010-01-02 ~ 2010-06-30	정기안전점검	양호	양호
5	2010-10-01 ~ 2010-11-29	정밀안전점검	절취사면은 퇴적암(셰일)로 이루어져 있으며, 절리 상태(절리 간격 및 충진물 유무)가 양호하나 국부적으로 쐐기파괴의 위험 많은 절리 발달됨. 사면파괴요인에서 위험요소 내포하고 있음	B
6	2010-07-07 ~ 2010-12-08	정기안전점검	양호함	양호
7	2011-06-23 ~ 2011-06-03	정기안전점검	양호함	양호
8	2011-11-01 ~ 2011-11-10	정기안전점검	양호	양호
9	2012-06-02 ~ 2012-06-03	정기안전점검	이상없음	양호
10	2012-10-22 ~ 2012-10-24	정기안전점검	이상없음	양호

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
11	2013-04-15 ~ 2013-04-30	정기안전점검	양호	양호
12	2013-09-23 ~ 2013-09-27	정기안전점검	양호	양호
13	2013-12-06 ~ 2013-12-25	정밀안전점검	절취사면은 퇴적암(셰일)로 이루어져 있으며, 절리 상태(절리 간격 및 충진물 유무)가 양호하나 국부적으로 쐐기파괴의 위험 많은 절리 발달됨.3단 소단 쐐기파괴에 의한 1m3 크기의 낙석이 발생함. 불연속면 사이 큰나무 다수 자람. 숏크리트 탈락 및 누수현상 발생.낙석방지망, 낙석방지휀스 및 기타 구조물 (수로, 소단 등) 상태 양호함.	B
14	2014-04-01	정기안전점검	양호	양호
15	2014-09-01	정기안전점검	양호	양호
16	2016-06-26	정기안전점검	양호	양호
17	2016-12-07	정기안전점검	양호	양호
18	2016-09-29 ~ 2016-12-27	정밀안전점검	산마루측구, 도수로, 소단배수로 등 배수로 점검 결과 소단배수로 시공이음부에 씰링재 마감처리가 불량하므로, 우수가 스며들지 않게 씰링재 보수를 실시함이 바람직하다. 그 외에 구조물의 균열이나 이음부 이격 등의 구조물 변형이나 지반변형 없이 전반적으로 양호한 상태로 조사됨	B
19	2016-06-13 ~ 2016-06-16	정기안전점검	전반적인 상태양호	양호
20	2016-10-19	정기안전점검	전반적인 상태양호	양호
21	2017-04-25	정기안전점검	양호	양호
22	2017-12-04	정기안전점검	양호	양호

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
23	2017-09-29 2017-12-27	정밀안전점검	사면부 점검결과 : 2소단 상부 암노출 구간(STA.0+310~370) 에 일부 낙석이 적치되어 있고 일부 절 리가 발달하여 쐐기파괴 및 전도파괴가 우려 되며 STA.0+290 위치에 숏크리트의 일부가 탈락(5.0×1.0) 되어 주의관 찰필요 식생상태 : 일부 암노출 구간의 식생은 불량,시, 종점부 및정 상부는 일부 양호 보호시설 점검현황 : 낙석방지망 상태는 양호하나 지속적인 유지 관리 필요	B
24	2018-04-17	정기안전점검	양호.	양호

6.2.4 보수·보강이력

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 유지관리중 보수·보강이력은 없는 것으로 조사되었다.

<표 2.6-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

6.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 내진설계 적용여부에 대한 명확한 근거는 조사되지 않았다.

<표 2.6-5> 내진 설계 적용 여부

검토대상 부재	설계적용여부	결과	검토결과 요약	근거
절토사면	불명	-	내진관련 자료 부족으로 확인 불가	

6.2.6 관련 자료 분석 결과 요약

금회 성능평가시 유지관리 관련자료를 분석한 결과, 본 시설물은 특별한 사고이력 및 상태 변화가 없는 양호한 시설인 것으로 평가되었다. 관련 자료 분석 결과 요약 및 이를 기초로한 금회 성능평가 시행 방향은 다음과 같다.

<표 2.6-6> 관련 자료 분석 결과 요약 및 점검 방향

구 분	자료 분석 결과	성능평가 방향
설계도서	ㅇ준공도서 유지관리중 ㅇ위치도, 횡단면도 등 파악 가능 ㅇ원지반 상태 파악 가능	ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득 ㅇ설계도면과 현재 제원 비교
시설물 관리대장	ㅇ기본현황, 상세제원 확인 가능 ㅇ유지관리 이력 파악 ㅇ시설물 준공 후 최초의 성능평가	ㅇ현장조사를 위한 기초자료로 활용 ㅇ준공후 특별한 보수·보강이력이 없는 상태로서 금회 성능평가시 손상조사시 필요에 따라 보수·보강방안 수립
안전점검 및 정밀안전진단 자료	ㅇ준공후 정기안전점검, 정밀안전점검이 시행되었으며, 전반적으로 양호한 상태임.	ㅇ사면파괴징후에 대한 면밀한 조사 ㅇ필요시 보수보수·보강방안 수립 ㅇ시설물 특성을 고려한 적정한 유지관리방안 제시
보수·보강 자료	ㅇ유지관리 이력상 사면 기붕괴구간에 대한 숏크리트가 시공됨.	ㅇ숏크리트 상태 조사
유지관리 전략 제안	-	ㅇ현장조사 및 관련자료 분석을 통한 항목별 성능평가 시행 ㅇ성능평가 결과에 따라 성능목표 유지를 위한 유지관리 전략 제안

6.3 현장조사

6.3.1 현장조사 체크리스트

관리주체에서 수집된 시설물 유지관리 자료를 참조로하여 현장답사 및 기초 자료를 조사한 결과는 다음과 같다.

<표 2.6-7> 일반현황

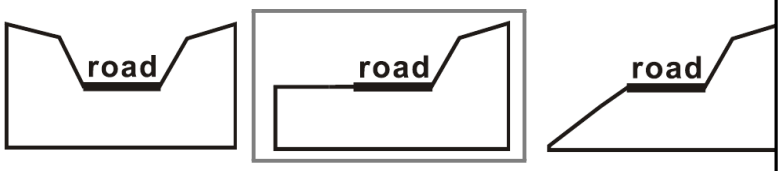
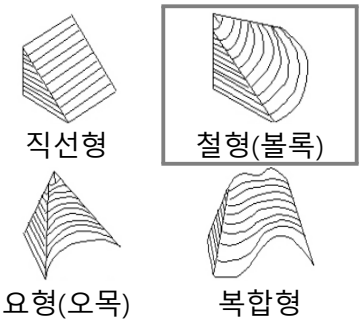
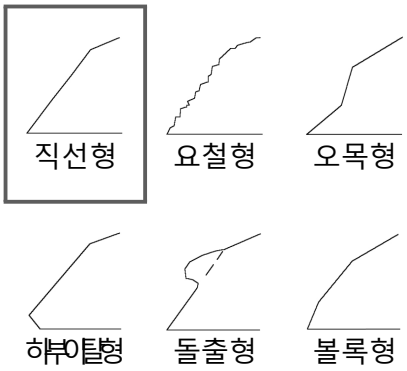
조사일자	2019년 10월 17일	**조 사 자**	인승철
일 기	맑음	**준공년도**	2008년 12월 31일
행정구역	부산광역시 기장군 장안읍 용소리 315, 좌동리 96-1		
위 경 도	시점 : N (35°20' 05.26"), E (129°14' 33.53")		
	종점 : N (35°19' 52.70"), E (129°14' 22.20")		
절토사면	길 이 : 590m	높 이 : 56m	
	경 사/경사방향 : 63/130 (평균경사 53°)		
	구성물질 : 암반	토층심도 : 1구간 0.15(약 4.0m) 2구간 0.04(약 2.0m) 3구간 0.06(약 3.0m)	
	소 단 : 3		
낙석/뜬돌	낙석 존재유무 : 있음	낙석의 양 : 0.60㎥	
	낙석 평균크기 : 0.2×0.2×0.1 낙석 최대크기 : 0.3×0.2×0.1		
	뜬돌 존재유무 : 있음	뜬돌의 양 : 0.60㎥	
	뜬돌 평균크기 : 0.4×0.2×0.2 뜬들 최대크기 : 0.5×0.3×0.2		

절토사면 시공현황	**종 류**	**위 치**	**상 태**
	식생현황	STA.0+150~425(2소단 하부)	불량
	식생현황	시·종점부 및 정상부 일부	양호
	산마루 측구	STA.0+375~590	양호
	낙석방지망	STA.0+000~590(일부구간 제외)	양호
	낙석방지울타리	STA.0+080~540	양호
	야생동물유도울타리	STA.0+000~360, 540~590	양호
	수직도수로	STA.0+280	양호
	점검통로	STA.0+370	양호
	숏크리트 보강	STA.0+200~400(일부 앵커, 록볼트 보강)	일부 불량
	절토사면경보시스템	-	-
	야생동물유도울타리	STA.0+150~600	양호
	절토사면경보시스템	-	-

붕괴이력	**유 형**	**규 모**	**위 치**

기 타	・일부 식생이 불량한 부위에서 노두가 관찰되었으며, 사면계측기(절토사면 경보시스템)가 설치된 것을 육안으로 확인

<표 2.6-8> 지형·지질 및 식생

<table>
<tr><td rowspan="3">주변지형의 특성</td><td>주변 지형</td><td colspan="5">산악지형</td></tr>
<tr><td>종단면 형상</td><td colspan="5"> 
</td></tr>
<tr><td>기타 특징</td><td colspan="5">-</td></tr>
<tr><td>사면의 특성</td><td>종횡단면</td><td colspan="2"> 
</td><td>종단면특성</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="7">상부자연사면</td><td>경 사 도</td><td colspan="5">5°</td></tr>
<tr><td>인장균열</td><td colspan="5">없음</td></tr>
<tr><td>포행흔적</td><td colspan="5">없음</td></tr>
<tr><td>수목의 기울어짐</td><td colspan="5">없음</td></tr>
<tr><td>인공구조물</td><td colspan="5">없음</td></tr>
<tr><td>산마루측구</td><td colspan="5">있음(STA.0+377~590)</td></tr>
<tr><td>계곡부</td><td colspan="5">없음</td></tr>
<tr><td>지 질</td><td>지질각론</td><td colspan="5">·녹생토 및 식생으로 덮여 있어 불연속면 관찰이 곤란</td></tr>
<tr><td rowspan="3">식 생</td><td>① 종 류</td><td>초 본</td><td>관 목</td><td>침 엽 수</td><td>활 엽 수</td></tr>
<tr><td>② 밀 도</td><td>중</td><td>하</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>③ 근계특징</td><td colspan="4">천근성 (O), 심근성 ( )</td></tr>
</table>

<표 2.6-9> 기초조사 자료

일반현황	거리표	-		
	위경도	시점 : N (35°19' 50.29"), E (129°14' 22.00") 종점 : N (35°20' 06.76"), E (129°14' 36.94")		
	차선	편도 (2) 차선		
	조사일자	2019년 10월 17일		
	조사자	인승철	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특 성	길이	600.0m	최대높이	46.0m
	경사	63°(1:0.5)	상부경사	10°
	이격거리	평균 1.0~2.0m	소단	1개소
	종류	■암반 □혼합 □토사 □자연	주변지형	■산악 □준산악 □구릉 □평 지
	지하수	■C.dry □damp □wet □dripping □flowing	누수위치	□상 □중 □하 □좌 □중 □우
	풍화도	□F ■S ■M □H □C □R	불연속면 방향성	□일치 □평행 ■후방 □불가
	사면형상	□직선형 ■철형 □요형 □파형	측면형상	■직선형 □요철형 □탈락형 □돌출형
	계곡부	-	붕괴이력	□유(영향) □낙석 □유(미영향) ■무
	뜬돌	□대 □중 ■소 □무	낙석	□대 □중 ■소 □무
	암종	사암 및 셰일	토층심도	6.0 ~ 10.0m
	암반형태	□massive □tabular □columnar □irregular ■blocky □crushed	불연속면	■절리 ■층리 □엽리 □균열 □단층 □전단대 □암맥 □무
	시공현황 (상태)	■낙석방지망( ) ■낙석방지울타리( ) ■측구( ) □옹벽( ) ■식생공(불량) □돌망태옹벽( ) ■계단식옹벽( ) ■도수로(양호) □기타( )		
조사자 소 견	위험도	□상 □중 ■하	피해도	□상 □중 ■하
	붕괴 유형	□심층 □표층 ■무	위험등급	■A □B □C □D □E
	위험구간 (붕괴유형)	□상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( ) □상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( ) □상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( )		
	필요 주공법	표면보호공	조치	□응급 ■미응급
	기타			

일반현황	거리표	-		
	위경도	N (35°20' 05.26"), E (129°14' 33.53") N (35°19' 52.70"), E (129°14' 22.20")		
	차선	편도 (2) 차선		
	조사일자	2019년 10월 17일		
	조사자	인승철	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특 성	길이	590.0m	최대높이	56.0m
	경사	63°(1:0.5)	상부경사	-5 ~ -15°
	이격거리	평균 1.0~2.0m	소단	3개소
	종류	■암반 □혼합 □토사 □자연	주변지형	■산악 □준산악 □구릉 □평 지
	지하수	■C.dry □damp □wet □dripping □flowing	누수위치	□상 □중 □하 □좌 □중 □우
	풍화도	□F ■S ■M □H □C □R	불연속면 방향성	□일치 □평행 ■후방 □불가
	사면형상	□직선형 ■철형 □요형 □파형	측면형상	■직선형 □요철형 □탈락형 □돌출형
	계곡부	-	붕괴이력	□유(영향) □낙석 □유(미영향) ■무
	뜬돌	□대 □중 ■소 □무	낙석	□대 □중 ■소 □무
	암종	사암 및 셰일	토층심도	5.0 ~ 10.0m
	암반형태	□massive □tabular □columnar □irregular ■blocky □crushed	불연속면	■절리 ■층리 □엽리 □균열 □단층 □전단대 □암맥 □무
	시공현황 (상태)	■낙석방지망( ) ■낙석방지울타리( ) ■측구( ) □옹벽(양호) ■식생공(불량) □돌망태옹벽( ) □계단식옹벽( ) ■도수로(양호) □기타( )		
조사자 소 견	위험도	□상 □중 ■하	피해도	□상 □중 ■하
	붕괴 유형	□심층 □표층 ■무	위험등급	■A □B □C □D □E
	위험구간 (붕괴유형)	□상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( ) □상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( ) □상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( )		
	필요 주공법	표면보호공	조치	□응급 ■미응급
	기타			

6.3.2 사면분류 및 구간분할

대상 대상 시설물에 대한 현장조사 및 시험은 본 조사를 실시하기 이전에 현장을 답사하여 시설물의 주변 환경과 현 상태를 파악하고, 시설물의 접근방법 및 관련 자료를 검토 후 외관조사를 통하여 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성 확인을 위한 상세한 조사계획을 수하였다. 또한, 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단하기 위해 기본시설물 및 부대시설물 등 주요 부재의 현 상태와 시설물의 안전성을 저해할 만한 손상의 유무를 확인하였으며, 시설물 구성부재별로 외관조사 결과는 외관조사망도와 주요 사진을 중심으로 부록자료에 수록하여 향후 시설물 점검 및 유지관리 시에 효율적으로 활용할 수 있게 하였다.

가. 시설물 일반 현황

본 과업 대상 시설물은 부산울산고속도로 부산방향 STA.19+800~20+350에 위치하고 있으며, 시설물관리대장상 길이는 590m, 높이 56.0m의 절토사면으로 시설물 안전법상 2종 시설물로 분류된 시설이다.

현장조사를 위한 실측조사 결과 본 구간의 절토사면 총 연장 및 높이는 시설물관리대장과 동일한 것으로 조사되었다.

나. 절토사면의 분류

토층심도 깊이측정을 위한 자료는 준공도서 표준횡단면도를 참고하여 작성하였고, 블록크기 측정을 위한 절리간격은 사면특성조사시 Set1~3에 위치하는 절리군의 평균 간격을 측정하였다.

<표 2.6-10> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{1.8}{56}=0.032$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 132.7MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{56}=0.009$로 0.01이하	파쇄암반	

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
2구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{1.2}{56}=0.02$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 101.2~106.0MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{1.5}{56}=0.026$로 0.01초과	절리암반	

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
3구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{1.8}{56}=0.032$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 110.9MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{56}=0.009$로 0.01이하	파쇄암반	

다. 비탈면 구간 분할

연장이 600m로써, 사면의 구간분할 기준인

1) 사면의 구성재료가 변화할 경우

2) 사면의 경사가 10°이상으로 변할 경우

3) 사면의 구성재료와 표준경사가 맞지 않을 경우

4) 사면의 경사방향이 40°이상 변화할 경우

5) 동일 구간의 연장이 200m 이상일 경우

위 기준중 5번에 해당하여, 그에 따라 3개구간으로 분할하여 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

<표 2.6-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	19.790~19.990K	
2구간	19.990~20.190K	
3구간	20.190~20.390K	

6.3.3 상태안전성능 조사

가. 집수지형

집수지형에 대한 평가는 시·종점부, 요철지형 등 지표수가 직·간접적으로 비탈면에 유입되는 지형에 대한 평가로서 외부와 내부로 구분하여 분석하였다.

비탈면 외부 지형조건은 상부 자연사면이 상향 5°경사를 이루고 있는 것으로 조사되었다. 종점부측으로는 산마루 배수로가 있고, 계곡부에는 수직 도수로가 시공되어 있는 것으로 확인되었다. 유입되는 지표수는 산마루 배수로 및 수직 도수로를 통해 배수되는 것으로 파악되었다.

사면내 기울기 및 경사방향 변화로 인한 사면내 오목한 지형 발생으로 인한 집수지형은 없는 상태이다.

<표 2.6-12> 집수 지형 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
집수지형	외부	시.종점부	EA	1	-	
		계곡부	EA	-	-	
	내부	집수지형 없음	EA	-	-	

나. 불안정 지질

불안정 지질은 절토사면에 분포하는 단층 및 전단대, 파쇄대, 습곡, 암맥 등 주변의 암반과 구성이 다르거나 특정 부분을 중심으로 균열이 집중적으로 발달하여 사면에 작용하는 불안정 요인으로 작용하는 지질 분포규모 및 상태를 평가하는 항목이다.

본 비탈면은 표면보호공으로 식생이 분포하여 전체 사면에 대한 불안정 지질 여부를 평가하기 곤란하여 부분적으로 원지반이 노출된 구간에 대해서 한정적으로 조사하였다.

그 결과 부분적으로 절리가 관찰되며, 보통 풍화 상태를 보이고 있는 것으로 분석되었다.

<표 2.6-13> 불안정 지질 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
불안정 지질	보통 풍화	-	-	-	

다. 불연속면 특성

불연속면은 대개 물리적으로 분리되어 있는 면으로 매우 작은 인장강도를 갖거나 인장강도가 없어 암반으로 구성된 절토사면의 경우 불연속면의 존재는 사면의 안정에 절대적인 영향을 미치게 된다. 이와 관련하여 본 성능평가에서는 소단 하부에는 식생공이 없어 대기에 노출된 원지반을 대상으로 2개 구간에서 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

<표 2.6-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	2구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	50/039	65/224	47/195
간격(m)	0.6~2.0	0.6~2.0	0.6~2.0
연장성(m)	1.0~3.0	3.0~10.0	3.0~10.0
틈새(mm)	0.1~1.0	<0.1	0.1~1.0
거칠기	약간거침	약간거침	약간거침
충진물질	hard	hard	hard
풍화도	M.W	M.W	M.W
비고			

구 분	3구간		
	Set 4	Set 5	Set 6
방향성	50/092	50/092	50/092
간격(m)	0.6~2.0	0.6~2.0	0.6~2.0
연장성(m)	3.0~10.0	3.0~10.0	1.0~3.0
틈새(mm)	<0.1	<0.1	0.1~1.0
거칠기	약간거침	약간거침	약간거침
충진물질	hard	hard	hard
풍화도	M.W	M.W	M.W
비고			

라. 지반 변형

지반 변형은 사면의 배부름 현황과 같은 지반 자체 변형과 관련된 항목이다. 본 성능평가에서는 전 구간에 걸쳐 외관조사를 시행하고, 관련 자료 및 청문조사를 통한 과거 이력에 대한 조사도 병행하였다. 외관조사 결과, 지반변형으로 인한 급격한 기울기 변화는 조사되지 않았으며, 과거 이력 조사 결과에서도 손상은 없었던 것으로 확인되었다.

<표 2.6-15> 지반 변형 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
지반 변형	없 음	-	-	-	

마. 배수 조건

사면내 배수시설은 소단배수로가 시공되어 있다.

소단배수로는 지반 변형으로 인한 부상 및 침하 등의 손상은 없는 것으로 확인되었다.

<표 2.6-16> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단 배수로	상태 양호	-	-	-	

소단배수로 상태양호

산마루측구 상태양호

바. 지하수

지하수에 대한 항목은 사면내 지하수량을 간접적으로 조사하는 항목이다.

비탈면내 누수 여부에 대한 조사 결과, 지하수 용출에 의한 습윤지역 및 누수 현상은 관찰되지 않는 상태이다.

<표 2.6-17> 지하수 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상원인	비 고
지하수	건조된 상태	-	-	-	우기시 조사 결과

사. 붕괴 이력

초기점검 및 기 점검사항을 토대로 확인한 결과, 붕괴이력은 조사되지 않았다.

<표 2.6-18> 붕괴 이력 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
붕괴 이력	상태 양호	-	-	-	

아. 낙석

낙석은 암반사면에서 빈번히 발생되는 붕괴유형으로 사면내 관찰되는 이완암 및 뜬돌의 규모 등을 조사하는 항목이다. 이와 관련하여 사면 하단부 및 소단부에서 낙석 여부 조사 결과 낙석은 조사되지 않았다

<표 2.6-19> 낙석 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상원인	비 고
낙 석	없음	-	-	-	현장조사, 청문조사

자. 인장균열

인장균열 조사는 개략적인 붕괴 규모나 양상을 예측하기 위한 참고 자료로 활용되는 항목으로 본 비탈면에 대한 외관조사 결과, 사면 내·외부에서 인장균열은 조사되지 않는 상태이다.

<표 2.6-20> 인장균열 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상원인	비 고
인장균열	없음	-	-	-	현장조사

6.3.4 내구성능 조사

가. 토사구간의 지반상태

본 비탈면에는 전 구간에 걸쳐 암반으로 구성되어 있으며, 토양경도계를 측정할 수 없으므로 토사구간의 지반상태는 제외토록 하였다.

나. 암반구간의 지반상태

암반강도시험은 총 3개소에서 실시하였으며, 시험 결과에 따른 암종 분류 결과 경암~보통암인 것으로 판단된다.

<표 2.6-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(㎫)	암 판정 결과	비고
19.91K 2단	55.6	132.7	경암	
20.00K 2단	49.8	101.2	보통암	
20.00K 1단	50.8	106.0	보통암	
20.20K 1단	51.8	110.9	보통암	
검토의견	·슈미트해머에 의한 암반 강도 조사결과 반발경도 49.8~55.6의 평균치를 보이며 추정강도 101.2~110.9㎫로 경암~보통암으로 판정되어 암반의 강도는 양호한 상태이다.			

절리면 경사/경사방향 측정

암반 강도시험

다. 표면보호공

표면보호공은 사면의 안전성에는 직접적인 영향을 주지 않으나, 사면의 상태보호 및 유지에 영향을 미치는 요소이다. 식생의 경우는 전체 면적 대비 피복 면적의 비를 기준으로 분석하였으며, 숏크리트는 균열 및 박락 등의 손상을 기준으로 분석하였다.

관련 자료 분석 결과 표층보호를 위한 녹화공법은 사면 전 구간에 걸쳐 녹생토공법이 적용되었으며, 녹생토 부착망의 표층은 양호한 상태로 확인되었다.

낙석방지망은 시점부 비탈면 하면부터 1소단 배수로에 걸쳐 시공되어 있는 것으로 확인되었다. 와이어 및 망 등에는 파손, 이완 등에 의한 손상은 없으며, 인접부의 낙석도 없는 것으로 조사되었다.

<표 2.6-22> 표면보호공 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
표면 보호공	식생 및 표층	-	-	-	-	
	숏크리트	-	-	-	-	

삭생 양호

숏크리트 양호

라. 사면보강공

본 비탈면은 관련자료 분석 결과 식생 이외의 특별한 보강시설은 없는 것으로 조사되었으며, 현장조사시 확인한 결과 사면안정을 위한 특별한 보강시설은 확인되지 않았다.

<표 2.6-23> 사면보강공 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
사면 보강공	시설 없음	-	-	-	

6.4 안전성능평가

안전성능평가는 외관상 관찰되는 시설물의 결함을 평가하는 상태안전성능평가와 공학적인 안정성을 평가하는 구조안전성능으로 구분한다.

6.4.1 상태안전성능 평가

가. 시설물의 형식 및 안전성능지표

비탈면 분류는 현장조사 결과를 기초로 하여 관련 자료 분석을 통해 획득한 자료를 최대한 적용하였다. 그 결과 절토사면 높이에 대한 토층심도율이 0.00으로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 세부 분류는 절리암반비탈면으로 평가된다. 불연속면 특성시 1구간은 전구간 식생으로 확인이 불가능 하여 평가등급을 지정하지 않고 평가 하였다.

<표 2.6-24> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{1.8}{56}=0.032$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 132.7MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{56}=0.009$로 0.01이하	파쇄암반	

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
2구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{1.2}{56}=0.02$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 101.2~106.0MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{1.5}{56}=0.026$로 0.01초과	절리암반	

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
3구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{1.8}{56}=0.032$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 110.9MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.5}{56}=0.009$로 0.01이하	파쇄암반	

본 시설물은 사면 구성 재료의 특별한 변화가 없으며, 총연장이 590.0m로 사면 분할기준인 200.0m를 상회한다. 비탈면 구간 분할 기준에 의하여 동일 구간의 연장이 200m 이상일 경우로 하여 총 3개소로 분할하여 조사·평가하기로 한다.

<표 2.6-25> 비탈면 구간 분할

위치	비탈면 구간 분할 기준	시설물 현황		
		구성 재료	경사방향 변화	사면 연장
부산기점 STA.19+800 ~20+350	○사면 구성재료 변화 ○사면 경사방향 40°이상 변화 ○동일구간 연장 200.0m 이상	암반	없음 (직선형)	590.0m
구간 분할	○1구간 : 19.790~19.990K ○2구간 : 19.990~20.190K ○3구간 : 20.190~20.390K			

<표 2.6-26> 사면 형식별 상태안전성능지표

구 분	평가 요소		
	토사사면	암반사면	혼합사면
절토사면	○ 집수지형 ○ 지반변형 ○ 지하수 ○ 배수조건 ○ 사면상부 상태 ○ 붕괴이력	○ 집수지형 ○ 불안정지질 ○ 불연속면 특성 ○ 지반변형 ○ 지하수 ○ 배수조건 ○ 붕괴이력 ○ 낙석	○ 불안정지질 ○ 불연속면 특성 ○ 지반변형 ○ 지하수 ○ 배수조건 ○ 붕괴이력 ○ 낙석 ○ 사면상부 상태

나. 1구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 2.6-27> 집수지형 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가결과
사면 내·외 집수지형 개소 수	a	없음	계곡부 또는 집수지형 없음	1개소	b
	b	1개소	계곡부 또는 집수지형 1개소		
	c	2개소	계곡부 또는 집수지형 2개소		
	d	3개소	계곡부 또는 집수지형 3개소		
	e	4개소	계곡부 또는 집수지형 4개소 이상		

<표 2.6-28> 불안정 지질 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
규모 및 상태	a	없음	없음	파쇄암반사면 국지적 분포	c
	b	일부 분포 (견고)	불안정 지질이 일부 분포하고 있으나 견고한 상태		
	c	국지적 분포 (파쇄)	불안정 지질이 국지적으로 분포하고 있으며 파쇄가 심한 상태		
	d	전반적인 분포 (파쇄)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심한상태		
	e	전반적인 분포 (파쇄, 누수 등)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심하고 누수 및 유실물 등이 발생하고 있는 상태		

<표 2.6-29> 불연속면 특성 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = - / 6 = -	-
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 2.6-30> 불연속면 세부 상태 평가 결과(1구간)

평가항목	등급					현장조사 결과	평가 결과
	a	b	c	d	e		
점수	0	5	10	16	24		
①연장성	1.0m미만	1.0m이상 3.0m미만	3.0m이상 10.0m미만	10.0m이상 20.0m미만	20.0m이상	3.0~10.0m	-
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.0~0.1㎜	-
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거침	-
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	없음	-
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	보통풍화	-
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	0.06~0.2m	-

<표 2.6-31> 지반변형 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
포행, 단차, 배부름 등	a	변형 없음	지반변형이 없는 상태	지반변형 없음	a
	b	약간의 변형	일부 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	d	사면 전반에 걸친 변형	지반변형이 발생하여 붕괴위험은 있으나, 붕괴로 인해 사면하부 주 구조물에는 직접적인 영향이 없는 상태		
	e	사면 전반에 걸친 변형	평가대상 구간 전반에 변형이 발생하여 대규모 붕괴위험이 예상되며 붕괴발생으로 사면하부의 주구조물에 영향을 미칠 수 있는 상태		

<표 2.6-32> 지하수 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
누수 상태 및 위치	a	건조(dry)	지하수의 흐름이 관찰되지 않고 표면이 건조한 상태	건조한 상태	a
	b	젖음(wet) 사면하부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 하부에서 관찰되는 상태		
	c	젖음(wet) 사면상부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 상부에서 관찰되는 상태		
	d	흐름(flow) 사면하부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 하부에서 용출이 관찰되는 상태		
	e	흐름(flow) 사면상부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 상부에서 용출이 관찰되는 상태		

<표 2.6-33> 배수시설 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
배수 조건	a	완전배수	지표 및 지하배수구가 모두 적용되어 원활한 배수를 이루고 있는 상태 또는 사면이 건조한 상태로 배수시설의 적용이 필요하지 않은 상태	양호	b
	b	양호	배수시설이 노후 되었으나 배수기능이 원활한 상태		
	c	보통	배수시설이 노후 되고 일부 균열이 관찰되나, 배수기능이 원활한 상태		
	d	불량	배수시설이 노후 되고 균열 및 변형 등의 결함이 발생하여 배수기능이 불량한 상태		
	e	매우 불량	지표수 및 지하수로 인해 사면의 안전성능에 직접적인 영향을 미치며, 배수시설이 설치되어 있지 않거나 결함으로 인해 배수를 못하는 상태		

<표 2.6-34> 붕괴이력 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
붕괴이력	a	없음	없음	없음	a
	b	세굴 및 표층균열	사면의 표면 세굴 및 소규모 유실 등의 발생이력		
	c	표층파괴	표층유실 및 낙석, 암탈락 등 사면 표층 파괴 발생이력		
	d	심층파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 심층파괴 발생이력		
	e	대규모파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 파괴가 발생하여 사면하부 주구조물에 피해가 발생한 상태		

<표 2.6-35> 낙석 발생 규모 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 없음	a
	b	1.0㎥미만		
	c	1.0㎥이상, 6.0㎥미만		
	d	6.0㎥이상, 10.0㎥미만		
	e	10.0㎥이상		

<표 2.6-36> 예상 낙석에너지 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
예상 낙석 에너지	a	없음	$E_i = (1 - \frac{u}{\tan\theta}) \times (1+\beta) \times m \times g \times H = 0$ 여기서, □E_i = 낙석에너지(kJ), □Θ= 사면의 경사, u□= 낙석의 등가마찰계수(0.15) □ β = 회전에너지계수(0.1) m = 낙석의 중량(t), □버= 낙석의 높이(m) g = 중력가속도(9.8m/sec^2) (u, β는 상수, 각각 0.15, 0.1 적용) → 현장조사 결과 뜬돌 및 이완암이 조사되지 않음	a
	b	50kJ미만		
	c	50kJ이상 70kJ미만		
	d	70kJ이상 120kJ미만		
	e	120kJ이상		

<표 2.6-37> 사면의 상부 상태 평가 결과 (1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
상부 자연사면 경사	a	없음	평지 또는 역경사	상향 5°	b
	b	10°미만	상부자연사면으로부터 지표수가 유입될 수 있는 정도를 평가하기 위한 것으로 자연사면의 대표 경사로 평가		
	c	10°이상 20°미만			
	d	20°이상 30°미만			
	e	30°이상			

다. 1구간 인장균열 평가 결과

인장균열이 확인되는 경우 인장균열을 반영한 상태안전성능평가 결과를 선정하고 구조안전성능 평가결과 및 현장 상태에 따라 보강 대책방안을 검토해야 한다. 인장균열의 결함점수는 d, e 등급에 따른 각각의 평균값으로 산정한다.

<표 2.6-38> 인장균열 결함점수 산정 결과(1구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가 결과
인장균열	a	8	0.08	인장균열 없음	a
	d	65	0.65		
	e	88	0.88		

본 비탈면의 경우 인장균열이 없는 상태로서 성능별 등급 결과에 따른 상태안전성능평가 결과를 최종 상태평가 안전등급으로 산정하기로 한다.

라. 1구간 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 2.7-39> 상태안전성능 평가 결과 범위(1구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
$0 \le f < 0.15$	$0.15 \le f < 0.30$	$0.30 \le f < 0.55$	$0.55 \le f < 0.75$	$0.75 \le f$

<표 2.7-40> 암반사면의 평가항목별 등급에 따른 점수(1구간)

평가항목	등급에 따른 점수				
	a	b	c	d	e
① 집수지형	0	1	3	4	6
② 불안정 지질	0	3	6	10	15
③ 불연속면의 특성	0	1~5	6~10	11~16	17~24
④ 지반변형	0	2	4	6	9
⑤ 지하수	0	2	3	5	8
⑥ 배수조건	0	2	5	7	11
⑦ 붕괴이력	0	2	4	7	10
⑧ 낙석	0	4	7	11	17
결함지수 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 2.7-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명	부산기점 STA.19+800~20+350			
사면 종류	절토사면	구성재료	절리암반사면	
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	1	0	b
	사면 외	0		
불안정 지질		6	6	c
블연속면 특성		0	0	a
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			8	
결함지수		0.080		
상태안전성능평가 결과		**A**		

마. 2구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 2.6-42> 집수지형 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가결과
사면 내·외 집수지형 개소 수	a	없음	계곡부 또는 집수지형 없음	없음	a
	b	1개소	계곡부 또는 집수지형 1개소		
	c	2개소	계곡부 또는 집수지형 2개소		
	d	3개소	계곡부 또는 집수지형 3개소		
	e	4개소	계곡부 또는 집수지형 4개소 이상		

<표 2.6-43> 불안정 지질 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
규모 및 상태	a	없음	없음	절리암반사면 국지적 분포	c
	b	일부 분포 (견고)	불안정 지질이 일부 분포하고 있으나 견고한 상태		
	c	국지적 분포 (파쇄)	불안정 지질이 국지적으로 분포하고 있으며 파쇄가 심한 상태		
	d	전반적인 분포 (파쇄)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심한상태		
	e	전반적인 분포 (파쇄, 누수 등)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심하고 누수 및 유실물 등이 발생하고 있는 상태		

<표 2.6-44> 불연속면 특성 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = 50 / 6 = 8.3	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 2.6-45> 불연속면 세부 상태 평가 결과(2구간)

평가항목	등급					현장조사 결과	평가 결과
	a	b	c	d	e		
점수	0	5	10	16	24		
①연장성	1.0m미만	1.0m이상 3.0m미만	3.0m이상 10.0m미만	10.0m이상 20.0m미만	20.0m이상	3.0~10.0m	c (10)
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.0~0.1㎜	c (10)
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거침	c (10)
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	없음	b (5)
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	약한 풍화	c (10)
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	0.06~0.2m	b (5)

<표 2.6-46> 지반변형 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
포행, 단차, 배부름 등	a	변형 없음	지반변형이 없는 상태	지반변형 없음	a
	b	약간의 변형	일부 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	d	사면 전반에 걸친 변형	지반변형이 발생하여 붕괴위험은 있으나, 붕괴로 인해 사면하부 주 구조물에는 직접적인 영향이 없는 상태		
	e	사면 전반에 걸친 변형	평가대상 구간 전반에 변형이 발생하여 대규모 붕괴위험이 예상되며 붕괴발생으로 사면하부의 주구조물에 영향을 미칠 수 있는 상태		

<표 2.6-47> 지하수 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
누수 상태 및 위치	a	건조(dry)	지하수의 흐름이 관찰되지 않고 표면이 건조한 상태	건조한 상태	a
	b	젖음(wet) 사면하부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 하부에서 관찰되는 상태		
	c	젖음(wet) 사면상부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 상부에서 관찰되는 상태		
	d	흐름(flow) 사면하부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 하부에서 용출이 관찰되는 상태		
	e	흐름(flow) 사면상부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 상부에서 용출이 관찰되는 상태		

<표 2.6-48> 배수시설 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
배수 조건	a	완전배수	지표 및 지하배수구가 모두 적용되어 원활한 배수를 이루고 있는 상태 또는 사면이 건조한 상태로 배수시설의 적용이 필요하지 않은 상태	양호	b
	b	양호	배수시설이 노후 되었으나 배수기능이 원활한 상태		
	c	보통	배수시설이 노후 되고 일부 균열이 관찰되나, 배수기능이 원활한 상태		
	d	불량	배수시설이 노후 되고 균열 및 변형 등의 결함이 발생하여 배수기능이 불량한 상태		
	e	매우 불량	지표수 및 지하수로 인해 사면의 안전성능에 직접적인 영향을 미치며, 배수시설이 설치되어 있지 않거나 결함으로 인해 배수를 못하는 상태		

<표 2.6-49> 붕괴이력 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
붕괴이력	a	없음	없음	없음	a
	b	세굴 및 표층균열	사면의 표면 세굴 및 소규모 유실 등의 발생이력		
	c	표층파괴	표층유실 및 낙석, 암탈락 등 사면 표층 파괴 발생이력		
	d	심층파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 심층파괴 발생이력		
	e	대규모파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 파괴가 발생하여 사면하부 주구조물에 피해가 발생한 상태		

<표 2.6-50> 낙석 발생 규모 평가기준(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	2단 낙석방지망내 낙석퇴적	e
	b	1.0㎥미만		
	c	1.0㎥이상, 6.0㎥미만		
	d	6.0㎥이상, 10.0㎥미만		
	e	10.0㎥이상		

<표 2.6-51> 예상 낙석에너지 평가기준(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
예상 낙석 에너지	a	없음	$E_i = (1 - \frac{u}{\tan\theta}) \times (1+\beta) \times m \times g \times H = 0$ 여기서, □E_i = 낙석에너지(kJ), □Θ= 사면의 경사, u□= 낙석의 등가마찰계수(0.15) □ β = 회전에너지계수(0.1) m = 낙석의 중량(t), □H= 낙석의 높이(m) g = 중력가속도(9.8m/sec^2) (u, β는 상수, 각각 0.15, 0.1 적용) → 현장조사 결과 낙석방지망 내 뜬돌 및 이완암이 조사됨	c
	b	50kJ미만		
	c	50kJ이상 70kJ미만		
	d	70kJ이상 120kJ미만		
	e	120kJ이상		

<표 2.6-52> 사면의 상부 상태 평가 결과 (2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
상부 자연사면 경사	a	없음	평지 또는 역경사	상향 5°	b
	b	10°미만	상부자연사면으로부터 지표수가 유입 될 수 있는 정도를 평가하기 위한 것 으로 자연사면의 대표 경사로 평가		
	c	10°이상 20°미만			
	d	20°이상 30°미만			
	e	30°이상			

바. 2구간 인장균열 평가 결과

인장균열이 확인되는 경우 인장균열을 반영한 상태안전성능평가 결과를 선정하고 구조안전성능 평가결과 및 현장 상태에 따라 보강 대책방안을 검토해야 한다. 인장균열의 결함점수는 d, e 등급에 따른 각각의 평균값으로 산정한다.

<표 2.6-53> 인장균열 결함점수 산정 결과(2구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가 결과
인장균열	a	8	0.08	인장균열 없음	a
	d	65	0.65		
	e	88	0.88		

본 비탈면의 경우 인장균열이 없는 상태로서 성능별 등급 결과에 따른 상태안전성능평가 결과를 최종 상태평가 안전등급으로 산정하기로 한다.

사. 2구간 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 2.7-54> 상태안전성능 평가 결과 범위(2구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
$0 \le f < 0.15$	$0.15 \le f < 0.30$	$0.30 \le f < 0.55$	$0.55 \le f < 0.75$	$0.75 \le f$

<표 2.7-55> 암반사면의 평가항목별 등급에 따른 점수(2구간)

평가항목	등급에 따른 점수				
	a	b	c	d	e
① 집수지형	0	1	3	4	6
② 불안정 지질	0	3	6	10	15
③ 불연속면의 특성	0	1~5	6~10	11~16	17~24
④ 지반변형	0	2	4	6	9
⑤ 지하수	0	2	3	5	8
⑥ 배수조건	0	2	5	7	11
⑦ 붕괴이력	0	2	4	7	10
⑧ 낙석	0	4	7	11	17
결함지수 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 2.7-56> 상태안전성능평가 결과(2구간)

시설물명		부산기점 STA.19+800~20+350		
사면 종류	절토사면	구성재료	절리암반사면	
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	0	a
	사면 외	0		
불안정 지질		6	6	b
블연속면 특성		8.3	8.3	c
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	17	24	e
	예상 낙석 에너지	7		
총점			40.3	
결함지수		0.403		
상태안전성능평가 결과		C		

아. 3구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 2.6-57> 집수지형 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가결과
사면 내·외 집수지형 개소 수	a	없음	계곡부 또는 집수지형 없음	1개소	b
	b	1개소	계곡부 또는 집수지형 1개소		
	c	2개소	계곡부 또는 집수지형 2개소		
	d	3개소	계곡부 또는 집수지형 3개소		
	e	4개소	계곡부 또는 집수지형 4개소 이상		

<표 2.6-58> 불안정 지질 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
규모 및 상태	a	없음	없음	파쇄암반사면 일부 분포	b
	b	일부 분포 (견고)	불안정 지질이 일부 분포하고 있으나 견고한 상태		
	c	국지적 분포 (파쇄)	불안정 지질이 국지적으로 분포하고 있으며 파쇄가 심한 상태		
	d	전반적인 분포 (파쇄)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심한상태		
	e	전반적인 분포 (파쇄, 누수 등)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심하고 누수 및 유실물 등이 발생하고 있는 상태		

<표 2.6-59> 불연속면 특성 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = 50 / 6 = 8.3	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 2.6-60> 불연속면 세부 상태 평가 결과(3구간)

평가항목	등급					현장조사 결과	평가 결과
	a	b	c	d	e		
점수	0	5	10	16	24		
①연장성	1.0m미만	1.0m이상 3.0m미만	3.0m이상 10.0m미만	10.0m이상 20.0m미만	20.0m이상	3.0~10.0m	c (10)
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 6.0㎜미만	6.0㎜이상	0.0~0.1㎜	c (10)
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거침	c (10)
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	없음	b (5)
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	약한풍화	c (10)
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	0.06~0.2m	b (5)

<표 2.6-61> 지반변형 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
포행, 단차, 배부름 등	a	변형 없음	지반변형이 없는 상태	지반변형 없음	a
	b	약간의 변형	일부 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	d	사면 전반에 걸친 변형	지반변형이 발생하여 붕괴위험은 있으나, 붕괴로 인해 사면하부 주 구조물에는 직접적인 영향이 없는 상태		
	e	사면 전반에 걸친 변형	평가대상 구간 전반에 변형이 발생하여 대규모 붕괴위험이 예상되며 붕괴발생으로 사면하부의 주구조물에 영향을 미칠 수 있는 상태		

<표 2.6-62> 지하수 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
누수 상태 및 위치	a	건조(dry)	지하수의 흐름이 관찰되지 않고 표면이 건조한 상태	건조한 상태	a
	b	젖음(wet) 사면하부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 하부에서 관찰되는 상태		
	c	젖음(wet) 사면상부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 상부에서 관찰되는 상태		
	d	흐름(flow) 사면하부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 하부에서 용출이 관찰되는 상태		
	e	흐름(flow) 사면상부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 상부에서 용출이 관찰되는 상태		

<표 2.6-63> 배수시설 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
배수 조건	a	완전배수	지표 및 지하배수구가 모두 적용되어 원활한 배수를 이루고 있는 상태 또는 사면이 건조한 상태로 배수시설의 적용이 필요하지 않은 상태	양호	b
	b	양호	배수시설이 노후 되었으나 배수기능이 원활한 상태		
	c	보통	배수시설이 노후 되고 일부 균열이 관찰되나, 배수기능이 원활한 상태		
	d	불량	배수시설이 노후 되고 균열 및 변형 등의 결함이 발생하여 배수기능이 불량한 상태		
	e	매우 불량	지표수 및 지하수로 인해 사면의 안전성능에 직접적인 영향을 미치며, 배수시설이 설치되어 있지 않거나 결함으로 인해 배수를 못하는 상태		

<표 2.6-64> 붕괴이력 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
붕괴이력	a	없음	없음	없음	a
	b	세굴 및 표층균열	사면의 표면 세굴 및 소규모 유실 등의 발생이력		
	c	표층파괴	표층유실 및 낙석, 암탈락 등 사면 표층 파괴 발생이력		
	d	심층파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 심층파괴 발생이력		
	e	대규모파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 파괴가 발생하여 사면하부 주구조물에 피해가 발생한 상태		

<표 2.6-65> 낙석 발생 규모 평가기준(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 없음	a
	b	1.0㎥미만		
	c	1.0㎥이상, 6.0㎥미만		
	d	6.0㎥이상, 10.0㎥미만		
	e	10.0㎥이상		

<표 2.6-66> 예상 낙석에너지 평가기준(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
예상 낙석 에너지	a	없음	$E_i = (1 - \frac{u}{\tan\theta}) \times (1+\beta) \times m \times g \times H = 0$ 여기서, □E_i = 낙석에너지(kJ), □Θ= 사면의 경사, u□= 낙석의 등가마찰계수(0.15) □ β = 회전에너지계수(0.1) m = 낙석의 중량(t), □H= 낙석의 높이(m) g = 중력가속도(9.8m/sec^2) (u, β는 상수, 각각 0.15, 0.1 적용) → 현장조사 결과 뜬돌 및 이완암이 조사되지 않음	a
	b	50kJ미만		
	c	50kJ이상 70kJ미만		
	d	70kJ이상 120kJ미만		
	e	120kJ이상		

<표 2.6-67> 사면의 상부 상태 평가 결과 (3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
상부 자연사면 경사	a	없음	평지 또는 역경사	상향 5°	b
	b	10°미만	상부자연사면으로부터 지표수가 유입 될 수 있는 정도를 평가하기 위한 것 으로 자연사면의 대표 경사로 평가		
	c	10°이상 20°미만			
	d	20°이상 30°미만			
	e	30°이상			

자. 3구간 인장균열 평가 결과

인장균열이 확인되는 경우 인장균열을 반영한 상태안전성능평가 결과를 선정하고 구조안전성능 평가결과 및 현장 상태에 따라 보강 대책방안을 검토해야 한다. 인장균열의 결함점수는 d, e 등급에 따른 각각의 평균값으로 산정한다.

<표 2.6-68> 인장균열 결함점수 산정 결과(3구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가 결과
인장균열	a	8	0.08	인장균열 없음	a
	d	65	0.65		
	e	88	0.88		

본 비탈면의 경우 인장균열이 없는 상태로서 성능별 등급 결과에 따른 상태안전성능평가 결과를 최종 상태평가 안전등급으로 산정하기로 한다.

차. 3구간 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 2.7-69> 상태안전성능 평가 결과 범위(3구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
$0 \le f < 0.15$	$0.15 \le f < 0.30$	$0.30 \le f < 0.55$	$0.55 \le f < 0.75$	$0.75 \le f$

<표 2.7-70> 암반사면의 평가항목별 등급에 따른 점수(3구간)

평가항목	등급에 따른 점수				
	a	b	c	d	e
① 집수지형	0	1	3	4	6
② 불안정 지질	0	3	6	10	15
③ 불연속면의 특성	0	1~5	6~10	11~16	17~24
④ 지반변형	0	2	4	6	9
⑤ 지하수	0	2	3	5	8
⑥ 배수조건	0	2	5	7	11
⑦ 붕괴이력	0	2	4	7	10
⑧ 낙석	0	4	7	11	17
결함지수 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 2.7-71> 상태안전성능평가 결과(3구간)

시설물명		부산기점 STA.19+800~20+350		
사면 종류	절토사면	구성재료		절리암반사면
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	1	1	b
	사면 외	0		
불안정 지질		3	3	b
블연속면 특성		8.3	8.3	a
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			13.3	
결함지수		0.133		
상태안전성능평가 결과		**A**		

카. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 2.6-72> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
340.0m	1구간	19.790~19.990K	a(0.080)	C	인장균열 없음
	2구간	19.990~20.190K	C(0.403)		
	3구간	20.190~20.390K	a(0.133)		
	○구간별 평가 후 최소등급 선정 ○인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

6.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

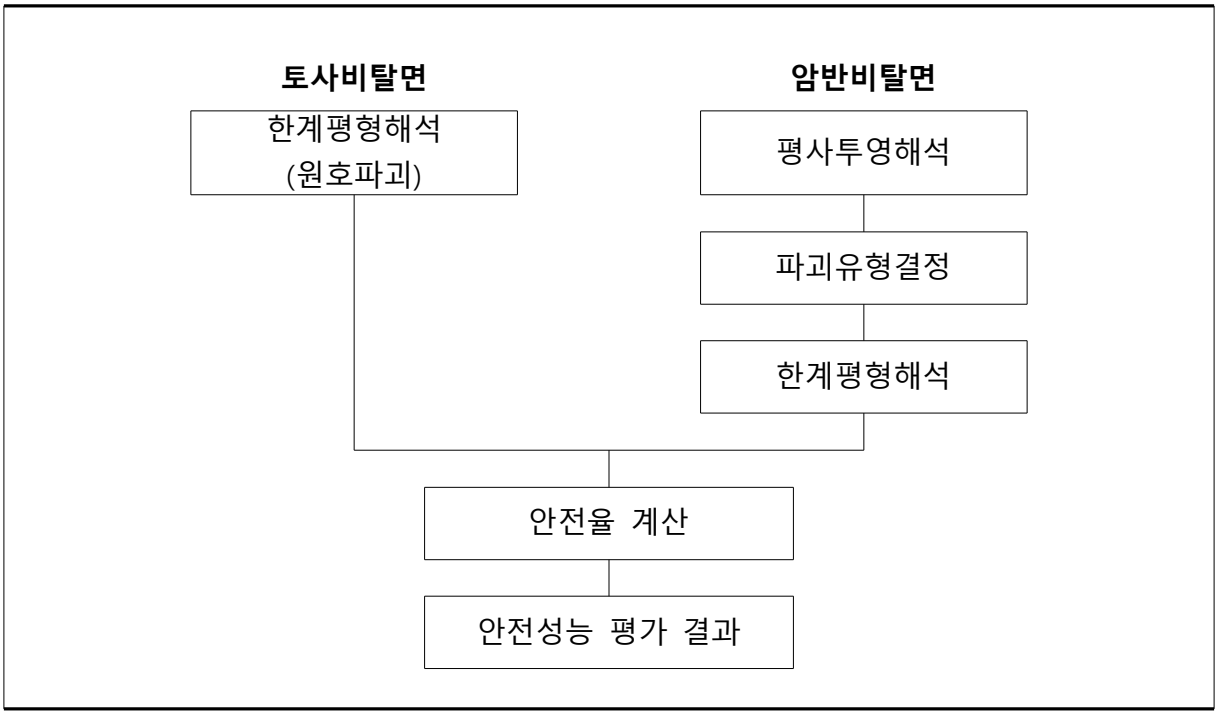
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

금회 성능평가에서는 설계 및 시공중 보강 관련 자료, 공용중 보강자료 등의 검토를 통해 구조안전성능평가에 필요한 항목을 검토하기로 한다. 또한, 이와 더불어 금회 성능평가 현장조사시 획득된 암반 절리 자료를 이용하여 평사투영해석을 시행하기로 한다.

나. 구조안전평가

1) 평가개요

비탈면의 안전성능 평가는 비탈면을 구성하는 지반의 구성물질 및 파괴거동에 따라 다양한 측면에서 검토되어야 한다. 토사비탈면과 토층은 일반적으로 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반비탈면은 평사투영해석을 실시하여 불연속면을 따른 암반의 파괴 가능성 및 파괴유형을 검토한 후 이에 부합하는 한계평형해석을 실시하여야 한다. 또한 암반비탈면의 경우라 할지라도 지반의 강도 특성이나 불연속면의 분포 특성 등에 따라 토사비탈면과 같은 연속적인 거동이 가능한 암반의 경우는 이와 별도로 원호파괴 가능성에 대한 검토가 이루어져야 한다.



<그림 2.6-2> 구조안전성능 평가과정

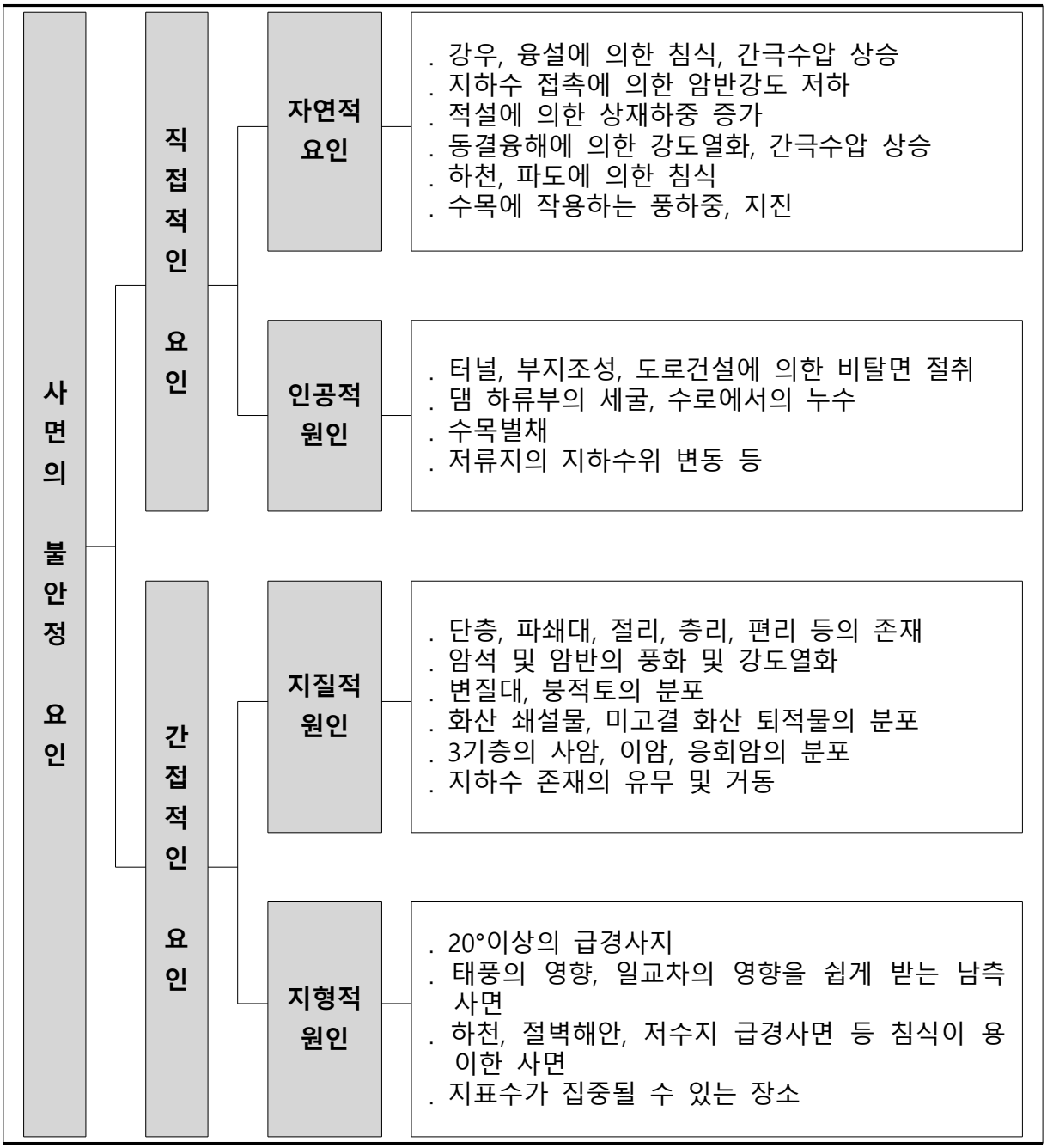
<표 2.6-73> 유형별 안정해석 범위

구 분	평사투영 해석	한계평형해석		비 고
		토 사	암 반	
토사비탈면	-	○	-	. 원호활동에 대한 한계평형 해석 실시
암반비탈면	○	△	○	. 평사투영해석결과 불안정시 파괴 유형에 따른 한계평형해석 수행 . 3m이상의 토층이 관찰되거나 풍화가 심하게 진행되어 원호활동이 예상되는 구간에 대해 평사투영해석결과와 별도로 원호파괴 해석을 실시
혼합비탈면	○	○	○	. 평사투영해석결과 불안정시 파괴 유형에 따른 한계평형해석 수행 . 평사투영해석결과와 별도로 토사구간에 대해 원호파괴해석 실시

ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득

ㅇ설계도면과 현재 제원 비교

2) 비탈면의 불안정 요인

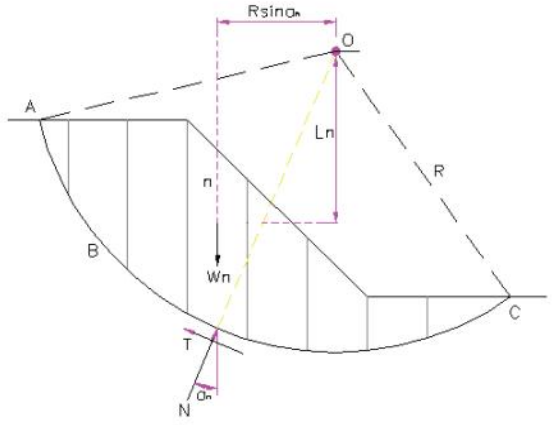


<그림 2.6-3> 구조안전성능 평가과정

3) 비탈면 안정해석 방법

① 한계평형법

한계평형 해석방법은 활동면을 따라 파괴가 일어나려는 순간에 토체의 안정성을 해석하려는 것이다. 문제를 단순화하기 위한 가정을 설정하고 이 방법을 사용하여 간단한 정역학적 이론으로 해를 얻으려 하는 것이다. 한계평형 해석법은 절성토 비탈면의 안정해석에 널리 사용되고 있으며 이 방법의 유용성과 신뢰성은 축적된 경험을 통하여 잘 알려져 있다. 한계평형 이론에 의한 비탈면안정 해석방법은 여러 가지가 있으며, 그 정확성은 강도정수와 비탈면의 기하학적 조건의 정확도 및 각 해석방법 고유의 정밀도에 따라 좌우된다. 한계평형 방법의 기본가정은 직선, 원호, 대수나선으로 가정된 파괴면을 따라 Coulomb의 파괴규준을 만족한다는 것으로 가능한 활동면을 따라 파괴가 일어나려는 순간에 토체의 안정성을 해석하는 것이다. 대표적인 해석방법으로는 ø=0 해석법, Fellenius 방법, Bishop 방법, Janbu 방법, Spencer 방법, Morgenstern & Price, 일반한계평형 방법(GLE) 등이 있다.



$$Fs = \frac{\sum_{n=1}^{n=p}(cb_n + W_n \tan\phi + \Delta T \tan\phi)\frac{1}{m}\alpha(n)}{\sum_{n=1}^{n=p}(\sin\alpha_n)}$$

$$m\alpha(n) = \cos\alpha \quad n + \frac{\tan\phi \cdot \sin\alpha_n}{F_S}$$

여기서

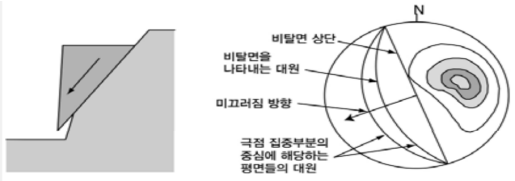
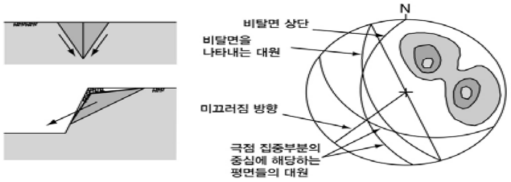
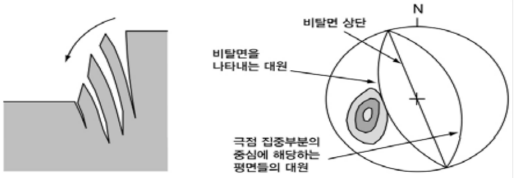
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 2.6-4> Bishop의 안전율 계산식

② 평사투영해석

평사투영법은 비탈면의 방향과 경사, 불연속면의 주향과 경사, 불연속면의 전단저항각을 고려하여 암반 비탈면의 안정성을 개략적으로 검토하는 방법이다. 암반비탈면에 발달하고 있는 불연속면의 방향에 따라 그 파괴형태가 다르게 나타난다. 일반적으로 암반비탈면의 파괴형태는 원형파괴(Circular Failure), 평면파괴(Planar Failure), 쐐기파괴(Wedge Failure) 및 전도파괴(Toppling Failure) 등이 있다.

<표 2.6-74> 비탈면 안정성 분석방법

구 분	파괴 모식도	분석방법
평면파괴		. 불연속면의 주절리가 한 방향으로 발달된 암반에서 발생가능
쐐기파괴		. 쐐기파괴는 두 개의 불연속면을 따라 발생하는 암반블록의 미끄러짐으로 인한 파괴형태
전도파괴		. 전도파괴으 발생조건은 절개면과 절리면의 경사방향이 반대이거나 절리면의 주향과 절개면의 주향이 비슷한 경우에 발생

4) 안전율 기준 - KDS 11 70 05 : 2016

<표 2.6-75> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

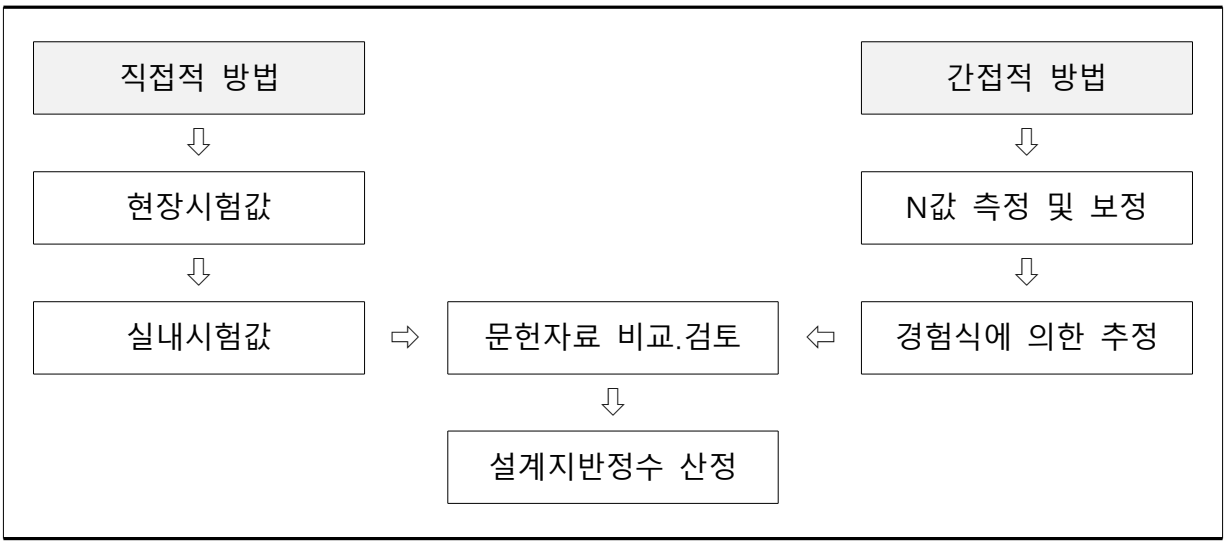
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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	. 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용시킴 . 실제측정 또는 평상시의 지하수위 적용

다. 지반정수 산정

1) 지반정수

대상지역의 지반-구조물의 상호작용에 따른 안정성을 평가하기 위해 현장조사결과를 토대로 경험식, 기존 적용사례 결과를 비교.분석하여 토사 및 암반의 지반정수를 적용하였다.

2) 지반정수 산정흐름



3) 토사/풍화암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 2.6-76> 지반조사편람(서울시, 1996)

지반명	단위중량 (kN/㎥)	점착력 c (MPa)	내부마찰각 (。)	변형계수 D(×10³kN/㎡)	포아송비
풍화토	17~20	0.00~0.01	25~30	20~40	0.5
풍화암	20~22	0.01~0.03	30~35	100~200	0.3~0.4
연 암	23~25	0.03~0.06	30~40	200~400	0.25~0.30
보통암	24~26	0.06~0.15	35~40	400~1,000	0.25
경 암	25~27	0.15~0.20	35~45	1,000~4,000	0.2

<표 2.6-77> 국도건설공사 설계실무요령(국토해양부, 2008)

종 류		재료의 상태		단위중량 (kN/㎥)	내부마찰각 ø(°)	점착력 c(MPa)	분류기호 (통일분류)
흙쌓기	자갈 및 자갈섞인모래	다진것		20	40	0.00	GW, GP
	모 래	다진것	입도가 좋은 것	20	35	0.00	SW, SP
			입도가 나쁜 것	19	30	0.00	
	사 질 토	다진것		18	25	0.03이하	SW, SC
	점 성 토	다진것		18	15	0.05이하	ML, CL MH, CH
자연지반	자 갈	밀실한 것, 입도가 좋은 것		20	40	0.00	GW, GP
		밀실치 않은 것, 입도가 나쁜 것		18	35	0.00	
	자갈섞인 모래	밀실한 것		18	40	0.00	GW, GP
		밀실치 않은 것		19	35	0.00	
	모 래	밀실한 것, 입도가 좋은 것		20	35	0.00	SW, SP
		밀실치 않은 것, 입도가 나쁜 것		18	30	0.00	
	사 질 토	밀실한 것		19	30	0.03이하	SM, SC
		밀실치 않은 것		17	25	0.00	
	점 성 토	굳은 것(손가갈으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=8~15)		18	25	0.05이하	ML, CL
		약간 무른 것(손가락 중간정도의 힘으로 들어감. N=4~8)		17	20	0.03이하	
		무른 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=2~4)		17	20	0.015이하	
	점토 및 실트	굳은 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=8~15)		17	20	0.05이하	CH, MH ML
		약간 무른 것(손가락 중간정도의 힘으로 들어감. N=4~8)		16	15	0.03이하	
		무른 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=2~4)		14	10	0.015이하	

<표 2.6-78> Geotechnical Engineering Investigation(Roy E. Hunt, 1987)

흙의 종류	다짐도	Dr,%	N	γ_{dry} (gf/㎤)	간극비 e	내부 마찰각(ø)
GW (입도분포가 좋은 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	90	2.21	0.22	40
	중간조밀	50	55	2.08	0.28	36
	느 슨	25	<28	1.97	0.36	32
GP (입도분포가 나쁜 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	70	2.04	0.33	38
	중간조밀	50	50	1.92	0.39	35
	느 슨	25	<20	1.83	0.47	32
SW (입도분포가 좋은 모래, 자갈질 모래)	조 밀	75	65	1.89	0.43	37
	중간조밀	50	35	1.79	0.49	34
	느슨	25	<15	1.70	0.57	30
SP (입도분포가 나쁜 모래, 자갈질 모래)	조밀	75	50	1.76	0.52	36
	중간조밀	50	30	1.67	0.60	33
	느슨	25	<10	1.59	0.65	29
SM (실트질 모래)	조밀	75	45	1.65	0.62	35
	중간조밀	50	25	1.55	0.74	32
	느슨	25	<8	1.49	0.80	29
ML (무기질 실트, 매우세립한 모래)	조밀	75	35	1.49	0.80	33
	중간조밀	50	20	1.41	0.90	31
	느슨	25	<4	1.35	1.00	27

◦ 경험식에 의한 방법

<표 2.6-79> 경험식에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

점착력 산정식		내부마찰력 산정식	
$\varnothing = 0$	$c = \frac{q_u}{2}$	Dunham	$\varnothing = \sqrt{12N} + 20$
Dunham	$q_u = \frac{N}{7.7}$	Peck	$\varnothing = 0.3N + 27$
Terzaghi-Peck	$q_u = \frac{N}{8}$	Ohsaki	$\varnothing = \sqrt{12N} + 15$
Ohsaki	$q_u = 4 + \frac{N}{2}$	도로교시방서	$\varnothing = \sqrt{15N} + 15$

◦ 기존 설계자료

<표 2.6-80> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각ø(°)	점착력c(MPa)	비고
기장~장안 국도건설공사	풍화(잔적)토	18	25	0.03	
	풍화암	21	30	0.05	
	연 암	25	32	0.10	
부산~울산간 고속도로 건설공사 (화전~좌동)	풍화(잔적)토	19	28	0.02	직접전단시험
	풍화암	20	30	0.03	
	연 암	24	30	0.10	
부산~울산간 고속도로 건설공사 (두현~굴화)	풍화(잔적)토	18	30	0.01	
	풍화암	20	30	0.05	
	연 암	23	35	0.01	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 2.6-81> Rock Slope Engineering(E. Hoek & J.W.Bary)

암 종	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각(°)	점착력(kN/㎡)
화 성 암 (화강암, 현무암 등)	25~30	35~45	35,000~55,000
변 성 암 (규암, 편마암, 슬레이트)	25~28	30~40	20,000~40,000
견고한 퇴적암 (석회암, 백운암, 사암)	23~28	35~45	10,000~30,000
연약한 퇴적암 (사암, 석탄, 백악, 셰일)	17~23	25~35	1,000~20,000

<표 2.6-82> 국내 암석의 실내시험 결과(지반공학회지)

암종	화강암	편마암	사암	세일	석회암	응회암
단위중량 (kN/㎥)	26.1±0.5	26.3~27.7	26.7±0.8	27.3±1.0	27.3±1.0	24.3~25.6
점착력 (kN/㎡)	13,500 ~25,000	-	15,000 ~40,000	10,000 ~25,000	15,000 ~34,000	4,000 ~15,000
내부마찰각 (°)	51~65	-	35~54	18~29	35~50	35~45

주)시료수 : 화강암(162~2,123), 편마암(117), 사암(494), 셰일(354), 석회암(150), 응회암(33)

<표 2.6-83> 암반의 전단강도 지수(한국도로공사, 도로설계실무편람)

암석종류 (강 도)	암 반 파 쇄 상 태		굴 착 난 이 도	암반의전단강도지수	
	NX 시 추 시 (Double Core Barrel 사용시)				
	T.C.R (%)	R.Q.D (%)		ϕ (°)	C (kN/㎡)
강한 풍화암으로서 파쇄가 거의 없는 경우와 대부분의 연.경암	20~30%	10~25%	발파암반 (연암)	33	130
	40~50%	25~35%	발파암반 (보통암)	35	150
	70% 이상	40~50%	발파암반 (경암)	40	200

◦ 경험식에 의한 방법

<표 2.6-84> Bieniawski(1989)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	-0.051 + 0.008RMR - 3.346×10-5RMR²(MPa)
마찰각(∅)	-0.086 + 0.7891RMR - 0.0031RMR²(degree)

<표 2.6-85> Trueman (1988)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	0.25exp(0.05RMR) (Mpa)
마찰각(∅)	0.5RMR + 5 (degree)

<표 2.6-86> 김교원 (1993)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	0.02exp(0.08RMR*) (Mpa)
마찰각(∅)	0.25(RMR*) + 27.5 (degree)

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 적용 지반정수 요약

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 MPa	프와송비	비 고
풍화토	18	28	0.02	0.3	
풍화암	20	30	0.03	0.3	
연 암	24	32	0.10	0.3	

6) 지반의 불포화 특성

실제 지반은 포화상태보다는 대부분 일정비율의 공기를 함유하고 있는 불포화상태이기 때문에 현실적인 해석결과를 검토하기 위해서는 불포화 특성이 고려된 비정상류 검토를 실시해야 한다. 다만 시험방법이 복잡하고 널리 알려지지 않아 수행에 다소의 어려움이 있어 현장여건을 최대한 반영하기 위해 관련 문헌자료를 이용하여 산정하였다. 불포화 특성은 지반의 불포화영역에서 음의 간극수압 크기에 따라 투수계수 및 함수비(포화도) 변화를 정의하는 것으로 압력수두(음의간극수압)에 따른 투수함수와 함수비함수를 직접정의(개별고려)하는 방법과 압력수두-체적함수비(포화도)-투수계수비의 관계를 정의(동시고려)하는 방법이 있다.

① 개별고려

불포화토 실험자료를 바탕으로 각각 제공되는 함수종류에 따라 Curve Fitting을 통하여 계수를 정의한다.

② 동시고려

JICE(일본국토기술연구센터, 2007)기준에 따라 불포화토 특성재료의 자료를 설정 가능하다. 지반종류별 제공된 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수는 다음과 같다.

<표 2.6-87> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비

구 분	압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비	
	체적함수율-압력수두	체적함수율-투수계수비
역질토	[G], [G-F], [GF]	[G], [G-F], [GF]
사질토	[S], [S-F], [SF]	[S], [S-F], [SF]
점성토	[M], [C]	[M], [C]

7) 수리정수 산정

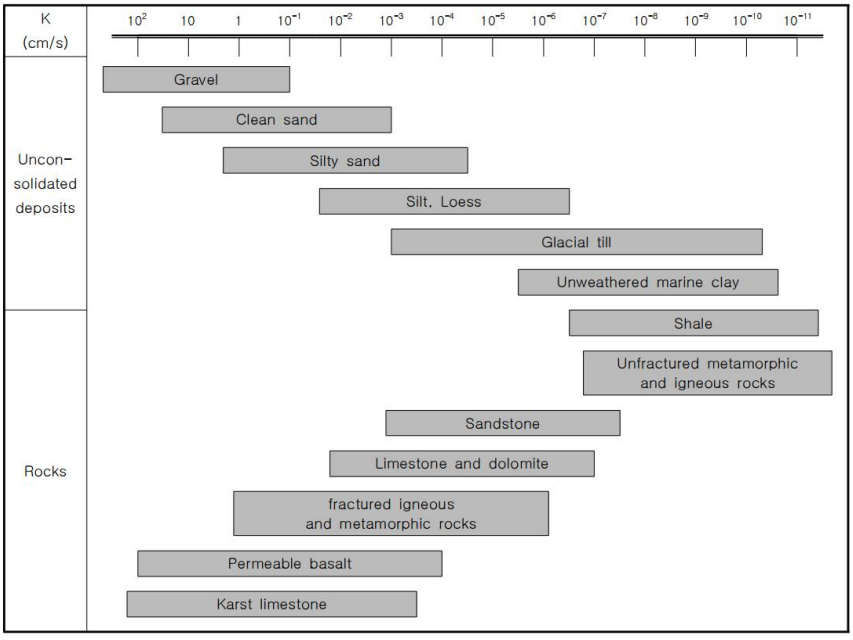
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 2.6-88> 대표적 투수계수

구 분		김 상 규(㎝/sec)	Braja M. Das(㎝/sec)
매립층	모래	1.0E-03~1.0	1.0E-03~1.0
	자갈, 사석	1.0E-02~1.0	1.0E-02~1.0
퇴적층	점성토	1.0E-08~1.0E-03	1.0E-06이하
	모래	1.0E-03~1.0	1.0E-03~1.0
풍화토		1.0E-06~1.0E-02	-

<표 2.6-89> 흙의 종류에 따른 일반적 투수계수(Rartick Power,1992)

흙의 종류	투수계수(㎝/sec)	흙의 종류
자갈(GP)	1.0 이상	양호한 모래(SW)
균등한 자갈(GP)	2.0E-01~1.0	실트질 모래(SM)
양호한 자갈(GW)	3.0E-02~5.0E-02	점토질 모래(SC)
균등한 모래(SP)	5.0E-03~2.0	실트(ML)



<그림 2.6-5> 퇴적물 및 암종별 투수계수(Freeze & Cherry, 1979)

라. 적용 강우강도

1) 강우강도

대상 비탈면에 적용된 강우강도는 한국확률강우량도의 지역별 확률강우량을 적용한다. 관측소가 없는 지역은 최인접 관측소의 확률강우량을 사용하되, 계획대상지점의 확률강우량을 이용하여 강우강도-지속시간-발생빈도 곡선(I.D.F 곡선, Intensity-Duration-Frequency)을 작성하여 최인접 관측소의 확률강우량과 비교 후 큰 값을 적용한다.

2) 설계강우빈도

① 도로배수시설 설계기준 KDS 44 40 00 : 2016

국가건설기준에 따른 도로배수시설의 설계빈도는 위험도・경제성 등을 고려하여 정하며, 구조물별 설계빈도의 적용은 다음 표와 같다.

<표 2.6-90> 도로배수시설 설계빈도

구분	설계빈도	적용위치 및 적용 방법
본선 횡단암거 및 배수관 (도시지역, 산지부)	30년 (50년) 50년 이상	. 일반구간 . 도심지, 도시계획구간 . 국지성 집중호우가 빈번히 발생하는 경우로 조사된 경우
노면 및 흙쌓기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	. 길어깨 및 중분대 등 노면 배수시설 . 흙쌓기부 도수로, 땅깎기흙쌓기경계부 측구 등
측도 및 도로 인접지 배수시설 땅깎기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	. 산마루 측구, 땅깎기부 도수로, 소단 측구 . 흙쌓기 비탈끝 배수시설, 수로이설
집수정 등 배수구조물 간 접속부	접속하는 시설물 중 빈도가 큰 값 적용	

② 비탈면배수시설 설계기준 KDS 11 70 25 : 2016

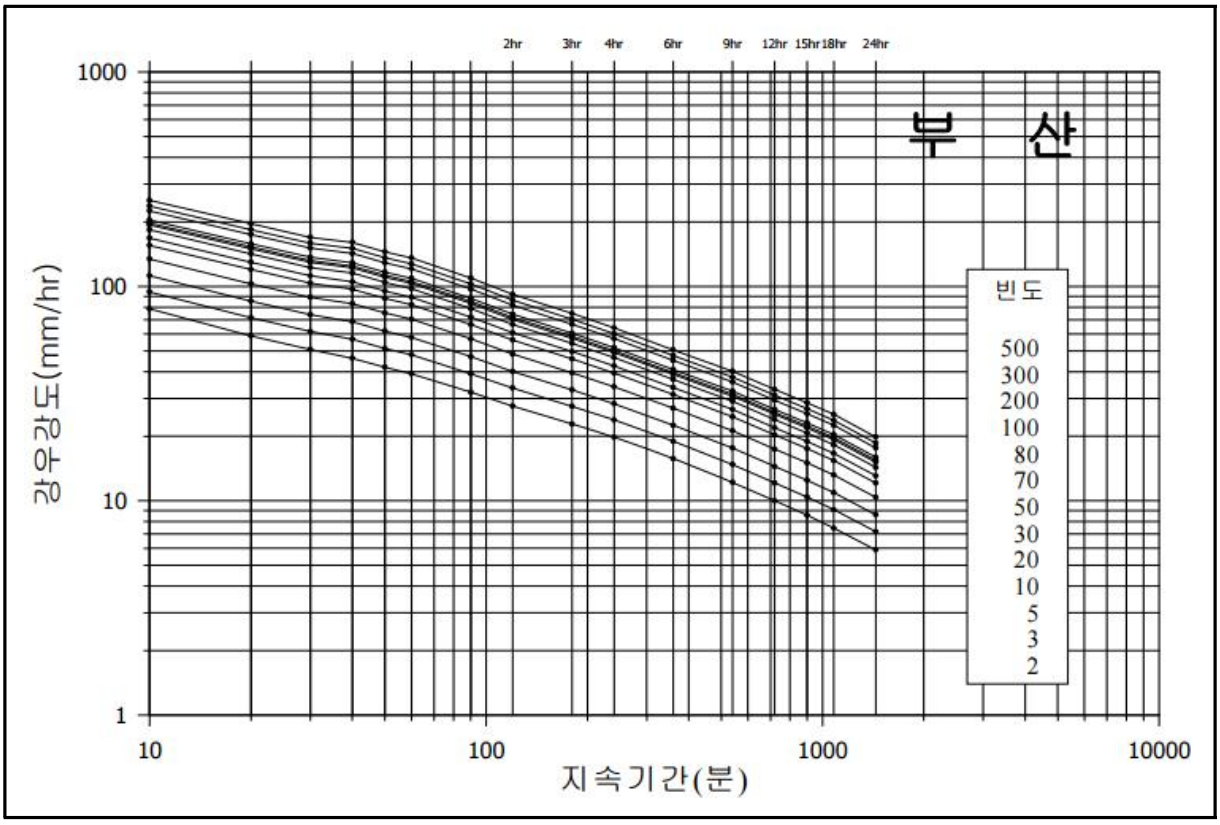
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

③ 적용 강우빈도

대상 비탈면에 적용할 강우빈도는 적용하기 위해 도로배수시설 및 비탈면배수시설의 설계기준을 참조하였으며 일반적으로 비탈면 배수시설에 적용하는 설계빈도는 20년 내외로 검토되었다. 다만 대상 비탈면의 중요도를 고려하여 적용할 강우 재현기간을 100년으로 선정하였다. 강우지속시간은 24시간을 기준으로 사용하였다.

2) 확률강우량 및 IDF곡선

① 부산지역



<그림 2.6-6> 부산지역 IDE곡선

재현기간(년) / 강우지속시간(hr)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	200	300
1	66.80	77.12	82.90	86.89	89.93	92.37	94.40	96.15	97.67	99.03	107.66	112.52
24	12.21	14.88	16.43	17.52	18.36	19.04	19.62	20.12	20.56	20.95	23.52	25.00
48	8.19	10.09	11.19	11.97	12.57	13.06	13.48	13.83	14.15	14.43	16.28	17.35

확률강우강도(㎜/hr)

<그림 2.6-7> 부산지역 확률강우강도

마. 지진시 비탈면 안정해석

1) 비탈면의 내진등급 및 성능목표

비탈면의 내진등급은 상위개념 내진설계기준을 준용하여 비탈면이 속해있는 주 구조물의 내진등급에 따라 Ⅰ등급, Ⅱ등급으로 구분하며 다음 원칙에 따라 결정한다. 비탈면의 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치지는 않으나 기능성 혹은 운영상에 일시적인 영향을 미치는 경우에는 주구조물 보다 한등급 아래의 내진등급을 적용한다. 또한 비탈면의 내진성능수준은 붕괴방지수준(비탈면 설계기준, 2011)으로 이는 비탈면에 인장균열, 부분적 탈락, 배부름 등의 파괴징조는 나타나지만 이로 인해 주구조물의 구조적 성능과 기능적인 역할에 피해를 유발시키지 않는 성능수준이다. 따라서 대상시설물은 주구조물이 고속도로인 내진Ⅰ등급에 해당되며 비탈면 붕괴가 발생할 경우 주구조물의 기능성 혹은 운영상에 일시적인 영향을 받으므로 주구조물과 같은 등급인 내진Ⅰ등급으로 선정하였다.

구조물분류	등급구분	적용대상
도로교	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별한 교량 (장대교량)
	내진Ⅰ등급	• 고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도상의 교량 • 지방도, 시도, 군도 중 방재계획상 필요한 도로에 건설된 교량 • 내진Ⅰ등급교가 건설되는 도로 위를 지나가는 고가교량
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 교량
고속철도	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별히 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	교량, 고가역사, 지하터널역사, 터널, 전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	이외의 구조물
공항구조물	내진특등급	관제탑, 구조 및 소방시설
	내진Ⅰ등급	교량, 지하구조물, 비행장시설, 도로, 건축물 등
	내진Ⅱ등급	하수도, 화물창고, 화물터미널
항만구조물	내진Ⅰ등급	항구의 입지적, 전략적 요건에 의해 주관적으로 분류
	내진Ⅱ등급	안벽, 제방 등 Ⅰ등급으로 할 필요가 없는 구조물
지중구조물	내진특등급	• 특별한 안전이 요구되는 시설 • 긴급구조, 국방 및 치안유지에 필요한 구조물
	내진Ⅰ등급	사회적 혼란이 야기되고 많은 인명, 재산피해를 주는 구조물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 일반적인 구조물
댐	내진특등급	중규모이상으로서 파괴시 하류에 중규모이상의 피해가 야기되는 댐
	내진Ⅰ등급	소규모로서 파괴시 하류에 낮은 수준의 피해가 야기되는 댐
터널	내진특등급	• 긴급구조, 구호, 국방 및 치안유지에 필요한 터널 • 내진특등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅰ등급	내진1등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅱ등급	그 외의 일반적인 터널
도로	내진Ⅰ등급	고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도
	내진Ⅱ등급	지방도, 시도, 군도
철도구조물	내진특등급	내진Ⅰ등급구조물중 복구난이도가 높고 경제사회적으로 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	국방, 치안유지 및 국가산업 활동에 중요역할을 하는 철도선상이나 도시지하철상의 교량,고가역사,지하철터널역사,터널,전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 구조물
건축물	내진특등급	방송국, 유독폭발성물질을 다량보관하는 구조물
	내진Ⅰ등급	소방서, 경찰서, 종합병원, 통신시설, 발전소, 바닥면적이 5000㎡이상인 집회시설, 바닥면적 10000㎡이상인 판매시설, 내진특등급 구조물을 지원하기 위해 필요한 시설물, 교육용건물, 교도소 및 구금시설, 6층 이상의 아파트나 숙박시설, 공공건물중 지진전후로 가동되어야 하는 건축물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 건축물

<그림 2.6-8> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 2.6-91> 설계지반운동 수준

구 분	특등급	Ⅰ등급	Ⅱ등급
붕괴방지수준	평균재현주기 2400년	평균재현주기 1000년	평균재현주기 500년
	-	해당	-

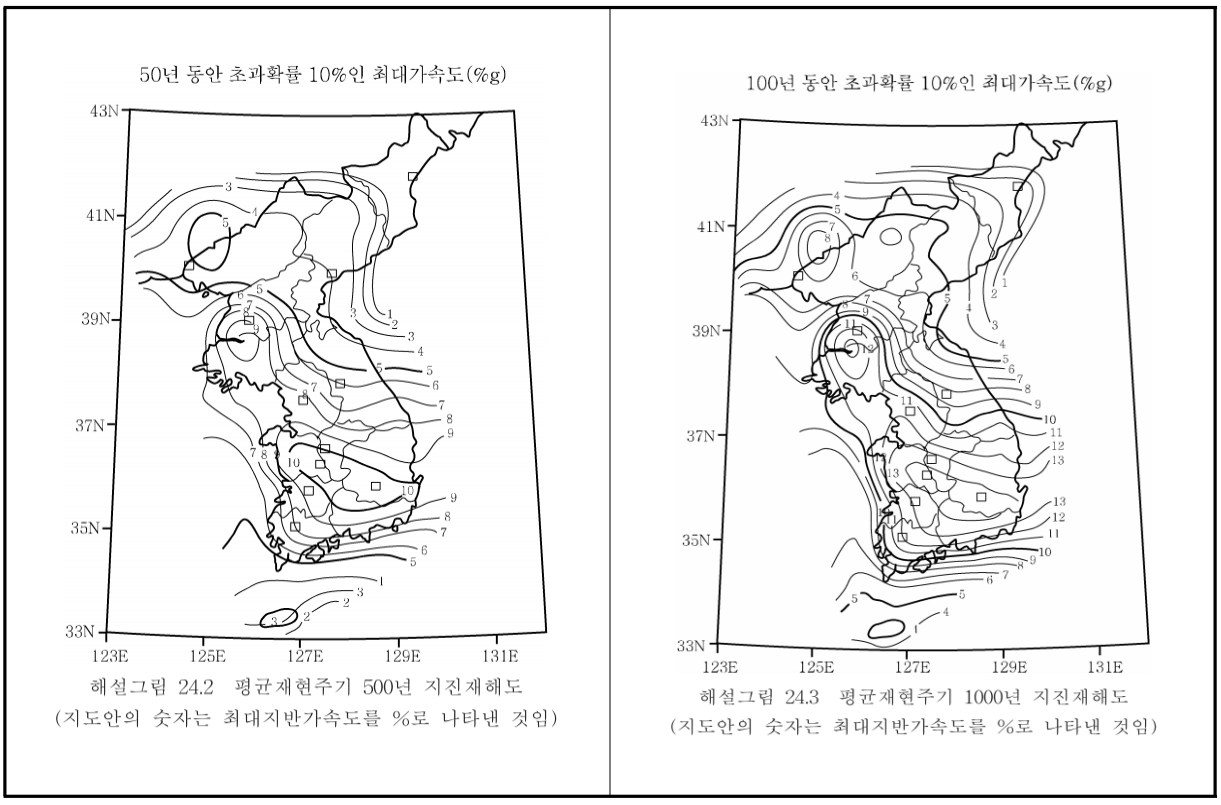
2) 설계지반운동

① 지반가속도계수

지반가속도계수는 지표면 자유장 최대가속도로 해당 지역의 보통암 암반노두를 기준으로 평가하며 지표면에서의 지반가속도계수는 국지적인 토질조건, 지질조건과 지표 및 지하지형이 지반운동에 미치는 영향을 고려해야 한다. 다만 깍기비탈면의 경우 보통암 상태의 노두가 노출되는 경우는 지진재해도 및 지진구역도에서 제시하는 지반가속도계수를 직접적으로 이용할 수 있다.

② 지진재해도를 이용한 지반가속도계수의 산정

지진의 평균 재현주기별로 작성된 지진재해도를 활용하여 비탈면의 내진등급에 따른 지반가속도계수를 산정한다.



해설그림 24.2 평균재현주기 500년 지진재해도
(지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

해설그림 24.3 평균재현주기 1000년 지진재해도
(지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

<그림 2.6-9> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

비탈면이 위치한 지역의 지진구역계수와 내진등급별 재현주기에 따른 위험도계수의 곱으로 지반가속도계수를 산정한다.

<표 2.6-92> 지진구역 구분 및 지진구역계수(재현주기 500년)

지진구역	행정구역		지진구역계수(g)
Ⅰ	시	. 서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시	0.11
	도	. 경기도, 강원도 남부(1), 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 북동부(2)	
Ⅱ	도	. 강원도 북부(3), 전라남도 남서부(4), 제주도	0.07

(1) 강원도 남부(군, 시) : 영월, 정선, 삼척시, 강릉시, 동해시, 원주시, 태백시

(2) 전라남도 북동부(군, 시) : 장성, 담양, 곡성, 구례, 장흥, 보성, 화순, 광양시, 나주시, 여수시, 순천시

(3) 강원도 북부(군, 시) : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천시, 속초시

(4) 전라남도 남서부(군, 시) : 무안, 신안, 완도, 영광, 진도 ,해남, 영암, 강진, 고흥, 함평, 목포시

<표 2.6-93> 지진구역 구분 및 지진구역계수(재현주기 1000년)

재현주기	50년	100년	200년	500년	1000년	2400년
위험도계수	0.4	0.57	0.73	1.00	1.40	2.0

지진구역계수는 각 지진구역별로 평균재현주기 1000년을 기준으로 결정되었으므로 위험도 계수를 이용하여 다른 재현주기에서의 구역별 최대 유효지반가속도를 결정한다.

지역별 최대 유효지반 가속도, g값 = 지진구역계수 × 위험도 계수

3) 지진가속도계수 선정

대상 비탈면의 주구조물은 고속도로로서 비탈면 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치므로 내진등급1등급으로 평가된다. 따라서 지진구역은 I구역으로 재현주기에 따른 위험도계수를 고려한 결과 지진가속도계수는 0.154g이다. 이는 수평방향의 성분으로서 수직방향의 성분의 지진계수는 수평방향의 2/3을 적용한다.(구조동역학(2005) 김두기 : 2/3, 일본기준 : 1/2로 제안)

마. 비탈면 검토구간 및 현황

<표 2.6-94> 검토대상 비탈면구간 및 현황

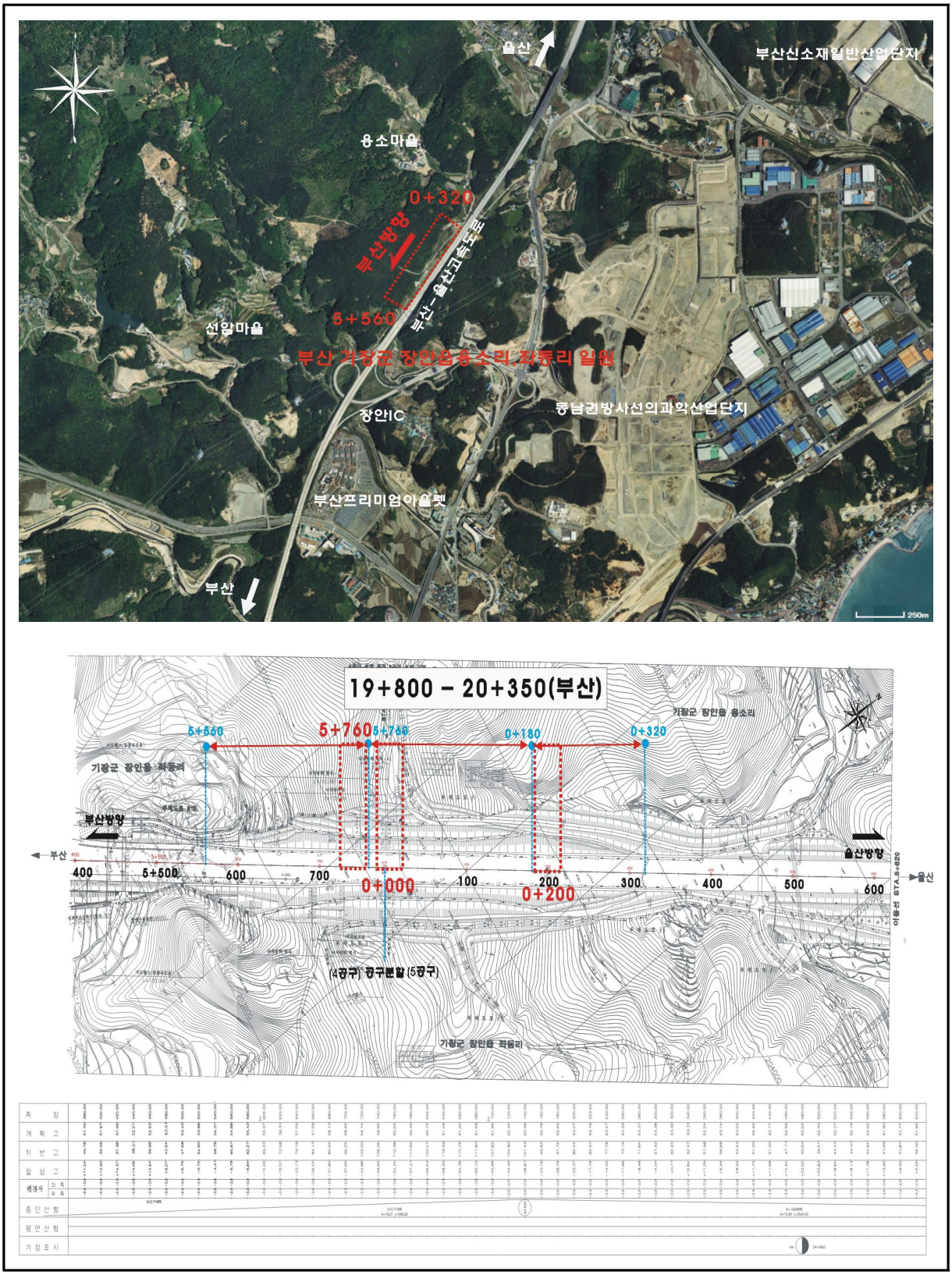
구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
STA.19+800~20+350 (부산)	부산광역시 기장군 장안읍 용소리	19.80 ~	STA.5+760	49.9	10.2	39.7	-	2008	63/130
			STA.0+000	56.6	11.2	45.4	-	2008	63/130
			STA.0+200	22.7	10.6	12.1	-	2008	63/130

※ 부산기점 STA.을 설계도면에서 표시된 공구별 STA.으로 분할하여 표시, 검토 표시하였음

<그림 2.6-10> 부산.울산선 검토대상 비탈면구간

사. STA.19+800~20+350(부산) 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



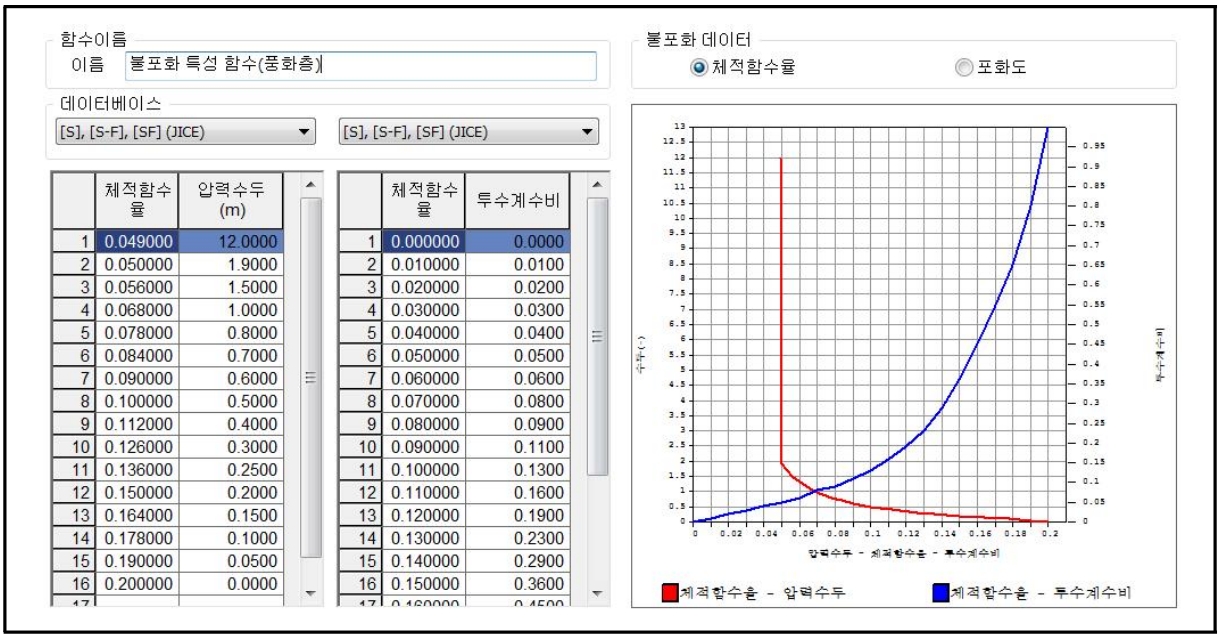
<그림 2.6-11> 부산.울산선 검토대상 비탈면구간

2) 적용 지반정수

지반 정수값은 대상시설물의 실시설계 지반조사보고서 및 주변에서 실시한 지반보고서를 비교, 분석하여 현장 시험값을 기초로 일반적 안전측으로 적용하였다. 투수계수는 문헌자료를 검토하여 일반적인 값을 적용하였다.

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 MPa	투수계수 ㎝/sec	비 고
풍화토	18	28	0.02	1.0E-03	
풍화암	20	30	0.03	1.0E-04	
연암	24	32	0.10	1.0E-05	

지반의 불포화토 특성은 JICE(일본국토기술연구센터, 2007)기준을 적용하였으며 대상지역의 풍화토 및 풍화암의 주된 성분이 실트질 모래 또는 모래섞인 실트로 JICE 기준의 사질토로 구분하여 적용하였다.



	체적함수율	압력수두 (m)
1	0.049000	12.0000
2	0.050000	1.9000
3	0.056000	1.5000
4	0.068000	1.0000
5	0.078000	0.8000
6	0.084000	0.7000
7	0.090000	0.6000
8	0.100000	0.5000
9	0.112000	0.4000
10	0.126000	0.3000
11	0.136000	0.2500
12	0.150000	0.2000
13	0.164000	0.1500
14	0.178000	0.1000
15	0.190000	0.0500
16	0.200000	0.0000

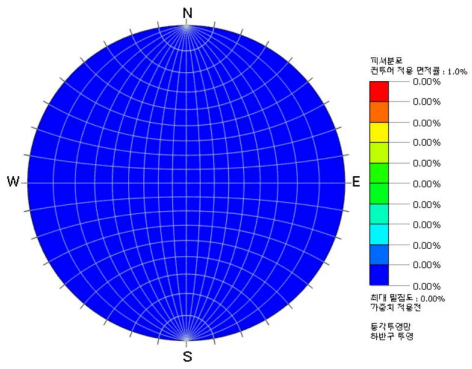
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 2.6-12> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

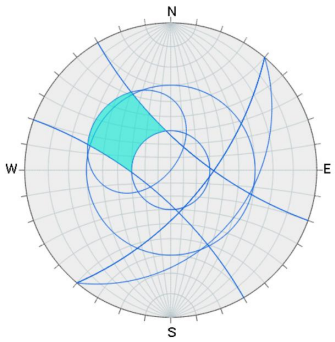
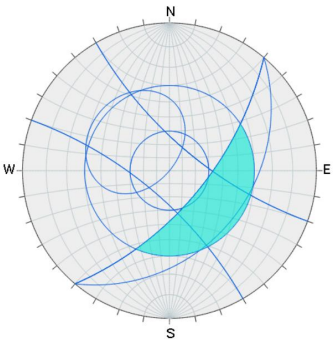
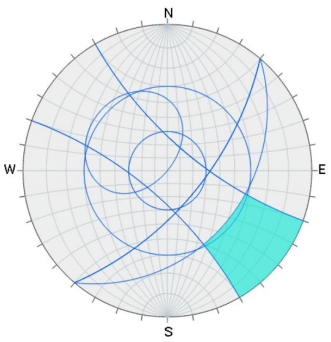
3) 1구간 (STA.5+760, 부산)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과	
평사 투영도		dip dip direction 녹화공법 적용으로 노출된 노두없음(측정불가)

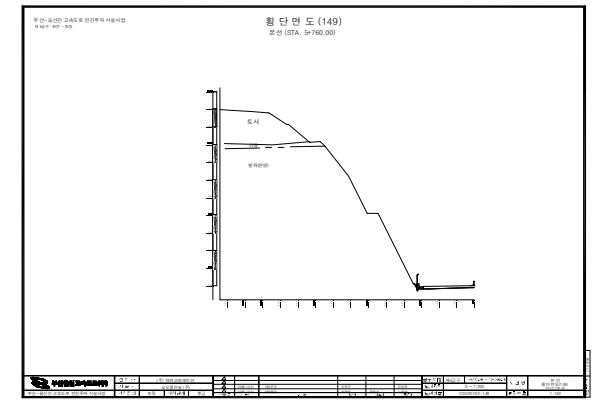
◦ 해석결과

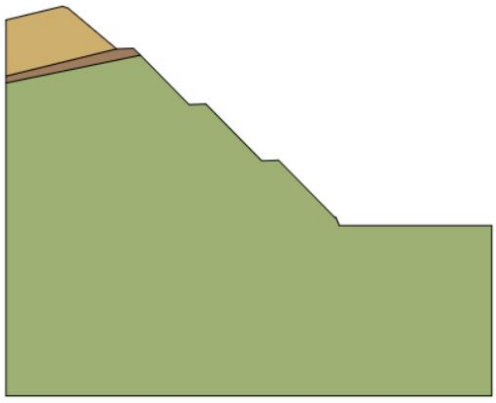
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◎ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◎ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◎ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

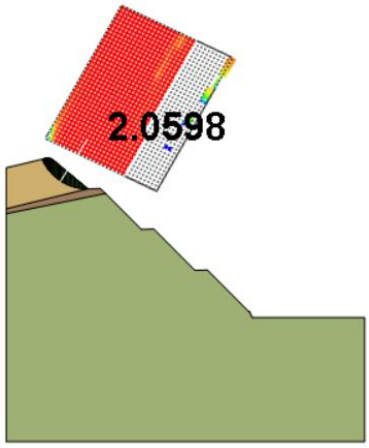
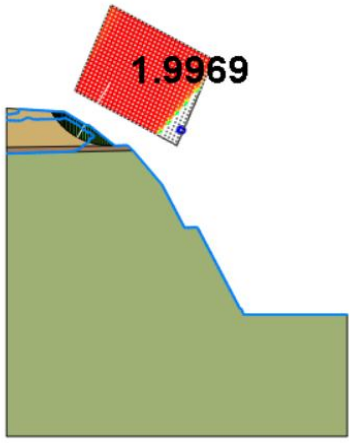
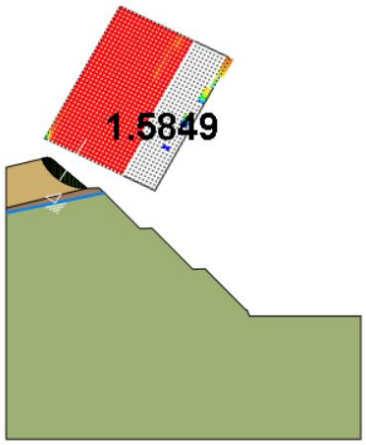
◦ 검토단면





대표단면 :STA.5+760, 부산

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.05	안전율 : 1.99	안전율 : 1.58

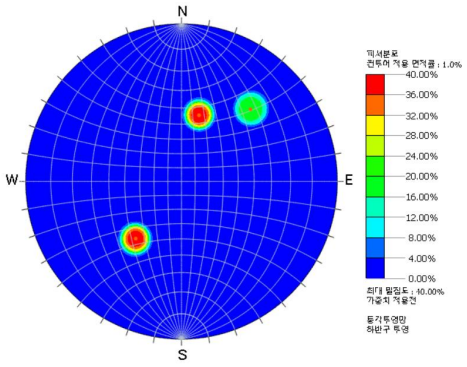
③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	우기시는 침투조건고려
	우기시	Fs ≥ 1.3 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

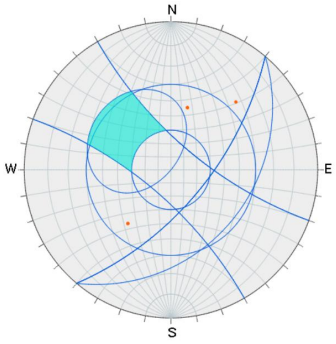
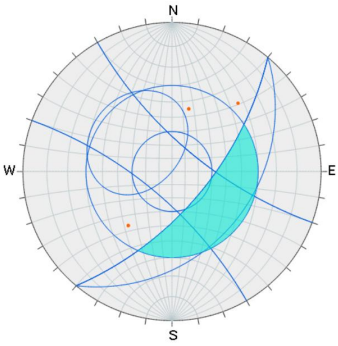
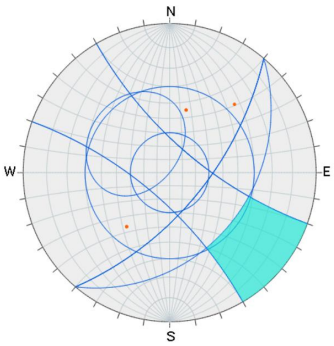
4) 2구간 (STA.0+000, 부산)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		50	39
		65	224
		47	195
		50	39
		50	39
		50	39
		47	195
		65	224
		65	224

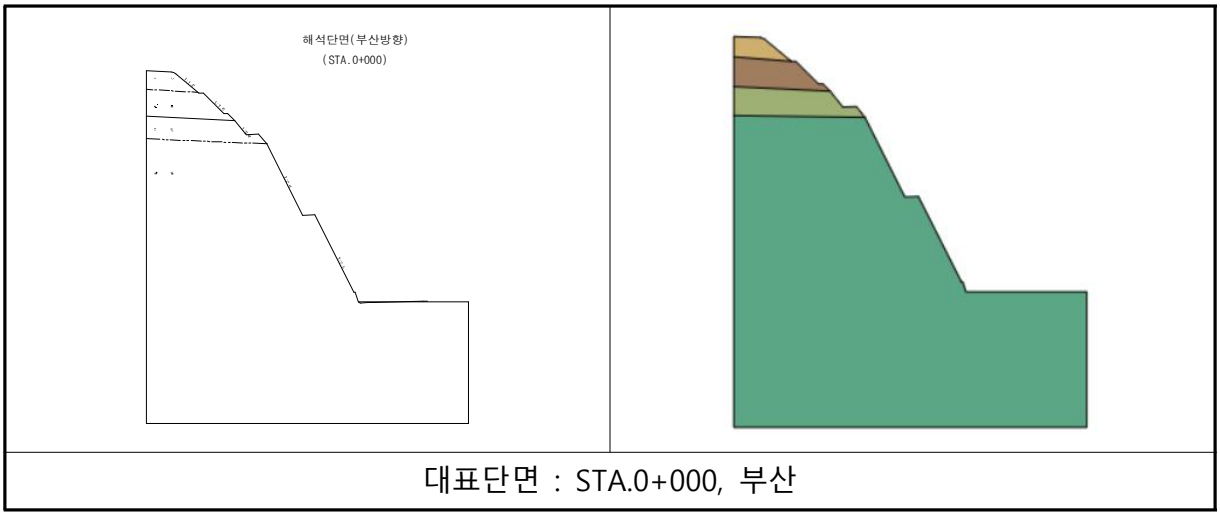
◦ 해석결과

평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	일부 가능성	가능성
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

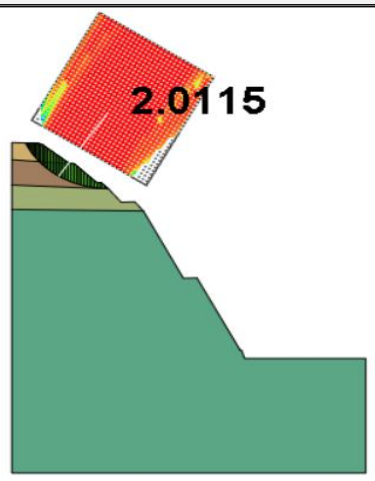
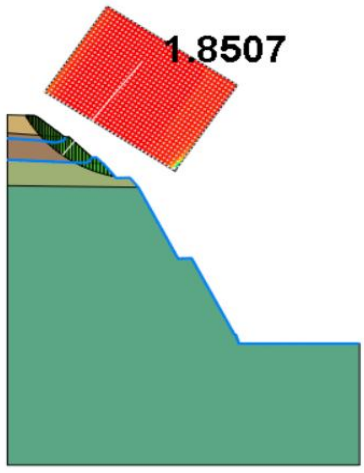
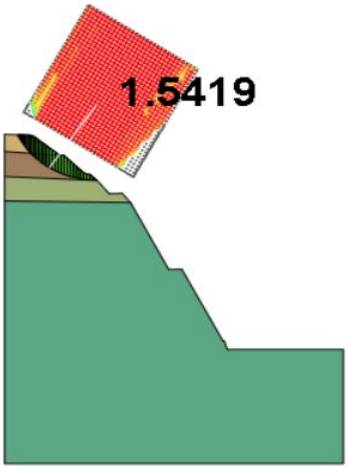
② 토사깍기비탈면 안정성검토

◦ 검토단면



대표단면 : STA.0+000, 부산

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.01	안전율 : 1.85	안전율 : 1.54

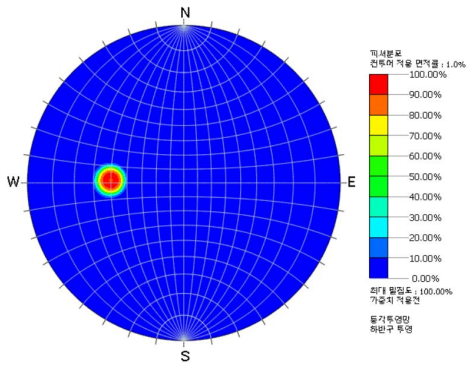
③ 2구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	우기시는 침투조건고려
	우기시	Fs ≥ 1.3 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

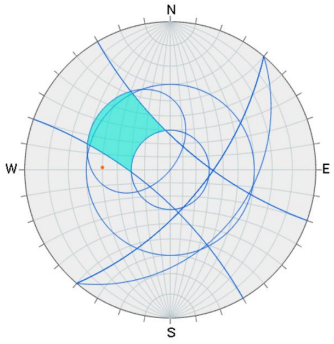
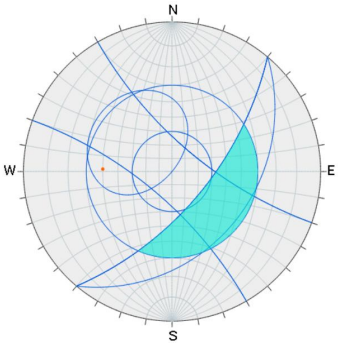
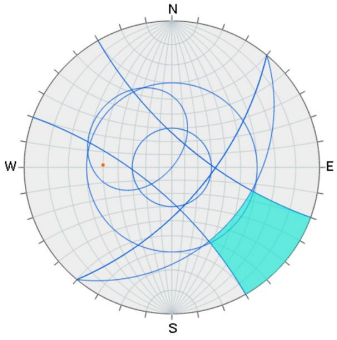
5) 3구간 (STA.0+200, 부산)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		50	92
		50	92
		50	92
		50	92

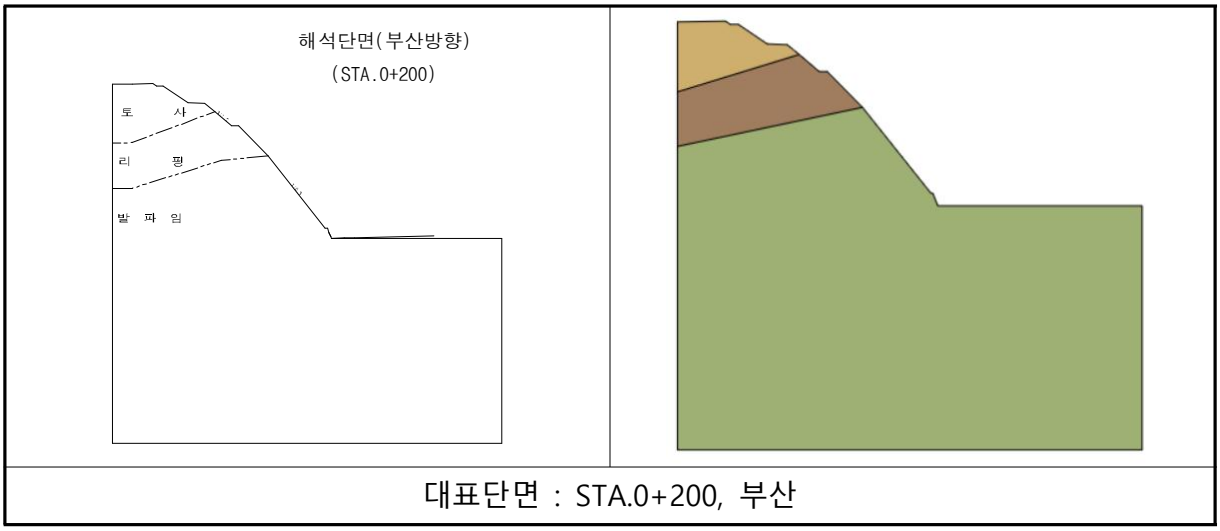
◦ 해석결과

평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	일부 가능성	가능성
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

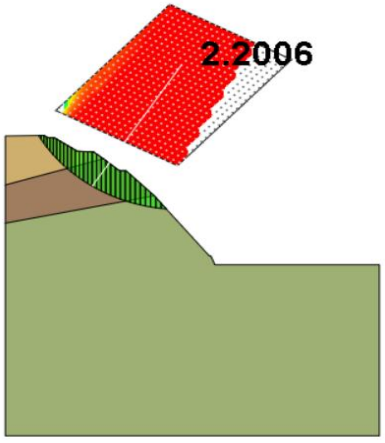
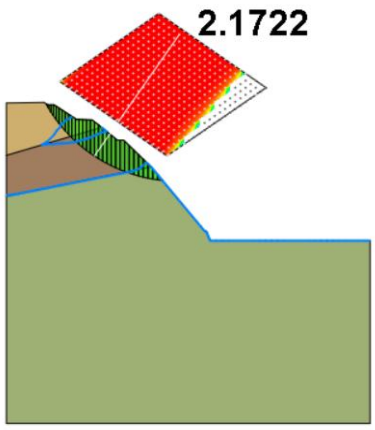
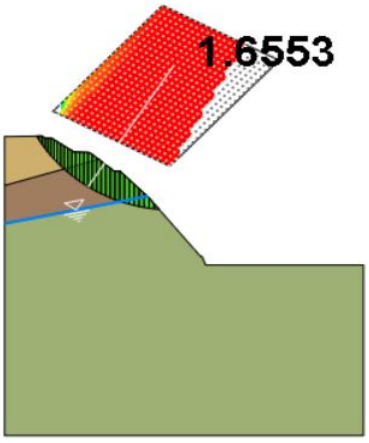
② 토사깍기비탈면 안정성검토

◦ 검토단면



대표단면 : STA.0+200, 부산

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.20	안전율 : 2.17	안전율 : 1.65

③ 3구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	우기시는 침투조건고려
	우기시	Fs ≥ 1.3 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

아. 안전성능평가 결과

구조안전성능평가는 설계 당시의 자료 및 금회 조사된 자료를 검토·분석하여 평가하기로 한다. 설계시 평사투영해석 결과 전도파괴 가능성이 분석되어 한계평형해석을 시행한 결과 건기 및 우기시 허용안전율을 상회하는 것으로 검토되었다. 금회 현장조사를 통한 평사투영해석 결과 각각의 파괴유형에 대한 안전한 것으로 분석되어 구조안전성능평가는 A등급으로 평가되었다.

<표 2.6-95> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**부산기점 STA.19+780~20+300**		
구성 재료	**파괴유형**	**최소안전율**	**평가 결과**	**비 고**
암반구간 (평사투영 해석)	평면파괴	안정	a	평면파괴 가능성 없음
	전도파괴	안정	a	전도파괴 가능성 없음
	쐐기파괴	안정	a	쐐기파괴 가능성 없음
토사구간 (한계평형 해석)	건기시	2.01	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	1.85	a	Fs ≥ 1.3 ⇨ O.K
	지진시	1.54	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

6.4.3 안전성능평가 결과

안전성능 평가는 상태안전성능과 구조안전성능 평가를 실시하여 둘 중 낮은 등급 결과에 따라 최종등급을 결정하여 그에 대한 대책을 마련한다.

상태안전성능평가 결과, 불연속면의 특성 및 지반 변형 등은 양호한 상태인 것으로 확인되었으나, 일부 국부적인 숏크리트 파손, 낙석방지망내 낙석퇴적 등의 손상이 확인되었다. 현재 손상정도는 국부적으로 발생된 소규모 결함으로, 상태안전성능평가 결과 C등급으로 평가 되었다.

금회 본 시설물의 안전성능평가 결과, 광범위한 부재에서 결함이 발생하였으나, 전체적이 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강이 필요한 성능수준인 C등급으로 평가되었다.

<표 2.6-49> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**부산기점 STA.19+800~20+350**		
평가 구분	**결함지수**	**평가 결과**	**비 고**
상태안전성능	0.403	C	인장균열 없음
구조안전성능	0.080	A	특이파괴 유형 없음
안전성능	0.403	C	
안전성능 결과	ㅇ상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ㅇ**안전성능평가 결과 : A등급**		

<표 2.6-50> 안전성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

안전등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00 ≤(E)< 0.15	외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준
B (양호)	0.15 ≤(E)< 0.30	일부 부재에서 경미한 결함이 발생하였으며, 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30 ≤(E)< 0.55	광범위한 부재에서 결함이 발생하였으나, 전체적이 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강이 필요한 성능수준
D (미흡)	0.55 ≤(E)< 0.75	심각한 결함에 대한 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용 제한 여부를 결정해야 하는 성능 수준
E (불량)	0.75 ≤(E)< 1.00	심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축이 필요한 수준

6.5 내구성능 평가

6.6.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 2.6-51> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		절리암반사면	SR = 0/56 = 0.00
공용기간		10년	2008년 12월 준공
암반구간 설계(초기)강도		경암 : 20.27~24.15MPa	
면적	전체	16,520㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	3,474㎡	
표면보호공	식 생	2,650㎡	
	숏크리트	824㎡	
사면보강공	-	-	

6.6.2 시설물의 형식 및 성능지표

본 비탈면은 토층심도율을 적용한 결과 암반사면에 해당되며, 지반상태(암반), 표면보호공 및 사면보강공, 절리상태 및 풍화진행도에 대해 평가하기로 한다.

<표 2.6-52> 사면 형식별 내구 성능 지표

구 분	평가 요소		
	토사사면	암반사면	혼합사면
절토사면	○ 지반상태(토질) ○ 표면보호공 ○ 사면보강공	○ 지반상태(암반) ○ 표면보호공 ○ 사면보강공 ○ 절리상태 및 풍화진행도	○ 토사사면과 암반사면 지표를 모두 고려

6.6.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 2.6-53> 암반사면의 지반상태 평가 기준

항목	등급	그룹 A 암석 예			
		설계(초기 점검값) 대비 강도			
		극경암	경암	보통암	연암
지반상태 (암반)	a	97.5%이상 100%이하	96.0%이상 100%이하	94.0%이상 100%이하	90.0%이상 100%이하
	b	96.0%이상 97.5%미만	90.0%이상 96.0%미만	88.0%이상 94.0%미만	80.0%이상 90.0%미만
	c	92.5%이상 96.0%미만	86.0%이상 90.0%미만	82.0%이상 88.0%미만	70.0%이상 80.0%미만
	d	90.0%이상 92.5%미만	80.0%이상 86.0%미만	76.0%이상 82.0%미만	60.0%이상 70.0%미만
	e	90.0%미만	80.0%미만	76.0%미만	60.0%미만

<표 2.6-54> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
하단부 40m	132.7	549.5	초기 강도값(연암) : 24.15MPa 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
하단부 60m	101.2	419.0	
하단부 80m	106.0	438.9	
평균값	110.9	459.2	
등급	**a**		

<표 2.6-55> 표면보호공 평가 결과

항목	등급	보호공의 종류	
		식생 (식생 피복율, %)	콘크리트뿜어붙이기 (손상 면적율, %)
표면 보호공	a	매우 양호(90% 이상)	균열 및 박락 없음(0~10% 미만)
	b	양호(70%이상~90%미만)	일부 균열 발생(10%이상~30%미만)
	c	보통(50%이상~70%미만)	균열 및 일부 박락 발생(30%이상~50%미만)
	d	불량(30%이상~50%미만)	박락으로 일부 유실된 상태, 누수발생(50%이상~70%미만)
	e	매우 불량(0%~30%미만)	대부분의 범위에서 박락 및 유실, 누수발생(70%이상)

<표 2.6-56> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	2,650/2,650㎡	100.0%	-	-	
평가	식생 피복율이 100.0%이므로 "a등급"으로 평가함.				

<표 2.6-61> 암반의 풍화도 평가 등급 및 기준

평가항목	절리상태 및 풍화진행도				
	a	b	c	d	e
길이	< 1m	1~3m 미만	3~10m 미만	10~20m 미만	≥ 20m
틈새	0	< 0.1㎜	0.1~1㎜미만	1~5㎜ 미만	≥ 5㎜
거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄
충전물	없음	단단한 충전물 (< 5m)	단단한 충전물 (≥ 5m)	연약한 충전물 (< 5m)	연약한 충전물 (≥ 5m)
풍화진행도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화

<표 2.6-62> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(Set A)		
	Set 1	Set 2	Set 3
길이(m)	1.0~3.0	3.0~10.0	3.0~10.0
	b(5)	c(10)	c(10)
틈새(㎜)	0.1~1.0	<0.1	0.1~1.0
	c(10)	b(5)	c(10)
거칠기	약간 거침	약간 거침	약간 거침
	c(10)	c(10)	c(10)
충전물	hard	hard	hard
	b(5)	b(5)	b(5)
풍화진행도	보통 풍화	보통 풍화	보통 풍화
	c(10)	c(10)	c(10)
합 계	40	40	45
평 균	8.0	8.0	9.0
평가 결과	c	c	c

평가항목	불연속면(Set B)		
	Set 4	Set 5	Set 6
길이(m)	3.0~10.0	3.0~10.0	1.0~3.0
	c(10)	c(10)	b(5)
틈새(㎜)	<0.1	<0.1	0.1~1.0
	b(5)	b(5)	c(10)
거칠기	약간 거침	약간 거침	약간 거침
	c(10)	c(10)	c(10)
충전물	hard	hard	hard
	c(10)	c(10)	c(10)
풍화진행도	보통 풍화	보통 풍화	보통 풍화
	c(10)	c(10)	c(10)
합 계	45	45	45
평 균	8.0	8.0	8.0
평가 결과	c	c	c

<표 2.6-63> 절리상태 및 풍화진행도 평가 결과

시험 개소	시험개소별 등급	등급 점수	비 고
Set A- Set 1	c	0.43	
Set A- Set 2	c	0.43	
Set A- Set 3	c	0.43	
Set B- Set 4	c	0.43	
Set B- Set 5	c	0.43	
Set B- Set 6	c	0.43	
평균값		0.43	최소 및 최대 제외
등 급		**c**	

6.6.4 내구성능 평가 결과

본 비탈면은 암반강도 및 절리상태 및 풍화 진행도, 표면 보호공, 사면 보강공이 있으므로 이를 고려하여 가중치 보정값을 적용하기로 한다.

<표 2.6-64> 사면형식에 따른 지표별 가중치

사면구분	지표명	지표별 가중치				
		기본	가중치 보정			
암반사면	지반상태(암반)	25	28	33	38	-
	절리상태 및 풍화진행도	40	44	53	62	80
	표면보호공	10	-	14	-	20
	사면보강공	-	-	-	-	-

<표 2.6-66> 암반사면 내구성능 등급 산정

평가항목	등급	등급 점수 (a)	가중치 (b)	결함지수 (a)×(b)
지반상태(암반)	a	0.08	0.33	0.026
절리상태 및 풍화진행도	c	0.43	0.53	0.228
표면보호공	a	0.08	0.14	0.011
결함도 지수				0.286
등 급				**B**

금회 본 시설물의 내구성능평가 결과, 일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.

<표 2.6-68> 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

안전등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00 ≤(E)< 0.15	외부 환경조건 등으로 인한 내구성능 저하가 발생할 가능성이 낮은 성능 수준
B (양호)	0.15 ≤(E)< 0.30	일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30 ≤(E)< 0.55	광범위한 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었거나 주의가 필요한 수준으로 진행되어 간단한 보수가 필요한 성능 수준
D (미흡)	0.55 ≤(E)< 0.75	광범위한 부재에서 내구성 저하가 진행되어 긴급한 보수 또는 교체가 요구되는 성능 수준
E (불량)	0.75 ≤(E)< 1.00	광범위한 부재에서 내구성능의 저하가 심각하게 진행되어 즉각 사용을 금지하고 보수 또는 교체가 필요한 성능수준

6.6 종합평가

6.6.1 종합평가 개요

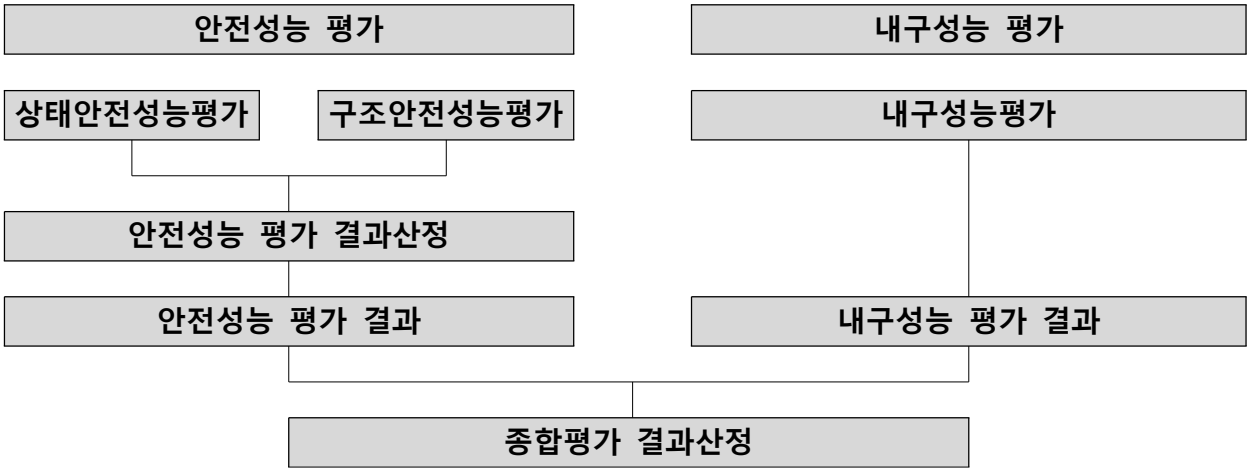
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때

· 안전성능 평가지수가 종합평가의 대표 지수로 산정

○ 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급이 아닐 경우

· 안전성능과 내구성능 각 성능항목의 가중치를 고려하여 산정



<그림 2.6-13> 종합평가 흐름도

6.6.2 종합평가 결과 산정결과

종합평가의 산정방법은 안전성능 평가와 내구성능 평가 지수에 대해 각 성능항목에 따라 부여된 가중치를 곱한 값을 합산하여 구한다. 단, 안전성능평가 결과가 최하위 등급일 경우에는 가중치와 상관없이 안전성능평가 결과를 최종등급으로 산정한다.

사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn))

<표 2.6-69> 성능간 가중치 산정 값

구분	분류	성능항목	
		안전성능	내구성능
성능간 가중치 (Wn)	일반도로 사면 고속도로 사면 일반철도 사면 고속철도 사면	0.8	0.2

<표 2.6-70> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	부산울산선 STA.19+800~20+350(부산)		**분류**	부산울산고속도로
평가 구분	**성능평가 지수**	**평가 결과**	**성능간가중치(Wn)**	**비 고**
안전성능평가	Ps=0.403	C	0.8	인장균열 없음
내구성능평가	Pd=0.286	B	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.403 × 0.8) + (0.286 × 0.2) = 0.380 ㅇ종합평가 결과 : C등급			

당해 시설물에 대해 종합적으로 성능평가를 실시한 결과 종합성능등급은 광범위한 부재에서 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사 되었고 기능 또는 사용상의 편의에 일부 문제점이 있으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강 및 개선이 필요한 성능 수준인 C등급(보통)인 것으로 평가되었다.

<표 2.6-71> 절토사면의 종합평가 결과에 따른 종합성능 등급 기준

종합성능 등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00≤(P)<0.15	외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준
B (양호)	0.15≤(P)<0.30	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30≤(P)<0.55	광범위한 부재에서 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사 되었고 기능 또는 사용상의 편의에 일부 문제점이 있으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강 및 개선이 필요한 성능 수준
D (미흡)	0.55≤(P)<0.75	성능이 기준에 미치지 못하여 시설물의 지속적인 사용이 어려운 수준으로 긴급한 보수.보강 또는 개선이 필요하며 사용제한 여부를 검토해야 하는 성능 수준
E (불량)	0.75≤(P)<1.00	심각한 결함 또는 내구성능 저하로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있거나 기능을 발휘하지 못하는 수준으로 즉각 사용을 중단하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 성능 수준

6.7 유지관리 전략 제안

시설물의 성능목표를 설정하기 위해 성능평가 실시결과와 함께 시설물의 사용환경 등을 검토하여 성능목표에 대한 등급을 지정하여야 한다.

6.7.1 성능목표 설정

『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 성능평가편(2019.01)』에서의 절토사면의 성능목표는 대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 B등급으로 설정하도록 하였다.

□시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법□제6조 제9항 및 동법 시행령 제3조 제4항, 제5항에 의거 5년주기의 "중기 시설물 관리계획"을 수립하여야 한다. 중기 시설물 관리계획에 성능평가 대상시설물에 대한 성능목표 및 관리기준이 설정되어야 하나 아직 계획수립 전에 금회 성능평가가 실시되기 때문에 본 시설물의 성능목표는 관리주체 의견과 관련 법규를 종합적으로 분석하여"B(0.15≤P<0.30)"으로 설정하였다.

<표 2.6-72> 성능목표 등급의 분류기준에 따른 평가점수 범위

기준	A	B	C	D	E
결함도 범위	0.0≤P<0.15	0.15≤P<0.30	0.30≤P<0.55	0.55≤P<0.75	0.75≤P
성능목표	**B등급** 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준				

6.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "C등급(0.380)"으로 평가되었다. 이는 성능목표와 다소 차이가 있는 것으로 확인되었다.

<표 2.6-73> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.403	0.286	0.380
평가결과	C	B	C

6.7.3 유지관리 전략 제안

유지관리 전략 제안의 목적은 모든 보수·보강 후보를 대상으로 성능평가지표인 상태안전성능, 구조안전성능, 내구성능, 사용성능에 근거하여 경제적 측면, 환경적 측면, 사회적 영향 등을 고려하여 우선적으로 조치하여야 할 대상을 선정하는데 있다.

가. 손상별 보수·보강 방안

노후화된 구조물에 대한 보수·보강은 손상구조물의 영향정도, 구조물의 중요도, 사용환경조건 및 경제성 등에 의해서 보수·보강 공법 및 수준을 정한다. 본 절토사면의 성능평가 결과, 성능목표인 "B등급"을 만족하지 않은 "C등급"인 상태로 숏크리트 박리 등의 손상은 단면보수 등의 조치가 필요하다. 또한, 2구간의 암노출 구간의 전도 및 쐐기 파괴 우려 구간에 보강 등의 조치가 시행되면 B등급으로 상향 가능한 것으로 추정된다.

<표 2.6-74> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구 분		손상 내용	보수·보강방안	보수.보강 수준
표면 보호공	표층	상태양호	주의관찰	현상유지
	숏크리트	숏크리트 박리	단면보수	현상유지
배수 조건	소단배수로	상태양호	주의관찰	현상유지
	산마루측구	상태양호	주의관찰	현상유지
상부 자연비탈면		상태양호	주의관찰	현상유지

나. 유지관리 전략 제안

본 비탈면은 현재 목표성능을 만족 하지 않은 "C등급"의 상태를 유지하고 있으며, 본 사면에서 발생한 손상은 단면보수 등의 조치를 등의 유지관리가 요구된다.

<표 2.6-74> 보수.보강 개략공사비

구 분	수량	단위	단가(천원)	공사비(천원)	비고
숏크리트 박리	5.0	㎡	230	1,150	
순 공사비(천원)				1,150	
재 경 비(천원)				575	
총 공사비(천원)				1,725	

※ 상기의 계략공사비는 순공사비 기준이며 실시설계시 공법선정 및 현장여건상 변동될 수 있음.
※ 보수물량은 보수효과 및 시공성을 위해 손상물량×1.5를 적용함

2) 성능수준 향상을 위한 우선순위 산정

성능평가 가중치 및 기타 외부적 요소에 따라 조치별로 평가하여 비용대비 효과가 높은 조치를 선정하고 우선순위를 결정한다. 관리자의 판단에 따라 우선순위지수(PI : Priority Index)는 낮지만 보수가 필요하다고 판단되는 경우 우선순위를 조정할 경우 소견을 작성하여 시설물의 안전 및 유지관리 계획에 수록하여야 한다.

<표 2.7-84> 성능수준 향상을 위한 우선순위

구분	보수.보강방안	손상물량 (㎡/m)	보수물량 (㎡/m)	단가 (천원)	비용 Cost (천원)	요소별 가중치(%)		성능별(EI)		합계 (EI)	우선순위지수 (PI) EI/Cost	순위
						안전성능 (E_1)	내구성능 (E_2)	안전성능 $E_1 \times P$	내구성능 $E_2 \times P$			
표면보호공	단면보수	5.0	6.0	230	1,380	11	-	8.80	-	8.800	0.0007	1
종합평가 가중치 : P_1 × 80%, P_2 × 20%												

6.8 종합결론

본 성능평가는 현장조사 및 각종시험에 의해 시설물의 성능을 종합적으로 평가하여 시설물의 객관적인 현재의 상태와 장래의 성능 변화를 파악·예측하고, 이를 통해 관리주체가 보수·개량·교체 등의 최적시기 결정 등 합리적 유지관리 전략을 마련하는 데 그 목적을 두고 시행하였다.

1) 안전성능 평가는 외관상 관찰되는 시설물의 결함을 중심으로 조사·평가하였다. 현장조사 및 분석 결과 중대결함은 관찰되지 않았으나, 일부 숏크리트 박리가 확인되었다. 이는 숏크리트의 내구성 확보차원의 단면보수가 필요하다. 또한, 2구간의 암노출 구간의 전도 및 쐐기 파괴 우려 구간이 확인되었고, 보강 등의 조치가 시행되면 B등급으로 상향 가능할 것으로 확인되었다.

   현재 손상 상태는 경미한 결함으로 시설물의 안전성에 미치는 영향은 미소한 상태이나, 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 결과, 광범위한 부재에서 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사 되었고 기능 또는 사용상의 편의에 일부 문제점이 있으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강 및 개선이 필요한 성능 수준인 C 등급으로 평가됨.

2) 내구성능평가는 시간에 따라 변화하는 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로서 본 비탈면의 절리상태 및 표면 보호상태에 대한 평가를 시행하였다. 그 결과 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.

3) 안전성능평가, 내구성능평가 결과를 종합적으로 분석할 때, 광범위한 부재에서 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사 되었고 기능 또는 사용상의 편의에 일부 문제점이 있으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강 및 개선이 필요한 성능 수준인 C(보통)등급으로 평가되었다.

4) 본 절토사면의 성능평가 결과, 성능목표인 "B등급"을 만족하지 않은 "C등급"인 상태로 숏크리트 박리는 단면보수 등의 조치가 필요하다. 또한, 2구간의 암노출 구간의 전도 및 쐐기 파괴 우려 구간에 보강 등의 조치가 시행되면 B등급으로 상향 가능한 것으로 추정된다.

제7장 부산울산선 Sta.47+050~47+350(부산)

7.1 대상 시설물 현황

7.2 관련 자료의 분석

7.3 현장조사

7.4 안전성능평가

7.5 내구성능평가

7.6 종합평가

7.7 유지관리전략 제안

7.8 종합결론

제29장 부산울산선 STA.47.050~47.350(부산)

7.1 대상 시설물 현황

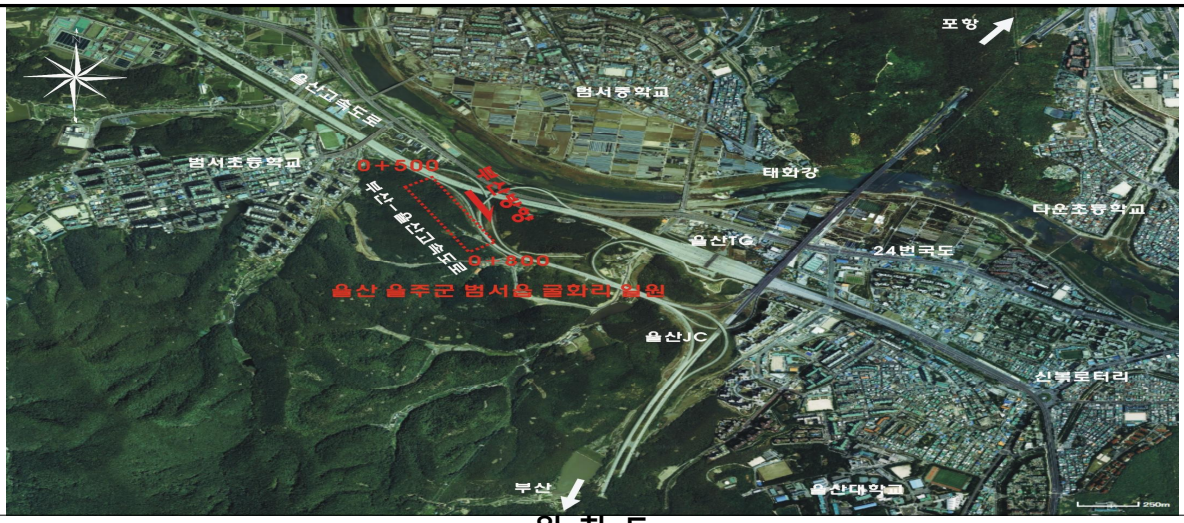
성능평가 대상 시설물인"절토사면-부산포항선 STA.47+050~47+350(부산)"비탈면 현황은 다음과 같다.

<표 2.7-1> 시설물 현황(부산울산선 STA.47+050~47+350(부산)

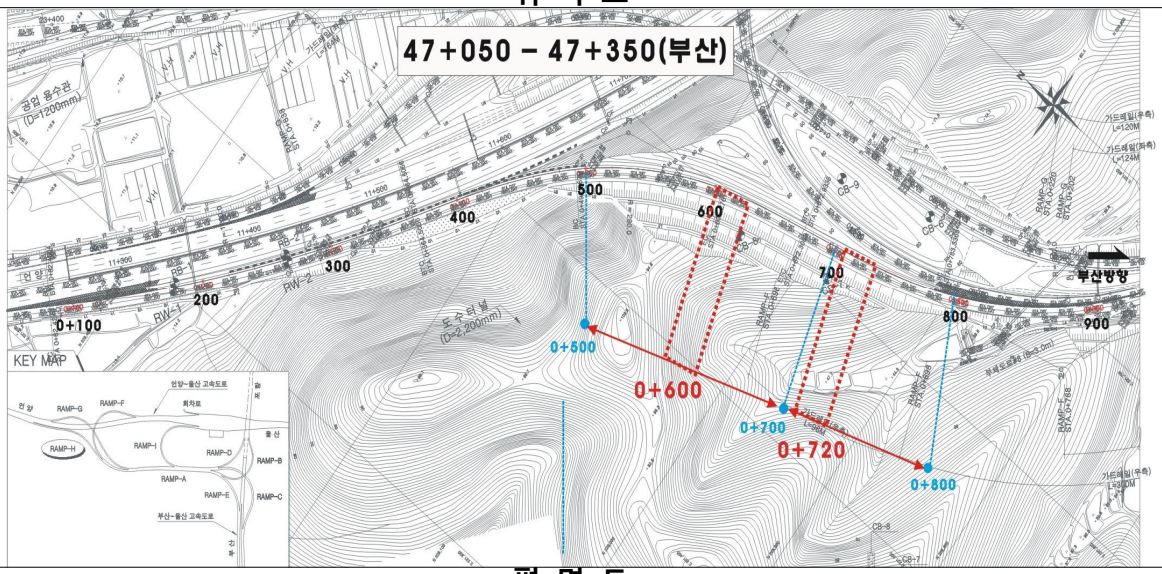
시설물 번호	SL2008-0000090		**관리번호**	-
시설물명	절토사면-부산포항선 STA.47+050~47+350(부산)		**시설물구분**	2종시설물
위 치	행정구역	울산광역시 울주군 범서읍 굴화리 산 61-1		
	위치좌표	시 점 : N (35° 33′ 44.44″), E (129° 14′ 16.99″)		
		종 점 : N (35° 33′ 35.02″), E (129° 14′ 22.43″)		
제 원	연 장	300.0m	높 이	60.0m
	경사/방향	63 / 070	노 선	부산울산선
관리주체	부산울산고속도로(주)		관리주체구분	민간
주변환경	인공구조물	-		
	주변지형	준산악	자연비탈면경사	-5 ~ -15°
시공현황	준공년도	2008년 12월 31일	시 공 자	삼성물산(주)
	부대시설	L형 옹벽, 측면점검로, 소단배수로, 낙석방지망, 숏크리트 등		
비 고				

대상 비탈면 전경

※ 상기의 제원 및 현황은 FMS의 시설물관리대장상의 제원을 표기한 것임.
※ 성능평가 결과 관리대장과 상이한 사항은 보고서내 별도 표기 및 이를 기준으로 조사 및 평가를 시행함.



위 치 도



평 면 도

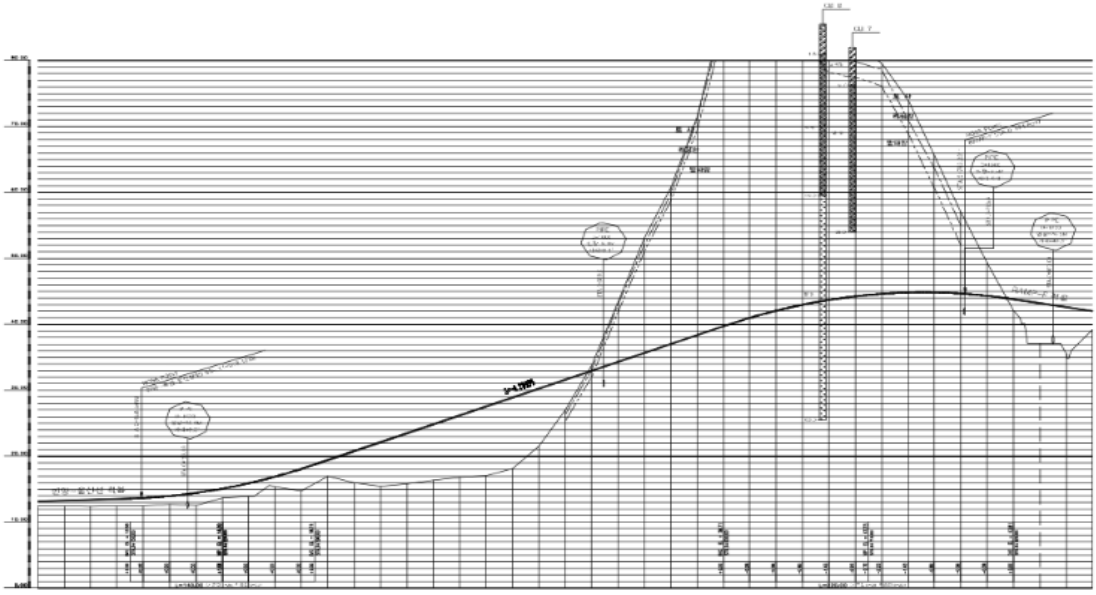


표 준 단 면 도

<그림 2.7-1> 대상 시설물 현황도

7.2 관련 자료의 분석

7.2.1 유지관리 관련 자료 현황

1) 관련 자료 수집 및 분석 현황

자료조사 및 분석은 시설물의 설계, 시공 및 유지관리 관련 자료 및 주변현황 자료로 구분되며 수집된 자료에 대한 분석을 통하여, 첫째로 과업수행의 전체적인 추진방향과 계획을 수립하고, 둘째로 구조물의 이력 확인, 결함 및 손상의 원인분석, 손상의 변화 및 진행성 여부, 보수·보강 대책 및 유지관리 방안을 수립하기 위한 기초자료로 활용하였으며, 자료수집 현황은 다음과 같다.

<표 2.7-2> 유지관리 관련자료 현황

보존대상 목록		보유현황	비 고
설계도서	ㅇ공통 - 준공내역서 - 공사 및 특별시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	 보유 보유 보유 보유 -	ㅇ고속국도 제65호선 부산~울산간 고속도로 민간투자사업 제9공구 준공도서
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등	보유	ㅇ고속국도 제65호선 부산~울산간 고속도로 민간투자사업 제9공구 준공도서
시 설 물 관리대장	ㅇ기본현황 ㅇ상세제원 ㅇ유지관리 이력	보유 보유 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS) ㅇ한국도로공사 비탈면유지관리시스템
시공관련 자 료	ㅇ시공관련자료 ㅇ품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 각종 시험기록 - 시설물 주요 구조 부위에 대한 계측자료 ㅇ사고자료	일부 보유 일부 보유 일부 보유 일부 보유 - - -	ㅇ고속국도 제65호선 부산~울산간 고속도로 민간투자사업 제9공구 준공도서
안전점검 및 정밀안전진단 자료		일부 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
보수·보강 자료		일부 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)

2) 관련 자료 수집 및 분석 결과

본 시설물은 2008년 준공된 시설물로 설계 및 시공관련 자료 관리 및 보관상태는 대체로 양호한 것으로 조사되었다. 관련자료 분석을 통해 당초 시공시의 개략적인 지반상태를 파악할 수 있다.

7.2.2 지반조사 보고서 분석

본 시설물의 지반조사 분석은 준공도서에 포함된「고속국도 제65호선 부산~울산간 고속도로 민간투자사업(제9공구, 2008년) 토질조사보고서」를 요약·분석하여 성능평가의 기초 자료 활용 및 유지관리시 편의성 제공에 그 목적이 있다.

1) 지 형

조사 지역 주변의 지형은 북북동-남남서. 북서-남서 방향으로 평행하게 발달 된 수 개조의 단 승선을 경계로 본 산계가 나란히 발달 된 것이 특징이다. 산계는 단충과 단흥 사이에 발달하며 비교적 완만 한 산세를 보여주고 있 다. 조사 지역의 지형은 N20E 방향의 동측의 동래 단층과 서측의 양산 단층 사이에서 나타나는 해발 고도 평균 200m 정도의 준 산악 지형이며, 계곡들은 대부분 U 자곡을 형성하고있어 만장 년 기의 지형에 허당된다.

2) 지질 개요

대체로 낮은 산막 지역 인 본 지역은 서폭의 문수산 (해발 599.8m), 북쪽의 삼호 산 등을 주뽕으로 이루고있다. 북동 남서의 방향으로 정면하게 연장되는 산계를 이루고있는 자세는이 지역에 분포 된 암석들의 암질과 지질-구조에 지배받은 것이라 할 수있다. 지역 내 분포하는 암종과 지형 기복은 상관 관계가 있으며, 풍화에 강한 혼 켈스의 분포지는 높은 해발 고도를 형성하며, 백 막기 쇄설 성 퇴적 맘류는 풍화에 의해 지형적으로 구름 지 내지 완 안한 사면을 형성하고있다.

7.2.3 점검 및 진단 이력

본 비탈면은 2009년부터 정기안전점검을 20회, 정밀안전점검 3회 실시한 것으로 조사되었다. 점검 결과 전반적으로 양호한 상태로 특별한 보수·보강을 필요한 구간은 없는 것으로 평가되었다.

<표 2.7-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2009.03.06. ~ 2009.06.30	정기안전점검	양호	양호
2	2009.08.04. ~ 2009.11.25	정기안전점검	양호	양호
3	2010.10.01. ~ 2010.11.29	정밀안전점검	2소단부에서 다수의 균열이 조사되었으며 사면 보호공인 녹생토 시공은 1사면부의 경우 전구간에서 다수 탈락된 것으로 조사되었으나 2사면부의 경우 시점부에서 일부 탈락이 발생하였으나 전반적으로 양호한 상태이다. 이 외 시점부의 암반구간, 도수로 및 점검계단 등은 양호한 것으로 조사되었다.	A
4	2010.07.07. ~ 2010.12.08	정기안전점검	양호	양호
5	2011.05.23. ~ 2011.06.03	정기안전점검	양호	양호
6	2011.11.01. ~ 2011.11.10	정기안전점검	양호	양호
7	2012.05.02. ~ 2012.05.03	정기안전점검	양호	양호
8	2012.10.22. ~ 2012.10.24	정기안전점검	양호	양호
9	2013.04.15. ~ 2013.04.30	정기안전점검	양호	양호
10	2013.09.23. ~ 2013.09.27	정기안전점검	양호	양호

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
11	2013.12.06. ~ 2013.12.25	정밀안전점검	2소단부에서 다수의 균열 보수가 조사되었으며 사면 보호공인 녹생토 시공은 1사면부의 경우 전구간에서 다수 탈락된 것으로 조사되었으나 2사면부의 경우 시점부에서 일부 탈락이 발생하였으나 전반적으로 양호한 상태이다. 이 외 시점부의 암반구간, 도수로 및 점검계단 등은 양호한 것으로 조사되었다.	A
12	2014.04.01	정기안전점검	양호	양호
13	2014.09.01	정기안전점검	양호	양호
14	2015.05.25	정기안전점검	양호	양호
15	2015.12.07	정기안전점검	양호	양호
16	2016.05.23. ~ 2016.05.26	정기안전점검	양호	양호
17	2016.06.24. ~ 2016.06.30	정밀안전점검	.본절토사면에대한외관조사결과녹생토공법이전구간에적용되었으나1소단과2소단하부의식생이불량한상태이다. .일부구간의녹생토가유실되어1소단부와L형옹벽배면에집적되어배수불량을유발시키며1소단배수로균열이관찰된다. .최상부자연사면점검결과인장균열,지반변형등의사면안정성에영향을미칠만한특별한손상은관찰되지않는다. .식생불량구간:2소단하부(약3,800㎡) .1소단배수로녹생토유실물집적:70~180m구간(L=110.0m) .L형옹벽배면녹생토유실물집적:70~260m구간(L=190.0m) .1소단배수로균열:250m(5.0mm×0.5m)	A
18	2016.12.07	정기안전점검	양호	양호
19	2017.04.27	정기안전점검	양호	양호
20	2017.12.04	정기안전점검	양호	양호

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
21	2018.04.23	정기안전점검	양호	양호
22	2018.11.29	정기안전점검	양호	양호
23	2019.04.05	정기안전점검	양호	양호

7.2.4 보수·보강이력

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 유지관리중 보수·보강이력은 없는 것으로 조사되었다.

<표 2.7-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

7.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 내진설계 적용여부에 대한 명확한 근거는 조사되지 않았다.

<표 2.7-5> 내진 설계 적용 여부

검토대상 부재	설계적용여부	결과	검토결과 요약	근거
절토사면	불명	-	내진관련 자료 부족으로 확인 불가	

7.2.6 관련 자료 분석 결과 요약

금회 성능평가시 유지관리 관련자료를 분석한 결과, 본 시설물은 특별한 사고이력 및 상태변화가 없는 양호한 시설인 것으로 평가되었다. 관련 자료 분석 결과 요약 및 이를 기초로한 금회 성능평가 시행 방향은 다음과 같다.

<표 2.7-6> 관련 자료 분석 결과 요약 및 점검 방향

구 분	자료 분석 결과	성능평가 방향
설계도서	ㅇ준공도서 유지관리중 ㅇ위치도, 횡단면도 등 파악 가능 ㅇ원지반 상태 파악 가능	ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득 ㅇ설계도면과 현재 제원 비교
시설물 관리대장	ㅇ기본현황, 상세제원 확인 가능 ㅇ유지관리 이력 파악 ㅇ시설물 준공 후 최초의 성능평가	ㅇ현장조사를 위한 기초자료로 활용 ㅇ준공후 특별한 보수·보강이력이 없는 상태로서 금회 성능평가시 손상 조사시 필요에 따라 보수·보강방안 수립
안전점검 및 정밀안전진단 자료	ㅇ준공후 정기점검이 시행되었으며, 전반적으로 양호한 상태임.	ㅇ사면파괴징후에 대한 면밀한 조사 ㅇ필요시 보수보수·보강방안 수립 ㅇ시설물 특성을 고려한 적정한 유지관리방안 제시
보수·보강 자료	ㅇ준공전 사면보강에 대한 안정성 평가 자료는 없는 상태임. ㅇ공용중 보수·보강이력 없음.	ㅇ사면보강 여부 ㅇ사면경사 확인조사
유지관리 전략 제안	-	ㅇ현장조사 및 관련자료 분석을 통한 항목별 성능평가 시행 ㅇ성능평가 결과에 따라 성능목표 유지를 위한 유지관리 전략 제안

7.3 현장조사

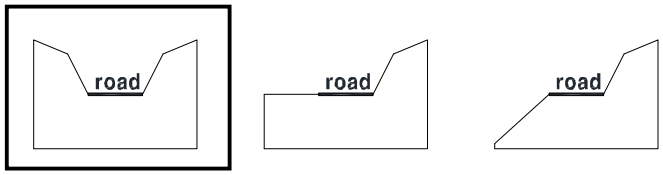
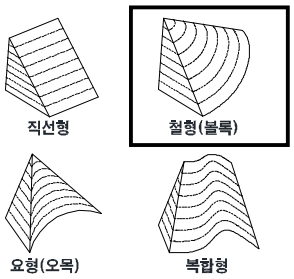
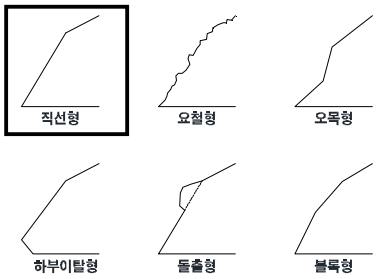
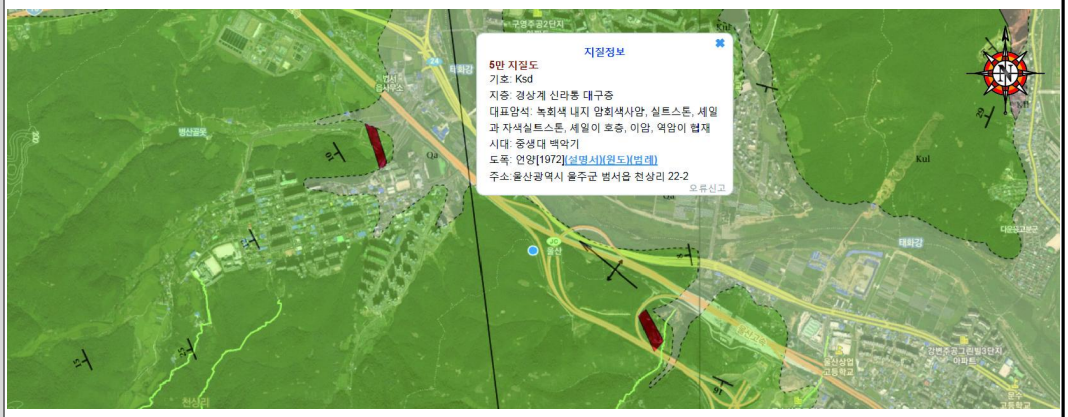
7.3.1 현장조사 체크리스트

관리주체에서 수집된 시설물 유지관리 자료를 참조로하여 현장답사 및 기초 자료를 조사한 결과는 다음과 같다.

<표 2.7-7> 일반현황

<table>
<tr><td>조사일자</td><td colspan="2">2019년 10월 16일</td><td>조 사 자</td><td>인승철</td></tr>
<tr><td>일 기</td><td colspan="2">맑음</td><td>관리번호</td><td></td></tr>
<tr><td>행정구역</td><td colspan="4">울산광역시 울주군 범서읍 굴화리 산 61-1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="4">시 점 : N (35° 33′ 44.44″), E (129° 14′ 16.99″)</td></tr>
<tr><td colspan="4">종 점 : N (35° 33′ 35.02″), E (129° 14′ 22.43″)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">도 로</td><td colspan="4">거 리 표 : -</td></tr>
<tr><td colspan="3">편도 1 차선</td><td>도 로 폭 : 6.0m</td></tr>
<tr><td colspan="4">교 통 량 : 45,575 대/일</td></tr>
<tr><td rowspan="5">깎기비탈면</td><td colspan="2">길 이 : 300.0m</td><td colspan="2">높 이 : 60.0m</td></tr>
<tr><td colspan="4">경 사/경사방향 : 63 / 070</td></tr>
<tr><td colspan="4">도로와의 이격거리 : 1.0~2.0m</td></tr>
<tr><td colspan="2">구성물질 : 암반</td><td colspan="2">토층심도 : 5.0 ~ 10.0m</td></tr>
<tr><td colspan="4">소 단 : 4</td></tr>
<tr><td rowspan="4">낙석/뜬돌</td><td colspan="3">낙석 존재유무 : 무</td><td>낙석의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="4">낙석 평균크기 : -
낙석 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td colspan="2">뜬돌 존재유무 : 무</td><td colspan="2">뜬돌의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="4">뜬돌 평균크기 : -</td></tr>
<tr><td rowspan="10">깎기비탈면
시공현황</td><td>종 류</td><td colspan="2">위 치</td><td>상 태</td></tr>
<tr><td>비탈면녹화</td><td colspan="2">전구간(녹생토)</td><td>불량</td></tr>
<tr><td>L형 옹벽(1.2m)</td><td colspan="2">전구간</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>측면점검로</td><td colspan="2">시점부 : 2소단까지 설치</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>종점부 : 1소단까지 설치</td><td colspan="2">양호</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>소단배수로</td><td colspan="2">1소단 : 60~262m</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>2소단 : 81~172m</td><td colspan="2">양호</td><td>균열, 들뜸</td></tr>
<tr><td>낙석방지망</td><td colspan="2">0~68m</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>숏크리트</td><td colspan="2">1소단부 2개소, 2소단부 4개소</td><td>양호</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="3">붕괴이력</td><td>유 형</td><td colspan="2">규 모</td><td>위 치</td></tr>
<tr><td>-</td><td colspan="2">-</td><td>-</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td>기 타</td><td colspan="4"></td></tr>
</table>

<표 2.7-8> 지형·지질 및 식생

<table>
<tr><td rowspan="3">주변지형의 특성</td><td>주변 지형</td><td colspan="5">준산악</td></tr>
<tr><td>종단면 형상</td><td colspan="5"> 
</td></tr>
<tr><td>기타 특징</td><td colspan="5">-</td></tr>
<tr><td>사면의 특성</td><td>종
횡
단
면</td><td colspan="2"> 
</td><td>종
단
면
특
성</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="7">상부자연사면</td><td colspan="2">경 사 도</td><td colspan="4">-5 ~ -15°</td></tr>
<tr><td colspan="2">인장균열</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">포행흔적</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">수목의 기울어짐</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">인공구조물</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">산마루측구</td><td colspan="4">있음</td></tr>
<tr><td colspan="2">계곡부</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td rowspan="4">지 질</td><td colspan="6"> 
</td></tr>
<tr><td colspan="2">지질각론</td><td colspan="4">·경상계 신라통 대구층으로 대표암석은 녹회색 내지 암회색 사암, 실트스톤, 셰일과 자색실트스톤, 이암, 역암이 협재
·소규모로 노출된 기반암은 층리가 발달되어 있으며, N35W11SW 방향의 저각으로 발달</td></tr>
<tr><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td rowspan="3">식 생</td><td>① 종 류</td><td>초 본</td><td>관 목</td><td>침 엽 수</td><td>활 엽 수</td></tr>
<tr><td>② 밀 도</td><td>중</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>③ 근계특징</td><td colspan="4">천근성 (○), 심근성 ( )</td></tr>
</table>

<표 2.7-9> 기초조사 자료

일반현황	거리표	-		
	위경도	N (35° 33′ 44.44″), E (129° 14′ 16.99″) N (35° 33′ 35.02″), E (129° 14′ 22.43″)		
	차선	편도 (1) 차선		
	조사일자	2019년 10월 16일		
	조사자	인승철	조사기관	㈜명성엔지니어링
절토사면 특 성	길이	300.0m	최대높이	60.0m
	경사	63°(1:0.5)	상부경사	-5 ~ -15°
	이격거리	평균 1.0~2.0m	소단	4개소
	종류	■암반 □혼합 □토사 □자연	주변지형	□산악 ■준산악 □구릉 □평 지
	지하수	■C.dry □damp □wet □dripping □flowing	누수위치	□상 □중 □하 □좌 □중 □우
	풍화도	□F ■S ■M □H □C □R	불연속면 방향성	□일치 □평행 ■후방 □불가
	사면형상	□직선형 ■철형 □요형 □파형	측면형상	■직선형 □요철형 □탈락형 □돌출형
	계곡부	-	붕괴이력	□유(영향) □낙석 □유(미영향) □무
	뜬돌	□대 □중 □소 ■무	낙석	□대 □중 □소 □무
	암종	사암 및 셰일	토층심도	5.0 ~ 10.0m
	암반형태	□massive □tabular □columnar □irregular ■blocky □crushed	불연속면	■절리 ■층리 □엽리 □균열 □단층 □전단대 □암맥 □무
	시공현황 (상태)	□낙석방지망( ) □낙석방지울타리( ) ■측구(양호) ■옹벽(양호) ■식생공(불량) □돌망태옹벽( ) □계단식옹벽( ) ■도수로(양호) □기타( )		
조사자 소 견	위험도	□상 □중 ■하	피해도	□상 □중 ■하
	붕괴 유형	□심층 □표층 ■무	위험등급	■A □B □C □D □E
	위험구간 (붕괴유형)	□상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( ) □상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( ) □상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( )		
	필요 주공법	표면보호공	조치	□응급 ■미응급
	기타			

7.3.2 사면분류 및 구간분할

대상 시설물에 대한 현장조사 및 시험은 본 조사를 실시하기 이전에 현장을 답사하여 시설물의 주변 환경과 현 상태를 파악하고, 시설물의 접근방법 및 관련 자료를 검토 후 외관조사를 통하여 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성 확인을 위한 상세한 조사계획을 수하였다. 또한, 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단하기 위해 기본시설물 및 부대시설물 등 주요 부재의 현 상태와 시설물의 안전성을 저해할 만한 손상의 유무를 확인하였으며, 시설물 구성부재별로 외관조사 결과는 외관조사망도와 주요 사진을 중심으로 부록자료에 수록하여 향후 시설물 점검 및 유지관리 시에 효율적으로 활용할 수 있게 하였다.

가. 시설물 일반 현황

본 과업 대상 시설물은 부산울산고속도로 STA.47+050~47+350에 위치하고 있으며, 시설물관리대장상 길이는 300.0m, 높이 60.0m의 절토사면으로 시설물 안전법상 2종 시설물로 분류된 시설이다.

현장조사를 위한 실측조사 결과 본 구간의 절토사면 총 연장 및 높이는 시설물관리대장과 동일한 것으로 조사되었다.

나. 절토사면의 분류

토층심도 깊이측정을 위한 자료는 준공도서 표준횡단면도를 참고하여 작성하였고, 블록크기 측정을 위한 절리간격은 사면특성조사시 Set1~3에 위치하는 절리군의 평균 간격을 측정하였다.

<표 2.7-10> 절토비탈면 분류

(㎫=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{1.2}{60}=0.02$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10㎫	반발경도측정결과 70.5~81.9㎫으로 10㎫이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size \in dex}{Slope\,height}=\frac{1.5}{60}=0.025$로 0.01초과	절리암반	

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
2구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{1.2}{67}=0.018$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 84.2~84.3MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.6}{67}=0.009$로 0.01이하	파쇄암반	

나. 비탈면 구간 분할

연장이 300m로써, 사면의 구간분할 기준인

1) 사면의 구성재료가 변화할 경우

2) 사면의 경사가 10°이상으로 변할 경우

3) 사면의 구성재료와 표준경사가 맞지 않을 경우

4) 사면의 경사방향이 40°이상 변화할 경우

5) 동일 구간의 연장이 200m 이상일 경우

위 기준중 5번에 해당하여, 그에 따라 2개구간으로 분할하여 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

<표 2.7-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	0~200m	
2구간	200~300m	

7.3.3 상태안전성능 조사

가. 집수지형

집수지형에 대한 평가는 시·종점부, 요철지형 등 지표수가 직·간접적으로 비탈면에 유입되는 지형에 대한 평가로서 외부와 내부로 구분하여 분석하였다.

비탈면 외부 지형조건은 상부 자연사면이 하향 5~15°경사를 이루고 있는 것으로 조사되었다. 사면 외부 집수지형에 대한 분석 결과, 강우시 시점부측 지표수는 산마루 배수로를 통해 배수되며, 종점부측으로는 소단배수로를 통해 배제되어 산마루 배수로없이 자연사면을 통해 외부로 배수되는 형태를 띠고 있다.

사면내 기울기 및 경사방향 변화로 인한 사면내 오목한 지형 발생으로 인한 집수지형은 없는 상태이다.

<표 2.7-12> 집수 지형 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
집수지형	외부	시.종점부	EA	1	-	산마루 배수로
		계곡부	EA	-	-	
	내부	집수지형 없음	EA	-	-	

산마루 배수로 전경

나. 불안정 지질

불안정 지질은 절토사면에 분포하는 단층 및 전단대, 파쇄대, 습곡, 암맥 등 주변의 암반과 구성이 다르거나 특정 부분을 중심으로 균열이 집중적으로 발달하여 사면에 작용하는 불안정 요인으로 작용하는 지질 분포규모 및 상태를 평가하는 항목이다.

본 비탈면은 표면보호공으로 식생이 분포하여 전체 사면에 대한 불안정 지질 여부를 평가하기 곤란하여 부분적으로 원지반이 노출된 구간에 대해서 한정적으로 조사하였다.

그 결과 부분적으로 절리가 관찰되며, 보통풍화 상태를 보이고 있는 것으로 분석되었다.

<표 2.7-13> 불안정 지질 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
불안정 지질	보통풍화	-	-	-	

다. 불연속면 특성

불연속면은 대개 물리적으로 분리되어 있는 면으로 매우 작은 인장강도를 갖거나 인장강도가 없어 암반으로 구성된 절토사면의 경우 불연속면의 존재는 사면의 안정에 절대적인 영향을 미치게 된다. 이와 관련하여 본 성능평가에서는 소단 하부 에는 식생공이 없어 대기에 노출된 원지반을 대상으로 2개소에서 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

<표 2.7-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	07/269	05/262	13/240
간격(m)	0.05~0.3	0.3~0.6	0.2~0.6
연장성(m)	1.0~3.0	1.0~3.0	1.0~3.0
틈새(mm)	0.1~1.0㎜	0.3~0.5㎜	0.2~0.8㎜
거칠기	약간거침	약간거침	약간거침
충진물질	hard	hard	hard
풍화도	M.W	S.W	S.W
비고			

<표 2.7-15> 불연속면 특성 조사 결과(계속)

구 분	2구간		
	Set 4	Set 5	Set 6
방향성	72/063	70/072	76/065
간격(m)	0.3~0.6	0.1~0.5	0.3~0.5
연장성(m)	1.0~3.0	1.0~3.0	1.0~3.0
틈새(mm)	0.2~0.8㎜	0.3~0.9㎜	0.4~1.0㎜
거칠기	약간거침	약간거침	약간거침
충진물질	hard	hard	hard
풍화도	S.W	M.W	S.W
비고			

라. 지반 변형

지반 변형은 사면의 배부름 현황과 같은 지반 자체 변형과 관련된 항목이다. 본 성능평가에서는 전 구간에 걸쳐 외관조사를 시행하고, 관련 자료 및 청문조사를 통한 과거 이력에 대한 조사도 병행하였다. 외관조사 결과, 지반변형으로 인한 급격한 기울기 변화는 조사되지 않았으며, 과거 이력 조사 결과에서도 손상은 없었던 것으로 확인되었다.

<표 2.7-16> 지반 변형 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
지반 변형	없 음	-	-	-	현장조사, 청문조사

마. 배수 조건

사면내 배수시설은 소단배수로와 산마루배수로가 설치되어 있다.

소단배수로는 지형변형은 조사되지 않았으며, 일부 국부적인 균열이 조사되었다.

산마루 배수로는 균열 등의 손상은 조사되지 않았다. 따라서 산마루배수로는 양호한 상태로 조사되었다.

<표 2.7-17> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	산마루 배수로	상태 양호	-	-	-	
	소단 배수로	균열	m	1 / 0.5	건조수축	

1소단배수로 전경

1소단배수로 균열 0.3mm, 0.5m

바. 지하수

지하수에 대한 항목은 사면내 지하수량을 간접적으로 조사하는 항목이다.

조사결과 지하수 유출이 확인 되지 않았으며, 유출로 인한 누수흔적도 조사되지 않은 양호한 상태로 확인되었다.

<표 2.7-18> 지하수 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
지하수	상태 양호	-	-	-	

사면내 누수현황(1)

사면내 누수현황(2)

사. 붕괴 이력

초기점검 및 기 점검사항을 토대로 확인한 결과, 붕괴이력은 조사되지 않았다.

<표 2.7-19> 붕괴 이력 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
붕괴 이력	상태 양호	-	-	-	

아. 낙석

낙석은 암반사면에서 빈번히 발생되는 붕괴유형으로 사면내 관찰되는 이완암 및 든돌의 규모 등을 조사하는 항목이다. 이와 관련하여 사면 하단부 및 소단부에서 낙석 여부 조사 결과 낙석은 조사되지 않았다

<표 2.7-20> 낙석 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
낙 석	없음	-	-	-	현장조사, 청문조사

자. 인장균열

인장균열 조사는 개략적인 붕괴 규모나 양상을 예측하기 위한 참고 자료로 활용되는 항목으로 본 비탈면에 대한 외관조사 결과, 사면 내·외부에서 인장균열은 조사되지 않는 상태이다.

<표 2.7-21> 인장균열 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
인장균열	없음	-	-	-	현장조사

7.3.4 내구성능 조사

가. 토사구간의 지반상태

본 비탈면에는 전 구간에 걸쳐 암반으로 구성되어 있으며, 토양경도계를 측정할 수 없으므로 토사구간의 지반상태는 제외토록 하였다.

나. 암반구간의 지반상태

암반강도시험은 총 5개소에서 실시하였으며, 시험 결과에 따른 암종 분류 결과 연암인 것으로 판단된다.

<표 2.7-22> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(㎫)	암 판정 결과	비고
STA.30 1단	41.9	70.5	연암	
STA.90 2단	45.2	81.9	연암	
STA.150 2단	44.5	79.5	연암	
STA.210 1단	45.8	84.2	연암	
STA.220 2단	45.8	84.3	연암	
검토의견	·암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 평균반발경도는 41.9~45.8로 측정되었으며, 추정강도 70.5~84.3㎫로 경암으로 판정되어 암반의 강도는 양호한 것으로 판단된다.			

절리면 경사/경사방향 측정	암반 강도시험

다. 표면보호공

표면보호공은 사면의 안전성에는 직접적인 영향을 주지 않으나, 사면의 상태보호 및 유지에 영향을 미치는 요소이다. 식생의 경우는 전체 면적 대비 피복 면적의 비를 기준으로 분석하였다.

관련 자료 분석 결과 표층보호를 위한 녹화공법은 사면 전 구간에 걸쳐 녹생토공법이 적용되었으며, 녹생토 부착망의 표층에는 국부적인 식생 비활착이 확인되었다. 조사결과 구간에 탈락, 들뜸이나 파손은 없는 상태로서 주의관찰이 필요하다.

낙석방지망은 시점부 비탈면 하면부터 2소단 배수로에 걸쳐 시공되어 있는 것으로 확인되었다. 와이어 및 망 등에는 파손, 이완 등에 의한 손상은 없으며, 인접부의 낙석도 없는 것으로 조사되었다.

<표 2.7-23> 표면보호공 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
표면 보호공	표층	식생 비활착	㎡	2 / 4,620.0	강우 및 식생 발아 미흡	
	낙석 방지망	상태양호	-	-	-	

식생 비활착 현황	낙석 방지망 상태 양호

라. 사면보강공

본 절토사면은 관련자료 조사 결과 별도의 보강 및 안전성검토에 대한 내용은 확인할 수 없었다.

<표 2.7-24> 사면보강공 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
사면 보강공	해당 없음	-	-	-	

7.4 안전성능평가

안전성능평가는 외관상 관찰되는 시설물의 결함을 평가하는 상태안전성능평가와 공학적인 안정성을 평가하는 구조안전성능으로 구분한다.

7.4.1 상태안전성능 평가

가. 시설물의 형식 및 안전성능지표

비탈면 분류는 현장조사 결과를 기초로 하여 관련 자료 분석을 통해 획득한 자료를 최대한 적용하였다. 그 결과 절토사면 높이에 대한 토층심도율이 0.00으로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 세부 분류는 절리암반비탈면으로 평가된다.

<표 2.7-25> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{1.2}{60}=0.02$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 70.5~81.9MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{1.5}{60}=0.025$로 0.01초과	절리암반	

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
2구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{1.2}{67}=0.018$로 0.4미만	암반사면	파쇄 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 84.2~84.3MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.6}{67}=0.009$로 0.01이하	파쇄암반	

본 시설물은 사면 구성 재료의 특별한 변화가 없으며, 총연장이 300.0m로 사면 분할기준인 200.0m를 상회한다. 비탈면 구간 분할 기준에 의하여 동일 구간의 연장이 200m 이상일 경우로 하여 총 2개소로 분할하여 조사·평가하기로 한다.

<표 2.7-26> 비탈면 구간 분할

위치	비탈면 구간 분할 기준	시설물 현황		
		구성 재료	경사방향 변화	사면 연장
부산기점 STA.47+050 ~47+350	○ 사면 구성재료 변화 ○ 사면 경사방향 40°이상 변화 ○ 동일구간 연장 200.0m 이상	암반	없음 (직선형)	300.0m
구간 분할	○ 1구간 : 0.0 ~ 200.0m ○ 2구간 : 200.0 ~ 300.0m			

<표 2.7-27> 사면 형식별 상태안전성능지표

구 분	평가 요소		
	토사사면	암반사면	혼합사면
절토사면	○ 집수지형 ○ 지반변형 ○ 지하수 ○ 배수조건 ○ 사면상부 상태 ○ 붕괴이력	○ 집수지형 ○ 불안정지질 ○ 불연속면 특성 ○ 지반변형 ○ 지하수 ○ 배수조건 ○ 붕괴이력 ○ 낙석	○ 불안정지질 ○ 불연속면 특성 ○ 지반변형 ○ 지하수 ○ 배수조건 ○ 붕괴이력 ○ 낙석 ○ 사면상부 상태

나. 1구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 2.7-28> 집수지형 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가결과
사면 내·외 집수지형 개소 수	a	없음	계곡부 또는 집수지형 없음	외부 1개소 내부 없음	b
	b	1개소	계곡부 또는 집수지형 1개소		
	c	2개소	계곡부 또는 집수지형 2개소		
	d	3개소	계곡부 또는 집수지형 3개소		
	e	4개소	계곡부 또는 집수지형 4개소 이상		

<표 2.7-29> 불안정 지질 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
규모 및 상태	a	없음	없음	절리암반사면 국부적으로 절리 발달	b
	b	일부 분포 (견고)	불안정 지질이 일부 분포하고 있으나 견고한 상태		
	c	국지적 분포 (파쇄)	불안정 지질이 국지적으로 분포하고 있으며 파쇄가 심한 상태		
	d	전반적인 분포 (파쇄)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심한상태		
	e	전반적인 분포 (파쇄, 누수 등)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심하고 누수 및 유실물 등이 발생하고 있는 상태		

<표 2.7-30> 불연속면 특성 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = 51 / 6 = 8.5	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 2.7-31> 불연속면 세부 상태 평가 결과(1구간)

평가항목	등급					현장조사 결과	평가 결과
	a	b	c	d	e		
점수	0	5	10	16	24		
①연장성	1.0m미만	1.0m이상 3.0m미만	3.0m이상 10.0m미만	10.0m이상 20.0m미만	20.0m이상	3.0~10.0m	b (5)
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 5.0㎜미만	5.0㎜이상	0.0~0.1㎜	c (10)
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거침	c (10)
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	없음	a (0)
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	보통풍화	c (10)
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	0.06~0.2m	d (16)

<표 2.7-32> 지반변형 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
포행, 단차, 배부름 등	a	변형 없음	지반변형이 없는 상태	지반변형 없음	a
	b	약간의 변형	일부 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	d	사면 전반에 걸친 변형	지반변형이 발생하여 붕괴위험은 있으나, 붕괴로 인해 사면하부 주 구조물에는 직접적인 영향이 없는 상태		
	e	사면 전반에 걸친 변형	평가대상 구간 전반에 변형이 발생하여 대규모 붕괴위험이 예상되며 붕괴발생으로 사면하부의 주구조물에 영향을 미칠 수 있는 상태		

<표 2.7-33> 지하수 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
누수 상태 및 위치	a	건조(dry)	지하수의 흐름이 관찰되지 않고 표면이 건조한 상태	건조한 상태	a
	b	젖음(wet) 사면하부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 하부에서 관찰되는 상태		
	c	젖음(wet) 사면상부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 상부에서 관찰되는 상태		
	d	흐름(flow) 사면하부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 하부에서 용출이 관찰되는 상태		
	e	흐름(flow) 사면상부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 상부에서 용출이 관찰되는 상태		

<표 2.7-34> 배수시설 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
배수 조건	a	완전배수	지표 및 지하배수구가 모두 적용되어 원활한 배수를 이루고 있는 상태 또는 사면이 건조한 상태로 배수시설의 적용이 필요하지 않은 상태	소단배수로 균열	c
	b	양호	배수시설이 노후 되었으나 배수기능이 원활한 상태		
	c	보통	배수시설이 노후 되고 일부 균열이 관찰되나, 배수기능이 원활한 상태		
	d	불량	배수시설이 노후 되고 균열 및 변형 등의 결함이 발생하여 배수기능이 불량한 상태		
	e	매우 불량	지표수 및 지하수로 인해 사면의 안전성능에 직접적인 영향을 미치며, 배수시설이 설치되어 있지 않거나 결함으로 인해 배수를 못하는 상태		

<표 2.7-35> 붕괴이력 평가 결과 (1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
붕괴이력	a	없음	없음	없음	a
	b	세굴 및 표층균열	사면의 표면 세굴 및 소규모 유실 등의 발생이력		
	c	표층파괴	표층유실 및 낙석, 암탈락 등 사면 표층 파괴 발생이력		
	d	심층파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 심층파괴 발생이력		
	e	대규모파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 파괴가 발생하여 사면하부 주구조물에 피해가 발생한 상태		

<표 2.7-36> 낙석 발생 규모 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 없음	a
	b	1.0㎥미만		
	c	1.0㎥이상, 5.0㎥미만		
	d	5.0㎥이상, 10.0㎥미만		
	e	10.0㎥이상		

<표 2.7-37> 예상 낙석에너지 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
예상 낙석 에너지	a	없음	$E_i = (1 - \frac{u}{\tan\theta}) \times (1+\beta) \times m \times g \times H = 0$ 여기서, E_i = 낙석에너지(kJ), Θ= 사면의 경사 u= 낙석의 등가마찰계수(0.15) β = 회전에너지계수(0.1) m = 낙석의 중량(t), H= 낙석의 높이(m) g = 중력가속도(9.8m/sec^2) (u, β는 상수, 각각 0.15, 0.1 적용) → 현장조사 결과 뜬돌 및 이완암이 조사되지 않음	a
	b	50kJ미만		
	c	50kJ이상 70kJ미만		
	d	70kJ이상 120kJ미만		
	e	120kJ이상		

다. 1구간 인장균열 평가 결과

인장균열이 확인되는 경우 인장균열을 반영한 상태안전성능평가 결과를 선정하고 구조안전성능 평가결과 및 현장 상태에 따라 보강 대책방안을 검토해야 한다. 인장균열의 결함점수는 d, e 등급에 따른 각각의 평균값으로 산정한다.

<표 2.7-38> 인장균열 결함점수 산정 결과(1구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가결과
인장균열	a	8	0.08	인장균열 없음	a
	d	65	0.65		
	e	88	0.88		

본 비탈면의 경우 인장균열이 없는 상태로서 성능별 등급 결과에 따른 상태안전성능평가 결과를 최종 상태평가 안전등급으로 산정하기로 한다.

라. 1구간 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 2.7-39> 상태안전성능 평가 결과 범위(1구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0 ≤ f < 0.15	0.15 ≤ f < 0.30	0.30 ≤ f < 0.55	0.55 ≤ f < 0.75	0.75 ≤ f

<표 2.7-40> 암반사면의 평가항목별 등급에 따른 점수(1구간)

평가항목	등급에 따른 점수				
	a	b	c	d	e
① 집수지형	0	1	3	4	6
② 불안정 지질	0	3	6	10	15
③ 불연속면의 특성	0	1~5	6~10	11~16	17~24
④ 지반변형	0	2	4	6	9
⑤ 지하수	0	2	3	5	8
⑥ 배수조건	0	2	5	7	11
⑦ 붕괴이력	0	2	4	7	10
⑧ 낙석	0	4	7	11	17
결함지수 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 2.7-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명		부산기점 STA.47+050~47+350		
사면 종류	절토사면	구성재료		절리암반사면
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	1	b
	사면 외	1		
불안정 지질		3	3	b
블연속면 특성		8.5	8.5	c
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		5	5	c
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			17.5	
결함지수		0.175		
상태안전성능평가 결과		**B**		

마. 2구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 2.7-42> 집수지형 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가결과
사면 내·외 집수지형 개소 수	a	없음	계곡부 또는 집수지형 없음	외부·내부 없음	a
	b	1개소	계곡부 또는 집수지형 1개소		
	c	2개소	계곡부 또는 집수지형 2개소		
	d	3개소	계곡부 또는 집수지형 3개소		
	e	4개소	계곡부 또는 집수지형 4개소 이상		

<표 2.7-43> 불안정 지질 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
규모 및 상태	a	없음	없음	파쇄암반사면 국지적 분포	c
	b	일부 분포 (견고)	불안정 지질이 일부 분포하고 있으나 견고한 상태		
	c	국지적 분포 (파쇄)	불안정 지질이 국지적으로 분포하고 있으며 파쇄가 심한 상태		
	d	전반적인 분포 (파쇄)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심한상태		
	e	전반적인 분포 (파쇄, 누수 등)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심하고 누수 및 유실물 등이 발생하고 있는 상태		

<표 2.7-44> 불연속면 특성 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = 51 / 6 = 8.5	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 2.7-45> 불연속면 세부 상태 평가 결과(2구간)

평가항목	등급					현장조사 결과	평가 결과
	a	b	c	d	e		
점수	0	5	10	16	24		
①연장성	1.0m미만	1.0m이상 3.0m미만	3.0m이상 10.0m미만	10.0m이상 20.0m미만	20.0m이상	1.0~3.0m	b (5)
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 5.0㎜미만	5.0㎜이상	0.0~0.1㎜	c (10)
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간거침	c (10)
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	없음	a (0)
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	보통풍화	c (10)
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	0.06~0.2m	d (16)

<표 2.7-46> 지반변형 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
포행, 단차, 배부름 등	a	변형 없음	지반변형이 없는 상태	지반변형 없음	a
	b	약간의 변형	일부 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	d	사면 전반에 걸친 변형	지반변형이 발생하여 붕괴위험은 있으나, 붕괴로 인해 사면하부 주 구조물에는 직접적인 영향이 없는 상태		
	e	사면 전반에 걸친 변형	평가대상 구간 전반에 변형이 발생하여 대규모 붕괴위험이 예상되며 붕괴발생으로 사면하부의 주구조물에 영향을 미칠 수 있는 상태		

<표 2.7-47> 지하수 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
누수 상태 및 위치	a	건조(dry)	지하수의 흐름이 관찰되지 않고 표면이 건조한 상태	건조한 상태	a
	b	젖음(wet) 사면하부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 하부에서 관찰되는 상태		
	c	젖음(wet) 사면상부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 상부에서 관찰되는 상태		
	d	흐름(flow) 사면하부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 하부에서 용출이 관찰되는 상태		
	e	흐름(flow) 사면상부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 상부에서 용출이 관찰되는 상태		

<표 2.7-48> 배수시설 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
배수 조건	a	완전배수	지표 및 지하배수구가 모두 적용되어 원활한 배수를 이루고 있는 상태 또는 사면이 건조한 상태로 배수시설의 적용이 필요하지 않은 상태	양호	b
	b	양호	배수시설이 노후 되었으나 배수기능이 원활한 상태		
	c	보통	배수시설이 노후 되고 일부 균열이 관찰되나, 배수기능이 원활한 상태		
	d	불량	배수시설이 노후 되고 균열 및 변형 등의 결함이 발생하여 배수기능이 불량한 상태		
	e	매우 불량	지표수 및 지하수로 인해 사면의 안전성능에 직접적인 영향을 미치며, 배수시설이 설치되어 있지 않거나 결함으로 인해 배수를 못하는 상태		

<표 2.7-49> 붕괴이력 평가 결과 (2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
붕괴이력	a	없음	없음	없음	a
	b	세굴 및 표층균열	사면의 표면 세굴 및 소규모 유실 등의 발생이력		
	c	표층파괴	표층유실 및 낙석, 암탈락 등 사면 표층 파괴 발생이력		
	d	심층파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 심층파괴 발생이력		
	e	대규모파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 파괴가 발생하여 사면하부 주구조물에 피해가 발생한 상태		

<표 2.7-50> 낙석 발생 규모 평가기준(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 없음	a
	b	1.0㎥미만		
	c	1.0㎥이상, 5.0㎥미만		
	d	5.0㎥이상, 10.0㎥미만		
	e	10.0㎥이상		

<표 2.7-51> 예상 낙석에너지 평가기준(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
예상 낙석 에너지	a	없음	$E_i = (1 - \frac{u}{\tan\theta}) \times (1+\beta) \times m \times g \times H = 0$ 여기서, □E_i = 낙석에너지(kJ), □Θ= 사면의 경사 u□= 낙석의 등가마찰계수(0.15) □ β = 회전에너지계수(0.1) m = 낙석의 중량(t), □H= 낙석의 높이(m) g = 중력가속도(9.8m/sec^2) (u, β는 상수, 각각 0.15, 0.1 적용) → 현장조사 결과 뜬돌 및 이완암이 조사되지 않음	a
	b	50kJ미만		
	c	50kJ이상 70kJ미만		
	d	70kJ이상 120kJ미만		
	e	120kJ이상		

바. 2구간 인장균열 평가 결과

인장균열이 확인되는 경우 인장균열을 반영한 상태안전성능평가 결과를 선정하고 구조안전성능 평가결과 및 현장 상태에 따라 보강 대책방안을 검토해야 한다. 인장균열의 결함점수는 d, e 등급에 따른 각각의 평균값으로 산정한다.

<표 2.7-52> 인장균열 결함점수 산정 결과(2구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가 결과
인장균열	a	8	0.08	인장균열 없음	a
	d	65	0.65		
	e	88	0.88		

본 비탈면의 경우 인장균열이 없는 상태로서 성능별 등급 결과에 따른 상태안전성능평가 결과를 최종 상태평가 안전등급으로 산정하기로 한다.

사. 2구간 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 2.7-53> 상태안전성능 평가 결과 범위(2구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
0 ≤ f < 0.15	0.15 ≤ f < 0.30	0.30 ≤ f < 0.55	0.55 ≤ f < 0.75	0.75 ≤ f

<표 2.7-54> 암반사면의 평가항목별 등급에 따른 점수(2구간)

평가항목	등급에 따른 점수				
	a	b	c	d	e
① 집수지형	0	1	3	4	6
② 불안정 지질	0	3	6	10	15
③ 불연속면의 특성	0	1~5	6~10	11~16	17~24
④ 지반변형	0	2	4	6	9
⑤ 지하수	0	2	3	5	8
⑥ 배수조건	0	2	5	7	11
⑦ 붕괴이력	0	2	4	7	10
⑧ 낙석	0	4	7	11	17
결함지수 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 2.7-55> 상태안전성능평가 결과(2구간)

시설물명		부산기점 STA.47+050~47+350		
사면 종류	절토사면	구성재료	절리암반사면	
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	0	a
	사면 외	0		
불안정 지질		6	6	c
블연속면 특성		8.5	8.5	c
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			16.5	
결함지수		0.165		
상태안전성능평가 결과		B		

아. 전체구간 상태안전성능 평가 결과

구간별 길이 및 평가등급 결과를 고려한 상태안전성능 최종평가 결과는 B로 평가되었다.

<표 2.7-56> 상태안전성능 최종 평가

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
340.0m	1구간	0~200.0m	b(0.175)	B	인장균열 없음
	2구간	200.0~300m	b(0.165)		
	○구간별 평가 후 최소등급 선정 ○인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

7.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

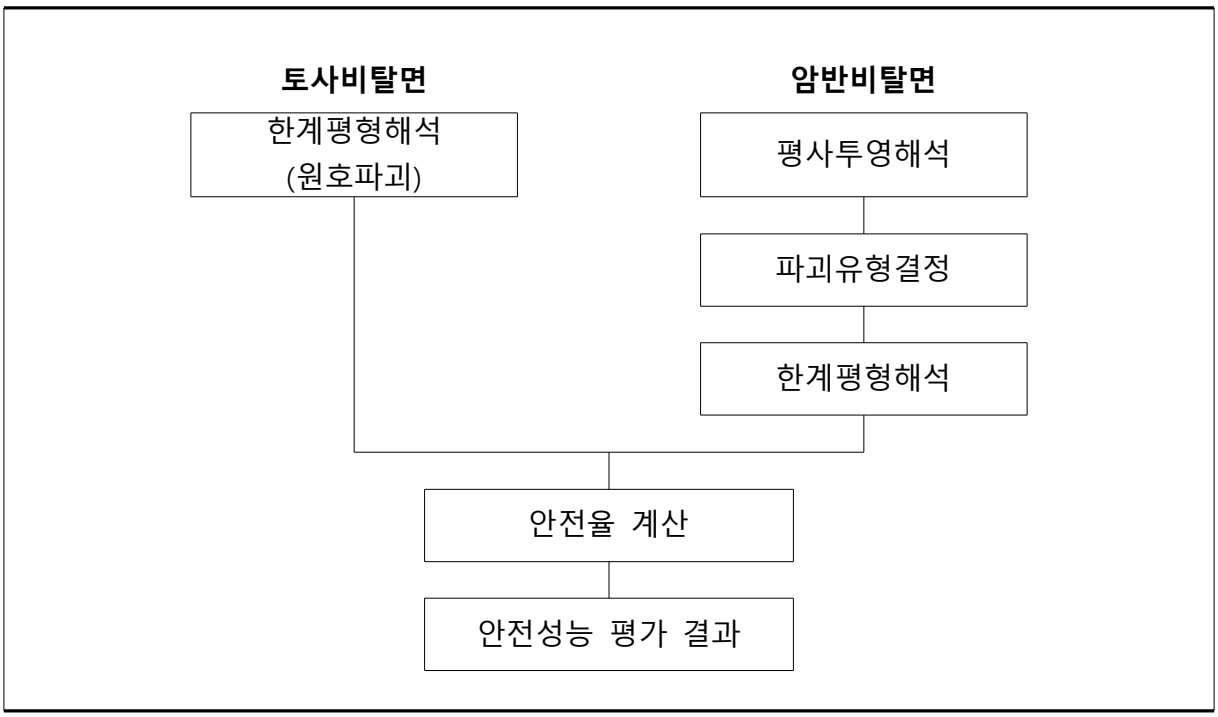
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

금회 성능평가에서는 설계 및 시공중 보강 관련 자료, 공용중 보강자료 등의 검토를 통해 구조안전성능평가에 필요한 항목을 검토하기로 한다. 또한, 이와 더불어 금회 성능평가 현장조사시 획득된 암반 절리 자료를 이용하여 평사투영해석을 시행하기로 한다.

나. 구조안전평가

1) 평가개요

비탈면의 안전성능 평가는 비탈면을 구성하는 지반의 구성물질 및 파괴거동에 따라 다양한 측면에서 검토되어야 한다. 토사비탈면과 토층은 일반적으로 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반비탈면은 평사투영해석을 실시하여 불연속면을 따른 암반의 파괴 가능성 및 파괴유형을 검토한 후 이에 부합하는 한계평형해석을 실시하여야 한다. 또한 암반비탈면의 경우라 할지라도 지반의 강도 특성이나 불연속면의 분포 특성 등에 따라 토사비탈면과 같은 연속적인 거동이 가능한 암반의 경우는 이와 별도로 원호파괴 가능성에 대한 검토가 이루어져야 한다.



<그림 2.7-2> 구조안전성능 평가과정

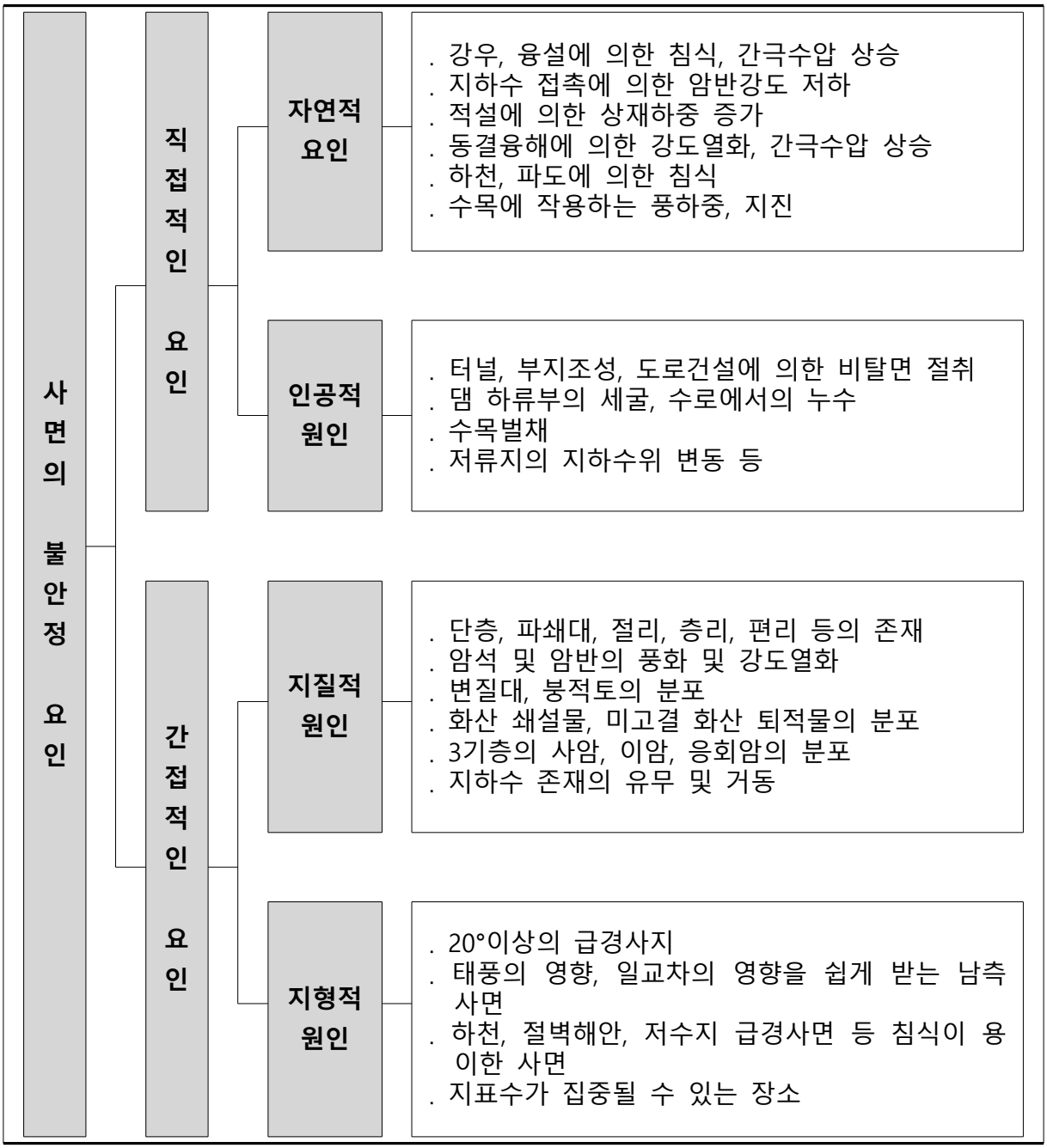
<표 2.7-73> 유형별 안정해석 범위

구 분	평사투영 해석	한계평형해석		비 고
		토 사	암 반	
토사비탈면	-	○	-	. 원호활동에 대한 한계평형 해석 실시
암반비탈면	○	△	○	. 평사투영해석결과 불안정시 파괴 유형에 따른 한계평형해석 수행 . 3m이상의 토층이 관찰되거나 풍화가 심하게 진행되어 원호활동이 예상되는 구간에 대해 평사투영해석결과와 별도로 원호파괴 해석을 실시
혼합비탈면	○	○	○	. 평사투영해석결과 불안정시 파괴 유형에 따른 한계평형해석 수행 . 평사투영해석결과와 별도로 토사구간에 대해 원호파괴해석 실시

ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득

ㅇ설계도면과 현재 제원 비교

2) 비탈면의 불안정 요인

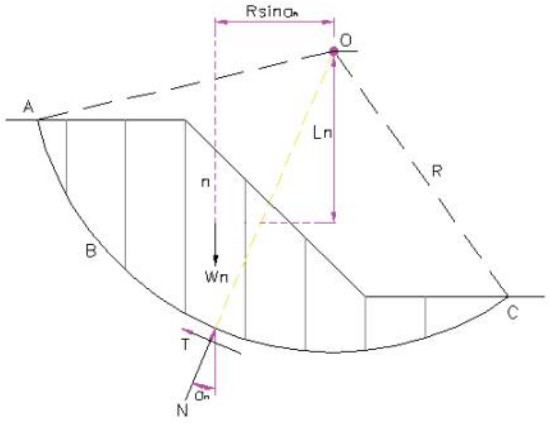


<그림 2.7-3> 구조안전성능 평가과정

3) 비탈면 안정해석 방법

① 한계평형법

한계평형 해석방법은 활동면을 따라 파괴가 일어나려는 순간에 토체의 안정성을 해석하려는 것이다. 문제를 단순화하기 위한 가정을 설정하고 이 방법을 사용하여 간단한 정역학적 이론으로 해를 얻으려 하는 것이다. 한계평형 해석법은 절성토 비탈면의 안정해석에 널리 사용되고 있으며 이 방법의 유용성과 신뢰성은 축적된 경험을 통하여 잘 알려져 있다. 한계평형 이론에 의한 비탈면안정 해석방법은 여러 가지가 있으며, 그 정확성은 강도정수와 비탈면의 기하학적 조건의 정확도 및 각 해석방법 고유의 정밀도에 따라 좌우된다. 한계평형 방법의 기본가정은 직선, 원호, 대수나선으로 가정된 파괴면을 따라 Coulomb의 파괴규준을 만족한다는 것으로 가능한 활동면을 따라 파괴가 일어나려는 순간에 토체의 안정성을 해석하는 것이다. 대표적인 해석방법으로는 ø=0 해석법, Fellenius 방법, Bishop 방법, Janbu 방법, Spencer 방법, Morgenstern & Price, 일반한계평형 방법(GLE) 등이 있다.



$$Fs = \frac{\sum_{n=1}^{n=p}(cb_n + W_n \tan\phi + \Delta T \tan\phi)\frac{1}{m}\alpha(n)}{\sum_{n=1}^{n=p}(\sin\alpha_n)}$$

$$m\alpha(n) = \cos\alpha \quad n + \frac{\tan\phi \cdot \sin\alpha_n}{F_S}$$

여기서

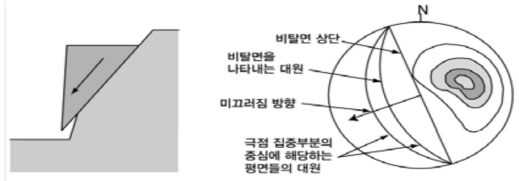
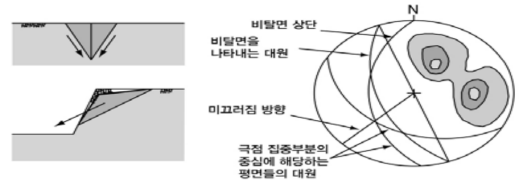
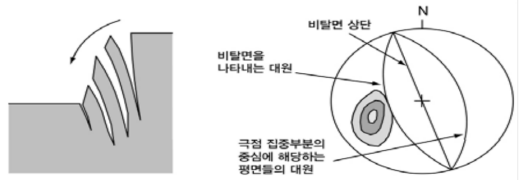
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 2.7-4> Bishop의 안전율 계산식

② 평사투영해석

평사투영법은 비탈면의 방향과 경사, 불연속면의 주향과 경사, 불연속면의 전단저항각을 고려하여 암반 비탈면의 안정성을 개략적으로 검토하는 방법이다. 암반비탈면에 발달하고 있는 불연속면의 방향에 따라 그 파괴형태가 다르게 나타난다. 일반적으로 암반비탈면의 파괴형태는 원형파괴(Circular Failure), 평면파괴(Planar Failure), 쐐기파괴(Wedge Failure) 및 전도파괴(Toppling Failure) 등이 있다.

<표 2.7-74> 비탈면 안정성 분석방법

구 분	파괴 모식도	분석방법
평면파괴		. 불연속면의 주절리가 한 방향으로 발달된 암반에서 발생가능
쐐기파괴		. 쐐기파괴는 두 개의 불연속면을 따라 발생하는 암반블록의 미끄러짐으로 인한 파괴형태
전도파괴		. 전도파괴으 발생조건은 절개면과 절리면의 경사방향이 반대이거나 절리면의 주향과 절개면의 주향이 비슷한 경우에 발생

4) 안전율 기준 - KDS 11 70 05 : 2016

<표 2.7-75> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

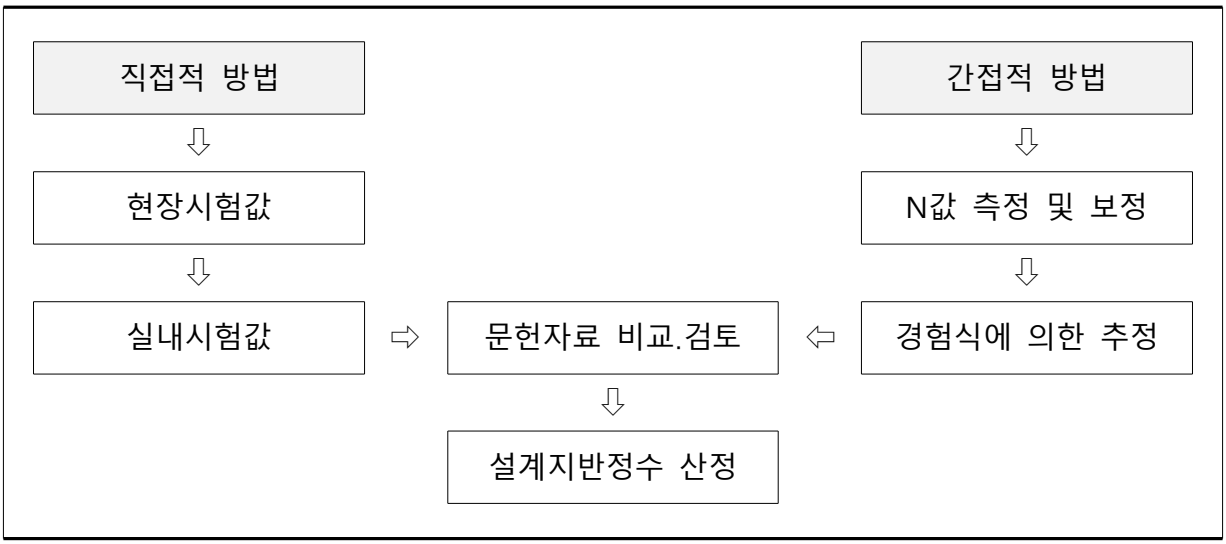
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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	. 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용시킴 . 실제측정 또는 평상시의 지하수위 적용

다. 지반정수 산정

1) 지반정수

대상지역의 지반-구조물의 상호작용에 따른 안정성을 평가하기 위해 현장조사결과를 토대로 경험식, 기존 적용사례 결과를 비교.분석하여 토사 및 암반의 지반정수를 적용하였다.

2) 지반정수 산정흐름



3) 토사/풍화암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 2.7-76> 지반조사편람(서울시, 1996)

지반명	단위중량 (kN/㎥)	점착력 c (MPa)	내부마찰각 (。)	변형계수 D(×10³kN/㎡)	포아송비
풍화토	17~20	0.00~0.01	25~30	20~40	0.5
풍화암	20~22	0.01~0.03	30~35	100~200	0.3~0.4
연 암	23~25	0.03~0.06	30~40	200~400	0.25~0.30
보통암	24~26	0.06~0.15	35~40	400~1,000	0.25
경 암	25~27	0.15~0.20	35~45	1,000~4,000	0.2

<표 2.7-77> 국도건설공사 설계실무요령(국토해양부, 2008)

종 류		재료의 상태		단위중량 (kN/㎥)	내부마찰각 ø(°)	점착력 c(MPa)	분류기호 (통일분류)
흙쌓기	자갈 및 자갈섞인모래	다진것		20	40	0.00	GW, GP
	모 래	다진것	입도가 좋은 것	20	35	0.00	SW, SP
			입도가 나쁜 것	19	30	0.00	
	사 질 토	다진것		18	25	0.03이하	SW, SC
	점 성 토	다진것		18	15	0.05이하	ML, CL MH, CH
자연지반	자 갈	밀실한 것, 입도가 좋은 것		20	40	0.00	GW, GP
		밀실치 않은 것, 입도가 나쁜 것		18	35	0.00	
	자갈섞인 모래	밀실한 것		18	40	0.00	GW, GP
		밀실치 않은 것		19	35	0.00	
	모 래	밀실한 것, 입도가 좋은 것		20	35	0.00	SW, SP
		밀실치 않은 것, 입도가 나쁜 것		18	30	0.00	
	사 질 토	밀실한 것		19	30	0.03이하	SM, SC
		밀실치 않은 것		17	25	0.00	
	점 성 토	굳은 것(손가갈으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=8~15)		18	25	0.05이하	ML, CL
		약간 무른 것(손가락 중간정도의 힘으로 들어감. N=4~8)		17	20	0.03이하	
		무른 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=2~4)		17	20	0.015이하	
	점토 및 실트	굳은 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=8~15)		17	20	0.05이하	CH, MH ML
		약간 무른 것(손가락 중간정도의 힘으로 들어감. N=4~8)		16	15	0.03이하	
		무른 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=2~4)		14	10	0.015이하	

<표 2.7-78> Geotechnical Engineering Investigation(Roy E. Hunt, 1987)

흙의 종류	다짐도	Dr,%	N	γ_{dry} (gf/㎤)	간극비 e	내부 마찰각(ø)
GW (입도분포가 좋은 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	90	2.21	0.22	40
	중간조밀	50	55	2.08	0.28	36
	느 슨	25	<28	1.97	0.36	32
GP (입도분포가 나쁜 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	70	2.04	0.33	38
	중간조밀	50	50	1.92	0.39	35
	느 슨	25	<20	1.83	0.47	32
SW (입도분포가 좋은 모래, 자갈질 모래)	조 밀	75	65	1.89	0.43	37
	중간조밀	50	35	1.79	0.49	34
	느슨	25	<15	1.70	0.57	30
SP (입도분포가 나쁜 모래, 자갈질 모래)	조밀	75	50	1.76	0.52	36
	중간조밀	50	30	1.67	0.60	33
	느슨	25	<10	1.59	0.65	29
SM (실트질 모래)	조밀	75	45	1.65	0.62	35
	중간조밀	50	25	1.55	0.74	32
	느슨	25	<8	1.49	0.80	29
ML (무기질 실트, 매우세립한 모래)	조밀	75	35	1.49	0.80	33
	중간조밀	50	20	1.41	0.90	31
	느슨	25	<4	1.35	1.00	27

◦ 경험식에 의한 방법

<표 2.7-79> 경험식에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

점착력 산정식		내부마찰력 산정식	
$\varnothing = 0$	$c = \frac{q_u}{2}$	Dunham	$\varnothing = \sqrt{12N} + 20$
Dunham	$q_u = \frac{N}{7.7}$	Peck	$\varnothing = 0.3N + 27$
Terzaghi-Peck	$q_u = \frac{N}{8}$	Ohsaki	$\varnothing = \sqrt{12N} + 15$
Ohsaki	$q_u = 4 + \frac{N}{2}$	도로교시방서	$\varnothing = \sqrt{15N} + 15$

◦ 기존 설계자료

<표 2.7-80> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각ø(°)	점착력c(MPa)	비고
기장~장안 국도건설공사	풍화(잔적)토	18	25	0.03	
	풍화암	21	30	0.05	
	연 암	25	32	0.10	
부산~울산간 고속도로 건설공사 (화전~좌동)	풍화(잔적)토	19	28	0.02	직접전단시험
	풍화암	20	30	0.03	
	연 암	24	30	0.10	
부산~울산간 고속도로 건설공사 (두현~굴화)	풍화(잔적)토	18	30	0.01	
	풍화암	20	30	0.05	
	연 암	23	35	0.01	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 2.7-81> Rock Slope Engineering(E. Hoek & J.W.Bary)

암 종	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각(°)	점착력(kN/㎡)
화 성 암 (화강암, 현무암 등)	25~30	35~45	35,000~55,000
변 성 암 (규암, 편마암, 슬레이트)	25~28	30~40	20,000~40,000
견고한 퇴적암 (석회암, 백운암, 사암)	23~28	35~45	10,000~30,000
연약한 퇴적암 (사암, 석탄, 백악, 셰일)	17~23	25~35	1,000~20,000

<표 2.7-82> 국내 암석의 실내시험 결과(지반공학회지)

암종	화강암	편마암	사암	세일	석회암	응회암
단위중량 (kN/㎥)	26.1±0.5	26.3~27.7	26.7±0.8	27.3±1.0	27.3±1.0	24.3~25.6
점착력 (kN/㎡)	13,500 ~25,000	-	15,000 ~40,000	10,000 ~25,000	15,000 ~34,000	4,000 ~15,000
내부마찰각 (°)	51~65	-	35~54	18~29	35~50	35~45

주)시료수 : 화강암(162~2,123), 편마암(117), 사암(494), 셰일(354), 석회암(150), 응회암(33)

<표 2.7-83> 암반의 전단강도 지수(한국도로공사, 도로설계실무편람)

암석종류 (강 도)	암 반 파 쇄 상 태		굴 착 난 이 도	암반의전단강도지수	
	NX 시 추 시 (Double Core Barrel 사용시)				
	T.C.R (%)	R.Q.D (%)		ϕ (°)	C (kN/㎡)
강한 풍화암으로서 파쇄가 거의 없는 경우와 대부분의 연.경암	20~30%	10~25%	발파암반 (연암)	33	130
	40~50%	25~35%	발파암반 (보통암)	35	150
	70% 이상	40~50%	발파암반 (경암)	40	200

◦ 경험식에 의한 방법

<표 2.7-84> Bieniawski(1989)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	-0.051 + 0.008RMR - 3.346×10-5RMR²(MPa)
마찰각(∅)	-0.086 + 0.7891RMR - 0.0031RMR²(degree)

<표 2.7-85> Trueman (1988)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	0.25exp(0.05RMR) (Mpa)
마찰각(∅)	0.5RMR + 5 (degree)

<표 2.7-86> 김교원 (1993)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	0.02exp(0.08RMR*) (Mpa)
마찰각(∅)	0.25(RMR*) + 27.5 (degree)

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 적용 지반정수 요약

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 MPa	프와송비	비 고
풍화토	18	28	0.02	0.3	
풍화암	20	30	0.03	0.3	
연 암	24	32	0.10	0.3	

6) 지반의 불포화 특성

실제 지반은 포화상태보다는 대부분 일정비율의 공기를 함유하고 있는 불포화상태이기 때문에 현실적인 해석결과를 검토하기 위해서는 불포화 특성이 고려된 비정상류 검토를 실시해야 한다. 다만 시험방법이 복잡하고 널리 알려지지 않아 수행에 다소의 어려움이 있어 현장여건을 최대한 반영하기 위해 관련 문헌자료를 이용하여 산정하였다. 불포화 특성은 지반의 불포화영역에서 음의 간극수압 크기에 따라 투수계수 및 함수비(포화도) 변화를 정의하는 것으로 압력수두(음의간극수압)에 따른 투수함수와 함수비함수를 직접정의(개별고려)하는 방법과 압력수두-체적함수비(포화도)-투수계수비의 관계를 정의(동시고려)하는 방법이 있다.

① 개별고려

불포화토 실험자료를 바탕으로 각각 제공되는 함수종류에 따라 Curve Fitting을 통하여 계수를 정의한다.

② 동시고려

JICE(일본국토기술연구센터, 2007)기준에 따라 불포화토 특성재료의 자료를 설정 가능하다. 지반종류별 제공된 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수는 다음과 같다.

<표 2.7-87> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비

구 분	압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비	
	체적함수율-압력수두	체적함수율-투수계수비
역질토	[G], [G-F], [GF]	[G], [G-F], [GF]
사질토	[S], [S-F], [SF]	[S], [S-F], [SF]
점성토	[M], [C]	[M], [C]

7) 수리정수 산정

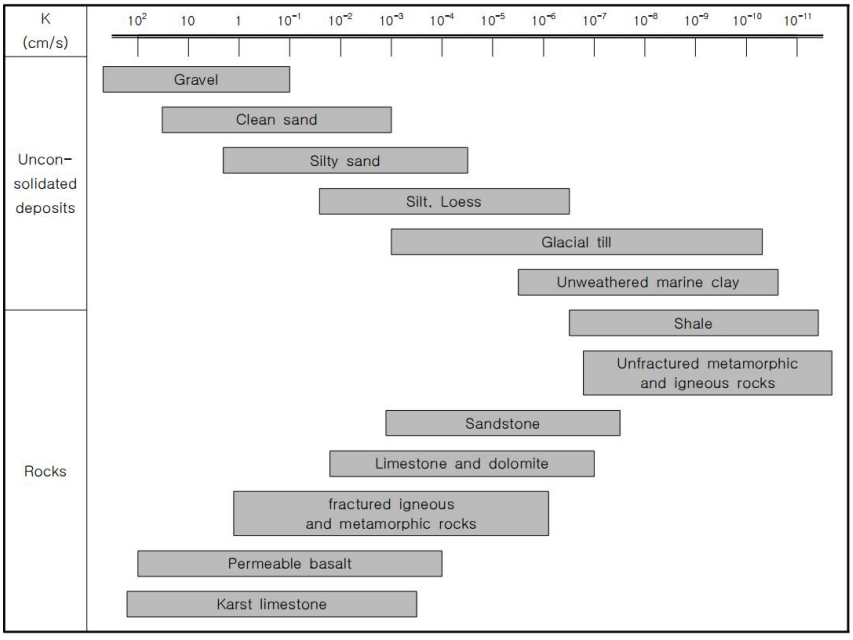
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 2.7-88> 대표적 투수계수

구 분		김 상 규(㎝/sec)	Braja M. Das(㎝/sec)
매립층	모래	1.0E-03~1.0	1.0E-03~1.0
	자갈, 사석	1.0E-02~1.0	1.0E-02~1.0
퇴적층	점성토	1.0E-08~1.0E-03	1.0E-06이하
	모래	1.0E-03~1.0	1.0E-03~1.0
풍화토		1.0E-06~1.0E-02	-

<표 2.7-89> 흙의 종류에 따른 일반적 투수계수(Rartick Power,1992)

흙의 종류	투수계수(㎝/sec)	흙의 종류
자갈(GP)	1.0 이상	양호한 모래(SW)
균등한 자갈(GP)	2.0E-01~1.0	실트질 모래(SM)
양호한 자갈(GW)	3.0E-02~5.0E-02	점토질 모래(SC)
균등한 모래(SP)	5.0E-03~2.0	실트(ML)



<그림 2.7-5> 퇴적물 및 암종별 투수계수(Freeze & Cherry, 1979)

라. 적용 강우강도

1) 강우강도

대상 비탈면에 적용된 강우강도는 한국확률강우량도의 지역별 확률강우량을 적용한다. 관측소가 없는 지역은 최인접 관측소의 확률강우량을 사용하되, 계획대상지점의 확률강우량을 이용하여 강우강도-지속시간-발생빈도 곡선(I.D.F 곡선, Intensity-Duration-Frequency)을 작성하여 최인접 관측소의 확률강우량과 비교 후 큰 값을 적용한다.

2) 설계강우빈도

① 도로배수시설 설계기준 KDS 44 40 00 : 2016

국가건설기준에 따른 도로배수시설의 설계빈도는 위험도・경제성 등을 고려하여 정하며, 구조물별 설계빈도의 적용은 다음 표와 같다.

<표 2.7-90> 도로배수시설 설계빈도

구분	설계빈도	적용위치 및 적용 방법
본선 횡단암거 및 배수관 (도시지역, 산지부)	30년 (50년) 50년 이상	. 일반구간 . 도심지, 도시계획구간 . 국지성 집중호우가 빈번히 발생하는 경우로 조사된 경우
노면 및 흙쌓기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	. 길어깨 및 중분대 등 노면 배수시설 . 흙쌓기부 도수로, 땅깎기흙쌓기경계부 측구 등
측도 및 도로 인접지 배수시설 땅깎기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	. 산마루 측구, 땅깎기부 도수로, 소단 측구 . 흙쌓기 비탈끝 배수시설, 수로이설
집수정 등 배수구조물 간 접속부	접속하는 시설물 중 빈도가 큰 값 적용	

② 비탈면배수시설 설계기준 KDS 11 70 25 : 2016

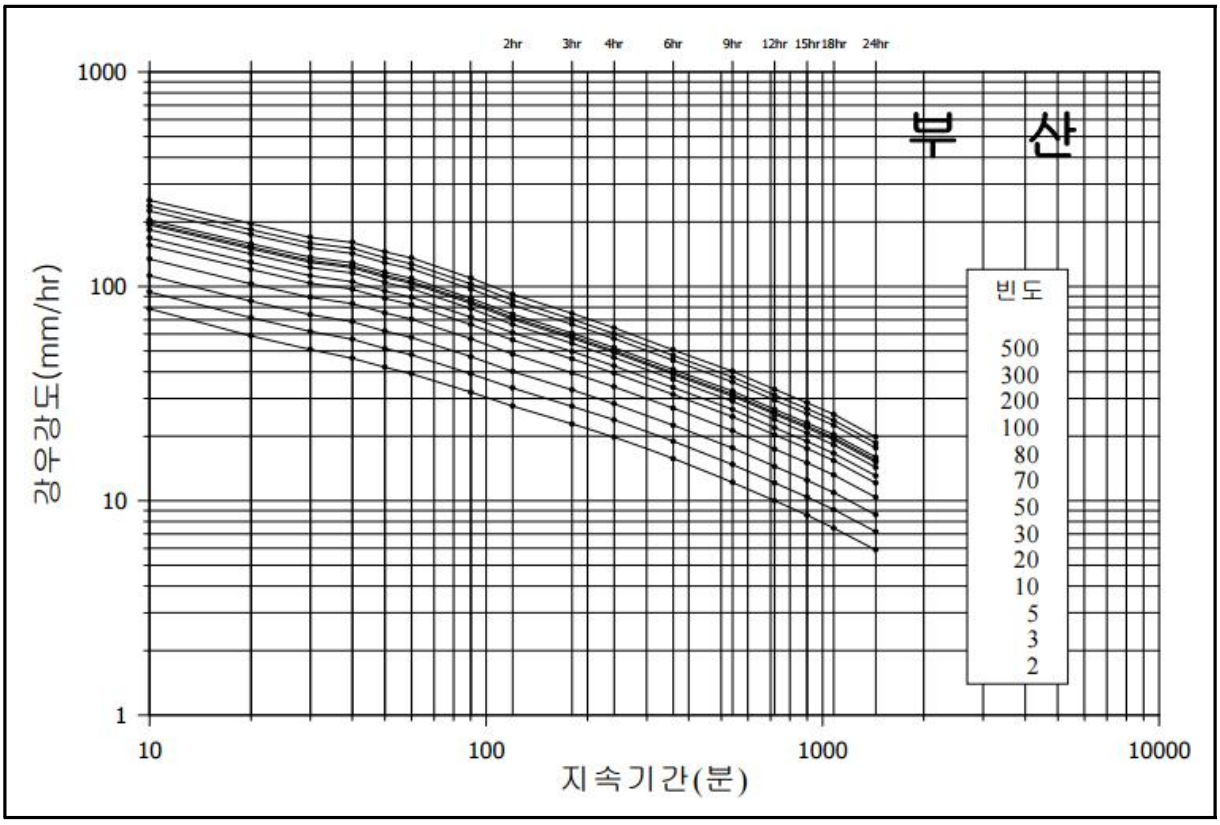
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

③ 적용 강우빈도

대상 비탈면에 적용할 강우빈도는 적용하기 위해 도로배수시설 및 비탈면배수시설의 설계기준을 참조하였으며 일반적으로 비탈면 배수시설에 적용하는 설계빈도는 20년 내외로 검토되었다. 다만 대상 비탈면의 중요도를 고려하여 적용할 강우 재현기간을 100년으로 선정하였다. 강우지속시간은 24시간을 기준으로 사용하였다.

2) 확률강우량 및 IDF곡선

① 부산지역



<그림 2.7-6> 부산지역 IDE곡선

재현기간(년) / 강우지속시간(hr)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	200	300
1	66.80	77.12	82.90	86.89	89.93	92.37	94.40	96.15	97.67	99.03	107.66	112.52
24	12.21	14.88	16.43	17.52	18.36	19.04	19.62	20.12	20.56	20.95	23.52	25.00
48	8.19	10.09	11.19	11.97	12.57	13.06	13.48	13.83	14.15	14.43	16.28	17.35

확률강우강도(㎜/hr)

<그림 2.7-7> 부산지역 확률강우강도

마. 지진시 비탈면 안정해석

1) 비탈면의 내진등급 및 성능목표

비탈면의 내진등급은 상위개념 내진설계기준을 준용하여 비탈면이 속해있는 주 구조물의 내진등급에 따라 Ⅰ등급, Ⅱ등급으로 구분하며 다음 원칙에 따라 결정한다. 비탈면의 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치지는 않으나 기능성 혹은 운영상에 일시적인 영향을 미치는 경우에는 주구조물 보다 한등급 아래의 내진등급을 적용한다. 또한 비탈면의 내진성능수준은 붕괴방지수준(비탈면 설계기준, 2011)으로 이는 비탈면에 인장균열, 부분적 탈락, 배부름 등의 파괴징조는 나타나지만 이로 인해 주구조물의 구조적 성능과 기능적인 역할에 피해를 유발시키지 않는 성능수준이다. 따라서 대상시설물은 주구조물이 고속도로인 내진Ⅰ등급에 해당되며 비탈면 붕괴가 발생할 경우 주구조물의 기능성 혹은 운영상에 일시적인 영향을 받으므로 주구조물과 같은 등급인 내진Ⅰ등급으로 선정하였다.

구조물분류	등급구분	적용대상
도로교	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별한 교량 (장대교량)
	내진Ⅰ등급	• 고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도상의 교량 • 지방도, 시도, 군도 중 방재계획상 필요한 도로에 건설된 교량 • 내진Ⅰ등급교가 건설되는 도로 위를 지나가는 고가교량
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 교량
고속철도	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별히 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	교량, 고가역사, 지하터널역사, 터널, 전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	이외의 구조물
공항구조물	내진특등급	관제탑, 구조 및 소방시설
	내진Ⅰ등급	교량, 지하구조물, 비행장시설, 도로, 건축물 등
	내진Ⅱ등급	하수도, 화물창고, 화물터미널
항만구조물	내진Ⅰ등급	항구의 입지적, 전략적 요건에 의해 주관적으로 분류
	내진Ⅱ등급	안벽, 제방 등 Ⅰ등급으로 할 필요가 없는 구조물
지중구조물	내진특등급	• 특별한 안전이 요구되는 시설 • 긴급구조, 국방 및 치안유지에 필요한 구조물
	내진Ⅰ등급	사회적 혼란이 야기되고 많은 인명, 재산피해를 주는 구조물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 일반적인 구조물
댐	내진특등급	중규모이상으로서 파괴시 하류에 중규모이상의 피해가 야기되는 댐
	내진Ⅰ등급	소규모로서 파괴시 하류에 낮은 수준의 피해가 야기되는 댐
터널	내진특등급	• 긴급구조, 구호, 국방 및 치안유지에 필요한 터널 • 내진특등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅰ등급	내진1등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅱ등급	그 외의 일반적인 터널
도로	내진Ⅰ등급	고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도
	내진Ⅱ등급	지방도, 시도, 군도
철도구조물	내진특등급	내진Ⅰ등급구조물중 복구난이도가 높고 경제사회적으로 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	국방, 치안유지 및 국가산업 활동에 중요역할을 하는 철도선상이나 도시지하철상의 교량,고가역사,지하철터널역사,터널,전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 구조물
건축물	내진특등급	방송국, 유독폭발성물질을 다량보관하는 구조물
	내진Ⅰ등급	소방서, 경찰서, 종합병원, 통신시설, 발전소, 바닥면적이 5000㎡이상인 집회시설, 바닥면적 10000㎡이상인 판매시설, 내진특등급 구조물을 지원하기 위해 필요한 시설물, 교육용건물, 교도소 및 구금시설, 6층 이상의 아파트나 숙박시설, 공공건물중 지진전후로 가동되어야 하는 건축물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 건축물

<그림 2.7-8> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 2.7-91> 설계지반운동 수준

구 분	특등급	Ⅰ등급	Ⅱ등급
붕괴방지수준	평균재현주기 2400년	평균재현주기 1000년	평균재현주기 500년
	-	해당	-

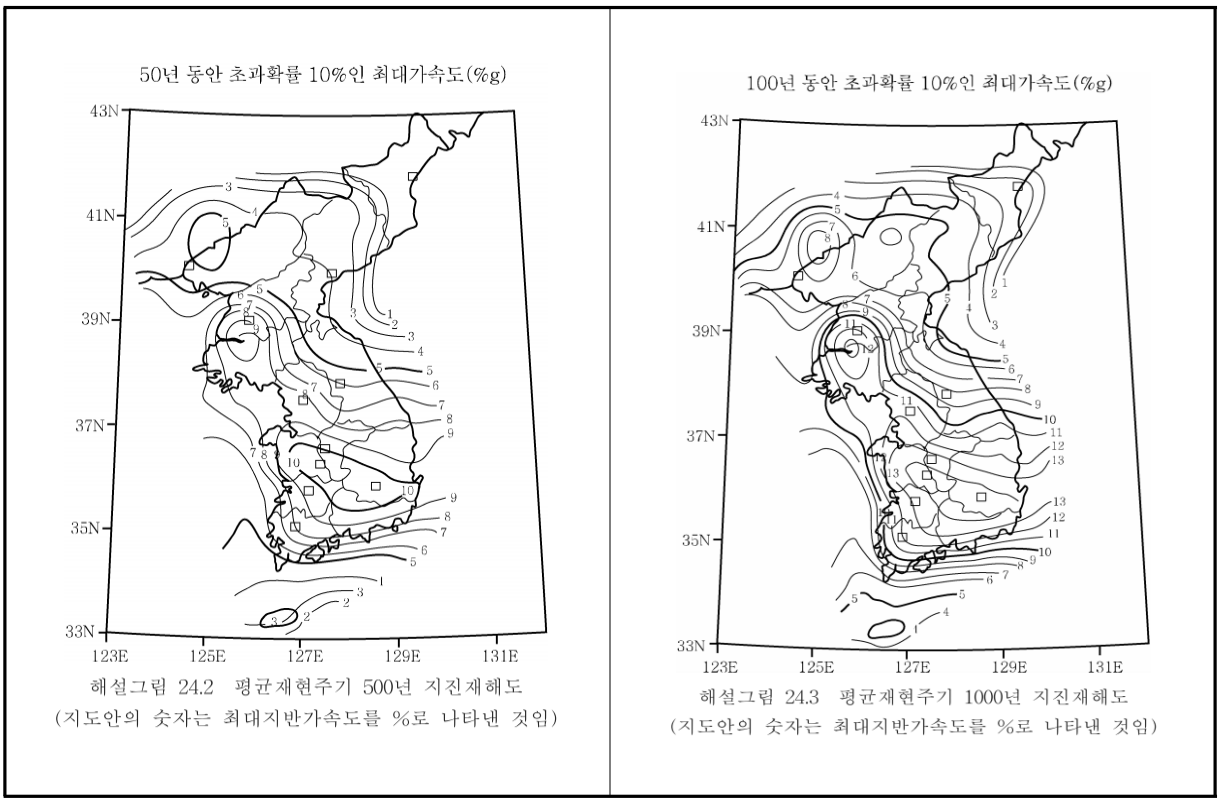
2) 설계지반운동

① 지반가속도계수

지반가속도계수는 지표면 자유장 최대가속도로 해당 지역의 보통암 암반노두를 기준으로 평가하며 지표면에서의 지반가속도계수는 국지적인 토질조건, 지질조건과 지표 및 지하지형이 지반운동에 미치는 영향을 고려해야 한다. 다만 깍기비탈면의 경우 보통암 상태의 노두가 노출되는 경우는 지진재해도 및 지진구역도에서 제시하는 지반가속도계수를 직접적으로 이용할 수 있다.

② 지진재해도를 이용한 지반가속도계수의 산정

지진의 평균 재현주기별로 작성된 지진재해도를 활용하여 비탈면의 내진등급에 따른 지반가속도계수를 산정한다.



해설그림 24.2 평균재현주기 500년 지진재해도
(지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

해설그림 24.3 평균재현주기 1000년 지진재해도
(지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

<그림 2.7-9> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

비탈면이 위치한 지역의 지진구역계수와 내진등급별 재현주기에 따른 위험도계수의 곱으로 지반가속도계수를 산정한다.

<표 2.7-92> 지진구역 구분 및 지진구역계수(재현주기 500년)

지진구역	행정구역		지진구역계수(g)
Ⅰ	시	. 서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시	0.11
	도	. 경기도, 강원도 남부(1), 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 북동부(2)	
Ⅱ	도	. 강원도 북부(3), 전라남도 남서부(4), 제주도	0.07

(1) 강원도 남부(군, 시) : 영월, 정선, 삼척시, 강릉시, 동해시, 원주시, 태백시

(2) 전라남도 북동부(군, 시) : 장성, 담양, 곡성, 구례, 장흥, 보성, 화순, 광양시, 나주시, 여수시, 순천시

(3) 강원도 북부(군, 시) : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천시, 속초시

(4) 전라남도 남서부(군, 시) : 무안, 신안, 완도, 영광, 진도 ,해남, 영암, 강진, 고흥, 함평, 목포시

<표 2.7-93> 지진구역 구분 및 지진구역계수(재현주기 1000년)

재현주기	50년	100년	200년	500년	1000년	2400년
위험도계수	0.4	0.57	0.73	1.00	1.40	2.0

지진구역계수는 각 지진구역별로 평균재현주기 1000년을 기준으로 결정되었으므로 위험도 계수를 이용하여 다른 재현주기에서의 구역별 최대 유효지반가속도를 결정한다.

지역별 최대 유효지반 가속도, g값 = 지진구역계수 × 위험도 계수

3) 지진가속도계수 선정

대상 비탈면의 주구조물은 고속도로로서 비탈면 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치므로 내진등급1등급으로 평가된다. 따라서 지진구역은 I구역으로 재현주기에 따른 위험도계수를 고려한 결과 지진가속도계수는 0.154g이다. 이는 수평방향의 성분으로서 수직방향의 성분의 지진계수는 수평방향의 2/3을 적용한다.(구조동역학(2005) 김두기 : 2/3, 일본기준 : 1/2로 제안)

마. 비탈면 검토구간 및 현황

<표 2.7-94> 검토대상 비탈면구간 및 현황

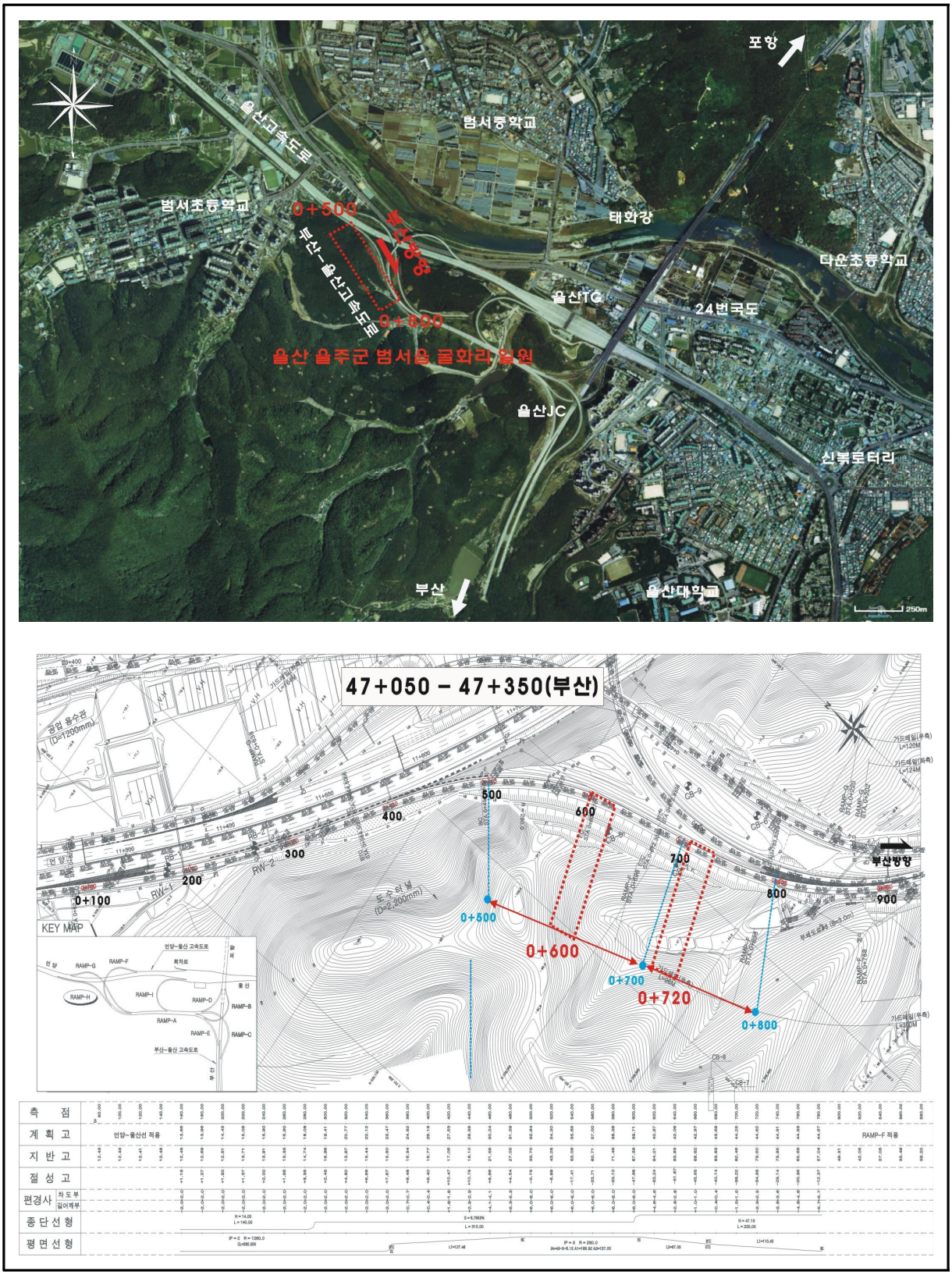
구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
STA.47+050~47+350 (부산)	울산광역시 울주군 범서읍 굴화리	47.05 ~	STA.0+600	28.8	5.6	23.2	-	2008	63/070
			STA.0+720	12.8	1.9	10.9	-	2008	63/070

※ 부산기점 STA.을 설계도면에서 표시된 공구별 STA.으로 분할하여 표시, 검토 표시하였음

<그림 2.7-10> 부산.울산선 검토대상 비탈면구간

사. STA.47+050~47+350(부산) 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



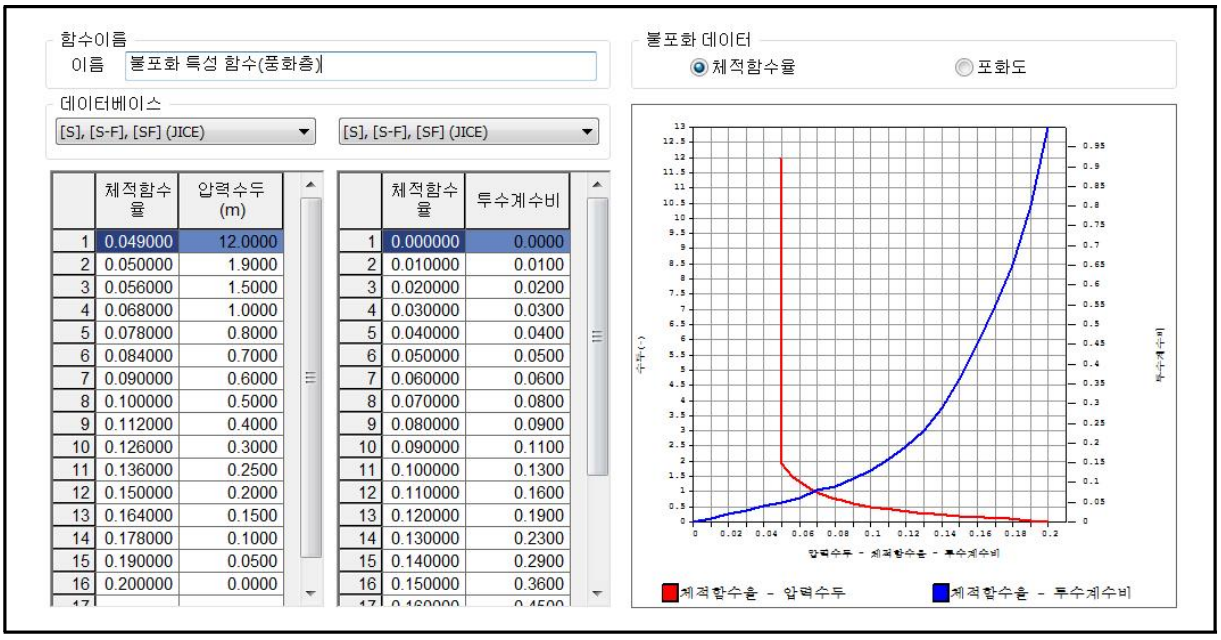
<그림 2.7-11> 부산.울산선 검토대상 비탈면구간

2) 적용 지반정수

지반 정수값은 대상시설물의 실시설계 지반조사보고서 및 주변에서 실시한 지반보고서를 비교, 분석하여 현장 시험값을 기초로 일반적 안전측으로 적용하였다. 투수계수는 문헌자료를 검토하여 일반적인 값을 적용하였다.

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 MPa	투수계수 ㎝/sec	비 고
풍화토	18	28	0.02	1.0E-03	
풍화암	20	30	0.03	1.0E-04	
연암	24	32	0.10	1.0E-05	

지반의 불포화토 특성은 JICE(일본국토기술연구센터, 2007)기준을 적용하였으며 대상지역의 풍화토 및 풍화암의 주된 성분이 실트질 모래 또는 모래섞인 실트로 JICE 기준의 사질토로 구분하여 적용하였다.



	체적함수율	압력수두 (m)
1	0.049000	12.0000
2	0.050000	1.9000
3	0.056000	1.5000
4	0.068000	1.0000
5	0.078000	0.8000
6	0.084000	0.7000
7	0.090000	0.6000
8	0.100000	0.5000
9	0.112000	0.4000
10	0.126000	0.3000
11	0.136000	0.2500
12	0.150000	0.2000
13	0.164000	0.1500
14	0.178000	0.1000
15	0.190000	0.0500
16	0.200000	0.0000

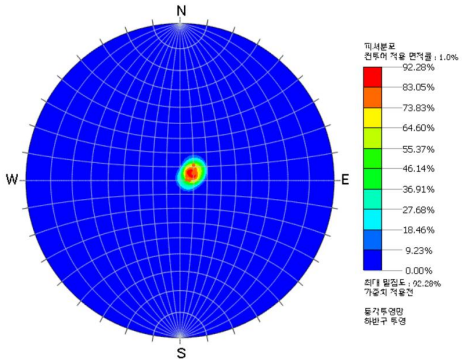
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 2.7-12> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

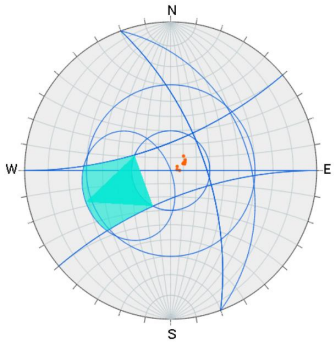
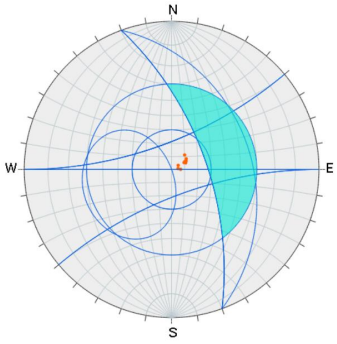
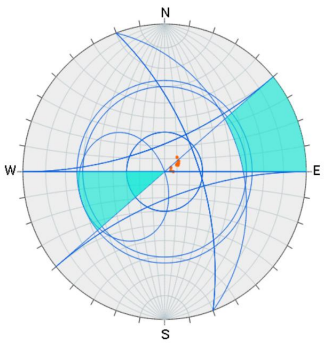
3) 1구간 (STA.0+600, 부산)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
		dip	dip direction
평사 투영도		7	269
		5	262
		13	240
		12	245
		12	239
		6	238
		14	234
		15	222
		11	241

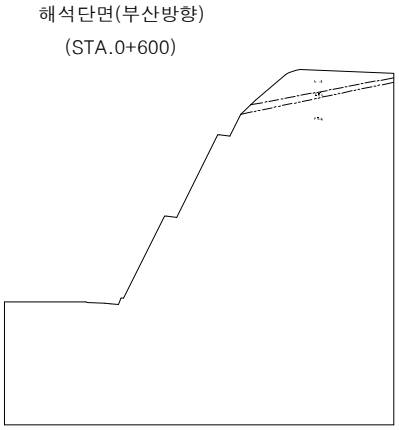
◦ 해석결과

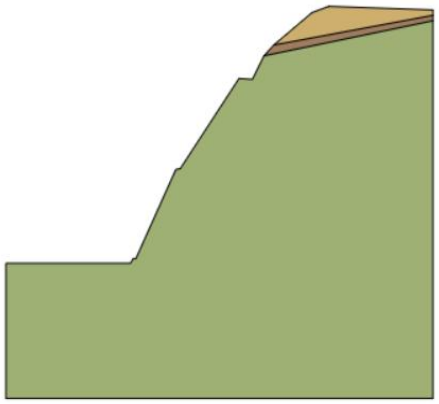
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◉ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◉ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◉ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

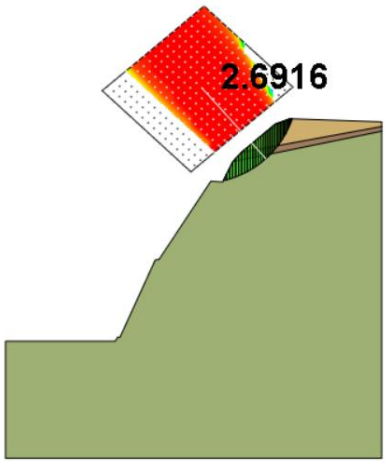
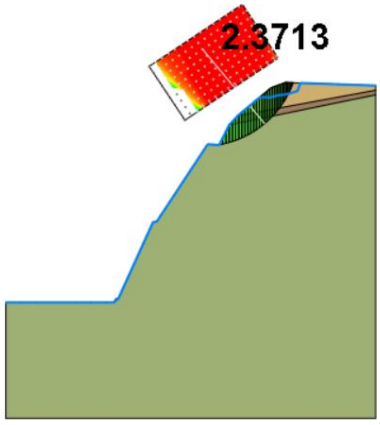
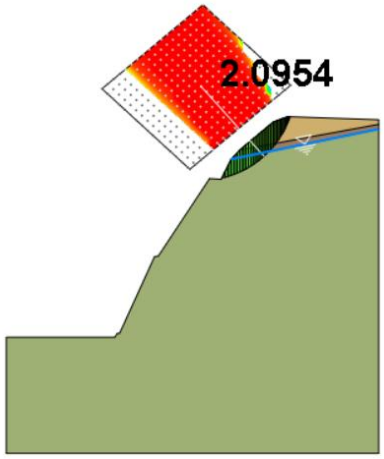
◦ 검토단면





대표단면 : STA.0+600, 부산

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.69	안전율 : 2.37	안전율 : 2.09

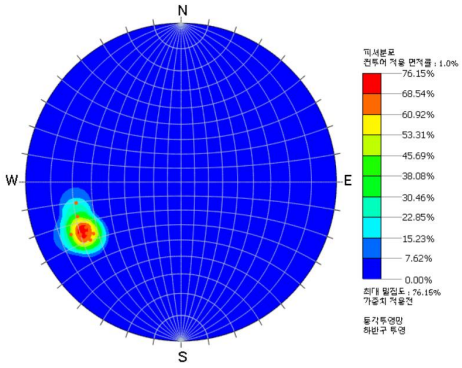
③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	우기시는 침투조건고려
	우기시	Fs ≥ 1.3 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

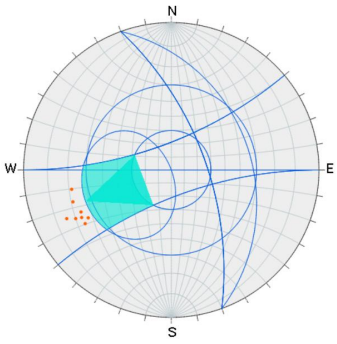
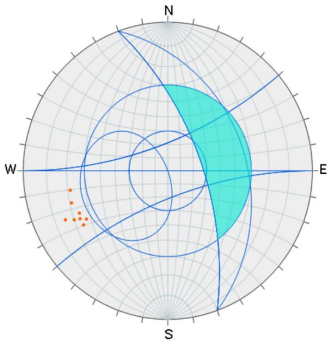
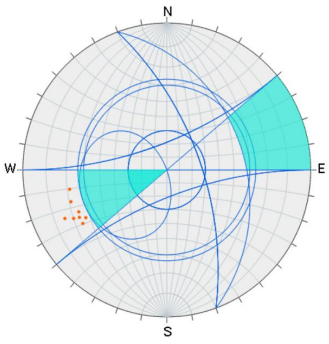
4) 2구간 (STA.0+072, 부산)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
		dip	dip direction
평사 투영도		72	63
		70	72
		76	65
		69	58
		66	60
		67	62
		69	62
		68	65
		69	79

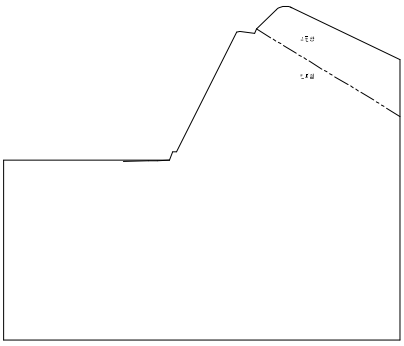
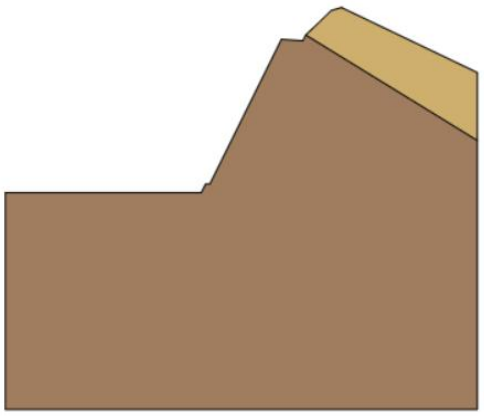
◦ 해석결과

평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

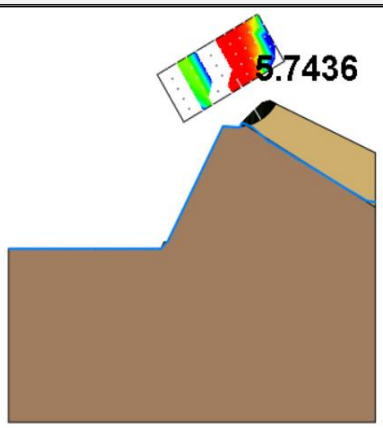
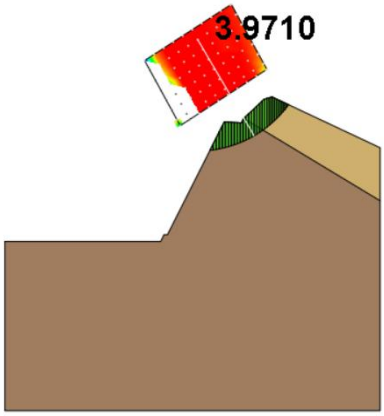
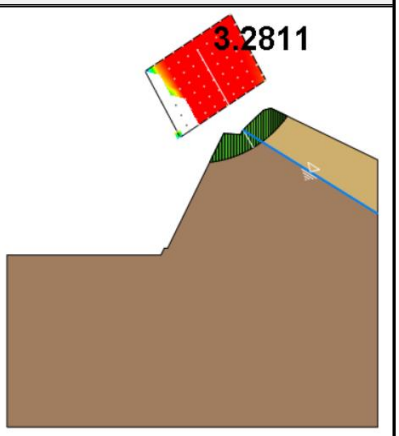
구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	일부 가능성	가능성
평 가	◉ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◉ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◉ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

◦ 검토단면

해석단면(부산방향) (STA.0+720)	
	
대표단면 : 0+720, 부산	

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 5.74	안전율 : 3.97	안전율 : 3.28

③ 2구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	우기시는 침투조건고려
	우기시	Fs ≥ 1.3 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

아. 안전성능평가 결과

구조안전성능평가는 설계 당시의 자료 및 금회 조사된 자료를 검토·분석하여 평가하기로 한다. 설계시 평사투영해석 결과 전도파괴 가능성이 분석되어 한계평형해석을 시행한 결과 건기 및 우기시 허용안전율을 상회하는 것으로 검토되었다. 금회 현장조사를 통한 평사투영해석 결과 각각의 파괴유형에 대한 안전한 것으로 분석되어 구조안전성능평가는 A등급으로 평가되었다.

<표 2.7-95> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**부산기점 STA.47+050~47+350**		
구성 재료	**파괴유형**	**최소안전율**	**평가 결과**	**비 고**
암반구간 (평사투영 해석)	평면파괴	안정	a	평면파괴 가능성 없음
	전도파괴	안정	a	전도파괴 가능성 없음
	쐐기파괴	안정	a	쐐기파괴 가능성 없음
토사구간 (한계평형 해석)	건기시	2.69	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	2.37	a	Fs ≥ 1.3 ⇨ O.K
	지진시	2.09	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

7.4.3 안전성능평가 결과

안전성능 평가는 상태안전성능과 구조안전성능 평가를 실시하여 둘 중 낮은 등급 결과에 따라 최종등급을 결정하여 그에 대한 대책을 마련한다.

상태안전성능평가 결과, 불연속면의 특성 및 지반 변형상태 등은 양호한 것으로 확인되었으나, 소단 배수로에 균열이 확인되었고, 상태안전성능평가 결과 B등급으로 평가 되었다.

금회 본 시설물의 안전성능평가 결과, 일부 부재에서 경미한 결함이 발생하였으며, 결함의 진행여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 성능수준인 B등급으로 평가되었다.

<표 2.7-61> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**부산기점 STA.47+050~47+350**		
평가 구분	결함지수	평가 결과	비 고
상태안전성능	0.175	B	인장균열 없음
구조안전성능	0.080	A	특이파괴 유형 없음
안전성능	0.175	B	
안전성능 결과	ㅇ상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ㅇ**안전성능평가 결과 : B등급**		

<표 2.7-62> 안전성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

안전등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00 ≤(E)< 0.15	외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준
B (양호)	0.15 ≤(E)< 0.30	일부 부재에서 경미한 결함이 발생하였으며, 결함의 진행여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30 ≤(E)< 0.55	광범위한 부재에서 결함이 발생하였으나, 전체적이 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강이 필요한 성능수준
D (미흡)	0.55 ≤(E)< 0.75	심각한 결함에 대한 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용제한 여부를 결정해야 하는 성능 수준
E (불량)	0.75 ≤(E)< 1.00	심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축이 필요한 수준

7.5 내구성능 평가

7.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 2.7-63> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		절리암반사면	SR = 0/48 = 0.00
공용기간		10년	2008년 12월 준공
암반구간 설계(초기)강도		83.2MPa	
면적	전체	25,201㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	25,201㎡	
표면보호공	식 생	25,201㎡	
사면보강공	-	-	

7.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

본 비탈면은 토층심도율을 적용한 결과 암반사면에 해당되며, 지반상태(암반), 표면보호공 및 사면보강공, 절리상태 및 풍화진행도에 대해 평가하기로 한다.

<표 2.7-64> 사면 형식별 내구 성능 지표

구 분	평가 요소		
	토사사면	암반사면	혼합사면
절토사면	○ 지반상태(토질) ○ 표면보호공 ○ 사면보강공	○ 지반상태(암반) ○ 표면보호공 ○ 사면보강공 ○ 절리상태 및 풍화진행도	○ 토사사면과 암반사면 지표를 모두 고려

7.5.3 성능지표별 평가 결과

<표 2.7-65> 암반사면의 지반상태 평가 기준

항목	등급	그룹 A 암석 예			
		설계(초기 점검값) 대비 강도			
		극경암	경암	보통암	연암
지반상태 (암반)	a	97.5%이상 100%이하	95.0%이상 100%이하	94.0%이상 100%이하	90.0%이상 100%이하
	b	95.0%이상 97.5%미만	90.0%이상 95.0%미만	88.0%이상 94.0%미만	80.0%이상 90.0%미만
	c	92.5%이상 95.0%미만	85.0%이상 90.0%미만	82.0%이상 88.0%미만	70.0%이상 80.0%미만
	d	90.0%이상 92.5%미만	80.0%이상 85.0%미만	75.0%이상 82.0%미만	60.0%이상 70.0%미만
	e	90.0%미만	80.0%미만	75.0%미만	60.0%미만

<표 2.7-66> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
하단부 40m	75.5	90.7	초기 강도값(연암) : 83.2MPa 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
하단부 60m	81.9	98.4	
하단부 80m	79.5	95.6	
하단부 100m	84.2	101.2	
하단부 135m	84.3	101.3	
평균값	80.0	96.2	
등급	**a**		

<표 2.7-67> 표면보호공 평가 결과

항목	등급	보호공의 종류	
		식생 (식생 피복율, %)	콘크리트뿜어붙이기 (손상 면적율, %)
표면 보호공	a	매우 양호(90% 이상)	균열 및 박락 없음(0~10% 미만)
	b	양호(70%이상~90%미만)	일부 균열 발생(10%이상~30%미만)
	c	보통(50%이상~70%미만)	균열 및 일부 박락 발생(30%이상~50%미만)
	d	불량(30%이상~50%미만)	박락으로 일부 유실된 상태, 누수발생(50%이상~70%미만)
	e	매우 불량(0%~30%미만)	대부분의 범위에서 박락 및 유실, 누수발생(70%이상)

<표 2.7-68> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	20,590㎡/25.210㎡	81.6%	-	-	
평가	식생 피복율이 81.6%이므로 "b등급"으로 평가함.				

<표 2.7-69> 암반의 풍화도 평가 등급 및 기준

평가항목	절리상태 및 풍화진행도				
	a	b	c	d	e
길이	< 1m	1~3m 미만	3~10m 미만	10~20m 미만	≥ 20m
틈새	0	< 0.1㎜	0.1~1㎜미만	1~5㎜㎜ 미만	≥ 5㎜
거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄
충전물	없음	단단한 충전물 (< 5m)	단단한 충전물 (≥ 5m)	연약한 충전물 (< 5m)	연약한 충전물 (≥ 5m)
풍화진행도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화

<표 2.7-70> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(Set A)			불연속면(Set B)		
	Set 1	Set 2	Set 3	Set 1	Set 2	Set 3
길이(m)	1.0~3.0	1.0~3.0	1.0~3.0	1.0~3.0	1.0~3.0	1.0~3.0
	b(5)	b(5)	b(5)	b(5)	b(5)	b(5)
틈새(㎜)	0.1~1.0	0.3~0.5	0.2~0.8	0.2~0.8	0.3~0.9	0.4~1.0
	c(10)	c(10)	c(10)	c(10)	c(10)	c(10)
거칠기	약간 거침	약간 거침	약간 거침	약간 거침	약간 거침	약간 거침
	c(10)	c(10)	c(10)	c(10)	c(10)	c(10)
충전물	없음	없음	없음	없음	없음	없음
	a(0)	a(0)	a(0)	a(0)	a(0)	a(0)
풍화진행도	보통 풍화	보통 풍화	보통 풍화	보통 풍화	보통 풍화	보통 풍화
	c(10)	c(10)	c(10)	c(10)	c(10)	c(10)
합 계	35	35	35	35	35	35
평 균	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
평가 결과	**c**	**c**	**c**	**c**	**c**	**c**

<표 2.7-71> 절리상태 및 풍화진행도 평가 결과

시험 개소	시험개소별 등급	등급 점수	비 고
Set A- Set 1	c	0.43	최대
Set A- Set 2	c	0.43	최소
Set A- Set 3	c	0.43	
Set B- Set 1	c	0.43	
Set B- Set 2	c	0.43	
Set B- Set 3	c	0.43	
평균값		0.43	최소 및 최대 제외
등 급		**c**	

<표 2.7-72> 사면보강공 평가 결과

항목	등급	보강공 두부 균열 및 파손	보강공 두부와 지반의 밀착도
사면 보강공	a	균열 및 파손 없음	유격 없음
	b	미세한 균열 및 파손 발생	-
	c	일부 균열 및 파손이 발생하였으나, 그 정도가 심각하지 않은 상태	일부 유격 발생
	d	전범위에 걸쳐 균열 및 파손이 발생한 상태	-
	e	균열 및 파손이 심각한 상태	전체적인 유격 발생

<표 2.7-73> 사면 보강공별 등급 현황

항목	밀착도	균열 및 파손	보강시설별 등급	등급 점수	비고
-	-	-	-	-	
평균값	-			-	
등급	**-**				

7.5.4 내구성능 평가 결과

본 비탈면은 암반강도 및 절리상태 및 풍화 진행도, 표면 보호공, 사면 보강공이 있으므로 이를 고려하여 가중치 보정값을 적용하기로 한다.

<표 2.7-74> 사면형식에 따른 지표별 가중치

사면구분	지표명	지표별 가중치				
		기본	가중치 보정			
암반사면	지반상태(암반)	25	28	33	38	-
	절리상태 및 풍화진행도	40	44	53	62	80
	표면보호공	10	-	14	-	20
	사면보강공	-	-	-	-	-

<표 2.7-75> 내구성능 등급 산정

평가항목	등급	등급 점수 (a)	가중치 (b)	결함지수 (a)×(b)
지반상태(암반)	a	0.08	0.33	0.026
절리상태 및 풍화진행도	c	0.43	0.53	0.228
표면보호공	b	0.23	0.14	0.032
결함도 지수				0.286
등 급				**B**

금회 본 시설물의 내구성능평가 결과, 일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.

<표 2.7-76> 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

안전등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00 ≤(E)< 0.15	외부 환경조건 등으로 인한 내구성능 저하가 발생할 가능성이 낮은 성능 수준
B (양호)	0.15 ≤(E)< 0.30	일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30 ≤(E)< 0.55	광범위한 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었거나 주의가 필요한 수준으로 진행되어 간단한 보수가 필요한 성능 수준
D (미흡)	0.55 ≤(E)< 0.75	광범위한 부재에서 내구성 저하가 진행되어 긴급한 보수 또는 교체가 요구되는 성능 수준
E (불량)	0.75 ≤(E)< 1.00	광범위한 부재에서 내구성능의 저하가 심각하게 진행되어 즉각 사용을 금지하고 보수 또는 교체가 필요한 성능수준

7.6 종합평가

7.6.1 종합평가 개요

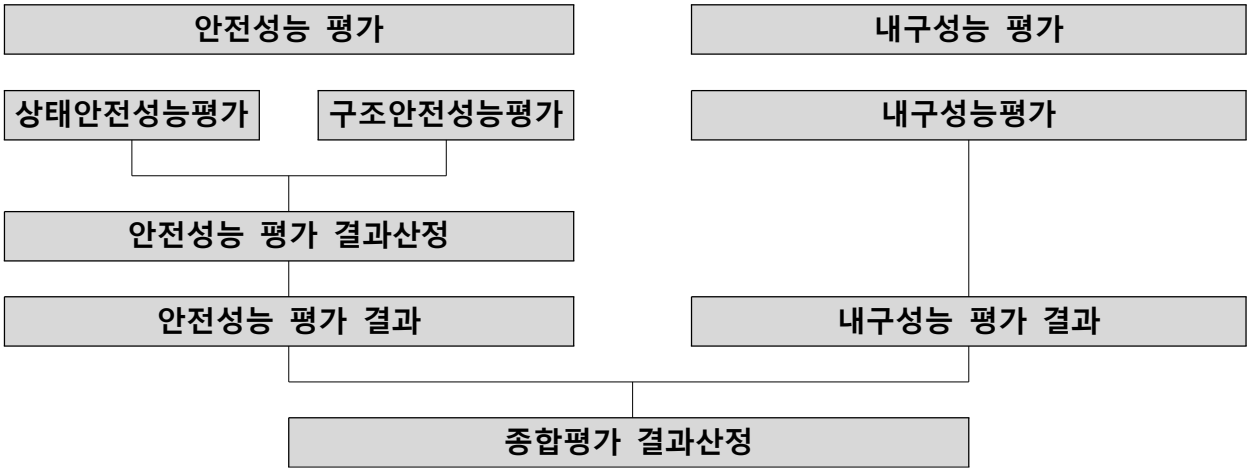
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때

· 안전성능 평가지수가 종합평가의 대표 지수로 산정

○ 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급이 아닐 경우

· 안전성능과 내구성능 각 성능항목의 가중치를 고려하여 산정



<그림 2.7-13> 종합평가 흐름도

7.6.2 종합평가 결과 산정결과

종합평가의 산정방법은 안전성능 평가와 내구성능 평가 지수에 대해 각 성능항목에 따라 부여된 가중치를 곱한 값을 합산하여 구한다. 단, 안전성능평가 결과가 최하위 등급일 경우에는 가중치와 상관없이 안전성능평가 결과를 최종등급으로 산정한다.

사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn))

<표 2.7-77> 성능간 가중치 산정 값

구분	분류	성능항목	
		안전성능	내구성능
성능간 가중치 (Wn)	일반도로 사면 고속도로 사면 일반철도 사면 고속철도 사면	0.8	0.2

<표 2.7-78> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	부산기점 STA.47+050~47+350		**분류**	부산울산고속도로
평가 구분	**성능평가 지수**	**평가 결과**	**성능간가중치(Wn)**	**비 고**
안전성능평가	Ps=0.177	B	0.8	인장균열 없음
내구성능평가	Pd=0.286	B	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.177 × 0.8) + (0.286 × 0.2) = 0.199 ㅇ종합평가 결과 : B등급			

당해 시설물에 대해 종합적으로 성능평가를 실시한 결과 종합성능등급은 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B등급(양호)인 것으로 평가되었다.

<표 2.7-79> 절토사면의 종합평가 결과에 따른 종합성능 등급 기준

종합성능 등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00≤(P)<0.15	외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준
B (양호)	0.15≤(P)<0.30	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30≤(P)<0.55	광범위한 부재에서 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었고 기능 또는 사용상의 편의에 일부 문제점이 있으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강 및 개선이 필요한 성능 수준
D (미흡)	0.55≤(P)<0.75	성능이 기준에 미치지 못하여 시설물의 지속적인 사용이 어려운 수준으로 긴급한 보수.보강 또는 개선이 필요하며 사용제한 여부를 검토해야 하는 성능 수준
E (불량)	0.75≤(P)<1.00	심각한 결함 또는 내구성능 저하로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있거나 기능을 발휘하지 못하는 수준으로 즉각 사용을 중단하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 성능 수준

7.7 유지관리 전략 제안

시설물의 성능목표를 설정하기 위해 성능평가 실시결과와 함께 시설물의 사용환경 등을 검토하여 성능목표에 대한 등급을 지정하여야 한다.

7.7.1 성능목표 설정

『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 성능평가편(2019.01)』에서의 절토사면의 성능목표는 대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 B등급으로 설정하도록 하였다.

□시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법□제6조 제9항 및 동법 시행령 제3조 제4항, 제5항에 의거 5년주기의 "중기 시설물 관리계획"을 수립하여야 한다. 중기 시설물 관리계획에 성능평가 대상시설물에 대한 성능목표 및 관리기준이 설정되어야 하나 아직 계획수립 전에 금회 성능평가가 실시되기 때문에 본 시설물의 성능목표는 관리주체 의견과 관련 법규를 종합적으로 분석하여"B(0.15≤P<0.30)"으로 설정하였다.

<표 2.7-80> 성능목표 등급의 분류기준에 따른 평가점수 범위

기준	A	B	C	D	E
결함도 범위	0.0≤P<0.15	0.15≤P<0.30	0.30≤P<0.55	0.55≤P<0.75	0.75≤P
성능목표	**B등급** 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준				

7.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "B등급(0.199)"으로 평가되었다. 이는 성능목표와 동일한 등급을 유지하고 있는 양호한 상태인 것으로 분석되었다.

<표 2.7-81> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.177	0.286	0.199
평가결과	B	B	B

7.7.3 유지관리 전략 제안

유지관리 전략 제안의 목적은 모든 보수·보강 후보를 대상으로 성능평가지표인 상태안전성능, 구조안전성능, 내구성능, 사용성능에 근거하여 경제적 측면, 환경적 측면, 사회적 영향 등을 고려하여 우선적으로 조치하여야 할 대상을 선정하는데 있다.

가. 손상별 보수·보강 방안

노후화된 구조물에 대한 보수·보강은 손상구조물의 영향정도, 구조물의 중요도, 사용환경조건 및 경제성 등에 의해서 보수·보강 공법 및 수준을 정한다. 본 절토사면의 성능평가 결과, 성능목표인 "B등급"을 만족하는 상태로 금회 조사된 손상들에 대해서는 현상유지 수준의 주의관찰과 손상 진전 억제를 위한 보수가 적정할 것으로 판단된다.

<표 2.7-82> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구 분		손상 내용	보수·보강방안	보수.보강 수준
표면 보호공	표층	식생 비활착	주의관찰	현상유지
		기붕괴 구간	주의관찰	현상유지
		누수	주의관찰	현상유지
	낙석 방지망	상태양호	주의관찰	현상유지
사면 보강공	락볼트	상태양호	주의관찰	현상유지
배수 조건	소단 배수로	토사 적체	주기적 정비	손상 진전 억제
	산마루 배수로	상태양호	주의관찰	현상유지
상부 자연비탈면		상태양호	주의관찰	현상유지

나. 유지관리 전략 제안

1) 성능수준 향상을 위한 전략 제안

본 비탈면은 현재 목표성능을 만족하는 "B등급"의 상태를 유지하고 있으나, 관리주체의 장기적 운영계획에 따라 성능수준 향상이 요구될 경우, 발생 손상들에 대해 아래와 같은 우선순위별 보수방안을 통한 유지관리 전략을 제안한다.

<표 2.7-83> 보수.보강 개략공사비

구 분	수량	단위	단가(천원)	공사비(천원)	비고
배수로 균열	0.5	m	75	38	
녹생토 유실물 적치	190	m	30	5,700	
순 공사비(천원)					5,738
재 경 비(천원)					2,869
총 공사비(천원)					8,607

※ 상기의 계략공사비는 순공사비 기준이며 실시설계시 공법선정 및 현장여건상 변동될 수 있음.
※ 보수물량은 보수효과 및 시공성을 위해 손상물량×1.5를 적용함.

2) 성능수준 향상을 위한 우선순위 산정

성능평가 가중치 및 기타 외부적 요소에 따라 조치별로 평가하여 비용대비 효과가 높은 조치를 선정하고 우선순위를 결정한다. 관리자의 판단에 따라 우선순위지수(PI : Priority Index)는 낮지만 보수가 필요하다고 판단되는 경우 우선순위를 조정할 경우 소견을 작성하여 시설물의 안전 및 유지관리 계획에 수록하여야 한다.

<표 2.7-84> 성능수준 향상을 위한 우선순위

구분	보수.보강방안	손상물량(㎡/m)	보수물량(㎡/m)	단가(천원)	비용 Cost(천원)	요소별 가중치(%)		성능별(EI)		합계(EI)	우선순위지수(PI) EI/Cost	순위
						안전성능 (E_1)	내구성능 (E_2)	안전성능 $E_1 \times P$	내구성능 $E_2 \times P$			
배수조건	주기적 정비	190	190	30	5,700	11	-	8.80	-	8.800	0.0007	1
종합평가 가중치 : P_1 × 80%, P_2 × 20%												

7.8 종합결론

본 성능평가는 현장조사 및 각종시험에 의해 시설물의 성능을 종합적으로 평가하여 시설물의 객관적인 현재의 상태와 장래의 성능 변화를 파악·예측하고, 이를 통해 관리주체가 보수·개량·교체 등의 최적시기 결정 등 합리적 유지관리 전략을 마련하는 데 그 목적을 두고 시행하였다.

1) 안전성능 평가는 외관상 관찰되는 시설물의 결함을 중심으로 조사·평가하였다. 상태안전성능평가 결과, 불연속면의 특성 및 지반 변형상태 등은 양호한 것으로 확인되으나, 소단 배수로에 균열이 확인되었고, 상태안전성능평가 결과 B등급으로 평가 되었다.

현재 손상 상태는 경미한 결함으로 시설물의 안전성에 미치는 영향은 매우 미소한 상태이다. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 결과, 일부 부재에서 경미한 결함이 발생하였으며, 결함의 진행여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.

2) 내구성능평가는 시간에 따라 변화하는 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로서 본 비탈면의 절리상태 및 표면 보호상태에 대한 평가를 시행하였다. 그 결과 일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.

3) 안전성능평가, 내구성능평가 결과를 종합적으로 분석할 때, 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B(양호)등급으로 평가되었다.

4) 본 절토비탈면의 성능목표 등급은 세부지침에 의거하여 절토비탈면의 일반적인 성능목표인 "B"등급으로 성능목표를 설정하였으며, 현재 성능은 목표성능을 만족하는 상태로 주기적인 점검 및 관리를 통한 평가저해요소에 대한 관리가 이루어진다면 시설물의 안전 및 내구성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

제8장 부산울산선 Sta.47+050~47+630(부산)

8.1 대상 시설물 현황

8.2 관련 자료의 분석

8.3 현장조사

8.4 안전성능평가

8.5 내구성능평가

8.6 종합평가

8.7 유지관리전략 제안

8.8 종합결론

제8장 부산울산선 STA.47+050~45+630(부산)

8.1 대상 시설물 현황

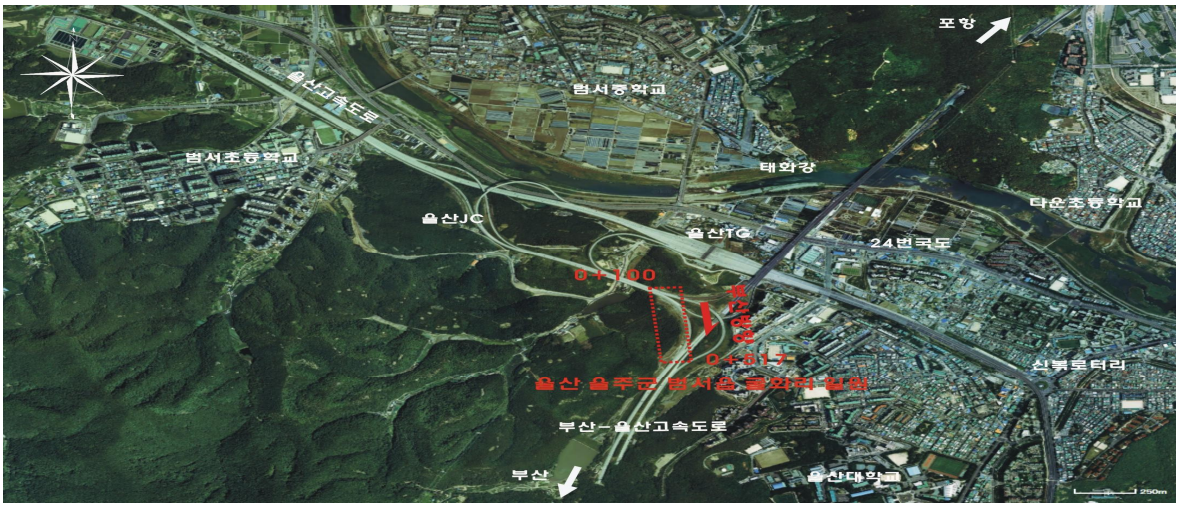
성능평가 대상 시설물인"절토사면-부산울산선 STA.47+050~47+630(부산)"비탈면 현황은 다음과 같다.

<표 2.8-1> 시설물 현황(부산울산선 STA47+050~47+630(부산)

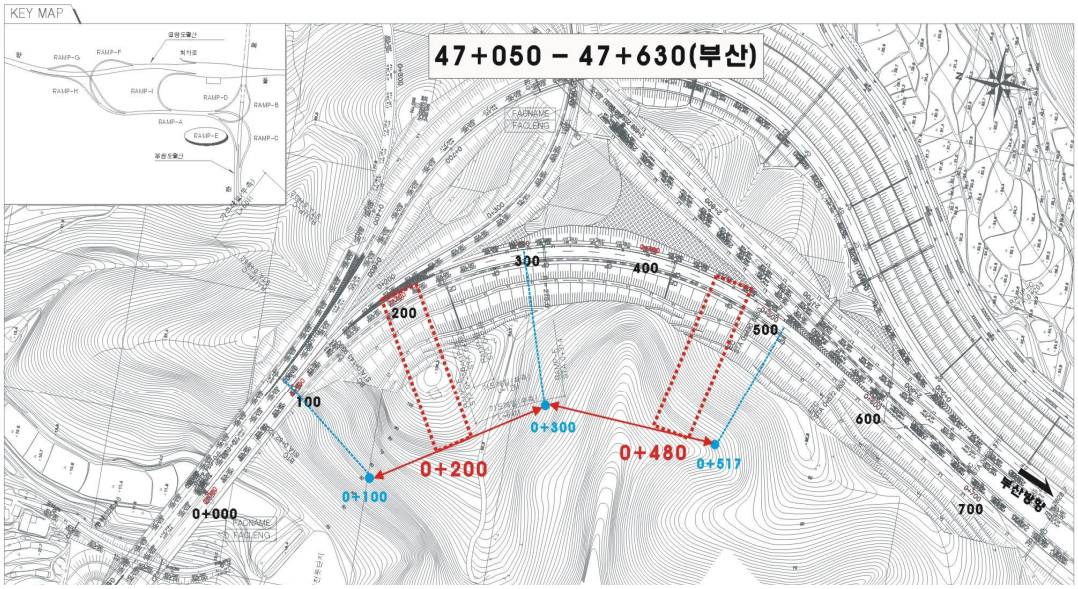
시설물 번호	C-068-47.08-JC-Ra_E-142-R		**관리번호**	-
시설물명	부산울산선STA.47+050~47+630(부산방향)		**시설물구분**	2종시설물
위 치	행정구역	울산광역시 울주군 범서읍 굴화리 산 61-1		
	위치좌표	시 점 : N (35° 33′ 20.58″), E (129° 14′ 49.34″)		
		종 점 : N (35° 33′ 08.26″), E (129° 14′ 53.46″)		
제 원	연 장	580.0m	높 이	55.0m
	경사/방향	63 / 064	노 선	부산울산선
관리주체	부산울산고속도로(주)		관리주체구분	민간
주변환경	인공구조물	-		
	주변지형	준산악	자연비탈면경사	-10 ~ -20°
시공현황	준공년도	2008년 12월 31일	시 공 자	삼성물산(주)
	부대시설	L형 옹벽, 전면점검로, 소단배수로, 종배수로 등		
비 고				

대상 비탈면 전경

※ 상기의 제원 및 현황은 FMS의 시설물관리대장상의 제원을 표기한 것임.
※ 성능평가 결과 관리대장과 상이한 사항은 보고서내 별도 표기 및 이를 기준으로 조사 및 평가를 시행함.



위 치 도



평 면 도

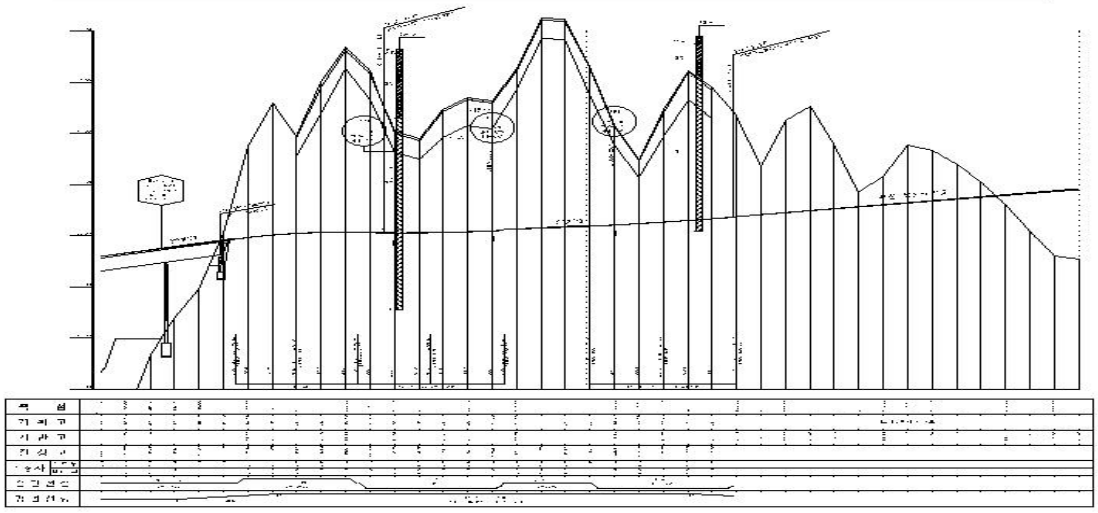


표 준 단 면 도

<그림 2.8-1> 대상 시설물 현황도

8.2 관련 자료의 분석

8.2.1 유지관리 관련 자료 현황

1) 관련 자료 수집 및 분석 현황

자료조사 및 분석은 시설물의 설계, 시공 및 유지관리 관련 자료 및 주변현황 자료로 구분되며 수집된 자료에 대한 분석을 통하여, 첫째로 과업수행의 전체적인 추진방향과 계획을 수립하고, 둘째로 구조물의 이력 확인, 결함 및 손상의 원인분석, 손상의 변화 및 진행성 여부, 보수·보강 대책 및 유지관리 방안을 수립하기 위한 기초자료로 활용하였으며, 자료수집 현황은 다음과 같다.

<표 2.8-2> 유지관리 관련자료 현황

보존대상 목록		보유현황	비 고
설계도서	ㅇ공통 - 준공내역서 - 공사 및 특별시방서 - 각종계산서 - 토질 및 지반조사 보고서 - 기타 특이사항 보고서	 보유 보유 보유 보유 -	ㅇ고속국도 제65호선 부산~울산간 고속도로 민간투자사업 제9공구 준공도서
	ㅇ설계도면 - 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등	보유	ㅇ고속국도 제65호선 부산~울산간 고속도로 민간투자사업 제9공구 준공도서
시 설 물 관리대장	ㅇ기본현황 ㅇ상세제원 ㅇ유지관리 이력	보유 보유 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS) ㅇ한국도로공사 비탈면유지관리시스템
시공관련 자 료	ㅇ시공관련자료 ㅇ품질관리 관련자료 - 재료증명서 - 품질시험기록 - 각종 시험기록 - 시설물 주요 구조 부위에 대한 계측자료 ㅇ사고자료	일부 보유 일부보유 일부보유 일부보유 - - -	ㅇ고속국도 제65호선 부산~울산간 고속도로 민간투자사업 제9공구 준공도서
안전점검 및 정밀안전진단 자료		보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)
보수·보강 자료		일부 보유	ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS)

2) 관련 자료 수집 및 분석 결과

본 시설물은 2008년 준공된 시설물로 설계 및 시공관련 자료 관리 및 보관상태는 대체로 양호한 것으로 조사되었다. 관련자료 분석을 통해 당초 시공시의 개략적인 지반상태를 파악할 수 있다.

8.2.2 지반조사 보고서 분석

본 시설물의 지반조사 분석은 준공도서에 포함된「고속국도 제65호선 부산~울산간 고속도로 민간투자사업(제9공구, 2008년) 지반조사보고서」를 요약·분석하여 성능평가의 기초 자료 활용 및 유지관리시 편의성 제공에 그 목적이 있다.

1) 지 형

조사 지역 주변의 지형은 북북동-남남서. 북서-남서 방향으로 평행하게 발달 된 수 개조의 단 승선을 경계로 본 산계가 나란히 발달 된 것이 특징이다. 산계는 단충과 단흥 사이에 발달하며 비교적 완만 한 산세를 보여주고 있 다. 조사 지역의 지형은 N20E 방향의 동측의 동래 단층과 서측의 양산 단층 사이에서 나타나는 해발 고도 평균 200m 정도의 준 산악 지형이며, 계곡들은 대부분 U 자곡을 형성하고있어 만장 년 기의 지형에 허당된다.

2) 지질 개요

대체로 낮은 산막 지역 인 본 지역은 서폭의 문수산 (해발 599.8m), 북쪽의 삼호 산 등을 주뽕으로 이루고있다. 북동 남서의 방향으로 정면하게 연장되는 산계를 이루고있는 자세는이 지역에 분포 된 암석들의 암질과 지질-구조에 지배받은 것이라 할 수있다. 지역 내 분포하는 암종과 지형 기복은 상관 관계가 있으며, 풍화에 강한 혼 켈스의 분포지는 높은 해발 고도를 형성하며, 백 막기 쇄설 성 퇴적 맘류는 풍화에 의해 지형적으로 구름 지 내지 완 안한 사면을 형성하고있다.

8.2.3 점검 및 진단 이력

본 비탈면은 2009년부터 정기안전점검을 20회, 정밀안전점검 3회 실시한 것으로 조사되었다. 점검 결과 전반적으로 양호한 상태로 특별한 보수·보강을 필요한 구간은 없는 것으로 평가되었다.

<표 2.8-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
1	2009.03.06. ~ 2009.06.30	정기안전점검	양호	양호
2	2009.08.04. ~ 2009.11.25	정기안전점검	양호	양호
3	2010.10.01. ~ 2010.11.29	정밀안전점검	1소단부에서 다수의 균열이 조사되었으며 사면 보호공인 녹생토 시공은 1사면부의 전구간에 걸쳐 탈락된 것으로 조사되었으나 2사면부의 경우 전반적으로 양호한 상태이다. 이 외 도수로, 점검계단 및 종점부의 계단식 옹벽의 경우 양호한 것으로 조사되었다.	A
4	2010.07.07. ~ 2010.12.08	정기안전점검	양호	양호
5	2011.05.23. ~ 2011.06.03	정기안전점검	양호	양호
6	2011.11.01. ~ 2011.11.10	정기안전점검	양호	양호
7	2012.05.02. ~ 2012.05.03	정기안전점검	양호	양호
8	2012.10.22. ~ 2012.10.24	정기안전점검	양호	양호
9	2013.04.15. ~ 2013.04.30	정기안전점검	양호	양호
10	2013.09.23. ~ 2013.09.27	정기안전점검	양호	양호

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
11	2013.12.06. ~ 2013.12.25	정밀안전점검	1소단부에서 균열 보수가 되었으며 사면 보호공인 녹생토 시공은 1사면부의 전구간에 걸쳐 탈락된 것으로 조사되었으나 2사면부의 경우 전반적으로 양호한 상태이다. 이 외 도수로, 점검계단 및 종점부의 계단식 옹벽의 경우 양호한 것으로 조사되었다.	A
12	2014.04.01	정기안전점검	양호	양호
13	2014.09.01	정기안전점검	양호	양호
14	2015.05.25	정기안전점검	양호	양호
15	2015.12.07	정기안전점검	양호	양호
16	2016.05.23. ~ 2016.05.26	정기안전점검	양호	양호
17	2016.06.24. ~ 2016.06.30	정밀안전점검	본 절토사면에 대한 외관조사 결과 녹생토공법이 전구간에 적용 되었으나 1소단 하부의 식생이 불량한 상태이다. 일부구간의 녹생토가 유실되어 L형 옹벽 배면에 집적 되어 제거가 필요한 상태이다. 최상부자연사면 점검결과 인장균열, 지반변형 등의 사면 안정성에 영향을 미칠만한특별한 손상은 관찰되지 않는다. 식생불량 구간:1소단하부(약2,800㎡) L형 옹벽 배면 녹생토 유실물 집적:20~445m구간(L=425.0m)	A
18	2016.12.07	정기안전점검	양호	양호
19	2017.04.27	정기안전점검	양호	양호
20	2017.12.04	정기안전점검	양호	양호

번호	기 간	구 분	주요 점검 결과	안전등급
21	2018.04.23	정기안전점검	양호	양호
22	2018.11.29	정기안전점검	양호	양호
23	2019.04.05	정기안전점검	양호	양호

8.2.4 보수·보강이력

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 유지관리중 보수·보강이력은 없는 것으로 조사되었다.

<표 2.8-4> 보수·보강이력

번호	공사기간	공사내역	공사비(원)	비고
		특이사항 없음		

8.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 내진설계 적용여부에 대한 명확한 근거는 조사되지 않았다.

<표 2.8-5> 내진 설계 적용 여부

검토대상 부재	설계적용여부	결과	검토결과 요약	근거
절토사면	불명	-	내진관련 자료 부족으로 확인 불가	

8.2.6 관련 자료 분석 결과 요약

금회 성능평가시 유지관리 관련자료를 분석한 결과, 본 시설물은 특별한 사고이력 및 상태 변화가 없는 양호한 시설인 것으로 평가되었다. 관련 자료 분석 결과 요약 및 이를 기초로한 금회 성능평가 시행 방향은 다음과 같다.

<표 2.8-6> 관련 자료 분석 결과 요약 및 점검 방향

구 분	자료 분석 결과	성능평가 방향
설계도서	ㅇ준공도서 유지관리중 ㅇ위치도, 횡단면도 등 파악 가능 ㅇ원지반 상태 파악 가능	ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득 ㅇ설계도면과 현재 제원 비교
시설물 관리대장	ㅇ기본현황, 상세제원 확인 가능 ㅇ유지관리 이력 파악 ㅇ시설물 준공 후 최초의 성능평가	ㅇ현장조사를 위한 기초자료로 활용 ㅇ준공후 특별한 보수·보강이력이 없는 상태로서 금회 성능평가시 손상조사시 필요에 따라 보수·보강방안 수립
안전점검 및 정밀안전진단 자료	ㅇ준공후 정기안전점검, 정밀안전점검이 시행되었으며, 전반적으로 양호한 상태임.	ㅇ사면파괴징후에 대한 면밀한 조사 ㅇ필요시 보수보수·보강방안 수립 ㅇ시설물 특성을 고려한 적정한 유지관리방안 제시
보수·보강 자료	ㅇ유지관리 이력상 사면 기붕괴구간에 대한 숏크리트가 시공됨.	ㅇ숏크리트 상태 조사
유지관리 전략 제안	-	ㅇ현장조사 및 관련자료 분석을 통한 항목별 성능평가 시행 ㅇ성능평가 결과에 따라 성능목표 유지를 위한 유지관리 전략 제안

8.3 현장조사

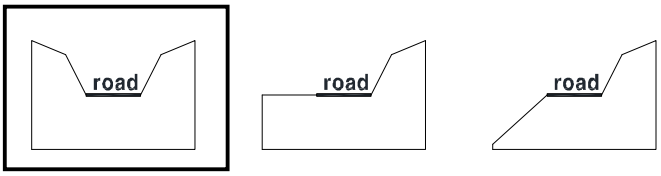
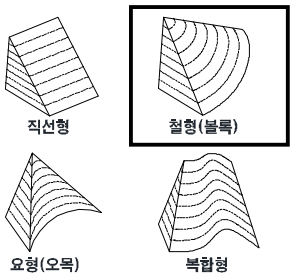
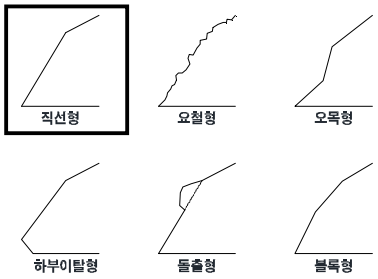
8.3.1 현장조사 체크리스트

관리주체에서 수집된 시설물 유지관리 자료를 참조로하여 현장답사 및 기초 자료를 조사한 결과는 다음과 같다.

<표 2.8-7> 일반현황

<table>
<tr><td>조사일자</td><td colspan="2">2019년 10월 16일</td><td>조 사 자</td><td colspan="2">인승철</td></tr>
<tr><td>일 기</td><td colspan="2">맑음</td><td>관리번호</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td>행정구역</td><td colspan="5">울산광역시 울주군 범서읍 굴화리 산 61-1</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="5">시 점 : N (35° 33′ 20.58″), E (129° 14′ 49.34″)</td></tr>
<tr><td colspan="5">종 점 : N (35° 33′ 08.26″), E (129° 14′ 53.46″)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">도 로</td><td colspan="5">거 리 표 : -</td></tr>
<tr><td colspan="3">편도 2 차선</td><td colspan="2">도 로 폭 : 9.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">교 통 량 : 45,575 대/일</td></tr>
<tr><td rowspan="5">깎기비탈면</td><td colspan="3">길 이 : 580.0m</td><td colspan="2">높 이 : 55.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">경 사/경사방향 : 63 / 064</td></tr>
<tr><td colspan="5">도로와의 이격거리 : 1.0~2.0m</td></tr>
<tr><td colspan="3">구성물질 : 암반</td><td colspan="2">토층심도 : 5.0 ~ 15.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">소 단 : 3</td></tr>
<tr><td rowspan="4">낙석/뜬돌</td><td colspan="3">낙석 존재유무 : 무</td><td colspan="2">낙석의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="5">낙석 평균크기 : -
낙석 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td colspan="3">뜬돌 존재유무 : 무</td><td colspan="2">뜬돌의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="5">뜬돌 평균크기 : -</td></tr>
<tr><td rowspan="10">깎기비탈면
시공현황</td><td>종 류</td><td colspan="2">위 치</td><td colspan="2">상 태</td></tr>
<tr><td>비탈면녹화</td><td colspan="2">전구간(녹생토)</td><td colspan="2">불량</td></tr>
<tr><td>L형 옹벽(1.2m)</td><td colspan="2">전구간</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>전면점검로</td><td colspan="2">87m지점(10m), 123m지점(20m)
300m지점(24m)</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>측면점검로</td><td colspan="2">538~580m지점(42m)</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>소단배수로</td><td colspan="2">1소단 : 18.0~538.0m</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>2소단:44.0~214.0m</td><td colspan="2">양호</td><td colspan="2">균열, 들뜸</td></tr>
<tr><td>종배수로</td><td colspan="2">123m지점(40m), 298m지점(20m)</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>숏크리트</td><td colspan="2">1소단부 2개소, 2소단부 4개소</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td rowspan="2">붕괴이력</td><td>유 형</td><td colspan="2">규 모</td><td colspan="2">위 치</td></tr>
<tr><td>-</td><td colspan="2">-</td><td colspan="2">-</td></tr>
<tr><td>기 타</td><td colspan="5"></td></tr>
</table>

<표 2.8-8> 지형·지질 및 식생

<table>
<tr><td rowspan="3">주변지형의 특성</td><td>주변 지형</td><td colspan="5">준산악</td></tr>
<tr><td>종단면 형상</td><td colspan="5"> 
</td></tr>
<tr><td>기타 특징</td><td colspan="5">-</td></tr>
<tr><td>사면의 특성</td><td>종
횡
단
면</td><td colspan="2"> 
</td><td>종
단
면
특
성</td><td colspan="2"> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="7">상부자연사면</td><td>경 사 도</td><td colspan="4">-10° ~ -20°</td></tr>
<tr><td>인장균열</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>포행흔적</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>수목의 기울어짐</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>인공구조물</td><td colspan="4">철탑(거리 10.0m)</td></tr>
<tr><td>산마루측구</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>계곡부</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td rowspan="4">지 질</td><td colspan="5">
</td></tr>
<tr><td>지질각론</td><td colspan="4">·경상계 신라통 대구층으로 대표암석은 녹회색 내지 암회색 사암, 실트스톤, 셰일과 자색실트스톤, 이암, 역암이 협재
·녹생토 및 식생으로 덮여 있어 불연속면 관찰이 곤란</td></tr>
<tr><td rowspan="3">식 생</td><td>① 종 류</td><td>초 본</td><td>관 목</td><td>침 엽 수</td><td>활 엽 수</td></tr>
<tr><td>② 밀 도</td><td>중</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td></tr>
<tr><td>③ 근계특징</td><td colspan="4">천근성 (○), 심근성 ( )</td></tr>
</table>

<표 2.8-9> 기초조사 자료

<table>
<tr><td rowspan="6">일반현황</td><td>거리표</td><td colspan="3">-</td></tr>
<tr><td>위경도</td><td colspan="3">N (35° 33′ 20.58″), E (129° 14′ 49.34″)
N (35° 33′ 08.26″), E (129° 14′ 53.46″)</td></tr>
<tr><td>차선</td><td colspan="3">편도 (2) 차선</td></tr>
<tr><td>조사일자</td><td colspan="3">20196년 10월 16일</td></tr>
<tr><td>조사자</td><td>인승철</td><td>조사기관</td><td>㈜명성엔지니어링</td></tr>
<tr><td rowspan="15">절토사면
특 성</td><td>길이</td><td>580.0m</td><td>최대높이</td><td>55.0m</td></tr>
<tr><td>경사</td><td>63°(1:0.5)</td><td>상부경사</td><td>-10 ~ -20°</td></tr>
<tr><td>이격거리</td><td>평균 1.0~2.0m</td><td>소단</td><td>3개소</td></tr>
<tr><td>종류</td><td>■암반 □혼합
□토사 □자연</td><td>주변지형</td><td>□산악 ■준산악
□구릉 □평 지</td></tr>
<tr><td rowspan="2">지하수</td><td rowspan="2">■C.dry □damp
□wet □dripping
□flowing</td><td rowspan="2">누수위치</td><td>□상 □중 □하</td></tr>
<tr><td>□좌 □중 □우</td></tr>
<tr><td>풍화도</td><td>□F ■S ■M
□H □C □R</td><td>불연속면
방향성</td><td>□일치 □평행
□후방 ■불가</td></tr>
<tr><td>사면형상</td><td>□직선형 ■철형
□요형 □파형</td><td>측면형상</td><td>■직선형 □요철형
□탈락형 □돌출형</td></tr>
<tr><td>계곡부</td><td>-</td><td>붕괴이력</td><td>□유(영향) □낙석
□유(미영향) □무</td></tr>
<tr><td>뜬돌</td><td>□대 □중
□소 ■무</td><td>낙석</td><td>□대 □중
□소 □무</td></tr>
<tr><td>암종</td><td>사암 및 셰일</td><td>토층심도</td><td>5.0 ~ 15.0m</td></tr>
<tr><td>암반형태</td><td>□massive
□tabular
□columnar
□irregular
■blocky
□crushed</td><td>불연속면</td><td>□절리 □층리
□엽리 □균열
□단층 □전단대
□암맥 □무</td></tr>
<tr><td>시공현황
(상태)</td><td colspan="3">□낙석방지망( ) □낙석방지울타리( )
■측구(양호) ■옹벽(양호) ■식생공(불량)
□돌망태옹벽( ) □계단식옹벽( ) ■도수로(양호)
□기타( )</td></tr>
<tr><td rowspan="5">조사자
소 견</td><td>위험도</td><td>□상 □중 ■하</td><td>피해도</td><td>□상 □중 ■하</td></tr>
<tr><td>붕괴 유형</td><td>□심층 □표층 ■무</td><td>위험등급</td><td>■A □B □C
□D □E</td></tr>
<tr><td>위험구간
(붕괴유형)</td><td colspan="3">□상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( )
□상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( )
□상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( )</td></tr>
<tr><td>필요 주공법</td><td>표면보호공</td><td>조치</td><td>□응급 ■미응급</td></tr>
<tr><td>기타</td><td colspan="3"></td></tr>
</table>

8.3.2 사면분류 및 구간분할

대상 대상 시설물에 대한 현장조사 및 시험은 본 조사를 실시하기 이전에 현장을 답사하여 시설물의 주변 환경과 현 상태를 파악하고, 시설물의 접근방법 및 관련 자료를 검토 후 외관조사를 통하여 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성 확인을 위한 상세한 조사계획을 수하였다. 또한, 물리적, 기능적 결함을 발견하고 안전성을 판단하기 위해 기본시설물 및 부대시설물 등 주요 부재의 현 상태와 시설물의 안전성을 저해할 만한 손상의 유무를 확인하였으며, 시설물 구성부재별로 외관조사 결과는 외관조사망도와 주요 사진을 중심으로 부록자료에 수록하여 향후 시설물 점검 및 유지관리 시에 효율적으로 활용할 수 있게 하였다.

가. 시설물 일반 현황

본 과업 대상 시설물은 부산울산고속도로 부산방향 STA.47+050~47+650에 위치하고 있으며, 시설물관리대장상 길이는 580.0m, 높이 55.0m의 절토사면으로 시설물 안전법상 2종 시설물로 분류된 시설이다.

현장조사를 위한 실측조사 결과 본 구간의 절토사면 총 연장 및 높이는 시설물관리대장과 동일한 것으로 조사되었다.

나. 절토사면의 분류

토층심도 깊이측정을 위한 자료는 준공도서 표준횡단면도를 참고하여 작성하였고, 블록크기 측정을 위한 절리간격은 사면특성조사시 Set1~3에 위치하는 절리군의 평균 간격을 측정하였다.

<표 2.8-10> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{1.1}{55}=0.02$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 79.7~87.9MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{1.5}{55}=0.027$로 0.01초과	절리암반	

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
2구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{1.1}{55}=0.016$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 79.7~87.9MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{1.3}{55}=0.024$로 0.01초과	절리암반	

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
3구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{1.4}{55}=0.025$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 79.7~87.9MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{1.6}{55}=0.029$로 0.01초과	절리암반	

다. 비탈면 구간 분할

연장이 580m로써, 사면의 구간분할 기준인

1) 사면의 구성재료가 변화할 경우

2) 사면의 경사가 10°이상으로 변할 경우

3) 사면의 구성재료와 표준경사가 맞지 않을 경우

4) 사면의 경사방향이 40°이상 변화할 경우

5) 동일 구간의 연장이 200m 이상일 경우

위 기준중 5번에 해당하여, 그에 따라 3개구간으로 분할하여 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

<표 2.8-11> 비탈면 구간 분할

구 분	측 점	비 고
1구간	0~200m	
2구간	200~400m	
3구간	400~580m	

8.3.3 상태안전성능 조사

가. 집수지형

집수지형에 대한 평가는 시·종점부, 요철지형 등 지표수가 직·간접적으로 비탈면에 유입되는 지형에 대한 평가로서 외부와 내부로 구분하여 분석하였다.

비탈면 외부 지형조건은 상부 자연사면이 상향 5°경사를 이루고 있는 것으로 조사되었다. 종점부측으로는 산마루 배수로가 있고, 계곡부에는 수직 도수로가 시공되어 있는 것으로 확인되었다. 유입되는 지표수는 산마루 배수로 및 수직 도수로를 통해 배수되는 것으로 파악되었다.

사면내 기울기 및 경사방향 변화로 인한 사면내 오목한 지형 발생으로 인한 집수지형은 없는 상태이다.

<표 2.8-12> 집수 지형 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
집수지형	외부	시.종점부	EA	-	-	
		계곡부	EA	1	-	수직 도수로
	내부	집수지형 없음	EA	-	-	

나. 불안정 지질

불안정 지질은 절토사면에 분포하는 단층 및 전단대, 파쇄대, 습곡, 암맥 등 주변의 암반과 구성이 다르거나 특정 부분을 중심으로 균열이 집중적으로 발달하여 사면에 작용하는 불안정 요인으로 작용하는 지질 분포규모 및 상태를 평가하는 항목이다.

본 비탈면은 표면보호공으로 식생이 분포하여 전체 사면에 대한 불안정 지질 여부를 평가하기 곤란하여 부분적으로 원지반이 노출된 구간에 대해서 한정적으로 조사하였다.

그 결과 부분적으로 절리가 관찰되며, 보통 풍화 상태를 보이고 있는 것으로 분석되었다.

<표 2.8-13> 불안정 지질 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
불안정 지질	보통 풍화	-	-	-	

다. 불연속면 특성

불연속면은 대개 물리적으로 분리되어 있는 면으로 매우 작은 인장강도를 갖거나 인장강도가 없어 암반으로 구성된 절토사면의 경우 불연속면의 존재는 사면의 안정에 절대적인 영향을 미치게 된다. 이와 관련하여 본 성능평가에서는 소단 하부에는 식생공이 없어 대기에 노출된 원지반을 대상으로 1개소에서 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

<표 2.8-14> 불연속면 특성 조사 결과

구 분	1구간		
	Set 1	Set 2	Set 3
방향성	71/075	70/083	72/070
간격(m)	0.3~0.5	0.1~0.6	0.4~0.9
연장성(m)	1.0~3.0	1.0~3.0	1.0~3.0
틈새(mm)	0.1~1.0㎜	0.1~1.0㎜	0.1~1.0㎜
거칠기	약간거침	약간거침	약간거침
충진물질	hard	hard	hard
풍화도	S.W	S.W	S.W
비고			

라. 지반 변형

지반 변형은 사면의 배부름 현황과 같은 지반 자체 변형과 관련된 항목이다. 본 성능평가에서는 전 구간에 걸쳐 외관조사를 시행하고, 관련 자료 및 청문조사를 통한 과거 이력에 대한 조사도 병행하였다. 외관조사 결과, 지반변형으로 인한 급격한 기울기 변화는 조사되지 않았으며, 과거 이력 조사 결과에서도 손상은 없었던 것으로 확인되었다.

<표 2.8-15> 지반 변형 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
지반 변형	없 음	-	-	-	

마. 배수 조건

사면내 배수시설은 소단배수로, 수직 도수로가 시공되어 있다.

소단배수로 및 수직도수로는 지반 변형으로 인한 부상 및 침하 등의 손상은 없는 것으로 확인되었으나, 소단배수로 일부 구간에 국부적인 파손이 조사되었다.

<표 2.8-16> 배수 조건 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
배수 조건	소단 배수로	파손	㎡	1 /0.20	외부충격	
	수직 도수로	상태 양호	-	-	-	

소단배수로 파손

수직 도수로 상태양호

바. 지하수

지하수에 대한 항목은 사면내 지하수량을 간접적으로 조사하는 항목이다.

비탈면내 누수 여부에 대한 조사 결과, 지하수 용출에 의한 습윤지역 및 누수 현상은 관찰되지 않는 상태이다.

<표 2.8-17> 지하수 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상원인	비 고
지하수	건조된 상태	-	-	-	우기시 조사 결과

사. 붕괴 이력

초기점검 및 기 점검사항을 토대로 확인한 결과, 붕괴이력은 조사되지 않았다.

<표 2.8-18> 붕괴 이력 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
붕괴 이력	상태 양호	-	-	-	

아. 낙석

낙석은 암반사면에서 빈번히 발생되는 붕괴유형으로 사면내 관찰되는 이완암 및 뜬돌의 규모 등을 조사하는 항목이다. 이와 관련하여 사면 하단부 및 소단부에서 낙석 여부 조사 결과 낙석은 조사되지 않았다

<표 2.8-19> 낙석 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상원인	비 고
낙 석	없음	-	-	-	현장조사, 청문조사

자. 인장균열

인장균열 조사는 개략적인 붕괴 규모나 양상을 예측하기 위한 참고 자료로 활용되는 항목으로 본 비탈면에 대한 외관조사 결과, 사면 내·외부에서 인장균열은 조사되지 않는 상태이다.

<표 2.8-20> 인장균열 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상원인	비 고
인장균열	없음	-	-	-	현장조사

8.3.4 내구성능 조사

가. 토사구간의 지반상태

본 비탈면에는 전 구간에 걸쳐 암반으로 구성되어 있으며, 토양경도계를 측정할 수 없으므로 토사구간의 지반상태는 제외토록 하였다.

나. 암반구간의 지반상태

암반강도시험은 총 3개소에서 실시하였으며, 시험 결과에 따른 암종 분류 결과 연암인 것으로 판단된다.

<표 2.8-21> 암반강도시험 결과

시험위치	반발경도(Ro)	추정강도(MPa)	암 판정 결과	비고
STA.30 1단	44.6	79.7	연암	
STA.70 2단	45.6	83.6	연암	
STA.110 1단	46.7	87.9	연암	
검토의견	• 암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 평균반발경도는 44.6~46.7로 측정되었으며, 추정강도 79.7~87.9MPa로 연암으로 판정되어 암반의 강도는 양호한 것으로 판단된다.			

절리면 경사/경사방향 측정

암반 강도시험

다. 표면보호공

표면보호공은 사면의 안전성에는 직접적인 영향을 주지 않으나, 사면의 상태보호 및 유지에 영향을 미치는 요소이다. 식생의 경우는 전체 면적 대비 피복 면적의 비를 기준으로 분석하였으며, 숏크리트는 균열 및 박락 등의 손상을 기준으로 분석하였다.

관련 자료 분석 결과 표층보호를 위한 녹화공법은 사면 전 구간에 걸쳐 녹생토공법이 적용되었으며, 녹생토 부착망의 표층에는 국부적인 식생 비활착이 확인되었다. 조사결과 구간에 탈락, 들뜸이나 파손은 없는 상태로서 주의관찰이 필요하다.

낙석방지망은 시점부 비탈면 하면부터 2소단 배수로에 걸쳐 시공되어 있는 것으로 확인되었다. 와이어 및 망 등에는 파손, 이완 등에 의한 손상은 없으며, 인접부의 낙석도 없는 것으로 조사되었다.

<표 2.8-22> 표면보호공 조사 결과

구 분		손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
표면 보호공	식생 및 표층	녹생토유실	㎡	2 / 3,475	장기공용, 우수유입	
	숏크리트	-	-	-	-	

녹생토유실

숏크리트, 식생 양호

라. 사면보강공

본 비탈면은 관련자료 분석 결과 식생 이외의 특별한 보강시설은 없는 것으로 조사되었으며, 현장조사시 확인한 결과 사면안정을 위한 특별한 보강시설은 확인되지 않았다.

<표 2.8-23> 사면보강공 조사 결과

구 분	손상 내용	단위	손상수량 (개소 / 수량)	손상 원인	비 고
사면 보강공	시설 없음	-	-	-	

8.4 안전성능평가

안전성능평가는 외관상 관찰되는 시설물의 결함을 평가하는 상태안전성능평가와 공학적인 안정성을 평가하는 구조안전성능으로 구분한다.

8.4.1 상태안전성능 평가

가. 시설물의 형식 및 안전성능지표

비탈면 분류는 현장조사 결과를 기초로 하여 관련 자료 분석을 통해 획득한 자료를 최대한 적용하였다. 그 결과 절토사면 높이에 대한 토층심도율이 0.00으로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 세부 분류는 절리암반비탈면으로 평가된다. 불연속면 특성시 2~3구간은 전구간 식생으로 확인이 불가능 하여 평가등급을 지정하지 않고 평가 하였다.

<표 2.8-24> 절토비탈면 분류

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
1구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{1.1}{55}=0.02$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 79.7~87.9MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{1.5}{55}=0.027$로 0.01초과	절리암반	

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
2구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{1.1}{55}=0.016$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 79.7~87.9MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{1.3}{55}=0.024$로 0.01초과	절리암반	

(MPa=10.2kg/㎠)

구 분		분류 기준	평가점수	비탈면종류	
				세부분류	종합분류
3구간	토층 심도율	0.4	$\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{1.4}{55}=0.025$로 0.4미만	암반사면	절리 암반사면
	압축강도	10MPa	반발경도측정결과 79.7~87.9MPa으로 10MPa이상	파쇄암반 절리암반	
	블록크기	0.01	$\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{1.6}{55}=0.029$로 0.01초과	절리암반	

본 시설물은 사면 구성 재료의 특별한 변화가 없으며, 총연장이 580.0m로 사면 분할기준인 200.0m를 상회한다. 비탈면 구간 분할 기준에 의하여 동일 구간의 연장이 200m 이상일 경우로 하여 총 3개소로 분할하여 조사·평가하기로 한다.

<표 2.8-25> 비탈면 구간 분할

위치	비탈면 구간 분할 기준	시설물 현황		
		구성 재료	경사방향 변화	사면 연장
부산기점 STA.47+050 ~47+630	○ 사면 구성재료 변화 ○ 사면 경사방향 40°이상 변화 ○ 동일구간 연장 200.0m 이상	암반	없음 (직선형)	200.0m
구간 분할	○ 1구간 : 0.0 ~ 200.0m ○ 2구간 : 200.0 ~ 400.0m ○ 3구간 : 400.0 ~ 580.0m			

<표 2.8-26> 사면 형식별 상태안전성능지표

구 분	평가 요소		
	토사사면	암반사면	혼합사면
절토사면	○ 집수지형 ○ 지반변형 ○ 지하수 ○ 배수조건 ○ 사면상부 상태 ○ 붕괴이력	○ 집수지형 ○ 불안정지질 ○ 불연속면 특성 ○ 지반변형 ○ 지하수 ○ 배수조건 ○ 붕괴이력 ○ 낙석	○ 불안정지질 ○ 불연속면 특성 ○ 지반변형 ○ 지하수 ○ 배수조건 ○ 붕괴이력 ○ 낙석 ○ 사면상부 상태

나. 1구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 2.8-27> 집수지형 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가결과
사면 내·외 집수지형 개소 수	a	없음	계곡부 또는 집수지형 없음	없음	a
	b	1개소	계곡부 또는 집수지형 1개소		
	c	2개소	계곡부 또는 집수지형 2개소		
	d	3개소	계곡부 또는 집수지형 3개소		
	e	4개소	계곡부 또는 집수지형 4개소 이상		

<표 2.8-28> 불안정 지질 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
규모 및 상태	a	없음	없음	절리암반사면 국부적으로 절리 발달	b
	b	일부 분포 (견고)	불안정 지질이 일부 분포하고 있으나 견고한 상태		
	c	국지적 분포 (파쇄)	불안정 지질이 국지적으로 분포하고 있으며 파쇄가 심한 상태		
	d	전반적인 분포 (파쇄)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심한상태		
	e	전반적인 분포 (파쇄, 누수 등)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심하고 누수 및 유실물 등이 발생하고 있는 상태		

<표 2.8-29> 불연속면 특성 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = 50 / 6 = 8.3	c
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 2.8-30> 불연속면 세부 상태 평가 결과(1구간)

평가항목	등급					현장조사 결과	평가 결과
	a	b	c	d	e		
점수	0	5	10	16	24		
①연장성	1.0m미만	1.0m이상 3.0m미만	3.0m이상 10.0m미만	10.0m이상 20.0m미만	20.0m이상	3.0~10.0m	b (5)
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 5.0㎜미만	5.0㎜이상	0.0~0.1㎜	c (10)
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거침	c (10)
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	없음	b (5)
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	보통풍화	c (10)
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	0.06~0.2m	c (10)

<표 2.8-31> 지반변형 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
포행, 단차, 배부름 등	a	변형 없음	지반변형이 없는 상태	지반변형 없음	a
	b	약간의 변형	일부 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	d	사면 전반에 걸친 변형	지반변형이 발생하여 붕괴위험은 있으나, 붕괴로 인해 사면하부 주 구조물에는 직접적인 영향이 없는 상태		
	e	사면 전반에 걸친 변형	평가대상 구간 전반에 변형이 발생하여 대규모 붕괴위험이 예상되며 붕괴발생으로 사면하부의 주구조물에 영향을 미칠 수 있는 상태		

<표 2.8-32> 지하수 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
누수 상태 및 위치	a	건조(dry)	지하수의 흐름이 관찰되지 않고 표면이 건조한 상태	건조한 상태	a
	b	젖음(wet) 사면하부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 하부에서 관찰되는 상태		
	c	젖음(wet) 사면상부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 상부에서 관찰되는 상태		
	d	흐름(flow) 사면하부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 하부에서 용출이 관찰되는 상태		
	e	흐름(flow) 사면상부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 상부에서 용출이 관찰되는 상태		

<표 2.8-33> 배수시설 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
배수 조건	a	완전배수	지표 및 지하배수구가 모두 적용되어 원활한 배수를 이루고 있는 상태 또는 사면이 건조한 상태로 배수시설의 적용이 필요하지 않은 상태	양호	b
	b	양호	배수시설이 노후 되었으나 배수기능이 원활한 상태		
	c	보통	배수시설이 노후 되고 일부 균열이 관찰되나, 배수기능이 원활한 상태		
	d	불량	배수시설이 노후 되고 균열 및 변형 등의 결함이 발생하여 배수기능이 불량한 상태		
	e	매우 불량	지표수 및 지하수로 인해 사면의 안전성능에 직접적인 영향을 미치며, 배수시설이 설치되어 있지 않거나 결함으로 인해 배수를 못하는 상태		

<표 2.8-34> 붕괴이력 평가 결과(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
붕괴이력	a	없음	없음	없음	a
	b	세굴 및 표층균열	사면의 표면 세굴 및 소규모 유실 등의 발생이력		
	c	표층파괴	표층유실 및 낙석, 암탈락 등 사면 표층 파괴 발생이력		
	d	심층파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 심층파괴 발생이력		
	e	대규모파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 파괴가 발생하여 사면하부 주구조물에 피해가 발생한 상태		

<표 2.8-35> 낙석 발생 규모 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 없음	a
	b	1.0㎥미만		
	c	1.0㎥이상, 5.0㎥미만		
	d	5.0㎥이상, 10.0㎥미만		
	e	10.0㎥이상		

<표 2.8-36> 예상 낙석에너지 평가기준(1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
예상 낙석 에너지	a	없음	$E_i = (1 - \frac{u}{\tan\theta}) \times (1+\beta) \times m \times g \times H = 0$ 여기서, □E_i = 낙석에너지(kJ), □Θ= 사면의 경사, u□= 낙석의 등가마찰계수(0.15) □ β = 회전에너지계수(0.1) m = 낙석의 중량(t), □버= 낙석의 높이(m) g = 중력가속도(9.8m/sec^2) (u, β는 상수, 각각 0.15, 0.1 적용) → 현장조사 결과 뜬돌 및 이완암이 조사되지 않음	a
	b	50kJ미만		
	c	50kJ이상 70kJ미만		
	d	70kJ이상 120kJ미만		
	e	120kJ이상		

<표 2.8-37> 사면의 상부 상태 평가 결과 (1구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
상부 자연사면 경사	a	없음	평지 또는 역경사	상향 5°	b
	b	10°미만	상부자연사면으로부터 지표수가 유입 될 수 있는 정도를 평가하기 위한 것 으로 자연사면의 대표 경사로 평가		
	c	10°이상 20°미만			
	d	20°이상 30°미만			
	e	30°이상			

다. 1구간 인장균열 평가 결과

인장균열이 확인되는 경우 인장균열을 반영한 상태안전성능평가 결과를 선정하고 구조안전성능 평가결과 및 현장 상태에 따라 보강 대책방안을 검토해야 한다. 인장균열의 결함점수는 d, e 등급에 따른 각각의 평균값으로 산정한다.

<표 2.8-38> 인장균열 결함점수 산정 결과(1구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가 결과
인장균열	a	8	0.08	인장균열 없음	a
	d	65	0.65		
	e	88	0.88		

본 비탈면의 경우 인장균열이 없는 상태로서 성능별 등급 결과에 따른 상태안전성능평가 결과를 최종 상태평가 안전등급으로 산정하기로 한다.

라. 1구간 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 2.7-39> 상태안전성능 평가 결과 범위(1구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
$0 \le f < 0.15$	$0.15 \le f < 0.30$	$0.30 \le f < 0.55$	$0.55 \le f < 0.75$	$0.75 \le f$

<표 2.7-40> 암반사면의 평가항목별 등급에 따른 점수(1구간)

평가항목	등급에 따른 점수				
	a	b	c	d	e
① 집수지형	0	1	3	4	6
② 불안정 지질	0	3	6	10	15
③ 불연속면의 특성	0	1~5	6~10	11~16	17~24
④ 지반변형	0	2	4	6	9
⑤ 지하수	0	2	3	5	8
⑥ 배수조건	0	2	5	7	11
⑦ 붕괴이력	0	2	4	7	10
⑧ 낙석	0	4	7	11	17
결함지수 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 2.7-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)

시설물명	부산기점 STA.47+050~47+630			
사면 종류	절토사면	구성재료	절리암반사면	
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	0	a
	사면 외	0		
불안정 지질		3	3	b
블연속면 특성		8.3	8.3	c
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			13.3	
결함지수		0.133		
상태안전성능평가 결과		**A**		

마. 2구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 2.8-42> 집수지형 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가결과
사면 내·외 집수지형 개소 수	a	없음	계곡부 또는 집수지형 없음	없음	a
	b	1개소	계곡부 또는 집수지형 1개소		
	c	2개소	계곡부 또는 집수지형 2개소		
	d	3개소	계곡부 또는 집수지형 3개소		
	e	4개소	계곡부 또는 집수지형 4개소 이상		

<표 2.8-43> 불안정 지질 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
규모 및 상태	a	없음	없음	절리암반사면 국부적으로 절리 발달	b
	b	일부 분포 (견고)	불안정 지질이 일부 분포하고 있으나 견고한 상태		
	c	국지적 분포 (파쇄)	불안정 지질이 국지적으로 분포하고 있으며 파쇄가 심한 상태		
	d	전반적인 분포 (파쇄)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심한상태		
	e	전반적인 분포 (파쇄, 누수 등)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심하고 누수 및 유실물 등이 발생하고 있는 상태		

<표 2.8-44> 불연속면 특성 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = - / 6 = -	-
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 2.8-45> 불연속면 세부 상태 평가 결과(2구간)

평가항목	등급					현장조사 결과	평가 결과
	a	b	c	d	e		
점수	0	5	10	16	24		
①연장성	1.0m미만	1.0m이상 3.0m미만	3.0m이상 10.0m미만	10.0m이상 20.0m미만	20.0m이상	3.0~10.0m	-
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 5.0㎜미만	5.0㎜이상	0.0~0.1㎜	-
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거침	-
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	없음	-
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	보통풍화	-
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	0.06~0.2m	-

<표 2.8-46> 지반변형 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
포행, 단차, 배부름 등	a	변형 없음	지반변형이 없는 상태	지반변형 없음	a
	b	약간의 변형	일부 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	d	사면 전반에 걸친 변형	지반변형이 발생하여 붕괴위험은 있으나, 붕괴로 인해 사면하부 주 구조물에는 직접적인 영향이 없는 상태		
	e	사면 전반에 걸친 변형	평가대상 구간 전반에 변형이 발생하여 대규모 붕괴위험이 예상되며 붕괴발생으로 사면하부의 주구조물에 영향을 미칠 수 있는 상태		

<표 2.8-47> 지하수 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
누수 상태 및 위치	a	건조(dry)	지하수의 흐름이 관찰되지 않고 표면이 건조한 상태	건조한 상태	a
	b	젖음(wet) 사면하부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 하부에서 관찰되는 상태		
	c	젖음(wet) 사면상부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 상부에서 관찰되는 상태		
	d	흐름(flow) 사면하부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 하부에서 용출이 관찰되는 상태		
	e	흐름(flow) 사면상부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 상부에서 용출이 관찰되는 상태		

<표 2.8-48> 배수시설 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
배수 조건	a	완전배수	지표 및 지하배수구가 모두 적용되어 원활한 배수를 이루고 있는 상태 또는 사면이 건조한 상태로 배수시설의 적용이 필요하지 않은 상태	양호	b
	b	양호	배수시설이 노후 되었으나 배수기능이 원활한 상태		
	c	보통	배수시설이 노후 되고 일부 균열이 관찰되나, 배수기능이 원활한 상태		
	d	불량	배수시설이 노후 되고 균열 및 변형 등의 결함이 발생하여 배수기능이 불량한 상태		
	e	매우 불량	지표수 및 지하수로 인해 사면의 안전성능에 직접적인 영향을 미치며, 배수시설이 설치되어 있지 않거나 결함으로 인해 배수를 못하는 상태		

<표 2.8-49> 붕괴이력 평가 결과(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
붕괴이력	a	없음	없음	없음	a
	b	세굴 및 표층균열	사면의 표면 세굴 및 소규모 유실 등의 발생이력		
	c	표층파괴	표층유실 및 낙석, 암탈락 등 사면 표층 파괴 발생이력		
	d	심층파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 심층파괴 발생이력		
	e	대규모파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 파괴가 발생하여 사면하부 주구조물에 피해가 발생한 상태		

<표 2.8-50> 낙석 발생 규모 평가기준(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 없음	a
	b	1.0㎥미만		
	c	1.0㎥이상, 5.0㎥미만		
	d	5.0㎥이상, 10.0㎥미만		
	e	10.0㎥이상		

<표 2.8-51> 예상 낙석에너지 평가기준(2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
예상 낙석 에너지	a	없음	$E_i = (1 - \frac{u}{\tan\theta}) \times (1+\beta) \times m \times g \times H = 0$ 여기서, □E_i = 낙석에너지(kJ), □Θ= 사면의 경사, u□= 낙석의 등가마찰계수(0.15) □ β = 회전에너지계수(0.1) m = 낙석의 중량(t), □H= 낙석의 높이(m) g = 중력가속도(9.8m/sec^2) (u, β는 상수, 각각 0.15, 0.1 적용) → 현장조사 결과 뜬돌 및 이완암이 조사되지 않음	a
	b	50kJ미만		
	c	50kJ이상 70kJ미만		
	d	70kJ이상 120kJ미만		
	e	120kJ이상		

<표 2.8-52> 사면의 상부 상태 평가 결과 (2구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
상부 자연사면 경사	a	없음	평지 또는 역경사	상향 5°	b
	b	10°미만	상부자연사면으로부터 지표수가 유입 될 수 있는 정도를 평가하기 위한 것 으로 자연사면의 대표 경사로 평가		
	c	10°이상 20°미만			
	d	20°이상 30°미만			
	e	30°이상			

바. 2구간 인장균열 평가 결과

인장균열이 확인되는 경우 인장균열을 반영한 상태안전성능평가 결과를 선정하고 구조안전성능 평가결과 및 현장 상태에 따라 보강 대책방안을 검토해야 한다. 인장균열의 결함점수는 d, e 등급에 따른 각각의 평균값으로 산정한다.

<표 2.8-53> 인장균열 결함점수 산정 결과(2구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가 결과
인장균열	a	8	0.08	인장균열 없음	a
	d	65	0.65		
	e	88	0.88		

본 비탈면의 경우 인장균열이 없는 상태로서 성능별 등급 결과에 따른 상태안전성능평가 결과를 최종 상태평가 안전등급으로 산정하기로 한다.

사. 2구간 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 2.7-54> 상태안전성능 평가 결과 범위(2구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
$0 \le f < 0.15$	$0.15 \le f < 0.30$	$0.30 \le f < 0.55$	$0.55 \le f < 0.75$	$0.75 \le f$

<표 2.7-55> 암반사면의 평가항목별 등급에 따른 점수(2구간)

평가항목	등급에 따른 점수				
	a	b	c	d	e
① 집수지형	0	1	3	4	6
② 불안정 지질	0	3	6	10	15
③ 불연속면의 특성	0	1~5	6~10	11~16	17~24
④ 지반변형	0	2	4	6	9
⑤ 지하수	0	2	3	5	8
⑥ 배수조건	0	2	5	7	11
⑦ 붕괴이력	0	2	4	7	10
⑧ 낙석	0	4	7	11	17
결함지수 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 2.7-56> 상태안전성능평가 결과(2구간)

시설물명		부산기점 STA.47+050~47+630		
사면 종류	절토사면	구성재료		절리암반사면
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	0	a
	사면 외	0		
불안정 지질		3	3	b
블연속면 특성		0	0	a
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		2	2	b
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			5	
결함지수		0.050		
상태안전성능평가 결과		**A**		

아. 3구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

<표 2.8-57> 집수지형 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가결과
사면 내·외 집수지형 개소 수	a	없음	계곡부 또는 집수지형 없음	없음	a
	b	1개소	계곡부 또는 집수지형 1개소		
	c	2개소	계곡부 또는 집수지형 2개소		
	d	3개소	계곡부 또는 집수지형 3개소		
	e	4개소	계곡부 또는 집수지형 4개소 이상		

<표 2.8-58> 불안정 지질 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
규모 및 상태	a	없음	없음	절리암반사면 국부적으로 절리 발달	b
	b	일부 분포 (견고)	불안정 지질이 일부 분포하고 있으나 견고한 상태		
	c	국지적 분포 (파쇄)	불안정 지질이 국지적으로 분포하고 있으며 파쇄가 심한 상태		
	d	전반적인 분포 (파쇄)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심한상태		
	e	전반적인 분포 (파쇄, 누수 등)	퇴적암을 포함하는 불안정 지질이 사면 전반에 걸쳐 분포하고 있으며, 파쇄가 심하고 누수 및 유실물 등이 발생하고 있는 상태		

<표 2.8-59> 불연속면 특성 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	평가 결과
불연속면 상태	a	매우 양호	불연속면 상태 점수 =Σ(①~⑥) / 6 = - / 6 = -	-
	b	양호		
	c	보통		
	d	불량		
	e	매우 불량		

<표 2.8-60> 불연속면 세부 상태 평가 결과(3구간)

평가항목	등급					현장조사 결과	평가 결과
	a	b	c	d	e		
점수	0	5	10	16	24		
①연장성	1.0m미만	1.0m이상 3.0m미만	3.0m이상 10.0m미만	10.0m이상 20.0m미만	20.0m이상	3.0~10.0m	-
②틈 새	0	0.1㎜미만	0.1㎜이상 1.0㎜미만	1.0㎜이상 5.0㎜미만	5.0㎜이상	0.0~0.1㎜	-
③거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄	약간 거침	-
④충전물	없음	단단한 충전물 (5㎜미만)	단단한 충전물 (5㎜이상)	연약한 충전물 (5㎜미만)	연약한 충전물 (5㎜이상)	없음	-
⑤풍화도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화	보통풍화	-
⑥절리간격	2.0m이상	0.6m이상 2.0m미만	0.2m이상 0.6m미만	0.06m이상 0.2m미만	0.06m미만	0.06~0.2m	-

<표 2.8-61> 지반변형 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
포행, 단차, 배부름 등	a	변형 없음	지반변형이 없는 상태	지반변형 없음	a
	b	약간의 변형	일부 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	c	국지적인 변형	여러 구간에 변형이 발생하였으나, 사면의 안전성능에는 영향이 없는 상태		
	d	사면 전반에 걸친 변형	지반변형이 발생하여 붕괴위험은 있으나, 붕괴로 인해 사면하부 주 구조물에는 직접적인 영향이 없는 상태		
	e	사면 전반에 걸친 변형	평가대상 구간 전반에 변형이 발생하여 대규모 붕괴위험이 예상되며 붕괴발생으로 사면하부의 주구조물에 영향을 미칠 수 있는 상태		

<표 2.8-62> 지하수 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
누수 상태 및 위치	a	건조(dry)	지하수의 흐름이 관찰되지 않고 표면이 건조한 상태	건조한 상태	a
	b	젖음(wet) 사면하부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 하부에서 관찰되는 상태		
	c	젖음(wet) 사면상부	사면의 표면이 축축하거나 습하게 젖은 정도로 사면 상부에서 관찰되는 상태		
	d	흐름(flow) 사면하부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 하부에서 용출이 관찰되는 상태		
	e	흐름(flow) 사면상부	사면 표면에서 물이 흐르는 상태이며, 사면 상부에서 용출이 관찰되는 상태		

<표 2.8-63> 배수시설 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
배수 조건	a	완전배수	지표 및 지하배수구가 모두 적용되어 원활한 배수를 이루고 있는 상태 또는 사면이 건조한 상태로 배수시설의 적용이 필요하지 않은 상태	배수로 국부적인 파손	c
	b	양호	배수시설이 노후 되었으나 배수기능이 원활한 상태		
	c	보통	배수시설이 노후 되고 일부 균열이 관찰되나, 배수기능이 원활한 상태		
	d	불량	배수시설이 노후 되고 균열 및 변형 등의 결함이 발생하여 배수기능이 불량한 상태		
	e	매우 불량	지표수 및 지하수로 인해 사면의 안전성능에 직접적인 영향을 미치며, 배수시설이 설치되어 있지 않거나 결함으로 인해 배수를 못하는 상태		

<표 2.8-64> 붕괴이력 평가 결과(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
붕괴이력	a	없음	없음	없음	a
	b	세굴 및 표층균열	사면의 표면 세굴 및 소규모 유실 등의 발생이력		
	c	표층파괴	표층유실 및 낙석, 암탈락 등 사면 표층 파괴 발생이력		
	d	심층파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 심층파괴 발생이력		
	e	대규모파괴	사면의 전반적인 안정성에 영향을 미치며, 보강공법을 요하는 대규모 파괴가 발생하여 사면하부 주구조물에 피해가 발생한 상태		

<표 2.8-65> 낙석 발생 규모 평가기준(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
발생 규모	a	없음	낙석 없음	a
	b	1.0㎥미만		
	c	1.0㎥이상, 5.0㎥미만		
	d	5.0㎥이상, 10.0㎥미만		
	e	10.0㎥이상		

<표 2.8-66> 예상 낙석에너지 평가기준(3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	현장조사 결과	평가 결과
예상 낙석 에너지	a	없음	$E_i = (1 - \frac{u}{\tan\theta}) \times (1+\beta) \times m \times g \times H = 0$ 여기서, □E_i = 낙석에너지(kJ), □Θ= 사면의 경사, u□= 낙석의 등가마찰계수(0.15) □ β = 회전에너지계수(0.1) m = 낙석의 중량(t), □버= 낙석의 높이(m) g = 중력가속도(9.8m/sec^2) (u, β는 상수, 각각 0.15, 0.1 적용) → 현장조사 결과 뜬돌 및 이완암이 조사되지 않음	a
	b	50kJ미만		
	c	50kJ이상 70kJ미만		
	d	70kJ이상 120kJ미만		
	e	120kJ이상		

<표 2.8-67> 사면의 상부 상태 평가 결과 (3구간)

평가항목 및 등급		평가 기준	평가 내용	현장조사 결과	평가 결과
상부 자연사면 경사	a	없음	평지 또는 역경사	상향 5°	b
	b	10°미만	상부자연사면으로부터 지표수가 유입 될 수 있는 정도를 평가하기 위한 것 으로 자연사면의 대표 경사로 평가		
	c	10°이상 20°미만			
	d	20°이상 30°미만			
	e	30°이상			

자. 3구간 인장균열 평가 결과

인장균열이 확인되는 경우 인장균열을 반영한 상태안전성능평가 결과를 선정하고 구조안전성능 평가결과 및 현장 상태에 따라 보강 대책방안을 검토해야 한다. 인장균열의 결함점수는 d, e 등급에 따른 각각의 평균값으로 산정한다.

<표 2.8-68> 인장균열 결함점수 산정 결과(3구간)

구 분	평가등급	결함점수	결함지수	현장조사 결과	평가 결과
인장균열	a	8	0.08	인장균열 없음	a
	d	65	0.65		
	e	88	0.88		

본 비탈면의 경우 인장균열이 없는 상태로서 성능별 등급 결과에 따른 상태안전성능평가 결과를 최종 상태평가 안전등급으로 산정하기로 한다.

차. 3구간 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 2.7-69> 상태안전성능 평가 결과 범위(3구간)

a등급	b등급	c등급	d등급	e등급
$0 \le f < 0.15$	$0.15 \le f < 0.30$	$0.30 \le f < 0.55$	$0.55 \le f < 0.75$	$0.75 \le f$

<표 2.7-70> 암반사면의 평가항목별 등급에 따른 점수(3구간)

평가항목	등급에 따른 점수				
	a	b	c	d	e
① 집수지형	0	1	3	4	6
② 불안정 지질	0	3	6	10	15
③ 불연속면의 특성	0	1~5	6~10	11~16	17~24
④ 지반변형	0	2	4	6	9
⑤ 지하수	0	2	3	5	8
⑥ 배수조건	0	2	5	7	11
⑦ 붕괴이력	0	2	4	7	10
⑧ 낙석	0	4	7	11	17
결함지수 = Σ(①~⑧) / 100					

각 평가항목별 평가결과에 따른 상태안전성능 평가 결과 A등급으로 평가되었다.

<표 2.7-71> 상태안전성능평가 결과(3구간)

시설물명		부산기점 STA.47+050~47+630		
사면 종류	절토사면	구성재료	절리암반사면	
평가요소		결함점수	결함점수 선정	결함종류별 평가등급
평가항목	세부평가항목			
집수지형	사면 내	0	0	a
	사면 외	0		
불안정 지질		3	3	b
블연속면 특성		0	0	a
지반변형		0	0	a
지하수		0	0	a
배수조건		5	5	c
붕괴이력		0	0	a
낙석	발생규모	0	0	a
	예상 낙석 에너지	0		
총점			8	
결함지수		0.080		
상태안전성능평가 결과		**A**		

카. 상태안전성능 평가 결과

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

<표 2.8-72> 상태안전성능 평가 결과 범위

사면 총길이	구간분할	분할구간 길이	평가등급	최종 평가결과	비 고
340.0m	1구간	0~200m	a(0.133)	A	인장균열 없음
	2구간	200~400m	a(0.050)		
	3구간	400~580m	a(0.080)		
	○구간별 평가 후 최소등급 선정 ○인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정				

8.4.2 구조안전성능 평가

가. 개 요

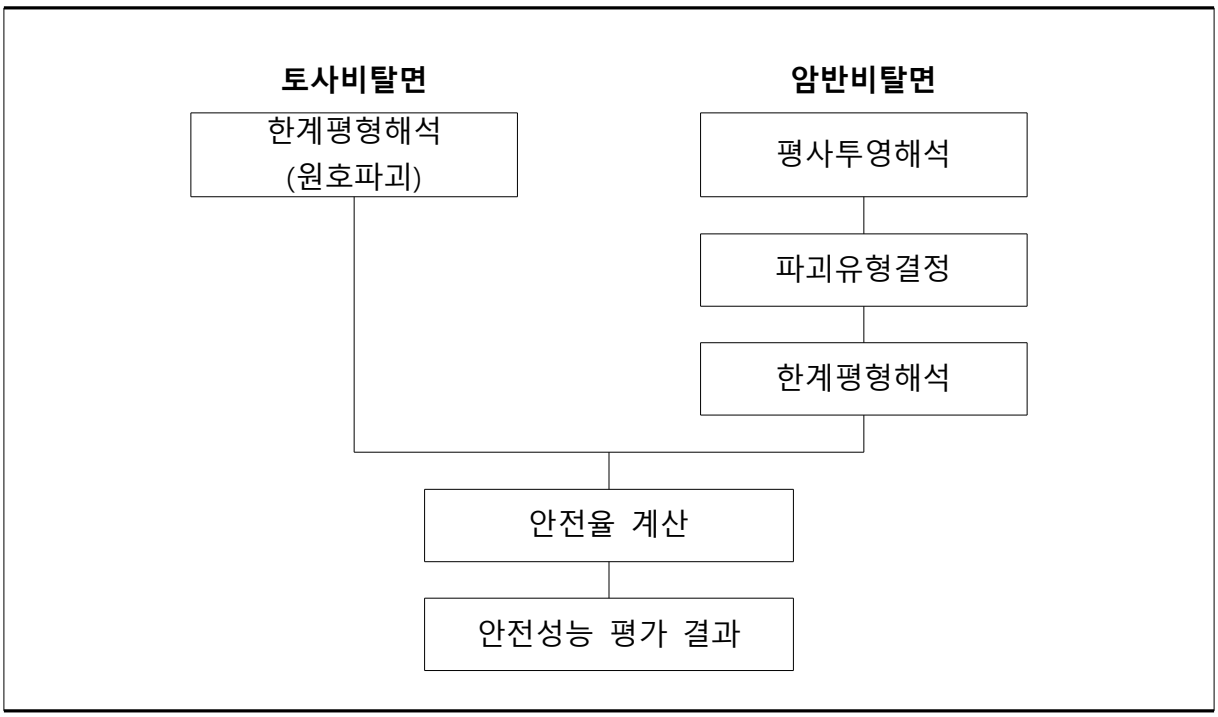
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

금회 성능평가에서는 설계 및 시공중 보강 관련 자료, 공용중 보강자료 등의 검토를 통해 구조안전성능평가에 필요한 항목을 검토하기로 한다. 또한, 이와 더불어 금회 성능평가 현장조사시 획득된 암반 절리 자료를 이용하여 평사투영해석을 시행하기로 한다.

나. 구조안전평가

1) 평가개요

비탈면의 안전성능 평가는 비탈면을 구성하는 지반의 구성물질 및 파괴거동에 따라 다양한 측면에서 검토되어야 한다. 토사비탈면과 토층은 일반적으로 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반비탈면은 평사투영해석을 실시하여 불연속면을 따른 암반의 파괴 가능성 및 파괴유형을 검토한 후 이에 부합하는 한계평형해석을 실시하여야 한다. 또한 암반비탈면의 경우라 할지라도 지반의 강도 특성이나 불연속면의 분포 특성 등에 따라 토사비탈면과 같은 연속적인 거동이 가능한 암반의 경우는 이와 별도로 원호파괴 가능성에 대한 검토가 이루어져야 한다.



<그림 2.8-2> 구조안전성능 평가과정

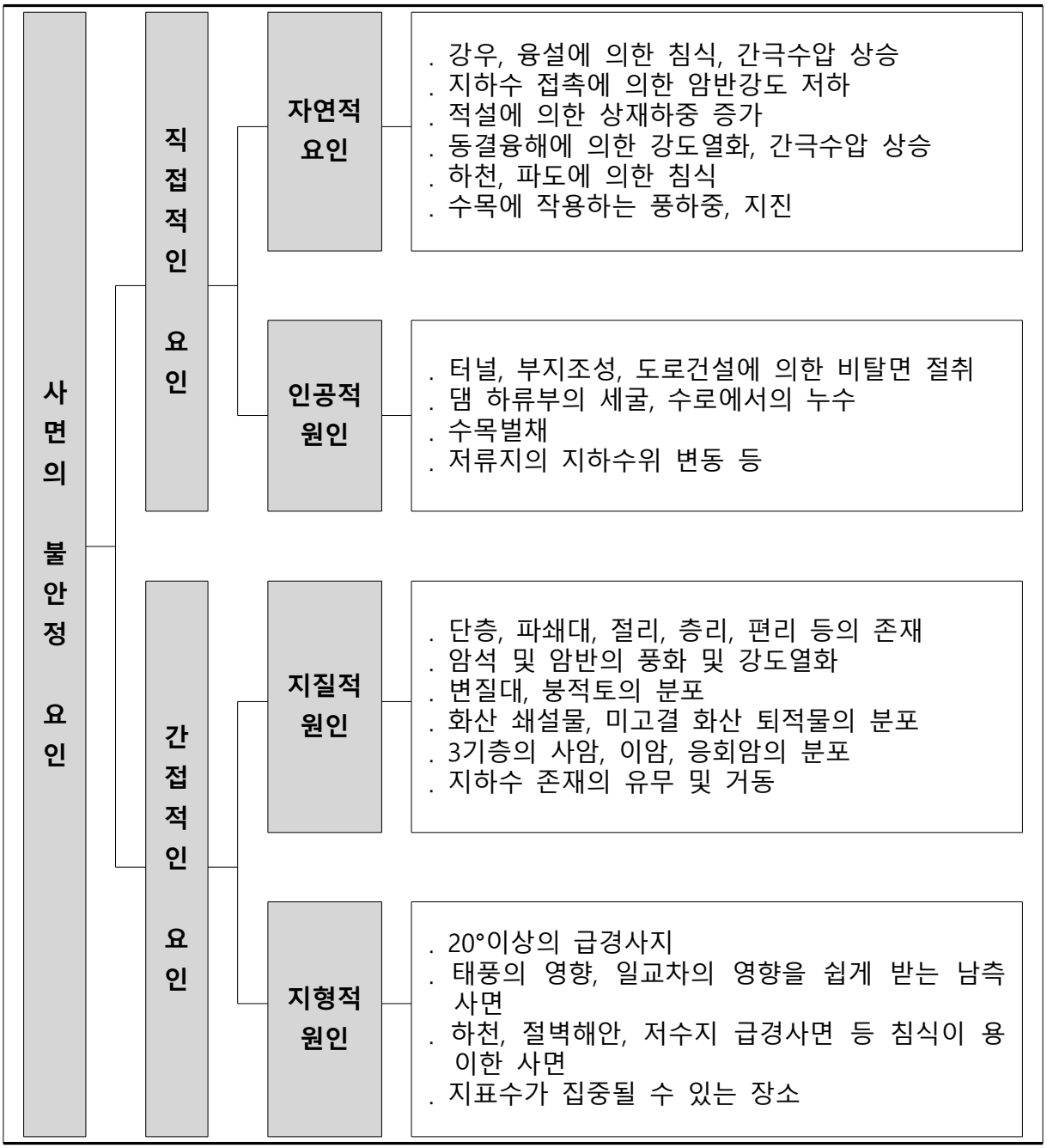
<표 2.8-73> 유형별 안정해석 범위

구 분	평사투영 해석	한계평형해석		비 고
		토 사	암 반	
토사비탈면	-	○	-	. 원호활동에 대한 한계평형 해석 실시
암반비탈면	○	△	○	. 평사투영해석결과 불안정시 파괴 유형에 따른 한계평형해석 수행 . 3m이상의 토층이 관찰되거나 풍화가 심하게 진행되어 원호활동이 예상되는 구간에 대해 평사투영해석결과와 별도로 원호파괴 해석을 실시
혼합비탈면	○	○	○	. 평사투영해석결과 불안정시 파괴 유형에 따른 한계평형해석 수행 . 평사투영해석결과와 별도로 토사구간에 대해 원호파괴해석 실시

ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득

ㅇ설계도면과 현재 제원 비교

2) 비탈면의 불안정 요인

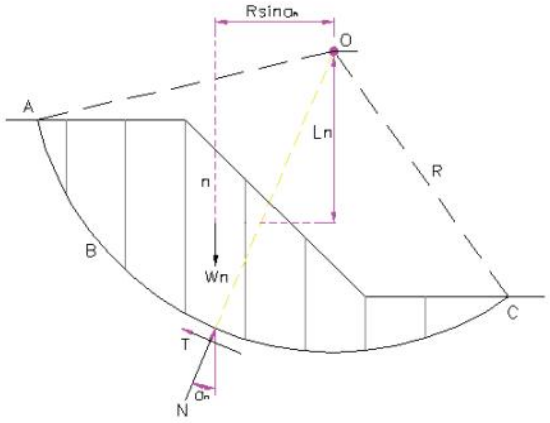


<그림 2.8-3> 구조안전성능 평가과정

3) 비탈면 안정해석 방법

① 한계평형법

한계평형 해석방법은 활동면을 따라 파괴가 일어나려는 순간에 토체의 안정성을 해석하려는 것이다. 문제를 단순화하기 위한 가정을 설정하고 이 방법을 사용하여 간단한 정역학적 이론으로 해를 얻으려 하는 것이다. 한계평형 해석법은 절성토 비탈면의 안정해석에 널리 사용되고 있으며 이 방법의 유용성과 신뢰성은 축적된 경험을 통하여 잘 알려져 있다. 한계평형 이론에 의한 비탈면안정 해석방법은 여러 가지가 있으며, 그 정확성은 강도정수와 비탈면의 기하학적 조건의 정확도 및 각 해석방법 고유의 정밀도에 따라 좌우된다. 한계평형 방법의 기본가정은 직선, 원호, 대수나선으로 가정된 파괴면을 따라 Coulomb의 파괴규준을 만족한다는 것으로 가능한 활동면을 따라 파괴가 일어나려는 순간에 토체의 안정성을 해석하는 것이다. 대표적인 해석방법으로는 ø=0 해석법, Fellenius 방법, Bishop 방법, Janbu 방법, Spencer 방법, Morgenstern & Price, 일반한계평형 방법(GLE) 등이 있다.



$$Fs = \frac{\sum_{n=1}^{n=p}(cb_n + W_n \tan\phi + \Delta T \tan\phi)\frac{1}{m}\alpha(n)}{\sum_{n=1}^{n=p}(\sin\alpha_n)}$$

$$m\alpha(n) = \cos\alpha \quad n + \frac{\tan\phi \cdot \sin\alpha_n}{F_S}$$

여기서

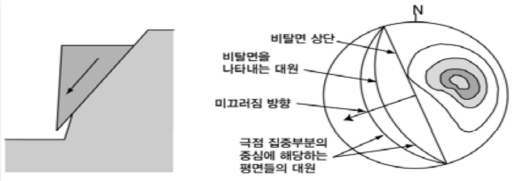
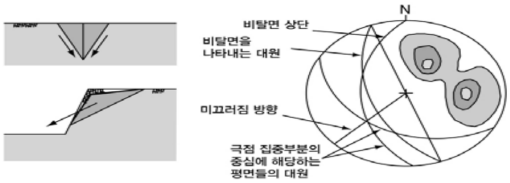
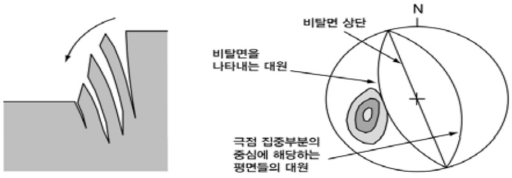
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

<그림 2.8-4> Bishop의 안전율 계산식

② 평사투영해석

평사투영법은 비탈면의 방향과 경사, 불연속면의 주향과 경사, 불연속면의 전단저항각을 고려하여 암반 비탈면의 안정성을 개략적으로 검토하는 방법이다. 암반비탈면에 발달하고 있는 불연속면의 방향에 따라 그 파괴형태가 다르게 나타난다. 일반적으로 암반비탈면의 파괴형태는 원형파괴(Circular Failure), 평면파괴(Planar Failure), 쐐기파괴(Wedge Failure) 및 전도파괴(Toppling Failure) 등이 있다.

<표 2.8-74> 비탈면 안정성 분석방법

구 분	파괴 모식도	분석방법
평면파괴		. 불연속면의 주절리가 한 방향으로 발달된 암반에서 발생가능
쐐기파괴		. 쐐기파괴는 두 개의 불연속면을 따라 발생하는 암반블록의 미끄러짐으로 인한 파괴형태
전도파괴		. 전도파괴으 발생조건은 절개면과 절리면의 경사방향이 반대이거나 절리면의 주향과 절개면의 주향이 비슷한 경우에 발생

4) 안전율 기준 - KDS 11 70 05 : 2016

<표 2.8-75> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율

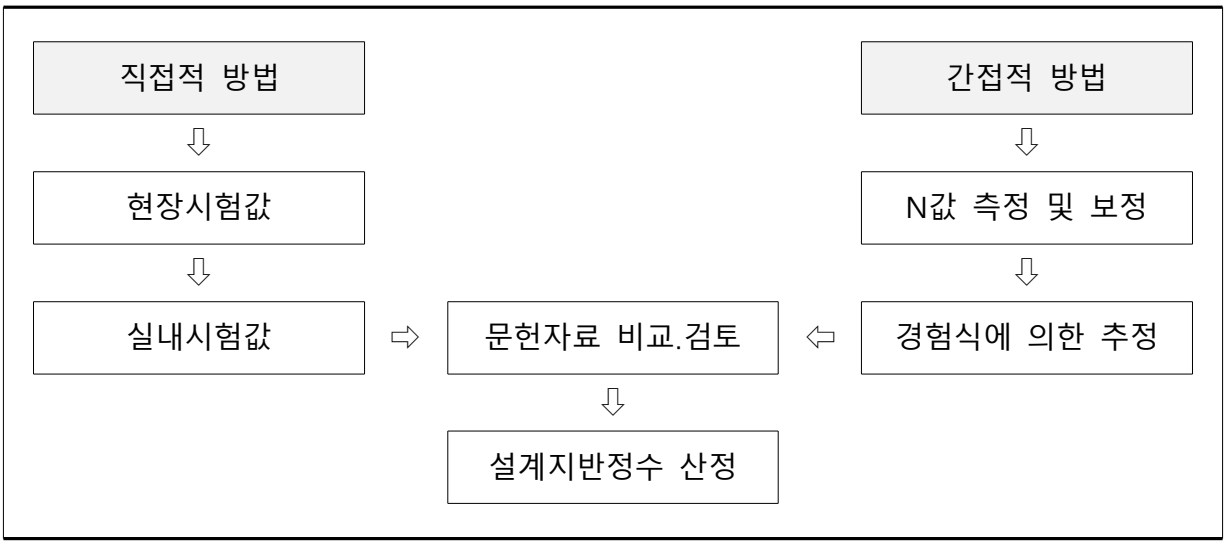
구 분	기준안전율	참조
건기	FS>1.5	. 지하수가 없는 것으로 해석
우기	FS>1.2 또는 FS>1.3	. 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용 . 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용) . 침투를 고려한 안정해석을 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	. 파괴토체의 중심에 수평방향으로 작용시킴 . 실제측정 또는 평상시의 지하수위 적용

다. 지반정수 산정

1) 지반정수

대상지역의 지반-구조물의 상호작용에 따른 안정성을 평가하기 위해 현장조사결과를 토대로 경험식, 기존 적용사례 결과를 비교.분석하여 토사 및 암반의 지반정수를 적용하였다.

2) 지반정수 산정흐름



3) 토사/풍화암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 2.8-76> 지반조사편람(서울시, 1996)

지반명	단위중량 (kN/㎥)	점착력 c (MPa)	내부마찰각 (。)	변형계수 D(×10³kN/㎡)	포아송비
풍화토	17~20	0.00~0.01	25~30	20~40	0.5
풍화암	20~22	0.01~0.03	30~35	100~200	0.3~0.4
연 암	23~25	0.03~0.06	30~40	200~400	0.25~0.30
보통암	24~26	0.06~0.15	35~40	400~1,000	0.25
경 암	25~27	0.15~0.20	35~45	1,000~4,000	0.2

<표 2.8-77> 국도건설공사 설계실무요령(국토해양부, 2008)

종 류		재료의 상태		단위중량 (kN/㎥)	내부마찰각 ø(°)	점착력 c(MPa)	분류기호 (통일분류)
흙쌓기	자갈 및 자갈섞인모래	다진것		20	40	0.00	GW, GP
	모 래	다진것	입도가 좋은 것	20	35	0.00	SW, SP
			입도가 나쁜 것	19	30	0.00	
	사 질 토	다진것		18	25	0.03이하	SW, SC
	점 성 토	다진것		18	15	0.05이하	ML, CL MH, CH
자연지반	자 갈	밀실한 것, 입도가 좋은 것		20	40	0.00	GW, GP
		밀실치 않은 것, 입도가 나쁜 것		18	35	0.00	
	자갈섞인 모래	밀실한 것		18	40	0.00	GW, GP
		밀실치 않은 것		19	35	0.00	
	모 래	밀실한 것, 입도가 좋은 것		20	35	0.00	SW, SP
		밀실치 않은 것, 입도가 나쁜 것		18	30	0.00	
	사 질 토	밀실한 것		19	30	0.03이하	SM, SC
		밀실치 않은 것		17	25	0.00	
	점 성 토	굳은 것(손가갈으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=8~15)		18	25	0.05이하	ML, CL
		약간 무른 것(손가락 중간정도의 힘으로 들어감. N=4~8)		17	20	0.03이하	
		무른 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=2~4)		17	20	0.015이하	
	점토 및 실트	굳은 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=8~15)		17	20	0.05이하	CH, MH ML
		약간 무른 것(손가락 중간정도의 힘으로 들어감. N=4~8)		16	15	0.03이하	
		무른 것(손가락으로 강하게 눌러 조금 들어감. N=2~4)		14	10	0.015이하	

<표 2.8-78> Geotechnical Engineering Investigation(Roy E. Hunt, 1987)

흙의 종류	다짐도	Dr,%	N	γ_{dry} (gf/㎤)	간극비 e	내부 마찰각(ø)
GW (입도분포가 좋은 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	90	2.21	0.22	40
	중간조밀	50	55	2.08	0.28	36
	느 슨	25	<28	1.97	0.36	32
GP (입도분포가 나쁜 자갈, 자갈-모래 혼합)	조 밀	75	70	2.04	0.33	38
	중간조밀	50	50	1.92	0.39	35
	느 슨	25	<20	1.83	0.47	32
SW (입도분포가 좋은 모래, 자갈질 모래)	조 밀	75	65	1.89	0.43	37
	중간조밀	50	35	1.79	0.49	34
	느슨	25	<15	1.70	0.57	30
SP (입도분포가 나쁜 모래, 자갈질 모래)	조밀	75	50	1.76	0.52	36
	중간조밀	50	30	1.67	0.60	33
	느슨	25	<10	1.59	0.65	29
SM (실트질 모래)	조밀	75	45	1.65	0.62	35
	중간조밀	50	25	1.55	0.74	32
	느슨	25	<8	1.49	0.80	29
ML (무기질 실트, 매우세립한 모래)	조밀	75	35	1.49	0.80	33
	중간조밀	50	20	1.41	0.90	31
	느슨	25	<4	1.35	1.00	27

◦ 경험식에 의한 방법

<표 2.8-79> 경험식에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

점착력 산정식		내부마찰력 산정식	
$\varnothing = 0$	$c = \frac{q_u}{2}$	Dunham	$\varnothing = \sqrt{12N} + 20$
Dunham	$q_u = \frac{N}{7.7}$	Peck	$\varnothing = 0.3N + 27$
Terzaghi-Peck	$q_u = \frac{N}{8}$	Ohsaki	$\varnothing = \sqrt{12N} + 15$
Ohsaki	$q_u = 4 + \frac{N}{2}$	도로교시방서	$\varnothing = \sqrt{15N} + 15$

◦ 기존 설계자료

<표 2.8-80> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식

구 분	지 층	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각ø(°)	점착력c(MPa)	비고
기장~장안 국도건설공사	풍화(잔적)토	18	25	0.03	
	풍화암	21	30	0.05	
	연 암	25	32	0.10	
부산~울산간 고속도로 건설공사 (화전~좌동)	풍화(잔적)토	19	28	0.02	직접전단시험
	풍화암	20	30	0.03	
	연 암	24	30	0.10	
부산~울산간 고속도로 건설공사 (두현~굴화)	풍화(잔적)토	18	30	0.01	
	풍화암	20	30	0.05	
	연 암	23	35	0.01	

4) 기반암의 지반정수 산정

① 단위중량 및 강도정수

◦ 문헌자료 검토

<표 2.8-81> Rock Slope Engineering(E. Hoek & J.W.Bary)

암 종	단위중량(kN/㎥)	내부마찰각(°)	점착력(kN/㎡)
화 성 암 (화강암, 현무암 등)	25~30	35~45	35,000~55,000
변 성 암 (규암, 편마암, 슬레이트)	25~28	30~40	20,000~40,000
견고한 퇴적암 (석회암, 백운암, 사암)	23~28	35~45	10,000~30,000
연약한 퇴적암 (사암, 석탄, 백악, 셰일)	17~23	25~35	1,000~20,000

<표 2.8-82> 국내 암석의 실내시험 결과(지반공학회지)

암종	화강암	편마암	사암	세일	석회암	응회암
단위중량 (kN/㎥)	26.1±0.5	26.3~27.7	26.7±0.8	27.3±1.0	27.3±1.0	24.3~25.6
점착력 (kN/㎡)	13,500 ~25,000	-	15,000 ~40,000	10,000 ~25,000	15,000 ~34,000	4,000 ~15,000
내부마찰각 (°)	51~65	-	35~54	18~29	35~50	35~45

주)시료수 : 화강암(162~2,123), 편마암(117), 사암(494), 셰일(354), 석회암(150), 응회암(33)

<표 2.8-83> 암반의 전단강도 지수(한국도로공사, 도로설계실무편람)

암석종류 (강 도)	암 반 파 쇄 상 태		굴 착 난 이 도	암반의전단강도지수	
	NX 시 추 시 (Double Core Barrel 사용시)			ϕ (°)	C (kN/㎡)
	T.C.R (%)	R.Q.D (%)			
강한 풍화암으로서 파쇄가 거의 없는 경우와 대부분의 연.경암	20~30%	10~25%	발파암반 (연암)	33	130
	40~50%	25~35%	발파암반 (보통암)	35	150
	70% 이상	40~50%	발파암반 (경암)	40	200

◦ 경험식에 의한 방법

<표 2.8-84> Bieniawski(1989)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	-0.051 + 0.008RMR - 3.346×10-5RMR²(MPa)
마찰각(∅)	-0.086 + 0.7891RMR - 0.0031RMR²(degree)

<표 2.8-85> Trueman (1988)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	0.25exp(0.05RMR) (Mpa)
마찰각(∅)	0.5RMR + 5 (degree)

<표 2.8-86> 김교원 (1993)

구 분	강도정수 산정식
점착력(C_m)	0.02exp(0.08RMR*) (Mpa)
마찰각(∅)	0.25(RMR*) + 27.5 (degree)

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 적용 지반정수 요약

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 MPa	프와송비	비 고
풍화토	18	28	0.02	0.3	
풍화암	20	30	0.03	0.3	
연 암	24	32	0.10	0.3	

6) 지반의 불포화 특성

실제 지반은 포화상태보다는 대부분 일정비율의 공기를 함유하고 있는 불포화상태이기 때문에 현실적인 해석결과를 검토하기 위해서는 불포화 특성이 고려된 비정상류 검토를 실시해야 한다. 다만 시험방법이 복잡하고 널리 알려지지 않아 수행에 다소의 어려움이 있어 현장여건을 최대한 반영하기 위해 관련 문헌자료를 이용하여 산정하였다. 불포화 특성은 지반의 불포화영역에서 음의 간극수압 크기에 따라 투수계수 및 함수비(포화도) 변화를 정의하는 것으로 압력수두(음의간극수압)에 따른 투수함수와 함수비함수를 직접정의(개별고려)하는 방법과 압력수두-체적함수비(포화도)-투수계수비의 관계를 정의(동시고려)하는 방법이 있다.

① 개별고려

불포화토 실험자료를 바탕으로 각각 제공되는 함수종류에 따라 Curve Fitting을 통하여 계수를 정의한다.

② 동시고려

JICE(일본국토기술연구센터, 2007)기준에 따라 불포화토 특성재료의 자료를 설정 가능하다. 지반종류별 제공된 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수는 다음과 같다.

<표 2.8-87> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비

구 분	압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비	
	체적함수율-압력수두	체적함수율-투수계수비
역질토	[G], [G-F], [GF]	[G], [G-F], [GF]
사질토	[S], [S-F], [SF]	[S], [S-F], [SF]
점성토	[M], [C]	[M], [C]

7) 수리정수 산정

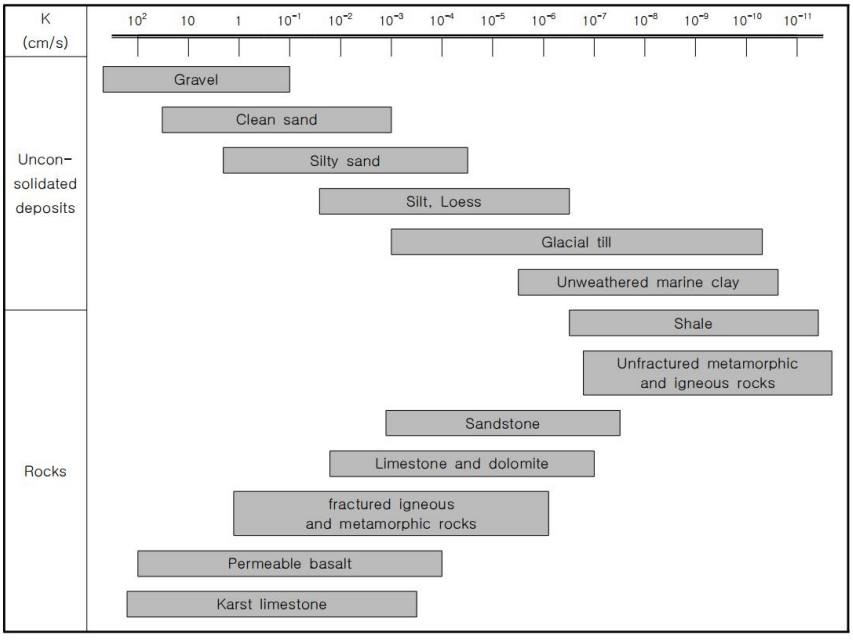
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

<표 2.8-88> 대표적 투수계수

구 분		김 상 규(㎝/sec)	Braja M. Das(㎝/sec)
매립층	모래	1.0E-03~1.0	1.0E-03~1.0
	자갈, 사석	1.0E-02~1.0	1.0E-02~1.0
퇴적층	점성토	1.0E-08~1.0E-03	1.0E-06이하
	모래	1.0E-03~1.0	1.0E-03~1.0
풍화토		1.0E-06~1.0E-02	-

<표 2.8-89> 흙의 종류에 따른 일반적 투수계수(Rartick Power,1992)

흙의 종류	투수계수(㎝/sec)	흙의 종류
자갈(GP)	1.0 이상	양호한 모래(SW)
균등한 자갈(GP)	2.0E-01~1.0	실트질 모래(SM)
양호한 자갈(GW)	3.0E-02~5.0E-02	점토질 모래(SC)
균등한 모래(SP)	5.0E-03~2.0	실트(ML)



<그림 2.8-5> 퇴적물 및 암종별 투수계수(Freeze & Cherry, 1979)

라. 적용 강우강도

1) 강우강도

대상 비탈면에 적용된 강우강도는 한국확률강우량도의 지역별 확률강우량을 적용한다. 관측소가 없는 지역은 최인접 관측소의 확률강우량을 사용하되, 계획대상지점의 확률강우량을 이용하여 강우강도-지속시간-발생빈도 곡선(I.D.F 곡선, Intensity-Duration-Frequency)을 작성하여 최인접 관측소의 확률강우량과 비교 후 큰 값을 적용한다.

2) 설계강우빈도

① 도로배수시설 설계기준 KDS 44 40 00 : 2016

국가건설기준에 따른 도로배수시설의 설계빈도는 위험도・경제성 등을 고려하여 정하며, 구조물별 설계빈도의 적용은 다음 표와 같다.

<표 2.8-90> 도로배수시설 설계빈도

구분	설계빈도	적용위치 및 적용 방법
본선 횡단암거 및 배수관 (도시지역, 산지부)	30년 (50년) 50년 이상	. 일반구간 . 도심지, 도시계획구간 . 국지성 집중호우가 빈번히 발생하는 경우로 조사된 경우
노면 및 흙쌓기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	. 길어깨 및 중분대 등 노면 배수시설 . 흙쌓기부 도수로, 땅깎기흙쌓기경계부 측구 등
측도 및 도로 인접지 배수시설 땅깎기 비탈면 배수시설	10년 산지 : 20년	. 산마루 측구, 땅깎기부 도수로, 소단 측구 . 흙쌓기 비탈끝 배수시설, 수로이설
집수정 등 배수구조물 간 접속부	접속하는 시설물 중 빈도가 큰 값 적용	

② 비탈면배수시설 설계기준 KDS 11 70 25 : 2016

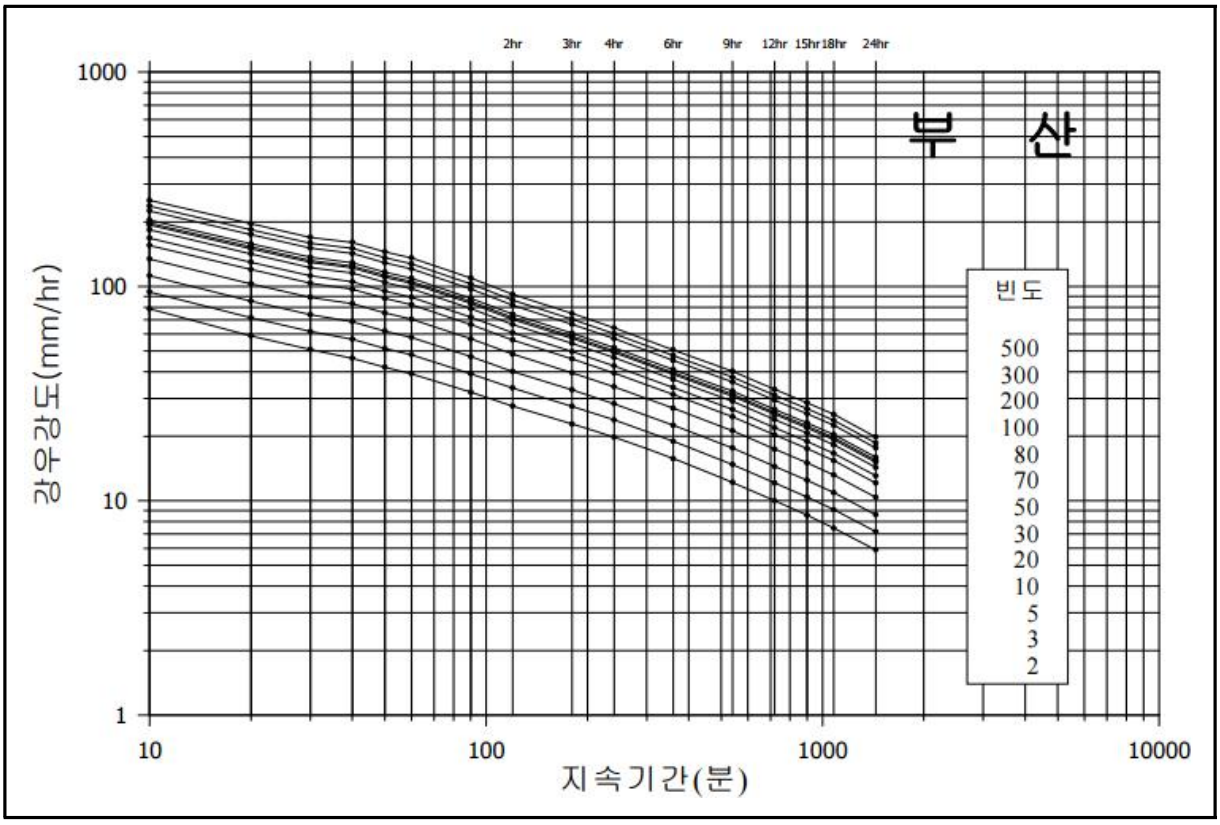
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

③ 적용 강우빈도

대상 비탈면에 적용할 강우빈도는 적용하기 위해 도로배수시설 및 비탈면배수시설의 설계기준을 참조하였으며 일반적으로 비탈면 배수시설에 적용하는 설계빈도는 20년 내외로 검토되었다. 다만 대상 비탈면의 중요도를 고려하여 적용할 강우 재현기간을 100년으로 선정하였다. 강우지속시간은 24시간을 기준으로 사용하였다.

2) 확률강우량 및 IDF곡선

① 부산지역



<그림 2.8-6> 부산지역 IDE곡선

재현기간(년) / 강우지속시간(hr)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	200	300
1	66.80	77.12	82.90	86.89	89.93	92.37	94.40	96.15	97.67	99.03	107.66	112.52
24	12.21	14.88	16.43	17.52	18.36	19.04	19.62	20.12	20.56	20.95	23.52	25.00
48	8.19	10.09	11.19	11.97	12.57	13.06	13.48	13.83	14.15	14.43	16.28	17.35

확률강우강도(㎜/hr)

<그림 2.8-7> 부산지역 확률강우강도

마. 지진시 비탈면 안정해석

1) 비탈면의 내진등급 및 성능목표

비탈면의 내진등급은 상위개념 내진설계기준을 준용하여 비탈면이 속해있는 주 구조물의 내진등급에 따라 Ⅰ등급, Ⅱ등급으로 구분하며 다음 원칙에 따라 결정한다. 비탈면의 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치지는 않으나 기능성 혹은 운영상에 일시적인 영향을 미치는 경우에는 주구조물 보다 한등급 아래의 내진등급을 적용한다. 또한 비탈면의 내진성능수준은 붕괴방지수준(비탈면 설계기준, 2011)으로 이는 비탈면에 인장균열, 부분적 탈락, 배부름 등의 파괴징조는 나타나지만 이로 인해 주구조물의 구조적 성능과 기능적인 역할에 피해를 유발시키지 않는 성능수준이다. 따라서 대상시설물은 주구조물이 고속도로인 내진Ⅰ등급에 해당되며 비탈면 붕괴가 발생할 경우 주구조물의 기능성 혹은 운영상에 일시적인 영향을 받으므로 주구조물과 같은 등급인 내진Ⅰ등급으로 선정하였다.

구조물분류	등급구분	적용대상
도로교	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별한 교량 (장대교량)
	내진Ⅰ등급	• 고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도상의 교량 • 지방도, 시도, 군도 중 방재계획상 필요한 도로에 건설된 교량 • 내진Ⅰ등급교가 건설되는 도로 위를 지나가는 고가교량
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 교량
고속철도	내진특등급	내진Ⅰ등급 중 복구난이도가 높고 경제·사회적으로 특별히 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	교량, 고가역사, 지하터널역사, 터널, 전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	이외의 구조물
공항구조물	내진특등급	관제탑, 구조 및 소방시설
	내진Ⅰ등급	교량, 지하구조물, 비행장시설, 도로, 건축물 등
	내진Ⅱ등급	하수도, 화물창고, 화물터미널
항만구조물	내진Ⅰ등급	항구의 입지적, 전략적 요건에 의해 주관적으로 분류
	내진Ⅱ등급	안벽, 제방 등 Ⅰ등급으로 할 필요가 없는 구조물
지중구조물	내진특등급	• 특별한 안전이 요구되는 시설 • 긴급구조, 국방 및 치안유지에 필요한 구조물
	내진Ⅰ등급	사회적 혼란이 야기되고 많은 인명, 재산피해를 주는 구조물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 일반적인 구조물
댐	내진특등급	중규모이상으로서 파괴시 하류에 중규모이상의 피해가 야기되는 댐
	내진Ⅰ등급	소규모로서 파괴시 하류에 낮은 수준의 피해가 야기되는 댐
터널	내진특등급	• 긴급구조, 구호, 국방 및 치안유지에 필요한 터널 • 내진특등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅰ등급	내진1등급 구조물과 연계된 터널
	내진Ⅱ등급	그 외의 일반적인 터널
도로	내진Ⅰ등급	고속도로, 자동차전용도로, 특별시도, 광역시도, 일반국도
	내진Ⅱ등급	지방도, 시도, 군도
철도구조물	내진특등급	내진Ⅰ등급구조물중 복구난이도가 높고 경제사회적으로 중요한 구조물
	내진Ⅰ등급	국방, 치안유지 및 국가산업 활동에 중요역할을 하는 철도선상이나 도시지하철상의 교량,고가역사,지하철터널역사,터널,전차선 및 전주
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 구조물
건축물	내진특등급	방송국, 유독폭발성물질을 다량보관하는 구조물
	내진Ⅰ등급	소방서, 경찰서, 종합병원, 통신시설, 발전소, 바닥면적이 5000㎡이상인 집회시설, 바닥면적 10000㎡이상인 판매시설, 내진특등급 구조물을 지원하기 위해 필요한 시설물, 교육용건물, 교도소 및 구금시설, 6층 이상의 아파트나 숙박시설, 공공건물중 지진전후로 가동되어야 하는 건축물
	내진Ⅱ등급	내진특등급, 내진Ⅰ등급에 포함되지 않는 건축물

<그림 2.8-8> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)

<표 2.8-91> 설계지반운동 수준

구 분	특등급	Ⅰ등급	Ⅱ등급
붕괴방지수준	평균재현주기 2400년	평균재현주기 1000년	평균재현주기 500년
	-	해당	-

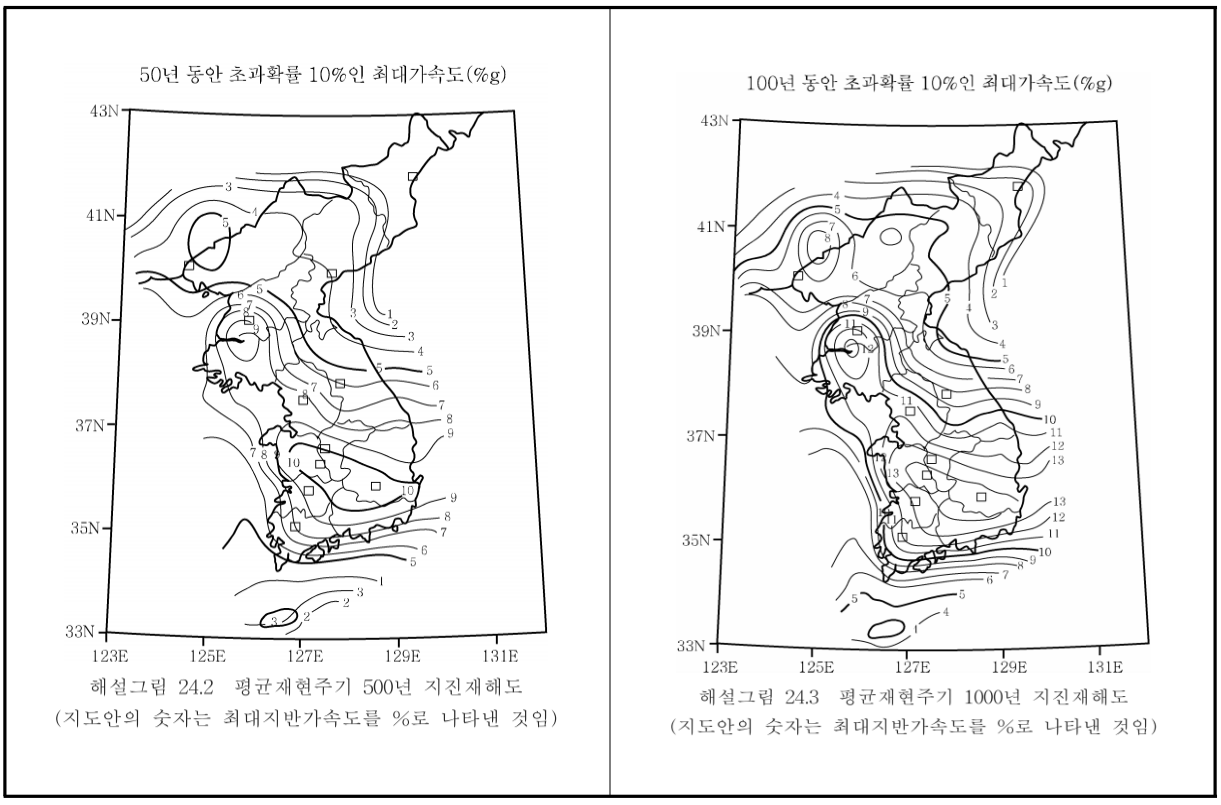
2) 설계지반운동

① 지반가속도계수

지반가속도계수는 지표면 자유장 최대가속도로 해당 지역의 보통암 암반노두를 기준으로 평가하며 지표면에서의 지반가속도계수는 국지적인 토질조건, 지질조건과 지표 및 지하지형이 지반운동에 미치는 영향을 고려해야 한다. 다만 깍기비탈면의 경우 보통암 상태의 노두가 노출되는 경우는 지진재해도 및 지진구역도에서 제시하는 지반가속도계수를 직접적으로 이용할 수 있다.

② 지진재해도를 이용한 지반가속도계수의 산정

지진의 평균 재현주기별로 작성된 지진재해도를 활용하여 비탈면의 내진등급에 따른 지반가속도계수를 산정한다.



해설그림 24.2 평균재현주기 500년 지진재해도
(지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

해설그림 24.3 평균재현주기 1000년 지진재해도
(지도안의 숫자는 최대지반가속도를 %로 나타낸 것임)

<그림 2.8-9> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

비탈면이 위치한 지역의 지진구역계수와 내진등급별 재현주기에 따른 위험도계수의 곱으로 지반가속도계수를 산정한다.

<표 2.8-92> 지진구역 구분 및 지진구역계수(재현주기 500년)

지진구역	행정구역		지진구역계수(g)
Ⅰ	시	. 서울특별시, 인천광역시, 대전광역시, 부산광역시, 대구광역시, 울산광역시, 광주광역시	0.11
	도	. 경기도, 강원도 남부(1), 충청북도, 충청남도, 경상북도, 경상남도, 전라북도, 전라남도 북동부(2)	
Ⅱ	도	. 강원도 북부(3), 전라남도 남서부(4), 제주도	0.07

(1) 강원도 남부(군, 시) : 영월, 정선, 삼척시, 강릉시, 동해시, 원주시, 태백시

(2) 전라남도 북동부(군, 시) : 장성, 담양, 곡성, 구례, 장흥, 보성, 화순, 광양시, 나주시, 여수시, 순천시

(3) 강원도 북부(군, 시) : 홍천, 철원, 화천, 횡성, 평창, 양구, 인제, 고성, 양양, 춘천시, 속초시

(4) 전라남도 남서부(군, 시) : 무안, 신안, 완도, 영광, 진도 ,해남, 영암, 강진, 고흥, 함평, 목포시

<표 2.8-93> 지진구역 구분 및 지진구역계수(재현주기 1000년)

재현주기	50년	100년	200년	500년	1000년	2400년
위험도계수	0.4	0.57	0.73	1.00	1.40	2.0

지진구역계수는 각 지진구역별로 평균재현주기 1000년을 기준으로 결정되었으므로 위험도 계수를 이용하여 다른 재현주기에서의 구역별 최대 유효지반가속도를 결정한다.

지역별 최대 유효지반 가속도, g값 = 지진구역계수 × 위험도 계수

3) 지진가속도계수 선정

대상 비탈면의 주구조물은 고속도로로서 비탈면 붕괴가 주구조물의 구조적 안정성에 직접적인 영향을 미치므로 내진등급1등급으로 평가된다. 따라서 지진구역은 I구역으로 재현주기에 따른 위험도계수를 고려한 결과 지진가속도계수는 0.154g이다. 이는 수평방향의 성분으로서 수직방향의 성분의 지진계수는 수평방향의 2/3을 적용한다.(구조동역학(2005) 김두기 : 2/3, 일본기준 : 1/2로 제안)

마. 비탈면 검토구간 및 현황

<표 2.8-94> 검토대상 비탈면구간 및 현황

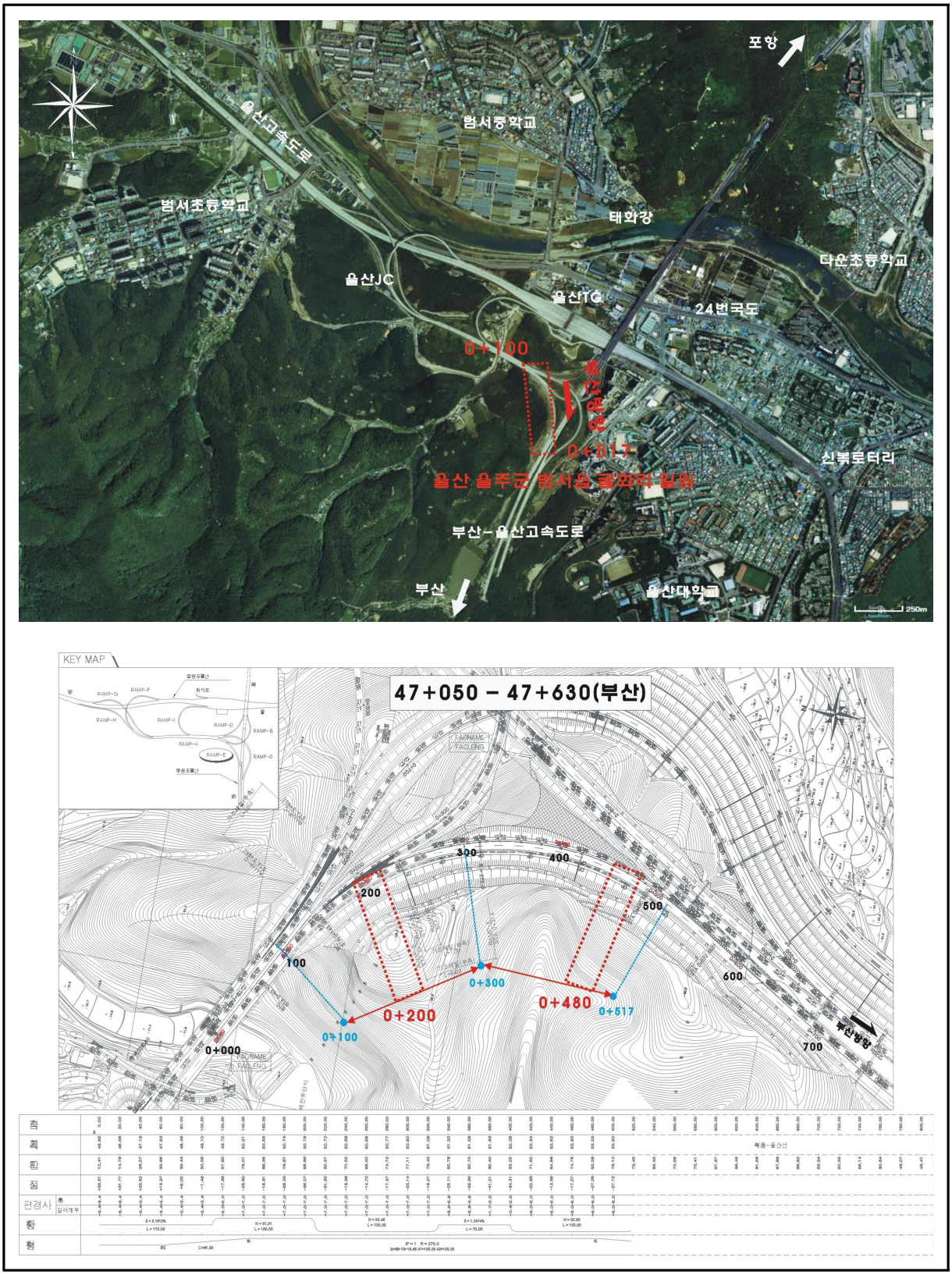
구조물명	위치	이정 (km)	대표구간	비탈면 현황				준공년도	경사/경사방향
				높이 (m)	토사/풍화암	암반	보강형식		
STA.47+050~47+630 (부산)	울산광역시 울주군 범서읍 굴화리	47.05 ~	STA.0+200	28.2	4.1	24.1	소일레일	2008	63/064
			STA.0+480	21.6	2.5	19.1	-	2008	63/064

※ 부산기점 STA.을 설계도면에서 표시된 공구별 STA.으로 분할하여 표시, 검토 표시하였음

<그림 2.8-10> 부산.울산선 검토대상 비탈면구간

사. STA.47+050~47+630(부산) 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



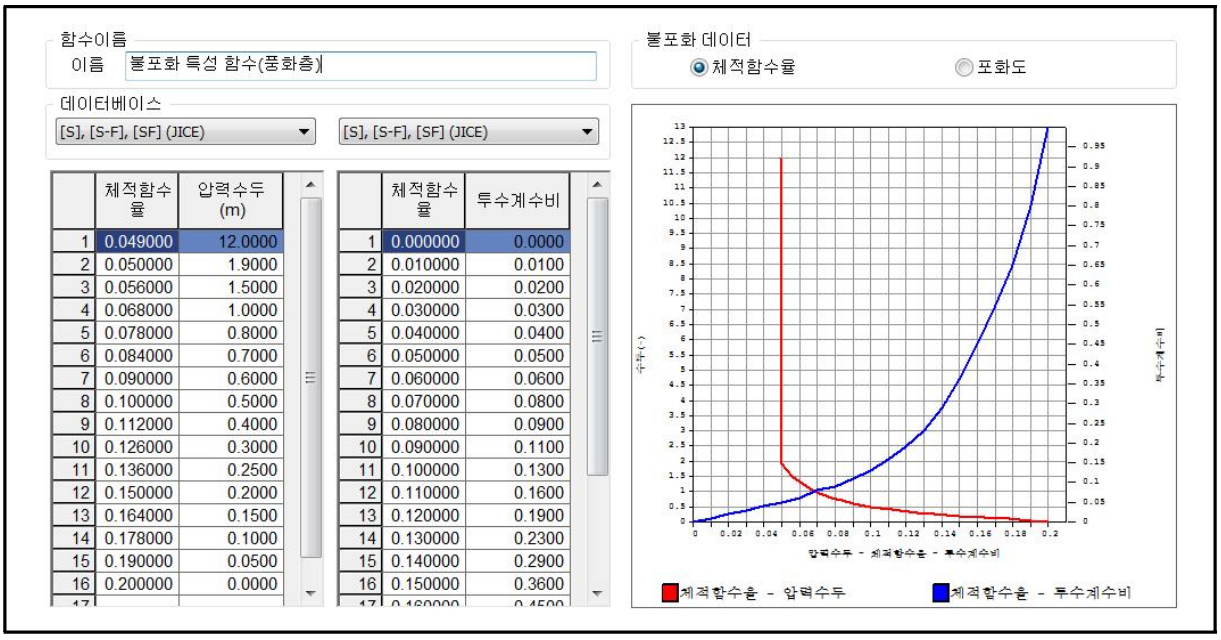
<그림 2.8-11> 부산.울산선 검토대상 비탈면구간

2) 적용 지반정수

지반 정수값은 대상시설물의 실시설계 지반조사보고서 및 주변에서 실시한 지반보고서를 비교, 분석하여 현장 시험값을 기초로 일반적 안전측으로 적용하였다. 투수계수는 문헌자료를 검토하여 일반적인 값을 적용하였다.

지층	단위중량 kN/㎥	내부마찰각 °	점착력 MPa	투수계수 ㎝/sec	비 고
풍화토	18	28	0.02	1.0E-03	
풍화암	20	30	0.03	1.0E-04	
연암	24	32	0.10	1.0E-05	

지반의 불포화토 특성은 JICE(일본국토기술연구센터, 2007)기준을 적용하였으며 대상지역의 풍화토 및 풍화암의 주된 성분이 실트질 모래 또는 모래섞인 실트로 JICE 기준의 사질토로 구분하여 적용하였다.



	체적함수율	압력수두 (m)
1	0.049000	12.0000
2	0.050000	1.9000
3	0.056000	1.5000
4	0.068000	1.0000
5	0.078000	0.8000
6	0.084000	0.7000
7	0.090000	0.6000
8	0.100000	0.5000
9	0.112000	0.4000
10	0.126000	0.3000
11	0.136000	0.2500
12	0.150000	0.2000
13	0.164000	0.1500
14	0.178000	0.1000
15	0.190000	0.0500
16	0.200000	0.0000

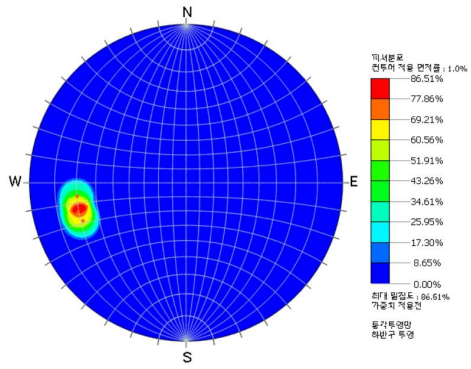
	체적함수율	투수계수비
1	0.000000	0.0000
2	0.010000	0.0100
3	0.020000	0.0200
4	0.030000	0.0300
5	0.040000	0.0400
6	0.050000	0.0500
7	0.060000	0.0600
8	0.070000	0.0800
9	0.080000	0.0900
10	0.090000	0.1100
11	0.100000	0.1300
12	0.110000	0.1600
13	0.120000	0.1900
14	0.130000	0.2300
15	0.140000	0.2900
16	0.150000	0.3600

<그림 2.8-12> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수

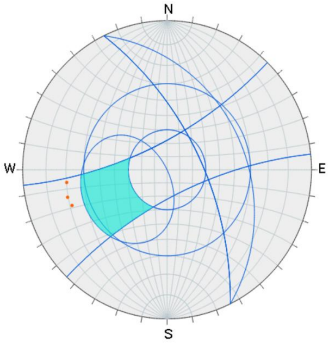
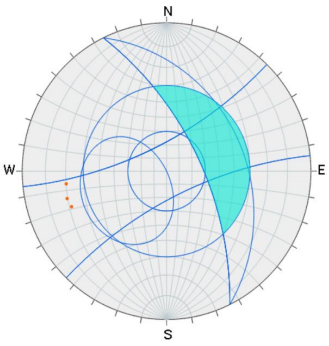
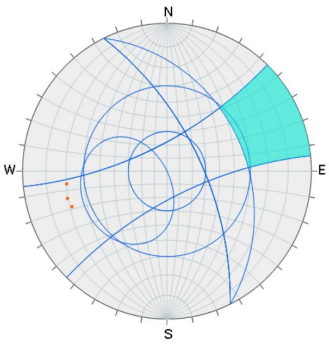
3) 1구간 (STA.0+200, 부산)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과		
평사 투영도		dip	dip direction
		71	75
		70	83
		72	70

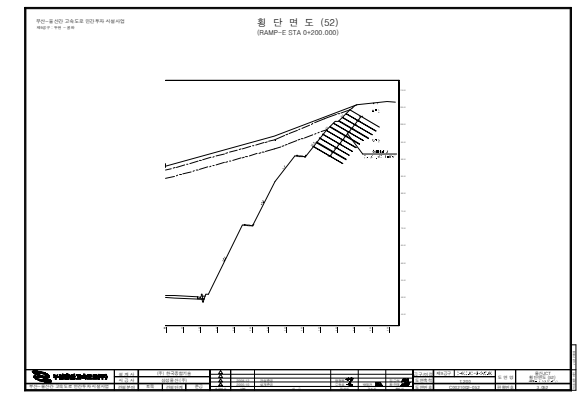
◦ 해석결과

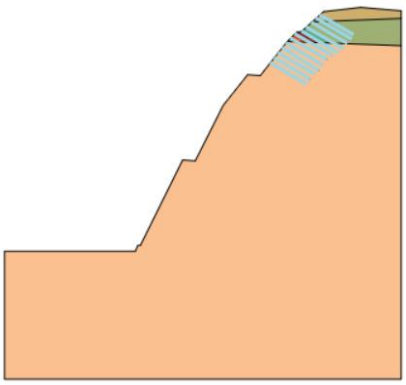
평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	안정	안정
평 가	◉ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◉ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◉ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

② 토사깍기비탈면 안정성검토

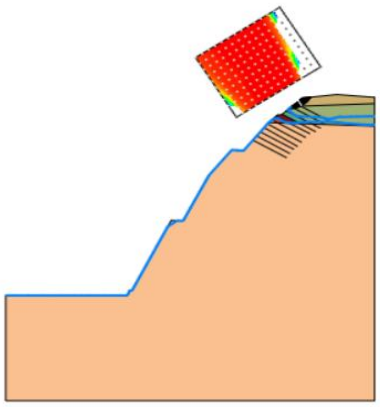
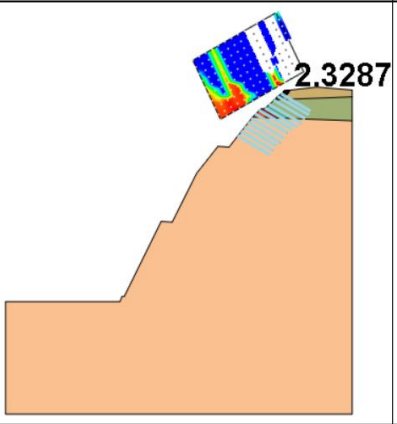
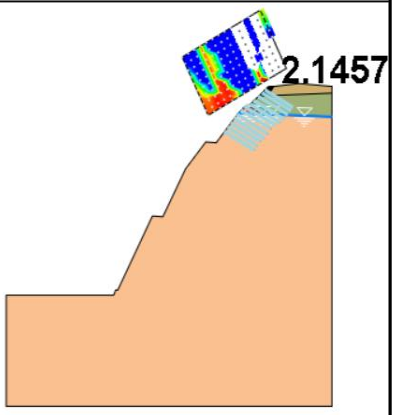
◦ 검토단면





대표단면 : STA.0+200, 부산

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 2.54	안전율 : 2.32	안전율 : 2.14

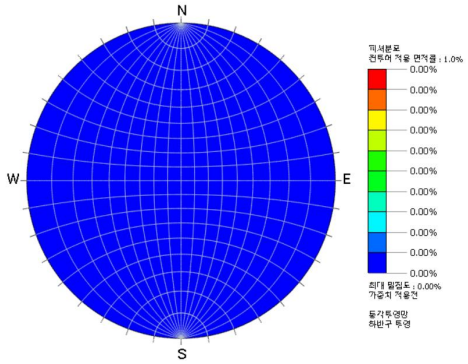
③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	우기시는 침투조건고려
	우기시	Fs ≥ 1.3 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

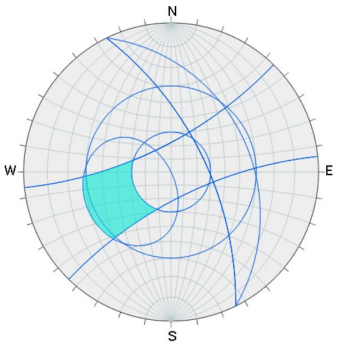
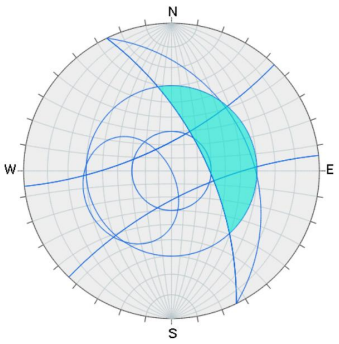
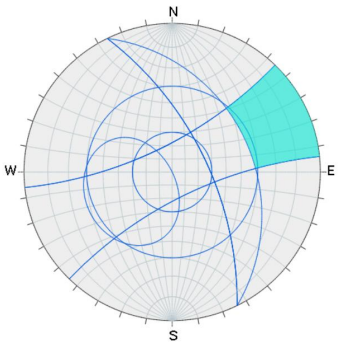
4) 2구간 (STA.0+480, 부산)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

구 분	점 검 결 과	
평사 투영도		dip dip direction 녹화공법 적용으로 노출된 노두없음(측정불가)

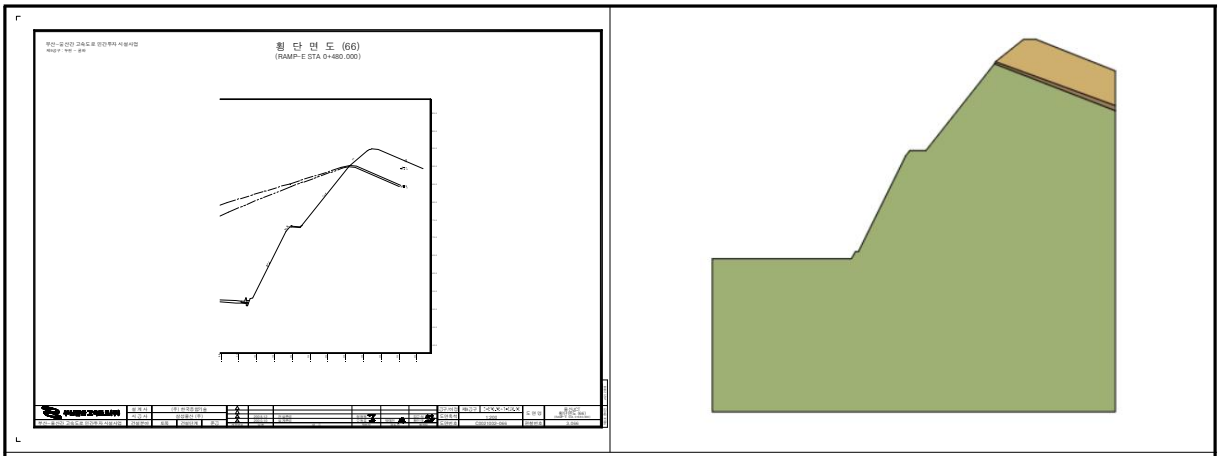
◦ 해석결과

평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
		

구 분	평면파괴	쐐기파괴	전도파괴
해석결과	안정	일부 가능성	가능성
평 가	◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 ◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음		

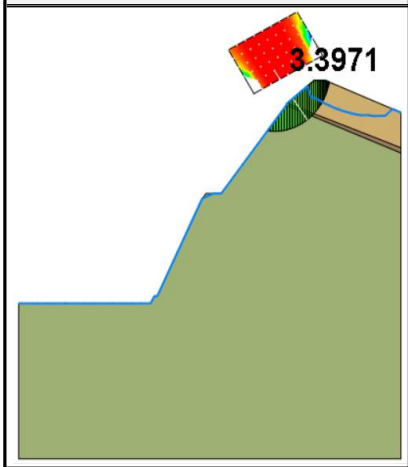
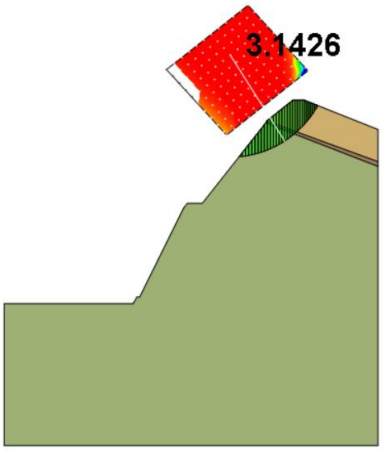
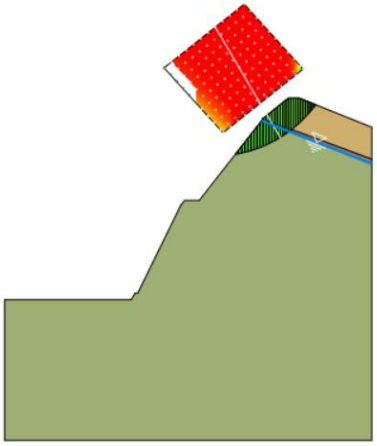
② 토사깍기비탈면 안정성검토

◦ 검토단면



대표단면 : STA.0+480, 부산

◦ 해석결과

건기시	우기시	지진시
		
안전율 : 3.39	안전율 : 3.14	안전율 : 2.61

③ 2구간 비탈면 안정성검토 결과

구 분	검토 결과		비 고
암반구간 (평사투영해석)	평면파괴	안정	
	쐐기파괴	안정	
	전도파괴	안정	
토사구간 (한계평형해석)	건기시	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K	우기시는 침투조건고려
	우기시	Fs ≥ 1.3 ⇨ O.K	
	지진시	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K	

아. 안전성능평가 결과

구조안전성능평가는 설계 당시의 자료 및 금회 조사된 자료를 검토·분석하여 평가하기로 한다. 설계시 평사투영해석 결과 전도파괴 가능성이 분석되어 한계평형해석을 시행한 결과 건기 및 우기시 허용안전율을 상회하는 것으로 검토되었다. 금회 현장조사를 통한 평사투영해석 결과 각각의 파괴유형에 대한 안전한 것으로 분석되어 구조안전성능평가는 A등급으로 평가되었다.

<표 2.8-95> 구조안전성능평가 결과

구조안전성능 평가 결과 산정표				
시설물명		**부산기점 STA.47+050~47+630**		
구성 재료	**파괴유형**	**최소안전율**	**평가 결과**	**비 고**
암반구간 (평사투영 해석)	평면파괴	안정	a	평면파괴 가능성 없음
	전도파괴	안정	a	전도파괴 가능성 없음
	쐐기파괴	안정	a	쐐기파괴 가능성 없음
토사구간 (한계평형 해석)	건기시	2.54	a	Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K
	우기시	2.32	a	Fs ≥ 1.3 ⇨ O.K
	지진시	2.14	a	Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K
구조안전성능평가 결과		**A**		

8.4.3 안전성능평가 결과

안전성능 평가는 상태안전성능과 구조안전성능 평가를 실시하여 둘 중 낮은 등급 결과에 따라 최종등급을 결정하여 그에 대한 대책을 마련한다.

상태안전성능평가 결과, 불연속면의 특성 및 지반 변형 등은 양호한 상태인 것으로 확인되었고 상태안전성능평가 결과 A등급으로 평가 되었다.

금회 본 시설물의 안전성능평가 결과, 외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준인 A등급으로 평가되었다.

<표 2.8-49> 안전성능 평가 결과

안전성능 평가 결과 산정표			
시설물명	**부산기점 STA.47+050~47+630**		
평가 구분	결함지수	평가 결과	비 고
상태안전성능	0.133	A	인장균열 없음
구조안전성능	0.080	A	특이파괴 유형 없음
안전성능	0.133	A	
안전성능 결과	ㅇ상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택. ㅇ**안전성능평가 결과 : A등급**		

<표 2.8-50> 안전성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

안전등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00 ≤(E)< 0.15	외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 성능 수준
B (양호)	0.15 ≤(E)< 0.30	일부 부재에서 경미한 결함이 발생하였으며, 결함의 진행 여부를 지속적으로 관찰하고 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30 ≤(E)< 0.55	광범위한 부재에서 결함이 발생하였으나, 전체적이 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강이 필요한 성능수준
D (미흡)	0.55 ≤(E)< 0.75	심각한 결함에 대한 긴급한 보수·보강이 필요하며 사용 제한 여부를 결정해야 하는 성능 수준
E (불량)	0.75 ≤(E)< 1.00	심각한 결함으로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있어 즉각 사용을 금지하고 보강 또는 개축이 필요한 수준

8.5 내구성능 평가

8.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

<표 2.8-51> 평가 대상 사면 개요

구 분		시 설 현 황	비 고
사면 형식		절리암반사면	SR = 0/55 = 0.
공용기간		10년	2008년 12월 준공
암반구간 설계(초기)강도		71.4MPa	
면적	전체	20,750㎡	
	토사구간	-	
	암반구간	20,750㎡	
표면보호공	식 생	20,300㎡	
	숏크리트	450㎡	
사면보강공	시설 없음	-	

8.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

본 비탈면은 토층심도율을 적용한 결과 암반사면에 해당되며, 지반상태(암반), 표면보호공 및 사면보강공, 절리상태 및 풍화진행도에 대해 평가하기로 한다.

<표 2.8-52> 사면 형식별 내구 성능 지표

구 분	평가 요소		
	토사사면	암반사면	혼합사면
절토사면	○ 지반상태(토질) ○ 표면보호공 ○ 사면보강공	○ 지반상태(암반) ○ 표면보호공 ○ 사면보강공 ○ 절리상태 및 풍화진행도	○ 토사사면과 암반사면 지표를 모두 고려

8.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

<표 2.8-53> 암반사면의 지반상태 평가 기준

항목	등급	그룹 A 암석 예			
		설계(초기 점검값) 대비 강도			
		극경암	경암	보통암	연암
지반상태 (암반)	a	97.5%이상 100%이하	95.0%이상 100%이하	94.0%이상 100%이하	90.0%이상 100%이하
	b	95.0%이상 97.5%미만	90.0%이상 95.0%미만	88.0%이상 94.0%미만	80.0%이상 90.0%미만
	c	92.5%이상 95.0%미만	85.0%이상 90.0%미만	82.0%이상 88.0%미만	70.0%이상 80.0%미만
	d	90.0%이상 92.5%미만	80.0%이상 85.0%미만	75.0%이상 82.0%미만	60.0%이상 70.0%미만
	e	90.0%미만	80.0%미만	75.0%미만	60.0%미만

<표 2.8-54> 암반 강도시험 결과

위 치	추정강도 평균값(MPa)	초기값 대비강도(%)	비 고
하단부 40m	79.7	111.6	초기 강도값(연암) : 71.4MPa 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값
하단부 60m	83.6	117.1	
하단부 80m	87.9	123.1	
평균값	80.0	112.0	
등급	**a**		

<표 2.8-55> 표면보호공 평가 결과

항목	등급	보호공의 종류	
		식생 (식생 피복율, %)	콘크리트뿜어붙이기 (손상 면적율, %)
표면 보호공	a	매우 양호(90% 이상)	균열 및 박락 없음(0~10% 미만)
	b	양호(70%이상~90%미만)	일부 균열 발생(10%이상~30%미만)
	c	보통(50%이상~70%미만)	균열 및 일부 박락 발생(30%이상~50%미만)
	d	불량(30%이상~50%미만)	박락으로 일부 유실된 상태, 누수발생(50%이상~70%미만)
	e	매우 불량(0%~30%미만)	대부분의 범위에서 박락 및 유실, 누수발생(70%이상)

<표 2.8-56> 표면보호공 피복 면적

표면보호공 종류	식생공		콘크리트 뿜어붙이기		비고
	피복면적	피복율(%)	손상면적	손상율(%)	
식생	16,825/20,300㎡	82.9%	3,475㎡	17.1%	
평가	식생 피복율이 82.9%이므로 "b등급"으로 평가함.				

<표 2.8-61> 암반의 풍화도 평가 등급 및 기준

평가항목	절리상태 및 풍화진행도				
	a	b	c	d	e
길이	< 1m	1~3m 미만	3~10m 미만	10~20m 미만	≥ 20m
틈새	0	< 0.1㎜	0.1~1㎜미만	1~5㎜ 미만	≥ 5㎜
거칠기	매우 거침	거침	약간 거침	평탄	매우 평탄
충전물	없음	단단한 충전물 (< 5m)	단단한 충전물 (≥ 5m)	연약한 충전물 (< 5m)	연약한 충전물 (≥ 5m)
풍화진행도	신선	약한 풍화	보통 풍화	심한 풍화	완전 풍화

<표 2.8-62> 암반의 풍화도 평가 결과

평가항목	불연속면(Set A)		
	Set 1	Set 2	Set 3
길이(m)	1.0~3.0	1.0~3.0	1.0~3.0
	b(5)	b(5)	b(5)
틈새(㎜)	0.3~0.5	0.1~0.6	0.4~0.9
	c(10)	c(10)	c(10)
거칠기	약간 거침	약간 거침	약간 거침
	c(10)	c(10)	c(10)
충전물	없음	없음	없음
	a(0)	a(0)	a(0)
풍화진행도	보통 풍화	보통 풍화	보통 풍화
	c(10)	c(10)	c(10)
합 계	30	30	30
평 균	6.0	6.0	6.0
평가 결과	c	c	c

<표 2.8-63> 절리상태 및 풍화진행도 평가 결과

시험 개소	시험개소별 등급	등급 점수	비 고
Set A- Set 1	c	0.43	
Set A- Set 2	c	0.43	
Set A- Set 3	c	0.43	
평균값		0.43	최소 및 최대 제외
등 급		**c**	

8.5.4 내구성능 평가 결과

본 비탈면은 암반강도 및 절리상태 및 풍화 진행도, 표면 보호공, 사면 보강공이 있으므로 이를 고려하여 가중치 보정값을 적용하기로 한다.

<표 2.8-64> 사면형식에 따른 지표별 가중치

사면구분	지표명	지표별 가중치				
		기본	가중치 보정			
암반사면	지반상태(암반)	25	28	33	38	-
	절리상태 및 풍화진행도	40	44	53	62	80
	표면보호공	10	-	14	-	20
	사면보강공	-	-	-	-	-

<표 2.8-66> 암반사면 내구성능 등급 산정

평가항목	등급	등급 점수 (a)	가중치 (b)	결함지수 (a)×(b)
지반상태(암반)	a	0.08	0.33	0.026
절리상태 및 풍화진행도	c	0.43	0.53	0.228
표면보호공	b	0.23	0.14	0.032
결함도 지수				0.286
등 급				**B**

금회 본 시설물의 내구성능평가 결과, 일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.

<표 2.8-68> 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의

안전등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00 ≤(E)< 0.15	외부 환경조건 등으로 인한 내구성능 저하가 발생할 가능성이 낮은 성능 수준
B (양호)	0.15 ≤(E)< 0.30	일부 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경 등의 조건을 고려하여 보수 여부를 결정해야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30 ≤(E)< 0.55	광범위한 부재에서 내구성능의 저하 가능성이 조사되었거나 주의가 필요한 수준으로 진행되어 간단한 보수가 필요한 성능 수준
D (미흡)	0.55 ≤(E)< 0.75	광범위한 부재에서 내구성 저하가 진행되어 긴급한 보수 또는 교체가 요구되는 성능 수준
E (불량)	0.75 ≤(E)< 1.00	광범위한 부재에서 내구성능의 저하가 심각하게 진행되어 즉각 사용을 금지하고 보수 또는 교체가 필요한 성능수준

8.6 종합평가

8.6.1 종합평가 개요

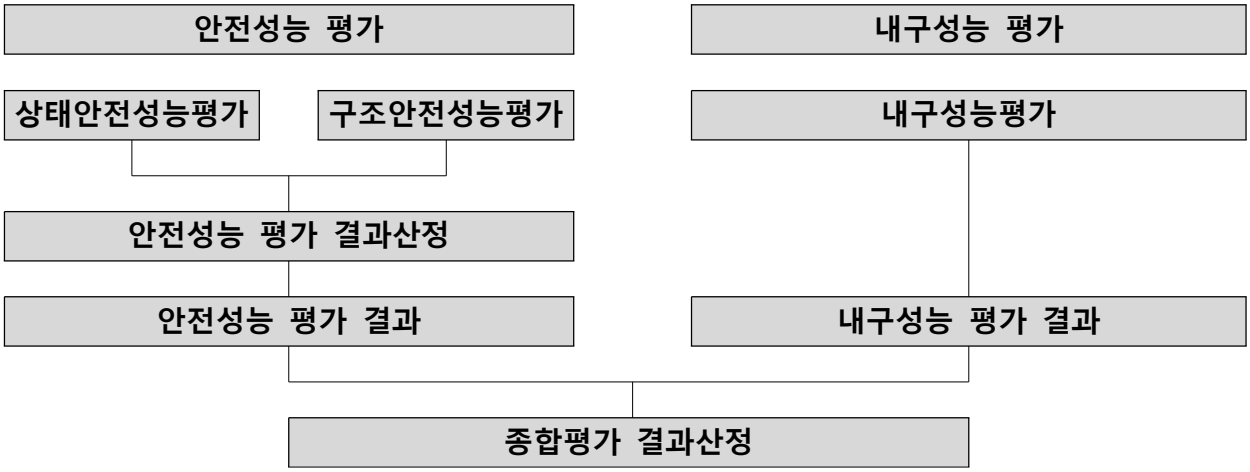
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때

· 안전성능 평가지수가 종합평가의 대표 지수로 산정

○ 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급이 아닐 경우

· 안전성능과 내구성능 각 성능항목의 가중치를 고려하여 산정



<그림 2.8-13> 종합평가 흐름도

8.6.2 종합평가 결과 산정결과

종합평가의 산정방법은 안전성능 평가와 내구성능 평가 지수에 대해 각 성능항목에 따라 부여된 가중치를 곱한 값을 합산하여 구한다. 단, 안전성능평가 결과가 최하위 등급일 경우에는 가중치와 상관없이 안전성능평가 결과를 최종등급으로 산정한다.

사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn))

<표 2.8-69> 성능간 가중치 산정 값

구분	분류	성능항목	
		안전성능	내구성능
성능간 가중치 (Wn)	일반도로 사면 고속도로 사면 일반철도 사면 고속철도 사면	0.8	0.2

<표 2.8-70> 종합평가 결과

시설물의 종합평가 결과 산정표				
시설물명	부산울산선 STA.47+050~47+630(부산)		**분류**	부산울산고속도로
평가 구분	**성능평가 지수**	**평가 결과**	**성능간가중치(Wn)**	**비 고**
안전성능평가	Ps=0.133	A	0.8	인장균열 없음
내구성능평가	Pd=0.286	B	0.2	
종합평가 결과	ㅇ사면의 종합평가 지수(P) = ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn)) = (0.133 × 0.8) + (0.286 × 0.2) = 0.163 ㅇ종합평가 결과 : B등급			

당해 시설물에 대해 종합적으로 성능평가를 실시한 결과 종합성능등급은 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B등급(양호)인 것으로 평가되었다.

<표 2.8-71> 절토사면의 종합평가 결과에 따른 종합성능 등급 기준

종합성능 등급	평가지수	시설물의 상태
A (우수)	0.00≤(P)<0.15	외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준
B (양호)	0.15≤(P)<0.30	일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준
C (보통)	0.30≤(P)<0.55	광범위한 부재에서 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었고 기능 또는 사용상의 편의에 일부 문제점이 있으나, 전체적인 시설물의 안전에는 지장이 없으며, 간단한 보수 또는 보강 및 개선이 필요한 성능 수준
D (미흡)	0.55≤(P)<0.75	성능이 기준에 미치지 못하여 시설물의 지속적인 사용이 어려운 수준으로 긴급한 보수.보강 또는 개선이 필요하며 사용제한 여부를 검토해야 하는 성능 수준
E (불량)	0.75≤(P)<1.00	심각한 결함 또는 내구성능 저하로 인하여 시설물의 안전에 위험이 있거나 기능을 발휘하지 못하는 수준으로 즉각 사용을 중단하고 보강 또는 개축을 하여야 하는 성능 수준

8.7 유지관리 전략 제안

시설물의 성능목표를 설정하기 위해 성능평가 실시결과와 함께 시설물의 사용환경 등을 검토하여 성능목표에 대한 등급을 지정하여야 한다.

8.7.1 성능목표 설정

『시설물의 안전 및 유지관리 실시 세부지침 성능평가편(2019.01)』에서의 절토사면의 성능목표는 대상시설물의 적절한 안전수준과 장기적인 유지관리의 효율성을 확보하기 위해 합리적인 시설물의 성능목표를 B등급으로 설정하도록 하였다.

□시설물의 안전 및 유지관리에 관한 특별법□제6조 제9항 및 동법 시행령 제3조 제4항, 제5항에 의거 5년주기의 "중기 시설물 관리계획"을 수립하여야 한다. 중기 시설물 관리계획에 성능평가 대상시설물에 대한 성능목표 및 관리기준이 설정되어야 하나 아직 계획수립 전에 금회 성능평가가 실시되기 때문에 본 시설물의 성능목표는 관리주체 의견과 관련 법규를 종합적으로 분석하여"B(0.15≤P<0.30)"으로 설정하였다.

<표 2.8-72> 성능목표 등급의 분류기준에 따른 평가점수 범위

기준	A	B	C	D	E
결함도 범위	0.0≤P<0.15	0.15≤P<0.30	0.30≤P<0.55	0.55≤P<0.75	0.75≤P
성능목표	**B등급** 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준				

8.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "B등급(0.207)"으로 평가되었다. 이는 성능목표와 동일한 등급을 유지하고 있는 양호한 상태인 것으로 분석되었다.

<표 2.8-73> 종합평가 결과 요약

평가구분	안전성능	내구성능	종합성능
평가지수	0.133	0.286	0.167
평가결과	A	B	B

8.7.3 유지관리 전략 제안

유지관리 전략 제안의 목적은 모든 보수·보강 후보를 대상으로 성능평가지표인 상태안전성능, 구조안전성능, 내구성능, 사용성능에 근거하여 경제적 측면, 환경적 측면, 사회적 영향 등을 고려하여 우선적으로 조치하여야 할 대상을 선정하는데 있다.

가. 손상별 보수·보강 방안

노후화된 구조물에 대한 보수·보강은 손상구조물의 영향정도, 구조물의 중요도, 사용환경조건 및 경제성 등에 의해서 보수·보강 공법 및 수준을 정한다. 본 절토사면의 성능평가 결과, 성능목표인 "B등급"을 만족하는 상태로 금회 조사된 손상들에 대해서는 현상유지 수준의 주의관찰이 적정할 것으로 판단된다.

<표 2.8-74> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안

구 분		손상 내용	보수·보강방안	보수.보강 수준
표면 보호공	표층	상태양호	주의관찰	현상유지
	숏크리트	숏크리트 상부균열	주의관찰	현상유지
배수 조건	수직도수로	소단배수로 파손	주의관찰	현상유지
상부 자연비탈면		상태양호	주의관찰	현상유지

나. 유지관리 전략 제안

본 비탈면은 현재 목표성능을 만족하는 "B등급"의 상태를 유지하고 있으나, 본 사면에서 발생한 손상은 경미하고 국부적인 손상으로 성능수준 유지를 위해서는 지속적인 주의 관찰이 필요할 것이다.

8.8 종합결론

본 성능평가는 현장조사 및 각종시험에 의해 시설물의 성능을 종합적으로 평가하여 시설물의 객관적인 현재의 상태와 장래의 성능 변화를 파악·예측하고, 이를 통해 관리주체가 보수·개량·교체 등의 최적시기 결정 등 합리적 유지관리 전략을 마련하는 데 그 목적을 두고 시행하였다.

1) 안전성능 평가는 외관상 관찰되는 시설물의 결함을 중심으로 조사·평가하였다. 현장조사 및 분석 결과 붕괴징후가 없는 안정된 상태이다. 또한, 현재 손상 상태는 외관상 결함, 손상 등의 요인에 대한 문제점이 없고 내구성능 저하 가능성이 낮으며 외부 환경조건 변화 등을 수용할 수 있는 성능 수준인 A등급으로 평가되었다.

2) 내구성능평가는 시간에 따라 변화하는 안전성능 저하에 영향을 미치는 요소에 대한 평가로서 본 비탈면의 절리상태 및 표면 보호상태에 대한 평가를 시행하였다. 그 결과 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B등급으로 평가되었다.

3) 안전성능평가, 내구성능평가 결과를 종합적으로 분석할 때, 일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준인 B(양호)등급으로 평가되었다.

4) 본 절토비탈면의 성능목표 등급은 세부지침에 의거하여 절토비탈면의 일반적인 성능목표인 "B"등급으로 성능목표를 설정하였으며, 현재 성능은 목표성능을 만족하는 상태로 주기적인 점검 및 관리를 통한 평가저해요소에 대한 관리가 이루어진다면 시설물의 안전 및 내구성에는 문제가 없을 것으로 판단된다.