상주영천고속도로 시설물 안전 · 하자점검 및 성능평가 용역

# 성 능 평 가 보 고 서

8 공 구 : 영천절토61
9 공 구 : 영천절토62
10 공 구 : 영천절토63, 상주절토64, 상주절토65, 영천절토66

2020. 12

상 주 영 천 고 속 도 로 [ 주 ]

[ 주 ] 명 성 엔 지 니 어 링

상주영천고속도로 시설물 안전·
하자점검 및 성능평가 용역

# 성능평가 보고서

(절토사면 V편)

'20.12

상주영천고속도로(주)

# 제61장 영천절토61

61.1 대상 시설물 현황

61.2 관련 자료의 분석

61.3 현장조사

61.4 안전성능평가

61.5 내구성능평가

61.6 종합평가

61.7 유지관리전략 제안

61.8 종합결론

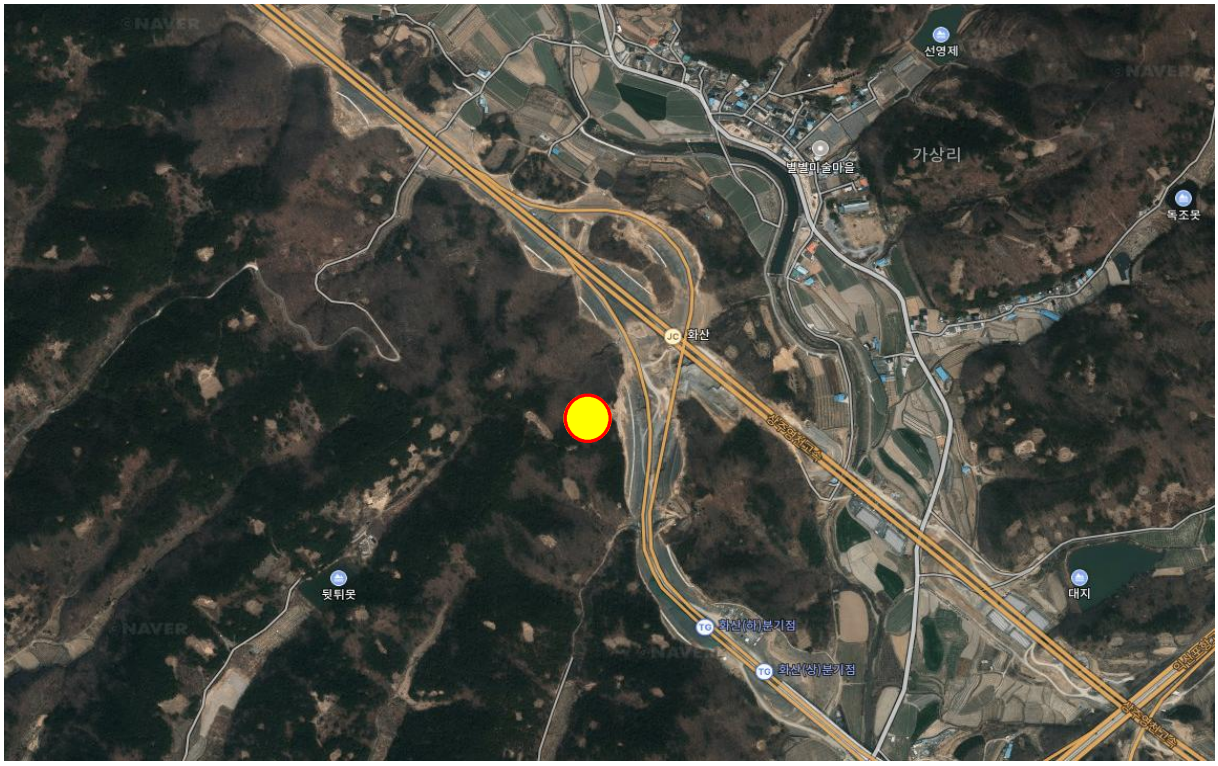
# 제61장 영천절토61

## 61.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 영천시 화산면 가상리(상주영천고속도로 화산JCT R-D 우측 STA. 0+320~0+537, R-A 좌측 STA.1+244~1+140)에 위치한 사면으로서 총 연장 322.0m, 높이 46.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

**<표 61-1>사면 일반사항**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **시설물번호** | SL2017-0000070 | | **관리번호** | SY SL61 |
| **시설물명** | 영천절토61 | | **시설물구분** | 절토사면 |
| **위 치** | **행정구역** | 경상북도 영천시 화산면 가상리 | | |
| | **위치좌표** | 시점 : 36° 01′49.0″ 128° 53′03.0″ | | |
| | | 종점 : 36° 01′38.0″ 128° 53′05.0″ | | |
| | **관리이정** | 화산JCT R-D 0.320~0.537, R-A 1.244~1.140 | | |
| | **공구이정** | 화산JCT R-D 우측 STA.0+320~0+537, R-A 좌측 STA.1+244~1+140 | | |
| **제 원** | **연 장** | 322m | **높 이** | 46.0m |
| | **경사/방향** | 45/088~098 | **노 선** | 고속국도 301호선 |
| **관리주체** | 상주영천고속도로(주) | | **관리주체구분** | 민간 |
| **주변환경** | **인공구조물** | - | | |
| | **주변지형** | 산악지형 | **상부사면경사** | 0~10° |
| **시공현황** | **준공년도** | 2017 | **시 공 자** | ㈜대우건설 |
| | **부대시설** | 점검로, 배수로, 산마루측구, 낙석방지울타리, 숏크리트 | | |
| **비 고** | | | | |

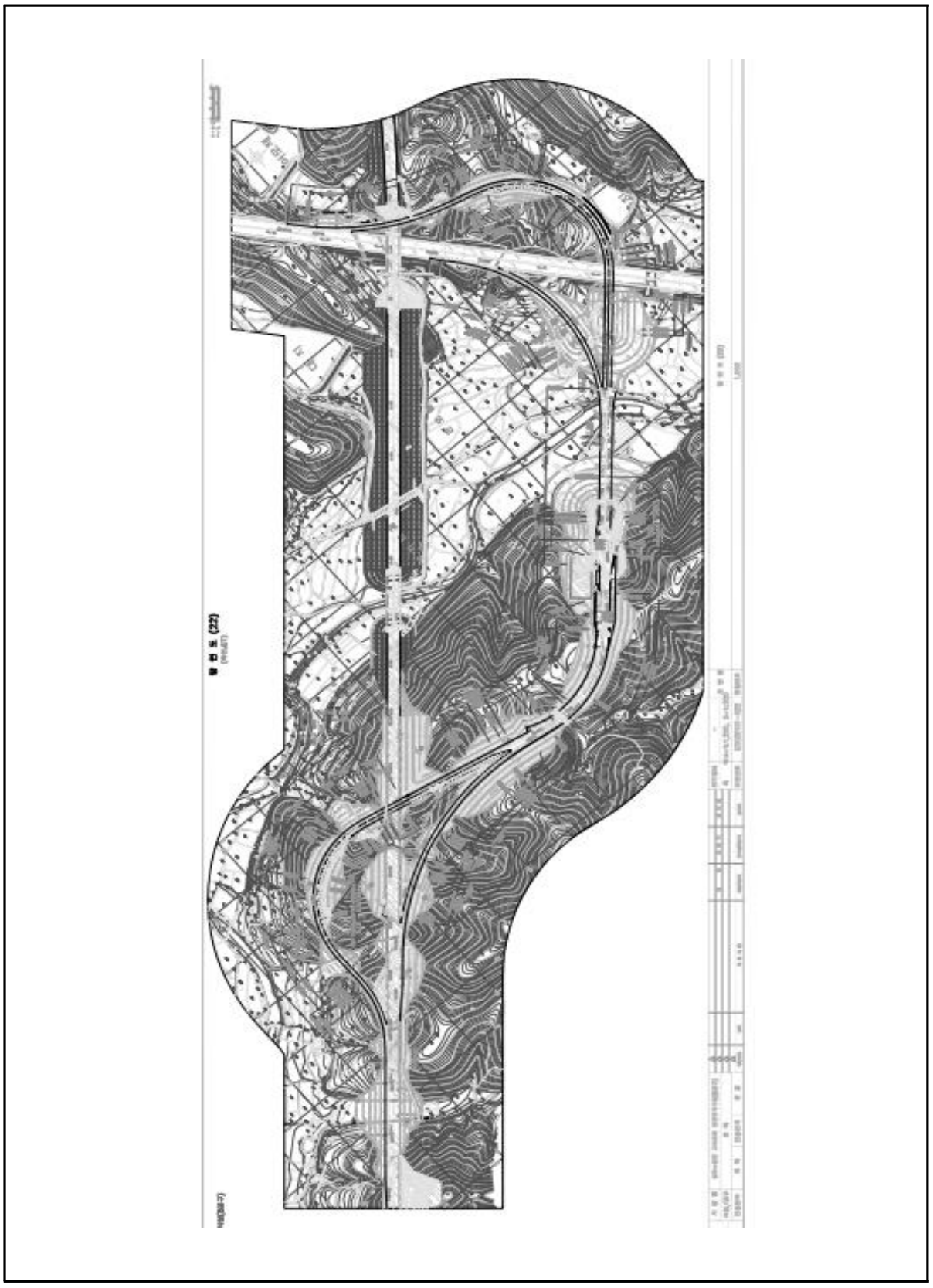



<그림 61-1>위치도

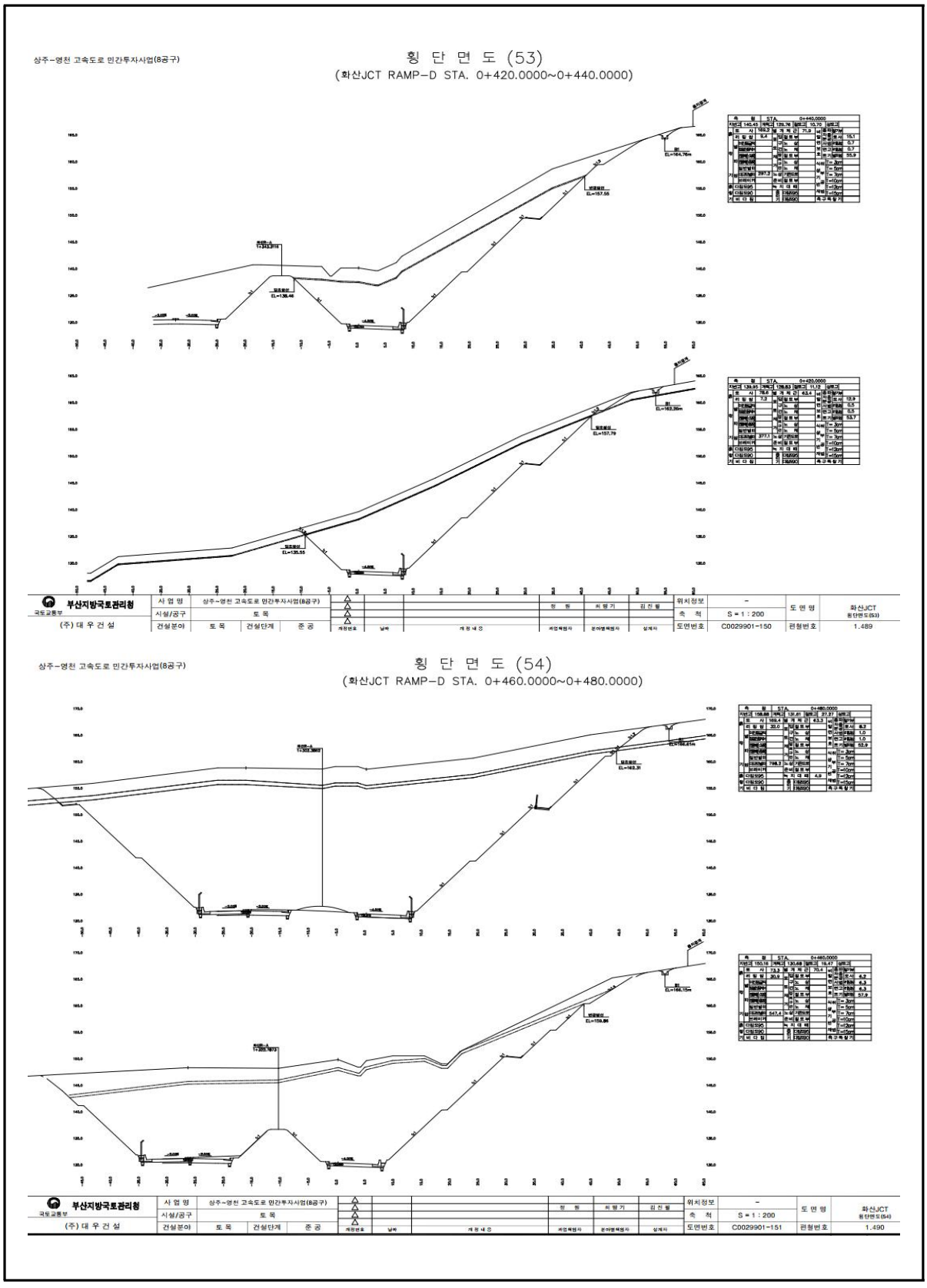
| 2019년 정밀안전점검 |
| --- |
| |

<그림 61-2> 전경사진

| | |
|---|---|
| | |
| 숏크리트 전경 | 1소단 배수로 전경 |
| | |
| 산마루측구 전경 | 수직도수로 전경 |
| | |
| 하부 전경 | 점검계단 전경 |



**<그림 61-3> 평면도**




**<그림 61-4>표준횡단면도**

# 61.2 관련 자료의 분석

## 61.2.1 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 61-2> 유지관리 관련자료 현황**

| 보존대상 목록 | | 보유현황 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 설계도서 | ㅇ공통<br>- 준공내역서<br>- 공사 및 특별시방서<br>- 각종계산서<br>- 토질 및 지반조사 보고서<br>- 기타 특이사항 보고서 | <br>보유<br>보유<br>보유<br>보유<br>- | ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 8공구 |
| | ㅇ설계도면<br>- 위치도, 전개도, 평면도, 종・횡단면도 등 | 보유 | ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 8공구 |
| 시 설 물 관리대장 | ㅇ기본현황<br>ㅇ상세제원<br>ㅇ유지관리 이력 | 보유<br>보유<br>보유 | ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS) |
| 시공관련 자 료 | ㅇ시공관련자료<br>ㅇ품질관리 관련자료<br>- 재료증명서<br>- 품질시험기록<br>- 각종 시험기록<br>- 시설물 주요 구조 부위에 대한 계측자료<br>ㅇ사고자료 | 일부 보유<br><br>일부보유<br>일부보유<br>일부보유<br>-<br>-<br>- | ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 8공구 |
| 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 2017년 준공된 시설물로 설계 및 시공관련 자료 관리 및 보관상태는 대체로 양호한 것으로 조사되었다. 관련자료 분석을 통해 당초 시공시의 개략적인 지반상태를 파악할 수 있다.

## 61.2.2 지반조사 보고서 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 "상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 8공구"의 설계 및 준공도서 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

1) 사면 적용구배 및 소단설치 기준

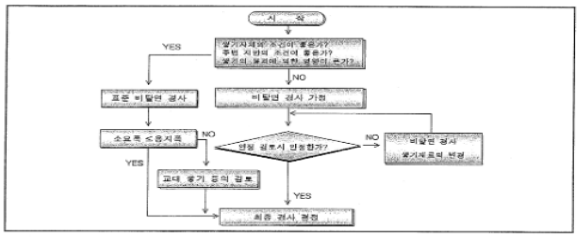
7.4 비탈면 설계기준

비탈면 안정해석을 위한 설계기준은 대체적으로 소단, 비탈면기울기 및 최소안전율 등으로 구분할 수 있으며 이에 대하여 검토하면 다음과 같다.

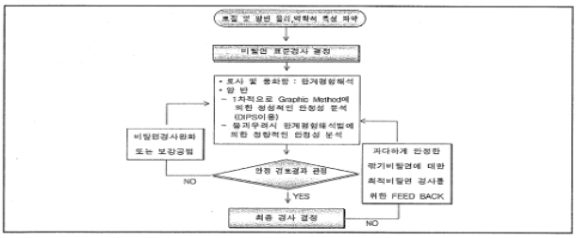
7.4.1 비탈면 기울기기준

가. 비탈면 기울기의 결정

(1) 쌓기 비탈면 기울기 결정에 따른 흐름도




(2) 깎기 비탈면 기울기결정에 따른 흐름도




251

다. 깎기 비탈면

자연지반의 토질은 매우 불균질하고, 풍화도, 성층상태 및 균열 등에 의해 지반의 강도는 현저하게 다르며 시공후 시간의 경과에 따라 응력이완, 대기노출로 인한 풍화진행 등으로 원지반의 전단강도가 약해지므로 비탈면이 차차 불안정하게 된다.

따라서 깎기비탈면 안정을 위한 기울기기준 결정은 토질구성, 상태, 특성, 지형조건, 지하수위 상태 및 시공조건과 비탈면의 용도등을 종합적으로 분석 고려되어야 한다.

국내 깎기비탈면 설계기준 적용기준은 건설교통부 및 한국도로공사 설계기준에 의거한 표준기울기를 적용하고 있으며 암반층에서 층리나 절리등이 규칙있게 발달할 경우 기울기 비탈면에 따라 큰 붕괴가 예상되므로 지반조사 결과를 토대로 파괴형태를 예상하여 이에 대한 적절한 비탈면 기울기설정 및 부가적인 안정대책을 수립하도록 계획하였다.

[원지반 토질에 대한 비탈면 기울기범위]

| 토 질 조 건 | | 비탈면높이(m) | 기울기 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 모 래 | | - | 1:1.5 이상 | SW, SP |
| 사 질 토 | 밀실한 것 | 5 이하 | 1:0.8 ~ 1:1.0 | SM, SP |
| | | 5~10 | 1:1.0 ~ 1:1.2 | |
| | 밀실하지 않고 입도분포가 나쁨 | 5 이하 | 1:1.0 ~ 1:1.2 | |
| | | 5~10 | 1:1.2 ~ 1:1.5 | |
| 자갈 또는 암괴 섞인 사 질 토 | 밀실하고 입도분포가 좋음 | 10 이하 | 1:0.8 ~ 1:1.0 | SM, SC |
| | | 10~15 | 1:1.0 ~ 1:1.2 | |
| | 밀실하지 않거나 입도분포가 나쁨 | 10 이하 | 1:1.0 ~ 1:1.2 | |
| | | 10~15 | 1:1.2 ~ 1:1.5 | |
| 점 성 토 | | 0~10 | 1:0.8 ~ 1:1.2 | ML, MH, CL, CH |
| | | 5 이하 | 1:1.0 ~ 1:1.2 | GM, GC |
| 암괴 또는 호박돌 섞인 점성토 | | 5~10 | 1:1.2 ~ 1:1.5 | |
| 풍 화 암 | | - | 1:1.0 ~ 1:1.2 | 시편이 형성되지 않는 암 |

주) 1. 실트는 점성토로 간주. 표에 표시한 토질 이외에 대해서는 별도로 고려한다.
2. 위 표의 기울기는 소단을 포함하지 않는 단일비탈면의 기울기이다.

(건설교통부, 건설공사비탈면설계기준, 2006년)

7.4.2 소단 설치기준

가. 국내외 기관별 소단 적용기준

소단 설치빈도 및 폭에 대하여 국내의 기관별, 비탈면의 종류 및 지반의 특성 등을 고려하여 비교분석한 결과는 다음표와 같다. 소단 적용기준 현황을 보면 일본의 경우는 소단설치 높이 기준을 7m 마다 1~2m로 규정하고 있으며 국내기준은 5~10m마다 0.5~3.0m이다.

소단의 설치목적은 비탈면침식방지를 위한 배수시설 설치, 점검보수용 통로 등의 유지관리에 있으므로 발파암층에서는 H=10.0m 마다 1.0m소단과 리핑암 및 토사층에서는 H=5.0m마다 1.0m소단을 설치하되 H=20.0m마다 3.0m소단을 설치하는 것이 대체적으로 타당한 것으로 사료된다.

[국내외 기관별 소단적용 기준]

| 구 분 | 기관 및 규정명 | 소단적용 기준 |
|---|---|---|
| 국 내 | 건설공사 비탈면 설계기준 (2006) | · 비탈면 높이 10m 이상 : 원칙적으로 소단설치<br>· 비탈면 중간에 5~20m 높이 마다 폭 1~3m 소단설치 |
| | 한국도로공사 도로설계요령 (2002) | · 리핑암 : R.Q.D = 0~10%, H=5m 마다 소단 1m<br>· 발파암<br>RQD = 10~25% : H = 10m 마다 소단 1~2m<br>RQD = 25~50% : H = 10m 마다 소단 1~2m<br>RQD = 50% 이상 : H = 20m 마다 소단 3m |
| | 건설부 도로시설기준 | · H = 5 ~ 10m 마다 소단 1 ~1.5m |
| | 한국토지공사 | · H = 7m 마다 소단 0.5 ~1.5m |
| 일 본 | 도로공단 설계요령 | · H = 7m 마다 소단설치 |
| | 국유철도토목구조물 표준시방서 | · 암석과 접하는 토사 경계부와 7m 마다 소단 설치 |
| | 철도설계요령 | · H > 10m의 경우 7m마다 소단 1.5m. 기울기3% |

7.4.3 지하수위 적용기준

가. 적용기준

비탈면안정해석시 지하수위는 계절적인 지하수위 변화, 지형 및 시간적 요소를 고려하여 비탈면의 안정조건에 가장 불리한 상태를 해석에 적용하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

쌓기구간에서는 시공속도에 따른 장단기적인 배수조건과 토층 및 풍화암 지반조건에서는 강우시 침투해석에 의한 간극수압분포를 실제 안정해석에 이용하여야 하나 본 설계에서는 다음과 같이 적용하였다.

256

7.4.5 설계기준 선정

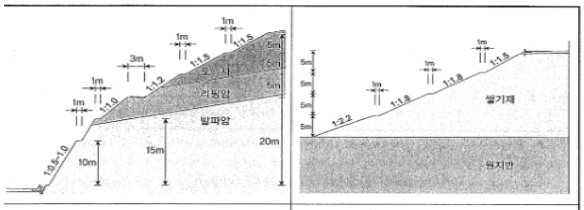
가. 비탈면 기울기 및 소단설치 기준

비탈면안정 해석을 위한 비탈면의 설계기준은 7.4.1 비탈면 기울기 기준에서 서술한 바와 같이 검토하였으며, 설계기준으로는 건설교통부 및 한국도로공사 기준을 적용하였다.

아래의 표는 비탈면의 설계기준을 정리한 것이며 본 표를 준용하여 비탈면안정 해석을 실시하는 것을 원칙으로 하나 해석 후 불안정한 경우 비탈면기울기를 완화하거나 비탈면안정 대책공법을 제시한다.

<비탈면 기울기 설계기준>

| 비탈면 구분 | 토 질 | 적 용 경 사 | 소 단 설 치 |
|---|---|---|---|
| 땅깎기 비탈면 | 토 사 층 | 1 : 1.2 ~ 1.5 | · 토사 및 리핑암<br>- 땅깎기 높이 5m 마다 소단 1m 설치<br>· 발파암 :<br>- 수직높이 10m 마다 소단 1m 설치<br>· 땅깎기 높이 20m 마다 3m 소단설치<br>· 리핑암과 발파암 사이에는 소단설치하지 않음 |
| | 리 핑 암 | 1 : 1.0 | |
| | 발 파 암 | 1 : 1.0 | |
| 쌓기 비탈면 | 쌓 기 재 | 1 : 1.5 ~ 3.2 | · 쌓기 높이 5m 마다 1m 소단설치 |




깎기비탈면 표준 기울기 | 쌓기비탈면 표준 기울기

259

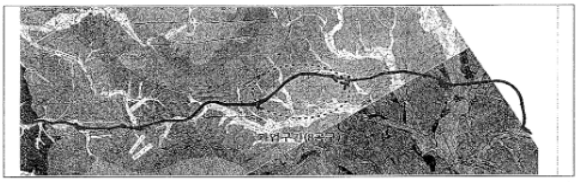
## 2) 지형 및 지질

### 제 4 장 조 사 결 과

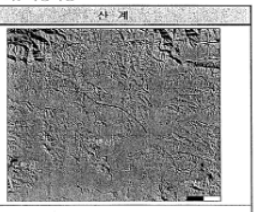
#### 4.1 지표 지질 조사

##### 4.1.1 지형 및 지질특성

| | |
|---|---|
| 지질개요 | • 조사지역의 지질은 변성암 상위를 부정합으로 놓인 사암, 역질사암, 역암, 니질암(세일 및 이암)등으로 이루어지는 중생대 경상누층군의 퇴적암류들이 넓게 분포<br>• 조사지역의 구성암석은 층적평원과 호성환경에서 변화되는 양상으로 해당지역에 분포하는 춘산층(반아월층)의 경우에는 니질층이 매우 우세한 호성 퇴적암임 |



가. 지형특성

| 산 계 | 수 계 |
|---|---|
|  | |
| • 과업노선은 높이가 약 50m 내외인 낮은 산과 충적층을 따라 위치함<br>• 과업노선의 북쪽으로는 주변지역에 비해 높은 고도를 보이는 월암산이 위치하며 서쪽으로는 넓은 면적으로 분포하는 팔공산이 자리 잡고 있음 | • 과업노선의 북동쪽과 북서쪽에는 각각 고현천과 신녕천이 위치하고 있으며 남쪽으로는 청통천이 흐르고 있음<br>• 신녕천은 남동 방향으로 흐르면서 과업노선의 중점부와 교차하고 있음<br>• 이들 하천은 많은 지류를 형성하고 있으며 수지상의 복잡한 형태를 보임 |



나. 분포암층 특성

| 구 분 | 지 질 특 성 |
|---|---|
| 춘산층 | • 층의 두께는 700m 내외이며 암회색 및 자색 이암과 실트암, 암회색 세일 및 사암으로 구성된다. 최하부는 2~3m 두께의 구산동응회암으로, 중부는 기사동 역암으로 특징 지워진다. 구산동응회암은 주로 화산기원의 장석 및 석영입자들과 화산의 기질로 구성되었으나, 수류퇴적을 지시하는 층리 및 모양을 갖으며, 식물의 줄기와 및 화석들이 산출된다(Tateiwa, 1929) |
| 사곡층 | • 하한은 점곡층의 응회암이 끝나고 자색 이암과 실트암이 협재되기 시작하는 층준이며, 상한은 춘산층의 최하부인 구산동응회암의 직하위이다. 층의 두께는 군위에서 2,000m이나 남쪽으로 점차 감소되어 팀리에서는 250m에 불과하다. 주요 구성암석은 자색 이암과 실트암 및 녹회색 실트암 및 녹회색 사암이며, 중부에는 응회질 사암도 협재된다. 자색 이암은 상부에서 우세하며, 석회질 단괴는 거의 발달되지 않으나, 건열, 연흔, 사층리가 발달되고 생흔화석들이 흔하다. 식물 화석으로 Frenelopsis cf. paroeramosa Fontaine이 보고되었다(Tateiwa, 1929). |

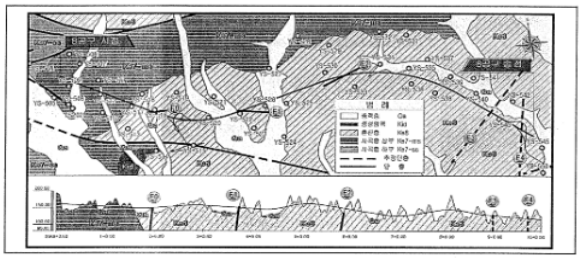
다. 지질 계층도

| 시절시대 | | 주 역 | | 특 성 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 제4기 | | 충적층(Qu) | | • 하천 및 산록 퇴적물 | |
| | | — 부정합 — | | | |
| 중생대 | 백악기 | 중성암맥(Kid)<br>산성암맥(Kad) | | • 피상의 치밀 | • 전 구간에서 기반암을 관입 |
| | | — 관입 — | | | |
| | | 화강암(Kgr) | | • 피상의 치밀 | • 3공구 중앙부 |
| | | — 경입 — | | | |
| | | 응회질층군 | 반산암질암(Kat) | • 주로 응회암으로 구성 | • 노선과 교차하지 않음 |
| | | — 관입 및 분출 — | | | |
| | | 하양층군 | 신양동층(ke9) | • 암회색 이암 및 세일과 사암이 교대 | • 10공구 종점부 |
| | | | 춘산층(ke8) | • 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 세일<br>• 하부층에서 석회질 물질 다량 함유 | • 10~8공구에 걸쳐 분포 |
| | | | 사곡층(Ke7) 상부(Ke7-ms) | • 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 세일<br>• 석회질 물질 함유 | • 8공구 시점 |
| | | | 사곡층(Ke7) 하부(Ke7-ss) | • 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 세일과 사암이 교호<br>• 사질부분을 다량 함유 | • 8공구 시점과 7공구 종점 |
| | | | 점곡층(ke6) | • 암회색, 녹회색, 적색 세일 및 이암<br>• 주로 암회색 세일로 구성 | • 7공구 종점 및 중앙부 |
| | | | 후평동층(Ke5) 구계동층원(Ke5-2) | • 사암, 미사암 및 미사질 세일 및 이암(니질 우세) | • 7공구 시점부 |
| | | | 후평동층(Ke5) 구미동층원(Ke5-1) | • 사암, 적색 미사질 세일, 저색처트역 및 역암(사질 우세) | • 6공구 종점부 |
| | | | 압적층(Ke4) | • 사암, 적색 미사질 세일, 역암<br>• 주로 사암이 우세 | • 6공구 중앙 및 종점 |



##### 4.1.3 과업구간 지질분포 특성

가. 상세 지표지질조사



① 주요 노두 특성분석

| 노두 사진 | 특 성 |
|---|---|
| | • 사곡층 상부(노두No.YS-202)<br>• 적색 니질암<br>• 층리방향 : 22/162<br>• JI=84/208, J2=84/098 |
| | • 사곡층 하부(노두No.YS-504)<br>• 녹회색 및 적색 니질암<br>• 층리방향 : 32/148, 단층단말 : 66/356<br>• 단층 비지 5mm, 단층 폭 0.5m<br>• JI=88/264, J2=82/042, J3=67/318 |
| | • 사곡층 상부(노두No.YS-505)<br>• 적색 니질암<br>• 층리방향 : 20/169<br>• JI=82/271, J2=78/340 |
| | • 사곡층 상부(노두No.YS-506)<br>• 적색 니질암<br>• 층리방향 : 22/166, 소단층방향 : 87/048<br>• JI=68/348, J2=89/240, J3=72/116<br>• 폭 0.5m, 파쇄대 1m정도, 단층 각력암 존재 |



나. 지질 각론

•이하는 1:5만 신령도폭(원종관 외, 1980)의 내용이다.
이 지역의 지질은 백악기 퇴적암층과 화성암류로 구성되어있다. 백악기 퇴적암층은 경상누층군 하양층군에 속하는 함안층(사곡층), 반야월층(춘산층)과 자인층이고 화성암류는 이들을 관입한 아화산암류, 심성암류, 반심성암류로 구분된다. 퇴적암은 심성암과의 접촉대에서 호온펠스로 변성되었다(그림 3). 과업구간은 의성 소분지의 남단에 자리잡고 있어 유천 소분지와의 관계를 해석하는데 매우 중요한 지역이다.

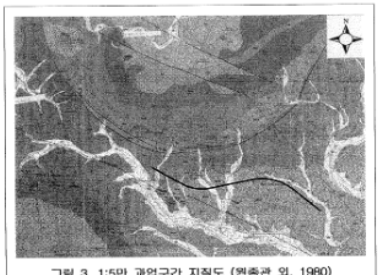


그림 3. 1:5만 과업구간 지질도 (원종관 외, 1980)

•나동군층 퇴적기에서 신라역암 퇴적기에 이르기 까지 팔공산산을 경계로 하여 퇴적 환경에 차이를 보여주었으나 본역에 분포하는 함안층 및 반야월층은 지질구조의 해석으로서 유천 소분지의 것과 연결이 가능한 것으로 보아 퇴적암층의 층서 관계는 해란-대구-영천의 단면에서 구분된 것을 그대로 사용하였다. 그러나 노고산 환상단층내에 분포하는 호온펠스화된 퇴적암층은 반야월층 상부 또는 자인층(건천리층)하부에 대비되는가에 대해서는 결정짓기 곤란하다. 따라서 그들은 화산층이라 명명하였다.
•백악기 퇴적암층은 주로 본역의 남부에 넓게 분포하며 북부에서는 화성암체의 관입에 의하여 불규칙적인 분포를 보여준다. 화성암류는 본역의 서북부에 분포하는 아화산암체(Sub-volcanics)와 수기단층암의 양태에 따라 관입한 화강암체로 크게 구분된다.
아화산암체는 백악기에 활발했던 화산체의 뿌리 부분이 상승운동과 침식에 의하여 노출된 것이다. 아화산체의 주변에 발달하는 노고산 환상단층은 이러한 현상이 팔드론(Cauldron)과 관계있음을 말해 준다.
•수기성 단층을 따라 분포하는 화강암체는 주변상으로서 곳에 따라 암질을 달리하기도 하나 암체의 핵으로 갈수록 화강섬록암에서는 화강암을 점이되는 것으로 보아 불국사 화강암과 동질인 것이다.
•퇴적암층: 이 지역에 분포하는 퇴적암층은 신라층군의 함안층, 반아월층과 화산층이다. 과업구간은 의성 소분지의 남단에 위치하나 영천-하양리 일대에 분포하는 반아월층이 계속 발달하며 지질구조로 보아 그의 하위에 적색층의 함안층이 유천 소분지에서와 동일한 층서 관계를 갖고 분포한다. 따라서 이 지역에 분포하는 퇴적암층은 유천 소분지에서의 층서를 그대로 적용시켜도 좋으리라 믿어진다. 함안층과 반아월층의 경계는 양자가 점이적인 관계를 이루므로 적색층과 녹회색층의 호층대에서 양적 우세를 보여주는 층준에 설정하였다. 즉 지층 구분의 Key bed가 없으므로 경계의 설정은 지층의 두께 50m 범위내에서 유동성이 있는 것으로 판단된다.

3) 지반조사 보고서

## 제 1 장 조 사 개 요

### 1.1 조 사 명

- 상주~영천 고속도로 민간투자사업 실시설계(8공구)

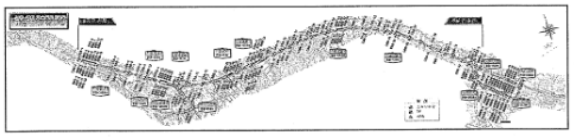
### 1.2 조 사 목 적

- 상주~영천 고속도로 민간투자사업을 위한 지반조사
- 계획노선의 지반공학적 특성을 고려한 조사계획 수립
- 선정된 최적노선을 대상으로 구조물별 특성을 고려한 현장조사, 현장시험 및 실내시험 실시
- 지층의 구성상태, 지반공학적 특성 및 지반조건 파악
- 조사된 자료를 종합·분석하여 합리적이고 경제적인 설계 및 시공에 필요한 공학적 자료 제공

### 1.3 조 사 범 위

| | |
|---|---|
| 위 치 | • 시점 : 경상북도 영천시 신녕면 화성리(STA. 0+000) (X=283,752.107, Y=180,809.115)<br>• 종점 : 경상북도 영천시 화산면 가상리(STA. 10+000) (X=280,996.070, Y=189,777.475)<br>• 연장 : 10.0km |
| 특 성 | • 상주~영천간 고속도로 건설을 통한 기존 고속도로(경부, 중부내륙)의 기능 회복 및 연계를 통한 효율성 증대<br>• 고속도로 신설을 통해 동과 지역의 균형발전 및 통한 공익성 증대 |

### 1.4 위 치 도



#### 1.4.1 구조물 현황

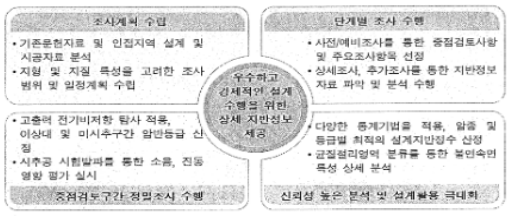
| 교량 구간 | | | 토공구간 |
|---|---|---|---|
| • 가천교 (315m) | • 갈매교 (13.0m) | • 신녕IC교 Ramp교 (30.0m) | • 깍기구간 : 24 구간 |
| • 호정교 (17.4m) | • 창정교 (175.0m) | • 화산JCT Ramp-A교 (490.0m) | • 쌓기구간 : 12 구간 |
| • 위지교 (10.4m) | • 중들교 (105.0m) | • 화산JCT Ramp-A1교 (340.0m) | |
| • 신녕교 (120.0m) | | • 화산JCT Ramp-A2교 (45.786m) | |
| • 신녕IC교 (30.0m) | • 호지교 (12.0m) | • 화산JCT Ramp-H교 (100.0m) | |

1

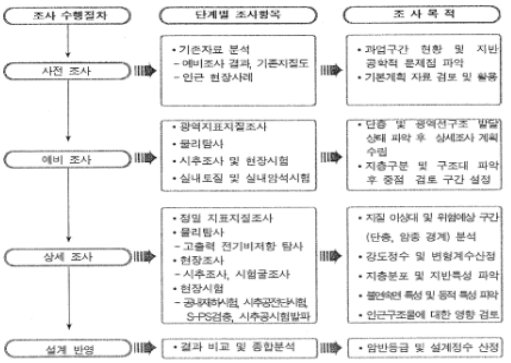
## 제 2 장 조 사 계 획

### 2.1 조사 기본방향 및 수행흐름

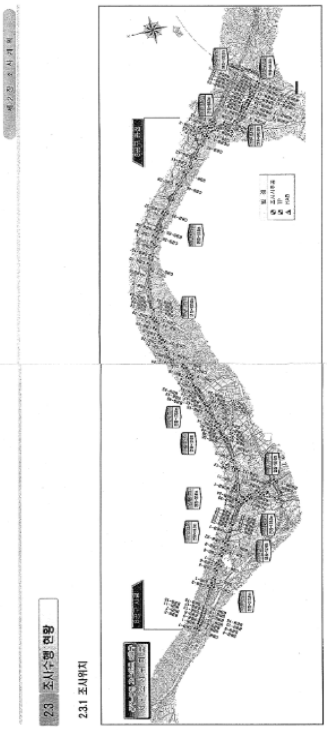
(1) 조사 기본방향




(2) 조사 수행 흐름도

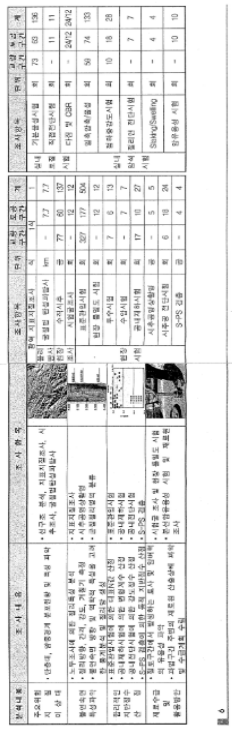



3



2.3 조사수행 현황

2.3.1 조사위치



2.3.2 조사 항목 및 수량

9

나. 깍기구간

| 구 분 | 공 번 | STA. | X | Y | 선정 이유 |
|---|---|---|---|---|---|
| 화 산 JCT-H교 | RBBB-19 | 0+397.93(우2.34m) | 280,277.353 | 190,048.542 | • 교대 및 교각 마다 1개소<br>• 상.하행선 분리시 모두수행 |
| 화 산 JCT-A1교 | RBBB-20 | 시추불가 | | | |
| | RBBB-21 | 시추불가 | | | |
| | RBBB-22 | 시추불가 | | | |
| | RBBB-23 | 0+375.00(우3.25m) | 280,223.009 | 190,077.342 | |
| | RBBB-24 | 0+372.76(좌2.98m) | 280,216.868 | 190,074.858 | |
| | RBBB-25 | 0+321.49(우6.57m) | 280,189.854 | 190,119.476 | |
| | RBBB-26 | 0+329.88(우4.43m) | 280,193.843 | 190,111.790 | |
| 화 산 JCT-A교 | RBBB-27 | 0+289.87(우3.78m) | 280,166.900 | 190,140.980 | |
| | RBBB-28 | 0+289.84(좌4.33m) | 280,160.658 | 190,135.811 | |
| | RBBB-29 | 0+222.43(우2.66m) | 280,123.196 | 190,192.105 | |
| | RBBB-30 | 0+221.89(좌3.80m) | 280,117.509 | 190,188.996 | |

나. 깍기구간

| 구 분 | 공 번 | STA | X | Y | 선정 이유 |
|---|---|---|---|---|---|
| 본 선 구 간 | CBB-1 | 시추불가 | 283,781.198 | 180,819.827 | • 깍기부 개소당 2개소 이상 수행<br>• 깍기구간 최대 절토고 선정 |
| | CBB-2 | 시추불가 | 283,737.634 | 180,798.005 | |
| | CBB-3 | 0+784.62(좌50.40m) | 283,362.819 | 181,490.200 | |
| | CBB-4 | 0+807.08(우13.04m) | 283,302.251 | 181,479.016 | |
| | CBB-5 | 1+115.83(좌23.44m) | 283,170.360 | 181,760.562 | |
| | CBB-6 | 1+199.13(좌37.56m) | 283,138.413 | 181,838.769 | |
| | CBB-7 | 1+204.72(우24.16m) | 283,083.027 | 181,810.954 | |
| | CBB-8 | 1+384.16(좌16.78m) | 283,023.140 | 181,984.995 | |
| | CBB-9 | 1+500.89(좌26.84m) | 282,970.104 | 182,089.468 | |
| | CBB-10 | 1+483.82(우16.85m) | 282,941.993 | 182,051.918 | |
| | CBB-11 | 2+733.48(좌16.34m) | 282,425.162 | 183,178.262 | |
| | CBB-12 | 2+968.92(좌34.19m) | 282,409.331 | 183,410.737 | |
| | CBB-13 | 2+946.00(우24.28m) | 282,353.235 | 183,382.640 | |
| | CBB-14 | 3+804.15(좌34.65m) | 282,498.749 | 184,226.418 | |
| | CBB-15 | 3+810.88(우38.80m) | 282,428.487 | 184,248.950 | |
| | CBB-16 | 4+118.75(좌43.83m) | 282,576.021 | 184,531.511 | |
| | CBB-17 | 4+163.93(우23.70m) | 282,519.983 | 184,590.277 | |
| | CBB-18 | 4+800.00(좌24.65m) | 282,705.398 | 185,200.638 | |

10

| 구 분 | 공 번 | STA | X | Y | 선정 이유 |
|---|---|---|---|---|---|
| 본선 구간 | CBB-19 | 4+804.44(우38.95m) | 282,644.283 | 185,218.792 | |
| | CBB-20 | 4+993.80(좌17.98m) | 282,741.003 | 185,391.258 | |
| | CBB-21 | 4+982.21(우26.79m) | 282,694.169 | 185,389.806 | |
| | CBB-22 | 5+219.11(좌9.40m) | 282,781.593 | 185,613.049 | |
| | CBB-23 | 5+203.41(우31.83m) | 282,737.935 | 185,606.678 | |
| | CBB-24 | 5+313.56(좌46.03m) | 282,837.865 | 185,697.276 | |
| | CBB-25 | 5+646.27(우15.14m) | 282,842.212 | 186,035.814 | |
| | CBB-26 | 5+769.12(좌26.95m) | 282,899.268 | 186,152.708 | |
| | CBB-27 | 5+771.33(우30.67 | 282,842.181 | 186,160.880 | |
| | CBB-28 | 시추불가 | | | |
| | CBB-29 | 6+104.79(우35.30m) | 282,853.333 | 186,490.349 | |
| | CBB-30 | 6+216.64(좌39.26m) | 282,924.901 | 186,604.102 | |
| | CBB-31 | 6+190.79(우9.36m) | 282,877.374 | 186,576.252 | |
| | CBB-32 | 7+177.27(좌25.75m) | 282,714.891 | 187,548.103 | |
| | CBB-33 | 7+091.30(우38.83m) | 282,683.739 | 187,445.347 | • 싹기부 개소당 2개소 이상 수행<br>• 싹기구간 최대 절토고 선정 |
| | CBB-34 | 시추불가 | | | |
| | CBB-35 | 시추불가 | | | |
| | CBB-36 | 시추불가 | | | |
| | CBB-37 | 8+127.91(좌16.17m) | 282,230.008 | 188,368.900 | |
| | CBB-38 | 8+132.64(우29.82m) | 282,191.349 | 188,343.540 | |
| | CBB-39 | 8+659.13(좌20.76m) | 281,887.303 | 188,775.450 | |
| | CBB-40 | 8+677.54(우25.93m) | 281,839.962 | 188,758.848 | |
| | CBB-41 | 9+033.14(우34.76m) | 281,588.008 | 189,037.588 | |
| | CBB-42 | 시추불가 | | | |
| | CBB-43 | 9+676.09(좌41.10m) | 281,238.688 | 189,558.987 | |
| | CBB-44 | 9+668.78(우38.64m) | 281,183.071 | 189,501.379 | |
| | CBB-45 | 시추불가 | | | |
| | CBB-46 | 9+926.46(우45.57m) | 281,009.572 | 189,692.027 | |
| 램프 구간 | RCBB-1 | 0+246.23(좌20.04m) | 282,487.486 | 183,063.957 | |
| | RCBB-2 | 0+360.23(우4.61m) | 282,373.617 | 182,825.716 | |
| | RCBB-3 | 1+642.21(우15.78m) | 281,272.049 | 189,662.934 | |
| | RCBB-4 | 0+198.41(우31.41m) | 281,182.170 | 189,474.097 | |
| | RCBB-5 | 1+237.41(우9.68m) | 280,867.466 | 189,603.369 | |

11

• 설계 및 시공에 영향을 주는 지반의 여러 특성을 등급에 따라 구분하여 조사, 설계 시공에 이르는 과정에 걸쳐 일관성 있는 기준 제시

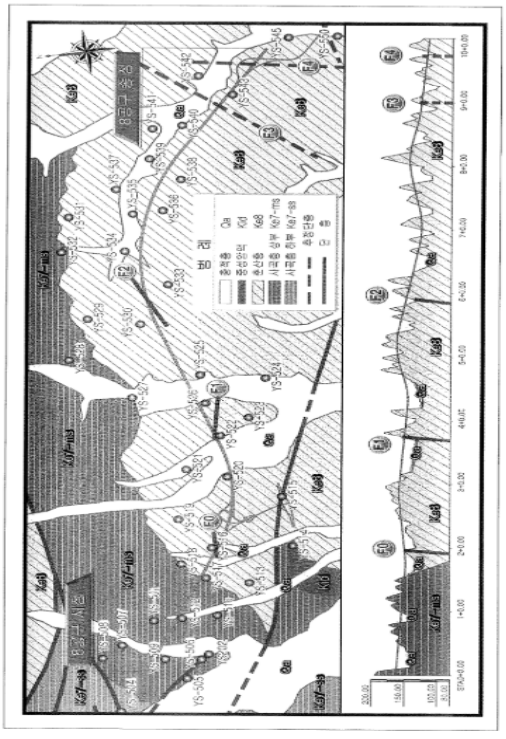
• 암석의 기본색(황색, 갈색, 회색, 녹색)에 담(연한)과 암(진한)의 명암 및 흰색에 대한 접두용어를 사용

| | |
|---|---|
| 암반 분류 | • 한국도로공사, 철도청, 한국기술응용역협회 및 서울지하철 분류기준에 따라 풍화토, 풍화암, 연암, 보통암 및 경암으로 분류하고 터널구간은 Rock Type으로 표시하되 RMR 및 Q 분류에 의해 암반을 분류하고 분석을 수행함 |
| 기재 방법 | • 암석의 풍화상태, 불연속면의 간격 : 강도 및 암질표시는 ISRM(국제암반역학회)의 분류방법에 의거 분류<br>• 조사과정에서 회수된 시추코어를 암석시험 및 육안관찰하여 American Institute of Professional Geologist에서 제시한 "공학적 목적을 위한 암석시료의 채취방법 및 시추주상도 작성방법"에 의거하여 시추주상도를 작성 |
| 기술 내용 | • 색, 불연속면의 간격과 상태, 풍화상태, 강도, 암석명 등을 기술함<br>- 색 : 암석의 기본색(황색, 갈색, 회색, 청색 및 녹색)에 담(연한), 암(진한)의 명암 및 흰 색의 서술용어를 사용함<br>• 강도, 풍화정도, 파쇄정도는 암석분류 기준에 의거하여 분류<br>• 시추주상도에는 암석명, N치, RQD, 시추작업자, 주상도 작업자, 주상도 검토자, 코아회수율 및 불연속면 특성에 관한 중요자료(절리면의 풍화상태, 강도, 간격, 경사, 거칠기 등) 등을 자세하게 기재함 |

| 표준단면 | 암질 | 특 징 | RMR | Q값 | 탄성파속도 (km/s) | 일축압축강도 (MPa) | 코어회수율 (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I | 경암 | 안정성이 있고 풍화, 변질 및 물리적, 화학적 영향을 거의 받지 않은 신선한 대괴상의 암질 | 100~81 | 60이상 | 3.4이상 | 100 이상 | 90이상 |
| II | 보통암 | 균열 및 절리가 다소 발달되어 있으며 일반으로 절리가 존재하는 층상의 암질 | 80~61 | 5.8~60 | 2.6~3.4 | 80~100 | 70~90 |
| III | 연암 | 층리, 절리 및 균리 등이 매우 발달된 상태이며, 파쇄대가 존재하는 소괴상의 암질 | 60~41 | 0.6~5.8 | 1.8~2.6 | 60~80 | 40~70 |
| IV | 풍화암 | 물리적, 화학적 영향으로 파쇄대가 매우 발달되고 절리가 불규칙으로 발달된 파쇄상의 풍화된 암질 | 40~21 | 0.1~0.6 | 0.99~1.8 | 25~60 | 40이하 |
| V | 풍화토 | 풍화작용이 심하고 일부가 토피화된 상태이며, 매우 쉽게 부서지고 쉽게 뜯어낼 수 있는 암질 | 20이하 | 0.1이하 | 0.99이하 | 25 이하 | - |

21

제 3 장 지질도



## 8.1. 광역 지표지질조사

### 8.1.1. 지질개요

•파업구간은 백악기 경상분지의 주로 신동층과 하양층군이 분포하는 의성소분지의 동남부에 위치한다. 경상분지는 처음에는 일본의 북구주지방과 중국, 대마도에 분포하는 퇴적분지를 총괄하여 대마도분지로 불려졌다. 그 후 1961년 원중류은 수차례 조사결과 경상누층군이 구조상으로 분지형을 이루고 있으므로 경상분지라고 명명하였다. 경상분지의 분포는 남북방향인 장축이 200km, 동서단축이 120km, 총면적이 24,000km2에 달한다. 경상분지는 조산운동에 의해 형성된 3개의 소분지로 구성되어 있고, 이들은 다시 여러 개의 단층계에 의해 파괴되어 있다(그림 1).

그림 1. 경상분지와 소분지 분포

•경상분지는 암상 및 지구조에 의해 몇 개의 소분지로 구분된다. 분지서쪽에 남북방향의 대상으로 발달하는 낙동소분지, 분지 최북단의 일월산 충상단층(thrust)과 청송령 사이에 발달하는 영양소분지, 안동충상단층 및 청송령과 팔공산 융기대 사이에 발달하는 의성(도평)소분지, 그리고 팔공산 융기대 이남지역에 발달하는 유천(밀양)소분지로 나누어진다(그림 1).

•경상분지의 서쪽과 북쪽에서는 경상누층군이 선캄브리아기에 속하는 변성퇴적암류와 쥬라기말의 대보화강암류를 부정합으로 덮고 있고, 동부와 남부는 백악기말의 화성활동과 단층작용으로 심하게 파괴되었으며, 제3기층에 의해 부정합으로 피복되거나 동해 및 남해의 해저로 계속 발달되어 있다(그림 2).

### 61.2.3 점검 및 진단 이력

본 비탈면은 2017년부터 정기안전점검 5회, 정밀안전점검 1회를 실시한 것으로 조사되었다. 점검 결과 전반적으로 양호한 상태로 특별한 보수·보강을 필요한 구간은 없는 것으로 평가되었다.

**<표 61-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력**

| 번호 | 기 간 | 구 분 | 주요 점검 결과 | 안전등급 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28 | 정기안전점검 | 영천절토61 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다. | 양호 |
| 2 | 2018. 05. 28 ~ 2018. 06. 30 | 정기안전점검 | 영천절토61 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다. | 양호 |
| 3 | 2018. 10. 23 ~ 2018. 12. 31 | 정기안전점검 | 영천절토61 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다. | 양호 |
| 4 | 2019. 03. 18 ~ 2019. 05. 28 | 정기안전점검 | 영천절토61 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상부의 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다. | 양호 |
| 5 | 2019. 09. 16 ~ 2019. 12. 27 | 정밀안전점검 | 본 사면에 대한 정밀안전점검 결과, 경미한 손상, 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수와 지속적인 관찰이 필요한 상태인 "B"등급의 양호한 상태로 평가되었다. 본 사면은 낙석방지망이 시공되어 있으며, 노출암에서 확인할 수 있는 암반의 풍화등급은 약한풍화~심한풍화 정도이다. 사면 전반적으로 식생상태가 양호~보통인 것으로 조사되었다. 일부 노출암 구간은 낙석방지망 및 낙석방지울타리가 설치되어 안전성에는 문제가 없으나, 공용기간이 증가할수록 우수 및 동결융해작용으로 풍화가 진행될 수 있으므로, 주기적인 주의관찰이 요망된다. 소단배수로 및 산마루측구 균열이 일부 조사되었으나, 배수기능에 큰 문제는 없는 것으로 조사되었다. 사면 보호/보강시설은 기능발휘에 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다. | B |
| 6 | 2020. 05. 12 ~ 2020. 06. 30 | 정기안전점검 | 영천절토61 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열 및 망상균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상부의 진전방지를 위한 보수가 필요할 것으로 판단된다. | 양호 |

### 61.2.4 보수·보강이력

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

**<표 61-4> 보수·보강이력**

| 번호 | 공사기간 | 공사내역 | 공사비(원) | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| | | 특이사항 없음 | | |

### 61.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 fms상 내진설계가 미적용 된 것으로 확인되었다.

**<표 61-5> 내진 설계 적용 여부**

| 검토대상 부재 | 설계적용여부 | 결과 | 검토결과 요약 | 근거 |
|---|---|---|---|---|
| 해당사항 없음 | 미적용 | - | - | |

### 61.2.6 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 61-6> 관련 자료 분석 결과 요약 및 점검 방향**

| 구 분 | 자료 분석 결과 | 성능평가 방향 |
|---|---|---|
| 설계도서 | ㅇ준공도서 유지관리중<br>ㅇ위치도, 횡단면도 등 파악 가능<br>ㅇ원지반 상태 파악 가능 | ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득<br>ㅇ설계도면과 현재 제원 비교 |
| 시설물 관리대장 | ㅇ기본현황, 상세제원 확인 가능<br>ㅇ유지관리 이력 파악<br>ㅇ시설물 준공 후 최초의 성능평가 | ㅇ현장조사를 위한 기초자료로 활용<br>ㅇ준공후 특별한 보수·보강이력이 없는 상태로서 금회 성능평가시 손상 조사시 필요에 따라 보수·보강방안 수립 |
| 안전점검 및 정밀안전진단 자료 | ㅇ준공후 정기안전점검, 정밀안전점검이 시행되었으며, 전반적으로 양호한 상태임. | ㅇ사면파괴징후에 대한 면밀한 조사<br>ㅇ필요시 보수보수·보강방안 수립<br>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<br>ㅇ성능평가 결과에 따라 성능목표 유지를 위한 유지관리 전략 제안 |

# 61.3 현장조사

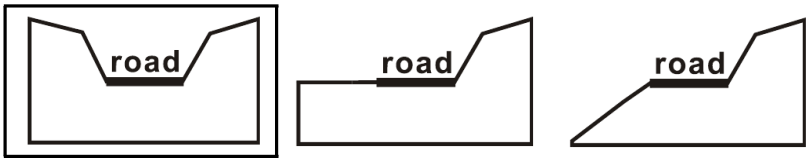
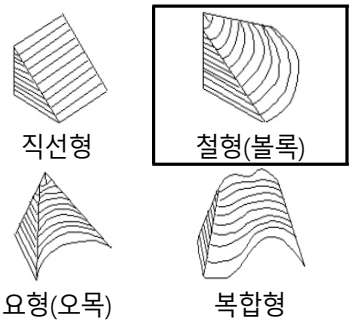
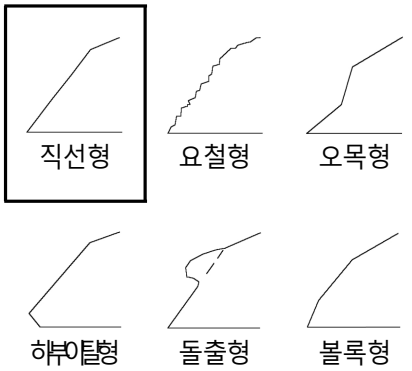
## 61.3.1 현장조사 체크리스트

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

**<표 61-7> 일반현황**

<table>
<tr><td>조사일자</td><td colspan="2">2019. 11. 25.</td><td>조 사 자</td><td colspan="2">장 진 원</td></tr>
<tr><td>일 기</td><td colspan="2">맑음</td><td>준공년도</td><td colspan="2">2017년 06월 27일</td></tr>
<tr><td>행정구역</td><td colspan="5">경상북도 영천시 화산면 가상리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="5">시점 : 36° 01′49.0″ 128° 53′03.0″</td></tr>
<tr><td colspan="5">종점 : 36° 01′38.0″ 128° 53′05.0″</td></tr>
<tr><td rowspan="4">절토사면</td><td colspan="3">길 이 : 322m</td><td colspan="2">높 이 : 46.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">경 사/경사방향 : 45/088~098</td></tr>
<tr><td colspan="3">구성물질 : 암반</td><td colspan="2">토층심도 : 약 1.0~4.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">소 단 : 3</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 : -<br>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 : -<br>뜬들 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td rowspan="7">절토사면<br>시공현황</td><td>종 류</td><td colspan="3">위 치</td><td>상 태</td></tr>
<tr><td>산마루 측구</td><td colspan="3">R-D 0.320~0.460k</td><td>균열</td></tr>
<tr><td>소단배수로</td><td colspan="3">R-D 0.380~R-A 1.160k</td><td>균열</td></tr>
<tr><td>수직도수로</td><td colspan="3">R-D 0.430k, R-D 0.537k</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>낙석방지울타리</td><td colspan="3">R-D 0.340~R-A 1.160k</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>숏크리트</td><td colspan="3">R-A 1.244~1.160k</td><td>양호</td></tr>
<tr><td>점검용 계단</td><td colspan="3">R-A 1.160k</td><td>양호</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">·</td></tr>
</table>

**<표 61-8> 지형·지질 및 식생**

<table>
<tr><td rowspan="3">주변지형의 특성</td><td>주변 지형</td><td colspan="4">산악지형</td></tr>
<tr><td>종단면 형상</td><td colspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td>기타 특징</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>절토사면의 특성</td><td>종<br>횡<br>단<br>면</td><td colspan="3"> 
</td><td>종<br>단<br>면<br>특<br>성</td><td> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="7">상부 자연비탈면</td><td>경 사 도</td><td colspan="4">0~10°</td></tr>
<tr><td>인장균열</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>포행흔적</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>수목의 기울어짐</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>인공구조물</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>산마루측구</td><td colspan="4">유</td></tr>
<tr><td>계곡부</td><td colspan="4">무</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 61-9> 기초조사 자료**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 일반현황 | 거리표 | 영천절토61 | | |
| | 위경도 | 시점 : 36° 01′49.0″ 128° 53′03.0″<br>종점 : 36° 01′38.0″ 128° 53′05.0″ | | |
| | 차선 | 왕복 ( 4 ) 차선 | | |
| | 조사일자 | 2019년 11월 25일 | | |
| | 조사자 | 장진원 | 조사기관 | ㈜명성엔지니어링 |
| 절토사면 특성 | 길이 | 322m | 최대높이 | 46.0m |
| | 경사 | 45° | 상부경사 | 0~10° |
| | 이격거리 | 평균 1.0~2.0m | 소단 | 3개소 |
| | 종류 | ■암반 □혼합<br>□토사 □자연 | 주변지형 | ■산악 □준산악<br>□구릉 □평 지 |
| | 지하수 | ■C.dry □damp<br>□wet □dripping<br>□flowing | 누수위치 | □상 □중 □하<br>□좌 □중 □우 |
| | 풍화도 | □F ■S ■M<br>□H □C □R | 불연속면 방향성 | □일치 □평행<br>■후방 □불가 |
| | 사면형상 | □직선형 ■철형<br>□요형 □파형 | 측면형상 | ■직선형 □요철형<br>□탈락형 □돌출형 |
| | 계곡부 | 없음 | 붕괴이력 | □유(영향) □낙석<br>□유(미영향) ■무 |
| | 뜬돌 | □대 □중<br>□소 ■무 | 낙석 | □대 □중<br>□소 ■무 |
| | 암종 | 사암 및 셰일 | 토층심도 | 1.0~4.0m |
| | 암반형태 | □massive<br>□tabular<br>□columnar<br>□irregular<br>■blocky<br>□crushed | 불연속면 | ■절리 ■층리<br>□엽리 □균열<br>□단층 □전단대<br>□암맥 □무 |
| | 시공현황 (상태) | □식생공<br>□옹벽<br>□격자블럭<br>■점검로(양호) | | ■낙석방지망(양호)<br>■낙석방지울타리(양호)<br>■배수로(보통)<br>□기타 |
| 조사자 소 견 | 위험도 | □상 □중 ■하 | 피해도 | □상 □중 ■하 |
| | 붕괴 유형 | □심층 □표층 ■무 | 위험등급 | □A ■B □C<br>□D □E |
| | 위험구간 (붕괴유형) | □상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( )<br>□상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( )<br>□상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( ) | | |
| | 필요 주공법 | - | 조치 | □응급 ■미응급 |
| | 기타 | | | |

## 61.3.2 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 상주영천고속도로 화산JCT R-A 우측 STA.0+320~0+537, R-A 좌측 STA.1+244~1+140에 위치하고 있으며, 길이는 322m, 높이 46.0m의 절토사면으로 시설물 안전법상 2종 시설물로 분류된 시설이다.

### 나. 절토사면의 분류

토층심도 깊이측정을 위한 자료는 준공도서 표준 횡단면도를 참고하여 작성하였고, 블록크기 측정을 위한 절리간격은 사면특성 조사 시 각 구간에 위치하는 절리군의 평균 간격을 측정하였다.

**<표 61-10> 절토비탈면 분류**

(㎫=10.2kg/㎠)

| 구 분 | | 분류기준 | 평가점수 | 비탈면종류 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 세부분류 | 종합분류 |
| 1구간 | 토층심도율 | 0.4 | $\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{4.0}{46.0}=0.08$로 0.4미만 | 암반사면 | **파쇄 암반사면** |
| | 압축강도 | 10㎫ | 반발경도측정결과 84.7~86.5㎫으로 10㎫이상 | 파쇄암반<br>절리암반 | |
| | 블록크기 | 0.01 | $\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.35}{46.0}=0.007$로 0.01이하 | 파쇄암반 | |
| 2구간 | 토층심도율 | 0.4 | $\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{4.0}{30.0}=0.13$으로 0.4미만 | 암반사면 | **파쇄 암반사면** |
| | 압축강도 | 10㎫ | 반발경도측정결과 86.2~87.1㎫으로 10㎫이상 | 파쇄암반<br>절리암반 | |
| | 블록크기 | 0.01 | $\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.25}{30.0}=0.008$로 0.01이하 | 파쇄암반 | |

**다. 비탈면 구간 분할**

본 사면은 연장이 322m로써, 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 기준에 의해, 2개 구간으로 구분하여 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

**<표 61-11> 비탈면 구간 분할**

| 구 분 | 측 점 | 비 고 |
|---|---|---|
| 1구간 | R-D 0.320~0.537k | 218m |
| 2구간 | R-A 1.244~1.140k | 104m |

### 61.3.3 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 -0~10°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 상태이며, 계곡부 또한 존재하지 않는 것으로 확인되었다.

**<표 61-12> 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 원지반이 노출된 구간에 대해서 조사하였다.

그 결과 부분적으로 절리가 관찰되며, 약한풍화~심한풍화 상태를 보이고 있는 것으로 분석되었다.

**<표 61-13> 불안정 지질 조사 결과**

| 구 분 | 손상 내용 | 단위 | 손상수량 (개소 / 수량) | 손상 원인 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 불안정 지질 | 국지적 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 대기에 노출된 원지반을 대상으로 6개 구간에서 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

**<표 61-14> 불연속면 특성 조사 결과**

| 구 분 | 1구간 | | |
|---|---|---|---|
| | Set 1 | Set 2 | Set 3 |
| 방향성 | 04/121 | 82/329 | 86/237 |
| 간격(m) | 0.2~0.6 | 0.2~0.6 | 0.2~0.6 |
| 연장성(m) | 1.0~3.0 | 1.0~3.0 | 1.0~3.0 |
| 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 | HW | HW | HW |
| 비고 | 식생공으로 인한 이외의 불연속면 특성조사 불가 | | |

| 구 분 | 2구간 | | |
|---|---|---|---|
| | Set 4 | Set 5 | Set 6 |
| 방향성 | 06/089 | 84/168 | 83/066 |
| 간격(m) | 0.2~0.6 | 0.2~0.6 | 0.2~0.6 |
| 연장성(m) | 1.0~3.0 | 1.0~3.0 | 1.0~3.0 |
| 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 | HW | HW | HW |
| 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 61-15> 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 소단 배수로 및 산마루 측구, 수직도수로가 시공되어 있다.

소단 배수로 및 산마루 측구, 수직도수로는 지반 변형으로 인한 부상 및 침하 등의 손상은 없는 것으로 확인되었으며, 일부구간 균열이 발생된 것으로 확인되었으나, 배수기능에는 문제가 없는 것으로 조사되었다.

**<표 61-16> 배수 조건 조사 결과**

| 구 분 | | 손상 내용 | 단위 | 손상수량 (개소 / 수량) | 손상 원인 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 배수 조건 | 소단 배수로 | 균열 | m | 1 / 3.0 | 건조수축, 온도변화 | |
| | 산마루 측구 | 균열 | m | 1 / 1.0 | 건조수축, 온도변화 | |
| | 수직 도수로 | - | - | - | - | |

**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 61-17> 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 61-18> 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 61-19> 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 61-20> 인장균열 조사 결과**

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

## 61.3.4 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 6개소에서 실시하였으며, 그 외 식생 및 녹생토 시공으로 인해 노출된 암반이 존재하지 않아 암반강도시험을 실시하지 못한 구간의 경우 초기점검 보고서 및 토질조사보고서를 참고하였다. 시험 결과 및 기존 자료 검토에 따른 암종 분류 결과 보통암인 것으로 판단된다.

**<표 61-21> 암반강도시험 결과**

| 시험위치 | 반발경도(Ro) | 추정강도(㎫) | 암 판정 결과 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| R-D 0.430k | 47.9 | 85.2 | 보통암 | |
| R-D 0.440k | 47.8 | 84.7 | 보통암 | |
| R-D 0.455k | 48.3 | 86.5 | 보통암 | |
| R-A 1.185k | 48.5 | 87.1 | 보통암 | |
| R-A 1.200k | 48.3 | 86.6 | 보통암 | |
| R-A 1.215k | 48.2 | 86.2 | 보통암 | |
| 검토의견 | ・암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 47.8~48.5으로 측정되었으며, 추정강도 84.7~87.1㎫로 보통암으로 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 61-22> 표면보호공 조사 결과**

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

숏크리트 전경

낙석방지망 전경

### 라. 사면보강공

본 비탈면은 관련자료 분석 결과 낙석방지망, 숏크리트 이외의 특별한 보강시설은 없는 것으로 조사되었으며, 현장조사시 확인한 결과 보강공은 시공되어 있지 않다.

**<표 61-23> 사면보강공 조사 결과**

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

## 61.4 안전성능평가

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

### 61.4.1 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 0.08~0.12로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 세부 분류는 절리암반비탈면, 파쇄암반비탈면으로 평가된다.

**<표 61-24> 절토비탈면 분류**

(MPa=10.2kg/㎠)

| 구 분 | | 분류 기준 | 평가점수 | 비탈면종류 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 세부분류 | 종합분류 |
| 1구간 | 토층심도율 | 0.4 | $\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{4.0}{46.0}=0.08$로 0.4미만 | 암반사면 | 파쇄 암반사면 |
| | 압축강도 | 10MPa | 반발경도측정결과 85.6~87.7MPa으로 10MPa이상 | 파쇄암반 절리암반 | |
| | 블록크기 | 0.01 | $\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.35}{46.0}=0.007$로 0.01이하 | 파쇄암반 | |
| 2구간 | 토층심도율 | 0.4 | $\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{4.0}{30.0}=0.13$으로 0.4미만 | 암반사면 | 파쇄 암반사면 |
| | 압축강도 | 10MPa | 반발경도측정결과 86.2~87.1MPa으로 10MPa이상 | 파쇄암반 절리암반 | |
| | 블록크기 | 0.01 | $\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.25}{30.0}=0.008$로 0.01이하 | 파쇄암반 | |

본 사면은 연장 322m의 사면으로서, 외관조사시 실시한 구간분할과 동일하게 2구간으로 분할하여 손상상태 및 파괴요인에 대한 평가를 실시하였다. 사면분류를 위해 특성조사를 실시한 위치는 외관조사결과현황도(Face Map)에 Set1~6으로 표기하였다.

**<표 61-25> 비탈면 구간 분할**

| 구분 | 측점 | 연장 | 사면상태 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 1구간 | R-D 0.320~0.537k | 218m | 암반사면 | Set1, Set2, Set3 |
| 2구간 | R-A 1.244~1.140k | 104m | 암반사면 | Set4, Set5, Set6 |

**<표 61-26> 사면 형식별 상태안전성능지표**

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

### 나. 1구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

**<표 61-27> 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 61-28> 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 61-29> 불연속면 특성 평가 결과(1구간)**

| 평가항목 및 등급 | | 평가 기준 | 평가 내용 | 평가 결과 |
|---|---|---|---|---|
| 불연속면 상태 | a | 매우 양호 | 불연속면 상태 점수<br>=Σ(①~⑥) / 6 =<br>(5+5+10+5+16+10) / 6 = 8.5 | c |
| | b | 양호 | | |
| | c | 보통 | | |
| | d | 불량 | | |
| | e | 매우 불량 | | |

**<표 61-30> 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 | HW | d |
| ⑥절리간격 | 2.0m이상 | 0.6m이상 2.0m미만 | 0.2m이상 0.6m미만 | 0.06m이상 0.2m미만 | 0.06m미만 | 0.2~0.6 | c |

**<표 61-31> 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 61-32> 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 61-33> 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 | 일부 균열 | 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 61-34> 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 61-35> 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 61-36> 예상 낙석에너지 평가기준(1구간)**

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

**<표 61-37> 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 0~10° | 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 61-38> 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 61-39> 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 61-40> 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 61-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)**

| 시설물명 | | 영천절토61 | | |
|---|---|---|---|---|
| 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 | | 8.5 | 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** | | |

**마. 2구간 상태안전성능 평가 결과**

1) 성능지표별 평가 결과

**<표 61-42> 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 61-43> 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 61-44> 불연속면 특성 평가 결과(2구간)**

| 평가항목 및 등급 | | 평가 기준 | 평가 내용 | 평가 결과 |
|---|---|---|---|---|
| 불연속면 상태 | a | 매우 양호 | 불연속면 상태 점수<br>=Σ(①~⑥) / 6 =<br>(5+5+10+5+16+10) / 6 = 8.5 | c |
| | b | 양호 | | |
| | c | 보통 | | |
| | d | 불량 | | |
| | e | 매우 불량 | | |

**<표 61-45> 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 | HW | d |
| ⑥절리간격 | 2.0m이상 | 0.6m이상 2.0m미만 | 0.2m이상 0.6m미만 | 0.06m이상 0.2m미만 | 0.06m미만 | 0.2~0.6 | c |

**<표 61-46> 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 61-47> 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 61-48> 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 | a |
| | 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 61-49> 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 61-50> 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, 6.0㎥미만 | | |
| | d | 6.0㎥이상, 10.0㎥미만 | | |
| | e | 10.0㎥이상 | | |

**<표 61-51> 예상 낙석에너지 평가기준(2구간)**

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

**<표 61-52> 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 0~10° | 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 61-53> 인장균열 결함점수 산정 결과(2구간)**

| 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.

**사. 2구간 상태안전성능 평가 결과**

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

**<표 61-54> 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 61-55> 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 61-56> 상태안전성능평가 결과(2구간)**

| 시설물명 | | 영천절토61 | | |
|---|---|---|---|---|
| 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 | | 8.5 | 6 | c |
| 지반변형 | | 0 | 0 | a |
| 지하수 | | 0 | 0 | a |
| 배수조건 | | 0 | 0 | a |
| 붕괴이력 | | 0 | 0 | a |
| 낙석 | 발생규모 | 0 | 0 | a |
| | 예상 낙석 에너지 | 0 | | |
| 총점 | | | 12 | |
| 결함지수 | | 0.12 | | |
| **상태안전성능평가 결과** | | **A** | | |

**아. 상태안전성능 평가 결과**

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

**<표 61-57> 상태안전성능 평가 결과 범위**

| 사면 총길이 | 구간분할 | 분할구간 길이 | 평가등급 | 최종 평가결과 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 322m | 1구간 | R-D 0.320~0.537k | a(0.14) | A | 인장균열 없음 |
| | 2구간 | R-A 1.244~1.140k | a(0.12) | | |
| | ○ 구간별 평가 후 최소등급 선정<br>○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정 | | | | |

## 61.4.2 구조안전성능 평가

### 가. 개 요

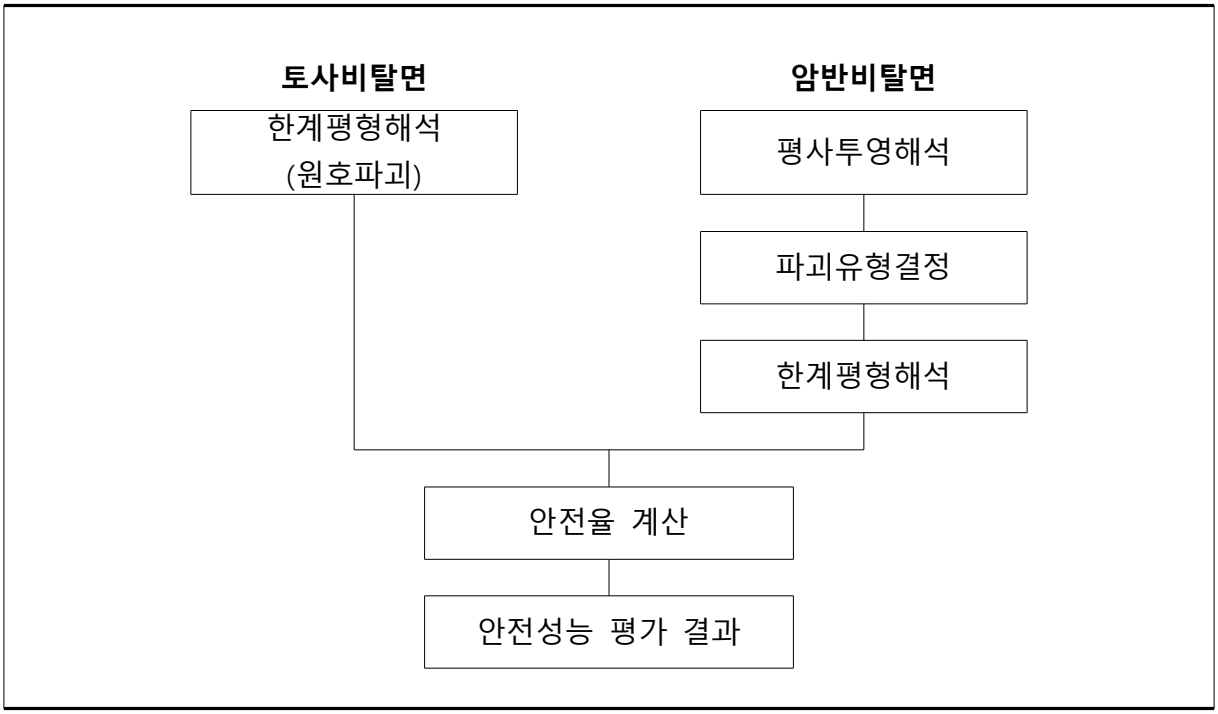
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 61-5> 구조안전성능 평가과정**

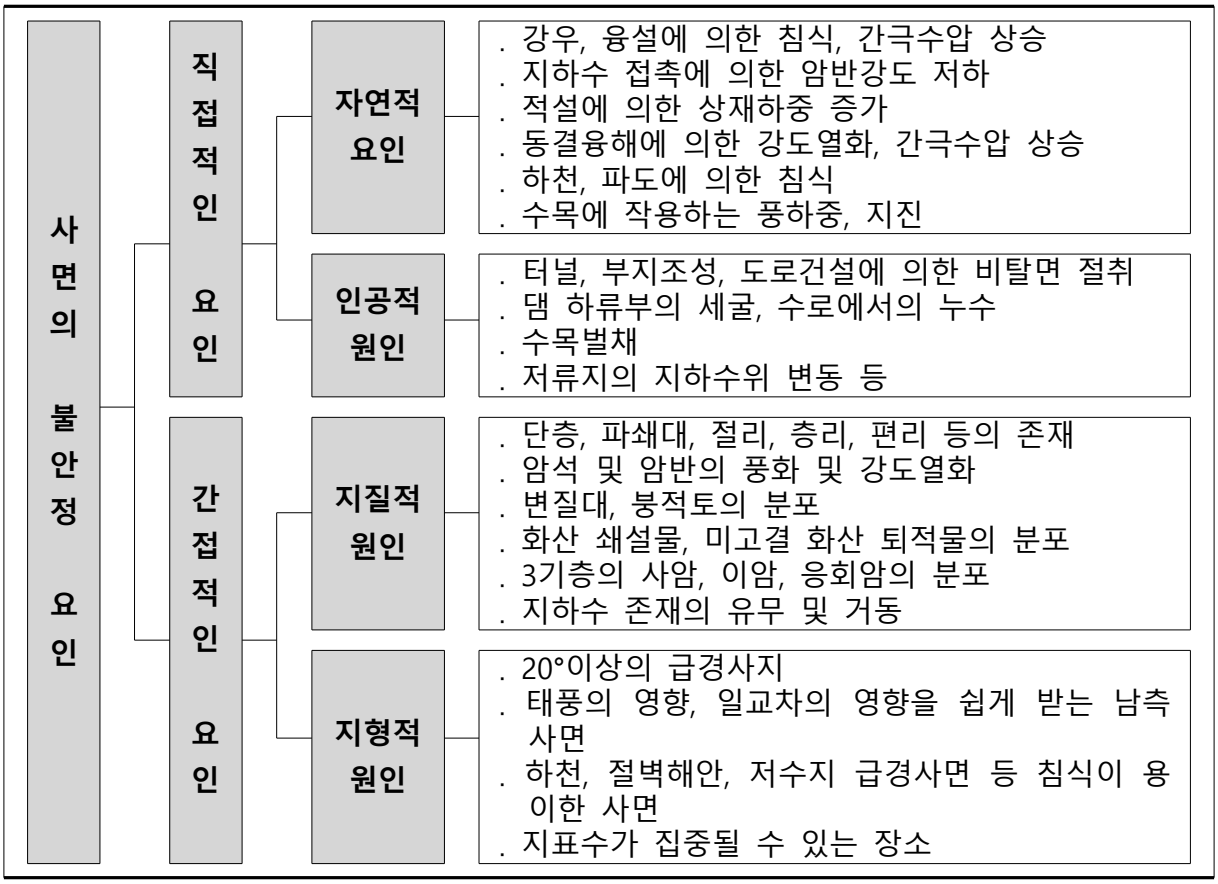
**<표 61-58> 유형별 안정해석 범위**

| 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<br>. 3m이상의 토층이 관찰되거나 풍화가 심하게 진행되어 원호활동이 예상되는 구간에 대해 평사투영해석결과와 별도로 원호파괴 해석을 실시 |
| 혼합비탈면 | ○ | ○ | ○ | . 평사투영해석결과 불안정시 파괴 유형에 따른 한계평형해석 수행<br>. 평사투영해석결과와 별도로 토사구간에 대해 원호파괴해석 실시 |

ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득

ㅇ설계도면과 현재 제원 비교

2) 비탈면의 불안정 요인

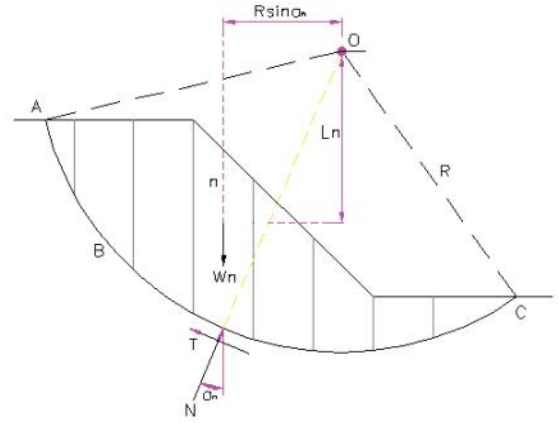



**<그림 61-6> 구조안전성능 평가과정**

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

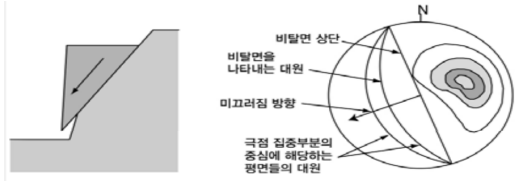
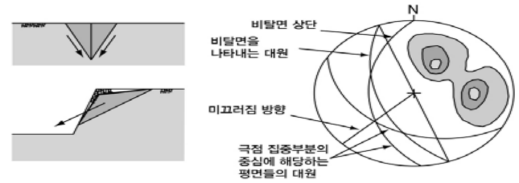
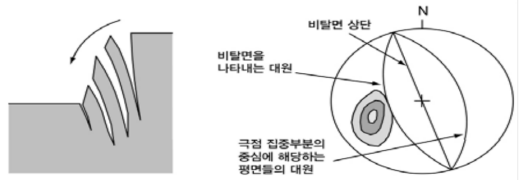
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

**<그림 61-7> 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 61-59> 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 61-60> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율**

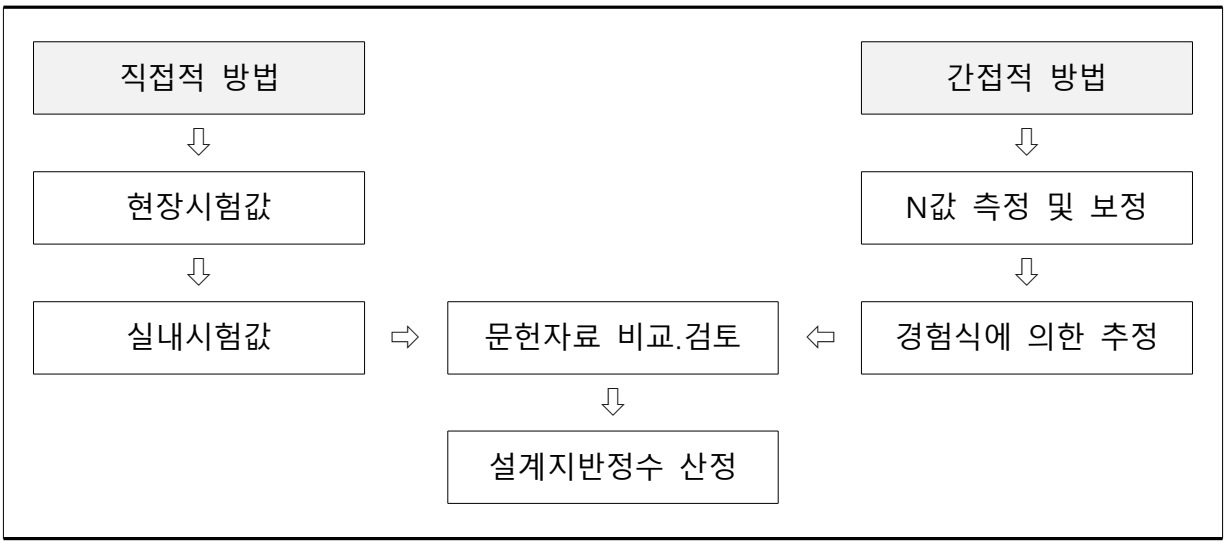
| 구 분 | 기준안전율 | 참조 |
|---|---|---|
| 건기 | FS>1.5 | . 지하수가 없는 것으로 해석 |
| 우기 | FS>1.2<br>또는<br>FS>1.3 | . 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용<br>. 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용)<br>. 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<br>. 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 61-61> 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 61-62> 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 61-63> Geotechnical Engineering Investigation(Roy E. Hunt, 1987)**

| 흙의 종류 | 다짐도 | Dr,% | N | $\gamma_{dry}$ (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 61-64> 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 61-65> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식**

| 구 분 | 지 층 | 단위중량(kN/㎥) | 내부마찰각ø(°) | 점착력c(kPa) | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 상주~영천간 고속도로 건설공사 (8공구) | 풍화(잔적)토 | 18 | 29 | 16 | |
| | 풍화암 | 20 | 30 | 30 | |
| | 경 암 | 26 | 35 | 1,500 | |

4) 기반암의 지반정수 산정

**① 단위중량 및 강도정수**

◦ 문헌자료 검토

**<표 61-66> 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 61-67> 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 | 27.3~25.6 |
| 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 61-68> 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 (%) | | (°) | 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 61-69> Bieniawski(1989)**

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

**<표 61-70> Trueman (1988)**

| 구 분 | 강도정수 산정식 |
|---|---|
| 점착력($C_m$) | 0.25exp(0.05RMR) (Mpa) |
| 마찰각($\varnothing$) | 0.5RMR + 5 (degree) |

**<표 61-71> 김교원 (1993)**

| 구 분 | 강도정수 산정식 |
|---|---|
| 점착력($C_m$) | 0.02exp(0.08RMR*) (Mpa) |
| 마찰각($\varnothing$) | 0.25(RMR*) + 27.5 (degree) |

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 적용 지반정수 요약

| 지층 | 단위중량 kN/㎥ | 내부마찰각 ° | 점착력 kPa | 프와송비 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 풍화토 | 18 | 29 | 16 | 0.3 | |
| 풍화암 | 20 | 30 | 30 | 0.3 | |
| 경 암 | 26 | 35 | 1,500 | 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 61-72> 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

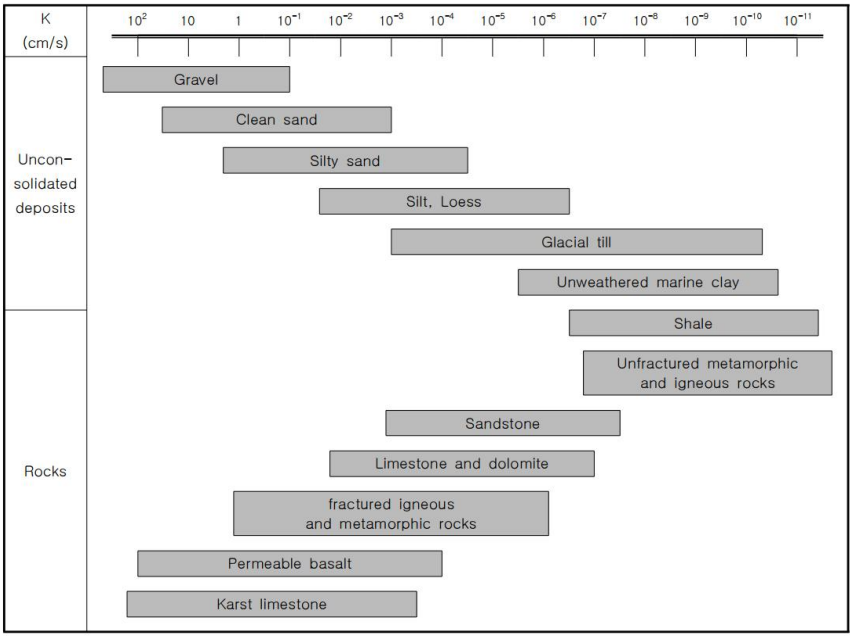
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

**<표 61-73> 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 61-74> 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 61-8> 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 61-75> 도로배수시설 설계빈도**

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

② 비탈면배수시설 설계기준 KDS 11 70 25 : 2016

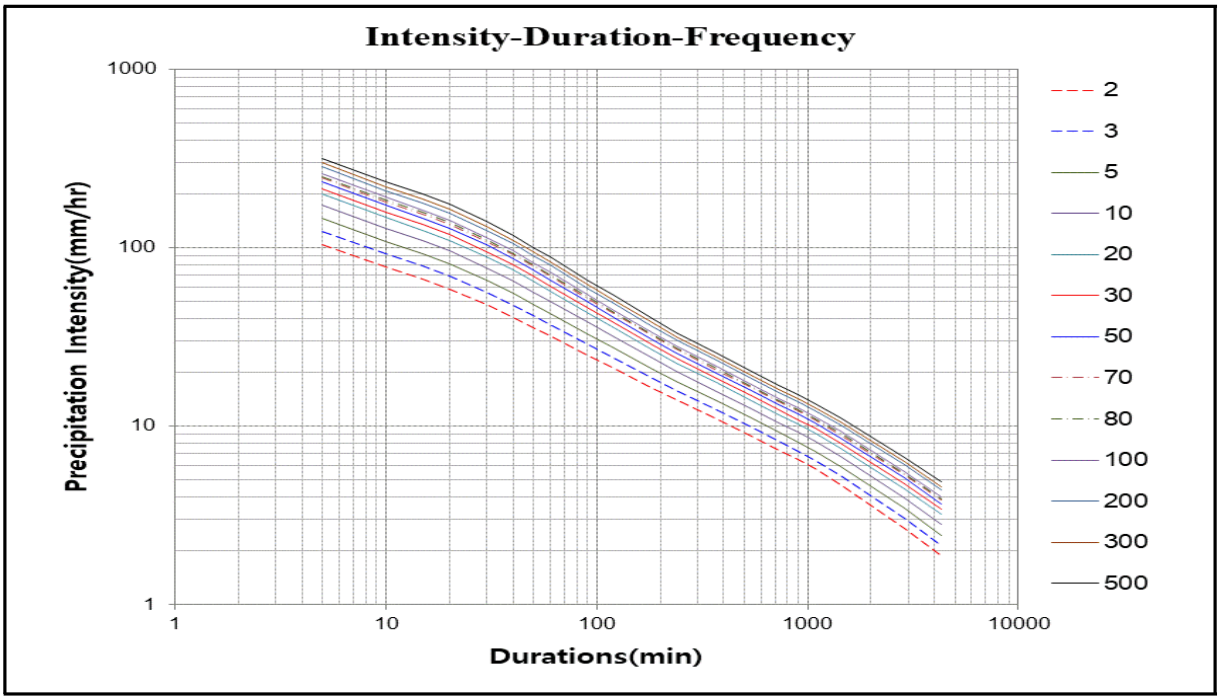
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 영천지역




<그림 61-9> 영천지역 IDF곡선

영천(281) 지점의 확률강우강도(단위:mm/hr)

| 재현기간 (년) | 지속기간(분) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 90 | 120 |
| 2 | 104.6 | 78.5 | 66.8 | 58.8 | 47.9 | 40.8 | 35.8 | 32.1 | 25.0 | 21.0 |
| 3 | 123.9 | 93.0 | 79.1 | 69.4 | 56.3 | 47.7 | 41.7 | 37.2 | 28.8 | 24.0 |
| 5 | 145.6 | 108.8 | 92.6 | 81.2 | 65.7 | 55.5 | 48.3 | 43.0 | 33.0 | 27.4 |
| 10 | 173.4 | 128.6 | 109.4 | 96.0 | 77.4 | 65.2 | 56.6 | 50.2 | 38.3 | 31.6 |
| 20 | 199.8 | 147.5 | 125.6 | 110.1 | 88.7 | 74.6 | 64.6 | 57.2 | 43.3 | 35.6 |
| 30 | 214.3 | 158.6 | 135.0 | 118.4 | 95.2 | 79.9 | 69.2 | 61.2 | 46.2 | 37.9 |
| 50 | 233.5 | 172.2 | 146.6 | 128.5 | 103.3 | 86.6 | 74.9 | 66.1 | 49.9 | 40.8 |
| 70 | 245.6 | 181.1 | 154.3 | 135.2 | 108.7 | 91.1 | 78.6 | 69.4 | 52.2 | 42.7 |
| 80 | 250.4 | 185.0 | 157.4 | 137.9 | 110.8 | 92.8 | 80.1 | 70.7 | 53.2 | 43.5 |
| 100 | 258.8 | 191.0 | 162.6 | 142.4 | 114.4 | 95.7 | 82.6 | 72.9 | 54.8 | 44.7 |
| 200 | 283.0 | 209.1 | 178.1 | 156.1 | 125.2 | 104.7 | 90.2 | 79.5 | 59.6 | 48.6 |
| 300 | 298.6 | 219.9 | 187.3 | 164.1 | 131.6 | 110.0 | 94.8 | 83.5 | 62.5 | 50.9 |
| 500 | 316.7 | 233.6 | 198.9 | 174.2 | 139.7 | 116.7 | 100.4 | 88.4 | 66.1 | 53.7 |

확률강우강도(㎜/hr)

<그림 61-10> 영천지역 확률강우강도(한국 확률강우량정보 제공)

**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<br>• 지방도, 시도, 군도 중 방재계획상 필요한 도로에 건설된 교량<br>• 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<br>• 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<br>• 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 61-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)**

**<표 61-76> 설계지반운동 수준**

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

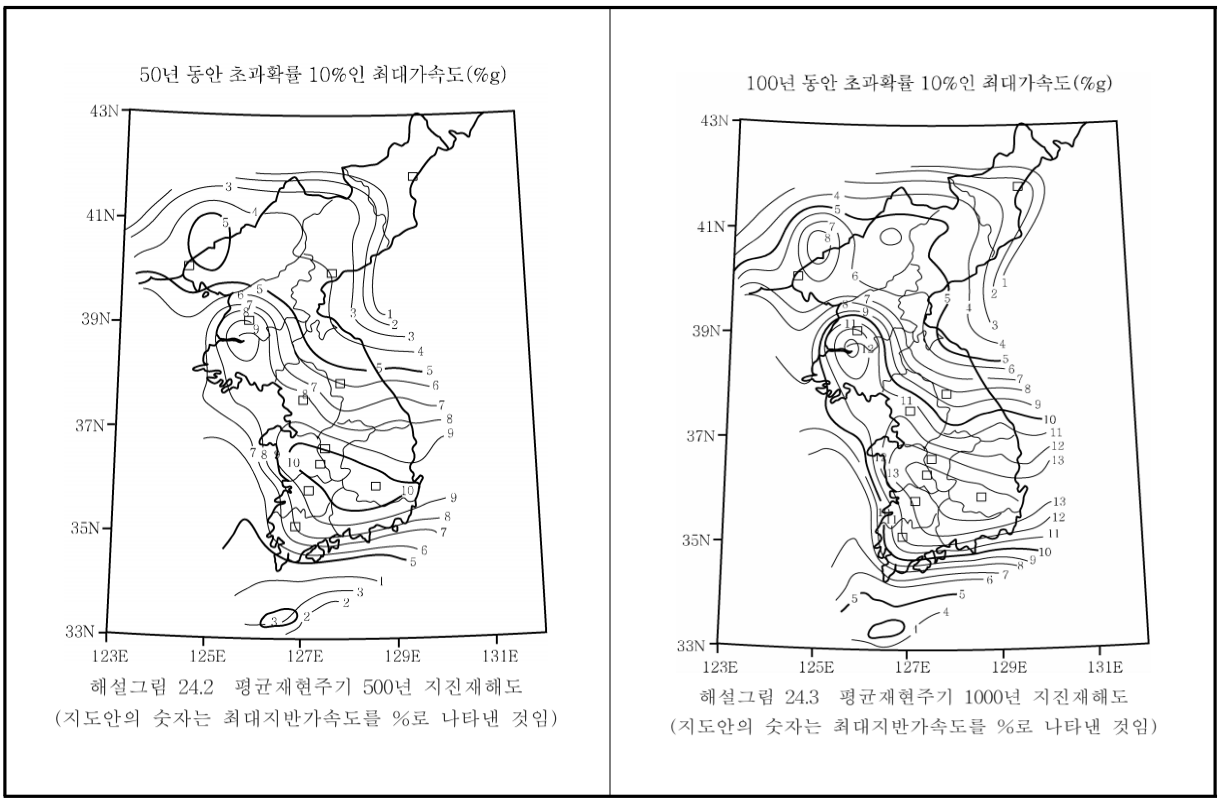
2) 설계지반운동

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 61-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도**

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

**<표 61-77> 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 61-78> 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

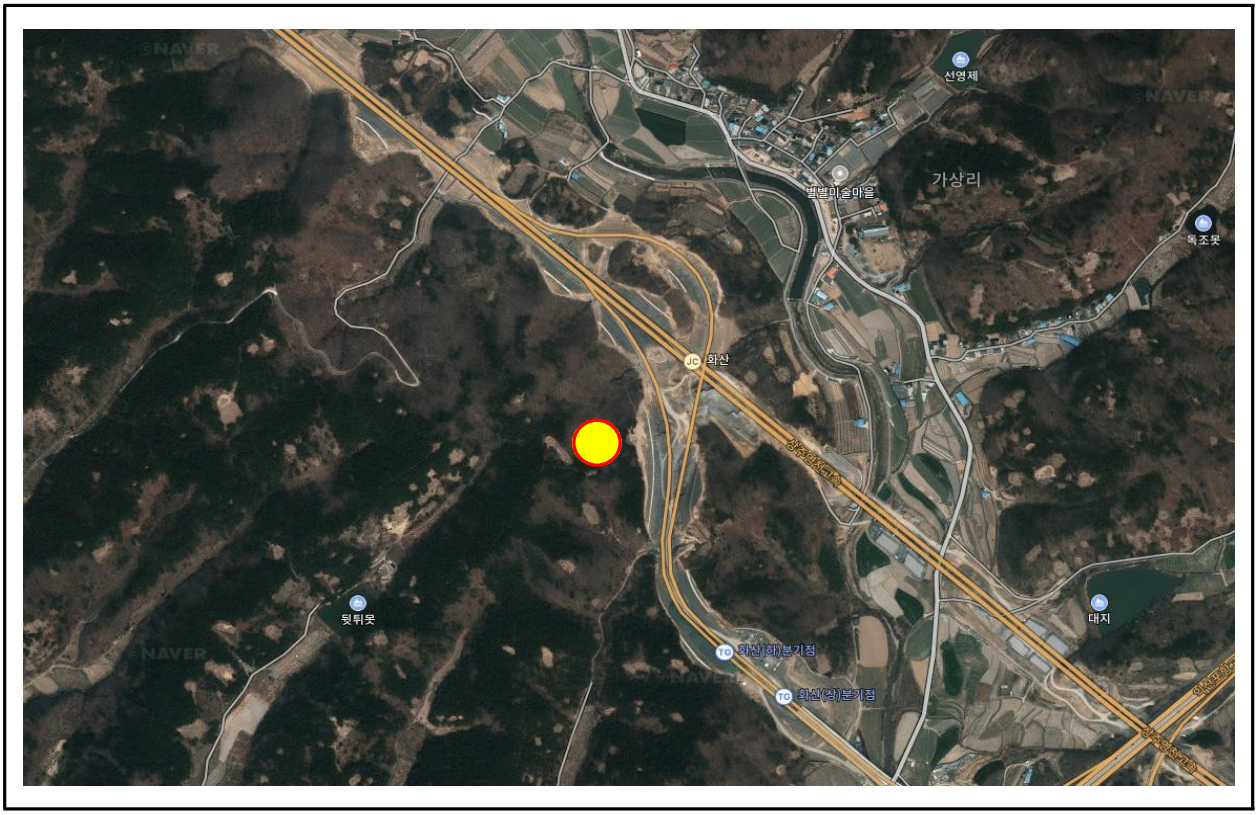
3) 지진가속도계수 선정

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 61-79> 검토대상 비탈면구간 및 현황**

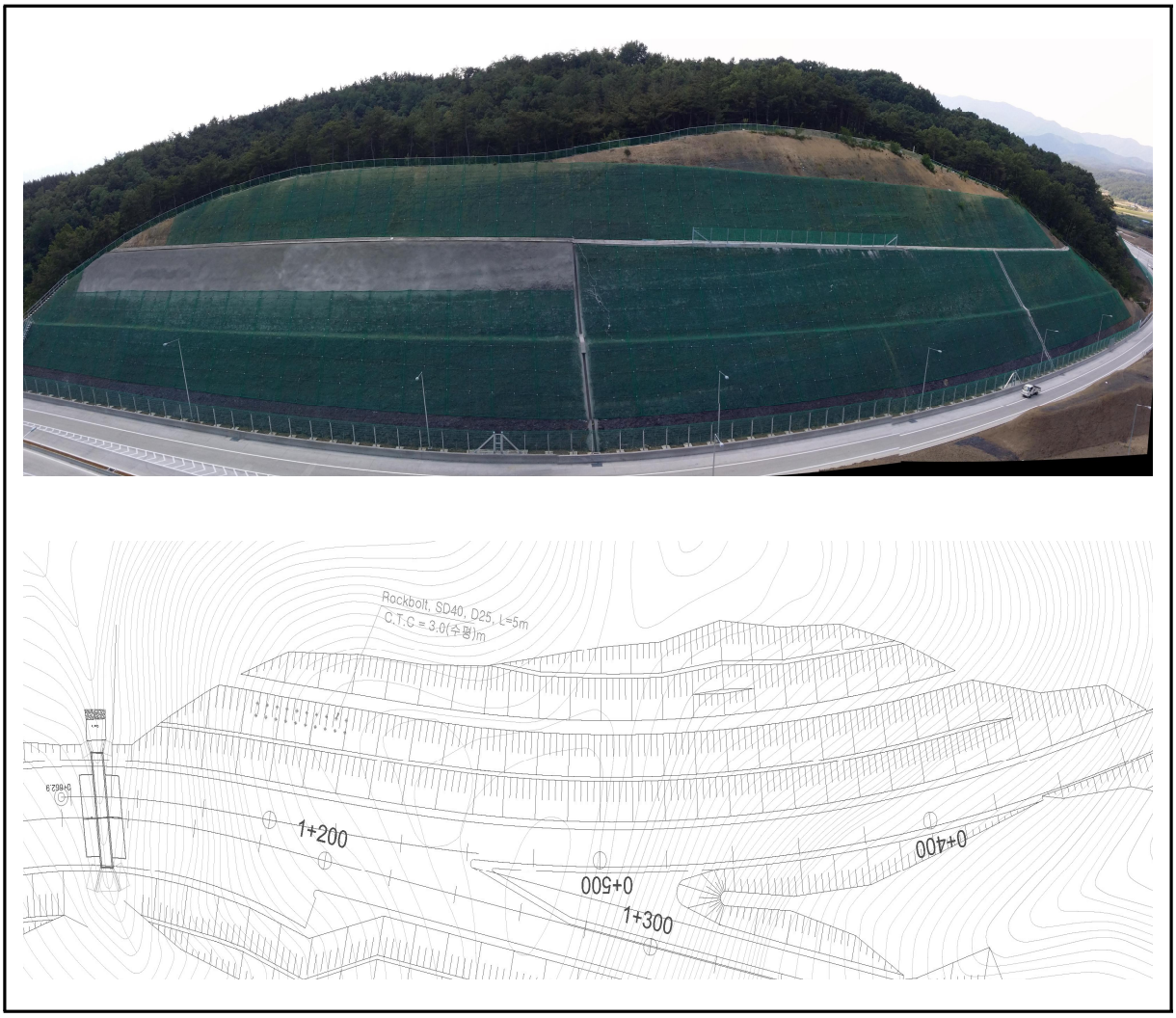
| 구조물명 | 위치 | 이정 (km) | 대표구간 | 비탈면 현황 | | | | 준공년도 | 경사/경사방향 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 높이 (m) | 토사/풍화암 | 암반 | 보강형식 | | |
| 영천절토61 | 경상북도 영천시 화산면 가상리 | 화산 JCT | R-D STA.0+450 | 46.0 | 4.0 | 42.0 | - | 2017 | 45/088 |
| | | | R-A STA.1+244 | 30.0 | 4.0 | 26.0 | - | 2017 | 45/098 |




**<그림 61-13> 영천절토61 검토대상 비탈면구간**

### 사. 영천절토61 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



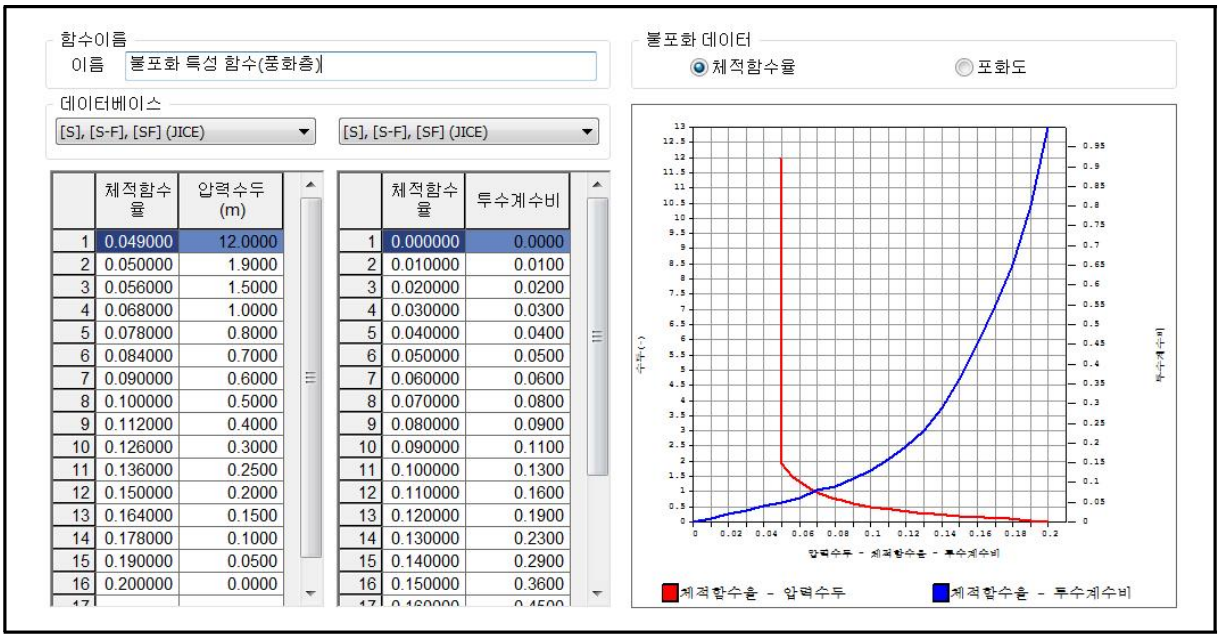

**<그림 61-14> 영천절토61 검토대상 비탈면구간**

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 kPa | 투수계수 ㎝/sec | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 풍화토 | 18 | 29 | 16 | 1.0E-03 | |
| 풍화암 | 20 | 30 | 30 | 1.0E-04 | |
| 경암 | 26 | 35 | 1,500 | 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 |

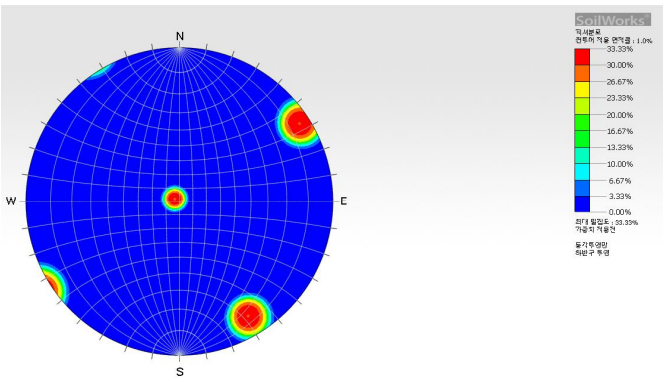
| | 체적함수율 | 투수계수비 |
|---|---|---|
| 1 | 0.000000 | 0.0000 |
| 2 | 0.010000 | 0.0100 |
| 3 | 0.020000 | 0.0200 |
| 4 | 0.030000 | 0.0300 |
| 5 | 0.040000 | 0.0400 |
| 6 | 0.050000 | 0.0500 |
| 7 | 0.060000 | 0.0600 |
| 8 | 0.070000 | 0.0800 |
| 9 | 0.080000 | 0.0900 |
| 10 | 0.090000 | 0.1100 |
| 11 | 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 61-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수**

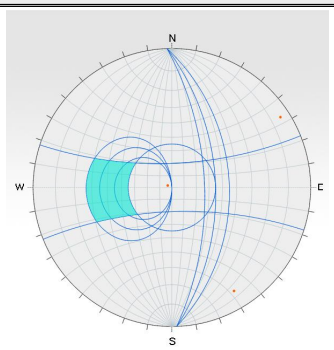
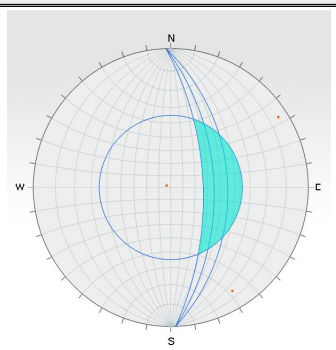
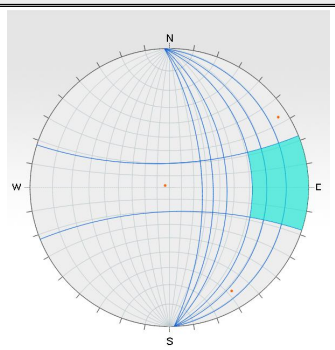
3) 1구간 (R-D STA.0+320 ~ 0+537)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

| 구 분 | 점 검 결 과 | | |
|---|---|---|---|
| 평사 투영도 |  | dip | dip direction |
| | | 4 | 121 |
| | | 82 | 329 |
| | | 86 | 237 |

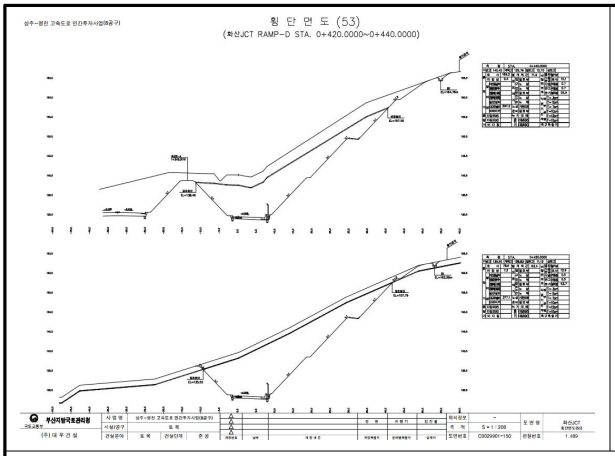
◦ 해석결과

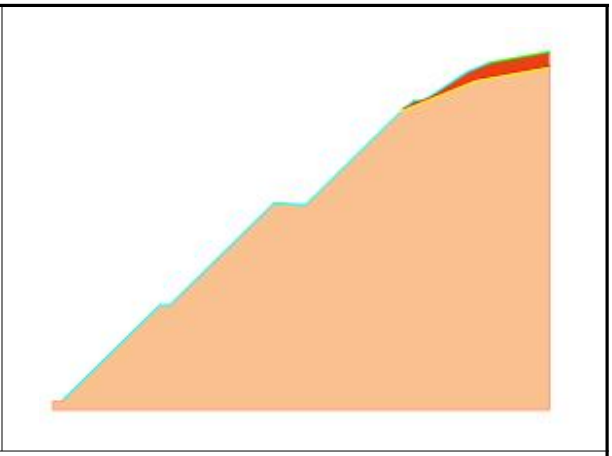
| 평면파괴 | 쐐기파괴 | 전도파괴 |
|---|---|---|
|  |  |  |

| 구 분 | 평면파괴 | 쐐기파괴 | 전도파괴 |
|---|---|---|---|
| 해석결과 | 안정 | 안정 | 안정 |
| 평 가 | ◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음<br>◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음<br>◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 | | |

② 토사깍기비탈면 안정성검토

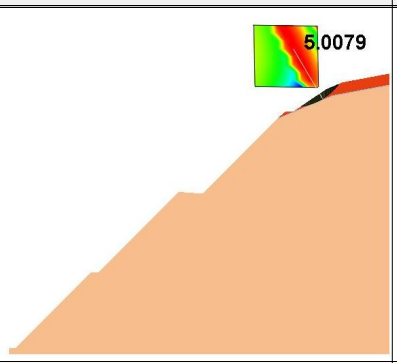
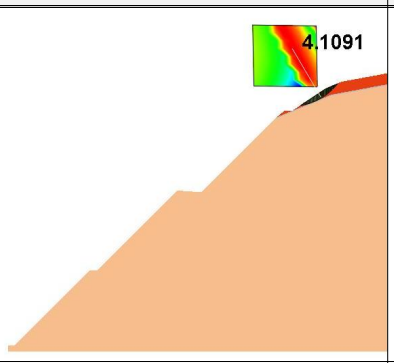
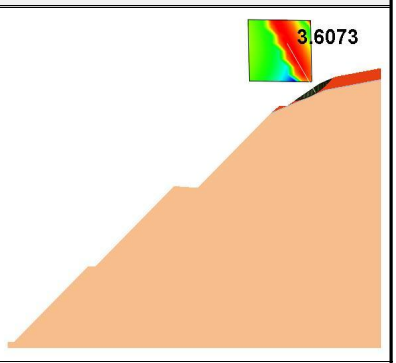
◦ 검토단면



대표단면 : R-D STA.0+450

◦ 해석결과

| 건기시 | 우기시 | 지진시 |
|---|---|---|
|   |   |   |
| 안전율 : 5.00 | 안전율 : 4.10 | 안전율 : 3.60 |

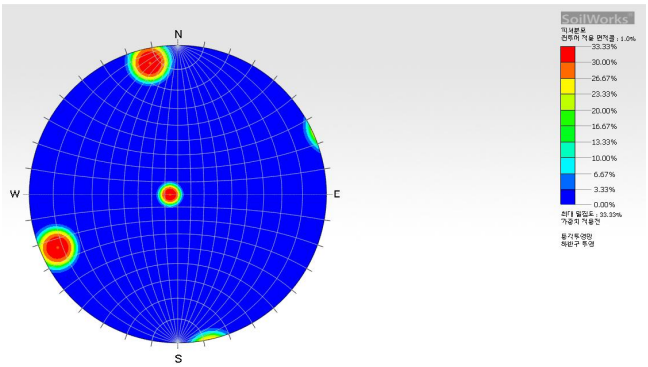
③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

| 구 분 | 검토 결과 | | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 암반구간 (평사투영해석) | 평면파괴 | 안정 | |
| | 쐐기파괴 | 안정 | |
| | 전도파괴 | 안정 | |
| 토사구간 (한계평형해석) | 건기시 | Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K | |
| | 우기시 | Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K | |
| | 지진시 | Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K | |

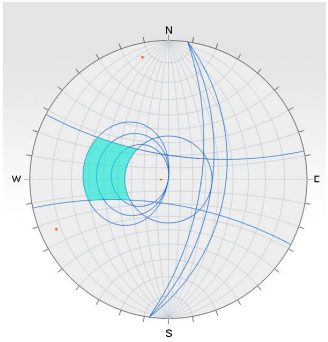
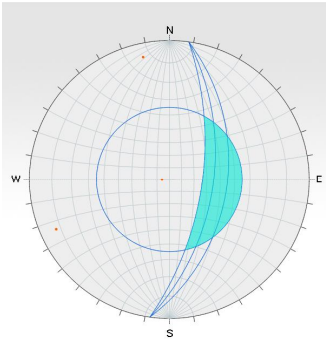
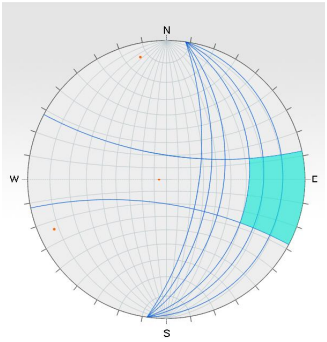
4) 2구간 (R-A STA.1+244 ~ 1+140)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

| 구 분 | 점 검 결 과 | | |
|---|---|---|---|
| 평사 투영도 |  | dip | dip direction |
| | | 6 | 89 |
| | | 84 | 168 |
| | | 83 | 66 |

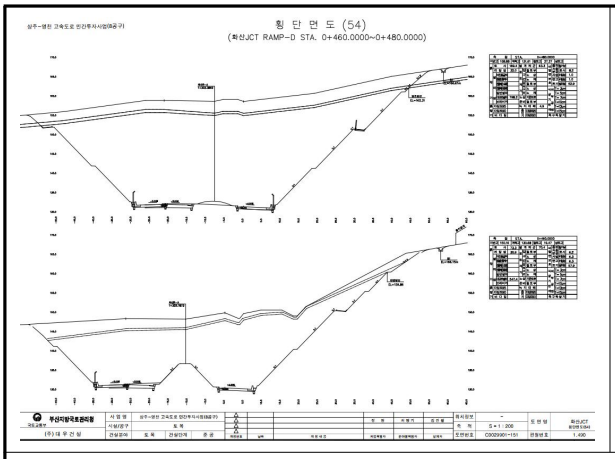
◦ 해석결과

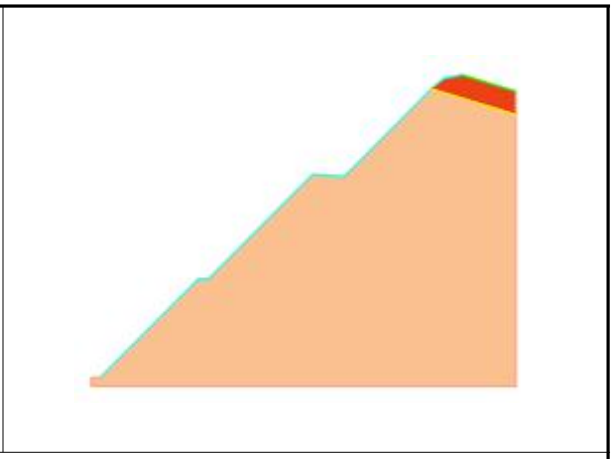
| 평면파괴 | 쐐기파괴 | 전도파괴 |
|---|---|---|
|  |  |  |

| 구 분 | 평면파괴 | 쐐기파괴 | 전도파괴 |
|---|---|---|---|
| 해석결과 | 안정 | 안정 | 안정 |
| 평 가 | ◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음<br>◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음<br>◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 | | |

② 토사깍기비탈면 안정성검토

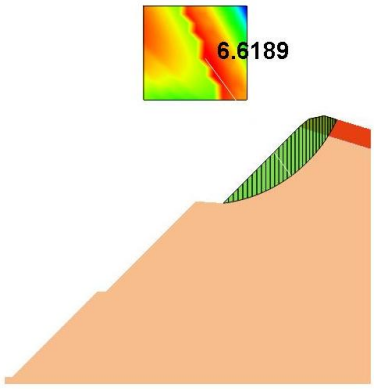
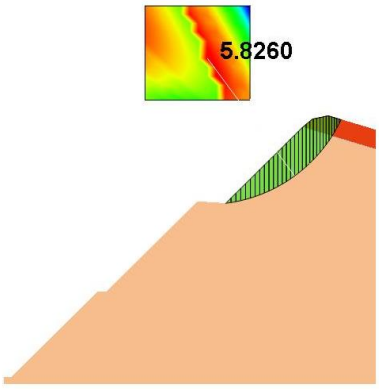
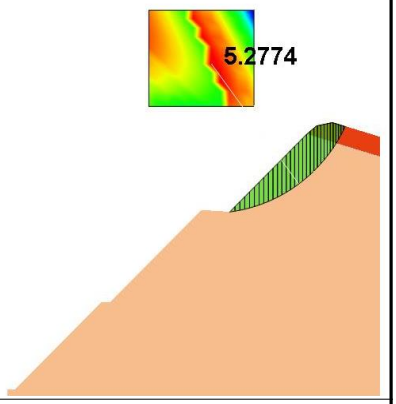
◦ 검토단면



대표단면 : R-A STA.1+244, 영천

◦ 해석결과

| 건기시 | 우기시 | 지진시 |
|---|---|---|
|   |   |   |
| 안전율 : 6.61 | 안전율 : 5.82 | 안전율 : 5.27 |

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 | |
| | 우기시 | Fs ≥ 1.2 ⇨ 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 평면파괴, 전도파괴, 쐐기파괴에 대한 가능성이 없는 것으로 분석되었으며, 한계평형해석을 시행한 결과 건기 및 우기시 허용안전율을 상회하는 것으로 검토되었다. 금회 현장조사를 통한 평사투영해석 결과 각각의 파괴유형에 대해 안전한 것으로 분석되어 구조안전성능평가는 A등급으로 평가되었다.

**<표 61-80> 구조안전성능평가 결과**

| 구조안전성능 평가 결과 산정표 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **시설물명** | | **영천절토61** | | |
| **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 | 5.00 | a | Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K |
| | 우기시 | 4.10 | a | Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K |
| | 지진시 | 3.60 | a | Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K |
| **구조안전성능평가 결과** | | **A** | | |

### 61.4.3 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 61-81> 안전성능 평가 결과**

| 안전성능 평가 결과 산정표 | | | |
|---|---|---|---|
| **시설물명** | **영천절토61** | | |
| **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.<br>ㅇ**안전성능평가 결과 : A등급** | | |

**<표 61-82> 안전성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의**

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

# 61.5 내구성능 평가

## 61.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

**<표 61-83> 평가 대상 사면 개요**

| 구 분 | | 시 설 현 황 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 사면 형식 | | 파쇄암반사면 | SR = 4/46 = 0.08 |
| 공용기간 | | 3년 | 2017년 준공 |
| 암반구간 설계(초기)강도 | | 보통암 : 100.0MPa | 추정 |
| 면적 | 전체 | 5,672㎡ | |
| | 토사구간 | - | |
| | 암반구간 | 5,672㎡ | |
| 표면보호공 | 낙석방지망 | 3,793㎡ | |
| | 숏크리트 | 358㎡ | |
| 사면보강공 | - | - | |

## 61.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

**<표 61-84> 사면 형식별 내구 성능 지표**

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

### 61.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

**<표 61-85> 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 | 97.0%이상 100%이하 | 90.0%이상 100%이하 |
| | b | 96.0%이상 97.5%미만 | 90.0%이상 96.0%미만 | 88.0%이상 97.0%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 61-86> 암반 강도시험 결과**

| 위 치 | 추정강도 평균값(MPa) | 초기값 대비강도(%) | 비 고 |
|---|---|---|---|
| R-D 0.430k | 85.2 | - | 초기값 미측정으로 대비강도 측정 불가 초기값 대비강도(%) = 추정강도 / 초기 강도값 |
| R-D 0.440k | 84.7 | - | |
| R-D 0.455k | 86.5 | - | |
| R-A 1.185k | 87.1 | - | |
| R-A 1.200k | 86.6 | - | |
| R-A 1.215k | 86.2 | - | |
| 평균값 | 86.1 | - | |
| **등급** | **A등급** | | |

**<표 61-87> 표면보호공 평가 결과**

| 항목 | 등급 | 보호공의 종류 | |
|---|---|---|---|
| | | 식생<br>(식생 피복율, %) | 콘크리트뿜어붙이기<br>(손상 면적율, %) |
| 표면<br>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<br>상태, 누수발생(50%이상~70%미만) |
| | e | 매우 불량(0%~30%미만) | 대부분의 범위에서<br>박락 및 유실, 누수발생(70%이상) |

**<표 61-88> 표면보호공 피복 면적**

| 표면보호공 종류 | 식생공 | | 콘크리트 뿜어붙이기 | | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 피복면적 | 피복율(%) | 손상면적 | 손상율(%) | |
| 식생 | - | - | 0/358㎡ | 0.0% | |
| 평가 | 숏크리트 손상율이 0.0% 이므로 "a등급"으로 평가함. | | | | |

**<표 61-89> 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<br>(< 5m) | 단단한 충전물<br>(≥ 5m) | 연약한 충전물<br>(< 5m) | 연약한 충전물<br>(≥ 5m) |
| 풍화진행도 | 신선 | 약한 풍화 | 보통 풍화 | 심한 풍화 | 완전 풍화 |

**<표 61-90> 암반의 풍화도 평가 결과**

| 평가항목 | 불연속면(Set A) | | |
|---|---|---|---|
| | Set 1 | Set 2 | Set 3 |
| 길이(m) | 1~3m 미만 | 1~3m 미만 | 1~3m 미만 |
| | b(5) | b(5) | b(5) |
| 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 | HW | HW | HW |
| | d(16) | d(16) | d(16) |
| 합 계 | 41 | 41 | 41 |
| 평 균 | 8.2 | 8.2 | 8.2 |
| **평가 결과** | c | c | c |

| 평가항목 | 불연속면(Set B) | | |
|---|---|---|---|
| | Set 4 | Set 5 | Set 6 |
| 길이(m) | 1~3m 미만 | 1~3m 미만 | 1~3m 미만 |
| | b(5) | b(5) | b(5) |
| 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 | HW | HW | HW |
| | d(16) | d(16) | d(16) |
| 합 계 | 41 | 41 | 41 |
| 평 균 | 8.2 | 8.2 | 8.2 |
| **평가 결과** | c | c | c |

**<표 61-91> 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 | c | 0.43 | 최소 및 최대 제외 |
| **등 급** | | **c** | |

### 61.5.4 내구성능 평가 결과

1) 혼합사면 내구성능 가중치

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

**<표 61-92> 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 | 25 | 28 | - | - | - |

2) 암반구간 내구성능 등급

**<표 61-93> 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 | | | | 0.265 |
| **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 61-94> 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의**

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

# 61.6 종합평가

## 61.6.1 종합평가 개요

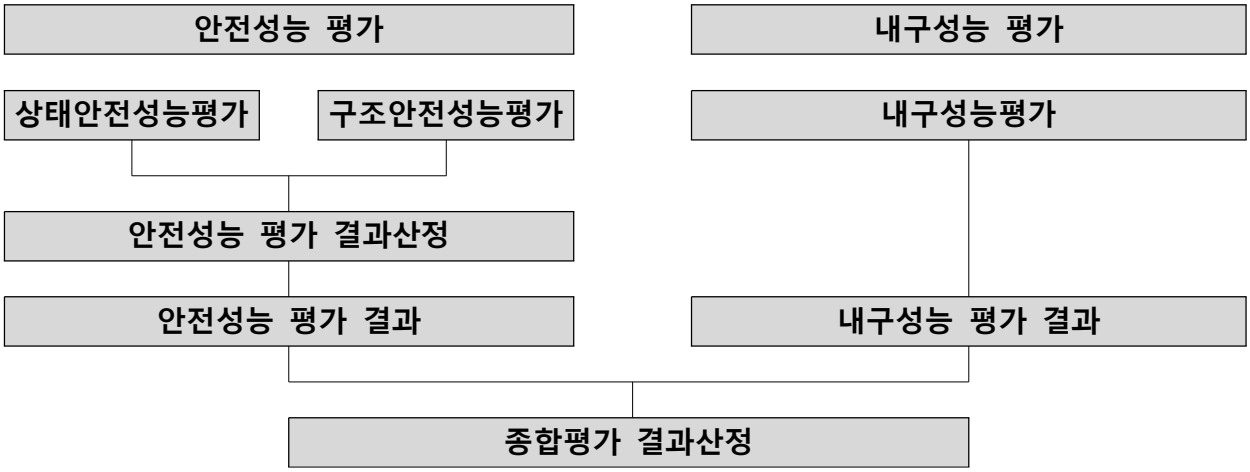
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 61-16> 종합평가 흐름도**

## 61.6.2 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 61-95> 성능간 가중치 산정 값**

| 구분 | 분류 | 성능항목 | |
|---|---|---|---|
| | | 안전성능 | 내구성능 |
| 성능간 가중치 (Wn) | 일반도로 사면<br>고속도로 사면<br>일반철도 사면<br>고속철도 사면 | 0.8 | 0.2 |

**<표 61-96> 종합평가 결과**

| 시설물의 종합평가 결과 산정표 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **시설물명** | 영천절토61 | | **분류** | 상주영천고속도로 |
| **평가 구분** | **성능평가 지수** | **평가 결과** | **성능간가중치(Wn)** | **비 고** |
| 안전성능평가 | Ps=0.140 | A | 0.8 | 인장균열 없음 |
| 내구성능평가 | Pd=0.265 | B | 0.2 | |
| 종합평가 결과 | ㅇ사면의 종합평가 지수(P)<br>= ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn))<br>= (0.140 × 0.8) + (0.265 × 0.2) = 0.165<br>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 61-97> 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 |

## 61.7 유지관리 전략 제안

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

### 61.7.1 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 5년 주기의 "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 61-98> 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**<br>일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준 | | | | |

### 61.7.2 성능평가 결과 검토·분석

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

**<표 61-99> 종합평가 결과 요약**

| 평가구분 | 안전성능 | 내구성능 | 종합성능 |
|---|---|---|---|
| 평가지수 | 0.140 | 0.265 | 0.165 |
| 평가결과 | A | B | B |

### 61.7.3 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, 성능목표와 동일한 "B등급"으로 금회 조사된 손상들에 대해서는 현상유지 수준의 주의관찰과 손상 진전 억제를 위한 보수가 적정할 것으로 판단된다.

**<표 61-100> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안**

| 구 분 | | 손상 내용 | 보수·보강방안 | 보수.보강 수준 |
|---|---|---|---|---|
| 표면 보호공 | 표층 | 상태양호 | 주의관찰 | 현상유지 |
| 배수 조건 | 소단배수로 | 균열 | 균열보수 | 일부보수 |
| | 산마루측구 | 균열 | 균열보수 | 일부보수 |
| | 수직도수로 | 상태양호 | 주의관찰 | 현상유지 |
| 상부 자연비탈면 | | 상태양호 | 주의관찰 | 현상유지 |

#### 나. 유지관리 전략 제안

본 비탈면은 현재 목표성능과 동일한 "B등급"의 상태를 유지하고 있으며, 주기적인 점검을 통한 손상의 발생여후 확인 등의 유지관리 전략을 제안한다.

## 61.8 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. 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 균열이 발생된 것으로 조사되었으나, 배수기능에는 큰 문제가 없는 것으로 확인되었다. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 결과, 외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 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 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 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.

# 제62장 영천절토62

62.1 대상 시설물 현황

62.2 관련 자료의 분석

62.3 현장조사

62.4 안전성능평가

62.5 내구성능평가

62.6 종합평가

62.7 유지관리전략 제안

62.8 종합결론

# 제62장 영천절토62

## 62.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 영천시 화산면 대기리(상주영천고속도로 77.548~77.766㎞)에 위치한 사면으로서 총 연장 220.0m, 높이 36.0m의 절토사면으로 시공되어 있다.

**<표 62-1>사면 일반사항**

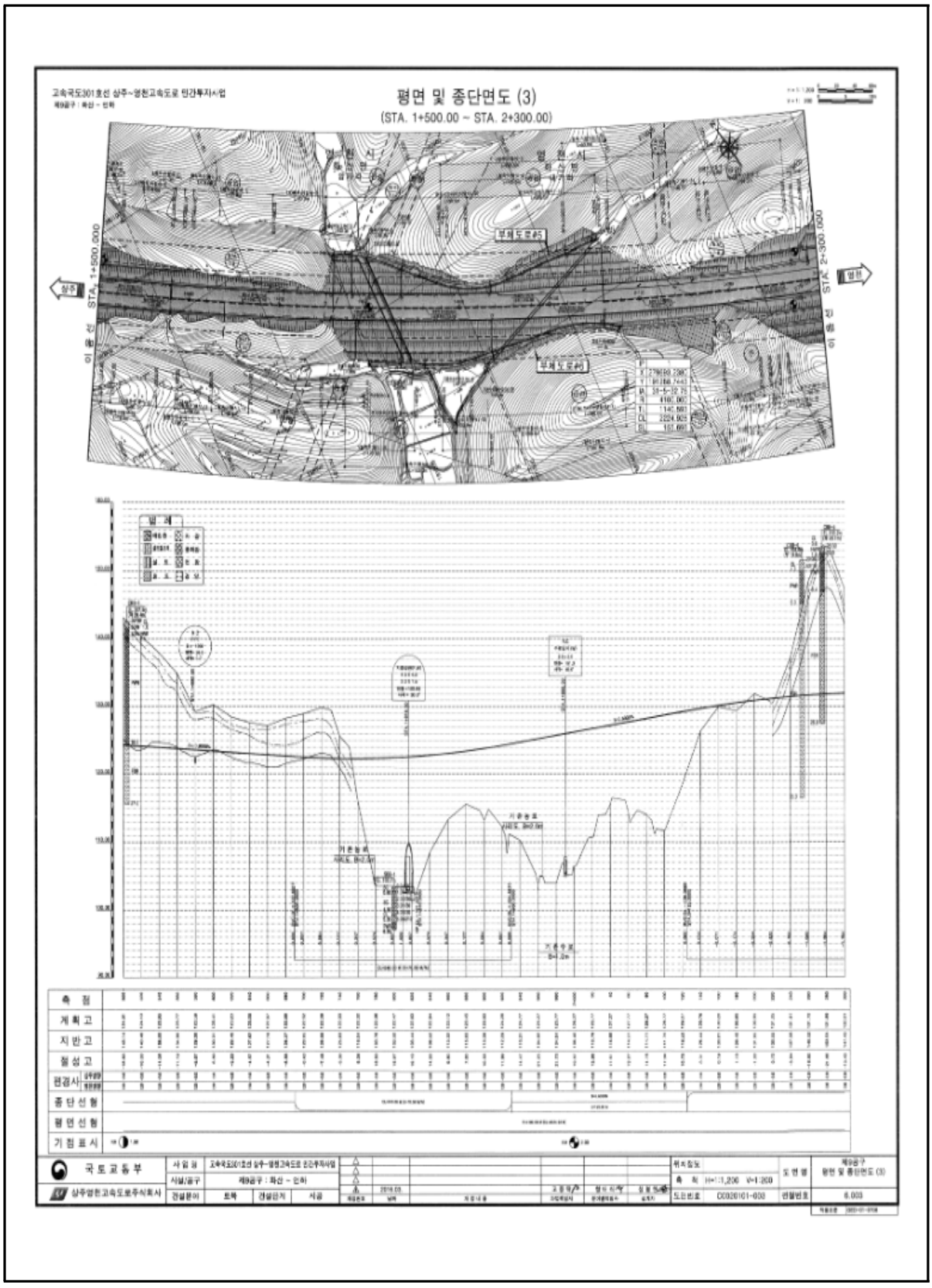
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 시설물번호 | SL2017-0000052 | | 관리번호 | SY SL62 |
| 시설물명 | 영천절토62 | | 시설물구분 | 절토사면 |
| 위 치 | 행정구역 | 경상북도 영천시 화산면 대기리 | | |
| | 위치좌표 | 시점 : 36° 01′50.0″ 128° 90′63.0″ | | |
| | | 종점 : 36° 01′43.0″ 128° 90′86.0″ | | |
| | 관리이정 | 77.548~77.768㎞ | | |
| | 공구이정 | 9공구 STA.2+190~2+410 | | |
| 제 원 | 연 장 | 220m | 높 이 | 36.0m |
| | 경사/방향 | 45/021 | 노 선 | 고속국도 301호선 |
| 관리주체 | 상주영천고속도로(주) | | 관리주체구분 | 민간 |
| 주변환경 | 인공구조물 | - | | |
| | 주변지형 | 산악지형 | 상부사면경사 | 10~20° |
| 시공현황 | 준공년도 | 2017 | 시 공 자 | ㈜두산건설 |
| | 부대시설 | 점검로, 배수로, 산마루측구, 낙석방지울타리 | | |
| 비 고 | | | | |

<그림 62-1>위치도

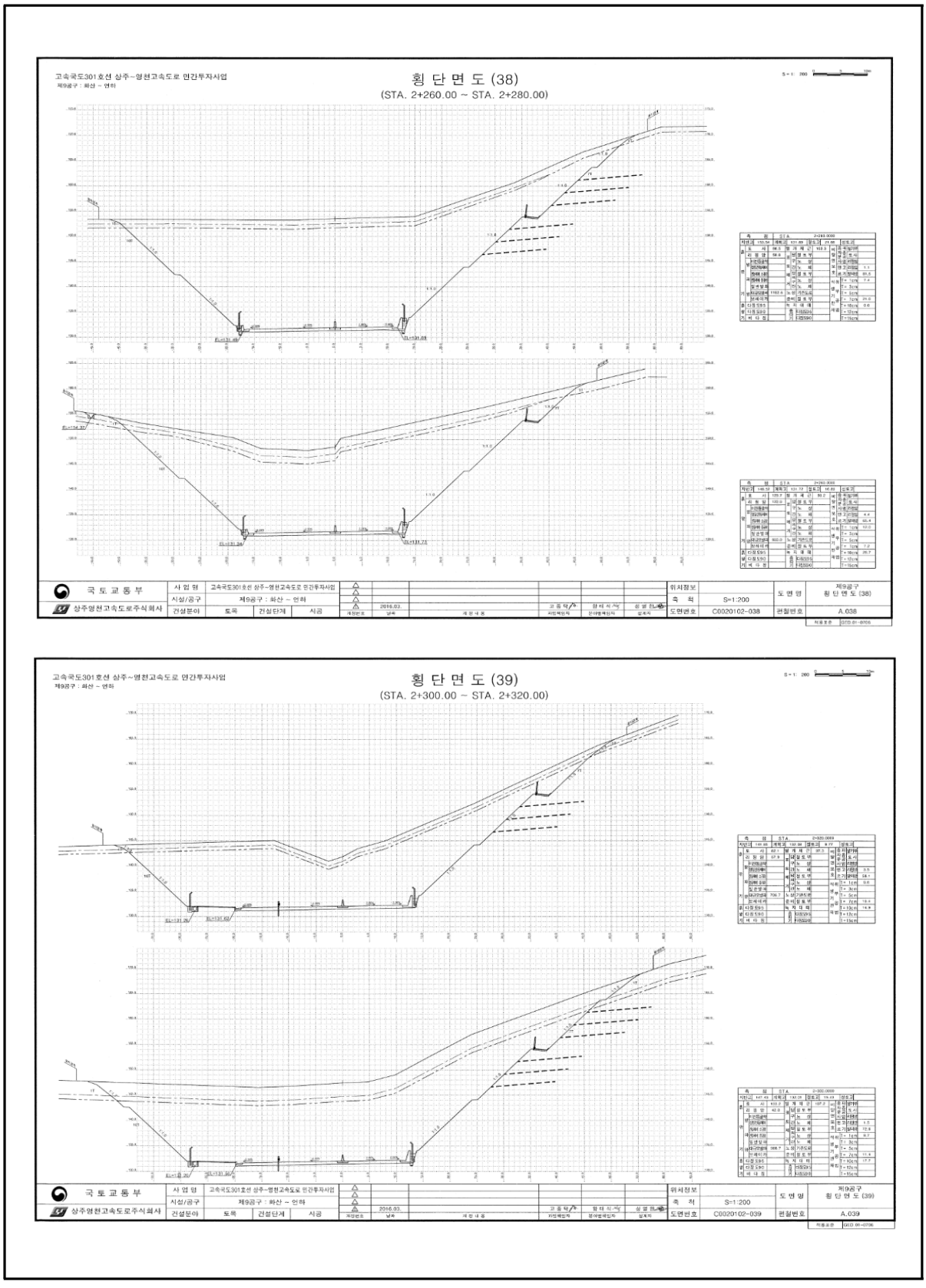
| 2019년 정밀안전점검 |
| --- |
| |

<그림 62-2> 전경사진

| | |
|---|---|
| | |
| 산마루측구, 점검계단 전경 | 1소단 배수로 전경 |
| | |
| 하부 전경 | 정면 전경 |


평면 및 종단면도 (3)
(STA. 1+500.00 ~ STA. 2+300.00)
STA. 1+500.000
STA. 2+300.000
부채도로#5
부채도로#6
범 례
측 점
계획고
지반고
절성고
편경사
종단신형
평면신형
기점표시
국토교통부
삼주영천고속도로주식회사

**<그림 62-3> 평면도**




**<그림 62-4>표준횡단면도**

# 62.2 관련 자료의 분석

## 62.2.1 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 62-2> 유지관리 관련자료 현황**

| 보존대상 목록 | | 보유현황 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 설계도서 | ㅇ공통<br>- 준공내역서<br>- 공사 및 특별시방서<br>- 각종계산서<br>- 토질 및 지반조사 보고서<br>- 기타 특이사항 보고서 | <br>보유<br>보유<br>보유<br>보유<br>- | ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 9공구 |
| | ㅇ설계도면<br>- 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등 | 보유 | ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 9공구 |
| 시 설 물 관리대장 | ㅇ기본현황<br>ㅇ상세제원<br>ㅇ유지관리 이력 | 보유<br>보유<br>보유 | ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS) |
| 시공관련 자 료 | ㅇ시공관련자료<br>ㅇ품질관리 관련자료<br>- 재료증명서<br>- 품질시험기록<br>- 각종 시험기록<br>- 시설물 주요 구조 부위에 대한 계측자료<br>ㅇ사고자료 | 일부 보유<br><br>일부보유<br>일부보유<br>일부보유<br>-<br>-<br>- | ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 9공구 |
| 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 2017년 준공된 시설물로 설계 및 시공관련 자료 관리 및 보관상태는 대체로 양호한 것으로 조사되었다. 관련자료 분석을 통해 당초 시공시의 개략적인 지반상태를 파악할 수 있다.

## 62.2.2 지반조사 보고서 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 "상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 9공구"의 설계 및 준공도서 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

1) 사면 적용구배 및 소단설치 기준

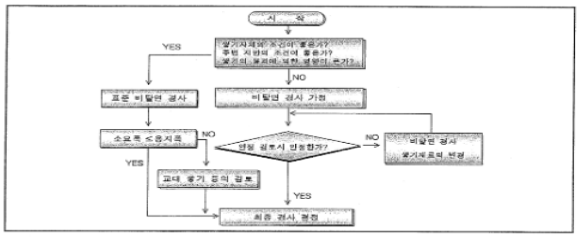
7.4 비탈면 설계기준

비탈면 안정해석을 위한 설계기준은 대체적으로 소단, 비탈면기울기 및 최소안전율 등으로 구분할 수 있으며 이에 대하여 검토하면 다음과 같다.

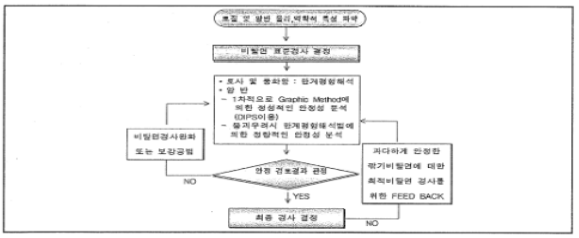
7.4.1 비탈면 기울기기준

가. 비탈면 기울기의 결정

(1) 쌓기 비탈면 기울기 결정에 따른 흐름도




(2) 깎기 비탈면 기울기결정에 따른 흐름도




251

다. 깎기 비탈면

자연지반의 토질은 매우 불균질하고, 풍화도, 성층상태 및 균열 등에 의해 지반의 강도는 현저하게 다르며 시공후 시간의 경과에 따라 응력이완, 대기노출로 인한 풍화진행 등으로 원지반의 전단강도가 약해지므로 비탈면이 차차 불안정하게 된다.

따라서 깎기비탈면 안정을 위한 기울기기준 결정은 토질구성, 상태, 특성, 지형조건, 지하수위 상태 및 시공조건과 비탈면의 용도등을 종합적으로 분석 고려되어야 한다.

국내 깎기비탈면 설계기준 적용기준은 건설교통부 및 한국도로공사 설계기준에 의거한 표준기울기를 적용하고 있으며 암반층에서 층리나 절리등이 규칙있게 발달할 경우 기울기 비탈면에 따라 큰 붕괴가 예상되므로 지반조사 결과를 토대로 파괴형태를 예상하여 이에 대한 적절한 비탈면 기울기설정 및 부가적인 안정대책을 수립하도록 계획하였다.

[원지반 토질에 대한 비탈면 기울기범위]

| 토 질 조 건 | | 비탈면높이(m) | 기울기 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 모 래 | | - | 1:1.5 이상 | SW, SP |
| 사 질 토 | 밀실한 것 | 5 이하 | 1:0.8 ~ 1:1.0 | SM, SP |
| | | 5~10 | 1:1.0 ~ 1:1.2 | |
| | 밀실하지 않고 입도분포가 나쁨 | 5 이하 | 1:1.0 ~ 1:1.2 | |
| | | 5~10 | 1:1.2 ~ 1:1.5 | |
| 자갈 또는 암괴 섞인 사 질 토 | 밀실하고 입도분포가 좋음 | 10 이하 | 1:0.8 ~ 1:1.0 | SM, SC |
| | | 10~15 | 1:1.0 ~ 1:1.2 | |
| | 밀실하지 않거나 입도분포가 나쁨 | 10 이하 | 1:1.0 ~ 1:1.2 | |
| | | 10~15 | 1:1.2 ~ 1:1.5 | |
| 점 성 토 | | 0~10 | 1:0.8 ~ 1:1.2 | ML, MH, CL, CH |
| | | 5 이하 | 1:1.0 ~ 1:1.2 | GM, GC |
| 암괴 또는 호박돌 섞인 점성토 | | 5~10 | 1:1.2 ~ 1:1.5 | |
| 풍 화 암 | | - | 1:1.0 ~ 1:1.2 | 시편이 형성되지 않는 암 |

주) 1. 실트는 점성토로 간주. 표에 표시한 토질 이외에 대해서는 별도로 고려한다.
2. 위 표의 기울기는 소단을 포함하지 않는 단일비탈면의 기울기이다.

(건설교통부, 건설공사비탈면설계기준, 2006년)

7.4.2 소단 설치기준

가. 국내외 기관별 소단 적용기준

소단 설치빈도 및 폭에 대하여 국내의 기관별, 비탈면의 종류 및 지반의 특성 등을 고려하여 비교분석한 결과는 다음표와 같다. 소단 적용기준 현황을 보면 일본의 경우는 소단설치 높이 기준을 7m 마다 1~2m로 규정하고 있으며 국내기준은 5~10m마다 0.5~3.0m이다.

소단의 설치목적은 비탈면침식방지를 위한 배수시설 설치, 점검보수용 통로 등의 유지관리에 있으므로 발파암층에서는 H=10.0m 마다 1.0m소단과 리핑암 및 토사층에서는 H=5.0m마다 1.0m소단을 설치하되 H=20.0m마다 3.0m소단을 설치하는 것이 대체적으로 타당한 것으로 사료된다.

[국내외 기관별 소단적용 기준]

| 구 분 | 기관 및 규정명 | 소단적용 기준 |
|---|---|---|
| 국 내 | 건설공사 비탈면 설계기준 (2006) | · 비탈면 높이 10m 이상 : 원칙적으로 소단설치<br>· 비탈면 중간에 5~20m 높이 마다 폭 1~3m 소단설치 |
| | 한국도로공사 도로설계요령 (2002) | · 리핑암 : R.Q.D = 0~10%, H=5m 마다 소단 1m<br>· 발파암<br>RQD = 10~25% : H = 10m 마다 소단 1~2m<br>RQD = 25~50% : H = 10m 마다 소단 1~2m<br>RQD = 50% 이상 : H = 20m 마다 소단 3m |
| | 건설부 도로시설기준 | · H = 5 ~ 10m 마다 소단 1 ~1.5m |
| | 한국토지공사 | · H = 7m 마다 소단 0.5 ~1.5m |
| 일 본 | 도로공단 설계요령 | · H = 7m 마다 소단설치 |
| | 국유철도토목구조물 표준시방서 | · 암석과 접하는 토사 경계부와 7m 마다 소단 설치 |
| | 철도설계요령 | · H > 10m의 경우 7m마다 소단 1.5m. 기울기3% |

7.4.3 지하수위 적용기준

가. 적용기준

비탈면안정해석시 지하수위는 계절적인 지하수위 변화, 지형 및 시간적 요소를 고려하여 비탈면의 안정조건에 가장 불리한 상태를 해석에 적용하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

쌓기구간에서는 시공속도에 따른 장단기적인 배수조건과 호층 및 풍화암 지반조건에서는 강우시 침투해석에 의한 간극수압분포를 실제 안정해석에 이용하여야 하나 본 설계에서는 다음과 같이 적용하였다.

256

7.4.5 설계기준 선정

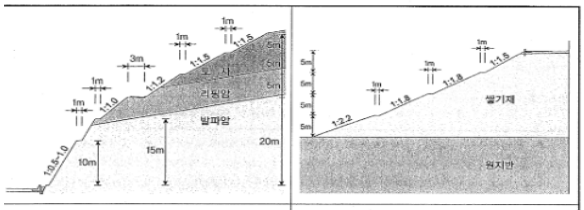
가. 비탈면 기울기 및 소단설치 기준

비탈면안정 해석을 위한 비탈면의 설계기준은 7.4.1 비탈면 기울기 기준에서 서술한 바와 같이 검토하였으며, 설계기준으로는 건설교통부 및 한국도로공사 기준을 적용하였다.

아래의 표는 비탈면의 설계기준을 정리한 것이며 본 표를 준용하여 비탈면안정 해석을 실시하는 것을 원칙으로 하나 해석 후 불안정한 경우 비탈면기울기를 완화하거나 비탈면안정 대책공법을 제시한다.

<비탈면 기울기 설계기준>

| 비탈면 구분 | 토 질 | 적 용 경 사 | 소 단 설 치 |
|---|---|---|---|
| 땅깎기 비탈면 | 토 사 층 | 1 : 1.2 ~ 1.5 | · 토사 및 리핑암<br>- 땅깎기 높이 5m 마다 소단 1m 설치<br>· 발파암 :<br>- 수직높이 10m 마다 소단 1m 설치<br>· 땅깎기 높이 20m 마다 3m 소단설치<br>· 리핑암과 발파암 사이에는 소단설치하지 않음 |
| | 리 핑 암 | 1 : 1.0 | |
| | 발 파 암 | 1 : 1.0 | |
| 쌓기 비탈면 | 쌓 기 재 | 1 : 1.5 ~ 3.2 | · 쌓기 높이 5m 마다 1m 소단설치 |




깎기비탈면 표준 기울기 | 쌓기비탈면 표준 기울기

259

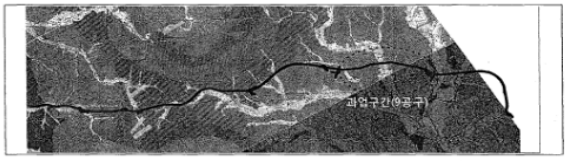
2) 지형 및 지질

## 제 4 장 조 사 결 과

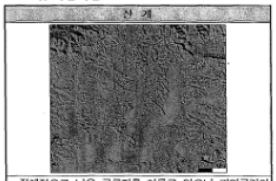
### 4.1 지표 지질 조사

#### 4.1.1 지형 및 지질특성

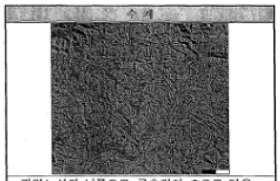
지질개요
- 조사지역의 지질은 변성암 상위를 부정합으로 놓인 사암, 역질사암, 역암, 니질암(세일 및 이암)등으로 이루어지는 중생대 경상누층군의 퇴적암류들이 넓게 분포
- 조사지역의 구성암석은 층적평원과 호성환경에서 변화되는 양상으로 해당지역에 분포하는 춘산층(반야월층)의 경우에는 니질층이 매우 우세한 호성 퇴적암임




가. 지형특성




- 전체적으로 낮은 구릉지를 이루고 있으나 과업구간의 북서쪽과 북동쪽은 비교적 높은 산계를 이루고 있음
- 과업노선은 높이 50~100m의 비교적 낮은 산을 따라 지나가고 있음




- 과업노선의 남쪽으로 금호강이 흐르고 있음
- 과업구간의 북쪽에는 고현천과 자호천이 남쪽방향으로 흐르고 있으며 특히 고현천은 과업노선의 중앙부를 통과함
- 각각의 하천들은 복잡한 지류를 형성하고 있음

나. 분포암종 특성

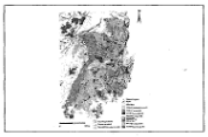
| 구 분 | 지질특성 |
|---|---|
| 춘산층 | • 층의 두께는 700m 내외이며 암회색 및 자색 이암과 실트암, 암회색 세일 및 사암으로 구성된다. 최하부는 2~3m 두께의 구산동층 회암층원으로, 중부는 기사동 역암으로 특징 지워진다. 구산동응회암은 주로 화산기원의 장석 및 석영입자들과 화산회 기질로 구성되었으나, 수류퇴적을 지시하는 층리 및 모양을 갖으며, 식물의 줄기와 및 화석들이 산출된다(Tateiwa, 1929) |



다. 지질 계통도

| 지질시대 | 층 명 | | 특 성 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 제4기 | 충적층(Qu) | | • 하천 및 산록 퇴적물 | |
| | | | — 부정합 — | |
| 중생대 백악기 | 경상계 | 화양층군 | 중성암맥(Kid) 산성암맥(Kad) | • 괴상의 치밀 | • 전 구간에서 기반암을 관입 |
| | | | — 관입 — | |
| | | | 화강암(Kgr) | • 괴상의 치밀 | • 3공구 중앙부 |
| | | | — 관입 — | |
| | | | 반산암질 암(Kat) | • 주로 응회암으로 구성 | • 노선과 교차하지 않음 |
| | | | — 관입 및 분출 — | |
| | | | 신양동층(ke9) | • 암회색 이암 및 세일과 사암이 교호대 | • 1공구 종점부 |
| | | | 춘산층(ke8) | • 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 세일<br>• 하부층에서 석회질 물질 다량 함유 | • 1~8공구에 걸쳐 분포 |
| | | | 사곡층(Ke7) 상부(Ke7-ms) | • 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 세일<br>• 석회질 물질 함유 | • 8공구 시점 |
| | | | 사곡층(Ke7) 하부(Ke7-ss) | • 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 세일과 사암이 교호<br>• 사질부분을 다량 함유 | • 8공구 시점과 7공구 종점 |
| | | | 천곡층(ke6) | • 암회색, 녹회색, 적색 세일 및 이암<br>• 주로 암회색 세일로 구성 | • 7공구 종점 및 중앙부 |
| | | | 후평동층(Ke5) 구계동층원(Ke5-2) | • 사암, 미사암 및 미사질 세일 및 이암(녹색 우세) | • 7공구 시점부 |
| | | | 후평동층(Ke5) 구미동층원(Ke5-1) | • 사암, 적색 미사질 세일, 저색처트역 및 역암(사질 우세) | • 6공구 종점부 |
| | | | 알적층(Ke4) | • 사암, 적색 미사질 세일, 역암<br>• 주로 사암이 우세 | • 6공구 중앙 및 종점 |
| | | 신동층군 | 전주층(Ke3) | • 역질사암, 사암, 세일의 교호<br>• 하부층에서 이회암 호층 분포 | • 6공구 시점 및 중앙부 |
| | | | 하산동층(Ke2) 상부(Ke2-2) | • 사암 및 적색 미사암, 이암의 교호 | • 5공구 종점 |
| | | | 하산동층(Ke2) 하부(Ke2-1) | • 사암과 역질사암, 역암의 교호 | • 5공구 중앙 및 시점부 |
| | | | 낙동층(ke1) 금당리층원(Ke1-nk) | • 사암과 역질사암, 세일의 교호<br>• 주로 역질 사암 우세 | • 4공구 전구간 |
| | | | 낙동층(ke1) 안경산층원(Ke1-nm) 상부(Ke1-num) | • 사암과 역질사암, 역암 교호 | • 3공구 중앙 및 종점부 |
| | | | 낙동층(ke1) 안경산층원(Ke1-nm) 하부(Ke1-nlm) | • 점석질 사암과 역질사암, 역암 교호<br>• 최하부에 단질층 협재 | • 3공구 시점 및 중앙부 |
| | | | — 부정합 — | | |
| | 경계퇴적 | | 세립질화강암(Jfgr) | • 엽리 발달 미약<br>• 세립질, 부분적으로 화강섬록암 암상 포함 | • 1공구 종점, 2공구 시점 |
| | | | 경미상 | | |
| | | | 편마상화강암(Jggr) | • 엽리 발달<br>• 조립질 | • 1공구 시점 및 중앙, 2공구 중앙부 |

라. 지체구조

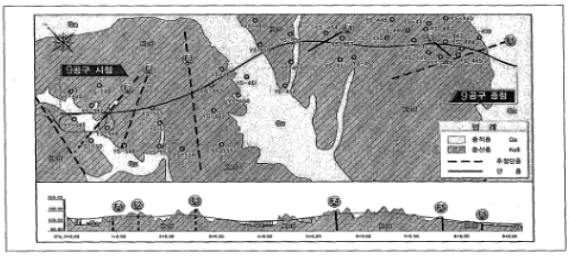


- 경상분지는 암상 및 지구조에 의해 몇 개의 소분지로 구분된다. 분지서쪽에 남북방향의 대상으로 발달하는 낙동소분지, 분지 최북단의 일형산 충상단층(thrust)과 청송령 사이에 발달하는 영양소분지, 안동 충상단층 및 청송령과 팔공산 습기대 사이에 발달하는 의성(도평)소분지, 그리고 팔공산 습기대 이남지역에 발달하는 유천(입암)소분지로 나누어진다.
- 경상분지의 서쪽과 북쪽에서는 경상누층군이 선캄브리아기에 속하는 변성퇴적암류의 쥬라기말의 대보화강암류를 부정합으로 덮고 있고, 동부와 남부는 백악기말의 화성활동과 단층작용으로 심하게 파괴되었으며, 제3기층에 의해 부정합으로 피복되거나 동해 및 남해의 해저로 계속 발달되어 있다.

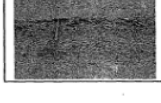
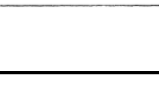


#### 4.1.3 과업구간 지질분포 특성

가. 상세 지표지질조사




① 주요 노두 특성분석

| 노두 사진 | 특 성 |
|---|---|
| | • 춘산층(노두No.YS-439)<br>• 암회색 니질암으로 쪼개짐 발달<br>• 층리방향 : 05/105<br>• JI=71/196, J2=78/291 |
| | • 춘산층(노두No.YS-440)<br>• 암회색 니질암<br>• 층리방향 : 04/071<br>• JI=84/222, J2=89/162 |
|  | • 춘산층(노두No.YS-441)<br>• 암회색 니질암<br>• 습곡축면방향 : 83/283 |
|  | • 춘산층(노두No.YS-442)<br>• 적색 니질암<br>• 층리방향 : 17/291<br>• JI=84/103, J2=80/024 |



#### 7.6.2 암종특성에 따른 비탈면 기울기 현황

가. 지질 및 암종특성

(1) 지질특성

- 본 과업노선은 경상분지의 퇴적암 지역에 위치하며 미세립의 니질암을 90%이상 함유한 춘산층이 주로 분포함
- 퇴적암 중 이암과 세일로 구성된 니질암은 사암이나 역암에 비해 입자간 공극이 크고 느슨한 특징을 보이며, 탄산염광물 함량이 높을 경우 짧은 시간 내에 풍화되는 특성을 나타냄

(2) 암종특성

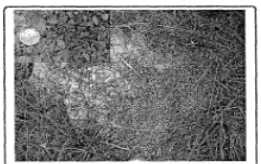
- 본구간의 니질암 암종특성 및 풍화특성파악을 위해 XRD, 현미경분석, 산침수에 의한 분말화 시험 및 내구성 시험 등 각종분석 실시
- XRD 및 현미경 분석결과 주구성광물은 석영과 방해석, 그리고 미립의 점토로 구성되었으며, 입자간 교결물질이 방해석인 것으로 판단
- 산침수에 의한 분말화 시험결과 층리에 따른 쪼개짐과 분말화가 상당히 진행됨
- 따라서, 앞기 비탈면 시공시 우수와 지표수에 노출되면 입자간 교결물질인 방해석의 용탈이 발생하여 암반사면이 빠르게 풍화될 것으로 판단

| 구 분 | 압축강도(kg/cm²) | | XRD분석 | 현미경분석 | | NP시험 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 니질암 | 사암 | 점토광물(%) | 실트(%) | 점토(%) | 방해석함량(%) |
| 10공구 | 339~852 | 958~1,317 | 27.2~41.8 | 31.6 | 68.4 | 29.7~39.9 |
| 9공구 | 395~814 | 433~884 | 28.2~33.7 | 52.6 | 47.4 | 5.8~16.8 |
| 8공구 | 535~1,066 | 654~1,345 | 36.4~43.6 | 21.1 | 78.9 | 22.7~28.1 |

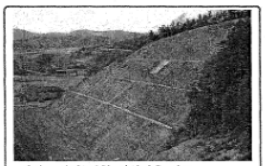
주) XRD : X-선 회절분석, NP시험 : 중화잠재(Neutralization Pontential) 시험

나. 인근비탈면조사

- 사업노선과 교차하는 4 개소의 고속도로(경부, 대구-포항, 중앙, 중부내륙) 및 기존 도로(국도 및 지방도)의 비탈면 기울기 적용 현황 조사



- 위치 : 신령~영천 현장사무소
- 설명 : 풍화되어 부피가 1/3로 축소됨



- 위치 : 신령~영천 덕산마을 인근
- 설명 : 1:1.0절취, 국부적 붕락발생

3) 지반조사 보고서

## 제 1 장 조 사 개 요

### 1.1 조 사 명

- 상주-영천 고속도로 민간투자사업 실시설계(9공구)

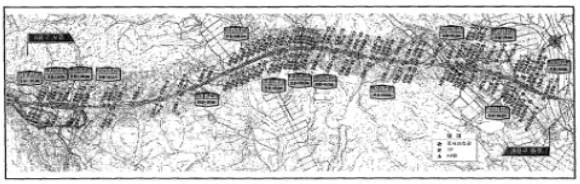
### 1.2 조 사 목 적

- 상주-영천 고속도로 민간투자사업을 위한 지반조사
- 계획노선의 지반공학적 특성을 고려한 조사계획 수립
- 선정된 최적노선을 대상으로 구조물별 특성을 고려한 현장조사, 현장시험 및 실내시험 실시
- 지층의 구성상태, 지반공학적 특성 및 지반조건 파악
- 조사된 자료를 종합·분석하여 합리적이고 경제적인 설계 및 시공에 필요한 공학적 자료 제공

### 1.3 조 사 범 위

| | |
|---|---|
| 위 치 | · 시점 : 경상북도 영천시 화산면 가상리 (STA. 0+000)<br>(X=280,996.0695 , Y=189,777.4749)<br>· 종점 : 경상북도 영천시 고경면 단포리 (STA. 9+320)<br>(X=275,770.3572 , Y=197,045.8263)<br>· 연장 : 9.32km |
| 특 성 | · 상주~영천간 고속도로 건설을 통한 기존 고속도로(경부, 중부내륙)의 기능 회복 및 연계를 통한 효율성 증대<br>· 고속도로 신설을 통해 통과 지역의 권역별 상호 균형 발전을 통한 공익성 증대 |

### 1.4 위 치 도



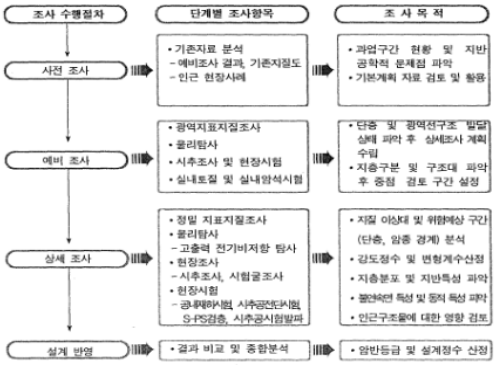


## 제 2 장 조 사 계 획

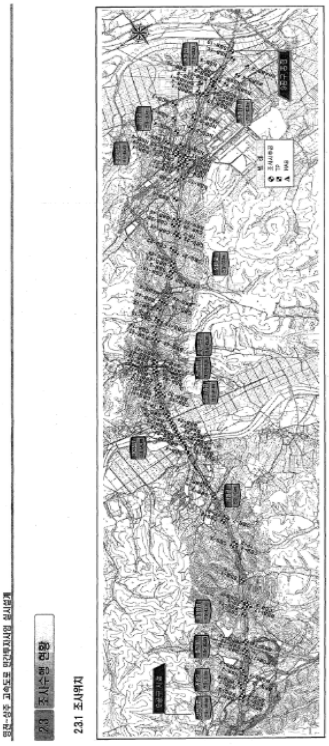
### 2.1 조사 기본방향 및 수행흐름

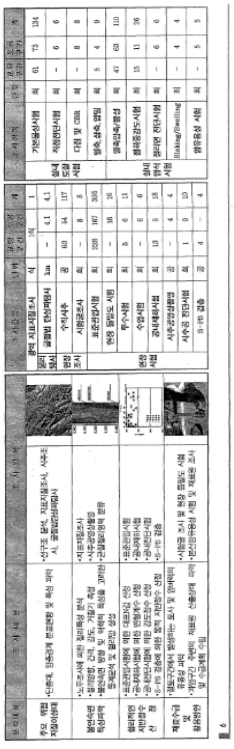
가. 조사 기본방향

나. 조사 수행 흐름도







### 3.2 암반의 분류 및 기준

#### 3.2.1 암반분류 방법

- 설계 및 시공에 영향을 주는 지반의 여러 특성을 등급에 따라 구분하여 조사, 설계 시공에 이르는 과정에 걸쳐 일관성 있는 기준 제시
- 암석의 기본색(황색, 갈색, 회색, 녹색)에 담(연한)과 암(진한)의 명암 및 흔색에 대한 접두용어를 사용

| | |
|---|---|
| 암반 분류 | • 한국도로공사, 철도청, 한국기술용역협회 및 서울지하철 분류기준에 따라 풍화토, 풍화암, 연암, 보통암 및 경암으로 분류하고 터널구간은 Rock Type으로 표시하의 RMR 및 Q 분류에 의해 암반을 분류하고 분석을 수행함 |
| 기재 방법 | • 암석의 풍화상태, 불연속면의 간격 : 강도 및 암질표시는 ISRM(국제암반역학회)의 분류방법에 의거 분류<br>• 조사과정에서 회수된 시추코어를 암석시험 및 육안관찰하여 American Institute of Professional Geologist에서 제시한 "공학적 목적을 위한 암석시료의 채취방법 및 시추주상도 작성방법"에 의거하여 시추주상도를 작성 |
| 기술 내용 | • 색, 불연속면의 간격과 상태, 풍화상태, 강도, 암석명 등을 기술함<br>- 색 : 암석의 기본색(황색, 갈색, 회색, 청색 및 녹색)에 담(연한), 암(진한)의 명암 및 흔 색의 서술용어를 사용함<br>• 강도, 풍화정도, 파쇄정도는 암석분류 기준에 의거하여 분류<br>• 시추주상도에는 암석명, N치, RQD, 시추작업자, 주상도 작업자, 주상도 검토자, 코아회수율 및 불연속면 특성에 관한 중요자료(절리면의 풍화상태, 강도, 간격, 경사, 거칠기 등) 등을 지세하게 기재함 |

| 표준단면 | 암질 | 특 징 | RMR | Q값 | 탄성파속도 (km/s) | 일축압축강도 (MPa) | 코아회수율 (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I | 경암 | 안정성이 있고 풍화, 변질 및 물리적, 화학적 영향을 거의 받지 않은 신선한 대괴상의 암질 | 100~81 | 60이상 | 3.4이상 | 100 이상 | 90이상 |
| II | 보통암 | 균열 및 편리가 다소 발달되어 있으며 일반으로 절리가 존재하는 층상의 암질 | 80~61 | 5.8~60 | 2.6~3.4 | 80~100 | 70~90 |
| III | 연암 | 층리, 절리 및 편리 등이 매우 발달된 상태이며, 파쇄대가 존재하는 소괴상의 암질 | 60~41 | 0.6~5.8 | 1.8~2.6 | 60~80 | 40~70 |
| IV | 풍화암 | 물리적, 화학적 영향으로 파쇄대가 매우 발달되고 절리가 불규칙으로 발달된 파쇄상의 풍화된 암질 | 40~21 | 0.1~0.6 | 0.99~1.8 | 25~60 | 40이하 |
| V | 풍화토 | 풍화작용이 심하고 일부가 토괴화된 상태이며, 매우 쉽게 부서지고 쉽게 들어낼 수 있는 암질 | 20이하 | 0.1이하 | 0.99이하 | 25 이하 | - |

# 제 7 장 비탈면 안정 검토

## 7.1 개 요

### 7.1.1 검토목적

본 검토는 계획노선에 계획되어 있는 깎기 및 쌓기 비탈면 중 붕괴가능성을 지닌 대깎기 비탈면과 고쌓기 비탈면에 대하여 설계시 지반공학적인 측면에서 조사 및 시험을 실시하고 이를 분석 파악 후 토질 및 암반상태와 안정성을 고려한 안정 비탈면기울기 결정 및 대책 등을 검토하여 경제적인 비탈면 설계방안을 제시하는데 그 목적이 있다.

토사비탈면의 경우 토층이 균질하다는 가정하에 임의의 최소안전율을 갖는 활동 지향면에 대한 안정성 평가가 이루어지나 암반비탈면의 경우 지질구조 및 불연속면의 특성에 의해 안정성을 평가하게 된다. 따라서 본 검토에서는 토사와 암반 비탈면의 파괴특성 차이를 고려하여 본 계획 노선의 비탈면을 토사비탈면과 암반비탈면으로 구분하여 안정검토를 실시하였다.

### 7.1.2 검토내용

본 구간의 검토대상 비탈면에 대하여 현장조사 및 실내시험을 통하여 얻은 성과를 토대로 검토한 내용은 다음과 같다.

- 현장조사 적정성 분석 및 비탈면 설계정수 산정
- 실내시험 적정성 분석 및 비탈면 설계정수 산정
- 합리적인 비탈면 기울기 검토
- 비탈면 안정대책 및 보호공법 검토

## 7.2 검토구간 선정 및 현황

### 7.2.1 선정기준

과업구간에 계획되는 비탈면 중 흙쌓기 구간의 검토단면 선정은 일반적으로 흙쌓기 높이가 10m 이상, 깎기구간은 절취비탈면 높이가 20m 이상 되는 비탈면을 원칙으로 하였으며, 그 외 현장조건 및 토질조건에 따른 대상은 다음의 기준에 따라 선정하였다.



| 구 분 | 선 정 기 준 |
|---|---|
| 쌓 기 부 | · 비탈면높이가 10m를 초과하는 경우<br>· 비탈면기울기가 표준기울기보다 급한 경우<br>· 쌓기재료의 함수특성이 높고, 전단강도가 낮은 경우<br>· 붕괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우<br>· 지형특성으로 인하여 쌓기토체 내부로 지속적인 지하수의 유입이 발생하는 경우<br>· 홍수시 비탈면이 침수되거나 비탈끝이 침식되는 경우<br>· 쌓기비탈면의 원지반이 양호하지 못한 경우(연약지반 등)<br>· 내진안정해석이 필요한 경우 |
| 깎 기 부 | · 비탈면높이가 20m 이상인 경우<br>· 비탈면기울기가 표준기울기보다 급한 경우<br>· 비탈면 지반이 붕적토로 이루어진 경우<br>· 암반의 풍화가 심하고 용수가 많은 경우<br>· 붕괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우<br>· 불연속면이 비탈면 방향으로 기울기진 지질조건인 경우<br>· 내진안정해석이 필요한 경우<br>· 불안정 요인을 갖는 지형·지질 조건인 경우 |

### 7.2.2 비탈면 현황

비탈면 안정검토 대상구간 선정기준에 의한 비탈면 현황은 다음과 같다.

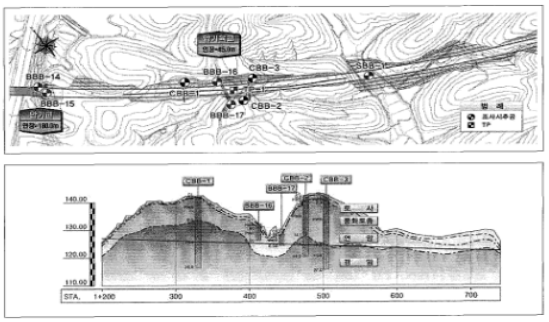
| 구 분 | | 구 간 (STA.) | 연 장 (m) | 대표 단면 (STA.) | 최대깎기고 및 쌓기고(m) | 조 사 내 용 | | | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 지층현황 | 공번 | 조사위치 (STA.) | |
| 쌓기 구간 | 제1쌓기 | 0+030~ 1+220 | 1,190 | 0+660 (상주) | 24.2m (23.61m) | 전답토<br>퇴적층<br>풍화토<br>연 암 | NSB-3 | 0+593.89 (우21.55m) | 지환공법 적용구간 (0+150~ 0+200) |
| | 제2쌓기 | 1+750~ 2+140 | 390 | 1+840 (영천) | 19.8m (14.33m) | 전답토<br>붕적층<br>풍화토<br>연 암 | SBB-1 | 1+800 | - |
| | 제3쌓기 | 2+370~ 2+490 | 120 | 2+460 (상주) | 14.7m (13.23m) | 풍화토<br>풍화암<br>연 암 | CBB-6 | 2+631.02 (좌28.56m) | - |
| | 제4쌓기 | 2+790~ 4+320 | 1,530 | 4+260 (상주) | 17.9m (17.77m) | 매립층<br>퇴적층<br>풍화토<br>풍화암<br>연 암 | BBB-30 | 3+147 | - |



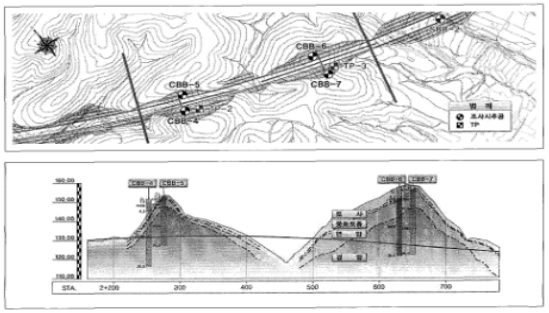
2.2 토공구간

가. 깎기구간

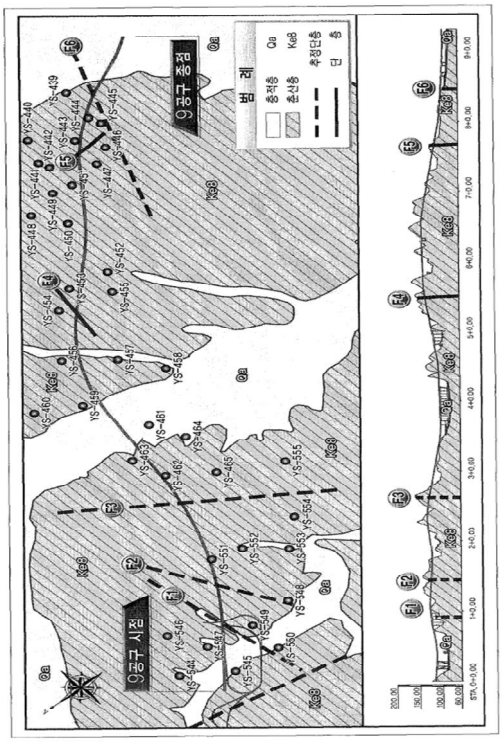
① 깎기1구간(STA.1+220~1+740)




② 깎기2구간(STA.2+140~2+780)




제 3 장 지질도



### 62.2.3 점검 및 진단 이력

본 비탈면은 2017년부터 정기안전점검 5회, 정밀안전점검 1회를 실시한 것으로 조사되었다. 점검 결과 전반적으로 양호한 상태로 특별한 보수·보강을 필요한 구간은 없는 것으로 평가되었다.

**<표 62-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력**

| 번호 | 기 간 | 구 분 | 주요 점검 결과 | 안전등급 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28 | 정기안전점검 | 3소단 배수공 구간 굴착토 유실, 소단배수로 일부구간에서 균열, 굴착토 퇴적이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다. | 양호 |
| 2 | 2018. 05. 28 ~ 2018. 06. 30 | 정기안전점검 | 2단 사면 녹생토유실 및 공동, 소단배수로 일부구간에서 균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다. | 양호 |
| 3 | 2018. 10. 23 ~ 2018. 12. 31 | 정기안전점검 | 2단 사면 녹생토 유실 및 공동, 소단배수로 일부구간에서 균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다. | 양호 |
| 4 | 2019. 03. 18 ~ 2019. 05. 28 | 정기안전점검 | 2단 사면 녹생토 유실 및 공동, 소단배수로 일부구간에서 균열이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상부의 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다. | 양호 |
| 5 | 2019. 09. 16 ~ 2019. 12. 27 | 정밀안전점검 | 본 사면에 대한 정밀안전점검 결과, 경미한 손상, 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수와 지속적인 관찰이 필요한 상태인 "B"등급의 양호한 상태로 평가되었다. 본 사면은 식생공, 낙석방지망이 시공되어 있으며, 노출암에서 확인할 수 있는 암반의 풍화등급은 약한풍화~심한풍화 정도이다. 사면 전반적으로 식생상태가 양호~보통인 것으로 조사되었다. 2단 사면 77.648k에 우수에 의한 식생공유실이 조사되었고, 즉각보수 보다는 주기적인 관찰이 요망된다. 일부 노출암 구간은 낙석방지망 및 낙석방지울타리가 설치되어 안전성에는 문제가 없으나, 공용기간이 증가할수록 우수 및 동결융해작용으로 풍화가 진행될 수 있으므로, 주기적인 주의관찰이 요망된다. 소단배수로 균열이 일부 조사되었으나, 배수기능에 큰 문제는 없는 것으로 조사되었다. 사면 보호/보강시설은 기능발휘에 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다. | B |
| 6 | 2020. 05. 12 ~ 2020. 06. 30 | 정기안전점검 | 2단 사면 식생공 유실 및 소단배수로 균열이 발생된 것으로 조사되었다. 기 발생된 손상부의 경우 사면의 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 아니나, 손상의 진전방지를 위한 보수가 필요할 것으로 판단된다. 특히, 2단 사면 식생공 유실의 경우 손상의 진전여부에 대한 주의관찰이 요망된다. | 양호 |

### 62.2.4 보수·보강이력

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

**<표 62-4> 보수·보강이력**

| 번호 | 공사기간 | 공사내역 | 공사비(원) | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| | | 특이사항 없음 | | |

### 62.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 fms상 내진설계가 적용 된 것으로 확인되었다.

**<표 62-5> 내진 설계 적용 여부**

| 검토대상 부재 | 설계적용여부 | 결과 | 검토결과 요약 | 근거 |
|---|---|---|---|---|
| 해당사항 없음 | 적용 | - | - | |

### 62.2.6 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 62-6> 관련 자료 분석 결과 요약 및 점검 방향**

| 구 분 | 자료 분석 결과 | 성능평가 방향 |
|---|---|---|
| 설계도서 | ㅇ준공도서 유지관리중<br>ㅇ위치도, 횡단면도 등 파악 가능<br>ㅇ원지반 상태 파악 가능 | ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득<br>ㅇ설계도면과 현재 제원 비교 |
| 시설물 관리대장 | ㅇ기본현황, 상세제원 확인 가능<br>ㅇ유지관리 이력 파악<br>ㅇ시설물 준공 후 최초의 성능평가 | ㅇ현장조사를 위한 기초자료로 활용<br>ㅇ준공후 특별한 보수·보강이력이 없는 상태로서 금회 성능평가시 손상 조사시 필요에 따라 보수·보강방안 수립 |
| 안전점검 및 정밀안전진단 자료 | ㅇ준공후 정기안전점검, 정밀안전점검이 시행되었으며, 전반적으로 양호한 상태임. | ㅇ사면파괴징후에 대한 면밀한 조사<br>ㅇ필요시 보수보수·보강방안 수립<br>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<br>ㅇ성능평가 결과에 따라 성능목표 유지를 위한 유지관리 전략 제안 |

# 62.3 현장조사

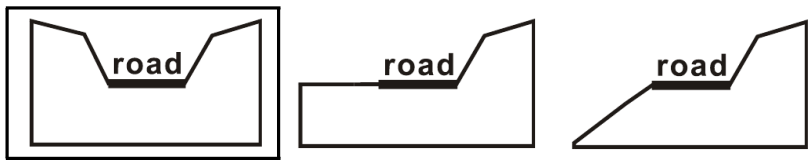
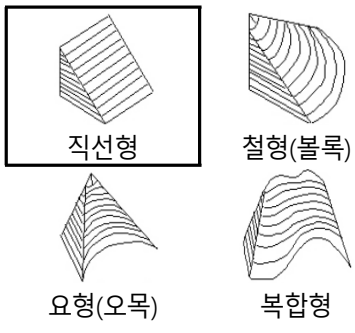
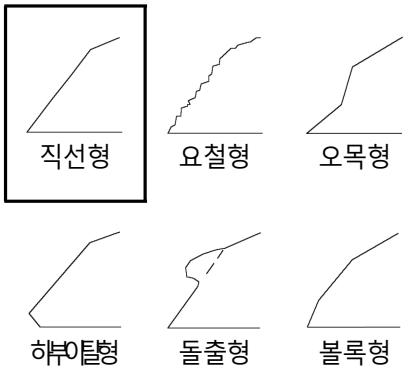
## 62.3.1 현장조사 체크리스트

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

**<표 62-7> 일반현황**

<table>
<tr><td>조사일자</td><td colspan="2">2019. 11. 25.</td><td>조 사 자</td><td colspan="2">장 진 원</td></tr>
<tr><td>일 기</td><td colspan="2">맑음</td><td>준공년도</td><td colspan="2">2017년 06월 27일</td></tr>
<tr><td>행정구역</td><td colspan="5">경상북도 영천시 화산면 가상리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="5">시점 : 36° 01′50.0″ 128° 90′63.0″</td></tr>
<tr><td colspan="5">종점 : 36° 01′43.0″ 128° 90′86.0″</td></tr>
<tr><td rowspan="4">절토사면</td><td colspan="3">길 이 : 220m</td><td colspan="2">높 이 : 36.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">경 사/경사방향 : 45/021</td></tr>
<tr><td colspan="3">구성물질 : 암반</td><td colspan="2">토층심도 : 약 1.0~3.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">소 단 : 3</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 : -<br>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 : -<br>뜬들 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td rowspan="5">절토사면<br>시공현황</td><td>종 류</td><td colspan="2">위 치</td><td colspan="2">상 태</td></tr>
<tr><td>산마루측구</td><td colspan="2">77.548~77.628k, 77.728~77.768k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>소단배수로</td><td colspan="2">77.588~77.728k</td><td colspan="2">균열</td></tr>
<tr><td>낙석방지울타리</td><td colspan="2">77.598~77.738k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>점검계단</td><td colspan="2">77.548~77.588k</td><td colspan="2">양호</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">·</td></tr>
</table>

**<표 62-8> 지형·지질 및 식생**

<table>
<tr><td rowspan="3">주변지형의 특성</td><td>주변 지형</td><td colspan="4">산악지형</td></tr>
<tr><td>종단면 형상</td><td colspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td>기타 특징</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>절토사면의 특성</td><td>종<br>횡<br>단<br>면</td><td colspan="2"> 
</td><td>종<br>단<br>면<br>특<br>성</td><td> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="6">상부 자연비탈면</td><td>경 사 도</td><td colspan="4">10~20°</td></tr>
<tr><td>인장균열</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>포행흔적</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>수목의 기울어짐</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>인공구조물</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>산마루측구</td><td colspan="4">유</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 62-9> 기초조사 자료**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 일반현황 | 거리표 | 영천절토62 | | |
| | 위경도 | 시점 : 36° 01′50.0″ 128° 90′63.0″<br>종점 : 36° 01′43.0″ 128° 90′86.0″ | | |
| | 차선 | 왕복 ( 4 ) 차선 | | |
| | 조사일자 | 2019년 11월 25일 | | |
| | 조사자 | 장진원 | 조사기관 | ㈜명성엔지니어링 |
| 절토사면 특성 | 길이 | 220m | 최대높이 | 36.0m |
| | 경사 | 45° | 상부경사 | 10~20° |
| | 이격거리 | 평균 1.0~2.0m | 소단 | 3개소 |
| | 종류 | ■암반 □혼합<br>□토사 □자연 | 주변지형 | ■산악 □준산악<br>□구릉 □평 지 |
| | 지하수 | ■C.dry □damp<br>□wet □dripping<br>□flowing | 누수위치 | □상 □중 □하<br>□좌 □중 □우 |
| | 풍화도 | □F ■S ■M<br>□H □C □R | 불연속면 방향성 | □일치 □평행<br>■후방 □불가 |
| | 사면형상 | ■직선형 □철형<br>□요형 □파형 | 측면형상 | ■직선형 □요철형<br>□탈락형 □돌출형 |
| | 계곡부 | 없음 | 붕괴이력 | □유(영향) □낙석<br>□유(미영향) ■무 |
| | 뜬돌 | □대 □중<br>□소 ■무 | 낙석 | □대 □중<br>□소 ■무 |
| | 암종 | 사암 및 셰일 | 토층심도 | 1.0~3.0m |
| | 암반형태 | □massive<br>□tabular<br>□columnar<br>□irregular<br>■blocky<br>□crushed | 불연속면 | ■절리 ■층리<br>□엽리 □균열<br>□단층 □전단대<br>□암맥 □무 |
| | 시공현황 (상태) | ■식생공(양호) ■낙석방지망(양호)<br>□옹벽 ■낙석방지울타리(양호)<br>□격자블럭 ■배수로(보통)<br>■점검로(양호) □기타 | | |
| 조사자 소견 | 위험도 | □상 □중 ■하 | 피해도 | □상 □중 ■하 |
| | 붕괴 유형 | □심층 □표층 ■무 | 위험등급 | □A ■B □C<br>□D □E |
| | 위험구간 (붕괴유형) | □상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( )<br>□상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( )<br>□상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( ) | | |
| | 필요 주공법 | - | 조치 | □응급 ■미응급 |
| | 기타 | | | |

## 62.3.2 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 상주영천고속도로 77.548~77.766㎞에 위치하고 있으며, 길이는 220m, 높이 36.0m의 절토사면으로 시설물 안전법상 2종 시설물로 분류된 시설이다.

### 나. 절토사면의 분류

토층심도 깊이측정을 위한 자료는 준공도서 표준 횡단면도를 참고하여 작성하였고, 블록크기 측정을 위한 절리간격은 사면특성 조사 시 각 구간에 위치하는 절리군의 평균 간격을 측정하였다.

**<표 62-10> 절토비탈면 분류**

(㎫=10.2kg/㎠)

| 구 분 | | 분류기준 | 평가점수 | 비탈면종류 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 세부분류 | 종합분류 |
| 1구간 | 토층심도율 | 0.4 | $\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{36.0}=0.08$로 0.4미만 | 암반사면 | **파쇄 암반사면** |
| | 압축강도 | 10㎫ | 반발경도측정결과 92.3~93.9㎫으로 10㎫이상 | 파쇄암반<br>절리암반 | |
| | 블록크기 | 0.01 | $\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.3}{36.0}=0.008$로 0.01이하 | 파쇄암반 | |

**다. 비탈면 구간 분할**

본 사면은 연장이 220m로써, 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 기준에 의해, 2개 구간으로 구분하여야 하나, 전구간 구성재료가 같고, 구분시 연장이 짧은(20m)것으로 인해 1개 구간으로 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

**<표 62-11> 비탈면 구간 분할**

| 구 분 | 측 점 | 비 고 |
|---|---|---|
| 1구간 | 77.548~77.768k | 220m |

### 62.3.3 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 -10~20°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 62-12> 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, 약한풍화~심한풍화 상태를 보이고 있는 것으로 분석되었다.

**<표 62-13> 불안정 지질 조사 결과**

| 구 분 | 손상 내용 | 단위 | 손상수량 (개소 / 수량) | 손상 원인 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 불안정 지질 | 국지적 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 대기에 노출된 원지반을 대상으로 3개 구간에서 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

**<표 62-14> 불연속면 특성 조사 결과**

| 구 분 | 1구간 | | |
|---|---|---|---|
| | Set 1 | Set 2 | Set 3 |
| 방향성 | 11/087 | 82/350 | 81/253 |
| 간격(m) | 0.06~0.2 | 0.06~0.2 | 0.06~0.2 |
| 연장성(m) | 1.0~3.0 | 1.0~3.0 | 1.0~3.0 |
| 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 | HW | HW | HW |
| 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 62-15> 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 소단 배수로 및 산마루 측구가 시공되어 있다.

소단 배수로 및 산마루 측구는 지반 변형으로 인한 부상 및 침하 등의 손상은 없는 것으로 확인되었으며, 일부구간 균열이 발생된 것으로 확인되었으나, 배수기능에는 문제가 없는 것으로 조사되었다.

**<표 62-16> 배수 조건 조사 결과**

| 구 분 | | 손상 내용 | 단위 | 손상수량 (개소 / 수량) | 손상 원인 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 배수 조건 | 소단 배수로 | 균열 | m | 4 / 8.0 | 건조수축, 온도변화 | |
| | 산마루 측구 | - | - | - | - | |

**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 62-17> 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 62-18> 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 62-19> 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 62-20> 인장균열 조사 결과**

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

### 62.3.4 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, 그 외 식생 및 녹생토 시공으로 인해 노출된 암반이 존재하지 않아 암반강도시험을 실시하지 못한 구간의 경우 초기점검 보고서 및 토질조사보고서를 참고하였다. 시험 결과 및 기존 자료 검토에 따른 암종 분류 결과 보통암인 것으로 판단된다.

**<표 62-21> 암반강도시험 결과**

| 시험위치 | 반발경도(Ro) | 추정강도(MPa) | 암 판정 결과 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 77.612k | 50.1 | 93.9 | 보통암 | |
| 77.628k | 49.7 | 92.3 | 보통암 | |
| 77.637k | 50.0 | 93.2 | 보통암 | |
| 검토의견 | ・암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 49.7~50.1로 측정되었으며, 추정강도 92.3~93.9MPa로 보통암으로 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 62-22> 표면보호공 조사 결과**

| 구 분 | | 손상 내용 | 단위 | 손상수량 (개소 / 수량) | 손상 원인 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 표면 보호공 | 식생공 | 식생공 유실 | ㎡ | 1 / 1.0 | 우수유입 및 유출 | - |
| | 낙석방지망 | - | - | - | - | - |

식생공 전경

낙석방지망 전경

### 라. 사면보강공

본 비탈면은 관련자료 분석 결과 식생, 낙석방지망 이외의 특별한 보강시설은 없는 것으로 조사되었으며, 현장조사시 확인한 결과 보강공은 시공되어 있지 않다.

**<표 62-23> 사면보강공 조사 결과**

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

## 62.4 안전성능평가

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

### 62.4.1 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 0.08로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 세부 분류는 절리암반비탈면, 파쇄암반비탈면으로 평가된다.

**<표 62-24> 절토비탈면 분류**

(MPa=10.2kg/㎠)

| 구 분 | | 분류 기준 | 평가점수 | 비탈면종류 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 세부분류 | 종합분류 |
| 1구간 | 토층심도율 | 0.4 | $\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{36.0}=0.08$으로 0.4미만 | 암반사면 | 파쇄 암반사면 |
| | 압축강도 | 10MPa | 반발경도측정결과 92.3~93.9MPa으로 10MPa이상 | 파쇄암반 절리암반 | |
| | 블록크기 | 0.01 | $\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.3}{36.0}=0.008$로 0.01이하 | 파쇄암반 | |

본 사면은 연장 220m의 사면으로서, 외관조사시 실시한 구간분할과 동일하게 1구간으로 분할하여 손상상태 및 파괴요인에 대한 평가를 실시하였다. 사면분류를 위해 특성조사를 실시한 위치는 외관조사결과현황도(Face Map)에 Set1~3으로 표기하였다.

**<표 62-25> 비탈면 구간 분할**

| 구분 | 측점 | 연장 | 사면상태 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 1구간 | 77.548~77.768k | 220m | 암반사면 | Set1, Set2, Set3 |

**<표 62-26> 사면 형식별 상태안전성능지표**

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

### 나. 1구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

**<표 62-27> 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 62-28> 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 62-29> 불연속면 특성 평가 결과(1구간)**

| 평가항목 및 등급 | | 평가 기준 | 평가 내용 | 평가 결과 |
|---|---|---|---|---|
| 불연속면 상태 | a | 매우 양호 | 불연속면 상태 점수<br>=Σ(①~⑥) / 6 =<br>(5+5+10+5+16+16) / 6 = 9.5 | c |
| | b | 양호 | | |
| | c | 보통 | | |
| | d | 불량 | | |
| | e | 매우 불량 | | |

**<표 62-30> 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 | HW | d |
| ⑥절리간격 | 2.0m이상 | 0.6m이상 2.0m미만 | 0.2m이상 0.6m미만 | 0.06m이상 0.2m미만 | 0.06m미만 | 0.06~0.2 | d |

**<표 62-31> 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 62-32> 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 62-33> 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 | 일부 균열 | 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 62-34> 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 62-35> 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 62-36> 예상 낙석에너지 평가기준(1구간)**

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

**<표 62-37> 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 10~20° | 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 62-38> 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 62-39> 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 62-40> 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 62-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)**

| 시설물명 | | 영천절토62 | | |
|---|---|---|---|---|
| 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 | | 9.5 | 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** | | |

**마. 상태안전성능 평가 결과**

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

**<표 62-42> 상태안전성능 평가 결과 범위**

| 사면 총길이 | 구간분할 | 분할구간 길이 | 평가등급 | 최종 평가결과 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 220m | 1구간 | 77.548~77.768k | a(0.14) | A | 인장균열 없음 |
| | ○구간별 평가 후 최소등급 선정<br>○인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정 | | | | |

## 62.4.2 구조안전성능 평가

### 가. 개 요

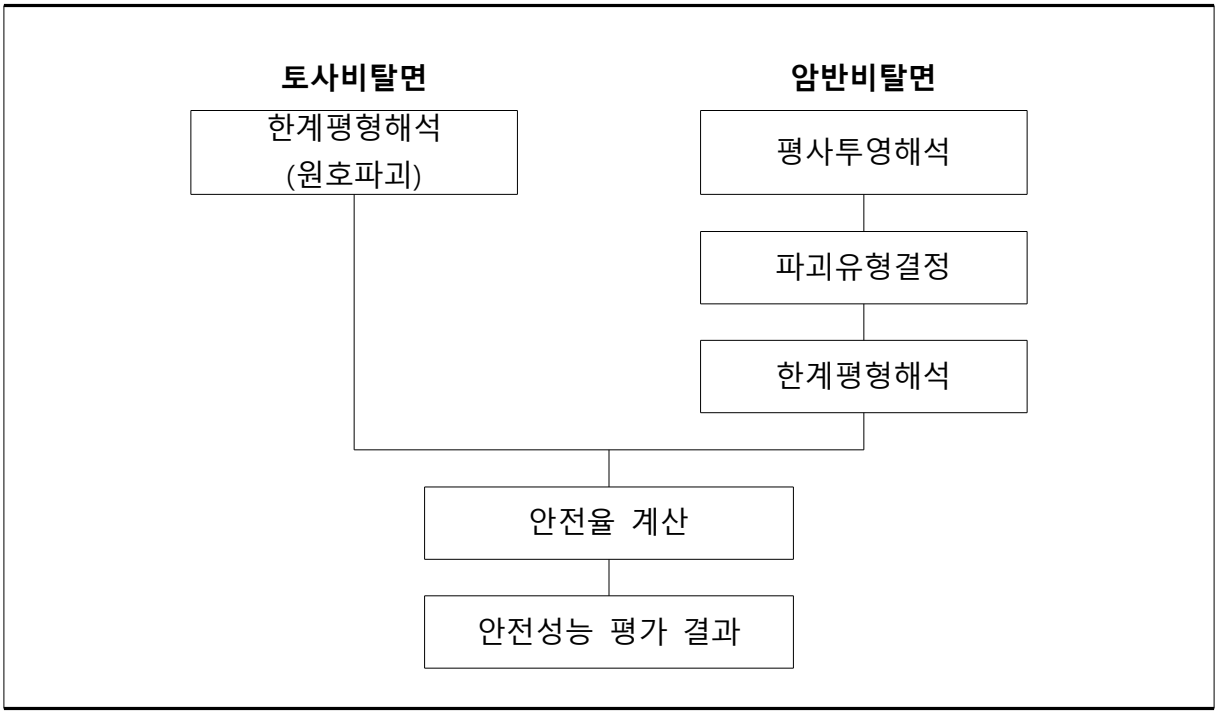
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 62-5> 구조안전성능 평가과정**

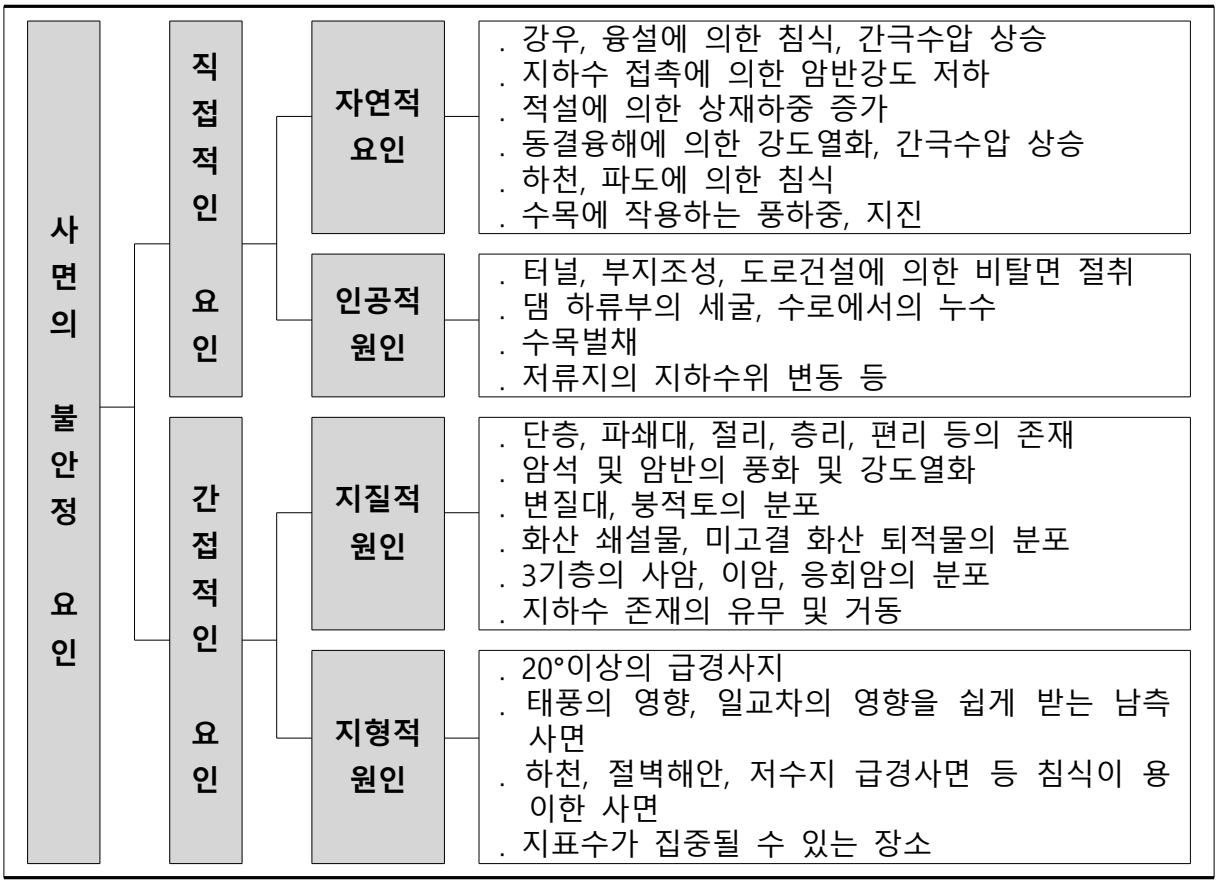
**<표 62-43> 유형별 안정해석 범위**

| 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<br>. 3m이상의 토층이 관찰되거나 풍화가 심하게 진행되어 원호활동이 예상되는 구간에 대해 평사투영해석결과와 별도로 원호파괴 해석을 실시 |
| 혼합비탈면 | ○ | ○ | ○ | . 평사투영해석결과 불안정시 파괴 유형에 따른 한계평형해석 수행<br>. 평사투영해석결과와 별도로 토사구간에 대해 원호파괴해석 실시 |

ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득

ㅇ설계도면과 현재 제원 비교

2) 비탈면의 불안정 요인

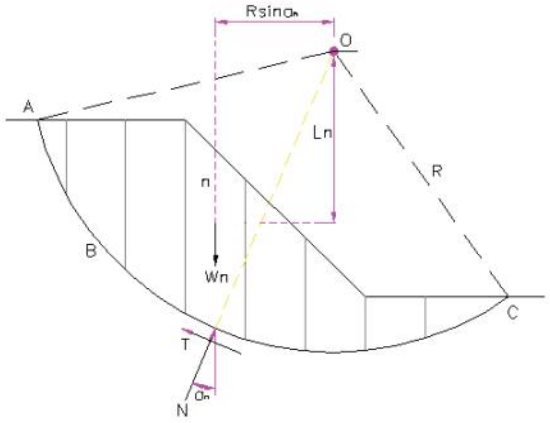



**<그림 62-6> 구조안전성능 평가과정**

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

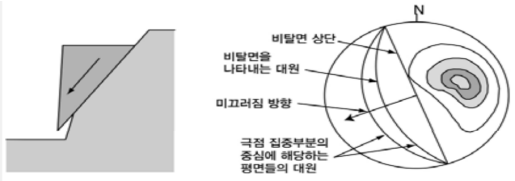
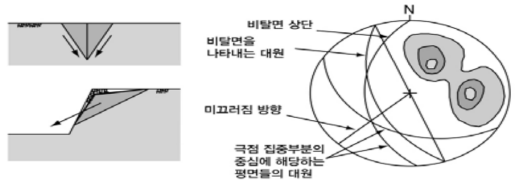
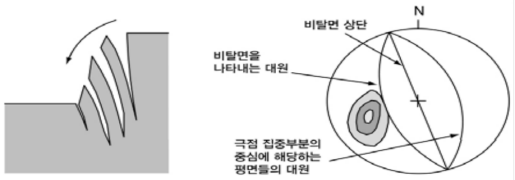
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

**<그림 62-7> 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 62-44> 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 62-45> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율**

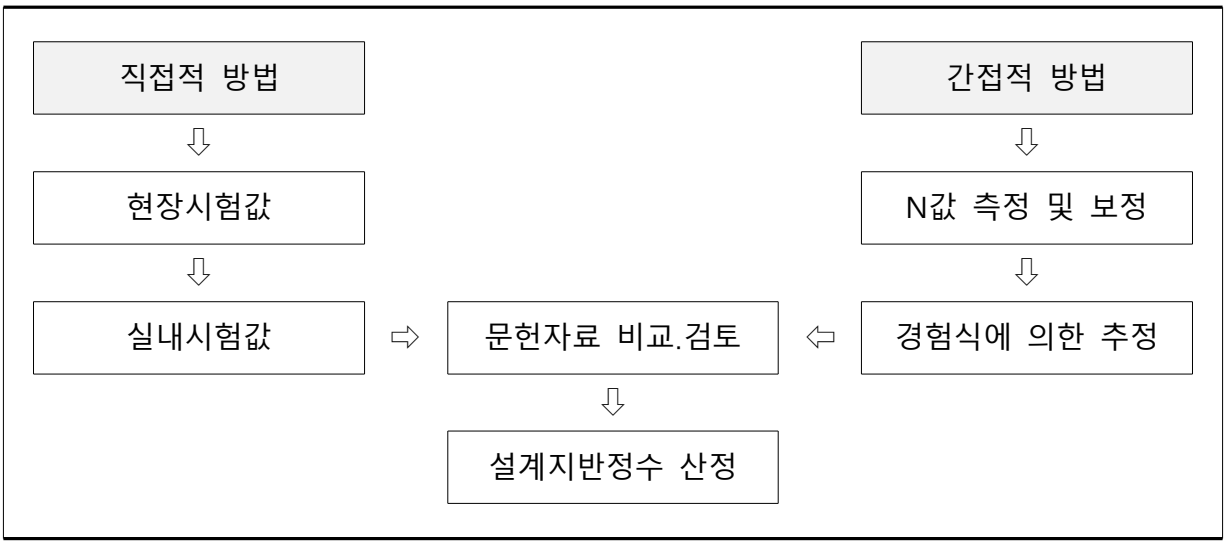
| 구 분 | 기준안전율 | 참조 |
|---|---|---|
| 건기 | FS>1.5 | . 지하수가 없는 것으로 해석 |
| 우기 | FS>1.2<br>또는<br>FS>1.3 | . 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용<br>. 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용)<br>. 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<br>. 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 62-46> 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 62-47> 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 62-48> Geotechnical Engineering Investigation(Roy E. Hunt, 1987)**

| 흙의 종류 | 다짐도 | Dr,% | N | $\gamma_{dry}$ (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 62-49> 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 62-50> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식**

| 구 분 | 지 층 | 단위중량(kN/㎥) | 내부마찰각ø(°) | 점착력c(kPa) | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 상주~영천간 고속도로 건설공사 (9공구) | 풍화(잔적)토 | 18 | 28 | 14 | |
| | 풍화암 | 20 | 30 | 30 | |
| | 경 암 | 26 | 30 | 900 | |

4) 기반암의 지반정수 산정

**① 단위중량 및 강도정수**

◦ 문헌자료 검토

**<표 62-51> 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 62-52> 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 | 27.3~25.6 |
| 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 62-53> 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 (%) | | (°) | 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 62-54> Bieniawski(1989)**

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

**<표 62-55> Trueman (1988)**

| 구 분 | 강도정수 산정식 |
|---|---|
| 점착력($C_m$) | 0.25exp(0.05RMR) (Mpa) |
| 마찰각($\varnothing$) | 0.5RMR + 5 (degree) |

**<표 62-56> 김교원 (1993)**

| 구 분 | 강도정수 산정식 |
|---|---|
| 점착력($C_m$) | 0.02exp(0.08RMR*) (Mpa) |
| 마찰각($\varnothing$) | 0.25(RMR*) + 27.5 (degree) |

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 적용 지반정수 요약

| 지층 | 단위중량 kN/㎥ | 내부마찰각 ° | 점착력 kPa | 프와송비 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 풍화토 | 18 | 28 | 14 | 0.3 | |
| 풍화암 | 20 | 30 | 30 | 0.3 | |
| 경 암 | 26 | 30 | 900 | 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 62-57> 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

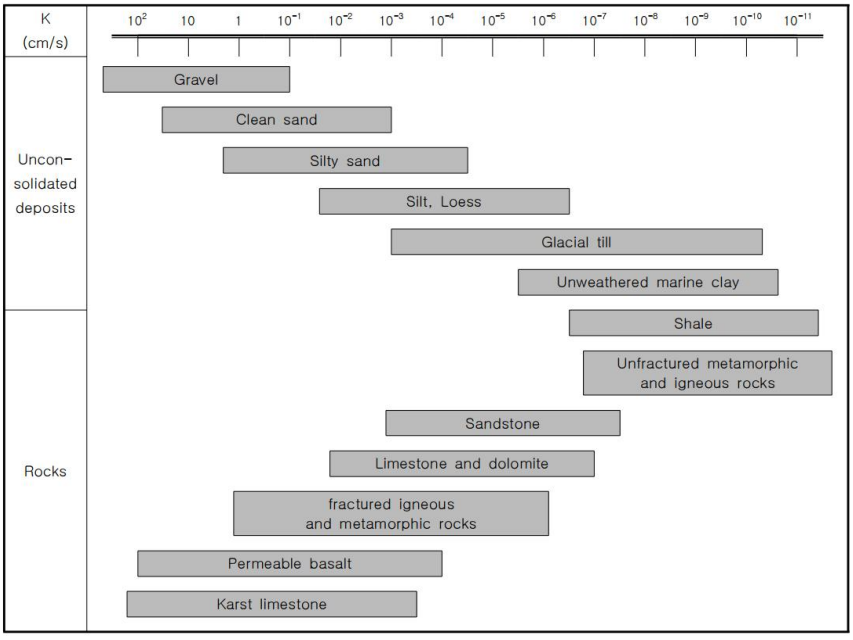
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

**<표 62-58> 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 62-59> 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 62-8> 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 62-60> 도로배수시설 설계빈도**

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

② 비탈면배수시설 설계기준 KDS 11 70 25 : 2016

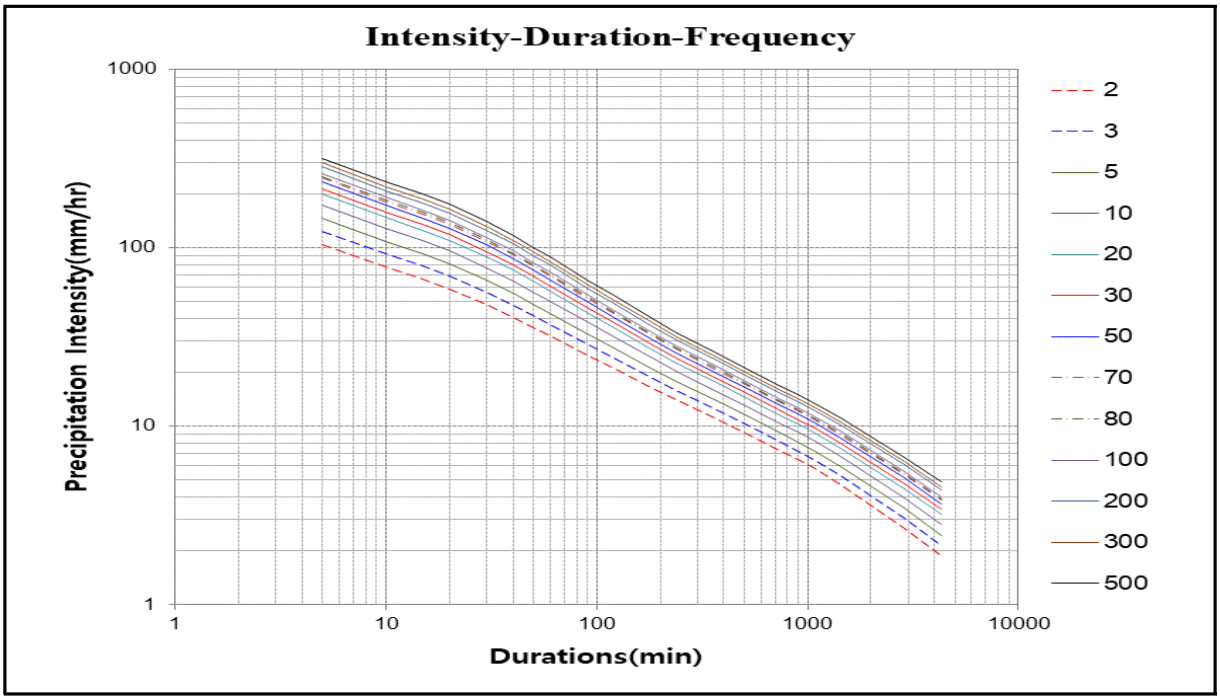
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 영천지역




<그림 62-9> 영천지역 IDF곡선

영천(281) 지점의 확률강우강도(단위:mm/hr)

| 재현기간 (년) | 지속기간(분) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 90 | 120 |
| 2 | 104.6 | 78.5 | 66.8 | 58.8 | 47.9 | 40.8 | 35.8 | 32.1 | 25.0 | 21.0 |
| 3 | 123.9 | 93.0 | 79.1 | 69.4 | 56.3 | 47.7 | 41.7 | 37.2 | 28.8 | 24.0 |
| 5 | 145.6 | 108.8 | 92.6 | 81.2 | 65.7 | 55.5 | 48.3 | 43.0 | 33.0 | 27.4 |
| 10 | 173.4 | 128.6 | 109.4 | 96.0 | 77.4 | 65.2 | 56.6 | 50.2 | 38.3 | 31.6 |
| 20 | 199.8 | 147.5 | 125.6 | 110.1 | 88.7 | 74.6 | 64.6 | 57.2 | 43.3 | 35.6 |
| 30 | 214.3 | 158.6 | 135.0 | 118.4 | 95.2 | 79.9 | 69.2 | 61.2 | 46.2 | 37.9 |
| 50 | 233.5 | 172.2 | 146.6 | 128.5 | 103.3 | 86.6 | 74.9 | 66.1 | 49.9 | 40.8 |
| 70 | 245.6 | 181.1 | 154.3 | 135.2 | 108.7 | 91.1 | 78.6 | 69.4 | 52.2 | 42.7 |
| 80 | 250.4 | 185.0 | 157.4 | 137.9 | 110.8 | 92.8 | 80.1 | 70.7 | 53.2 | 43.5 |
| 100 | 258.8 | 191.0 | 162.6 | 142.4 | 114.4 | 95.7 | 82.6 | 72.9 | 54.8 | 44.7 |
| 200 | 283.0 | 209.1 | 178.1 | 156.1 | 125.2 | 104.7 | 90.2 | 79.5 | 59.6 | 48.6 |
| 300 | 298.6 | 219.9 | 187.3 | 164.1 | 131.6 | 110.0 | 94.8 | 83.5 | 62.5 | 50.9 |
| 500 | 316.7 | 233.6 | 198.9 | 174.2 | 139.7 | 116.7 | 100.4 | 88.4 | 66.1 | 53.7 |

확률강우강도(㎜/hr)

<그림 62-10> 영천지역 확률강우강도(한국 확률강우량정보 제공)

**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<br>• 지방도, 시도, 군도 중 방재계획상 필요한 도로에 건설된 교량<br>• 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<br>• 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<br>• 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 62-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)**

**<표 62-61> 설계지반운동 수준**

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

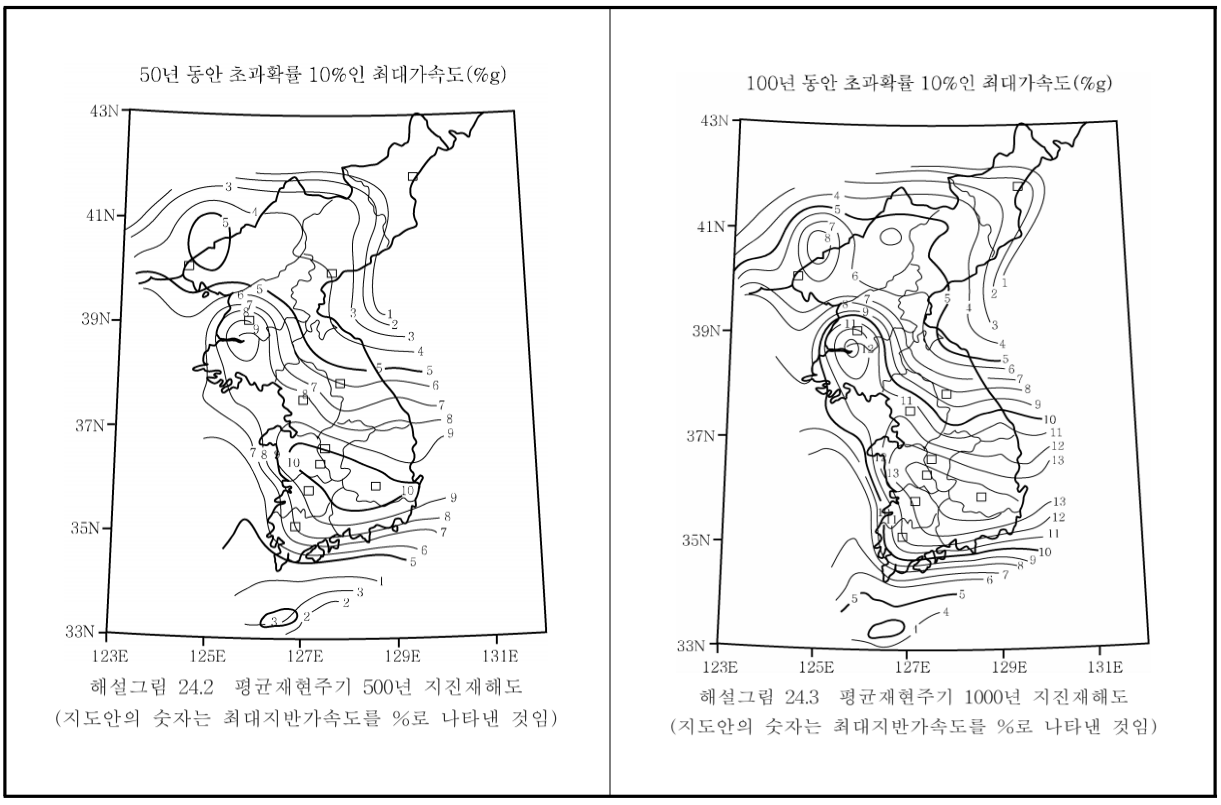
2) 설계지반운동

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 62-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도**

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

**<표 62-62> 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 62-63> 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

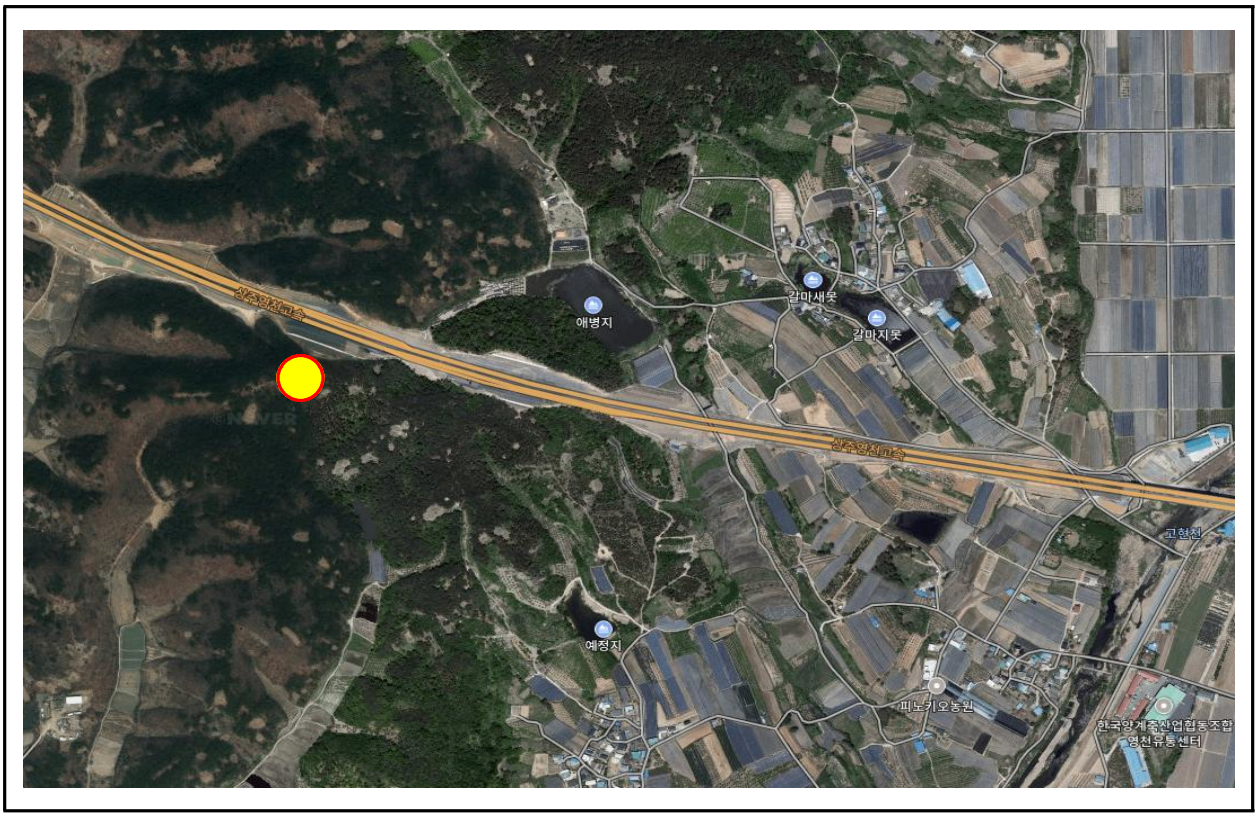
3) 지진가속도계수 선정

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 62-64> 검토대상 비탈면구간 및 현황**

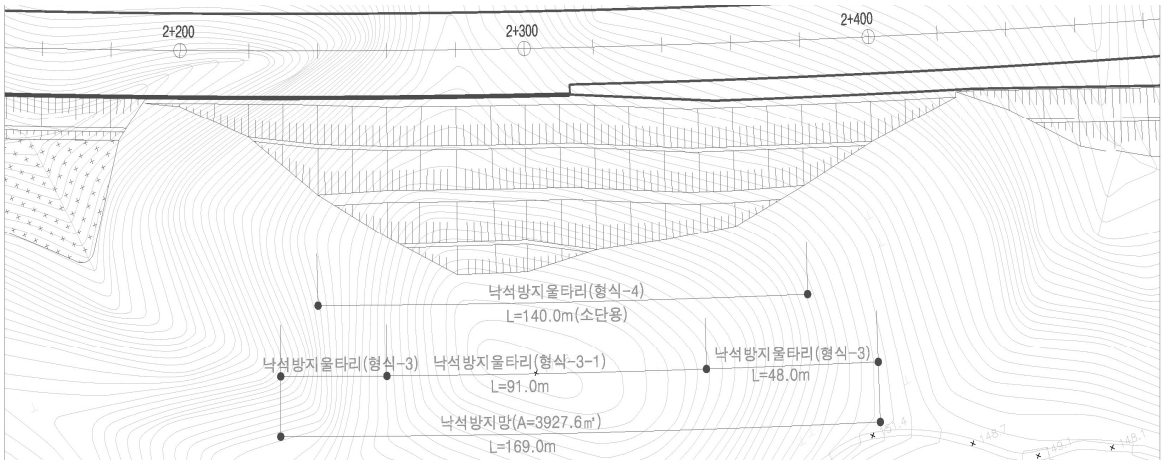
| 구조물명 | 위치 | 이정 (km) | 대표구간 | 비탈면 현황 | | | | 준공년도 | 경사/경사방향 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 높이 (m) | 토사/풍화암 | 암반 | 보강형식 | | |
| 영천절토62 | 경상북도 영천시 화산면 대기리 | 77.548 ~ 77.766 | STA.77+628 | 36.0 | 3.0 | 33.0 | - | 2017 | 45/021 |




**<그림 62-13> 영천절토62 검토대상 비탈면구간**

### 사. 영천절토62 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



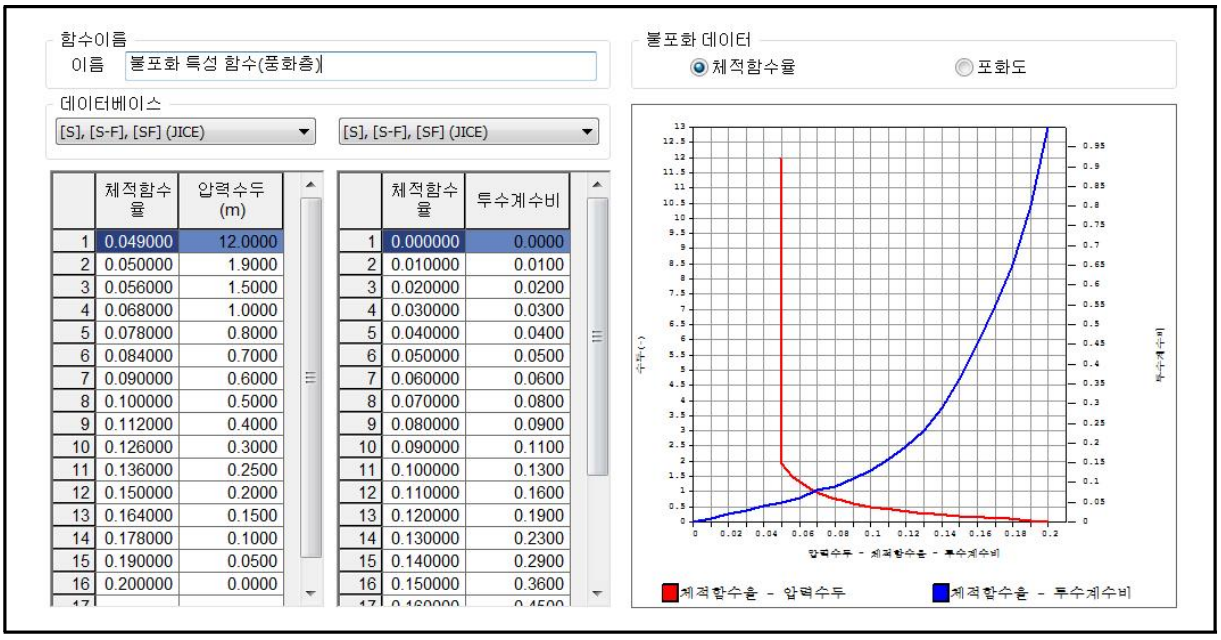

**<그림 62-14> 영천절토62 검토대상 비탈면구간**

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 kPa | 투수계수 ㎝/sec | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 풍화토 | 18 | 28 | 14 | 5.0E-05 | |
| 풍화암 | 20 | 30 | 30 | 1.0E-05 | |
| 경암 | 26 | 30 | 900 | 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 |

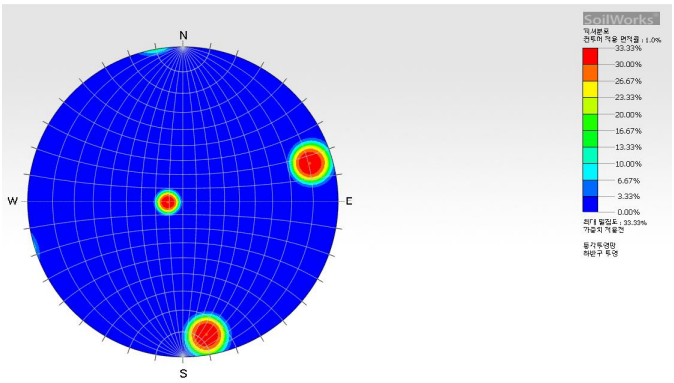
| | 체적함수율 | 투수계수비 |
|---|---|---|
| 1 | 0.000000 | 0.0000 |
| 2 | 0.010000 | 0.0100 |
| 3 | 0.020000 | 0.0200 |
| 4 | 0.030000 | 0.0300 |
| 5 | 0.040000 | 0.0400 |
| 6 | 0.050000 | 0.0500 |
| 7 | 0.060000 | 0.0600 |
| 8 | 0.070000 | 0.0800 |
| 9 | 0.080000 | 0.0900 |
| 10 | 0.090000 | 0.1100 |
| 11 | 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 62-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수**

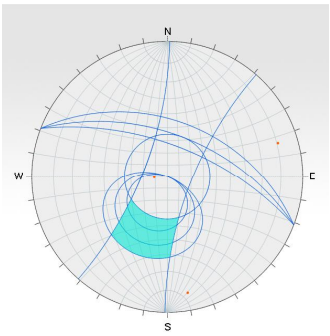
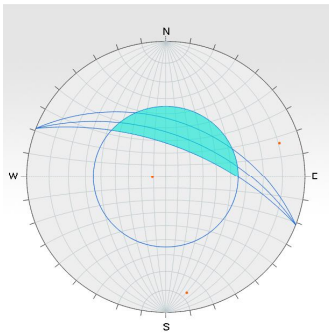
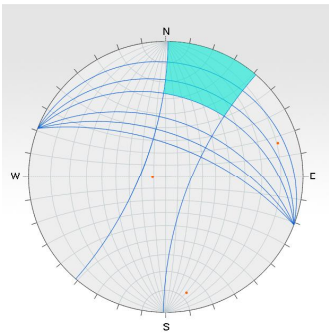
3) 1구간 (STA.77+548 ~ 77+768)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

| 구 분 | 점 검 결 과 | | |
|---|---|---|---|
| 평사 투영도 |  | dip | dip direction |
| | | 11 | 87 |
| | | 82 | 350 |
| | | 81 | 253 |

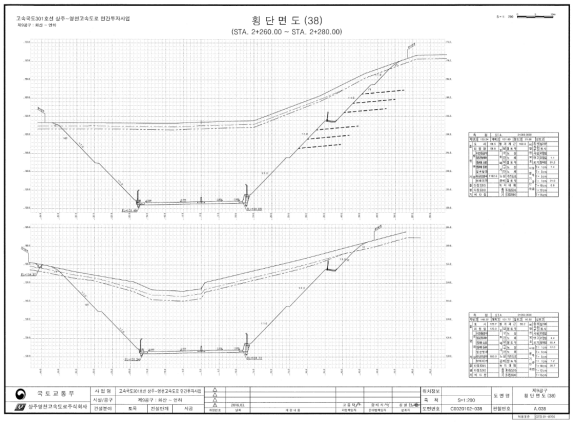
◦ 해석결과

| 평면파괴 | 쐐기파괴 | 전도파괴 |
|---|---|---|
|  |  |  |

| 구 분 | 평면파괴 | 쐐기파괴 | 전도파괴 |
|---|---|---|---|
| 해석결과 | 안정 | 안정 | 안정 |
| 평 가 | ◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음<br>◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음<br>◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 | | |

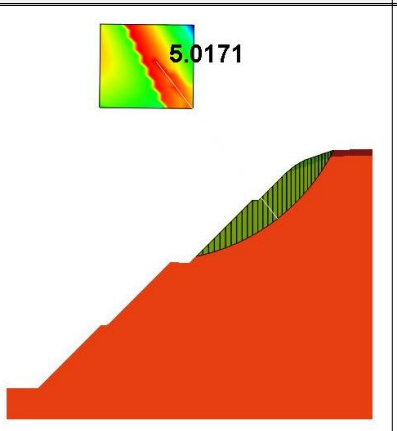
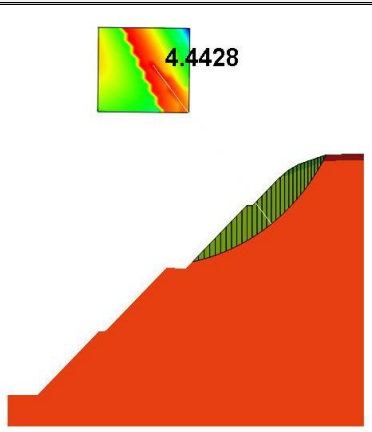
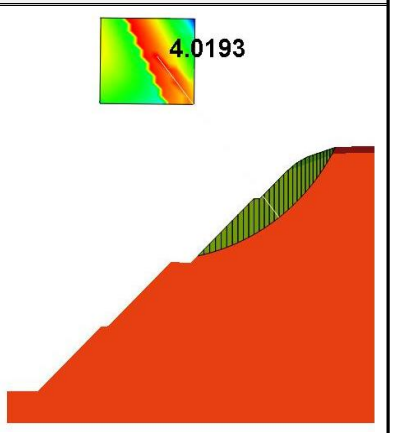
② 토사깍기비탈면 안정성검토

◦ 검토단면



대표단면 : STA.77+628, 영천

◦ 해석결과

| 건기시 | 우기시 | 지진시 |
|---|---|---|
|   |   |   |
| 안전율 : 5.01 | 안전율 : 4.44 | 안전율 : 4.01 |

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 | |
| | 우기시 | Fs ≥ 1.2 ⇨ 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 평면파괴, 전도파괴, 쐐기파괴에 대한 가능성이 없는 것으로 분석되었으며, 한계평형해석을 시행한 결과 건기 및 우기시 허용안전율을 상회하는 것으로 검토되었다. 금회 현장조사를 통한 평사투영해석 결과 각각의 파괴유형에 대해 안전한 것으로 분석되어 구조안전성능평가는 A등급으로 평가되었다.

**<표 62-65> 구조안전성능평가 결과**

| 구조안전성능 평가 결과 산정표 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **시설물명** | | **영천절토62** | | |
| **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 | 5.01 | a | Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K |
| | 우기시 | 4.44 | a | Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K |
| | 지진시 | 4.01 | a | Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K |
| **구조안전성능평가 결과** | | **A** | | |

### 62.4.3 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 62-66> 안전성능 평가 결과**

| 안전성능 평가 결과 산정표 | | | |
|---|---|---|---|
| **시설물명** | **영천절토62** | | |
| **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.<br>ㅇ**안전성능평가 결과 : A등급** | | |

**<표 62-67> 안전성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의**

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

# 62.5 내구성능 평가

## 62.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

**<표 62-68> 평가 대상 사면 개요**

| 구 분 | | 시 설 현 황 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 사면 형식 | | 파쇄암반사면 | SR = 6/38 = 0.16 |
| 공용기간 | | 3년 | 2017년 준공 |
| 암반구간 설계(초기)강도 | | 보통 : 100.0MPa | 추정 |
| 면적 | 전체 | 8,583㎡ | |
| | 토사구간 | - | |
| | 암반구간 | 8,583㎡ | |
| 표면보호공 | 식생공 | 2,834㎡ | |
| | 낙석방지망 | 5,570㎡ | |
| 사면보강공 | - | - | |

## 62.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

**<표 62-69> 사면 형식별 내구 성능 지표**

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

### 62.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

**<표 62-70> 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 | 97.0%이상 100%이하 | 90.0%이상 100%이하 |
| | b | 96.0%이상 97.5%미만 | 90.0%이상 96.0%미만 | 88.0%이상 97.0%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 62-71> 암반 강도시험 결과**

| 위 치 | 추정강도 평균값(MPa) | 초기값 대비강도(%) | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 77.612k | 93.9 | - | 초기값 미측정으로 대비강도 측정 불가<br>초기값 대비강도(%)<br>= 추정강도 / 초기 강도값 |
| 77.628k | 92.3 | - | |
| 77.637k | 93.2 | - | |
| 평균값 | 93.1 | - | |
| **등급** | **A등급** | | |

**<표 62-72> 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 62-73> 표면보호공 피복 면적**

| 표면보호공 종류 | 식생공 | | 콘크리트 뿜어붙이기 | | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 피복면적 | 피복율(%) | 손상면적 | 손상율(%) | |
| 식생 | 2,833/2,834㎡ | 99.9% | - | - | |
| 평가 | 식생 피복율이 99.9% 이므로 "a등급"으로 평가함. | | | | |

**<표 62-74> 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 62-75> 암반의 풍화도 평가 결과**

| 평가항목 | 불연속면(Set A) | | |
|---|---|---|---|
| | Set 1 | Set 2 | Set 3 |
| 길이(m) | 1~3m 미만 | 1~3m 미만 | 1~3m 미만 |
| | b(5) | b(5) | b(5) |
| 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 | HW | HW | HW |
| | d(16) | d(16) | d(16) |
| 합 계 | 41 | 41 | 41 |
| 평 균 | 8.2 | 8.2 | 8.2 |
| **평가 결과** | c | c | c |

**<표 62-76> 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 | c | 0.43 | 최소 및 최대 제외 |
| **등 급** | | **c** | |

### 62.5.4 내구성능 평가 결과

1) 혼합사면 내구성능 가중치

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

**<표 62-77> 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 | 25 | 28 | - | - | - |

2) 암반구간 내구성능 등급

**<표 62-78> 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 | | | | 0.265 |
| **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 62-79> 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의**

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

# 62.6 종합평가

## 62.6.1 종합평가 개요

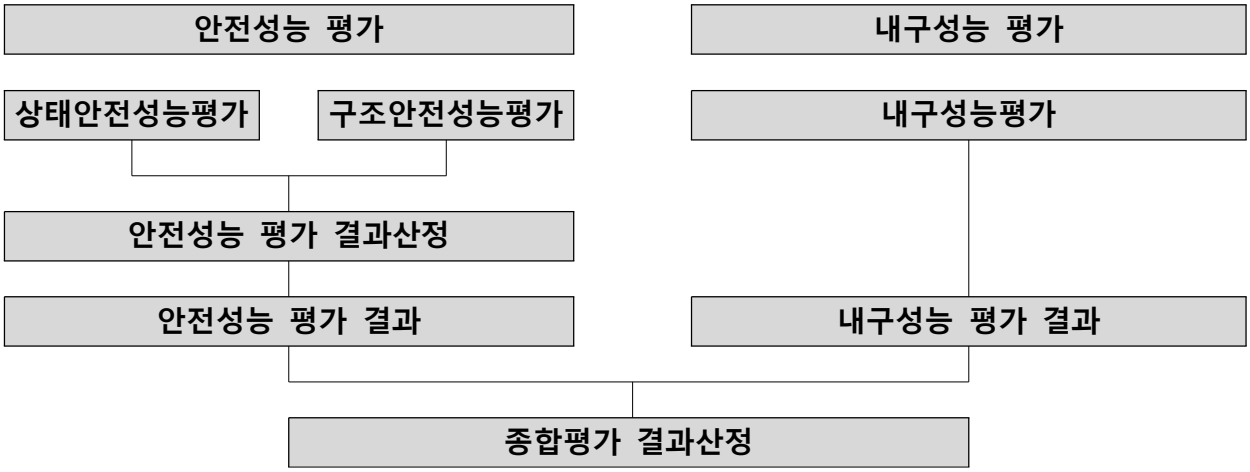
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 62-16> 종합평가 흐름도**

## 62.6.2 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 62-80> 성능간 가중치 산정 값**

| 구분 | 분류 | 성능항목 | |
|---|---|---|---|
| | | 안전성능 | 내구성능 |
| 성능간 가중치 (Wn) | 일반도로 사면<br>고속도로 사면<br>일반철도 사면<br>고속철도 사면 | 0.8 | 0.2 |

**<표 62-81> 종합평가 결과**

| 시설물의 종합평가 결과 산정표 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **시설물명** | 영천절토62 | | **분류** | 상주영천고속도로 |
| **평가 구분** | **성능평가 지수** | **평가 결과** | **성능간가중치(Wn)** | **비 고** |
| 안전성능평가 | Ps=0.140 | A | 0.8 | 인장균열 없음 |
| 내구성능평가 | Pd=0.265 | B | 0.2 | |
| 종합평가 결과 | ㅇ사면의 종합평가 지수(P)<br>= ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn))<br>= (0.140 × 0.8) + (0.265 × 0.2) = 0.165<br>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 62-82> 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 |

## 62.7 유지관리 전략 제안

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

### 62.7.1 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 5년 주기의 "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 62-83> 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**<br>일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준 | | | | |

### 62.7.2 성능평가 결과 검토·분석

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

**<표 62-84> 종합평가 결과 요약**

| 평가구분 | 안전성능 | 내구성능 | 종합성능 |
|---|---|---|---|
| 평가지수 | 0.140 | 0.265 | 0.165 |
| 평가결과 | A | B | B |

### 62.7.3 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, 성능목표와 동일한 "B등급"으로 금회 조사된 손상들에 대해서는 현상유지 수준의 주의관찰이 적정할 것으로 판단된다.

**<표 62-85> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안**

| 구 분 | | 손상 내용 | 보수·보강방안 | 보수.보강 수준 |
|---|---|---|---|---|
| 표면 보호공 | 표층 | 식생공 유실 | 주의관찰 | 현상유지 |
| 배수 조건 | 소단배수로 | 균열 | 균열보수 | 일부보수 |
| | 산마루측구 | 상태양호 | 주의관찰 | 현상유지 |
| 상부 자연비탈면 | | 상태양호 | 주의관찰 | 현상유지 |

#### 나. 유지관리 전략 제안

본 비탈면은 현재 목표성능과 동일한 "B등급"의 상태를 유지하고 있으며, 주기적인 점검을 통한 손상의 발생여후 확인 등의 유지관리 전략을 제안한다.

## 62.8 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 소단배수로 균열이 조사되었으나, 현재 손상 상태는 경미한 결함으로 시설물의 안전성에 미치는 영향은 매우 미소한 상태이다. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 결과, 외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 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 구간에서 식생공 유실이 발생된 것으로 조사되었으나, 사면의 안정성에 영향을 미칠만한 수준은 아닌 것으로 확인되었다. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 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 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.

# 제63장 영천절토63

63.1 대상 시설물 현황

63.2 관련 자료의 분석

63.3 현장조사

63.4 안전성능평가

63.5 내구성능평가

63.6 종합평가

63.7 유지관리전략 제안

63.8 종합결론

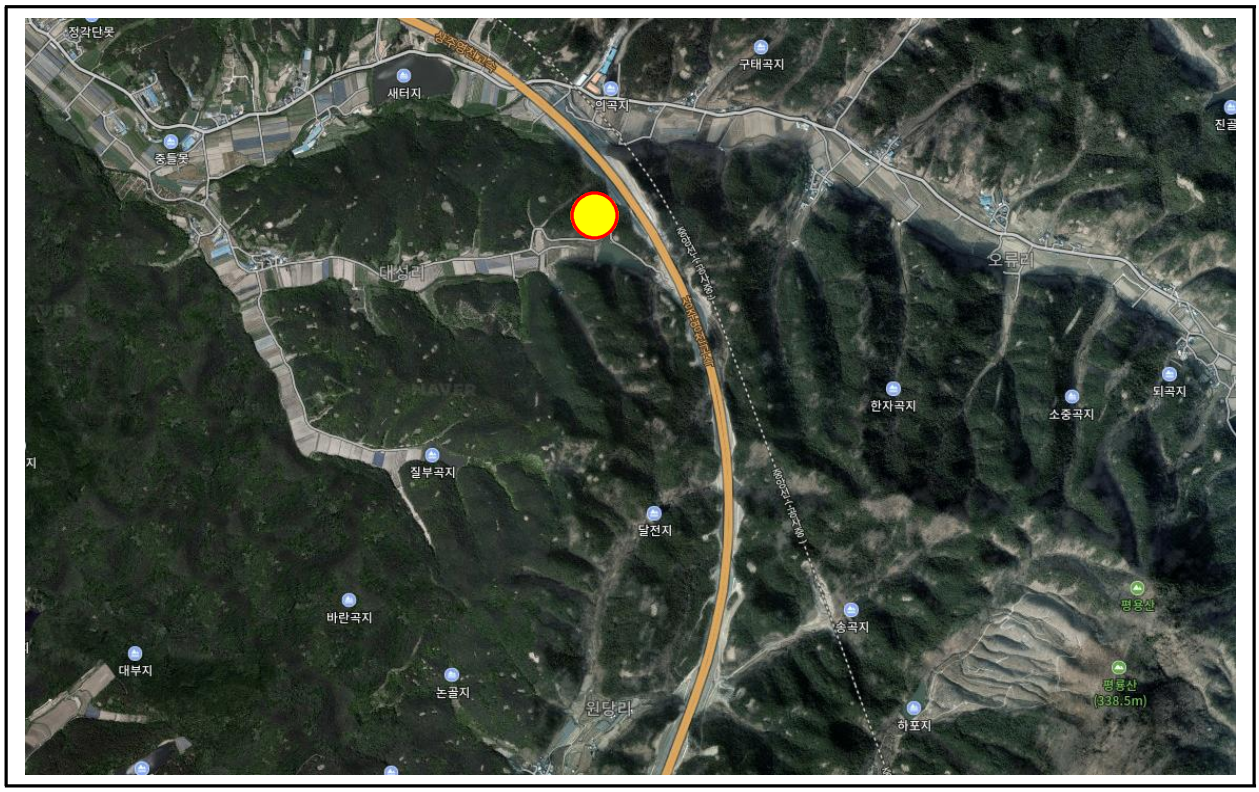
# 제63장 영천절토63

## 63.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 영천시 고경면 대성리(상주영천고속도로 89.518~89.958㎞)에 위치한 사면으로서 총 연장 440.0m, 높이 33.6m의 절토사면으로 시공되어 있다.

**<표 63-1>사면 일반사항**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 시설물번호 | SL2017-0000025 | | 관리번호 | SY SL63 |
| 시설물명 | 영천절토63 | | 시설물구분 | 절토사면 |
| 위 치 | 행정구역 | 경상북도 영천시 고경면 대성리 | | |
| | 위치좌표 | 시점 : 35° 18′16.0″ 127° 48′33.0″ | | |
| | | 종점 : 35° 18′24.0″ 127° 48′20.0″ | | |
| | 관리이정 | 89.518~89.958㎞ | | |
| | 공구이정 | 10공구 STA.4+860~5+300 | | |
| 제 원 | 연 장 | 440m | 높 이 | 33.6m |
| | 경사/방향 | 45/088~098 | 노 선 | 고속국도 301호선 |
| 관리주체 | 상주영천고속도로(주) | | 관리주체구분 | 민간 |
| 주변환경 | 인공구조물 | - | | |
| | 주변지형 | 산악지형 | 상부사면경사 | 0° |
| 시공현황 | 준공년도 | 2017 | 시 공 자 | 대림산업㈜ |
| | 부대시설 | 점검로, 배수로, 산마루측구, 낙석방지울타리 | | |
| 비 고 | | | | |

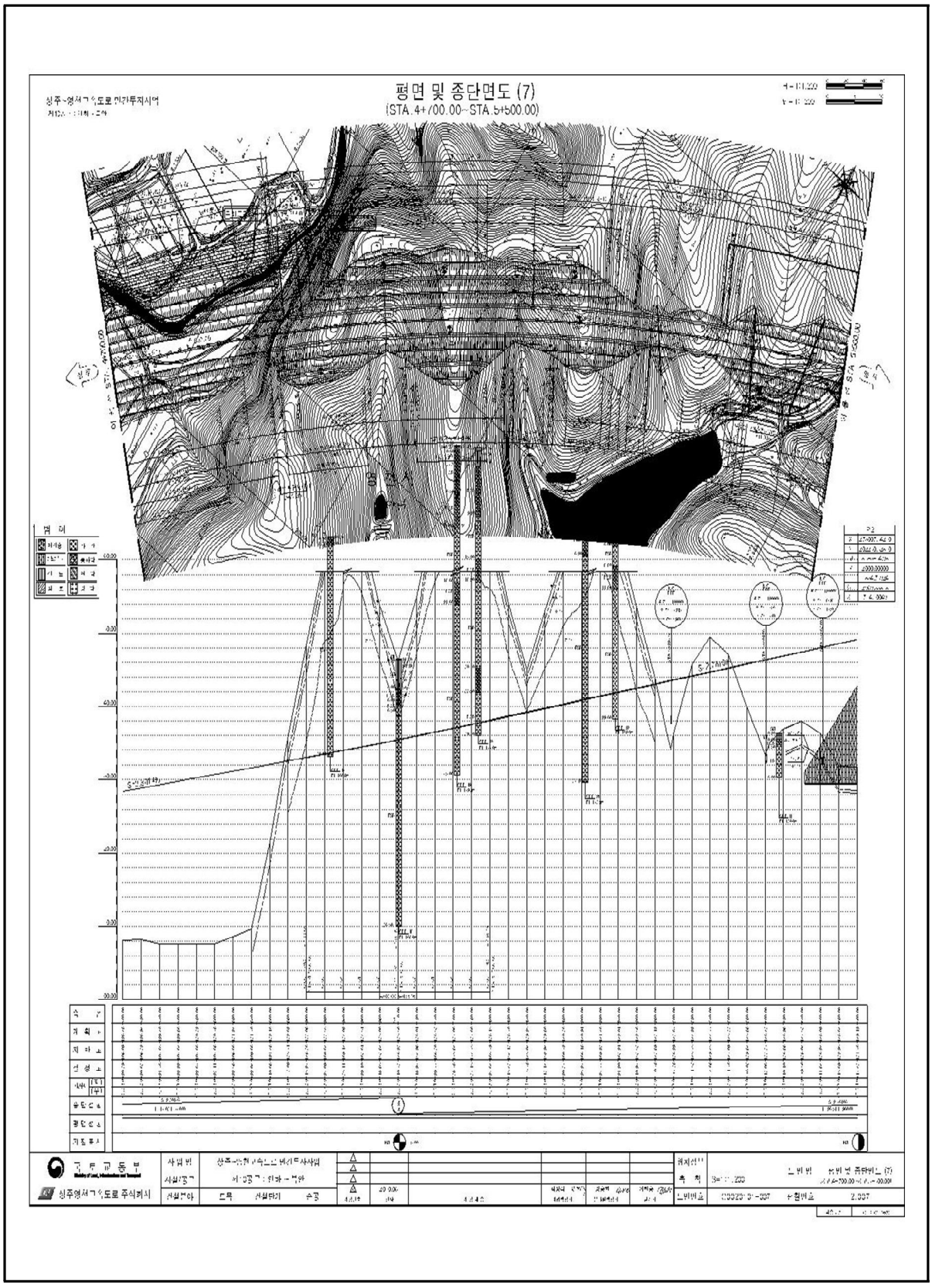



<그림 63-1>위치도

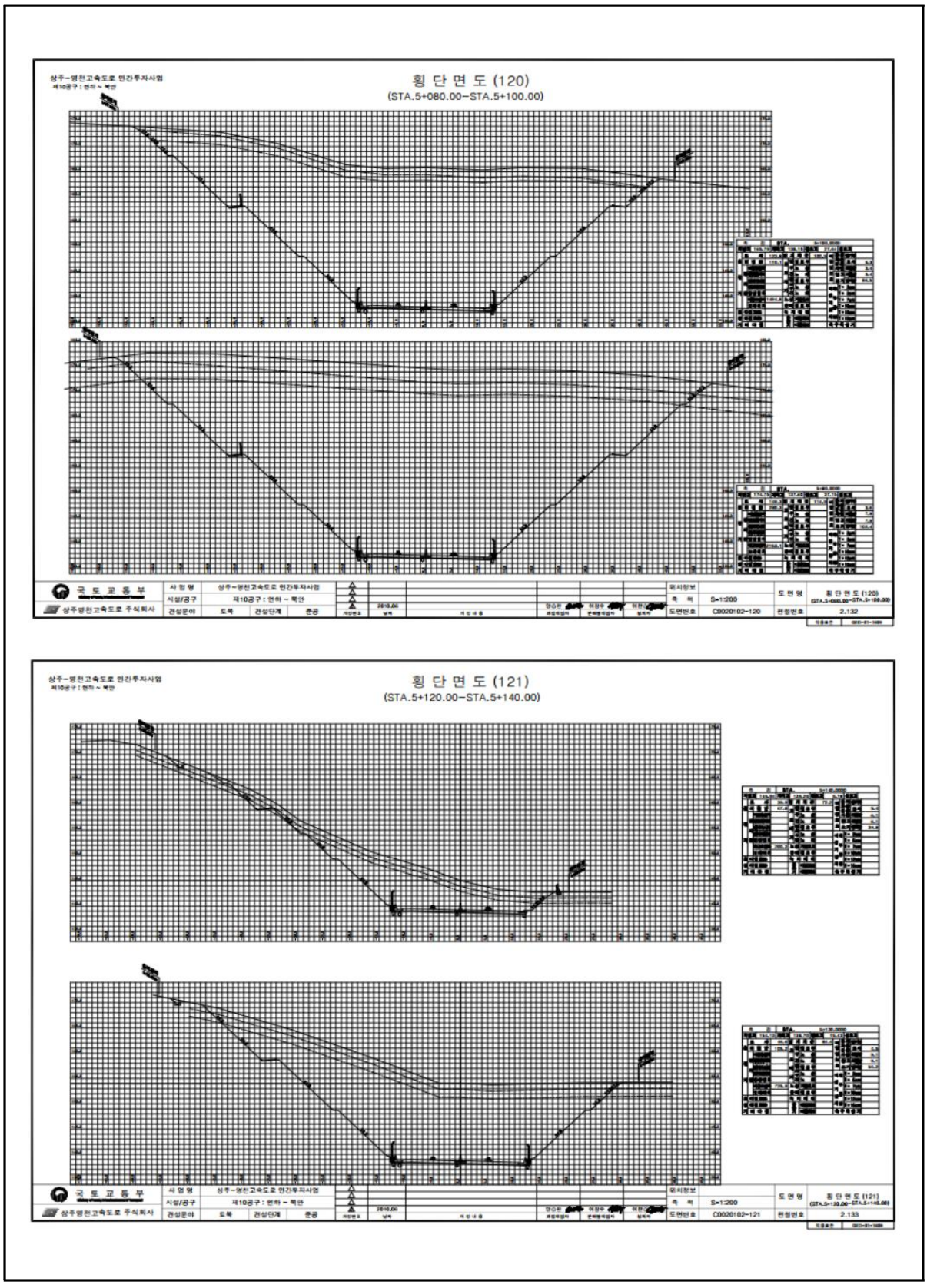
| 2019년 정밀안전점검 |
| --- |
| |

<그림 63-2> 전경사진

| | |
|---|---|
| | |
| 산마루측구 전경 | 1소단 배수로 전경 |
| | |
| 점검계단 전경 | 하부 전경 |




**<그림 63-3> 평면도**




<그림 63-4>표준횡단면도

# 63.2 관련 자료의 분석

## 63.2.1 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 63-2> 유지관리 관련자료 현황**

| 보존대상 목록 | | 보유현황 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 설계도서 | ㅇ공통<br>- 준공내역서<br>- 공사 및 특별시방서<br>- 각종계산서<br>- 토질 및 지반조사 보고서<br>- 기타 특이사항 보고서 | <br>보유<br>보유<br>보유<br>보유<br>- | ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 10공구 |
| | ㅇ설계도면<br>- 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등 | 보유 | ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 10공구 |
| 시 설 물 관리대장 | ㅇ기본현황<br>ㅇ상세제원<br>ㅇ유지관리 이력 | 보유<br>보유<br>보유 | ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS) |
| 시공관련 자 료 | ㅇ시공관련자료<br>ㅇ품질관리 관련자료<br>- 재료증명서<br>- 품질시험기록<br>- 각종 시험기록<br>- 시설물 주요 구조 부위에 대한 계측자료<br>ㅇ사고자료 | 일부 보유<br><br>일부보유<br>일부보유<br>일부보유<br>-<br>-<br>- | ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 10공구 |
| 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 2017년 준공된 시설물로 설계 및 시공관련 자료 관리 및 보관상태는 대체로 양호한 것으로 조사되었다. 관련자료 분석을 통해 당초 시공시의 개략적인 지반상태를 파악할 수 있다.

## 63.2.2 지반조사 보고서 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 "상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 10공구"의 설계 및 준공도서 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

1) 사면 적용구배 및 소단설치 기준

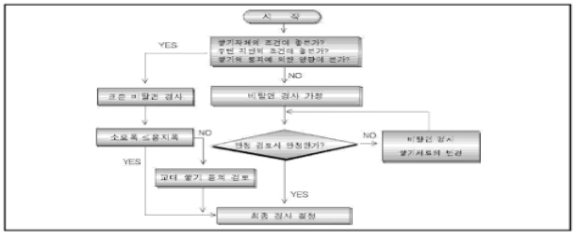
7.4 비탈면 설계기준

비탈면 안정해석을 위한 설계기준은 대체적으로 소단, 비탈면경사 및 최소안전율 등으로 구분할 수 있으며 이에 대하여 검토하면 다음과 같다.

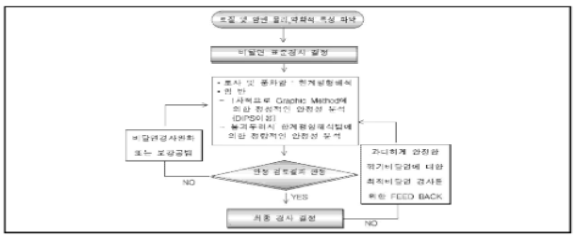
7.4.1 비탈면 경사기준

가. 비탈면 경사의 결정

(1) 쌓기 비탈면경사 결정에 따른 흐름도




(2) 깎기 비탈면경사 결정에 따른 흐름도




248

7.4.2 소단 설치기준

가. 국내외 기관별 소단 적용기준

소단 설치빈도 및 폭에 대하여 국내외 기관별, 비탈면의 종류 및 지반의 특성 등을 고려하여 비교분석한 결과는 다음표와 같다. 소단 적용기준 현황을 보면 일본의 경우는 소단설치 높이 기준을 7m 마다 1~2m로 규정하고 있으며 국내기준은 5~10m마다 0.5~3.0m이다.

소단의 설치목적은 비탈면침식방지를 위한 배수시설 설치, 점검보수용 통로 등의 유지관리에 있으므로 발파암층에서는 H=10.0m 마다 1.0m소단과 리핑암 및 토사층에서는 H=5.0m마다 1.0m소단을 설치하되 H=20.0m마다 3.0m소단을 설치하는 것이 대체적으로 타당한 것으로 사료된다.

[국내외 기관별 소단적용 기준]

| 구 분 | 기관 및 규정명 | 소단적용 기준 |
|---|---|---|
| 국 내 | 건설공사 비탈면 설계기준 (2006) | · 비탈면 높이 10m 이상 : 원칙적으로 소단설치<br>· 비탈면 중간에 5~20m 높이 마다 폭 1~3m 소단설치 |
| | 한국도로공사 도로설계요령 (2002) | · 리핑암 : R.Q.D = 0~10%, H=5m 마다 소단 1m<br>· 발파암<br>RQD = 10~25% : H = 10m 마다 소단 1~2m<br>RQD = 25~50% : H = 10m 마다 소단 1~2m<br>RQD = 50% 이상 : H = 20m 마다 소단 3m |
| | 건설부 도로시설기준 | · H = 5 ~ 10m 마다 소단 1 ~1.5m |
| | 한국토지공사 | · H = 7m 마다 소단 0.5 ~1.5m |
| 일 본 | 도로공단 설계요령 | · H = 7m 마다 소단설치 |
| | 국유철도토목구조물 표준시방서 | · 암석과 접하는 토사 경계부와 7m 마다 소단 설치 |
| | 철도설계요령 | · H > 10m의 경우 7m마다 소단 1.5m, 경사3% |

7.4.3 지하수위 적용기준

가. 적용기준

비탈면안정해석시 지하수위는 계절적인 지하수위 변화, 지형 및 시간적 요소를 고려하여 비탈면의 안정조건에 가장 불리한 상태를 해석에 적용하는 것이 바람직한것으로 사료된다.

쌓기구간에서는 시공속도에 따른 장단기적인 배수조건과 토층 및 풍화암 지반조건에서는 강우시 침투해석에 의한 간극수압분포를 실제 안정해석에 이용하여야 하나 본 설계에서는 다음과 같이 적용하였다.

253

다. 깎기 비탈면

자연지반의 토질은 매우 불균질하고, 풍화도, 성층상태 및 균열 등에 의해 지반의 강도는 현저하게 다르며 시공후 시간의 경과에 따라 응력이완, 대기노출로 인한 풍화진행 등으로 원지반의 전단강도가 약해지므로 비탈면이 차차 불안정하게 된다.

따라서 깎기비탈면 안정을 위한 경사기준 결정은 토질구성, 상태, 특성, 지형조건, 지하수위 상태 및 시공조건과 비탈면의 용도등을 종합적으로 분석 고려되어야 한다.

국내 깎기비탈면 설계기준 적용기준은 건설교통부 및 한국도로공사 설계기준에 의거한 표준경사를 적용하고 있으며 암반층에서 층리나 절리등이 규칙있게 발달할 경우 경사 비탈면에 따라 큰 붕괴가 예상되므로 지반조사 결과를 토대로 파괴형태를 예상하여 이에 대한 적절한 비탈면 경사설정 및 부가적인 안정대책을 수립하도록 계획하였다.

[원지반 토질에 대한 비탈면 경사범위]

| 토 질 조 건 | | 비탈면높이(m) | 경 사 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 모 래 | | - | 1:1.5 이상 | SW, SP |
| 사 질 토 | 밀실한 것 | 5 이하 | 1:0.8 ~ 1:1.0 | SM, SP |
| | | 5~10 | 1:1.0 ~ 1:1.2 | |
| | 밀실하지 않고 입도분포가 나쁨 | 5 이하 | 1:1.0 ~ 1:1.2 | |
| | | 5~10 | 1:1.2 ~ 1:1.5 | |
| 자갈 또는 암괴 섞인 사 질 토 | 밀실하고 입도분포가 좋음 | 10 이하 | 1:0.8 ~ 1:1.0 | SM, SC |
| | | 10~15 | 1:1.0 ~ 1:1.2 | |
| | 밀실하지 않거나 입도분포가 나쁨 | 10 이하 | 1:1.0 ~ 1:1.2 | |
| | | 10~15 | 1:1.2 ~ 1:1.5 | |
| 점 성 토 | | 0~10 | 1:0.8 ~ 1:1.2 | ML, MH, CL, CH |
| | | 5 이하 | 1:1.0 ~ 1:1.2 | GM, GC |
| 암괴 또는 호박돌 섞인 점성토 | | 5~10 | 1:1.2 ~ 1:1.5 | |
| 풍 화 암 | | - | 1:1.0 ~ 1:1.2 | 시편이 형성되지 않는 암 |

주) 1. 실트는 점성토로 간주. 표에 표시한 토질 이외에 대해서는 별도로 고려한다.
2. 위 표의 경사는 소단을 포함하지 않는 단일비탈면의 경사이다.

(건설교통부, 건설공사비탈면설계기준, 2006년)

250

7.4.4 안전율 적용기준

가. 쌓기 비탈면 안전율 기준

국내외 각 기관에서 적용하는 쌓기비탈면의 최소안전율은 쌓기 기초지반의 인약지반 분포여부, 성토체의 시공목적, 비탈면의 영구 구조물 여부 등에 따라 쌓기 비탈면의 안전율 기준에는 차이가 있으며, 각 기관의 쌓기 비탈면 안전율을 간략화 하면 아래 표와 같다.

[국내 기관별 쌓기 비탈면 최소안전율 적용기준]

| 구 분 | | 최 소 안 전 율 (Minimum Safety Factor) | |
|---|---|---|---|
| 건설교통부 | 건설공사 비탈면 설계기준 (2006년) | 건기시(지하수가 없는 것으로 해석) | Fs ≥ 1.5 |
| | | 우기시 | Fs ≥ 1.3 |
| | | 지진시 | Fs ≥ 1.1 |
| 한 국 도 로 공 사 | | 도로설계요령 | Fs ≥ 1.3 |
| 항 만 협 회 | | 항만시설 기술상의 기준, 동해설 | Fs ≥ 1.5 |

나. 깎기 비탈면 안전율 기준

비탈면 안정에 대한 최소안전율은 지역과 공사내용, 비탈면의 중요도, 비탈면 파괴시 주변에 미치는 영향 및 경제성 등에 따라 다르며, 비탈면안정 해석에 앞서 최소안전율 선정은 매우 중요한 의미를 지닌다. 각 기관별로 깎기비탈면에 대한 최소안전율에 대한 적용기준은 아래에 기술되어 있으며 기술된 최소안전율이 어떠한 가정에서 유도되었는지를 파악해야 하나 이런 가정들은 생략되어 있으며 단지 부분적인 서술만을 기재하는 방법으로 간략화 되어있다.

[국내외 기관별 깎기 비탈면 최소안전율 적용기준]

| 구 분 | 최 소 안 전 율 | |
|---|---|---|
| 건설공사 비탈면 설계기준(2006) | 건기시(지하수가 없는 것으로 해석) | Fs ≥ 1.5 |
| | 우기시(지표면에 지하수위를 위치시킨 후 해석) | Fs ≥ 1.2 |
| | 지진시 | Fs ≥ 1.1 |
| 도로설계요령 (2000) | 건기시(지하수위 미고려) | Fs ≥ 1.5 |
| | 우기시(지하수위는 지표면에 위치) | Fs > 1.1~1.2 |
| | 지진시(미국 D'APPOLNIA기준, NAVFAC - DM7.1-329기준) | Fs > 1.1~1.2 |
| 미 국 D'APPOLONIA Consulting Engineers (1975) | 실내시험에 의해 강도를 구할 경우 | 1.5 > Fs > 1.3 |
| | 최대지진가속도를 고려함때 | 1.2 > Fs > 1.0 |
| NAVFAC - DM 7.1-329 | 하중이 오래 작용할 경우 | Fs > 1.5 |
| | 구조물 기초인 경우 | Fs > 2.0 |
| | 일시적인 하중이 적용할 경우 및 시공시 | Fs > 1.35 or 1.25 |
| | 지진하중이 작용하는 경우 | Fs > 1.2 or 1.15 |

255

## 2) 지형 및 지질

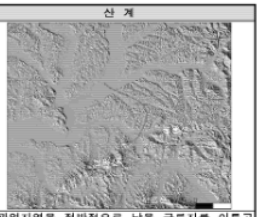
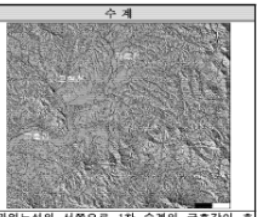
# 제 4 장 조 사 결 과

## 4.1 지표 지질 조사

### 4.1.1 지형 및 지질특성

| | |
|---|---|
| 지질개요 | • 조사지역의 지질은 변성암 상위를 부정합으로 놓인 사암, 역질사암, 역암, 니질암(세일 및 이암)등으로 이루어지는 중생대 경상누층군의 퇴적암류들이 넓게 분포<br>• 조사지역의 구성암석은 충적평원과 호성환경에서 변화되는 암상으로 해당지역에 분포하는 춘산층(반아벌층)의 경우에는 니질층이 매우 우세한 호성 퇴적암임 |

가. 지형특성

| 산 계 | 수 계 |
|---|---|
|  |  |
| • 과업지역은 전반적으로 낮은 구릉지를 이루고 있으며 과업노선은 주로 낮은 구릉지를 따라 지나가고 있음<br>• 과업노선의 남쪽과 남동쪽은 다른 지역에 비해 비교적 높은 산계를 이루고 있음<br>• 과업노선은 시, 종점부는 충적층 및 하천과 접하고 있음 | • 과업노선의 서쪽으로 1차 수계인 금호강이 흐르고 있음<br>• 과업노선의 북쪽에는 고현천과 자호천이 남쪽으로 흐르고 있으며 특히 노선의 종점부는 자호천과 교차되고 있음<br>• 전체적인 수계는 수지상의 형태를 보이며 매우 복잡하게 나타남 |



나. 분포암종 특성

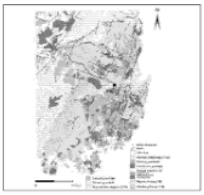
| 구 분 | 지질특성 |
|---|---|
| 춘산층 | • 층의 두께는 700m 내외이며 암회색 및 자색 이암과 실트암, 암회색 세일 및 사암으로 구성된다. 최하부는 2~3m 두께의 구산동층 회암층원으로, 중부는 기시동 역암으로 특징 지워진다. 구산동층회암은 주로 화산기원의 장석 및 석영입자들과 화산희 기질로 구성되었으나, 수류퇴적을 지시하는 층리 및 모양을 갖으며, 식물의 줄기와 잎 화석들이 산출된다(Tateiwa, 1929) |

다. 지질 계통도

| 지질시대 | | 층 명 | | 특 성 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 제4기 | | 충적층(Qu) | | • 하천 및 산록 퇴적물 | |
| | | | | ~ 부정합 ~ | |
| 중생대 | 백악기 | 경성암맥(Kid)<br>산성암맥(Kad) | | • 괴상의 치밀 | • 전 구간에서 기반암을 관입 |
| | | | | — 관입 — | |
| | | 화강암(Kgr) | | • 괴상의 치밀 | • 3공구 중앙부 |
| | | | | — 관입 — | |
| | | 유천층군 | 안산암질암(Kat) | • 주로 응회암으로 구성 | • 노선과 교차하지 않음 |
| | | | | — 관입 및 분출 — | |
| | | 하양층군 | 신암동층(ke9) | • 암회색 이암 및 세일과 사암이 교호대 | • 10공구 종점부 |
| | | | 춘산층(ke8) | • 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 세일<br>• 하부층에서 석회질 물질 다량 함유 | • 10~8공구에 걸쳐 분포 |
| | | | 사곡층(Ke7) 상부(Ke7-ms) | • 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 세일<br>• 석회질 물질 함유 | • 8공구 시점 |
| | | | 사곡층(Ke7) 하부(Ke7-ss) | • 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 세일과 사암이 교호<br>• 사질부분을 다량 함유 | • 8공구 시점과 7공구 종점 |
| | | | 점곡층(ke6) | • 암회색, 녹회색, 적색 세일 및 이암<br>• 주로 암회색 세일로 구성 | • 7공구 종점 및 중앙부 |
| | | | 후평동층(Ke5) 구계동층원(Ke5-2) | • 사암, 미사암 및 미사질 세일 및 이암(니질 우세) | • 7공구 시점부 |
| | | | 후평동층(Ke5) 구미동층원(Ke5-1) | • 사암, 적색 미사질 세일, 저석처트역 및 역암(사질 우세) | • 6공구 종점부 |
| | | | 일직층(Ke4) | • 사암, 적색 미사질 세일, 역암<br>• 주로 사암이 우세 | • 6공구 중앙 및 종점 |
| | | | 진주층(Ke3) | • 역질사암, 사암, 세일의 교호<br>• 하부층에서 이회암 호층 분포 | • 6공구 시점 및 중앙부 |
| | | | 하산동층(Ke2) 상부(Ke2-2) | • 사암 및 적색 미사암, 이암의 교호 | • 5공구 종점 |
| | | | 하산동층(Ke2) 하부(Ke2-1) | • 사암과 역질사암, 역암의 교호 | • 5공구 중앙 및 시점부 |
| | | | 금당리층원(Ke1-nk) | • 사암과 역질사암, 세일의 교호<br>• 주로 역질 사암 우세 | • 4공구 전구간 |
| | | | 낙동층(ke1) 안경산층원(Ke1-nm) 상부(Ke1-num) | • 사암과 역질사암, 역암 교호 | • 3공구 중앙 및 종점부 |
| | | | 낙동층(ke1) 안경산층원(Ke1-nm) 하부(Ke1-nlm) | • 장석질 사암과 역질사암, 역암 교호<br>• 최하부에 탄질층 협재 | • 3공구 시점 및 중앙부 |
| | | | | ~ 부정합 ~ | |
| | 쥬라기 | 세립질화강암(Jfgr) | | • 엽리 발달 미약<br>• 세립질, 두분석으로 화강섬록암 암상 포함 | • 1공구 종점, 2공구 시점 |
| | | | | 관입 | |
| | | 편마상화강암(Jggr) | | • 엽리 발달<br>• 조립질 | • 1공구 시점 및 중앙, 2공구 중앙부 |



라. 지체구조



• 경상분지는 암상 및 지구조에 의해 몇 개의 소분지로 구분된다. 분지서쪽에 남북방향의 대상으로 발달하는 낙동소분지, 분지 최북단의 일월산 충상단층(thrust)과 청송령 사이에 발달하는 영양소분지, 안동 충상단층 및 청송령과 팔공산 융기대 사이에 발달하는 의성(도평)소분지, 그리고 팔공산 융기대 이남지역에 발달하는 유천(밀양)소분지로 나누어진다.
• 경상분지의 서쪽과 북쪽에서는 경상누층군이 선캄브리아기에 속하는 변성퇴적암류와 쥬라기말의 대보화강암류를 부정합으로 덮고 있고, 동부와 남부는 백악기말의 화성활동과 단층작용으로 심하게 파괴되었으며, 제3기층에 의해 부정합으로 피복되거나 동해 및 남해의 해저로 계속 발달되어 있다.

### 4.1.2 영상정보를 활용한 선형 구조 분석

가. 인공위성영상 분석

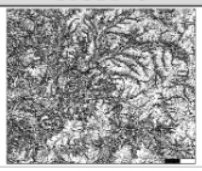
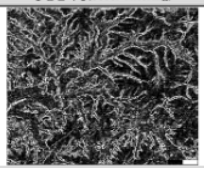
① 목 적

• 과업지역의 광역적인 지형 특성 파악 및 선형구조 발달 상태 파악
• 지형 및 지질특성(단층, 절리, 암맥 등의 선구조)파악
• 과업구간에 대한 지질분포와 단층, 절리 등에 의한 광역적인 선구조 해석

② 원리 및 방법

• 30m급 해상도의 Landsat5 TM 위성영상을 이용하여 분석실시
• 선형 공간 필터링 분석, 주성분 분석, 밴드비율 분석 등을 통해 광역 선구조 해석에 이용
• 식생지수, 습윤도 분석을 통해 식생 및 토양환경 분석 실시

③ 위성영상결과

| 선형공간필터링 | 공간엠보싱(Sobel filtering) |
|---|---|
|  |  |
| • Landsat-7 ETM+ 영상에서 선적인 요소를 강조시키기 위해 고주파 강조 선형 공간필터링을 실시<br>• 고주파강조 공간필터인 Laplacian 필터(Jensen, 1996)를 적용시킨 후의 결과<br>• 지형적인 선구조 이외에 도로나 할만 시설과 같은 인공적인 선구조가 추출됨 | • 영상 내의 지형 또는 선구조의 방향성에 관계없이 지형 지물의 에지를 검출<br>• 선구조 묵안 판독에 유용한 자료임 |



### 7.6.2 암종특성에 따른 비탈면 기울기 현황

가. 지질 및 암종특성

(1) 지질특성

• 본 과업노선은 경상분지의 퇴적암 지역에 위치하며 미세립의 니질암을 90%이상 함유한 춘산층이 주로 분포됨
• 퇴적암 중 이암과 세일로 구성된 니질암은 사암이나 역암에 비해 입자간 공극이 크고 느슨한 특징을 보이며, 탄산염광물 함량이 높을 경우 빠른 시간 내에 풍화되는 특성을 나타냄

(2) 암종특성

• 본구간의 니질암 암종특성 및 풍화특성파악을 위해 XRD, 현미경분석, 산침수에 의한 분말화 시험 및 내구성 시험 등 각종분석 실시
• XRD 및 현미경 분석결과 주구성광물은 석영과 방해석, 그리고 미립의 점토로 구성되었으며, 입자간 교결물질이 방해석인 것으로 판단
• 산침수에 의한 분말화 시험결과 층리에 따른 뚜개짐과 분말화가 상당히 진행됨
• 따라서, 깎기 비탈면 시공시 우수와 지표수에 노출되면 입자간 교결물질인 방해석의 용탈이 발생하여 암반사면이 빠르게 풍화될 것으로 판단

| 구 분 | 일축강도(kg/cm²) | | XRD분석 | 현미경분석 | | NP시험 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 니질암 | 사암 | 점토광물(%) | 실트(%) | 점토(%) | 방해석함량(%) |
| 10공구 | 339~852 | 958~1,317 | 27.2~41.8 | 31.6 | 68.4 | 29.7~39.9 |
| 9공구 | 395~814 | 433~884 | 28.2~39.7 | 52.6 | 47.4 | 5.8~16.8 |
| 8공구 | 535~1,066 | 654~1,345 | 36.4~43.6 | 21.1 | 78.9 | 22.7~28.1 |

주) XRD : X-선 회절분석, NP시험 : 중화잠재(Neutralization Potential) 시험

나. 인근비탈면조사

• 사업노선과 교차하는 4 개소의 고속도로(경부, 대구-포항, 중앙, 중부내륙) 및 기존 도로(국도 및 지방도)의 비탈면 기울기 적용 현황 조사

• 위치 : 신령~영천 현장사무소
• 설명 : 풍화되어 부피가 1/3로 축소됨

• 위치 : 신령~영천 덕산마을 인근
• 설명 : 1:1.0절취, 국부적 붕락발생

3) 지반조사 보고서

## 제 1 장 조 사 개 요

### 1.1 조 사 명

- 상주~영천 고속도로 민간투자사업 실시설계(10공구)

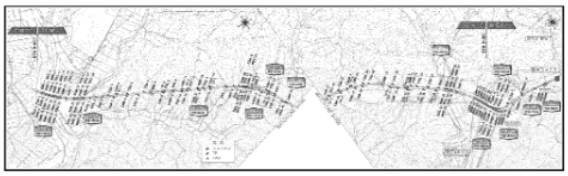
### 1.2 조 사 목 적

- 상주~영천 고속도로 민간투자사업을 위한 지반조사
- 계획노선의 지반공학적 특성을 고려한 조사계획 수립
- 선정된 최적노선을 대상으로 구조물별 특성을 고려한 현장조사, 현장시험 및 실내시험 실시
- 지층의 구성상태, 지반공학적 특성 및 지반조건 파악
- 조사된 자료를 종합·분석하여 합리적이고 경제적인 설계 및 시공에 필요한 공학적 자료 제공

### 1.3 조 사 범 위

| | |
|---|---|
| 위 치 | · 시점 : 경상북도 영천시 언하동 (STA. 0+000) (X=275,770.3573 , Y=197,045.8262)<br>· 종점 : 경상북도 영천시 북안면 임포리(STA. 9+360) (X=269,280.9395 , Y=200,559.7855)<br>· 연장 : 9.36km |
| 특 성 | · 상주~영천간 고속도로 건설을 통한 기존 고속도로(경부, 중부내륙)의 기능 회복 및 연계를 통한 효율성 증대<br>· 고속도로 신설을 통해 동과 지역의 권역별 상호 균형 발전을 통한 공익성 증대 |

### 1.4 위 치 도

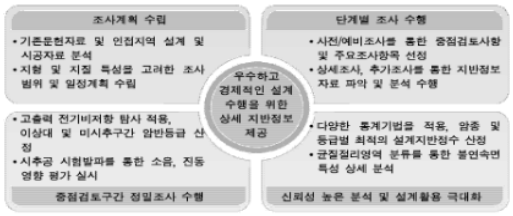




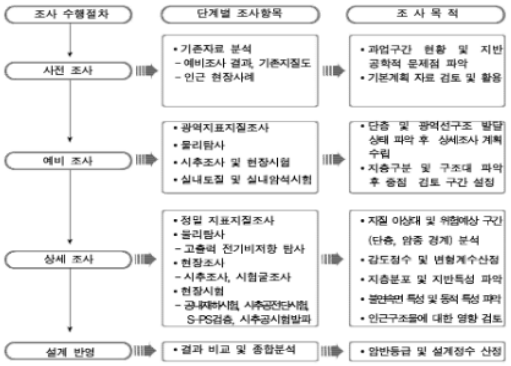
## 제 2 장 조 사 계 획

### 2.1 조사 기본방향 및 수행흐름

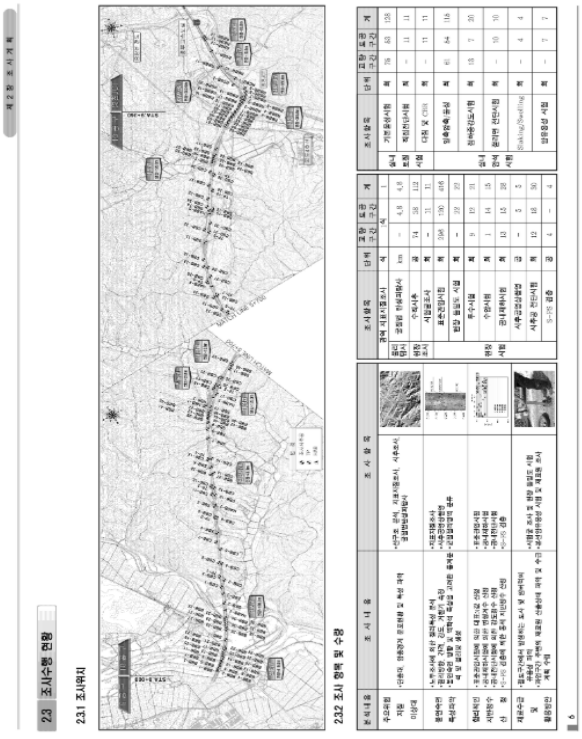
가. 조사 기본방향




나. 조사 수행 흐름도





2.3 조사위치

2.3.2 조사 항목 및 수량



## 제 7 장 비탈면 안정성 검토

### 7.1 개 요

#### 7.1.1 검토목적

본 검토는 계획노선에 계획되어 있는 깎기 및 쌓기 비탈면 중 붕괴가능성을 지닌 대깎기 비탈면과 고쌓기 비탈면에 대하여 설계시 지반공학적인 측면에서 조사 및 시험을 실시하고 이를 분석 파악 후 토질 및 암반상태와 안정성을 고려한 안정 비탈면기울기 결정 및 대책 등을 검토하여 경제적인 비탈면 설계방안을 제시하는데 그 목적이 있다.

토사비탈면의 경우 토층이 균질하다는 가정하에 임의의 최소안전율을 갖는 활동 저항면에 대한 안정성 평가가 이루어지나 암반비탈면의 경우 지질구조 및 불연속면의 특성에 의해 안정성을 평가하게 된다. 따라서 본 검토에서는 토사와 암반 비탈면의 파괴특성 차이를 고려하여 본 계획 노선의 비탈면을 토사비탈면과 암반비탈면으로 구분하여 안정검토를 실시하였다.

#### 7.1.2 검토내용

본 구간의 검토대상 비탈면에 대하여 현장조사 및 실내시험을 통하여 얻은 성과를 토대로 검토한 내용은 다음과 같다.

- 현장조사 적정성 분석 및 비탈면 설계정수 산정
- 실내시험 적정성 분석 및 비탈면 설계정수 산정
- 합리적인 비탈면 기울기 검토
- 비탈면 안정대책 및 보호공법 검토

### 7.2 검토구간 선정 및 현황

#### 7.2.1 선정기준

과업구간에 계획되는 비탈면 중 흙쌓기 구간의 검토단면 선정은 일반적으로 흙쌓기 높이가 10m이상, 깎기구간은 절취비탈면 높이가 20m 이상 되는 비탈면을 원칙으로 하였으며, 그 외 현장조건 및 토질조건에 따른 대상은 다음의 기준에 따라 선정하였다.

| 구 분 | 선 정 기 준 |
|---|---|
| 쌓 기 부 | · 비탈면높이가 10m를 초과하는 경우<br>· 비탈면기울기가 표준기울기보다 급한 경우<br>· 쌓기재료의 함수특성이 높고, 전단강도가 낮은 경우<br>· 붕괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우<br>· 지형특성으로 인하여 쌓기토체 내부로 지속적인 지하수의 유입이 발생하는 경우<br>· 홍수시 비탈면이 침수되거나 비탈끝이 침식되는 경우<br>· 쌓기비탈면의 원지반이 양호하지 못한 경우(연약지반 등)<br>· 내진안정해석이 필요한 경우 |
| 깎 기 부 | · 비탈면높이가 20m 이상인 경우<br>· 비탈면기울기가 표준기울기보다 급한 경우<br>· 비탈면 지반이 봉적토로 이루어진 경우<br>· 암반의 풍화가 심하고 음수가 많은 경우<br>· 붕괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우<br>· 불연속면이 비탈면 방향으로 기울기진 지질조건인 경우<br>· 내진안정해석이 필요한 경우<br>· 불안정 요인을 갖는 지형·지질 조건인 경우 |

### 7.2.2 비탈면 현황

비탈면 안정검토 대상구간 선정기준에 의한 비탈면 현황은 다음과 같다.

| 구 분 | | 구 간 (STA.) | 연 장 (m) | 대표단면 (STA.) | 최대깎기고 (m) | 지층현황 | 조사내용 공번 | 조사내용 조사위치 (STA.) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 깎기 | 깎기1구간 | 1+470 ~2+390 | 920 | 1+580(상주)<br>1+680(영천)<br>1+620(하주) | 19.71<br>26.39<br>10.80 | 표토,풍화토,<br>풍화암,<br>연암,경암 | CBB-4<br>CBB-5<br>CBB-6<br>CBB-7 | 1+967.92(우23.65)<br>1+984.53(좌21.84)<br>2+216.49(우27.54)<br>2+342.05(좌34.83) | |
| | 깎기2구간 | 2+590 ~2+900 | 310 | 2+780(상주) | 19.13 | 풍화토,<br>풍화암,<br>연암,경암 | CBB-8<br>CBB-9 | 2+762.76(우17.14)<br>2+778.62(좌13.82) | |
| | 깎기3구간 | 3+050 ~3+400 | 350 | 3+320(상주)<br>3+140(영천) | 27.86<br>28.32 | 표토,풍화토,<br>풍화암,<br>연암,경암 | CBB-10<br>CBB-12<br>CBB-13<br>CBB-14 | 3+160.48(우25.89)<br>3+279.45(우16.27)<br>3+314.22(좌22.10)<br>3+540.00(우32.42) | |
| | 깎기4구간 | 3+710 ~3+840 | 130 | 3+760(상주) | 18.67 | 표토,풍화토,<br>풍화암,<br>연암,경암 | CBB-15<br>CBB-16 | 3+764.91(좌30.58)<br>3+782.52(우28.65) | |
| | 깎기5구간 | 4+870 ~5+280 | 410 | 5+060(상주)<br>5+080(영천) | 39.82<br>33.57 | - | - | - | 민원으로 시추 미시행 |
| | 깎기6구간 | 5+640 ~5+820 | 180 | 5+740(영천)<br>5+780(영천) | 20.18<br>18.16 | - | - | - | 민원으로 시추 미시행 |
| | 깎기7구간 | 5+900 ~6+150 | 250 | 6+080(상주)<br>6+100(영천) | 22.46<br>18.61 | - | - | - | 민원으로 시추 미시행 |
| | 깎기8구간 | 6+290 ~6+780 | 490 | 6+360(상주)<br>6+420(영천) | 32.27<br>20.10 | - | - | - | 민원으로 시추 미시행 |
| | 깎기9구간 | 7+110 ~7+440 | 330 | 7+240(상주)<br>7+240(영천)<br>7+300(영천) | 23.57<br>40.17<br>28.67 | - | - | - | 민원으로 시추 미시행 |
| | 깎기10구간 | 7+880 ~8+320 | 440 | 8+020(상주)<br>8+200(영천) | 23.89<br>23.61 | - | - | - | 민원으로 시추 미시행 |



## 7.6 비탈면 안정해석 및 검토

### 7.6.1 개요

가. 깎기구간

본 지역에서의 깎기비탈면 안정해석은 깎기구간 중 깎기 높이가 가장 높은 지역을 기준으로 비탈면 현황을 고려하여 대표단면 선정 후 토사지반 및 암반층에 대해 실시하였고, 지표지질조사 결과 및 시추조사 결과를 종합 분석하여 토사 및 암반층에 널리 적용하고 있는 한계평형해석 및 평사투영법을 이용하여 종합적으로 검토가 이루어졌다. 깎기비탈면 해석을 실시함에 있어 경제적이고 안정한 비탈면기울기의 선정을 위하여 다음과 같이 적용하여 검토하였다.

- 비탈면 안정해석시 일반적으로 기준 안전율을 건기시 **1.5** 이상, 우기시 **1.2** 이상으로 적용하였다.
- 구간 내 시추조사 결과에 의한 지층 층후의 종합적용 및 지표지질 조사시 현장 확인된 암반 노출면 등을 종합하여 지층경계선을 설정하였다.
- 결과를 근거로 암반파쇄 상태에 의한 깎기 기울기는 암석별 깎기 적정기울기를 기준으로 암반비탈면 기울기를 결정하였다.
- 수집된 지표지질조사 결과를 이용하여 평사투영법으로 불연속면의 주향 및 기울기방향을 구간별 투영으로 파괴양상을 예측하였다.
- 암반비탈면 기울기에 따라 상부층의 토사비탈면 안정성 검토는 **Talren 97 Program**을 이용하여 원호활동 파괴로 검토함을 원칙으로 하였다. **RQD = 0~10%**의 암석은 연암이라 하더라도 암반이 큰 **COBBLE** 상태에서 거동하는 것으로 사료되므로 풍화암과 같은 특성으로 고려될 수 있다. 이와 같은 경우 암반은 절리면을 따라 파괴하기 보다는 원호활동 파괴의 경향을 보이므로 풍화암과 토사층을 포함하여 검토하였다.

나. 쌓기구간

본 쌓기구간은 산지지형 말단부의 편측쌓기와 곡간형태의 충적층 지역에 대한 쌓기로서 전답토로 형성된 구간을 경유하고 있으며 원지반의 지층분포 상황, 특성파악 및 연약지반 출현 여부를 확인하기 위하여 **Hand Auger Boring**을 실시하였다. 쌓기 비탈면의 파괴형태는 원호활동 파괴로 해석하였으며, 강도정수는 쌓기지역의 지반강도정수 선정에 의거 지층별로 적용하였다. 쌓기 비탈면 해석을 실시함에 있어 차량하중의 고려와 우기시를 고려하여 지표면에 지하수위가 형성된 것으로 가정하여 해석하였다.

# 제 8 장 지표지질조사

## 8.1. 광역 지표지질조사

### 8.1.1. 지질개요

•과업구간은 백악기 경상분지의 주로 신동층과 하양층군이 분포하는 의성소분지의 동남부에 위치한다. 경상분지는 처음에는 일본의 북구주지방과 중국, 대마도에 분포하는 퇴적분지를 총괄하여 대마도분지로 불러왔다. 그 후 1961년 원종권은 수치래 조사로부터 경상누층군이 구조상으로 분지형을 이루고 있으므로 경상분지라고 명명하였다. 경상분지의 분포는 남북방향인 장축이 200km, 동서단축이 120km, 총 면적이 24,000km2에 달한다. 경상분지는 조산운동에 의해 형성된 3개의 소분지로 구성되어 있고, 이들은 다시 여러 개의 단층계에 의해 파괴되어 있다(그림 1).

그림 1. 경상분지와 소분지 분포

•경상분지는 안상 및 지구조에 의해 몇 개의 소분지로 구분된다. 분지서쪽에 남북방향의 대상으로 발달하는 낙동소분지, 분지 최북단의 일월산 충상단층(thrust)과 청송대 사이에 발달하는 영양소분지, 안동충상단층 및 청송령과 팔공산 옹기대 사이에 발달하는 의성(도평)소분지, 그리고 팔공산 옹기대 이남지역에 발달하는 유천(밀양)소분지로 나누어진다(그림 1).
•경상분지의 서쪽과 북쪽에서는 경상누층군이 선캄브리아기에 속하는 변성퇴적암류와 쥬라기말의 대보화강암류를 부정합으로 덮고 있고, 동부와 남부는 백악기말의 화성활동과 단층작용으로 심하게 파괴되었으며, 제3기층에 의해 부정합으로 피복되거나 동해 및 남해의 해저로 계속 발달되어 있다(그림 2).

### 63.2.3 점검 및 진단 이력

본 비탈면은 2017년부터 정기안전점검 5회, 정밀안전점검 1회를 실시한 것으로 조사되었다. 점검 결과 전반적으로 양호한 상태로 특별한 보수·보강을 필요한 구간은 없는 것으로 평가되었다.

**<표 63-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력**

| 번호 | 기 간 | 구 분 | 주요 점검 결과 | 안전등급 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28 | 정기안전점검 | 영천절토63 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 일부구간에서 균열, 퇴적이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다. | 양호 |
| 2 | 2018. 05. 28 ~ 2018. 06. 30 | 정기안전점검 | 영천절토63 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 일부구간에서 균열, 퇴적이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다. | 양호 |
| 3 | 2018. 10. 23 ~ 2018. 12. 31 | 정기안전점검 | 영천절토63 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 일부구간에서 균열, 퇴적이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다. | 양호 |
| 4 | 2019. 03. 18 ~ 2019. 05. 28 | 정기안전점검 | 영천절토63 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 일부구간에서 균열, 퇴적이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상의 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다. | 양호 |
| 5 | 2019. 09. 16 ~ 2019. 12. 27 | 정밀안전점검 | 본 사면에 대한 정밀안전점검 결과, 경미한 손상, 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수와 지속적인 관찰이 필요한 상태인 "B"등급의 양호한 상태로 평가되었다. 본 사면은 낙석방지망이 시공되어 있으며, 노출암에서 확인할 수 있는 암반의 풍화등급은 약한풍화~심한풍화 정도이다. 사면 전반적으로 식생상태가 양호~보통인 것으로 조사되었다. 일부 노출암 구간은 낙석방지망 및 낙석방지울타리가 설치되어 안전성에는 문제가 없으나, 공용기간이 증가할수록 우수 및 동결융해작용으로 풍화가 진행될 수 있으므로, 주기적인 주의관찰이 요망된다. 소단배수로 균열이 일부 조사되었으나, 배수기능에 큰 문제는 없는 것으로 조사되었다. 사면 보호/보강시설은 기능발휘에 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다. | B |
| 6 | 2020. 05. 12 ~ 2020. 06. 30 | 정기안전점검 | 영천절토63 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 일부구간에서 건조수축, 온도변화 등에 의한 균열이 발생된 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상의 진전방지를 위한 보수가 필요할 것으로 판단된다. | 양호 |

### 63.2.4 보수·보강이력

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

**<표 63-4> 보수·보강이력**

| 번호 | 공사기간 | 공사내역 | 공사비(원) | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| | | 특이사항 없음 | | |

### 63.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 fms상 내진설계가 적용 된 것으로 확인되었다.

**<표 63-5> 내진 설계 적용 여부**

| 검토대상 부재 | 설계적용여부 | 결과 | 검토결과 요약 | 근거 |
|---|---|---|---|---|
| 해당사항 없음 | 적용 | - | - | |

### 63.2.6 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 63-6> 관련 자료 분석 결과 요약 및 점검 방향**

| 구 분 | 자료 분석 결과 | 성능평가 방향 |
|---|---|---|
| 설계도서 | ㅇ준공도서 유지관리중<br>ㅇ위치도, 횡단면도 등 파악 가능<br>ㅇ원지반 상태 파악 가능 | ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득<br>ㅇ설계도면과 현재 제원 비교 |
| 시설물 관리대장 | ㅇ기본현황, 상세제원 확인 가능<br>ㅇ유지관리 이력 파악<br>ㅇ시설물 준공 후 최초의 성능평가 | ㅇ현장조사를 위한 기초자료로 활용<br>ㅇ준공후 특별한 보수·보강이력이 없는 상태로서 금회 성능평가시 손상 조사시 필요에 따라 보수·보강방안 수립 |
| 안전점검 및 정밀안전진단 자료 | ㅇ준공후 정기안전점검, 정밀안전점검이 시행되었으며, 전반적으로 양호한 상태임. | ㅇ사면파괴징후에 대한 면밀한 조사<br>ㅇ필요시 보수보수·보강방안 수립<br>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<br>ㅇ성능평가 결과에 따라 성능목표 유지를 위한 유지관리 전략 제안 |

# 63.3 현장조사

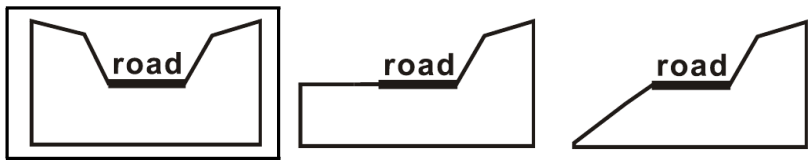
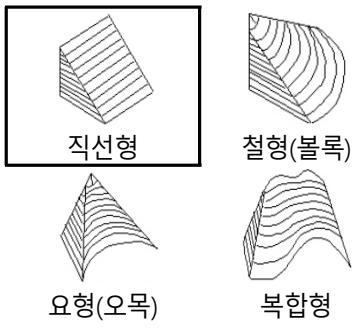
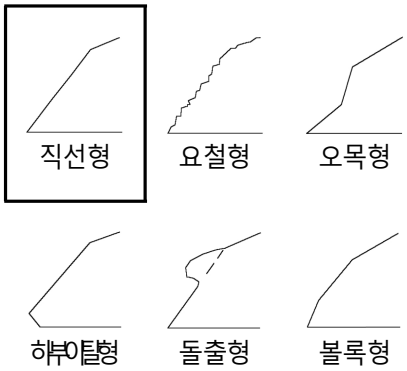
## 63.3.1 현장조사 체크리스트

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

**<표 63-7> 일반현황**

<table>
<tr><td>조사일자</td><td colspan="2">2019. 11. 25.</td><td>조 사 자</td><td colspan="2">장 진 원</td></tr>
<tr><td>일 기</td><td colspan="2">맑음</td><td>준공년도</td><td colspan="2">2017년 06월 27일</td></tr>
<tr><td>행정구역</td><td colspan="5">경상북도 영천시 고정면 대성리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="5">시점 : 35° 18′16.0″ 127° 48′33.0″</td></tr>
<tr><td colspan="5">종점 : 35° 18′24.0″ 127° 48′20.0″</td></tr>
<tr><td rowspan="4">절토사면</td><td colspan="3">길 이 : 440m</td><td colspan="2">높 이 : 33.6m</td></tr>
<tr><td colspan="5">경 사/경사방향 : 45/053</td></tr>
<tr><td colspan="3">구성물질 : 암반</td><td colspan="2">토층심도 : 약 1.0~5.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">소 단 : 3</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 : -<br>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 : -<br>뜬들 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td rowspan="5">절토사면<br>시공현황</td><td>종 류</td><td colspan="2">위 치</td><td colspan="2">상 태</td></tr>
<tr><td>산마루 측구</td><td colspan="2">89.518~89.538k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>소단배수로</td><td colspan="2">89.538~89.898k</td><td colspan="2">균열</td></tr>
<tr><td>낙석방지울타리</td><td colspan="2">89.518~89.918k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>점검용 계단</td><td colspan="2">89.718k</td><td colspan="2">양호</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">·</td></tr>
</table>

**<표 63-8> 지형·지질 및 식생**

<table>
<tr><td rowspan="3">주변지형의 특성</td><td>주변 지형</td><td colspan="4">산악지형</td></tr>
<tr><td>종단면 형상</td><td colspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td>기타 특징</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>절토사면의 특성</td><td>종<br>횡<br>단<br>면</td><td colspan="2"> 
</td><td>종<br>단<br>면<br>특<br>성</td><td> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="7">상부 자연비탈면</td><td>경 사 도</td><td colspan="4">0°</td></tr>
<tr><td>인장균열</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>포행흔적</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>수목의 기울어짐</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>인공구조물</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>산마루측구</td><td colspan="4">유</td></tr>
<tr><td>계곡부</td><td colspan="4">1개소</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 63-9> 기초조사 자료**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 일반현황 | 거리표 | 영천절토63 | | |
| | 위경도 | 시점 : 35° 18′16.0″ 127° 48′33.0″<br>종점 : 35° 18′24.0″ 127° 48′20.0″ | | |
| | 차선 | 왕복 ( 4 ) 차선 | | |
| | 조사일자 | 2019년 11월 25일 | | |
| | 조사자 | 장진원 | 조사기관 | ㈜명성엔지니어링 |
| 절토사면 특성 | 길이 | 440m | 최대높이 | 33.6m |
| | 경사 | 45° | 상부경사 | 0° |
| | 이격거리 | 평균 1.0~2.0m | 소단 | 3개소 |
| | 종류 | ■암반 □혼합<br>□토사 □자연 | 주변지형 | ■산악 □준산악<br>□구릉 □평 지 |
| | 지하수 | ■C.dry □damp<br>□wet □dripping<br>□flowing | 누수위치 | □상 □중 □하<br>□좌 □중 □우 |
| | 풍화도 | □F ■S ■M<br>□H □C □R | 불연속면 방향성 | □일치 □평행<br>■후방 □불가 |
| | 사면형상 | ■직선형 □철형<br>□요형 □파형 | 측면형상 | ■직선형 □요철형<br>□탈락형 □돌출형 |
| | 계곡부 | 1개소 | 붕괴이력 | □유(영향) □낙석<br>□유(미영향) ■무 |
| | 뜬돌 | □대 □중<br>□소 ■무 | 낙석 | □대 □중<br>□소 ■무 |
| | 암종 | 사암 및 셰일 | 토층심도 | 1.0~5.0m |
| | 암반형태 | □massive<br>□tabular<br>□columnar<br>□irregular<br>■blocky<br>□crushed | 불연속면 | ■절리 ■층리<br>□엽리 □균열<br>□단층 □전단대<br>□암맥 □무 |
| | 시공현황 (상태) | ■식생공(양호)<br>□옹벽<br>□격자블럭<br>■점검로(양호) | | ■낙석방지망(양호)<br>■낙석방지울타리(양호)<br>■배수로(보통)<br>□기타 |
| 조사자 소 견 | 위험도 | □상 □중 ■하 | 피해도 | □상 □중 ■하 |
| | 붕괴 유형 | □심층 □표층 ■무 | 위험등급 | □A ■B □C<br>□D □E |
| | 위험구간 (붕괴유형) | □상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( )<br>□상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( )<br>□상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( ) | | |
| | 필요 주공법 | - | 조치 | □응급 ■미응급 |
| | 기타 | | | |

## 63.3.2 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 상주영천고속도로 89.518~89.958㎞에 위치하고 있으며, 길이는 440m, 높이 33.6m의 절토사면으로 시설물 안전법상 2종 시설물로 분류된 시설이다.

### 나. 절토사면의 분류

토층심도 깊이측정을 위한 자료는 준공도서 표준 횡단면도를 참고하여 작성하였고, 블록크기 측정을 위한 절리간격은 사면특성 조사 시 각 구간에 위치하는 절리군의 평균 간격을 측정하였다.

**<표 63-10> 절토비탈면 분류**

(㎫=10.2kg/㎠)

| 구 분 | | 분류기준 | 평가점수 | 비탈면종류 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 세부분류 | 종합분류 |
| 1구간 | 토층심도율 | 0.4 | $\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{4.0}{32.0}=0.12$로 0.4미만 | 암반사면 | 파쇄 암반사면 |
| | 압축강도 | 10㎫ | 반발경도측정결과 114.9~117.8㎫으로 10㎫이상 | 파쇄암반 절리암반 | |
| | 블록크기 | 0.01 | $\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.3}{32.0}=0.009$로 0.01이하 | 파쇄암반 | |
| 2구간 | 토층심도율 | 0.4 | $\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{5.0}{33.6}=0.15$로 0.4미만 | 암반사면 | 파쇄 암반사면 |
| | 압축강도 | 10㎫ | 반발경도측정결과 106.3~108.4㎫으로 10㎫이상 | 파쇄암반 절리암반 | |
| | 블록크기 | 0.01 | $\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.3}{33.6}=0.008$로 0.01이하 | 파쇄암반 | |
| 3구간 | 토층심도율 | 0.4 | $\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{25.0}=0.12$로 0.4미만 | 암반사면 | 파쇄 암반사면 |
| | 압축강도 | 10㎫ | 반발경도측정결과 94.2~95.4㎫으로 10㎫이상 | 파쇄암반 절리암반 | |
| | 블록크기 | 0.01 | $\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.21}{25.0}=0.008$로 0.01이하 | 파쇄암반 | |

**다. 비탈면 구간 분할**

본 사면은 연장이 440m로써, 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 기준에 의해, 3개 구간으로 구분하여 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

**<표 63-11> 비탈면 구간 분할**

| 구 분 | 측 점 | 비 고 |
|---|---|---|
| 1구간 | 89.518~89.658k | 140m |
| 2구간 | 89.658~89.798k | 140m |
| 3구간 | 89.798~89.958k | 160m |

### 63.3.3 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 -0°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 상태이며, 계곡부의 경우 1개소가 존재하는 것으로 확인되었다.

**<표 63-12> 집수 지형 조사 결과**

| 구 분 | | 손상 내용 | 단위 | 손상수량 (개소 / 수량) | 손상 원인 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 집수지형 | 외부 | 시.종점부 | EA | - | - | |
| | | 계곡부 | EA | 1 / 1.0 | - | |
| | 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 원지반이 노출된 구간에 대해서 조사하였다.

그 결과 부분적으로 절리가 관찰되며, 약한풍화~심한풍화 상태를 보이고 있는 것으로 분석되었다.

**<표 63-13> 불안정 지질 조사 결과**

| 구 분 | 손상 내용 | 단위 | 손상수량 (개소 / 수량) | 손상 원인 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 불안정 지질 | 국지적 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 대기에 노출된 원지반을 대상으로 9개 구간에서 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

**<표 63-14> 불연속면 특성 조사 결과**

| 구 분 | 1구간 | | |
|---|---|---|---|
| | Set 1 | Set 2 | Set 3 |
| 방향성 | 83/203 | 83/126 | 12/215 |
| 간격(m) | 0.2~0.6 | 0.2~0.6 | 0.2~0.6 |
| 연장성(m) | 3.0~10.0 | 3.0~10.0 | 3.0~10.0 |
| 틈새(mm) | 0.1㎜ 미만 | 0.1㎜ 미만 | 0.1㎜ 미만 |
| 거칠기 | 거칠음 | 거칠음 | 거칠음 |
| 충진물질 | 딱딱함, 5㎜미만 | 딱딱함, 5㎜미만 | 딱딱함, 5㎜미만 |
| 풍화도 | MW | MW | MW |
| 비고 | 식생공으로 인한 이외의 불연속면 특성조사 불가 | | |

| 구 분 | 2구간 | | |
|---|---|---|---|
| | Set 4 | Set 5 | Set 6 |
| 방향성 | 10/130 | 83/126 | 85/023 |
| 간격(m) | 0.2~0.6 | 0.2~0.6 | 0.2~0.6 |
| 연장성(m) | 3.0~10.0 | 3.0~10.0 | 3.0~10.0 |
| 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 | MW | MW | MW |
| 비고 | 식생공으로 인한 이외의 불연속면 특성조사 불가 | | |

| 구 분 | 3구간 | | |
|---|---|---|---|
| | Set 7 | Set 8 | Set 9 |
| 방향성 | 78/230 | 70/225 | 11/089 |
| 간격(m) | 0.2~0.6 | 0.2~0.6 | 0.2~0.6 |
| 연장성(m) | 10.0~20.0 | 10.0~20.0 | 10.0~20.0 |
| 틈새(mm) | 0.1㎜ 미만 | 0.1㎜ 미만 | 0.1㎜ 미만 |
| 거칠기 | 거칠음 | 거칠음 | 거칠음 |
| 충진물질 | 딱딱함, 5㎜미만 | 딱딱함, 5㎜미만 | 딱딱함, 5㎜미만 |
| 풍화도 | HW | HW | HW |
| 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 63-15> 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 소단 배수로 및 산마루 측구가 시공되어 있다.

소단 배수로 및 산마루 측구는 지반 변형으로 인한 부상 및 침하 등의 손상은 없는 것으로 확인되었으며, 일부구간 균열이 발생된 것으로 확인되었으나, 배수기능에는 문제가 없는 것으로 조사되었다.

**<표 63-16> 배수 조건 조사 결과**

| 구 분 | | 손상 내용 | 단위 | 손상수량 (개소 / 수량) | 손상 원인 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 배수 조건 | 소단 배수로 | 균열 | m | 8 / 16.0 | 건조수축, 온도변화 | |
| | 산마루 측구 | - | - | - | - | |

**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 63-17> 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 63-18> 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 63-19> 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 63-20> 인장균열 조사 결과**

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

## 63.3.4 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 9개소에서 실시하였으며, 그 외 식생 및 녹생토 시공으로 인해 노출된 암반이 존재하지 않아 암반강도시험을 실시하지 못한 구간의 경우 초기점검 보고서 및 토질조사보고서를 참고하였다. 시험 결과 및 기존 자료 검토에 따른 암종 분류 결과 경암~보통암인 것으로 판단된다.

**<표 63-21> 암반강도시험 결과**

| 시험위치 | 반발경도(Ro) | 추정강도(MPa) | 암 판정 결과 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 89.553k | 54.7 | 114.9 | 경암 | |
| 89.566k | 54.8 | 115.3 | 경암 | |
| 89.578k | 55.3 | 117.8 | 경암 | |
| 89.718k | 53.4 | 108.4 | 경암 | |
| 89.724k | 53.0 | 106.3 | 경암 | |
| 89.731k | 53.3 | 108.0 | 경암 | |
| 89.878k | 50.5 | 95.2 | 보통암 | |
| 89.885k | 50.2 | 94.2 | 보통암 | |
| 89.898k | 50.5 | 95.4 | 보통암 | |
| 검토의견 | ·암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 50.2~55.3으로 측정되었으며, 추정강도 94.2~117.8MPa로 보통암~경암으로 판정되어 암반의 강도는 양호한 것으로 판단된다. | | | |

절리면 경사/경사방향 측정

암반 강도시험

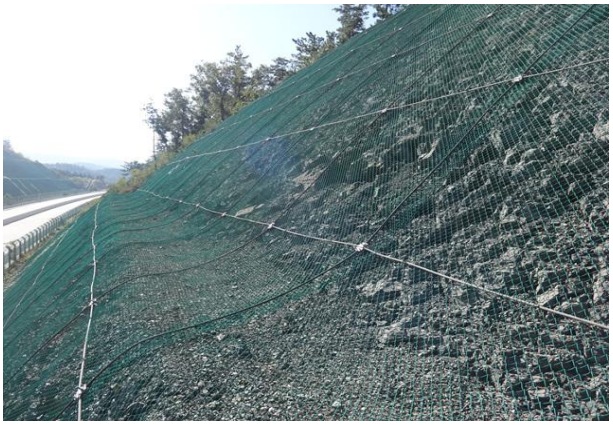
**다. 표면보호공**

표면보호공은 사면의 안전성에는 직접적인 영향을 주지 않으나, 사면의 상태보호 및 유지에 영향을 미치는 요소이다.

**<표 63-22> 표면보호공 조사 결과**

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

식생공 전경



낙석방지망 전경

**라. 사면보강공**

본 비탈면은 관련자료 분석 결과 식생, 낙석방지망 이외의 특별한 보강시설은 없는 것으로 조사되었으며, 현장조사시 확인한 결과 보강공은 시공되어 있지 않다.

**<표 63-23> 사면보강공 조사 결과**

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

## 63.4 안전성능평가

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

### 63.4.1 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 0.12~0.15로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 세부 분류는 절리암반비탈면, 파쇄암반비탈면으로 평가된다.

**<표 63-24> 절토비탈면 분류**

(MPa=10.2kg/㎠)

| 구 분 | | 분류 기준 | 평가점수 | 비탈면종류 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 세부분류 | 종합분류 |
| 1구간 | 토층심도율 | 0.4 | $\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{4.0}{32.0}=0.12$로 0.4미만 | 암반사면 | 파쇄 암반사면 |
| | 압축강도 | 10MPa | 반발경도측정결과 114.9~117.8MPa으로 10MPa이상 | 파쇄암반 절리암반 | |
| | 블록크기 | 0.01 | $\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.3}{32.0}=0.009$로 0.01이하 | 파쇄암반 | |
| 2구간 | 토층심도율 | 0.4 | $\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{5.0}{33.6}=0.15$로 0.4미만 | 암반사면 | 파쇄 암반사면 |
| | 압축강도 | 10MPa | 반발경도측정결과 106.3~108.4MPa으로 10MPa이상 | 파쇄암반 절리암반 | |
| | 블록크기 | 0.01 | $\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.3}{33.6}=0.008$로 0.01이하 | 파쇄암반 | |
| 3구간 | 토층심도율 | 0.4 | $\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{25.0}=0.12$로 0.4미만 | 암반사면 | 파쇄 암반사면 |
| | 압축강도 | 10MPa | 반발경도측정결과 94.2~95.4MPa으로 10MPa이상 | 파쇄암반 절리암반 | |
| | 블록크기 | 0.01 | $\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.21}{25.0}=0.008$로 0.01이하 | 파쇄암반 | |

본 사면은 연장 440m의 사면으로서, 외관조사시 실시한 구간분할과 동일하게 3구간으로 분할하여 손상상태 및 파괴요인에 대한 평가를 실시하였다. 사면분류를 위해 특성조사를 실시한 위치는 외관조사결과현황도(Face Map)에 Set1~9으로 표기하였다.

**<표 63-25> 비탈면 구간 분할**

| 구분 | 측점 | 연장 | 사면상태 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 1구간 | 89.518~89.658k | 140m | 암반사면 | Set1, Set2, Set3 |
| 2구간 | 89.658~89.798k | 140m | 암반사면 | Set4, Set5, Set6 |
| 3구간 | 89.798~89.958k | 160m | 암반사면 | Set7, Set8, Set9 |

**<표 63-26> 사면 형식별 상태안전성능지표**

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

### 나. 1구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

**<표 63-27> 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 | 계곡부 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 63-28> 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 63-29> 불연속면 특성 평가 결과(1구간)**

| 평가항목 및 등급 | | 평가 기준 | 평가 내용 | 평가 결과 |
|---|---|---|---|---|
| 불연속면 상태 | a | 매우 양호 | 불연속면 상태 점수<br>=Σ(①~⑥) / 6 =<br>(10+5+5+5+10+10) / 6 = 7.5 | c |
| | b | 양호 | | |
| | c | 보통 | | |
| | d | 불량 | | |
| | e | 매우 불량 | | |

**<표 63-30> 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 | 3~10 | c |
| 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 | 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 | MW | c |
| ⑥절리간격 | 2.0m이상 | 0.6m이상 2.0m미만 | 0.2m이상 0.6m미만 | 0.06m이상 0.2m미만 | 0.06m미만 | 0.2~0.6 | c |

**<표 63-31> 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 63-32> 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 63-33> 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 | 일부 균열 | 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 63-34> 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 63-35> 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 63-36> 예상 낙석에너지 평가기준(1구간)**

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

**<표 63-37> 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 0° | 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 63-38> 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 63-39> 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 63-40> 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 63-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)**

| 시설물명 | | 영천절토63 | | |
|---|---|---|---|---|
| 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 | | 7.5 | 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 | | | 15 | |
| 결함지수 | | 0.15 | | |
| **상태안전성능평가 결과** | | **B** | | |

**마. 2구간 상태안전성능 평가 결과**

1) 성능지표별 평가 결과

**<표 63-42> 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 63-43> 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 63-44> 불연속면 특성 평가 결과(2구간)**

| 평가항목 및 등급 | | 평가 기준 | 평가 내용 | 평가 결과 |
|---|---|---|---|---|
| 불연속면 상태 | a | 매우 양호 | 불연속면 상태 점수<br>=Σ(①~⑥) / 6 =<br>(10+5+10+5+10+10) / 6 = 8.3 | c |
| | b | 양호 | | |
| | c | 보통 | | |
| | d | 불량 | | |
| | e | 매우 불량 | | |

**<표 63-45> 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 | 3~10 | c |
| 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 | MW | c |
| ⑥절리간격 | 2.0m이상 | 0.6m이상 2.0m미만 | 0.2m이상 0.6m미만 | 0.06m이상 0.2m미만 | 0.06m미만 | 0.2~0.6 | c |

**<표 63-46> 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 63-47> 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 63-48> 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 | 일부 균열 | 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 63-49> 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 63-50> 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, 6.0㎥미만 | | |
| | d | 6.0㎥이상, 10.0㎥미만 | | |
| | e | 10.0㎥이상 | | |

**<표 63-51> 예상 낙석에너지 평가기준(2구간)**

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

**<표 63-52> 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 0° | 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 63-53> 인장균열 결함점수 산정 결과(2구간)**

| 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.

**사. 2구간 상태안전성능 평가 결과**

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

**<표 63-54> 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 63-55> 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 63-56> 상태안전성능평가 결과(2구간)**

| 시설물명 | | 영천절토63 | | |
|---|---|---|---|---|
| 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 | | 8.3 | 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. 3구간 상태안전성능 평가 결과**

1) 성능지표별 평가 결과

**<표 63-57> 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 63-58> 불안정 지질 평가 결과(3구간)**

| 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 63-59> 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 = (16+5+5+5+16+10) / 6 = 9.5 | c |
| | b | 양호 | | |
| | c | 보통 | | |
| | d | 불량 | | |
| | e | 매우 불량 | | |

**<표 63-60> 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 | 10~20 | d |
| 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 | 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 | HW | d |
| ⑥절리간격 | 2.0m이상 | 0.6m이상 2.0m미만 | 0.2m이상 0.6m미만 | 0.06m이상 0.2m미만 | 0.06m미만 | 0.2~0.6 | c |

**<표 63-61> 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 63-62> 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 63-63> 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 | a |
| | 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 63-64> 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 63-65> 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 63-66> 예상 낙석에너지 평가기준(3구간)**

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

**<표 63-67> 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 0° | 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 63-68> 인장균열 결함점수 산정 결과(3구간)**

| 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.

**차. 3구간 상태안전성능 평가 결과**

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

**<표 63-69> 상태안전성능 평가 결과 범위(3구간)**

| 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 63-70> 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 63-71> 상태안전성능평가 결과(3구간)**

| 시설물명 | | 영천절토63 | | |
|---|---|---|---|---|
| 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 | | 9.5 | 6 | c |
| 지반변형 | | 0 | 0 | a |
| 지하수 | | 0 | 0 | a |
| 배수조건 | | 0 | 0 | a |
| 붕괴이력 | | 0 | 0 | a |
| 낙석 | 발생규모 | 0 | 0 | a |
| | 예상 낙석 에너지 | 0 | | |
| 총점 | | | 12 | |
| 결함지수 | | 0.12 | | |
| **상태안전성능평가 결과** | | **A** | | |

**카. 상태안전성능 평가 결과**

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

**<표 63-72> 상태안전성능 평가 결과 범위**

| 사면 총길이 | 구간분할 | 분할구간 길이 | 평가등급 | 최종 평가결과 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 440m | 1구간 | 89.518~89.658k | b(0.15) | B | 인장균열 없음 |
| | 2구간 | 89.658~89.798k | a(0.14) | | |
| | 3구간 | 89.798~89.958k | a(0.12) | | |
| | ○ 구간별 평가 후 최소등급 선정<br>○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정 | | | | |

## 63.4.2 구조안전성능 평가

### 가. 개 요

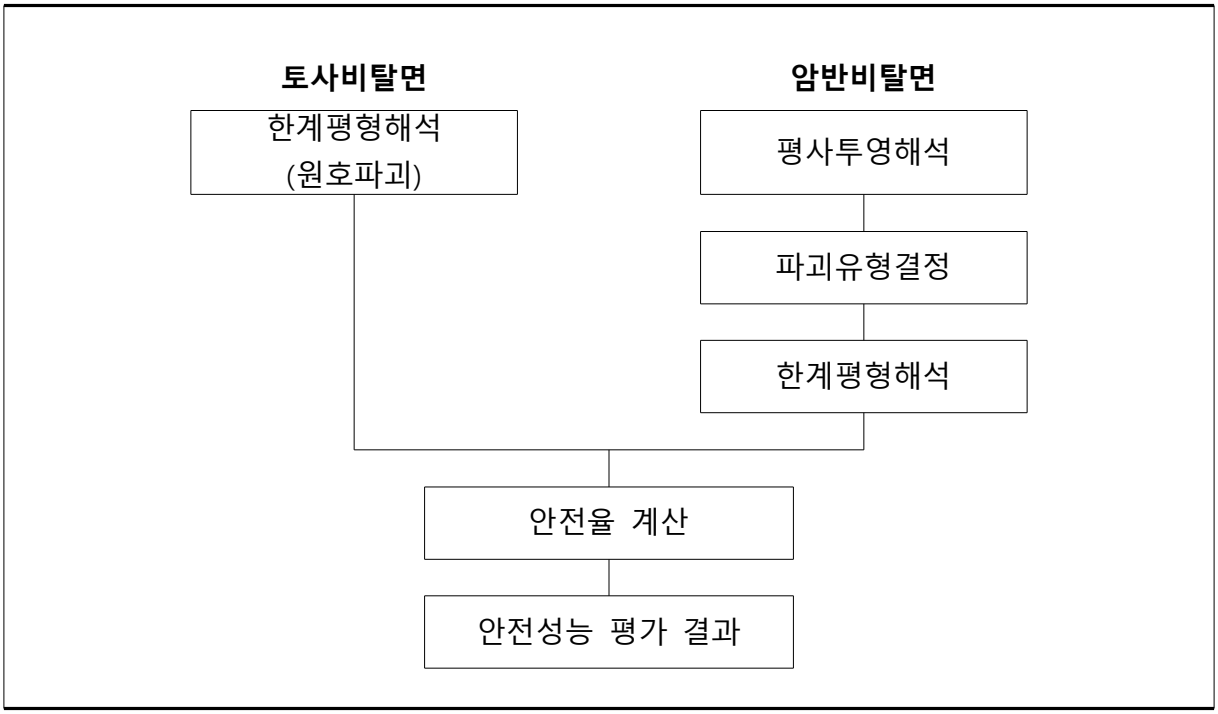
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 63-5> 구조안전성능 평가과정**

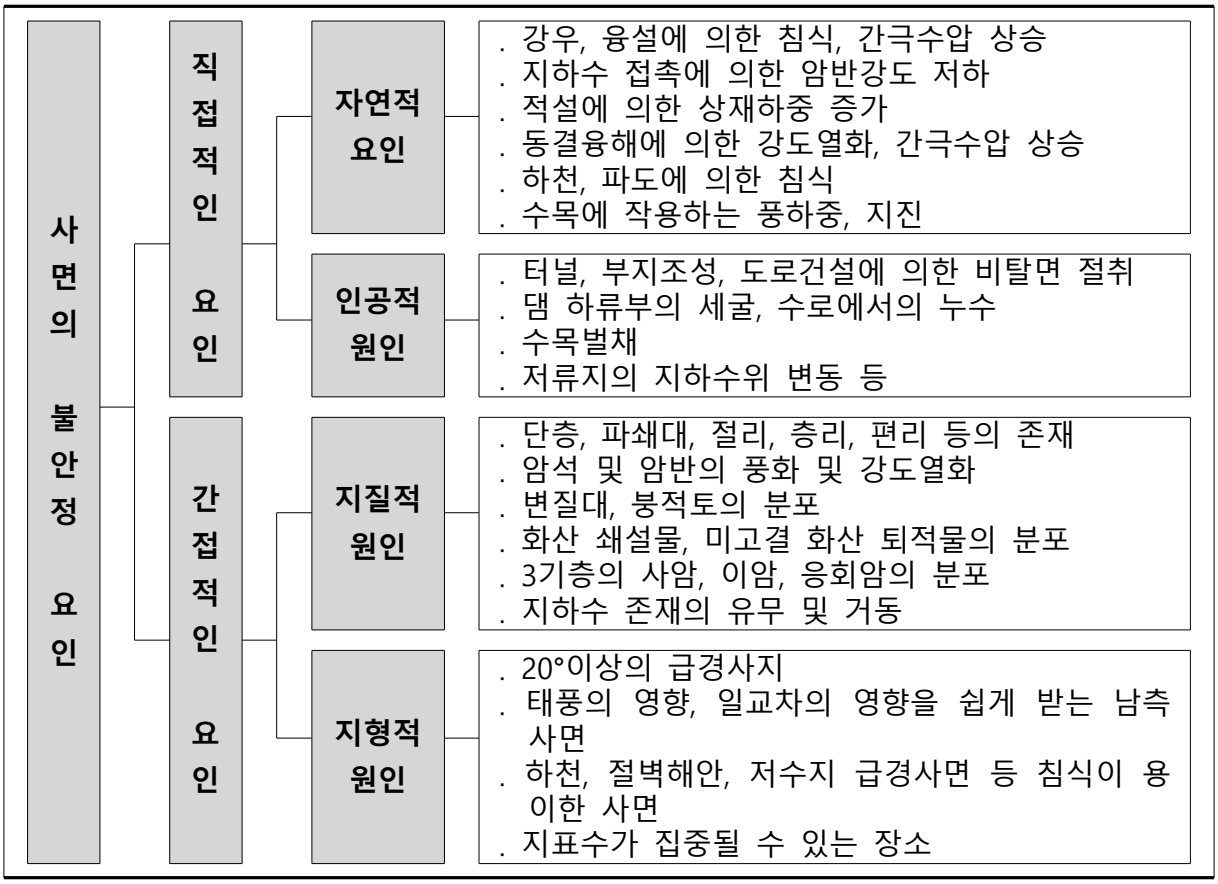
**<표 63-73> 유형별 안정해석 범위**

| 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<br>. 3m이상의 토층이 관찰되거나 풍화가 심하게 진행되어 원호활동이 예상되는 구간에 대해 평사투영해석결과와 별도로 원호파괴 해석을 실시 |
| 혼합비탈면 | ○ | ○ | ○ | . 평사투영해석결과 불안정시 파괴 유형에 따른 한계평형해석 수행<br>. 평사투영해석결과와 별도로 토사구간에 대해 원호파괴해석 실시 |

ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득

ㅇ설계도면과 현재 제원 비교

2) 비탈면의 불안정 요인

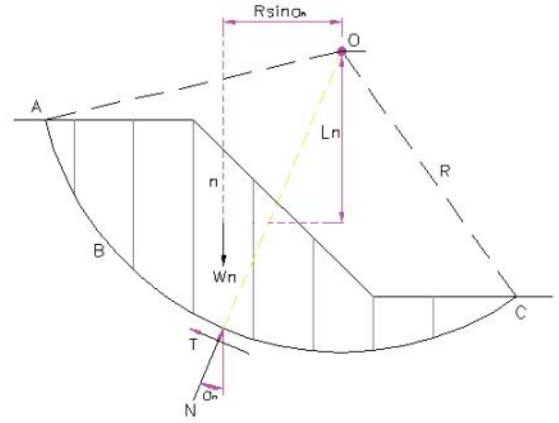



**<그림 63-6> 구조안전성능 평가과정**

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

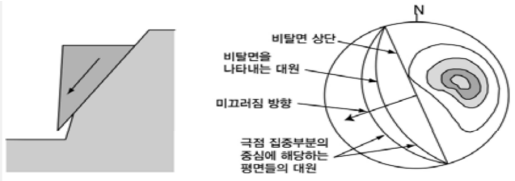
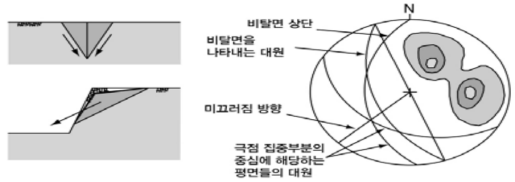
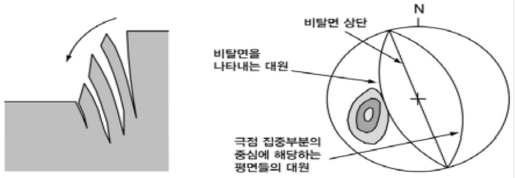
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

**<그림 63-7> 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 63-74> 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 63-75> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율**

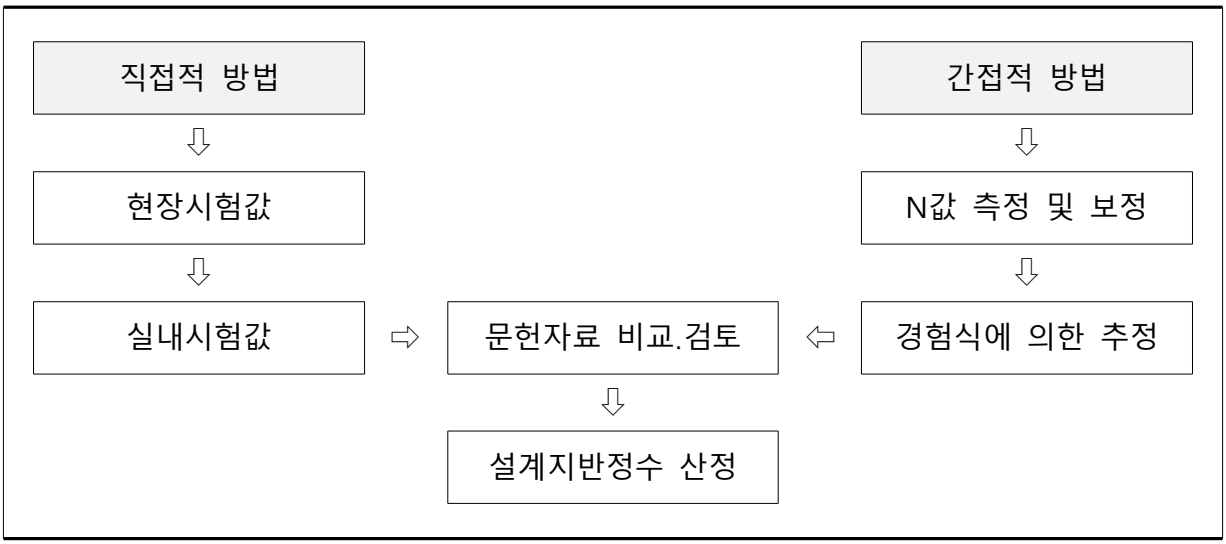
| 구 분 | 기준안전율 | 참조 |
|---|---|---|
| 건기 | FS>1.5 | . 지하수가 없는 것으로 해석 |
| 우기 | FS>1.2<br>또는<br>FS>1.3 | . 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용<br>. 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용)<br>. 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<br>. 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 63-76> 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 63-77> 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 63-78> Geotechnical Engineering Investigation(Roy E. Hunt, 1987)**

| 흙의 종류 | 다짐도 | Dr,% | N | $\gamma_{dry}$ (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 63-79> 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 63-80> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식**

| 구 분 | 지 층 | 단위중량(kN/㎥) | 내부마찰각ø(°) | 점착력c(kPa) | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 상주~영천간 고속도로 건설공사 (10공구) | 풍화(잔적)토 | 19 | 27 | 12 | |
| | 풍화암 | 20 | 29 | 30 | |
| | 기반암 | 25 | 31 | 200 | |

4) 기반암의 지반정수 산정

**① 단위중량 및 강도정수**

◦ 문헌자료 검토

**<표 63-81> 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 63-82> 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 | 27.3~25.6 |
| 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 63-83> 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 (%) | | (°) | 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 63-84> Bieniawski(1989)**

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

**<표 63-85> Trueman (1988)**

| 구 분 | 강도정수 산정식 |
|---|---|
| 점착력($C_m$) | 0.25exp(0.05RMR) (Mpa) |
| 마찰각($\varnothing$) | 0.5RMR + 5 (degree) |

**<표 63-86> 김교원 (1993)**

| 구 분 | 강도정수 산정식 |
|---|---|
| 점착력($C_m$) | 0.02exp(0.08RMR*) (Mpa) |
| 마찰각($\varnothing$) | 0.25(RMR*) + 27.5 (degree) |

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 적용 지반정수 요약

| 지층 | 단위중량 kN/㎥ | 내부마찰각 ° | 점착력 kPa | 프와송비 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 풍화토 | 19 | 27 | 12 | 0.3 | |
| 풍화암 | 20 | 29 | 30 | 0.3 | |
| 기반암 | 25 | 31 | 200 | 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 63-87> 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

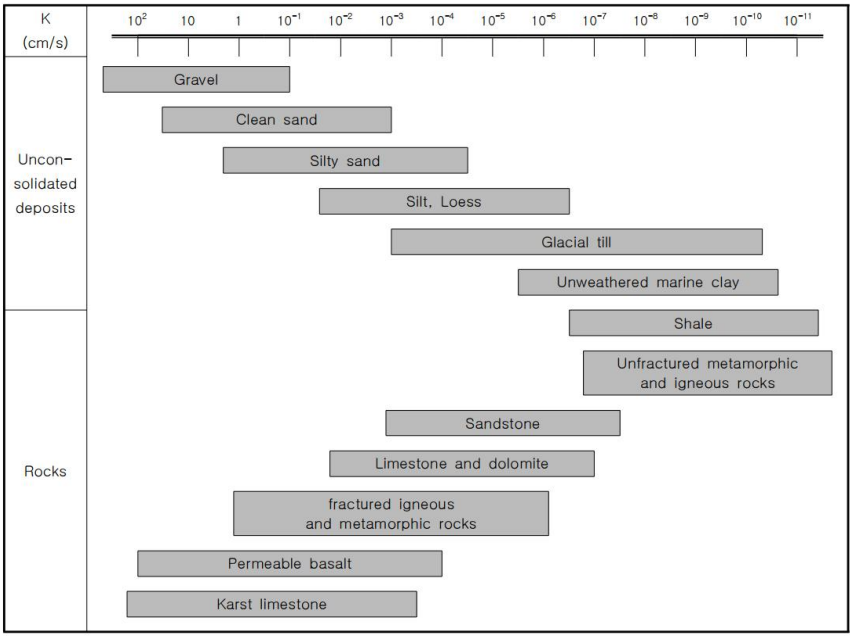
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

**<표 63-88> 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 63-89> 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 63-8> 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 63-90> 도로배수시설 설계빈도**

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

② 비탈면배수시설 설계기준 KDS 11 70 25 : 2016

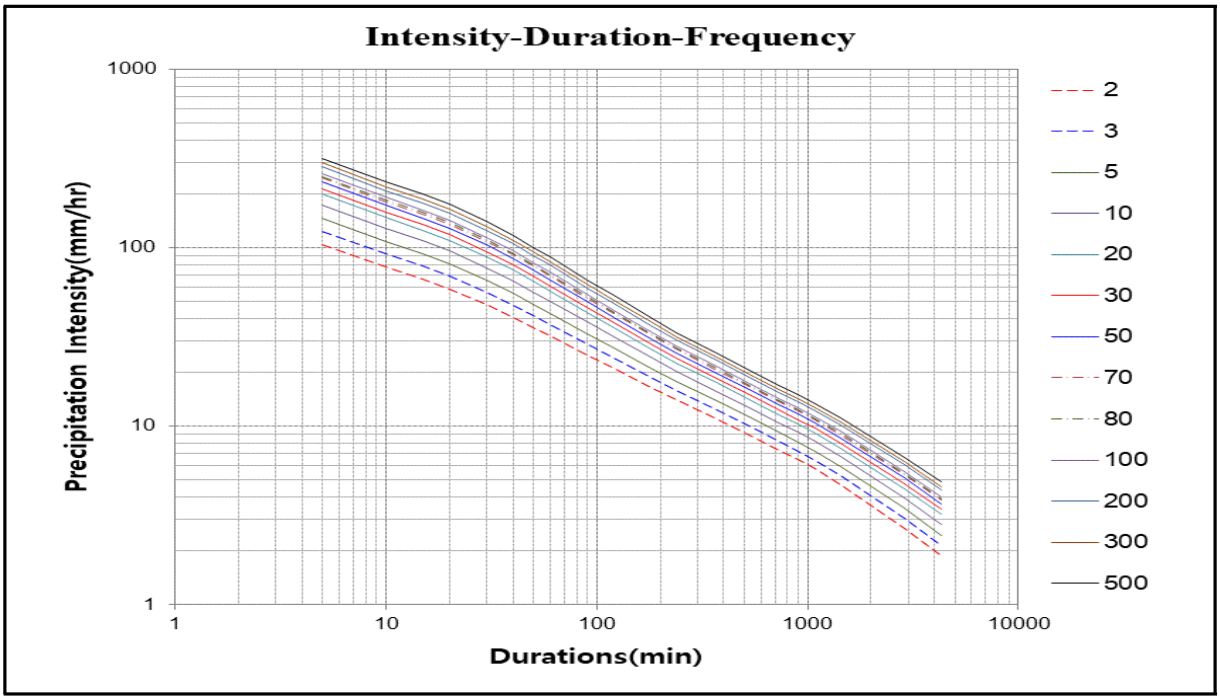
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 영천지역




**<그림 63-9> 영천지역 IDF곡선**

영천(281) 지점의 확률강우강도(단위:mm/hr)

| 재현기간 (년) | 지속기간(분) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 90 | 120 |
| 2 | 104.6 | 78.5 | 66.8 | 58.8 | 47.9 | 40.8 | 35.8 | 32.1 | 25.0 | 21.0 |
| 3 | 123.9 | 93.0 | 79.1 | 69.4 | 56.3 | 47.7 | 41.7 | 37.2 | 28.8 | 24.0 |
| 5 | 145.6 | 108.8 | 92.6 | 81.2 | 65.7 | 55.5 | 48.3 | 43.0 | 33.0 | 27.4 |
| 10 | 173.4 | 128.6 | 109.4 | 96.0 | 77.4 | 65.2 | 56.6 | 50.2 | 38.3 | 31.6 |
| 20 | 199.8 | 147.5 | 125.6 | 110.1 | 88.7 | 74.6 | 64.6 | 57.2 | 43.3 | 35.6 |
| 30 | 214.3 | 158.6 | 135.0 | 118.4 | 95.2 | 79.9 | 69.2 | 61.2 | 46.2 | 37.9 |
| 50 | 233.5 | 172.2 | 146.6 | 128.5 | 103.3 | 86.6 | 74.9 | 66.1 | 49.9 | 40.8 |
| 70 | 245.6 | 181.1 | 154.3 | 135.2 | 108.7 | 91.1 | 78.6 | 69.4 | 52.2 | 42.7 |
| 80 | 250.4 | 185.0 | 157.4 | 137.9 | 110.8 | 92.8 | 80.1 | 70.7 | 53.2 | 43.5 |
| 100 | 258.8 | 191.0 | 162.6 | 142.4 | 114.4 | 95.7 | 82.6 | 72.9 | 54.8 | 44.7 |
| 200 | 283.0 | 209.1 | 178.1 | 156.1 | 125.2 | 104.7 | 90.2 | 79.5 | 59.6 | 48.6 |
| 300 | 298.6 | 219.9 | 187.3 | 164.1 | 131.6 | 110.0 | 94.8 | 83.5 | 62.5 | 50.9 |
| 500 | 316.7 | 233.6 | 198.9 | 174.2 | 139.7 | 116.7 | 100.4 | 88.4 | 66.1 | 53.7 |

확률강우강도(㎜/hr)

**<그림 63-10> 영천지역 확률강우강도(한국 확률강우량정보 제공)**

**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<br>• 지방도, 시도, 군도 중 방재계획상 필요한 도로에 건설된 교량<br>• 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<br>• 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<br>• 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 63-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)**

**<표 63-91> 설계지반운동 수준**

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

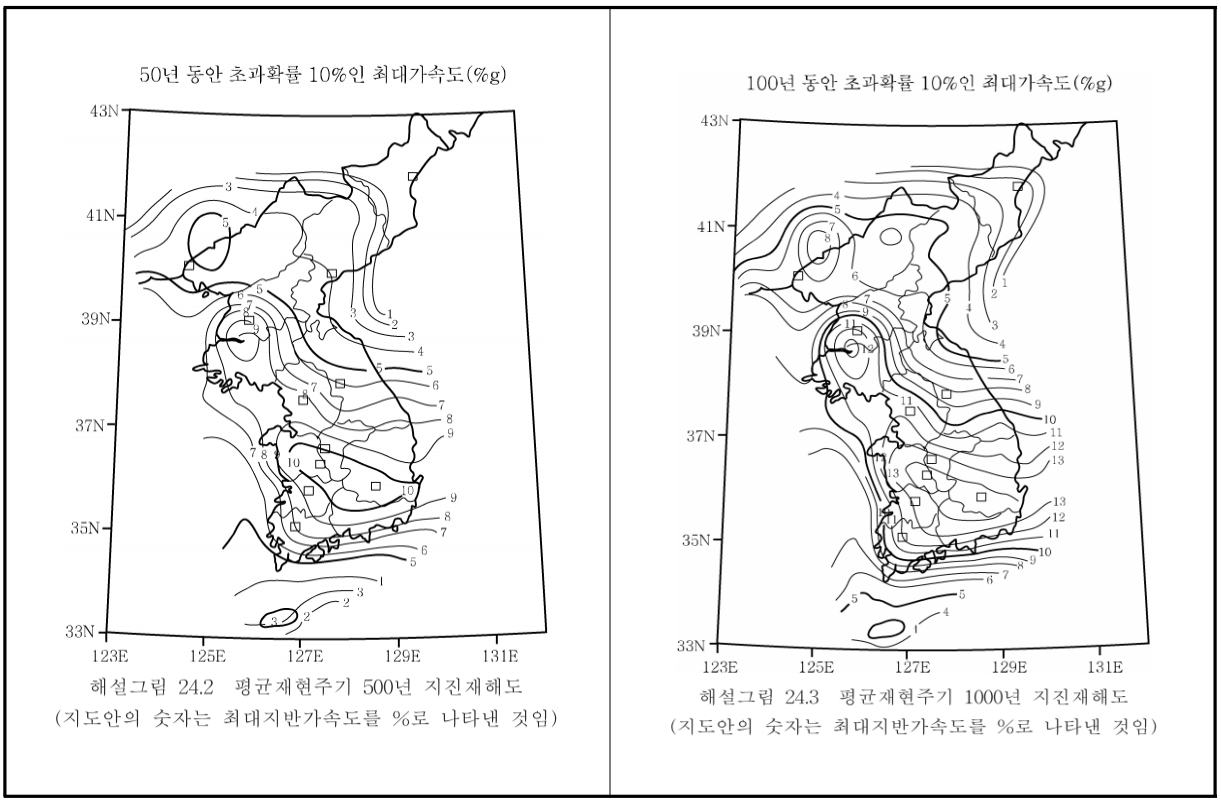
2) 설계지반운동

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 63-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도**

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

**<표 63-92> 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 63-93> 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

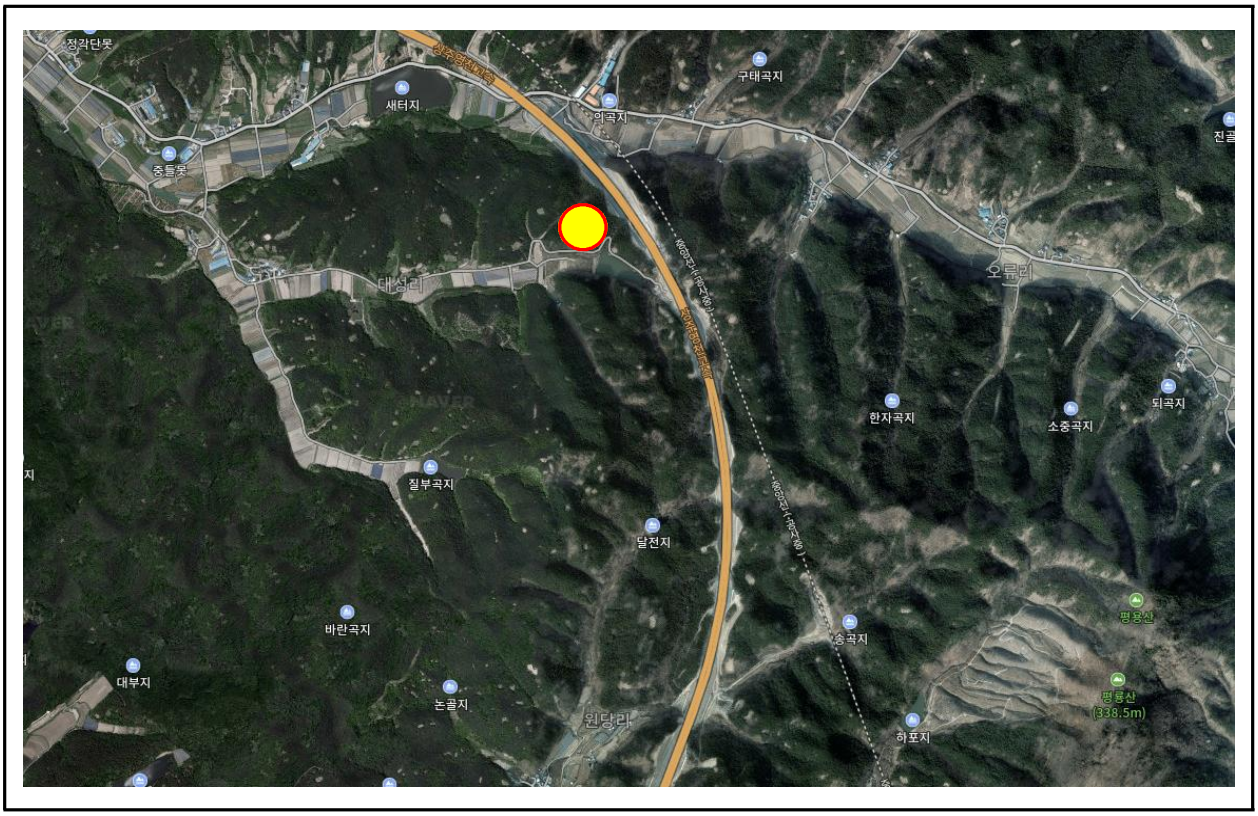
3) 지진가속도계수 선정

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 63-94> 검토대상 비탈면구간 및 현황

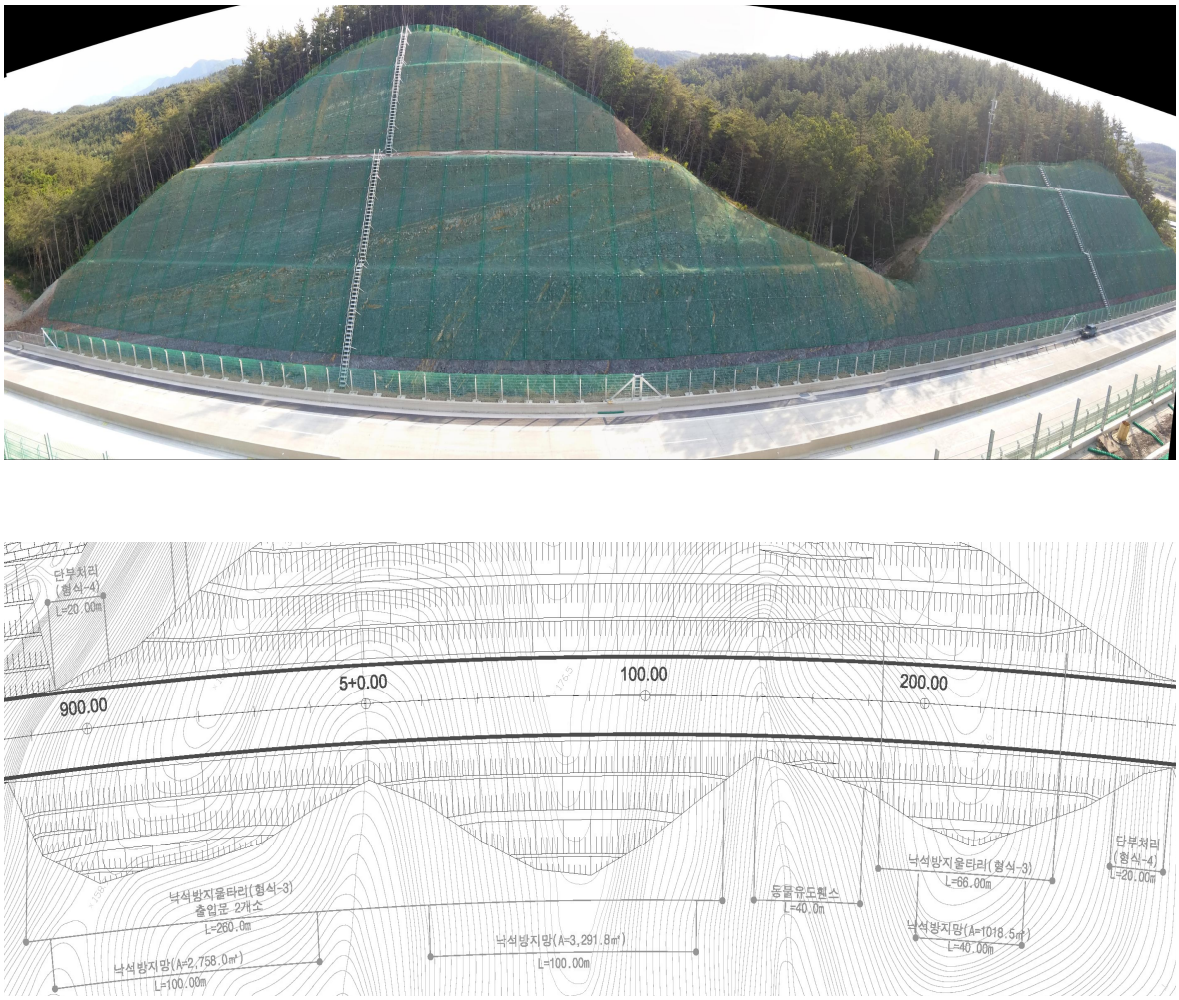
| 구조물명 | 위치 | 이정 (km) | 대표구간 | 비탈면 현황 | | | | 준공년도 | 경사/경사방향 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 높이 (m) | 토사/풍화암 | 암반 | 보강형식 | | |
| 영천절토63 | 경상북도 영천시 고정면 대성리 | 89.518 ~ 89.958 | STA.89+548 | 32.0 | 4.0 | 28.0 | - | 2017 | 45/088~098 |
| | | | STA.89+738 | 33.6 | 5.0 | 28.6 | - | 2017 | 45/088~098 |
| | | | STA.89+888 | 25.0 | 3.0 | 22.0 | - | 2017 | 45/088~098 |




<그림 63-13> 영천절토63 검토대상 비탈면구간

### 사. 영천절토63 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



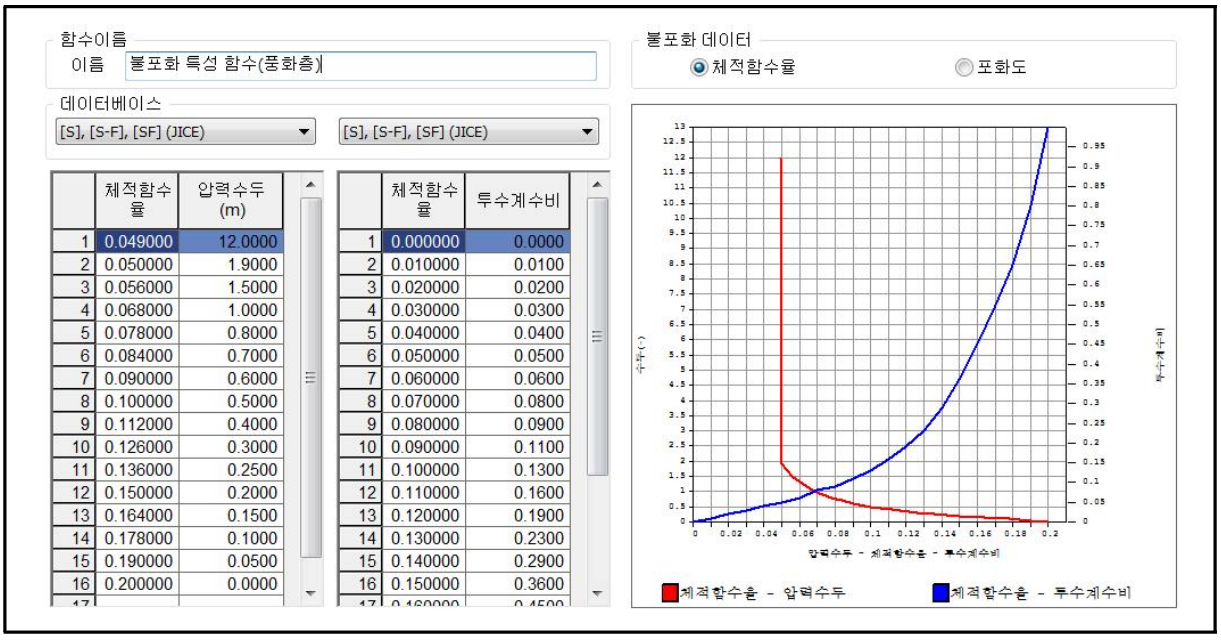

**<그림 63-14> 영천절토63 검토대상 비탈면구간**

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 kPa | 투수계수 ㎝/sec | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 풍화토 | 19 | 27 | 12 | 7.21E-05 | |
| 풍화암 | 20 | 29 | 30 | 3.69E-05 | |
| 기반암 | 25 | 31 | 200 | 5.68E-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 |

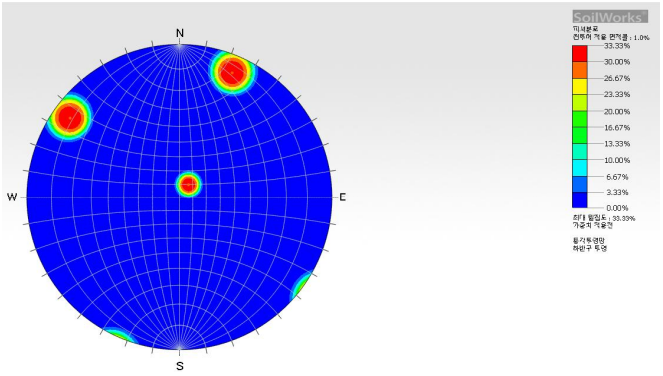
| | 체적함수율 | 투수계수비 |
|---|---|---|
| 1 | 0.000000 | 0.0000 |
| 2 | 0.010000 | 0.0100 |
| 3 | 0.020000 | 0.0200 |
| 4 | 0.030000 | 0.0300 |
| 5 | 0.040000 | 0.0400 |
| 6 | 0.050000 | 0.0500 |
| 7 | 0.060000 | 0.0600 |
| 8 | 0.070000 | 0.0800 |
| 9 | 0.080000 | 0.0900 |
| 10 | 0.090000 | 0.1100 |
| 11 | 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 63-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수**

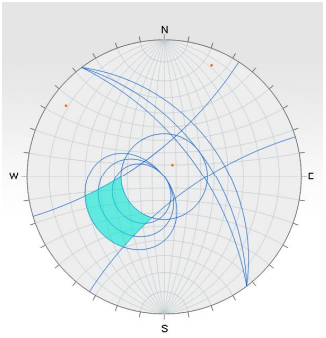
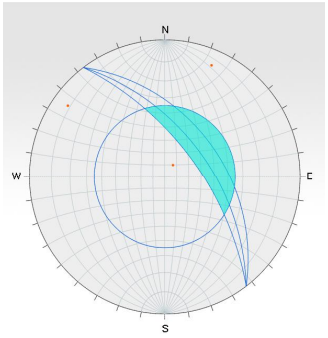
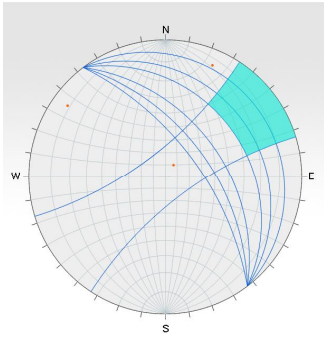
3) 1구간 (STA.89+518 ~ 89+658)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

| 구 분 | 점 검 결 과 | | |
|---|---|---|---|
| 평사 투영도 |  | dip<br>83<br>83<br>12 | dip direction<br>203<br>126<br>215 |

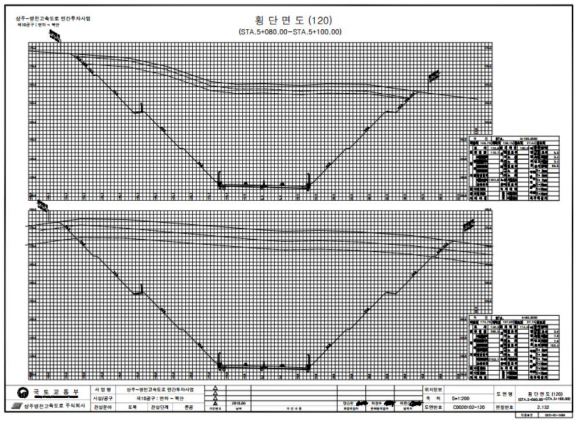
◦ 해석결과

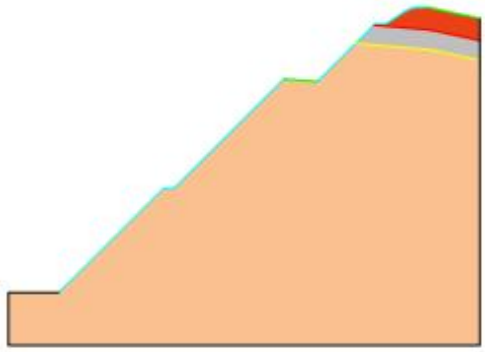
| 평면파괴 | 쐐기파괴 | 전도파괴 |
|---|---|---|
|  |  |  |

| 구 분 | 평면파괴 | 쐐기파괴 | 전도파괴 |
|---|---|---|---|
| 해석결과 | 안정 | 안정 | 안정 |
| 평 가 | ◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음<br>◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음<br>◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 | | |

② 토사깍기비탈면 안정성검토

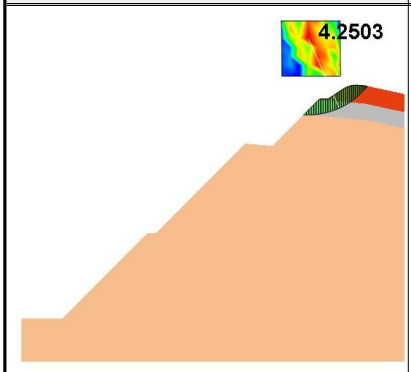
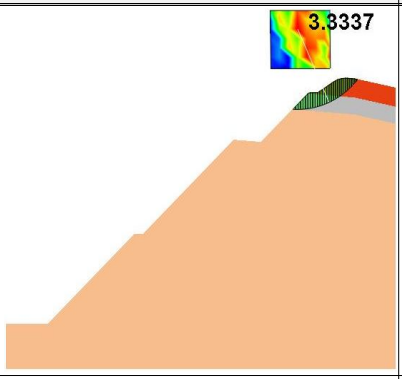
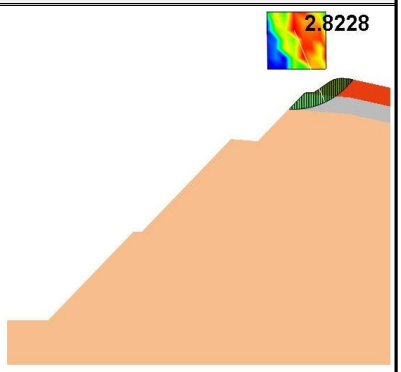
◦ 검토단면



대표단면 : STA.89+548, 영천

◦ 해석결과

| 건기시 | 우기시 | 지진시 |
|---|---|---|
|   |   |   |
| 안전율 : 4.25 | 안전율 : 3.33 | 안전율 : 2.82 |

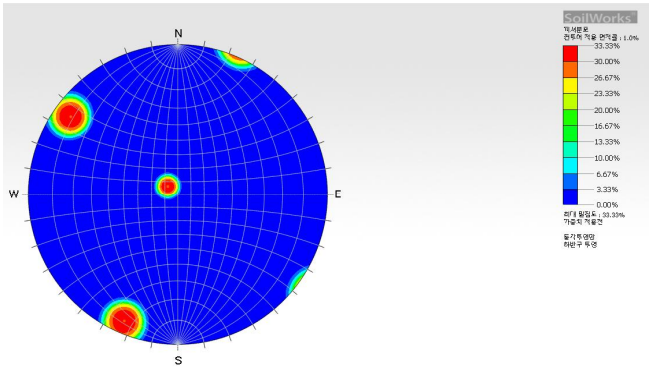
③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

| 구 분 | 검토 결과 | | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 암반구간 (평사투영해석) | 평면파괴 | 안정 | |
| | 쐐기파괴 | 안정 | |
| | 전도파괴 | 안정 | |
| 토사구간 (한계평형해석) | 건기시 | Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K | |
| | 우기시 | Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K | |
| | 지진시 | Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K | |

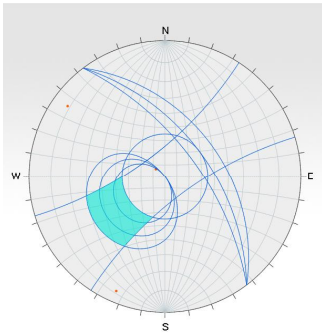
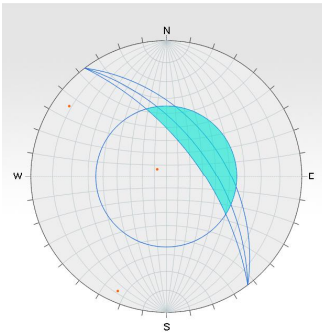
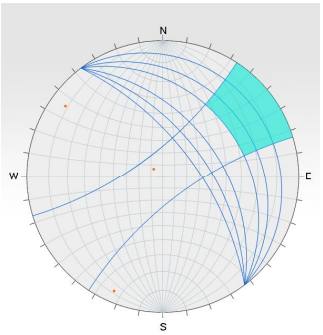
4) 2구간 (STA.89+658 ~ 89+798)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

| 구 분 | 점 검 결 과 | | |
|---|---|---|---|
| 평사 투영도 |  | dip | dip direction |
| | | 10 | 130 |
| | | 83 | 126 |
| | | 85 | 23 |

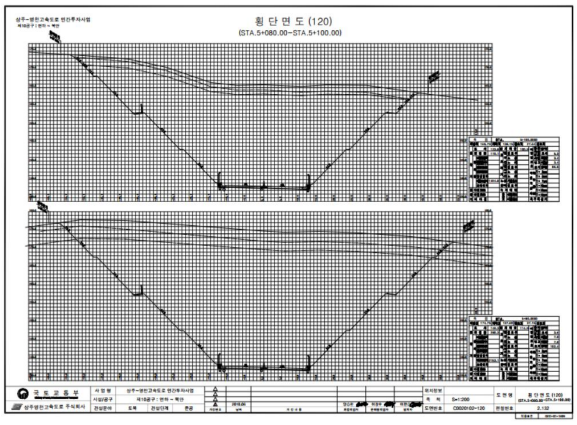
◦ 해석결과

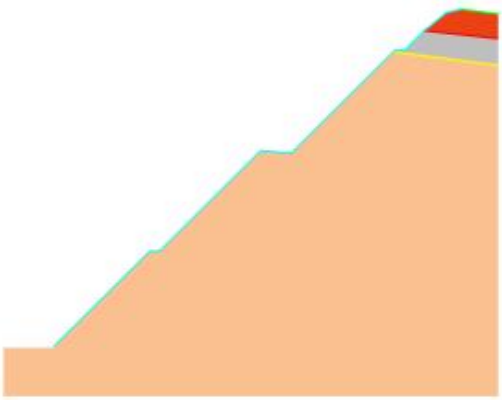
| 평면파괴 | 쐐기파괴 | 전도파괴 |
|---|---|---|
|  |  |  |

| 구 분 | 평면파괴 | 쐐기파괴 | 전도파괴 |
|---|---|---|---|
| 해석결과 | 안정 | 안정 | 안정 |
| 평 가 | ◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음<br>◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음<br>◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 | | |

② 토사깍기비탈면 안정성검토

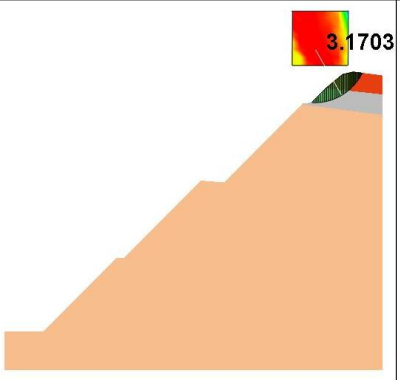
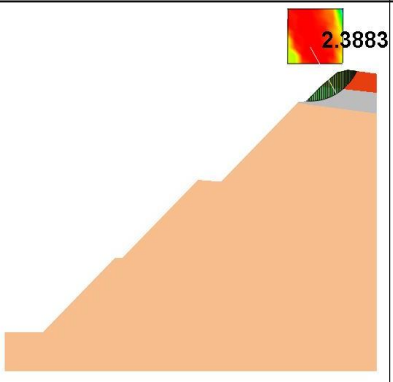
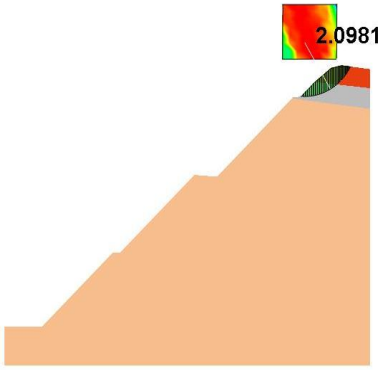
◦ 검토단면



대표단면 : STA.89+738, 영천

◦ 해석결과

| 건기시 | 우기시 | 지진시 |
|---|---|---|
|   |   |   |
| 안전율 : 3.17 | 안전율 : 2.38 | 안전율 : 2.09 |

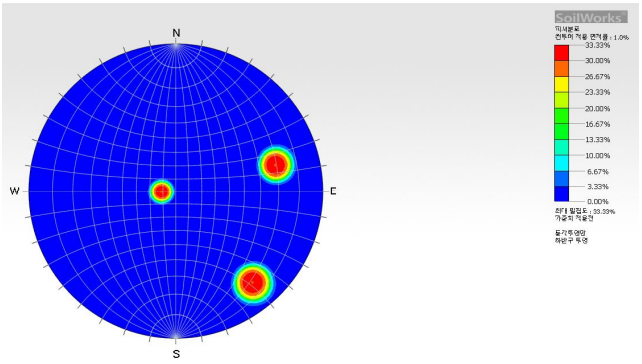
③ 2구간 비탈면 안정성검토 결과

| 구 분 | 검토 결과 | | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 암반구간 (평사투영해석) | 평면파괴 | 안정 | |
| | 쐐기파괴 | 안정 | |
| | 전도파괴 | 안정 | |
| 토사구간 (한계평형해석) | 건기시 | Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K | |
| | 우기시 | Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K | |
| | 지진시 | Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K | |

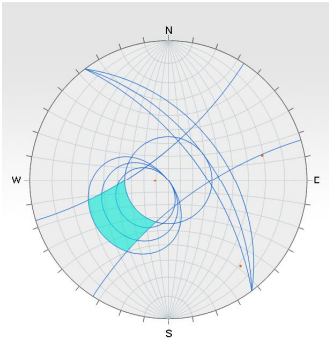
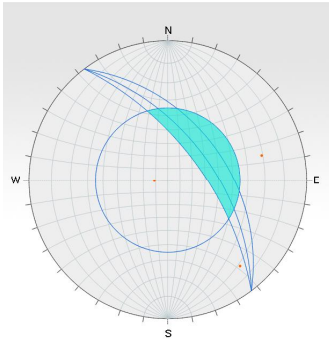
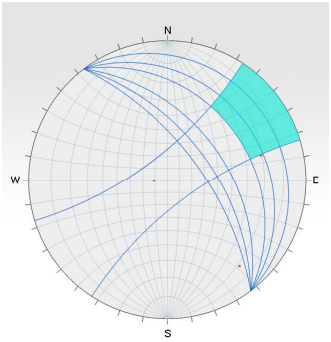
5) 3구간 (STA.89+798 ~ 89+958)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

| 구 분 | 점 검 결 과 | | |
|---|---|---|---|
| 평사 투영도 |  | dip | dip direction |
| | | 78 | 230 |
| | | 70 | 225 |
| | | 11 | 89 |

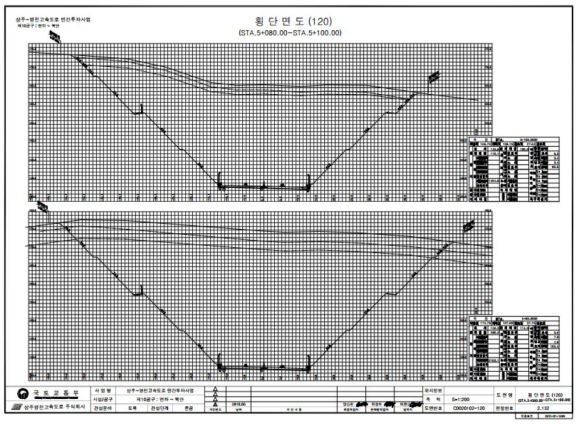
◦ 해석결과

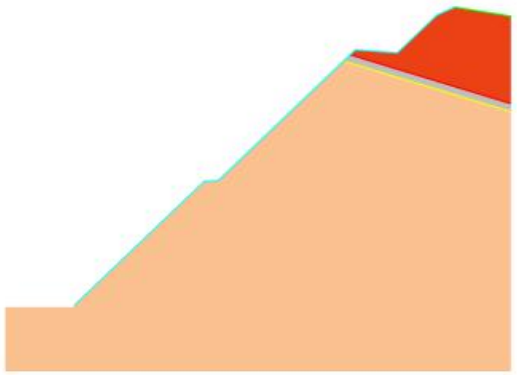
| 평면파괴 | 쐐기파괴 | 전도파괴 |
|---|---|---|
|  |  |  |

| 구 분 | 평면파괴 | 쐐기파괴 | 전도파괴 |
|---|---|---|---|
| 해석결과 | 안정 | 안정 | 안정 |
| 평 가 | ◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음<br>◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음<br>◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 | | |

② 토사깍기비탈면 안정성검토

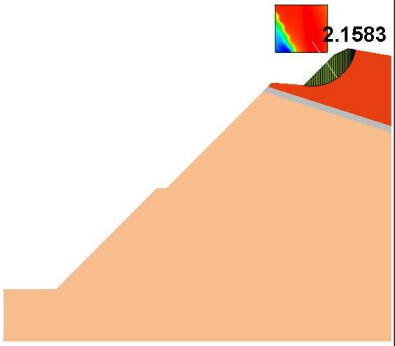
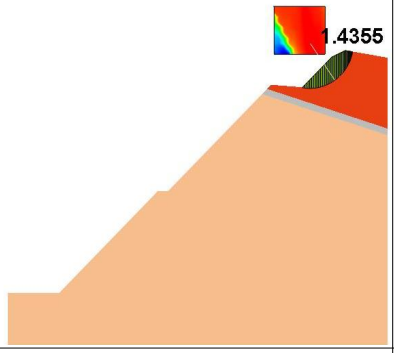
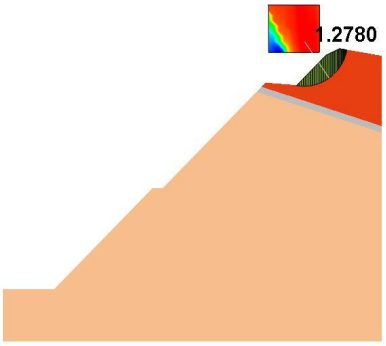
◦ 검토단면



대표단면 : STA.89+888, 영천

◦ 해석결과

| 건기시 | 우기시 | 지진시 |
|---|---|---|
|   |   |   |
| 안전율 : 2.15 | 안전율 : 1.43 | 안전율 : 1.27 |

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 | |
| | 우기시 | Fs ≥ 1.2 ⇨ 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 평면파괴, 전도파괴, 쐐기파괴에 대한 가능성이 없는 것으로 분석되었으며, 한계평형해석을 시행한 결과 건기 및 우기시 허용안전율을 상회하는 것으로 검토되었다. 금회 현장조사를 통한 평사투영해석 결과 각각의 파괴유형에 대해 안전한 것으로 분석되어 구조안전성능평가는 A등급으로 평가되었다.

**<표 63-95> 구조안전성능평가 결과**

| 구조안전성능 평가 결과 산정표 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **시설물명** | | **영천절토63** | | |
| **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 | 2.15 | a | Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K |
| | 우기시 | 1.43 | a | Fs ≥ 1.3 ⇨ O.K |
| | 지진시 | 1.27 | a | Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K |
| **구조안전성능평가 결과** | | **A** | | |

### 63.4.3 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 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 63-96> 안전성능 평가 결과**

| 안전성능 평가 결과 산정표 | | | |
|---|---|---|---|
| **시설물명** | **영천절토63** | | |
| **평가 구분** | 결함지수 | 평가 결과 | 비 고 |
| 상태안전성능 | 0.150 | B | 인장균열 없음 |
| 구조안전성능 | 0.080 | A | 특이파괴 유형 없음 |
| 안전성능 | 0.150 | B | |
| 안전성능 결과 | ㅇ상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택.<br>ㅇ**안전성능평가 결과 : B등급** | | |

**<표 63-97> 안전성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의**

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

# 63.5 내구성능 평가

## 63.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

**<표 63-98> 평가 대상 사면 개요**

| 구 분 | | 시 설 현 황 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 사면 형식 | | 파쇄암반사면 | SR = 5/33.6 = 0.15 |
| 공용기간 | | 3년 | 2017년 준공 |
| 암반구간 설계(초기)강도 | | 보통암~경암 : 100.0~140.0MPa | 추정 |
| 면적 | 전체 | 4,651㎡ | |
| | 토사구간 | - | |
| | 암반구간 | 4,651㎡ | |
| 표면보호공 | 식생공 | 547㎡ | |
| | 낙석방지망 | 3,322㎡ | |
| 사면보강공 | - | - | |

## 63.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

**<표 63-99> 사면 형식별 내구 성능 지표**

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

### 63.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

**<표 63-100> 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 | 96.0%이상 100%이하 | 97.0%이상 100%이하 | 90.0%이상 100%이하 |
| | b | 96.0%이상 97.5%미만 | 90.0%이상 96.0%미만 | 88.0%이상 97.0%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 63-101> 암반 강도시험 결과**

| 위 치 | 추정강도 평균값(MPa) | 초기값 대비강도(%) | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 89.553k | 114.9 | - | 초기값 미측정으로 대비강도 측정 불가<br>초기값 대비강도(%)<br>= 추정강도 / 초기 강도값 |
| 89.566k | 115.3 | - | |
| 89.578k | 117.8 | - | |
| 89.718k | 108.4 | - | |
| 89.724k | 106.3 | - | |
| 89.731k | 108.0 | - | |
| 89.878k | 95.2 | | |
| 89.885k | 94.2 | | |
| 89.898k | 95.4 | | |
| 평균값 | 106.2 | - | |
| **등급** | **A등급** | | |

**<표 63-102> 표면보호공 평가 결과**

| 항목 | 등급 | 보호공의 종류 | |
|---|---|---|---|
| | | 식생<br>(식생 피복율, %) | 콘크리트뿜어붙이기<br>(손상 면적율, %) |
| 표면<br>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<br>상태, 누수발생(50%이상~70%미만) |
| | e | 매우 불량(0%~30%미만) | 대부분의 범위에서<br>박락 및 유실, 누수발생(70%이상) |

**<표 63-103> 표면보호공 피복 면적**

| 표면보호공 종류 | 식생공 | | 콘크리트 뿜어붙이기 | | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 피복면적 | 피복율(%) | 손상면적 | 손상율(%) | |
| 식생 | 547/547㎡ | 100.0% | - | - | |
| 평가 | 식생 피복율이 100.0% 이므로 "a등급"으로 평가함. | | | | |

**<표 63-104> 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<br>(< 5m) | 단단한 충전물<br>(≥ 5m) | 연약한 충전물<br>(< 5m) | 연약한 충전물<br>(≥ 5m) |
| 풍화진행도 | 신선 | 약한 풍화 | 보통 풍화 | 심한 풍화 | 완전 풍화 |

**<표 63-105> 암반의 풍화도 평가 결과**

| 평가항목 | 불연속면(Set A) | | |
|---|---|---|---|
| | Set 1 | Set 2 | Set 3 |
| 길이(m) | 3~10m 미만 | 3~10m 미만 | 3~10m 미만 |
| | c(10) | c(10) | c(10) |
| 틈새(㎜) | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 |
| | b(5) | b(5) | b(5) |
| 거칠기 | 거침 | 거침 | 거침 |
| | b(5) | b(5) | b(5) |
| 충전물 | hard | hard | hard |
| | b(5) | b(5) | b(5) |
| 풍화진행도 | MW | MW | MW |
| | c(10) | c(10) | c(10) |
| 합 계 | 35 | 35 | 35 |
| 평 균 | 7.0 | 7.0 | 7.0 |
| **평가 결과** | c | c | c |

| 평가항목 | 불연속면(Set B) | | |
|---|---|---|---|
| | Set 4 | Set 5 | Set 6 |
| 길이(m) | 3~10m 미만 | 3~10m 미만 | 3~10m 미만 |
| | c(10) | c(10) | c(10) |
| 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 | MW | MW | MW |
| | c(10) | c(10) | c(10) |
| 합 계 | 40 | 40 | 40 |
| 평 균 | 8.0 | 8.0 | 8.0 |
| **평가 결과** | c | c | c |

| 평가항목 | 불연속면(Set C) | | |
|---|---|---|---|
| | Set 7 | Set 8 | Set 9 |
| 길이(m) | 10~20m 미만 | 10~20m 미만 | 10~20m 미만 |
| | d(16) | d(16) | d(16) |
| 틈새(㎜) | < 0.1 | < 0.1 | < 0.1 |
| | b(5) | b(5) | b(5) |
| 거칠기 | 거침 | 거침 | 거침 |
| | b(5) | b(5) | b(5) |
| 충전물 | hard | hard | hard |
| | b(5) | b(5) | b(5) |
| 풍화진행도 | HW | HW | HW |
| | d(16) | d(16) | d(16) |
| 합 계 | 47 | 47 | 47 |
| 평 균 | 9.4 | 9.4 | 9.4 |
| **평가 결과** | c | c | c |

**<표 63-106> 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 | |
| Set C- Set 7 | c | 0.43 | |
| Set C- Set 8 | c | 0.43 | |
| Set C- Set 9 | c | 0.43 | |
| 평균값 | c | 0.43 | 최소 및 최대 제외 |
| **등 급** | | **c** | |

### 63.5.4 내구성능 평가 결과

1) 혼합사면 내구성능 가중치

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

**<표 63-107> 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 | 25 | 28 | - | - | - |

2) 암반구간 내구성능 등급

**<표 63-108> 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 | | | | 0.265 |
| **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 63-109> 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의**

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

# 63.6 종합평가

## 63.6.1 종합평가 개요

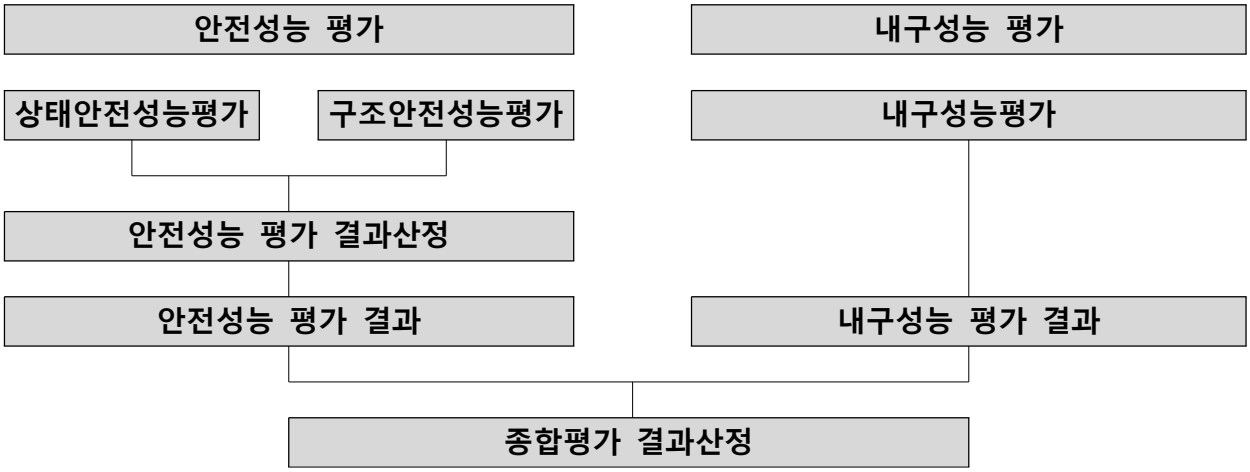
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 63-16> 종합평가 흐름도**

## 63.6.2 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 63-110> 성능간 가중치 산정 값**

| 구분 | 분류 | 성능항목 | |
|---|---|---|---|
| | | 안전성능 | 내구성능 |
| 성능간 가중치 (Wn) | 일반도로 사면<br>고속도로 사면<br>일반철도 사면<br>고속철도 사면 | 0.8 | 0.2 |

**<표 63-111> 종합평가 결과**

| 시설물의 종합평가 결과 산정표 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **시설물명** | 영천절토63 | | **분류** | 상주영천고속도로 |
| **평가 구분** | **성능평가 지수** | **평가 결과** | **성능간가중치(Wn)** | **비 고** |
| 안전성능평가 | Ps=0.150 | B | 0.8 | 인장균열 없음 |
| 내구성능평가 | Pd=0.265 | B | 0.2 | |
| 종합평가 결과 | ㅇ사면의 종합평가 지수(P)<br>= ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn))<br>= (0.150 × 0.8) + (0.265 × 0.2) = 0.173<br>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 63-112> 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 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 |

## 63.7 유지관리 전략 제안

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

### 63.7.1 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 5년 주기의 "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 63-113> 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**<br>일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준 | | | | |

### 63.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "B등급(0.173)"으로 평가되었다.

**<표 63-114> 종합평가 결과 요약**

| 평가구분 | 안전성능 | 내구성능 | 종합성능 |
|---|---|---|---|
| 평가지수 | 0.150 | 0.265 | 0.173 |
| 평가결과 | B | B | B |

### 63.7.3 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, 성능목표와 동일한 "B등급"으로 금회 조사된 손상들에 대해서는 현상유지 수준의 주의관찰과 손상 진전 억제를 위한 보수가 적정할 것으로 판단된다.

**<표 63-115> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안**

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

#### 나. 유지관리 전략 제안

본 비탈면은 현재 목표성능과 동일한 "B등급"의 상태를 유지하고 있으며, 주기적인 점검을 통한 손상의 발생여후 확인 등의 유지관리 전략을 제안한다.

## 63.8 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. 소단배수로 일부구간에서 균열이 발생된 것으로 조사되었으나, 배수기능에는 큰 문제가 없는 것으로 확인되었다. 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 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.

# 제64장 상주절토64

64.1 대상 시설물 현황

64.2 관련 자료의 분석

64.3 현장조사

64.4 안전성능평가

64.5 내구성능평가

64.6 종합평가

64.7 유지관리전략 제안

64.8 종합결론

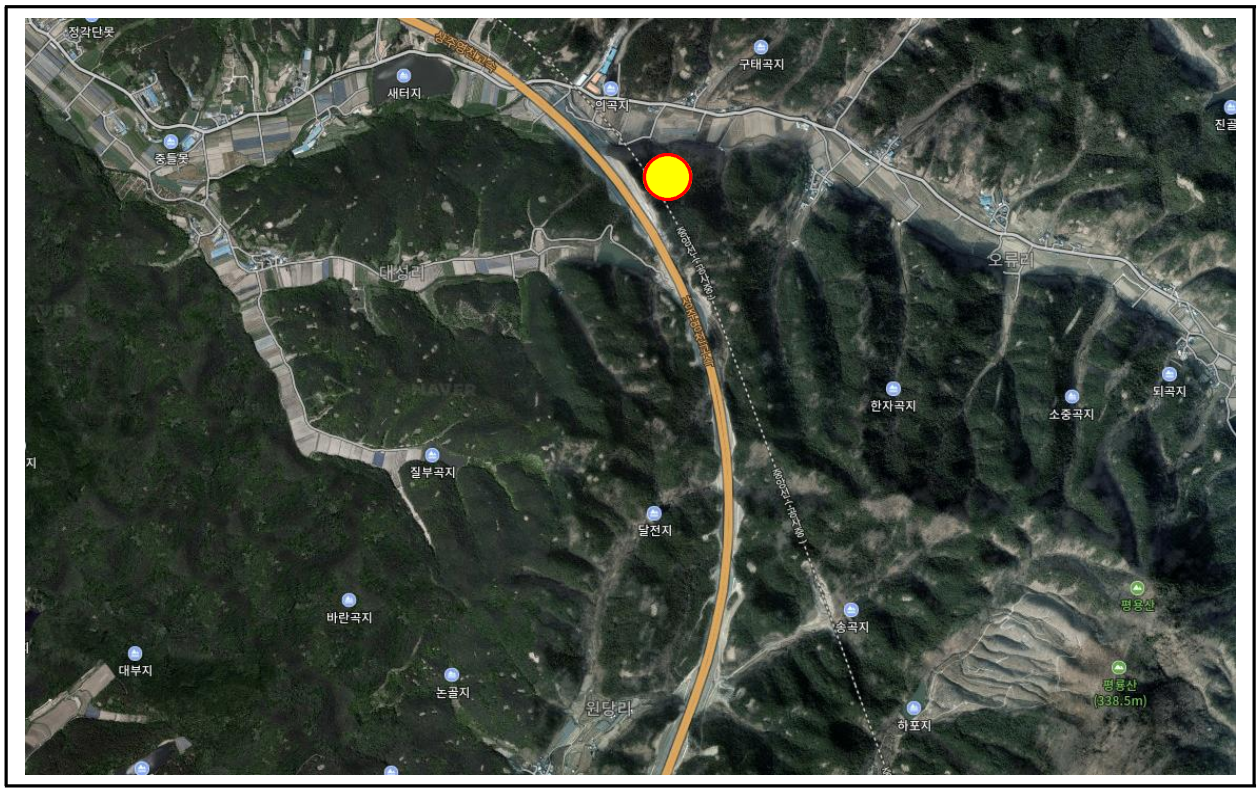
# 제64장 상주절토64

## 64.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 영천시 고경면 대성리(상주영천고속도로 89.588~89.988㎞)에 위치한 사면으로서 총 연장 400.0m, 높이 40.1m의 절토사면으로 시공되어 있다.

**<표 64-1>사면 일반사항**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **시설물번호** | SL2017-0000024 | | **관리번호** | SY SL64 |
| **시설물명** | 상주절토64 | | **시설물구분** | 절토사면 |
| **위 치** | **행정구역** | 경상북도 영천시 고경면 대성리 | | |
| | **위치좌표** | 시점 : 35° 18′17.0″ 127° 48′33.0″ | | |
| | | 종점 : 35° 18′24.0″ 127° 48′20.0″ | | |
| | **관리이정** | 89.588~89.988㎞ | | |
| | **공구이정** | 10공구 STA.4+900~5+300 | | |
| **제 원** | **연 장** | 400m | **높 이** | 40.1m |
| | **경사/방향** | 45/234 | **노 선** | 고속국도 301호선 |
| **관리주체** | 상주영천고속도로(주) | | **관리주체구분** | 민간 |
| **주변환경** | **인공구조물** | - | | |
| | **주변지형** | 산악지형 | **상부사면경사** | 0~10° |
| **시공현황** | **준공년도** | 2017 | **시 공 자** | 대림산업㈜ |
| | **부대시설** | 점검로, 배수로, 산마루측구, 낙석방지울타리, 숏크리트 | | |
| **비 고** | | | | |

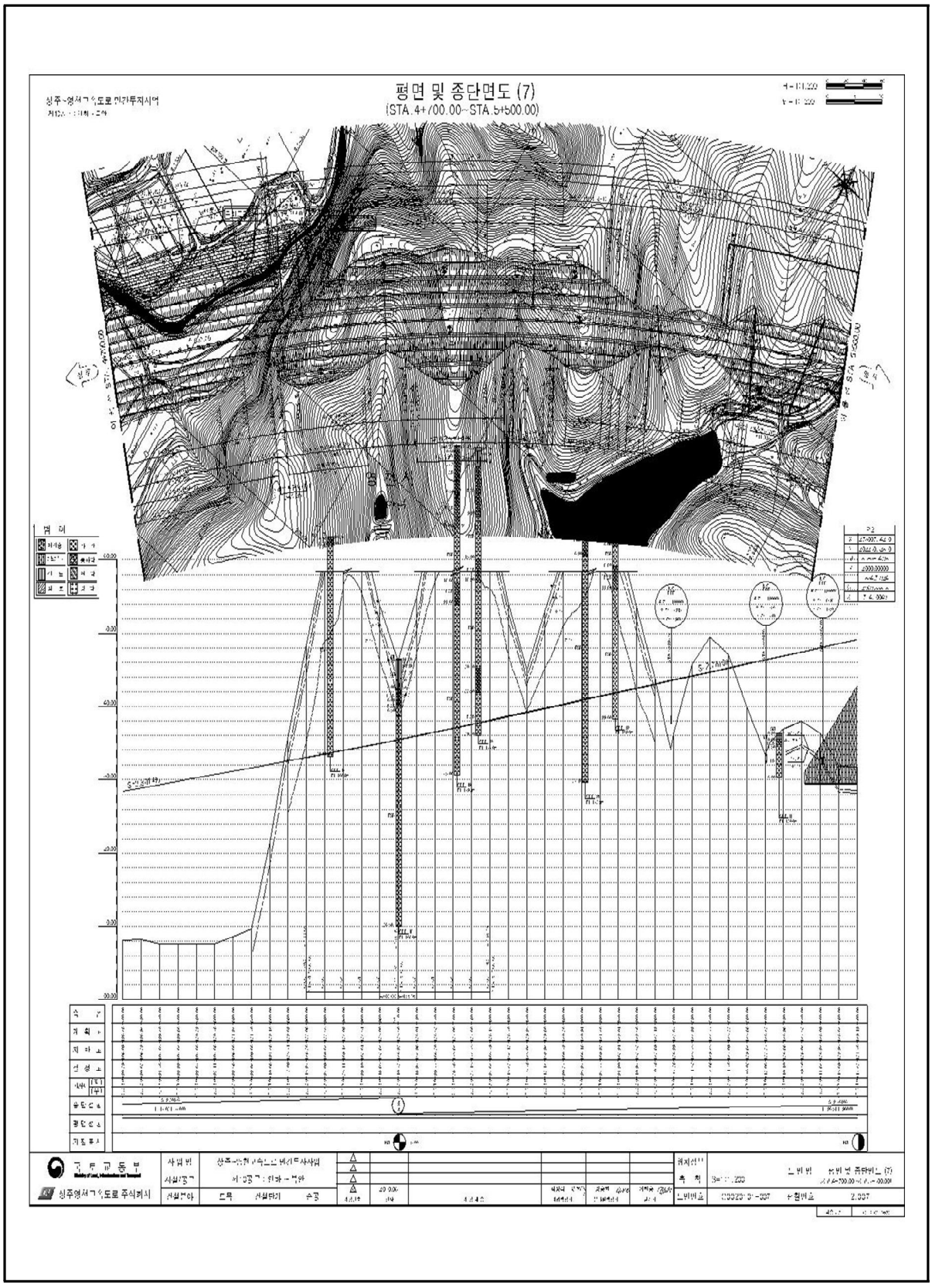



<그림 64-1>위치도

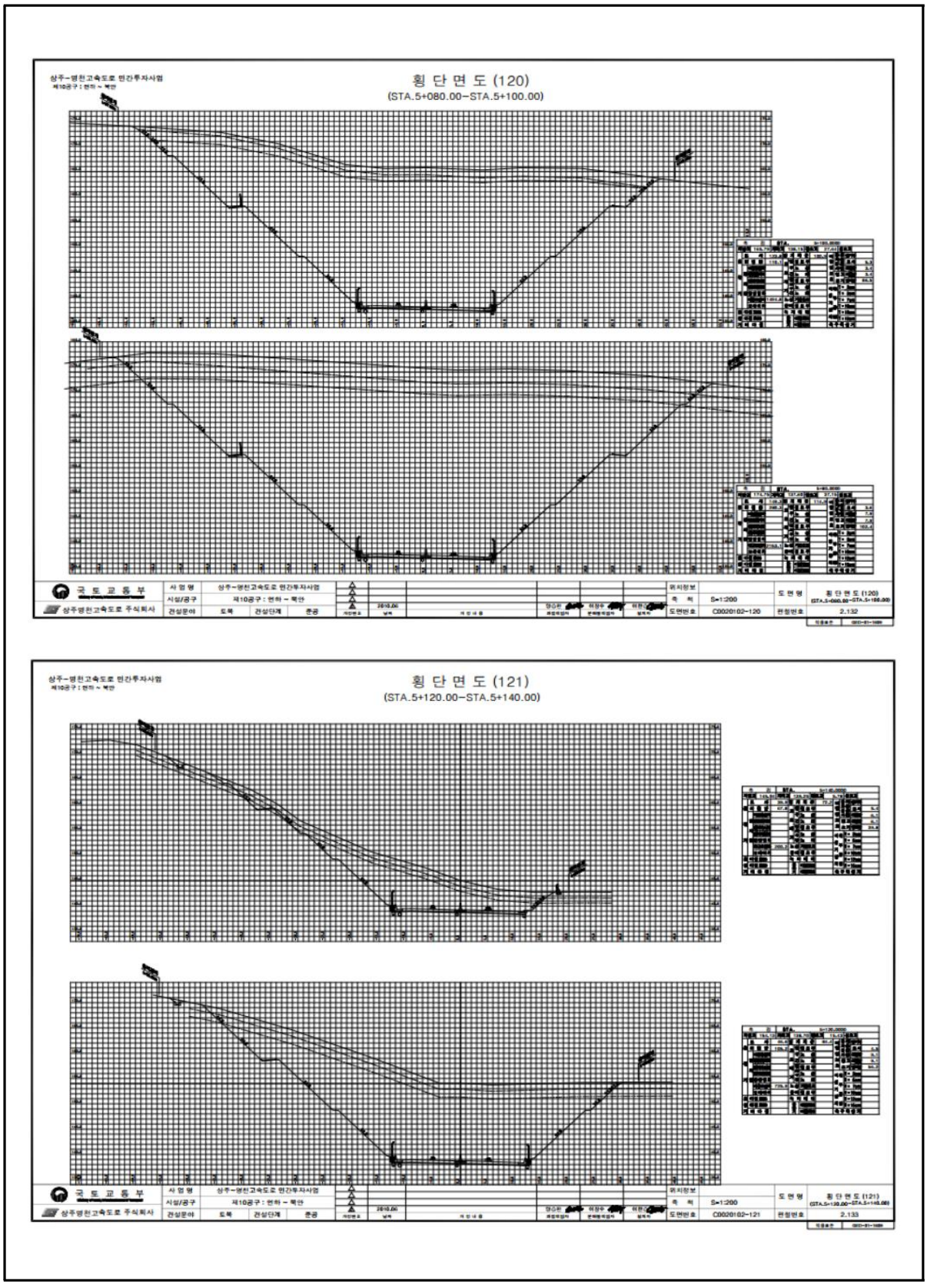
| 2019년 정밀안전점검 |
| --- |
| |

<그림 64-2> 전경사진

<table>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>자연사면 전경</td><td>1소단 배수로 전경</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>산마루측구, 점검계단 전경</td><td>수직도수로 전경</td></tr>
<tr><td> </td><td> </td></tr>
<tr><td>하부 전경</td><td>숏크리트 전경</td></tr>
</table>




**<그림 64-3> 평면도**




**<그림 64-4>표준횡단면도**

# 64.2 관련 자료의 분석

## 64.2.1 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 64-2> 유지관리 관련자료 현황**

| 보존대상 목록 | | 보유현황 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 설계도서 | ㅇ공통<br>- 준공내역서<br>- 공사 및 특별시방서<br>- 각종계산서<br>- 토질 및 지반조사 보고서<br>- 기타 특이사항 보고서 | <br>보유<br>보유<br>보유<br>보유<br>- | ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 10공구 |
| | ㅇ설계도면<br>- 위치도, 전개도, 평면도, 종・횡단면도 등 | 보유 | ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 10공구 |
| 시 설 물 관리대장 | ㅇ기본현황<br>ㅇ상세제원<br>ㅇ유지관리 이력 | 보유<br>보유<br>보유 | ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS) |
| 시공관련 자 료 | ㅇ시공관련자료<br>ㅇ품질관리 관련자료<br>- 재료증명서<br>- 품질시험기록<br>- 각종 시험기록<br>- 시설물 주요 구조 부위에 대한 계측자료<br>ㅇ사고자료 | 일부 보유<br><br>일부보유<br>일부보유<br>일부보유<br>-<br>-<br>- | ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 10공구 |
| 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 2017년 준공된 시설물로 설계 및 시공관련 자료 관리 및 보관상태는 대체로 양호한 것으로 조사되었다. 관련자료 분석을 통해 당초 시공시의 개략적인 지반상태를 파악할 수 있다.

## 64.2.2 지반조사 보고서 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 "상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 10공구"의 설계 및 준공도서 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

1) 사면 적용구배 및 소단설치 기준

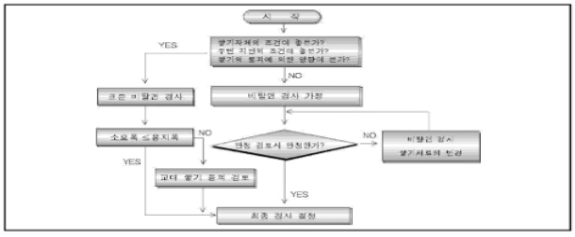
7.4 비탈면 설계기준

비탈면 안정해석을 위한 설계기준은 대체적으로 소단, 비탈면경사 및 최소안전율 등으로 구분할 수 있으며 이에 대하여 검토하면 다음과 같다.

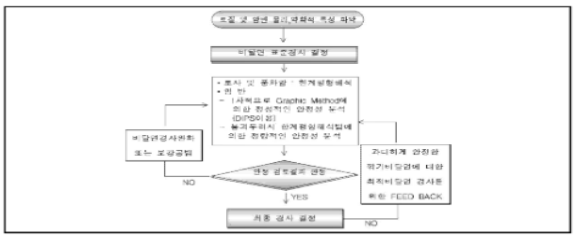
7.4.1 비탈면 경사기준

가. 비탈면 경사의 결정

(1) 쌓기 비탈면경사 결정에 따른 흐름도




(2) 깎기 비탈면경사 결정에 따른 흐름도




248

7.4.2 소단 설치기준

가. 국내외 기관별 소단 적용기준

소단 설치빈도 및 폭에 대하여 국내외 기관별, 비탈면의 종류 및 지반의 특성 등을 고려하여 비교분석한 결과는 다음표와 같다. 소단 적용기준 현황을 보면 일본의 경우는 소단설치 높이 기준을 7m 마다 1~2m로 규정하고 있으며 국내기준은 5~10m마다 0.5~3.0m이다.

소단의 설치목적은 비탈면침식방지를 위한 배수시설 설치, 점검보수용 통로 등의 유지관리에 있으므로 발파암층에서는 H=10.0m 마다 1.0m소단과 리핑암 및 토사층에서는 H=5.0m마다 1.0m소단을 설치하되 H=20.0m마다 3.0m소단을 설치하는 것이 대체적으로 타당한 것으로 사료된다.

[국내외 기관별 소단적용 기준]

| 구 분 | 기관 및 규정명 | 소단적용 기준 |
|---|---|---|
| 국 내 | 건설공사 비탈면 설계기준 (2006) | · 비탈면 높이 10m 이상 : 원칙적으로 소단설치<br>· 비탈면 중간에 5~20m 높이 마다 폭 1~3m 소단설치 |
| | 한국도로공사 도로설계요령 (2002) | · 리핑암 : R.Q.D = 0~10%, H=5m 마다 소단 1m<br>· 발파암<br>RQD = 10~25% : H = 10m 마다 소단 1~2m<br>RQD = 25~50% : H = 10m 마다 소단 1~2m<br>RQD = 50% 이상 : H = 20m 마다 소단 3m |
| | 건설부 도로시설기준 | · H = 5 ~ 10m 마다 소단 1 ~1.5m |
| | 한국토지공사 | · H = 7m 마다 소단 0.5 ~1.5m |
| 일 본 | 도로공단 설계요령 | · H = 7m 마다 소단설치 |
| | 국유철도토목구조물 표준시방서 | · 암석과 접하는 토사 경계부와 7m 마다 소단 설치 |
| | 철도설계요령 | · H > 10m의 경우 7m마다 소단 1.5m, 경사3% |

7.4.3 지하수위 적용기준

가. 적용기준

비탈면안정해석시 지하수위는 계절적인 지하수위 변화, 지형 및 시간적 요소를 고려하여 비탈면의 안정조건에 가장 불리한 상태를 해석에 적용하는 것이 바람직한것으로 사료된다.

쌓기구간에서는 시공속도에 따른 장단기적인 배수조건과 토층 및 풍화암 지반조건에서는 강우시 침투해석에 의한 간극수압분포를 실제 안정해석에 이용하여야 하나 본 설계에서는 다음과 같이 적용하였다.

253

다. 깎기 비탈면

자연지반의 토질은 매우 불균질하고, 풍화도, 성층상태 및 균열 등에 의해 지반의 강도는 현저하게 다르며 시공후 시간의 경과에 따라 응력이완, 대기노출로 인한 풍화진행 등으로 원지반의 전단강도가 약해지므로 비탈면이 차차 불안정하게 된다.

따라서 깎기비탈면 안정을 위한 경사기준 결정은 토질구성, 상태, 특성, 지형조건, 지하수위 상태 및 시공조건과 비탈면의 용도등을 종합적으로 분석 고려되어야 한다.

국내 깎기비탈면 설계기준 적용기준은 건설교통부 및 한국도로공사 설계기준에 의거한 표준경사를 적용하고 있으며 암반층에서 층리나 절리등이 규칙있게 발달할 경우 경사 비탈면에 따라 큰 붕괴가 예상되므로 지반조사 결과를 토대로 파괴형태를 예상하여 이에 대한 적절한 비탈면 경사설정 및 부가적인 안정대책을 수립하도록 계획하였다.

[원지반 토질에 대한 비탈면 경사범위]

| 토 질 조 건 | | 비탈면높이(m) | 경 사 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 모 래 | | - | 1:1.5 이상 | SW, SP |
| 사 질 토 | 밀실한 것 | 5 이하 | 1:0.8 ~ 1:1.0 | SM, SP |
| | | 5~10 | 1:1.0 ~ 1:1.2 | |
| | 밀실하지 않고 입도분포가 나쁨 | 5 이하 | 1:1.0 ~ 1:1.2 | |
| | | 5~10 | 1:1.2 ~ 1:1.5 | |
| 자갈 또는 암괴 섞인 사 질 토 | 밀실하고 입도분포가 좋음 | 10 이하 | 1:0.8 ~ 1:1.0 | SM, SC |
| | | 10~15 | 1:1.0 ~ 1:1.2 | |
| | 밀실하지 않거나 입도분포가 나쁨 | 10 이하 | 1:1.0 ~ 1:1.2 | |
| | | 10~15 | 1:1.2 ~ 1:1.5 | |
| 점 성 토 | | 0~10 | 1:0.8 ~ 1:1.2 | ML, MH, CL, CH |
| | | 5 이하 | 1:1.0 ~ 1:1.2 | GM, GC |
| 암괴 또는 호박돌 섞인 점성토 | | 5~10 | 1:1.2 ~ 1:1.5 | |
| 풍 화 암 | | - | 1:1.0 ~ 1:1.2 | 시편이 형성되지 않는 암 |

주) 1. 실트는 점성토로 간주. 표에 표시한 토질 이외에 대해서는 별도로 고려한다.
2. 위 표의 경사는 소단을 포함하지 않는 단일비탈면의 경사이다.

(건설교통부, 건설공사비탈면설계기준, 2006년)

250

7.4.4 안전율 적용기준

가. 쌓기 비탈면 안전율 기준

국내외 각 기관에서 적용하는 쌓기비탈면의 최소안전율은 쌓기 기초지반의 언약지반 분포여부, 성토체의 시공목적, 비탈면의 영구 구조물 여부 등에 따라 쌓기 비탈면의 안전율 기준에는 차이가 있으며, 각 기관의 쌓기 비탈면 안전율을 간략화 하면 아래 표와 같다.

[국내 기관별 쌓기 비탈면 최소안전율 적용기준]

| 구 분 | | 최 소 안 전 율 (Minimum Safety Factor) | |
|---|---|---|---|
| 건설교통부 | 건설공사 비탈면 설계기준 (2006년) | 건기시(지하수가 없는 것으로 해석) | Fs ≥ 1.5 |
| | | 우기시 | Fs ≥ 1.3 |
| | | 지진시 | Fs ≥ 1.1 |
| 한 국 도 로 공 사 | | 도로설계요령 | Fs ≥ 1.3 |
| 항 만 협 회 | | 항만시설 기술상의 기준, 동해설 | Fs ≥ 1.5 |

나. 깎기 비탈면 안전율 기준

비탈면 안정에 대한 최소안전율은 지역과 공사내용, 비탈면의 중요도, 비탈면 파괴시 주변에 미치는 영향 및 경제성 등에 따라 다르며, 비탈면안정 해석에 앞서 최소안전율 선정은 매우 중요한 의미를 지닌다. 각 기관별로 깎기비탈면에 대한 최소안전율에 대한 적용기준은 아래에 기술되어 있으며 기술된 최소안전율이 어떠한 가정에서 유도되었는지를 파악해야 하나 이런 가정들은 생략되어 있으며 단지 부분적인 서술만을 기재하는 방법으로 간략화 되어있다.

[국내외 기관별 깎기 비탈면 최소안전율 적용기준]

| 구 분 | 최 소 안 전 율 | |
|---|---|---|
| 건설공사 비탈면 설계기준(2006) | 건기시(지하수가 없는 것으로 해석) | Fs ≥ 1.5 |
| | 우기시(지표면에 지하수위를 위치시킨 후 해석) | Fs ≥ 1.2 |
| | 지진시 | Fs ≥ 1.1 |
| 도로설계요령 (2000) | 건기시(지하수위 미고려) | Fs ≥ 1.5 |
| | 우기시(지하수위는 지표면에 위치) | Fs > 1.1~1.2 |
| | 지진시(미국 D'APPOLNIA기준, NAVFAC - DM7.1-329기준) | Fs > 1.1~1.2 |
| 미 국 D'APPOLONIA Consulting Engineers (1975) | 실내시험에 의해 강도를 구할 경우 | 1.5 > Fs > 1.3 |
| | 최대지진가속도를 고려함때 | 1.2 > Fs > 1.0 |
| NAVFAC - DM 7.1-329 | 하중이 오래 작용할 경우 | Fs > 1.5 |
| | 구조물 기초인 경우 | Fs > 2.0 |
| | 일시적인 하중이 적용할 경우 및 시공시 | Fs > 1.35 or 1.25 |
| | 지진하중이 작용하는 경우 | Fs > 1.2 or 1.15 |

255

## 2) 지형 및 지질

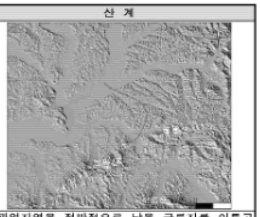
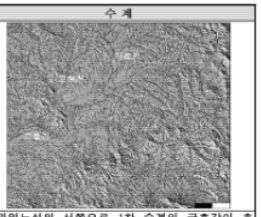
# 제 4 장 조 사 결 과

## 4.1 지표 지질 조사

### 4.1.1 지형 및 지질특성

| | |
|---|---|
| 지질개요 | • 조사지역의 지질은 변성암 상위를 부정합으로 놓인 사암, 역질사암, 역암, 니질암(세일 및 이암)등으로 이루어지는 중생대 경상누층군의 퇴적암류들이 넓게 분포<br>• 조사지역의 구성암석은 충적평원과 호성환경에서 변화되는 암상으로 해당지역에 분포하는 춘산층(반아벌층)의 경우에는 니질층이 매우 우세한 호성 퇴적암임 |

가. 지형특성

| 산 계 | 수 계 |
|---|---|
|  |  |
| • 과업지역은 전반적으로 낮은 구릉지를 이루고 있으며 과업노선은 주로 낮은 구릉지를 따라 지나가고 있음<br>• 과업노선의 남쪽과 남동쪽은 다른 지역에 비해 비교적 높은 산계를 이루고 있음<br>• 과업노선은 시, 종점부는 충적층 및 하천과 접하고 있음 | • 과업노선의 서쪽으로 1차 수계인 금호강이 흐르고 있음<br>• 과업노선의 북쪽에는 고현천과 자호천이 남쪽으로 흐르고 있으며 특히 노선의 종점부는 자호천과 교차되고 있음<br>• 전체적인 수계는 수지상의 형태를 보이며 매우 복잡하게 나타남 |



나. 분포암종 특성

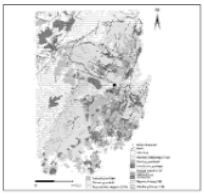
| 구 분 | 지질특성 |
|---|---|
| 춘산층 | • 층의 두께는 700m 내외이며 암회색 및 자색 이암과 실트암, 암회색 세일 및 사암으로 구성된다. 최하부는 2~3m 두께의 구산동층 회암층원으로, 중부는 기시동 역암으로 특징 지워진다. 구산동층회암은 주로 화산기원의 장석 및 석영입자들과 화산희 기질로 구성되었으나, 수류퇴적을 지시하는 층리 및 모양을 갖으며, 식물의 줄기와 잎 화석들이 산출된다(Tateiwa, 1929) |

다. 지질 계통도

| 지질시대 | | 층 명 | | 특 성 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 제4기 | | 충적층(Qu) | | • 하천 및 산곡 퇴적물 | |
| | | | | ~ 부정합 ~ | |
| 중생대 | 백악기 | 중성암맥(Kid)<br>산성암맥(Kad) | | • 괴상의 치밀 | • 전 구간에서 기반암을 관입 |
| | | | | — 관입 — | |
| | | 화강암(Kgr) | | • 괴상의 치밀 | • 3공구 중앙부 |
| | | | | — 관입 — | |
| | | 유천층군 | 안산암질암(Kat) | • 주로 응회암으로 구성 | • 노선과 교차하지 않음 |
| | | | | — 관입 및 분출 — | |
| | | 하양층군 | 신암동층(ke9) | • 암회색 이암 및 세일과 사암이 교호대 | • 10공구 종점부 |
| | | | 춘산층(ke8) | • 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 세일<br>• 하부층에서 석회질 물질 다량 함유 | • 10~8공구에 걸쳐 분포 |
| | | | 사곡층(Ke7) 상부(Ke7-ms) | • 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 세일<br>• 석회질 물질 함유 | • 8공구 시점 |
| | | | 사곡층(Ke7) 하부(Ke7-ss) | • 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 세일과 사암이 교호<br>• 사질부분을 다량 함유 | • 8공구 시점과 7공구 종점 |
| | | | 점곡층(ke6) | • 암회색, 녹회색, 적색 세일 및 이암<br>• 주로 암회색 세일로 구성 | • 7공구 종점 및 중앙부 |
| | | | 후평동층(Ke5) 구계동층원(Ke5-2) | • 사암, 미사암 및 미사질 세일 및 이암(니질 우세) | • 7공구 시점부 |
| | | | 후평동층(Ke5) 구미동층원(Ke5-1) | • 사암, 적색 미사질 세일, 저석처트역 및 역암(사질 우세) | • 6공구 종점부 |
| | | | 일직층(Ke4) | • 사암, 적색 미사질 세일, 역암<br>• 주로 사암이 우세 | • 6공구 중앙 및 종점 |
| | | | 진주층(Ke3) | • 역질사암, 사암, 세일의 교호<br>• 하부층에서 이회암 호층 분포 | • 6공구 시점 및 중앙부 |
| | | | 하산동층(Ke2) 상부(Ke2-2) | • 사암 및 적색 미사암, 이암의 교호 | • 5공구 종점 |
| | | | 하산동층(Ke2) 하부(Ke2-1) | • 사암과 역질사암, 역암의 교호 | • 5공구 중앙 및 시점부 |
| | | | 금당리층원(Ke1-nk) | • 사암과 역질사암, 세일의 교호<br>• 주로 역질 사암 우세 | • 4공구 전구간 |
| | | | 낙동층(ke1) 안경산층원(Ke1-nm) 상부(Ke1-num) | • 사암과 역질사암, 역암 교호 | • 3공구 중앙 및 종점부 |
| | | | 낙동층(ke1) 안경산층원(Ke1-nm) 하부(Ke1-nlm) | • 장석질 사암과 역질사암, 역암 교호<br>• 최하부에 탄질층 협재 | • 3공구 시점 및 중앙부 |
| | | | | ~ 부정합 ~ | |
| | 쥬라기 | 세립질화강암(Jfgr) | | • 엽리 발달 미약<br>• 세립질, 두분석으로 화강섬록암 암상 포함 | • 1공구 종점, 2공구 시점 |
| | | | | 관입 | |
| | | 편마상화강암(Jggr) | | • 엽리 발달<br>• 조립질 | • 1공구 시점 및 중앙, 2공구 중앙부 |



라. 지체구조



• 경상분지는 암상 및 지구조에 의해 몇 개의 소분지로 구분된다. 분지서쪽에 남북방향의 대상으로 발달하는 낙동소분지, 분지 최북단의 일월산 충상단층(thrust)과 청송령 사이에 발달하는 영양소분지, 안동 충상단층 및 청송령과 팔공산 융기대 사이에 발달하는 의성(도평)소분지, 그리고 팔공산 융기대 이남지역에 발달하는 유천(밀양)소분지로 나누어진다.
• 경상분지의 서쪽과 북쪽에서는 경상누층군이 선캄브리아기에 속하는 변성퇴적암류와 쥬라기말의 대보화강암류를 부정합으로 덮고 있고, 동부와 남부는 백악기말의 화성활동과 단층작용으로 심하게 파괴되었으며, 제3기층에 의해 부정합으로 피복되거나 동해 및 남해의 해저로 계속 발달되어 있다.

### 4.1.2 영상정보를 활용한 선형 구조 분석

가. 인공위성영상 분석

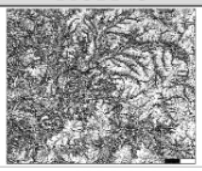
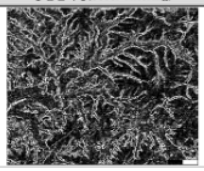
① 목 적

• 과업지역의 광역적인 지형 특성 파악 및 선형구조 발달 상태 파악
• 지형 및 지질특성(단층, 절리, 암맥 등의 선구조)파악
• 과업구간에 대한 지질분포와 단층, 절리 등에 의한 광역적인 선구조 해석

② 원리 및 방법

• 30m급 해상도의 Landsat5 TM 위성영상을 이용하여 분석실시
• 선형 공간 필터링 분석, 주성분 분석, 밴드비율 분석 등을 통해 광역 선구조 해석에 이용
• 식생지수, 습윤도 분석을 통해 식생 및 토양환경 분석 실시

③ 위성영상결과

| 선형공간필터링 | 공간엠보싱(Sobel filtering) |
|---|---|
|  |  |
| • Landsat-7 ETM+ 영상에서 선적인 요소를 강조시키기 위해 고주파 강조 선형 공간필터링을 실시<br>• 고주파강조 공간필터인 Laplacian 필터(Jensen, 1996)를 적용시킨 후의 결과<br>• 지형적인 선구조 이외에 도로나 할만 시설과 같은 인공적인 선구조가 추출됨 | • 영상 내의 지형 또는 선구조의 방향성에 관계없이 지형 지물의 에지를 검출<br>• 선구조 묵안 판독에 유용한 자료임 |



### 7.6.2 암종특성에 따른 비탈면 기울기 현황

가. 지질 및 암종특성

(1) 지질특성

• 본 과업노선은 경상분지의 퇴적암 지역에 위치하며 미세립의 니질암을 90%이상 함유한 춘산층이 주로 분포됨
• 퇴적암 중 이암과 세일로 구성된 니질암은 사암이나 역암에 비해 입자간 공극이 크고 느슨한 특징을 보이며, 탄산염광물 함량이 높을 경우 빠른 시간 내에 풍화되는 특성을 나타냄

(2) 암종특성

• 본구간의 니질암 암종특성 및 풍화특성파악을 위해 XRD, 현미경분석, 산침수에 의한 분말화 시험 및 내구성 시험 등 각종분석 실시
• XRD 및 현미경 분석결과 주구성광물은 석영과 방해석, 그리고 미립의 점토로 구성되었으며, 입자간 교결물질이 방해석인 것으로 판단
• 산침수에 의한 분말화 시험결과 층리에 따른 뚜개짐과 분말화가 상당히 진행됨
• 따라서, 깎기 비탈면 시공시 우수와 지표수에 노출되면 입자간 교결물질인 방해석의 용탈이 발생하여 암반사면이 빠르게 풍화될 것으로 판단

| 구 분 | 일축강도(kg/cm²) | | XRD분석 | 현미경분석 | | NP시험 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 니질암 | 사암 | 점토광물(%) | 실트(%) | 점토(%) | 방해석함량(%) |
| 10공구 | 339~852 | 958~1,317 | 27.2~41.8 | 31.6 | 68.4 | 29.7~39.9 |
| 9공구 | 395~814 | 433~884 | 28.2~39.7 | 52.6 | 47.4 | 5.8~16.8 |
| 8공구 | 535~1,066 | 654~1,345 | 36.4~43.6 | 21.1 | 78.9 | 22.7~28.1 |

주) XRD : X-선 회절분석, NP시험 : 중화잠재(Neutralization Potential) 시험

나. 인근비탈면조사

• 사업노선과 교차하는 4 개소의 고속도로(경부, 대구-포항, 중앙, 중부내륙) 및 기존 도로(국도 및 지방도)의 비탈면 기울기 적용 현황 조사

• 위치 : 신령~영천 현장사무소
• 설명 : 풍화되어 부피가 1/3로 축소됨

• 위치 : 신령~영천 덕산마을 인근
• 설명 : 1:1.0절취, 국부적 붕락발생

3) 지반조사 보고서

## 제 1 장 조 사 개 요

### 1.1 조 사 명

- 상주~영천 고속도로 민간투자사업 실시설계(10공구)

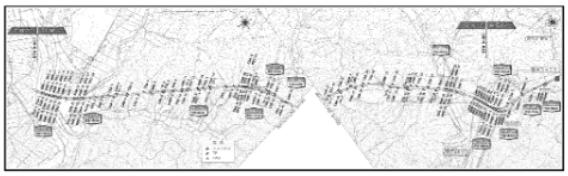
### 1.2 조 사 목 적

- 상주~영천 고속도로 민간투자사업을 위한 지반조사
- 계획노선의 지반공학적 특성을 고려한 조사계획 수립
- 선정된 최적노선을 대상으로 구조물별 특성을 고려한 현장조사, 현장시험 및 실내시험 실시
- 지층의 구성상태, 지반공학적 특성 및 지반조건 파악
- 조사된 자료를 종합·분석하여 합리적이고 경제적인 설계 및 시공에 필요한 공학적 자료 제공

### 1.3 조 사 범 위

| | |
|---|---|
| 위 치 | · 시점 : 경상북도 영천시 언하동 (STA. 0+000) (X=275,770.3573 , Y=197,045.8262)<br>· 종점 : 경상북도 영천시 북안면 임포리(STA. 9+360) (X=269,280.9395 , Y=200,559.7855)<br>· 연장 : 9.36km |
| 특 성 | · 상주~영천간 고속도로 건설을 통한 기존 고속도로(경부, 중부내륙)의 기능 회복 및 연계를 통한 효율성 증대<br>· 고속도로 신설을 통해 동과 지역의 권역별 상호 균형 발전을 통한 공익성 증대 |

### 1.4 위 치 도

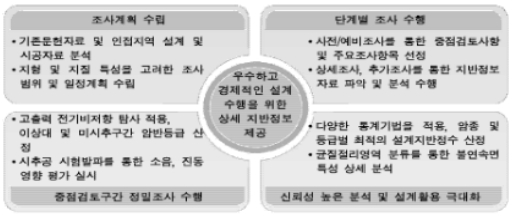




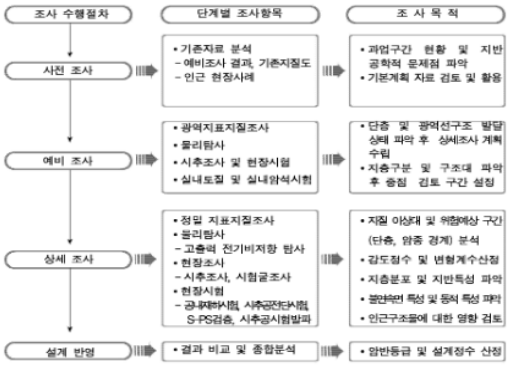
## 제 2 장 조 사 계 획

### 2.1 조사 기본방향 및 수행흐름

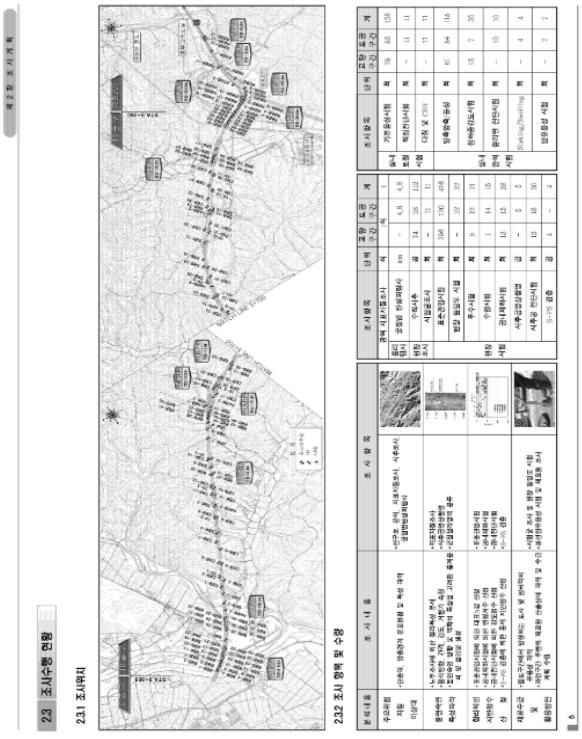
가. 조사 기본방향




나. 조사 수행 흐름도





2.3 조사수행 현황

2.3.1 조사위치

2.3.2 조사 항목 및 수량



## 제 7 장 비탈면 안정성 검토

### 7.1 개 요

#### 7.1.1 검토목적

본 검토는 계획노선에 계획되어 있는 깎기 및 쌓기 비탈면 중 붕괴가능성을 지닌 대깎기 비탈면과 고쌓기 비탈면에 대하여 설계시 지반공학적인 측면에서 조사 및 시험을 실시하고 이를 분석 파악 후 토질 및 암반상태와 안정성을 고려한 안정 비탈면기울기 결정 및 대책 등을 검토하여 경제적인 비탈면 설계방안을 제시하는데 그 목적이 있다.

토사비탈면의 경우 토층이 균질하다는 가정하에 임의의 최소안전율을 갖는 활동 저항면에 대한 안정성 평가가 이루어지나 암반비탈면의 경우 지질구조 및 불연속면의 특성에 의해 안정성을 평가하게 된다. 따라서 본 검토에서는 토사와 암반 비탈면의 파괴특성 차이를 고려하여 본 계획 노선의 비탈면을 토사비탈면과 암반비탈면으로 구분하여 안정검토를 실시하였다.

#### 7.1.2 검토내용

본 구간의 검토대상 비탈면에 대하여 현장조사 및 실내시험을 통하여 얻은 성과를 토대로 검토한 내용은 다음과 같다.

- 현장조사 적정성 분석 및 비탈면 설계정수 산정
- 실내시험 적정성 분석 및 비탈면 설계정수 산정
- 합리적인 비탈면 기울기 검토
- 비탈면 안정대책 및 보호공법 검토

### 7.2 검토구간 선정 및 현황

#### 7.2.1 선정기준

과업구간에 계획되는 비탈면 중 흙쌓기 구간의 검토단면 선정은 일반적으로 흙쌓기 높이가 10m이상, 깎기구간은 절취비탈면 높이가 20m 이상 되는 비탈면을 원칙으로 하였으며, 그 외 현장조건 및 토질조건에 따른 대상은 다음의 기준에 따라 선정하였다.

| 구 분 | 선 정 기 준 |
|---|---|
| 쌓 기 부 | · 비탈면높이가 10m를 초과하는 경우<br>· 비탈면기울기가 표준기울기보다 급한 경우<br>· 쌓기재료의 함수특성이 높고, 전단강도가 낮은 경우<br>· 붕괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우<br>· 지형특성으로 인하여 쌓기토체 내부로 지속적인 지하수의 유입이 발생하는 경우<br>· 홍수시 비탈면이 침수되거나 비탈끝이 침식되는 경우<br>· 쌓기비탈면의 원지반이 양호하지 못한 경우(연약지반 등)<br>· 내진안정해석이 필요한 경우 |
| 깎 기 부 | · 비탈면높이가 20m 이상인 경우<br>· 비탈면기울기가 표준기울기보다 급한 경우<br>· 비탈면 지반이 봉적토로 이루어진 경우<br>· 암반의 풍화가 심하고 음수가 많은 경우<br>· 붕괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우<br>· 불연속면이 비탈면 방향으로 기울기진 지질조건인 경우<br>· 내진안정해석이 필요한 경우<br>· 불안정 요인을 갖는 지형·지질 조건인 경우 |

### 7.2.2 비탈면 현황

비탈면 안정검토 대상구간 선정기준에 의한 비탈면 현황은 다음과 같다.

| 구 분 | | 구 간 (STA.) | 연 장 (m) | 대표단면 (STA.) | 최대깎기고 (m) | 지층현황 | 조사내용 공번 | 조사내용 조사위치 (STA.) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 깎기 | 깎기1구간 | 1+470 ~2+390 | 920 | 1+580(상주)<br>1+680(정천)<br>1+620(상주) | 19.71<br>26.39<br>10.80 | 표토,풍화토,<br>풍화암,<br>연암,경암 | CBB-4<br>CBB-5<br>CBB-6<br>CBB-7 | 1+967.92(우23.65)<br>1+984.53(좌21.84)<br>2+216.49(우27.54)<br>2+342.05(좌34.83) | |
| | 깎기2구간 | 2+590 ~2+900 | 310 | 2+780(상주) | 19.13 | 풍화토,<br>풍화암,<br>연암,경암 | CBB-8<br>CBB-9 | 2+762.76(우17.14)<br>2+778.62(좌13.82) | |
| | 깎기3구간 | 3+050 ~3+400 | 350 | 3+320(상주)<br>3+140(정천) | 27.86<br>28.32 | 표토,풍화토,<br>풍화암,<br>연암,경암 | CBB-10<br>CBB-12<br>CBB-13<br>CBB-14 | 3+160.48(우25.89)<br>3+279.45(우16.27)<br>3+314.22(좌22.10)<br>3+540.00(우32.42) | |
| | 깎기4구간 | 3+710 ~3+840 | 130 | 3+760(상주) | 18.67 | 표토,풍화토,<br>풍화암,<br>연암,경암 | CBB-15<br>CBB-16 | 3+764.91(좌30.58)<br>3+782.52(우28.65) | |
| | 깎기5구간 | 4+870 ~5+280 | 410 | 5+060(상주)<br>5+080(정천) | 39.82<br>33.57 | - | - | - | 민원으로 시추 미시행 |
| | 깎기6구간 | 5+640 ~5+820 | 180 | 5+740(정천)<br>5+780(정천) | 20.18<br>18.16 | - | - | - | 민원으로 시추 미시행 |
| | 깎기7구간 | 5+900 ~6+150 | 250 | 6+080(상주)<br>6+100(정천) | 22.46<br>18.61 | - | - | - | 민원으로 시추 미시행 |
| | 깎기8구간 | 6+290 ~6+780 | 490 | 6+360(상주)<br>6+420(정천) | 32.27<br>20.10 | - | - | - | 민원으로 시추 미시행 |
| | 깎기9구간 | 7+110 ~7+440 | 330 | 7+240(상주)<br>7+240(정천)<br>7+300(정천) | 23.57<br>40.17<br>28.67 | - | - | - | 민원으로 시추 미시행 |
| | 깎기10구간 | 7+880 ~8+320 | 440 | 8+020(상주)<br>8+200(정천) | 23.89<br>23.61 | - | - | - | 민원으로 시추 미시행 |



## 7.6 비탈면 안정해석 및 검토

### 7.6.1 개요

가. 깎기구간

본 지역에서의 깎기비탈면 안정해석은 깎기구간 중 깎기 높이가 가장 높은 지역을 기준으로 비탈면 현황을 고려하여 대표단면 선정 후 토사지반 및 암반층에 대해 실시하였고, 지표지질조사 결과 및 시추조사 결과를 종합 분석하여 토사 및 암반층에 널리 적용하고 있는 한계평형해석 및 평사투영법을 이용하여 종합적으로 검토가 이루어졌다. 깎기비탈면 해석을 실시함에 있어 경제적이고 안정한 비탈면기울기의 선정을 위하여 다음과 같이 적용하여 검토하였다.

- 비탈면 안정해석시 일반적으로 기준 안전율을 건기시 **1.5** 이상, 우기시 **1.2** 이상으로 적용하였다.
- 구간 내 시추조사 결과에 의한 지층 층후의 종합적용 및 지표지질 조사시 현장 확인된 암반 노출면 등을 종합하여 지층경계선을 설정하였다.
- 결과를 근거로 암반파괴 상태에 의한 깎기 기울기는 암석별 깎기 적정기울기를 기준으로 암반비탈면 기울기를 결정하였다.
- 수집된 지표지질조사 결과를 이용하여 평사투영법으로 불연속면의 주향 및 기울기방향을 구간별 투영으로 파괴양상을 예측하였다.
- 암반비탈면 기울기에 따라 상부층의 토사비탈면 안정성 검토는 **Talren 97 Program**을 이용하여 원호활동 파괴로 검토함을 원칙으로 하였다. **RQD = 0~10%**의 암석은 연암이라 하더라도 암반이 큰 **COBBLE** 상태에서 거동하는 것으로 사료되므로 풍화암과 같은 특성으로 고려될 수 있다. 이와 같은 경우 암반은 절리면을 따라 파괴하기 보다는 원호활동 파괴의 경향을 보이므로 풍화암과 토사층을 포함하여 검토하였다.

나. 쌓기구간

본 쌓기구간은 산지지형 말단부의 편측쌓기와 곡간형태의 충적층 지역에 대한 쌓기로서 전답토로 형성된 구간을 경유하고 있으며 원지반의 지층분포 상황, 특성파악 및 연약지반 출현 여부를 확인하기 위하여 **Hand Auger Boring**을 실시하였다. 쌓기 비탈면의 파괴형태는 원호활동 파괴로 해석하였으며, 강도정수는 쌓기지역의 지반강도정수 선정에 의거 지층별로 적용하였다. 쌓기 비탈면 해석을 실시함에 있어 차량하중의 고려와 우기시를 고려하여 지표면에 지하수위가 형성된 것으로 가정하여 해석하였다.

# 제 8 장 지표지질조사

## 8.1. 광역 지표지질조사

### 8.1.1. 지질개요

•과업구간은 백악기 경상분지의 주로 신동층과 하양층군이 분포하는 의성소분지의 동남부에 위치한다. 경상분지는 처음에는 일본의 북구주지방과 중국, 대만도에 분포하는 퇴적분지를 총괄하여 대마도분지로 불러왔다. 그 후 1961년 원종권은 수치래 조사로부터 경상누층군이 구조상으로 분지형을 이루고 있으므로 경상분지라고 명명하였다. 경상분지의 분포는 남북방향인 장축이 200km, 동서단축이 120km, 총 면적이 24,000km2에 달한다. 경상분지는 조산운동에 의해 형성된 3개의 소분지로 구성되어 있고, 이들은 다시 여러 개의 단층계에 의해 파괴되어 있다(그림 1).

그림 1. 경상분지와 소분지 분포

•경상분지는 안상 및 지구조에 의해 몇 개의 소분지로 구분된다. 분지서쪽에 남북방향의 대상으로 발달하는 낙동소분지, 분지 최북단의 일월산 충상단층(thrust)과 청송령 사이에 발달하는 영양소분지, 안동충상단층 및 청송령과 팔공산 융기대 사이에 발달하는 의성(도평)소분지, 그리고 팔공산 융기대 이남지역에 발달하는 유천(밀양)소분지로 나누어진다(그림 1).
•경상분지의 서쪽과 북쪽에서는 경상누층군이 선캄브리아기에 속하는 변성퇴적암류와 쥬라기말의 대보화강암류를 부정합으로 덮고 있고, 동부와 남부는 백악기말의 화성활동과 단층작용으로 심하게 파괴되었으며, 제3기층에 의해 부정합으로 피복되거나 동해 및 남해의 해저로 계속 발달되어 있다(그림 2).

### 64.2.3 점검 및 진단 이력

본 비탈면은 2017년부터 정기안전점검 5회, 정밀안전점검 1회를 실시한 것으로 조사되었다. 점검 결과 전반적으로 양호한 상태로 특별한 보수·보강을 필요한 구간은 없는 것으로 평가되었다.

**<표 64-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력**

| 번호 | 기 간 | 구 분 | 주요 점검 결과 | 안전등급 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28 | 정기안전점검 | 소단배수로 일부구간에서 균열이 발생한 것으로 조사되었으며 사면 상단부 낙석방지망 설치불량, 폐자재 적치가 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다. | 양호 |
| 2 | 2018. 05. 28 ~ 2018. 06. 30 | 정기안전점검 | 소단배수로 일부구간에서 균열, 낙석방지망 설치불량, 폐자재 적치가 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다. | 양호 |
| 3 | 2018. 10. 23 ~ 2018. 12. 31 | 정기안전점검 | 소단배수로 일부구간에서 균열, 낙석방지망 설치불량, 폐자재 적치가 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다. | 양호 |
| 4 | 2019. 03. 18 ~ 2019. 05. 28 | 정기안전점검 | 소단배수로 일부구간에서 균열, 낙석방지망 설치불량, 폐자재 적치가 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상의 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다. | 양호 |
| 5 | 2019. 09. 16 ~ 2019. 12. 27 | 정밀안전점검 | 본 사면에 대한 정밀안전점검 결과, 경미한 손상, 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수와 지속적인 관찰이 필요한 상태인 "B"등급의 양호한 상태로 평가되었다. 본 사면은 낙석방지망이 시공되어 있으며, 노출암에서 확인할 수 있는 암반의 풍화등급은 약한풍화~심한풍화 정도이다. 사면 전반적으로 식생상태가 양호~보통인 것으로 조사되었다. 계곡부가 1개소 조사되었고, 하절기 강우시 주의관찰이 요망된다. 일부 노출암 구간은 낙석방지망 및 낙석방지울타리가 설치되어 안전성에는 문제가 없으나, 공용기간이 증가할수록 우수 및 동결융해작용으로 풍화가 진행될 수 있으므로, 주기적인 주의관찰이 요망된다. 소단배수로 균열이 일부 조사되었으나, 배수기능에 큰 문제는 없는 것으로 조사되었다. 사면 보호/보강시설은 기능발휘에 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다. | B |
| 6 | 2020. 05. 12 ~ 2020. 06. 30 | 정기안전점검 | 소단배수로, 수직도수로, 산마루측구 일부구간에서 균열이 발생된 것으로 조사되었다. 기 발생된 손상부의 경우 건조수축, 온도변화 등에 의한 비구조적 손상으로 사면의 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 아니나, 손상의 진전방지를 위한 보수가 필요할 것으로 판단된다. | 양호 |

### 64.2.4 보수·보강이력

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

**<표 64-4> 보수·보강이력**

| 번호 | 공사기간 | 공사내역 | 공사비(원) | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| | | 특이사항 없음 | | |

### 64.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 fms상 내진설계가 적용 된 것으로 확인되었다.

**<표 64-5> 내진 설계 적용 여부**

| 검토대상 부재 | 설계적용여부 | 결과 | 검토결과 요약 | 근거 |
|---|---|---|---|---|
| 해당사항 없음 | 적용 | - | - | |

### 64.2.6 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 64-6> 관련 자료 분석 결과 요약 및 점검 방향**

| 구 분 | 자료 분석 결과 | 성능평가 방향 |
|---|---|---|
| 설계도서 | ㅇ준공도서 유지관리중<br>ㅇ위치도, 횡단면도 등 파악 가능<br>ㅇ원지반 상태 파악 가능 | ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득<br>ㅇ설계도면과 현재 제원 비교 |
| 시설물 관리대장 | ㅇ기본현황, 상세제원 확인 가능<br>ㅇ유지관리 이력 파악<br>ㅇ시설물 준공 후 최초의 성능평가 | ㅇ현장조사를 위한 기초자료로 활용<br>ㅇ준공후 특별한 보수·보강이력이 없는 상태로서 금회 성능평가시 손상 조사시 필요에 따라 보수·보강방안 수립 |
| 안전점검 및 정밀안전진단 자료 | ㅇ준공후 정기안전점검, 정밀안전점검이 시행되었으며, 전반적으로 양호한 상태임. | ㅇ사면파괴징후에 대한 면밀한 조사<br>ㅇ필요시 보수보수·보강방안 수립<br>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<br>ㅇ성능평가 결과에 따라 성능목표 유지를 위한 유지관리 전략 제안 |

# 64.3 현장조사

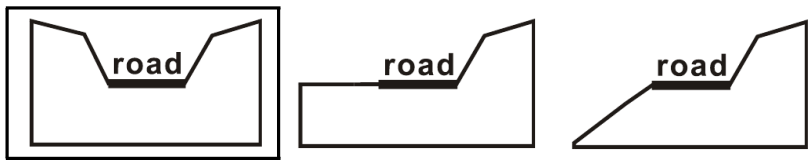
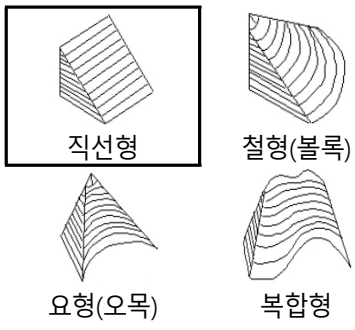
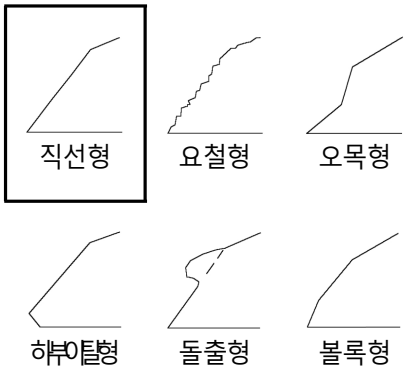
## 64.3.1 현장조사 체크리스트

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

**<표 64-7> 일반현황**

<table>
<tr><td>조사일자</td><td colspan="2">2019. 11. 25.</td><td>조 사 자</td><td colspan="2">장 진 원</td></tr>
<tr><td>일 기</td><td colspan="2">맑음</td><td>준공년도</td><td colspan="2">2017년 06월 27일</td></tr>
<tr><td>행정구역</td><td colspan="5">경상북도 영천시 고경면 대성리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="5">시점 : 35° 18′17.0″ 127° 48′33.0″</td></tr>
<tr><td colspan="5">종점 : 35° 18′24.0″ 127° 48′20.0″</td></tr>
<tr><td rowspan="4">절토사면</td><td colspan="3">길 이 : 400m</td><td colspan="2">높 이 : 40.1m</td></tr>
<tr><td colspan="5">경 사/경사방향 : 45/234</td></tr>
<tr><td colspan="3">구성물질 : 암반</td><td colspan="2">토층심도 : 약 1.0~5.0m</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 : -<br>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 : -<br>뜬들 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td rowspan="7">절토사면<br>시공현황</td><td>종 류</td><td colspan="2">위 치</td><td colspan="2">상 태</td></tr>
<tr><td>산마루 측구</td><td colspan="2">89.588~89.628k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>소단배수로</td><td colspan="2">89.628~89.948k</td><td colspan="2">균열</td></tr>
<tr><td>수직도수로</td><td colspan="2">89.868k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>낙석방지울타리</td><td colspan="2">89.608~89.968k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>숏크리트</td><td colspan="2">89.868k, 89.928k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>점검용 계단</td><td colspan="2">89.588~89.628k, 89.748k, 89.908k</td><td colspan="2">양호</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">·</td></tr>
</table>

**<표 64-8> 지형·지질 및 식생**

<table>
<tr><td rowspan="3">주변지형의 특성</td><td>주변 지형</td><td colspan="4">산악지형</td></tr>
<tr><td>종단면 형상</td><td colspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td>기타 특징</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>절토사면의 특성</td><td>종<br>횡<br>단<br>면</td><td colspan="3"> 
</td><td>종<br>단<br>면<br>특<br>성</td><td> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="7">상부 자연비탈면</td><td>경 사 도</td><td colspan="4">0~10°</td></tr>
<tr><td>인장균열</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>포행흔적</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>수목의 기울어짐</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>인공구조물</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>산마루측구</td><td colspan="4">유</td></tr>
<tr><td>계곡부</td><td colspan="4">1개소</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 64-9> 기초조사 자료**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 일반현황 | 거리표 | 상주절토64 | | |
| | 위경도 | 시점 : 35° 18′17.0″ 127° 48′33.0″<br>종점 : 35° 18′24.0″ 127° 48′20.0″ | | |
| | 차선 | 왕복 ( 4 ) 차선 | | |
| | 조사일자 | 2019년 11월 25일 | | |
| | 조사자 | 장진원 | 조사기관 | ㈜명성엔지니어링 |
| 절토사면 특 성 | 길이 | 400m | 최대높이 | 40.1m |
| | 경사 | 45° | 상부경사 | 0~10° |
| | 이격거리 | 평균 1.0~2.0m | 소단 | 4개소 |
| | 종류 | ■암반 □혼합<br>□토사 □자연 | 주변지형 | ■산악 □준산악<br>□구릉 □평 지 |
| | 지하수 | ■C.dry □damp<br>□wet □dripping<br>□flowing | 누수위치 | □상 □중 □하<br>□좌 □중 □우 |
| | 풍화도 | □F ■S ■M<br>□H □C □R | 불연속면 방향성 | □일치 □평행<br>■후방 □불가 |
| | 사면형상 | ■직선형 □철형<br>□요형 □파형 | 측면형상 | ■직선형 □요철형<br>□탈락형 □돌출형 |
| | 계곡부 | 1개소 | 붕괴이력 | □유(영향) □낙석<br>□유(미영향) ■무 |
| | 뜬돌 | □대 □중<br>□소 ■무 | 낙석 | □대 □중<br>□소 ■무 |
| | 암종 | 사암 및 셰일 | 토층심도 | 1.0~5.0m |
| | 암반형태 | □massive<br>□tabular<br>□columnar<br>□irregular<br>■blocky<br>□crushed | 불연속면 | ■절리 ■층리<br>□엽리 □균열<br>□단층 □전단대<br>□암맥 □무 |
| | 시공현황 (상태) | □식생공<br>□옹벽<br>□격자블럭<br>■점검로(양호) | | ■낙석방지망(양호)<br>■낙석방지울타리(양호)<br>■배수로(보통)<br>□기타 |
| 조사자 소 견 | 위험도 | □상 □중 ■하 | 피해도 | □상 □중 ■하 |
| | 붕괴 유형 | □심층 □표층 ■무 | 위험등급 | □A ■B □C<br>□D □E |
| | 위험구간 (붕괴유형) | □상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( )<br>□상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( )<br>□상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( ) | | |
| | 필요 주공법 | - | 조치 | □응급 ■미응급 |
| | 기타 | | | |

## 64.3.2 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 상주영천고속도로 89.588~89.988㎞에 위치하고 있으며, 길이는 400m, 높이 40.1m의 절토사면으로 시설물 안전법상 2종 시설물로 분류된 시설이다.

### 나. 절토사면의 분류

토층심도 깊이측정을 위한 자료는 준공도서 표준 횡단면도를 참고하여 작성하였고, 블록크기 측정을 위한 절리간격은 사면특성 조사 시 각 구간에 위치하는 절리군의 평균 간격을 측정하였다.

**<표 64-10> 절토비탈면 분류**

(㎫=10.2kg/㎠)

| 구 분 | | 분류기준 | 평가점수 | 비탈면종류 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 세부분류 | 종합분류 |
| 1구간 | 토층심도율 | 0.4 | $\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{5.0}{40.1}=0.12$로 0.4미만 | 암반사면 | 파쇄 암반사면 |
| | 압축강도 | 10㎫ | 반발경도측정결과 84.3~86.2㎫으로 10㎫이상 | 파쇄암반 절리암반 | |
| | 블록크기 | 0.01 | $\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.3}{40.1}=0.007$로 0.01이하 | 파쇄암반 | |
| 2구간 | 토층심도율 | 0.4 | $\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{4.0}{38.0}=0.11$으로 0.4미만 | 암반사면 | 파쇄 암반사면 |
| | 압축강도 | 10㎫ | 반발경도측정결과 90.9~91.9㎫으로 10㎫이상 | 파쇄암반 절리암반 | |
| | 블록크기 | 0.01 | $\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.25}{38.0}=0.006$으로 0.01이하 | 파쇄암반 | |

**다. 비탈면 구간 분할**

본 사면은 연장이 400m로써, 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 기준에 의해, 2개 구간으로 구분하여 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

**<표 64-11> 비탈면 구간 분할**

| 구 분 | 측 점 | 비 고 |
|---|---|---|
| 1구간 | 89.588~89.788k | 200m |
| 2구간 | 89.788~89.988k | 200m |

### 64.3.3 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 -0~10°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 상태이며, 계곡부는 1개소가 존재하는 것으로 확인되었다.

**<표 64-12> 집수 지형 조사 결과**

| 구 분 | | 손상 내용 | 단위 | 손상수량 (개소 / 수량) | 손상 원인 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 집수지형 | 외부 | 시.종점부 | EA | - | - | |
| | | 계곡부 | EA | 1 / 1.0 | - | |
| | 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 원지반이 노출된 구간에 대해서 조사하였다.

그 결과 부분적으로 절리가 관찰되며, 약한풍화~심한풍화 상태를 보이고 있는 것으로 분석되었다.

**<표 64-13> 불안정 지질 조사 결과**

| 구 분 | 손상 내용 | 단위 | 손상수량 (개소 / 수량) | 손상 원인 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 불안정 지질 | 국지적 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 대기에 노출된 원지반을 대상으로 6개 구간에서 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

**<표 64-14> 불연속면 특성 조사 결과**

| 구 분 | 1구간 | | |
|---|---|---|---|
| | Set 1 | Set 2 | Set 3 |
| 방향성 | 18/220 | 70/075 | 72/102 |
| 간격(m) | 0.2~0.6 | 0.2~0.6 | 0.2~0.6 |
| 연장성(m) | 3.0~10.0 | 3.0~10.0 | 3.0~10.0 |
| 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 | HW | HW | HW |
| 비고 | 식생공으로 인한 이외의 불연속면 특성조사 불가 | | |

| 구 분 | 2구간 | | |
|---|---|---|---|
| | Set 4 | Set 5 | Set 6 |
| 방향성 | 70/075 | 82/003 | 15/048 |
| 간격(m) | 0.2~0.6 | 0.2~0.6 | 0.2~0.6 |
| 연장성(m) | 3.0~10.0 | 3.0~10.0 | 3.0~10.0 |
| 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 | HW | HW | HW |
| 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 64-15> 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 소단 배수로 및 산마루 측구, 수직도수로가 시공되어 있다.

소단 배수로 및 산마루 측구, 수직도수로는 지반 변형으로 인한 부상 및 침하 등의 손상은 없는 것으로 확인되었으며, 일부구간 균열이 발생된 것으로 확인되었으나, 배수기능에는 문제가 없는 것으로 조사되었다.

**<표 64-16> 배수 조건 조사 결과**

| 구 분 | | 손상 내용 | 단위 | 손상수량 (개소 / 수량) | 손상 원인 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 배수 조건 | 소단 배수로 | 균열 | m | 5 / 12.5 | 건조수축, 온도변화 | |
| | 산마루 측구 | - | - | - | - | |
| | 수직 도수로 | - | - | - | - | |

**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 64-17> 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 64-18> 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 64-19> 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 64-20> 인장균열 조사 결과**

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

## 64.3.4 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 6개소에서 실시하였으며, 그 외 식생 및 녹생토 시공으로 인해 노출된 암반이 존재하지 않아 암반강도시험을 실시하지 못한 구간의 경우 초기점검 보고서 및 토질조사보고서를 참고하였다. 시험 결과 및 기존 자료 검토에 따른 암종 분류 결과 보통암인 것으로 판단된다.

**<표 64-21> 암반강도시험 결과**

| 시험위치 | 반발경도(Ro) | 추정강도(㎫) | 암 판정 결과 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 89.668k | 47.7 | 84.3 | 보통암 | |
| 89.677k | 48.1 | 85.8 | 보통암 | |
| 89.688k | 48.2 | 86.2 | 보통암 | |
| 89.834k | 49.5 | 91.2 | 보통암 | |
| 89.848k | 49.4 | 90.9 | 보통암 | |
| 89.857k | 49.7 | 91.9 | 보통암 | |
| 검토의견 | ・암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 47.7~49.7으로 측정되었으며, 추정강도 84.3~91.9㎫로 보통암으로 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 64-22> 표면보호공 조사 결과**

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

숏크리트 전경

낙석방지망 전경

**라. 사면보강공**

본 비탈면은 관련자료 분석 결과 낙석방지망, 숏크리트 이외의 특별한 보강시설은 없는 것으로 조사되었으며, 현장조사시 확인한 결과 보강공은 시공되어 있지 않다.

**<표 64-23> 사면보강공 조사 결과**

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

## 64.4 안전성능평가

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

### 64.4.1 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 0.11~0.12로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 세부 분류는 절리암반비탈면, 파쇄암반비탈면으로 평가된다.

**<표 64-24> 절토비탈면 분류**

(MPa=10.2kg/㎠)

| 구 분 | | 분류 기준 | 평가점수 | 비탈면종류 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 세부분류 | 종합분류 |
| 1구간 | 토층심도율 | 0.4 | $\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{5.0}{40.1}=0.12$로 0.4미만 | 암반사면 | 파쇄 암반사면 |
| | 압축강도 | 10MPa | 반발경도측정결과 84.3~86.2MPa으로 10MPa이상 | 파쇄암반 절리암반 | |
| | 블록크기 | 0.01 | $\frac{Block\,size \in dex}{Slope\,height}=\frac{0.3}{40.1}=0.007$로 0.01이하 | 파쇄암반 | |
| 2구간 | 토층심도율 | 0.4 | $\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{4.0}{38.0}=0.11$으로 0.4미만 | 암반사면 | 파쇄 암반사면 |
| | 압축강도 | 10MPa | 반발경도측정결과 90.9~91.9MPa으로 10MPa이상 | 파쇄암반 절리암반 | |
| | 블록크기 | 0.01 | $\frac{Block\,size \in dex}{Slope\,height}=\frac{0.25}{38.0}=0.006$으로 0.01이하 | 파쇄암반 | |

본 사면은 연장 400m의 사면으로서, 외관조사시 실시한 구간분할과 동일하게 2구간으로 분할하여 손상상태 및 파괴요인에 대한 평가를 실시하였다. 사면분류를 위해 특성조사를 실시한 위치는 외관조사결과현황도(Face Map)에 Set1~6으로 표기하였다.

**<표 64-25> 비탈면 구간 분할**

| 구분 | 측점 | 연장 | 사면상태 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 1구간 | 89.588~89.788k | 200m | 암반사면 | Set1, Set2, Set3 |
| 2구간 | 89.788~89.988k | 200m | 암반사면 | Set4, Set5, Set6 |

**<표 64-26> 사면 형식별 상태안전성능지표**

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

**나. 1구간 상태안전성능 평가 결과**

1) 성능지표별 평가 결과

**<표 64-27> 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 64-28> 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 64-29> 불연속면 특성 평가 결과(1구간)**

| 평가항목 및 등급 | | 평가 기준 | 평가 내용 | 평가 결과 |
|---|---|---|---|---|
| 불연속면 상태 | a | 매우 양호 | 불연속면 상태 점수<br>=Σ(①~⑥) / 6 =<br>(10+5+10+5+16+10) / 6 = 9.3 | c |
| | b | 양호 | | |
| | c | 보통 | | |
| | d | 불량 | | |
| | e | 매우 불량 | | |

**<표 64-30> 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 | 3~10 | c |
| 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 | HW | d |
| ⑥절리간격 | 2.0m이상 | 0.6m이상 2.0m미만 | 0.2m이상 0.6m미만 | 0.06m이상 0.2m미만 | 0.06m미만 | 0.2~0.6 | c |

**<표 64-31> 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 64-32> 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 64-33> 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 | 일부 균열 | 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 64-34> 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 64-35> 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 64-36> 예상 낙석에너지 평가기준(1구간)**

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

**<표 64-37> 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 0~10° | 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 64-38> 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 64-39> 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 64-40> 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 64-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)**

| 시설물명 | | 상주절토64 | | |
|---|---|---|---|---|
| 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 | | 9.3 | 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** | | |

**마. 2구간 상태안전성능 평가 결과**

1) 성능지표별 평가 결과

**<표 64-42> 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 | 계곡부 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 64-43> 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 64-44> 불연속면 특성 평가 결과(2구간)**

| 평가항목 및 등급 | | 평가 기준 | 평가 내용 | 평가 결과 |
|---|---|---|---|---|
| 불연속면 상태 | a | 매우 양호 | 불연속면 상태 점수<br>=Σ(①~⑥) / 6 =<br>(10+5+10+5+16+10) / 6 = 9.3 | c |
| | b | 양호 | | |
| | c | 보통 | | |
| | d | 불량 | | |
| | e | 매우 불량 | | |

**<표 64-45> 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 | 3~10 | c |
| 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 | HW | d |
| ⑥절리간격 | 2.0m이상 | 0.6m이상 2.0m미만 | 0.2m이상 0.6m미만 | 0.06m이상 0.2m미만 | 0.06m미만 | 0.2~0.6 | c |

**<표 64-46> 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 64-47> 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 64-48> 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 | 일부 균열 | 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 64-49> 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 64-50> 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, 6.0㎥미만 | | |
| | d | 6.0㎥이상, 10.0㎥미만 | | |
| | e | 10.0㎥이상 | | |

**<표 64-51> 예상 낙석에너지 평가기준(2구간)**

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

**<표 64-52> 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 0~10° | 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 64-53> 인장균열 결함점수 산정 결과(2구간)**

| 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.

**사. 2구간 상태안전성능 평가 결과**

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

**<표 64-54> 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 64-55> 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 64-56> 상태안전성능평가 결과(2구간)**

| 시설물명 | | 상주절토64 | | |
|---|---|---|---|---|
| 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 | | 9.3 | 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 | | | 15 | |
| 결함지수 | | 0.15 | | |
| **상태안전성능평가 결과** | | **B** | | |

**아. 상태안전성능 평가 결과**

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

**<표 64-57> 상태안전성능 평가 결과 범위**

| 사면 총길이 | 구간분할 | 분할구간 길이 | 평가등급 | 최종 평가결과 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 400m | 1구간 | 89.588~89.788k | a(0.14) | B | 인장균열 없음 |
| | 2구간 | 89.788~89.988k | b(0.15) | | |
| | ○ 구간별 평가 후 최소등급 선정<br>○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정 | | | | |

## 64.4.2 구조안전성능 평가

### 가. 개 요

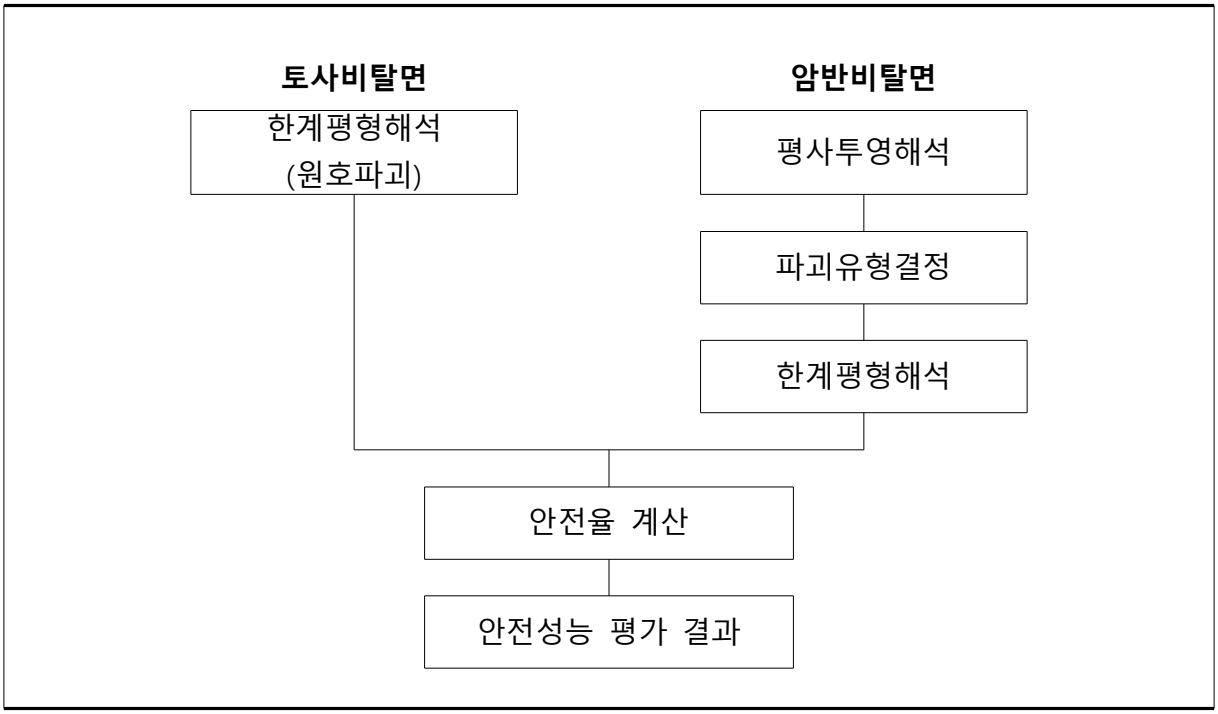
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 64-5> 구조안전성능 평가과정**

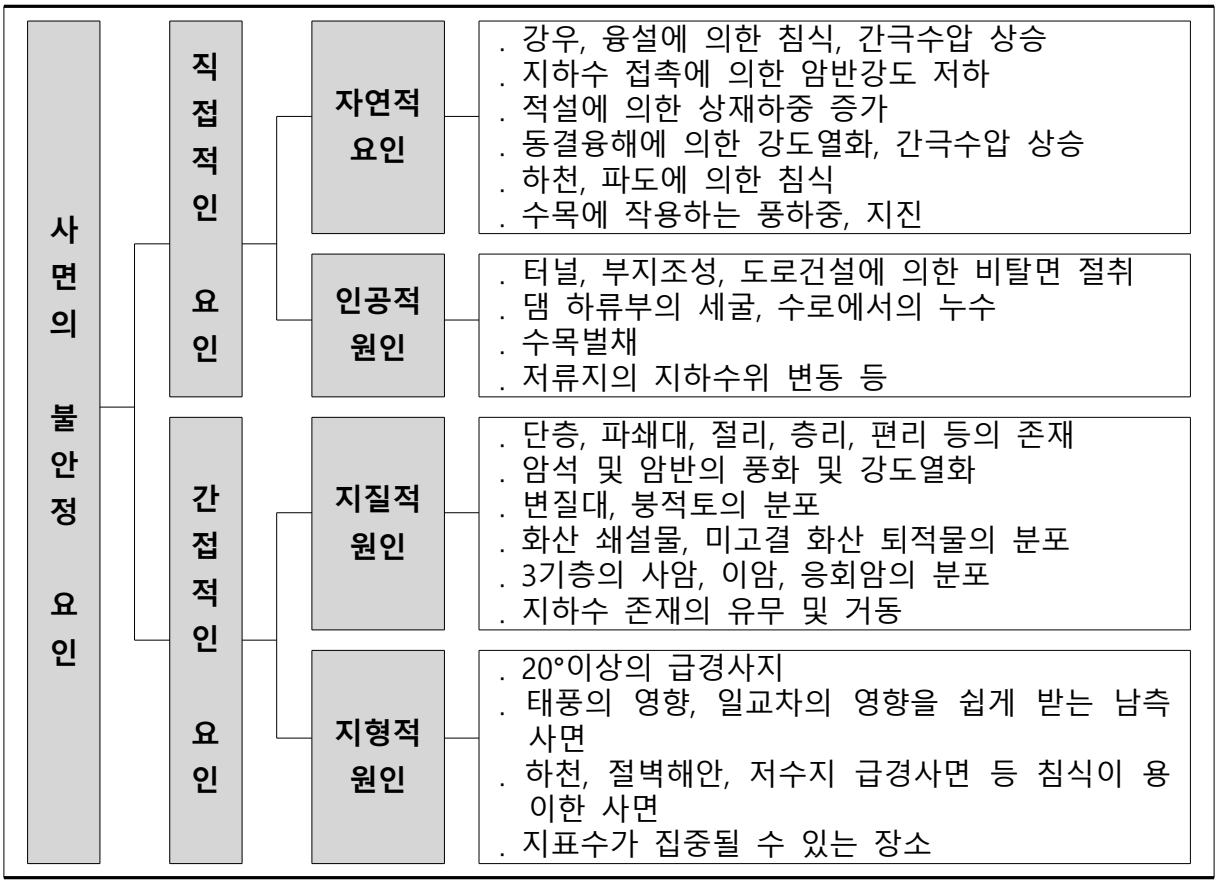
**<표 64-58> 유형별 안정해석 범위**

| 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<br>. 3m이상의 토층이 관찰되거나 풍화가 심하게 진행되어 원호활동이 예상되는 구간에 대해 평사투영해석결과와 별도로 원호파괴 해석을 실시 |
| 혼합비탈면 | ○ | ○ | ○ | . 평사투영해석결과 불안정시 파괴 유형에 따른 한계평형해석 수행<br>. 평사투영해석결과와 별도로 토사구간에 대해 원호파괴해석 실시 |

ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득

ㅇ설계도면과 현재 제원 비교

2) 비탈면의 불안정 요인

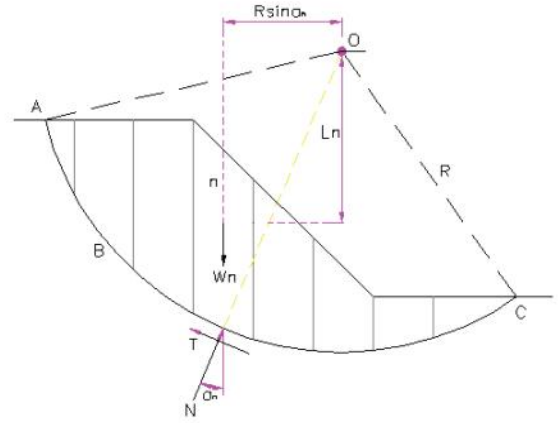



**<그림 64-6> 구조안전성능 평가과정**

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

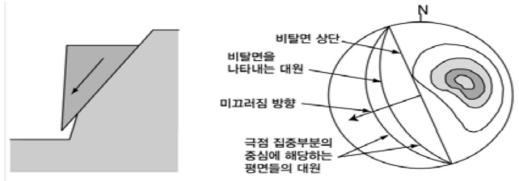
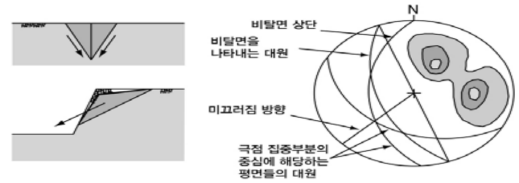
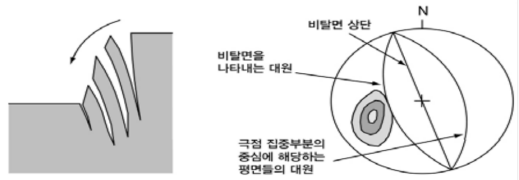
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

**<그림 64-7> 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 64-59> 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 64-60> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율**

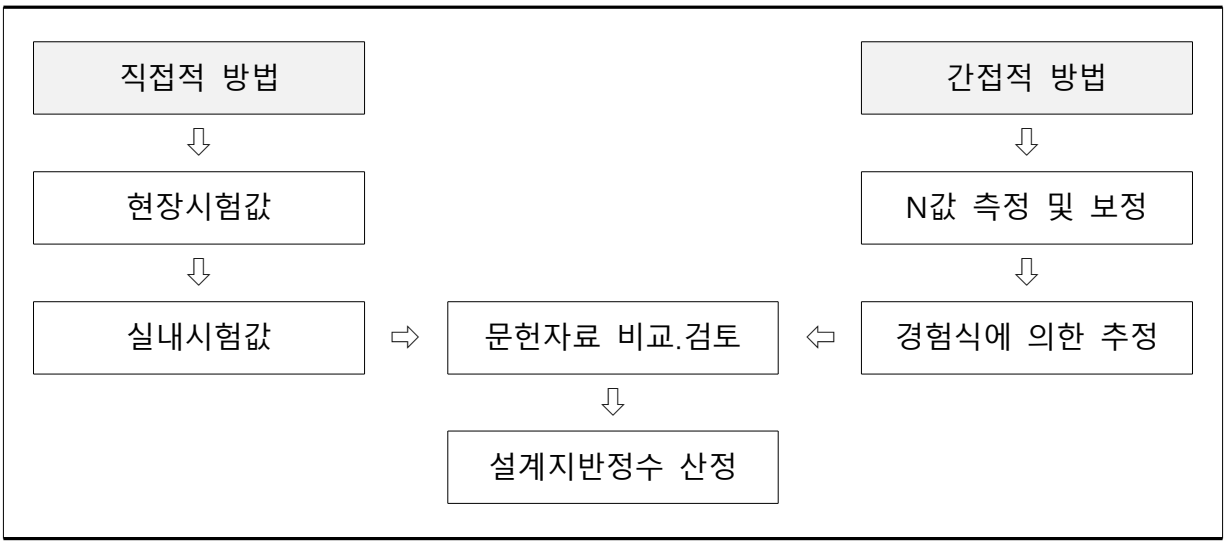
| 구 분 | 기준안전율 | 참조 |
|---|---|---|
| 건기 | FS>1.5 | . 지하수가 없는 것으로 해석 |
| 우기 | FS>1.2<br>또는<br>FS>1.3 | . 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용<br>. 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용)<br>. 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<br>. 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 64-61> 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 64-62> 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 64-63> Geotechnical Engineering Investigation(Roy E. Hunt, 1987)**

| 흙의 종류 | 다짐도 | Dr,% | N | $\gamma_{dry}$ (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 64-64> 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 64-65> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식**

| 구 분 | 지 층 | 단위중량(kN/㎥) | 내부마찰각ø(°) | 점착력c(kPa) | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 상주~영천간 고속도로 건설공사 (10공구) | 풍화(잔적)토 | 19 | 27 | 12 | |
| | 풍화암 | 20 | 29 | 30 | |
| | 기반암 | 25 | 31 | 200 | |

4) 기반암의 지반정수 산정

**① 단위중량 및 강도정수**

◦ 문헌자료 검토

**<표 64-66> 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 64-67> 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 | 27.3~25.6 |
| 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 64-68> 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 (%) | | (°) | 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 64-69> Bieniawski(1989)**

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

**<표 64-70> Trueman (1988)**

| 구 분 | 강도정수 산정식 |
|---|---|
| 점착력($C_m$) | 0.25exp(0.05RMR) (Mpa) |
| 마찰각($\varnothing$) | 0.5RMR + 5 (degree) |

**<표 64-71> 김교원 (1993)**

| 구 분 | 강도정수 산정식 |
|---|---|
| 점착력($C_m$) | 0.02exp(0.08RMR*) (Mpa) |
| 마찰각($\varnothing$) | 0.25(RMR*) + 27.5 (degree) |

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 적용 지반정수 요약

| 지층 | 단위중량 kN/㎥ | 내부마찰각 ° | 점착력 kPa | 프와송비 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 풍화토 | 19 | 27 | 12 | 0.3 | |
| 풍화암 | 20 | 29 | 30 | 0.3 | |
| 기반암 | 25 | 31 | 200 | 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 64-72> 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

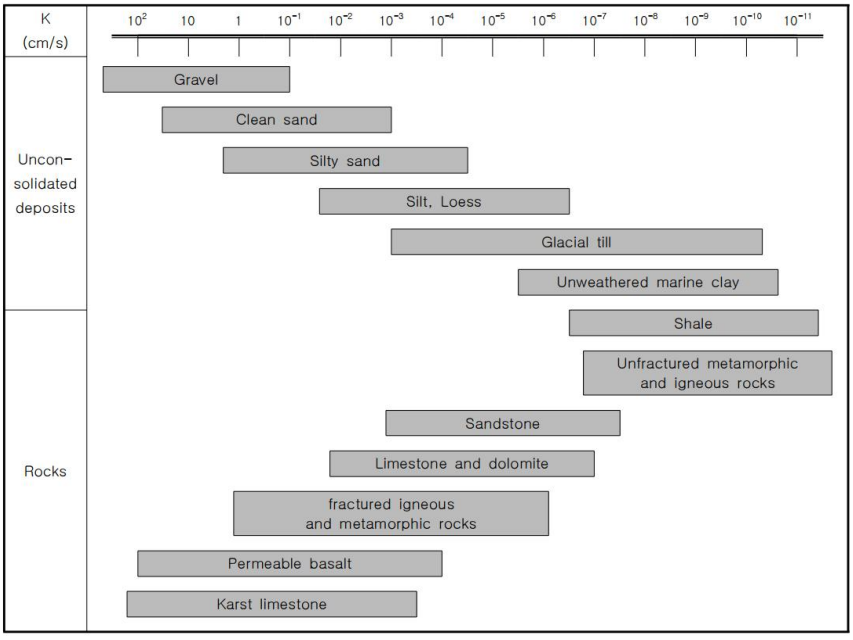
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

**<표 64-73> 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 64-74> 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 64-8> 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 64-75> 도로배수시설 설계빈도**

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

② 비탈면배수시설 설계기준 KDS 11 70 25 : 2016

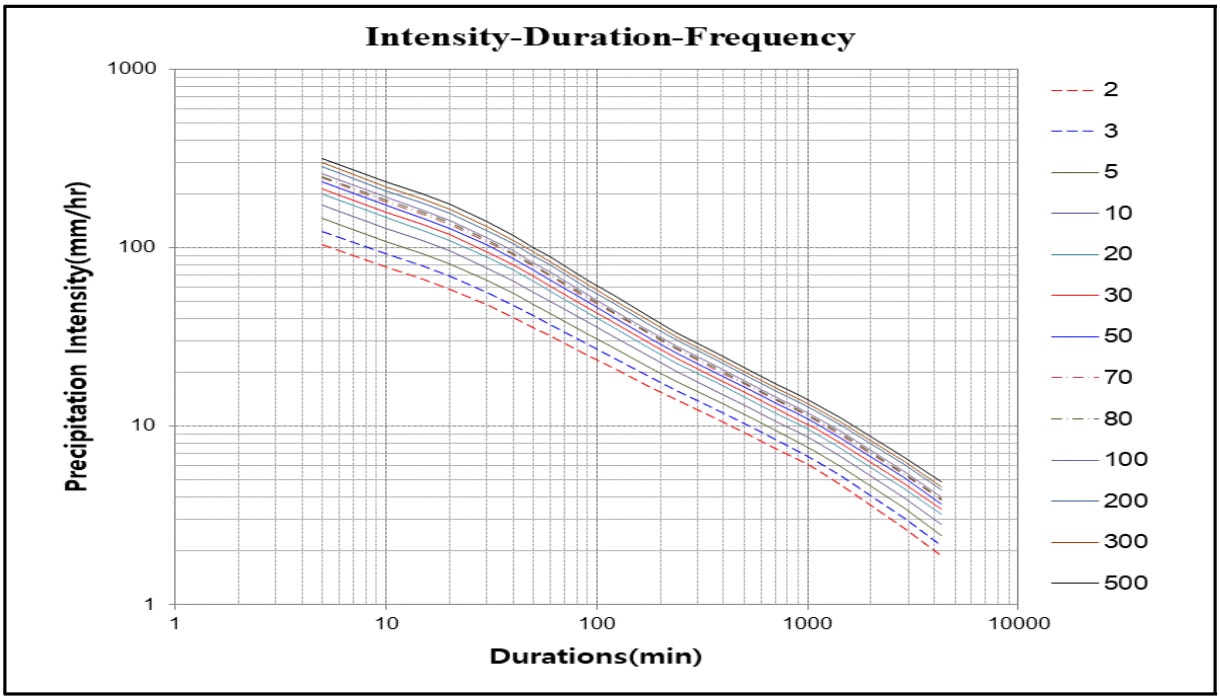
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 영천지역




**<그림 64-9> 영천지역 IDF곡선**

영천(281) 지점의 확률강우강도(단위:mm/hr)

| 재현기간 (년) | 지속기간(분) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 90 | 120 |
| 2 | 104.6 | 78.5 | 66.8 | 58.8 | 47.9 | 40.8 | 35.8 | 32.1 | 25.0 | 21.0 |
| 3 | 123.9 | 93.0 | 79.1 | 69.4 | 56.3 | 47.7 | 41.7 | 37.2 | 28.8 | 24.0 |
| 5 | 145.6 | 108.8 | 92.6 | 81.2 | 65.7 | 55.5 | 48.3 | 43.0 | 33.0 | 27.4 |
| 10 | 173.4 | 128.6 | 109.4 | 96.0 | 77.4 | 65.2 | 56.6 | 50.2 | 38.3 | 31.6 |
| 20 | 199.8 | 147.5 | 125.6 | 110.1 | 88.7 | 74.6 | 64.6 | 57.2 | 43.3 | 35.6 |
| 30 | 214.3 | 158.6 | 135.0 | 118.4 | 95.2 | 79.9 | 69.2 | 61.2 | 46.2 | 37.9 |
| 50 | 233.5 | 172.2 | 146.6 | 128.5 | 103.3 | 86.6 | 74.9 | 66.1 | 49.9 | 40.8 |
| 70 | 245.6 | 181.1 | 154.3 | 135.2 | 108.7 | 91.1 | 78.6 | 69.4 | 52.2 | 42.7 |
| 80 | 250.4 | 185.0 | 157.4 | 137.9 | 110.8 | 92.8 | 80.1 | 70.7 | 53.2 | 43.5 |
| 100 | 258.8 | 191.0 | 162.6 | 142.4 | 114.4 | 95.7 | 82.6 | 72.9 | 54.8 | 44.7 |
| 200 | 283.0 | 209.1 | 178.1 | 156.1 | 125.2 | 104.7 | 90.2 | 79.5 | 59.6 | 48.6 |
| 300 | 298.6 | 219.9 | 187.3 | 164.1 | 131.6 | 110.0 | 94.8 | 83.5 | 62.5 | 50.9 |
| 500 | 316.7 | 233.6 | 198.9 | 174.2 | 139.7 | 116.7 | 100.4 | 88.4 | 66.1 | 53.7 |

확률강우강도(㎜/hr)

**<그림 64-10> 영천지역 확률강우강도(한국 확률강우량정보 제공)**

**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<br>• 지방도, 시도, 군도 중 방재계획상 필요한 도로에 건설된 교량<br>• 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<br>• 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<br>• 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 64-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)**

**<표 64-76> 설계지반운동 수준**

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

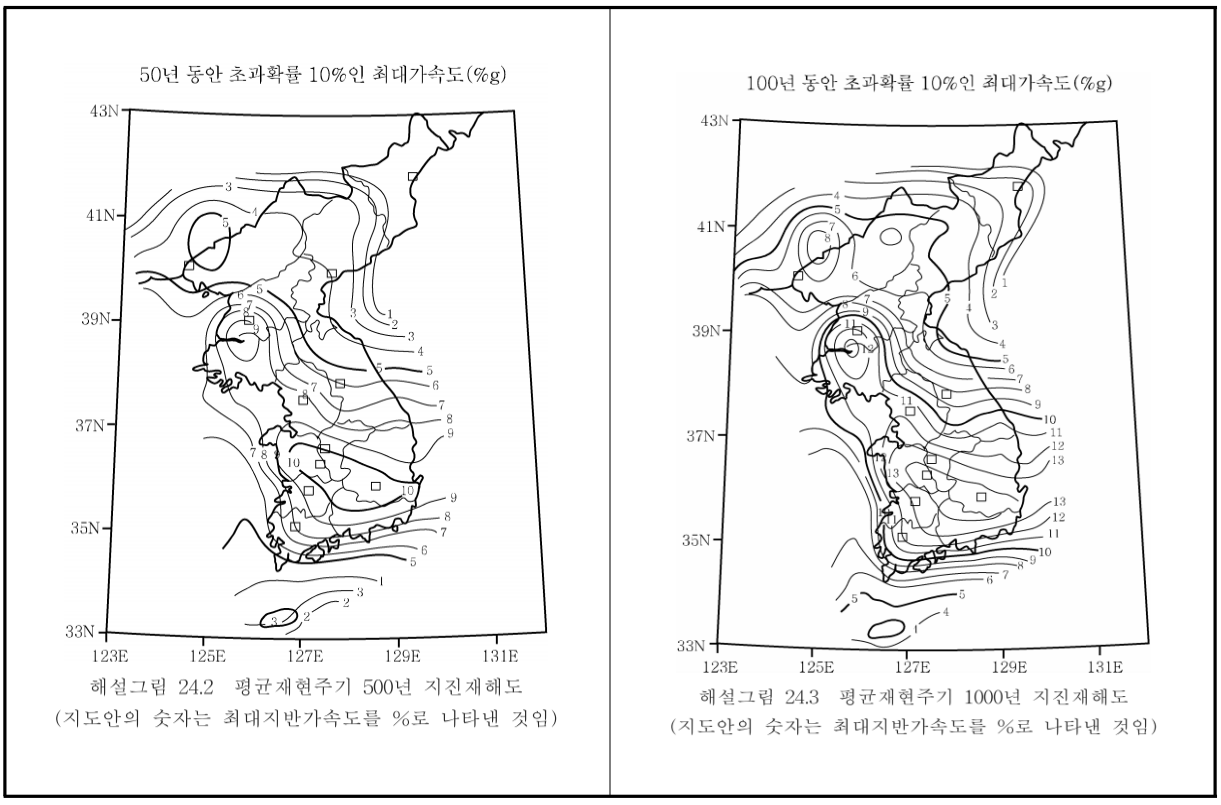
2) 설계지반운동

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 64-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도**

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

**<표 64-77> 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 64-78> 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

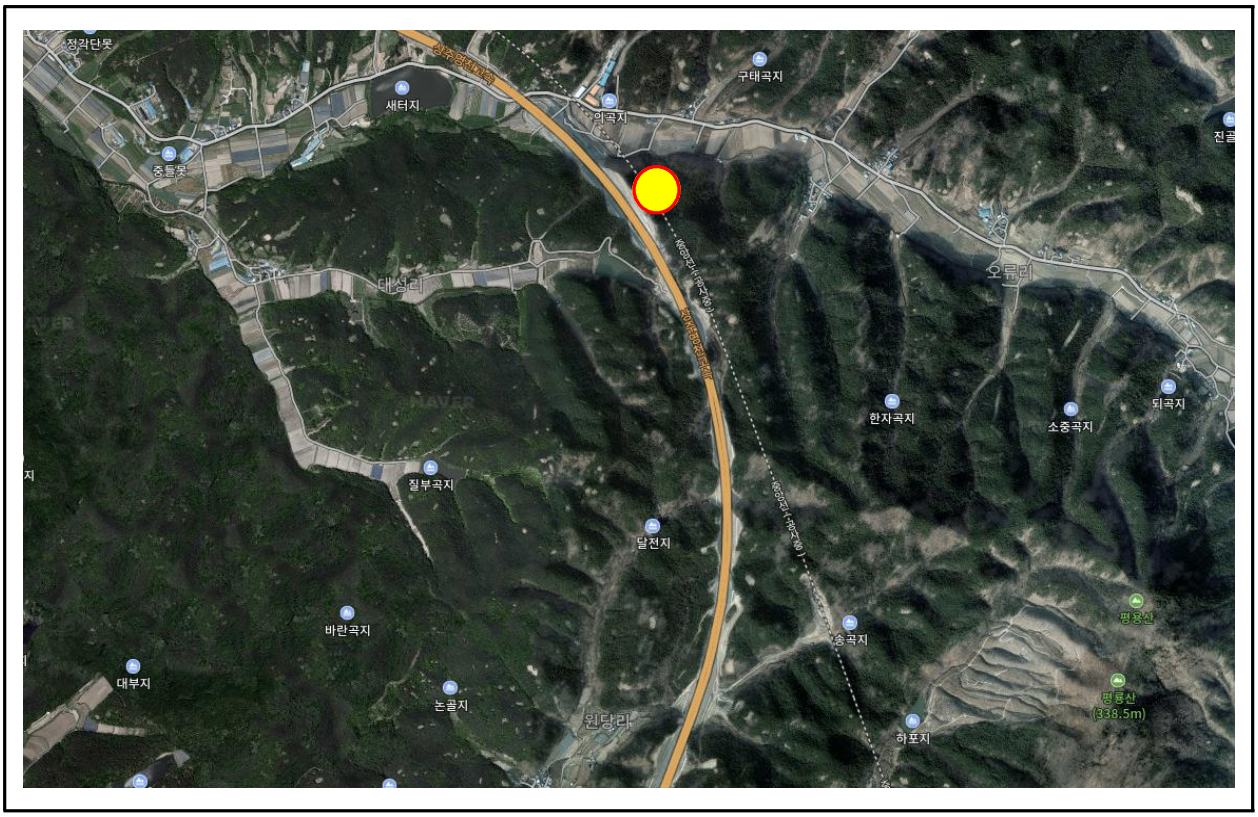
3) 지진가속도계수 선정

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 64-79> 검토대상 비탈면구간 및 현황**

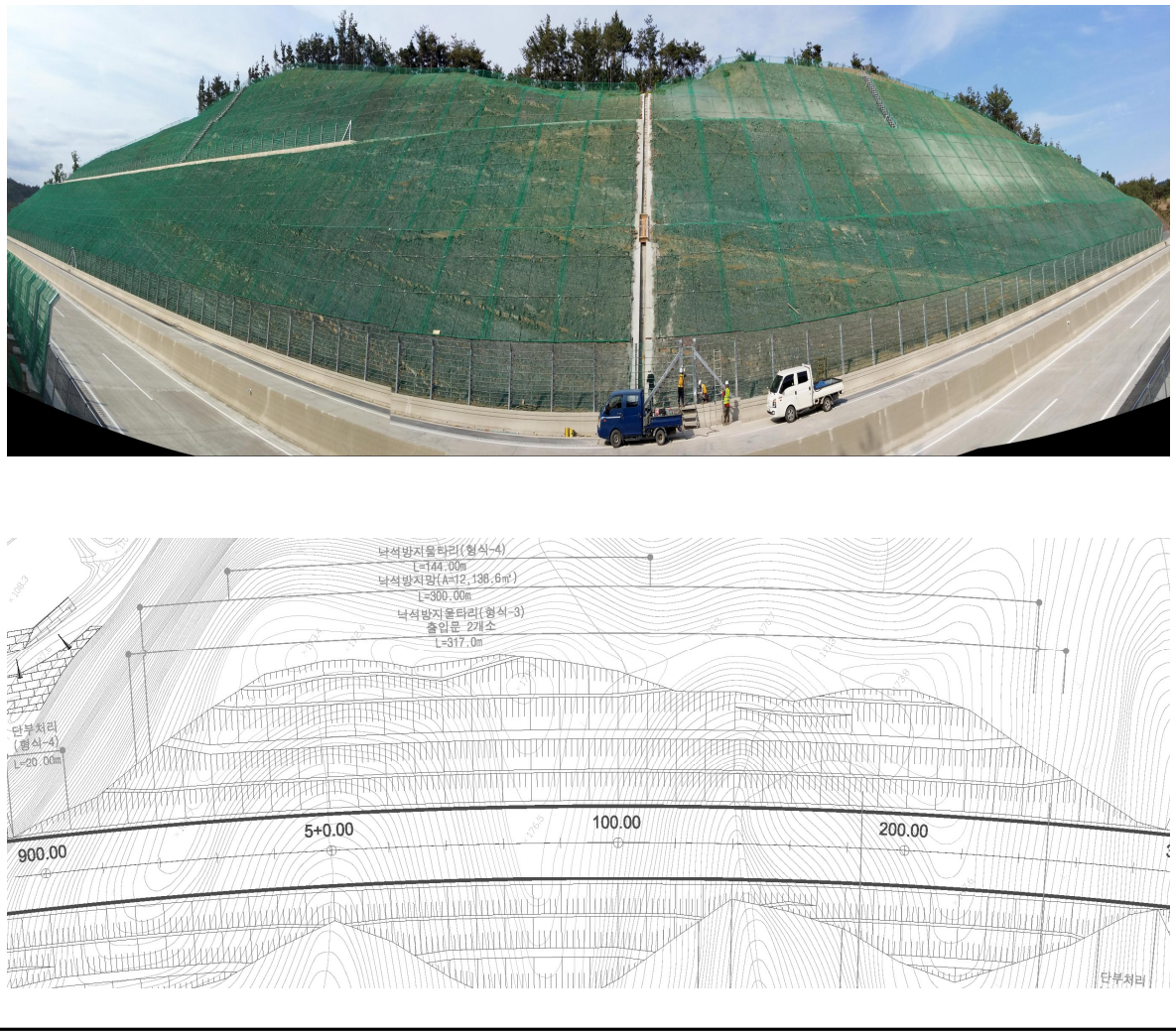
| 구조물명 | 위치 | 이정 (km) | 대표구간 | 비탈면 현황 | | | | 준공년도 | 경사/경사방향 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 높이 (m) | 토사/풍화암 | 암반 | 보강형식 | | |
| 상주절토64 | 경상북도 영천시 고경면 대성리 | 89.588 ~ 89.988 | STA.89+758 | 40.1 | 5.0 | 35.1 | - | 2017 | 45/234 |
| | | | STA.89+788 | 38.0 | 4.0 | 34.0 | - | 2017 | 45/234 |




**<그림 64-13> 상주절토64 검토대상 비탈면구간**

### 사. 상주절토64 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



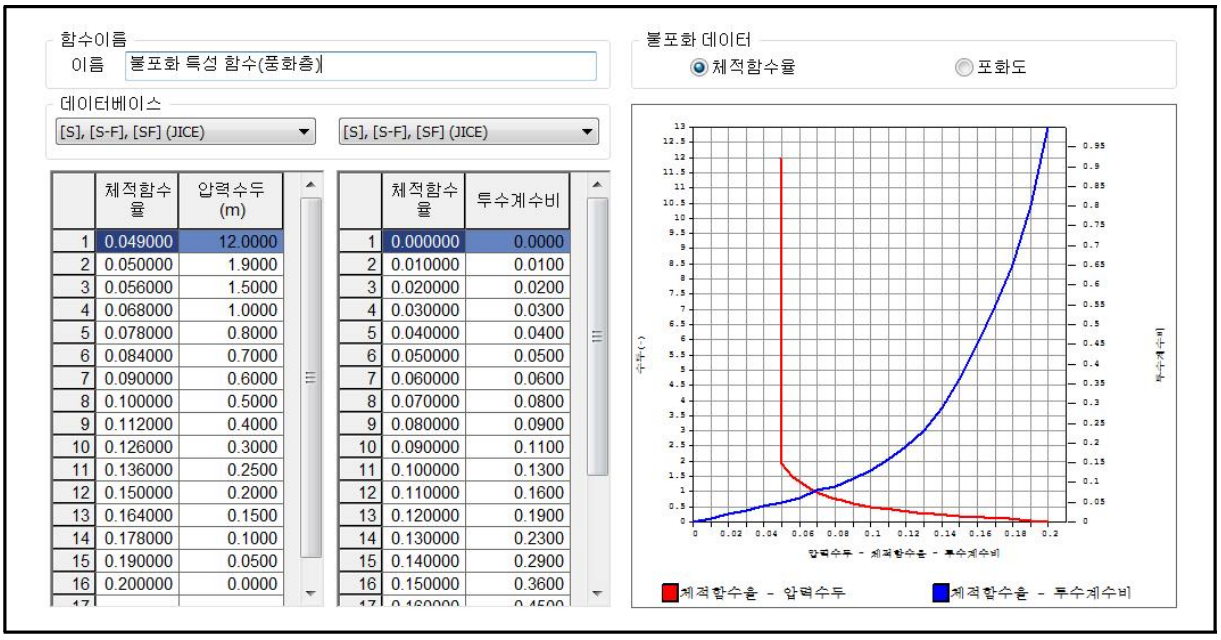

**<그림 64-14> 상주절토64 검토대상 비탈면구간**

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 kPa | 투수계수 ㎝/sec | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 풍화토 | 19 | 27 | 12 | 7.21E-05 | |
| 풍화암 | 20 | 29 | 30 | 3.69E-05 | |
| 기반암 | 25 | 31 | 200 | 5.68E-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 |

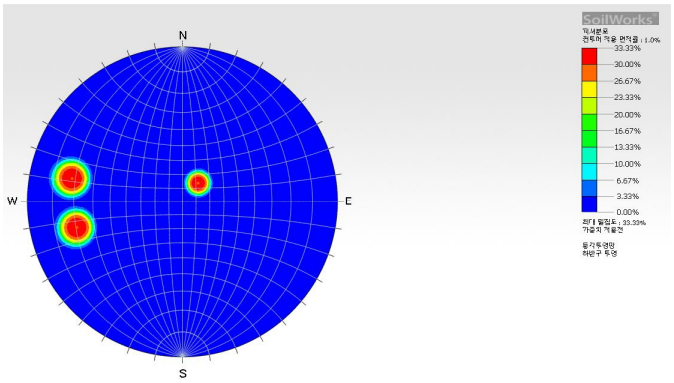
| | 체적함수율 | 투수계수비 |
|---|---|---|
| 1 | 0.000000 | 0.0000 |
| 2 | 0.010000 | 0.0100 |
| 3 | 0.020000 | 0.0200 |
| 4 | 0.030000 | 0.0300 |
| 5 | 0.040000 | 0.0400 |
| 6 | 0.050000 | 0.0500 |
| 7 | 0.060000 | 0.0600 |
| 8 | 0.070000 | 0.0800 |
| 9 | 0.080000 | 0.0900 |
| 10 | 0.090000 | 0.1100 |
| 11 | 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 64-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수**

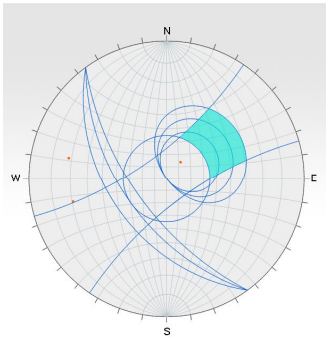
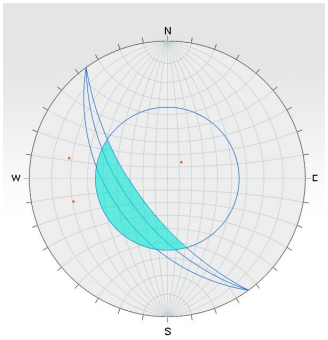
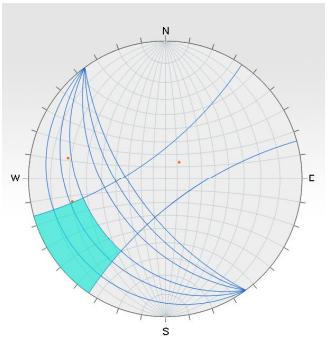
3) 1구간 (STA.89+588 ~ 89+788)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

| 구 분 | 점 검 결 과 | | |
|---|---|---|---|
| 평사 투영도 |  | dip | dip direction |
| | | 18 | 220 |
| | | 70 | 75 |
| | | 72 | 102 |

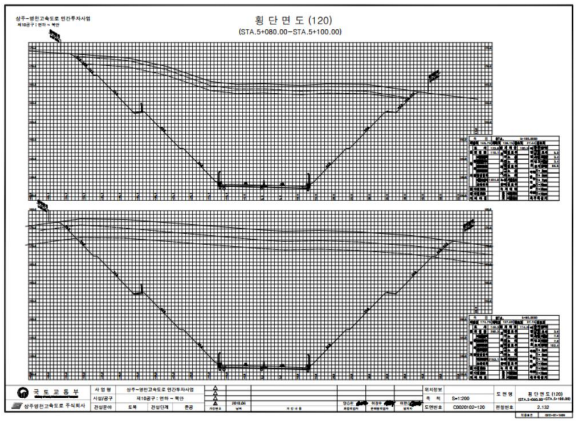
◦ 해석결과

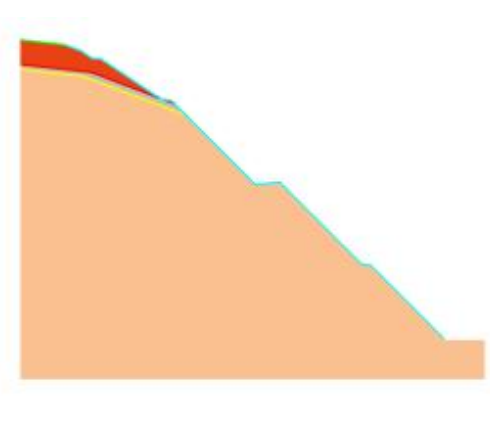
| 평면파괴 | 쐐기파괴 | 전도파괴 |
|---|---|---|
|  |  |  |

| 구 분 | 평면파괴 | 쐐기파괴 | 전도파괴 |
|---|---|---|---|
| 해석결과 | 안정 | 안정 | 안정 |
| 평 가 | ◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음<br>◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음<br>◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 | | |

② 토사깍기비탈면 안정성검토

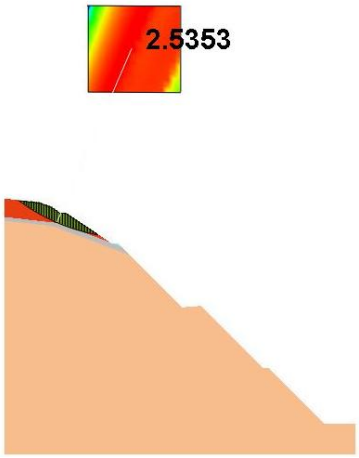
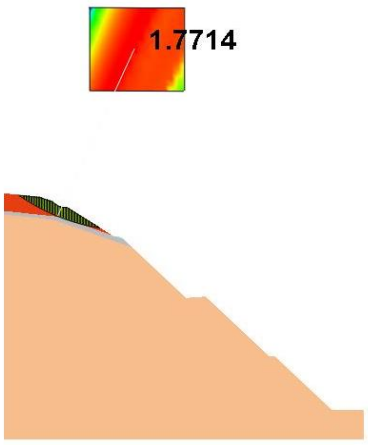
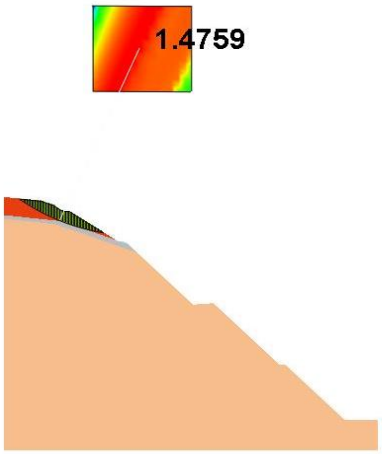
◦ 검토단면



대표단면 : STA.89+758, 상주

◦ 해석결과

| 건기시 | 우기시 | 지진시 |
|---|---|---|
|  |  |  |
| 안전율 : 2.53 | 안전율 : 1.77 | 안전율 : 1.47 |





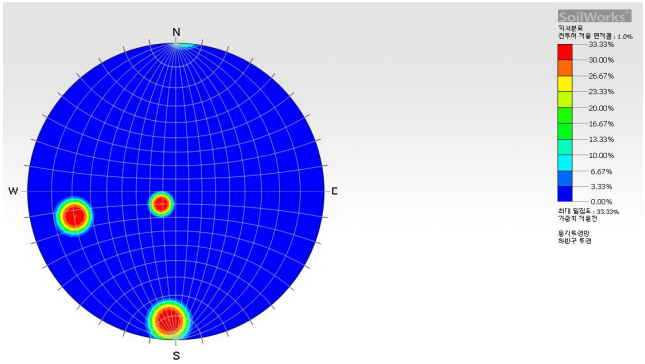
③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

| 구 분 | 검토 결과 | | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 암반구간 (평사투영해석) | 평면파괴 | 안정 | |
| | 쐐기파괴 | 안정 | |
| | 전도파괴 | 안정 | |
| 토사구간 (한계평형해석) | 건기시 | Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K | |
| | 우기시 | Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K | |
| | 지진시 | Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K | |

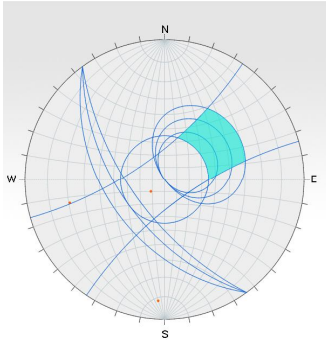
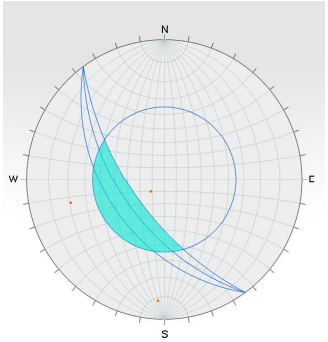
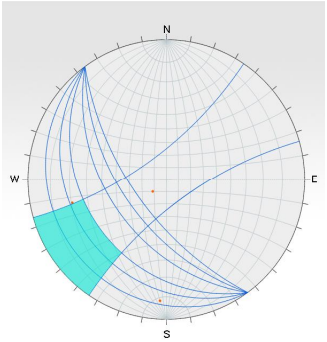
4) 2구간 (STA.89+788 ~ 89.988)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

| 구 분 | 점 검 결 과 | | |
|---|---|---|---|
| 평사 투영도 |  | dip | dip direction |
| | | 70 | 75 |
| | | 82 | 3 |
| | | 15 | 48 |

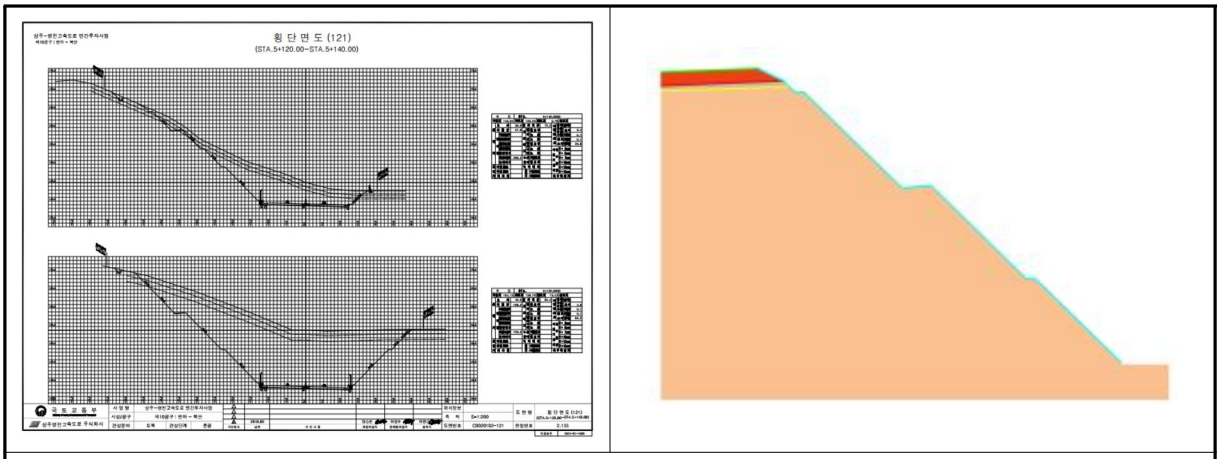
◦ 해석결과

| 평면파괴 | 쐐기파괴 | 전도파괴 |
|---|---|---|
|  |  |  |

| 구 분 | 평면파괴 | 쐐기파괴 | 전도파괴 |
|---|---|---|---|
| 해석결과 | 안정 | 안정 | 안정 |
| 평 가 | ◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음<br>◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음<br>◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 | | |

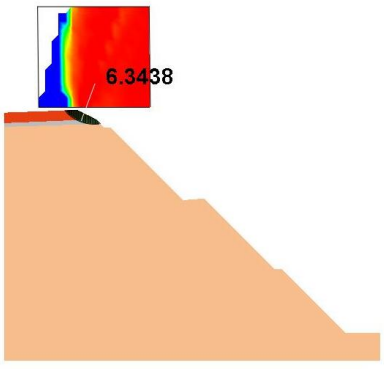
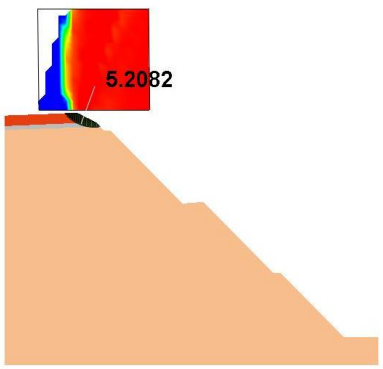
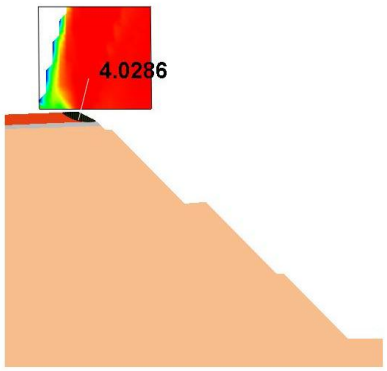
② 토사깍기비탈면 안정성검토

◦ 검토단면



대표단면 : STA.89+788, 상주

◦ 해석결과

| 건기시 | 우기시 | 지진시 |
|---|---|---|
|   |   |   |
| 안전율 : 6.34 | 안전율 : 5.20 | 안전율 : 4.02 |

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 | |
| | 우기시 | Fs ≥ 1.2 ⇨ 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 평면파괴, 전도파괴, 쐐기파괴에 대한 가능성이 없는 것으로 분석되었으며, 한계평형해석을 시행한 결과 건기 및 우기시 허용안전율을 상회하는 것으로 검토되었다. 금회 현장조사를 통한 평사투영해석 결과 각각의 파괴유형에 대해 안전한 것으로 분석되어 구조안전성능평가는 A등급으로 평가되었다.

**<표 64-80> 구조안전성능평가 결과**

| 구조안전성능 평가 결과 산정표 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **시설물명** | | **상주절토64** | | |
| **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 | 2.53 | a | Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K |
| | 우기시 | 1.77 | a | Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K |
| | 지진시 | 1.47 | a | Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K |
| **구조안전성능평가 결과** | | **A** | | |

### 64.4.3 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 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 64-81> 안전성능 평가 결과**

| 안전성능 평가 결과 산정표 | | | |
|---|---|---|---|
| **시설물명** | **상주절토64** | | |
| **평가 구분** | 결함지수 | 평가 결과 | 비 고 |
| 상태안전성능 | 0.150 | B | 인장균열 없음 |
| 구조안전성능 | 0.080 | A | 특이파괴 유형 없음 |
| 안전성능 | 0.150 | B | |
| 안전성능 결과 | ㅇ상태안전성능과 구조안전성능 등급 중 최소등급 선택.<br>ㅇ**안전성능평가 결과 : B등급** | | |

**<표 64-82> 안전성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의**

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

# 64.5 내구성능 평가

## 64.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

**<표 64-83> 평가 대상 사면 개요**

| 구 분 | | 시 설 현 황 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 사면 형식 | | 파쇄암반사면 | SR = 5/40.1 = 0.12 |
| 공용기간 | | 3년 | 2017년 준공 |
| 암반구간 설계(초기)강도 | | 보통암 : 100.0MPa | 추정 |
| 면적 | 전체 | 7,394㎡ | |
| | 토사구간 | - | |
| | 암반구간 | 7,394㎡ | |
| 표면보호공 | 낙석방지망 | 6,751㎡ | |
| | 숏크리트 | 180㎡ | |
| 사면보강공 | - | - | |

## 64.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

**<표 64-84> 사면 형식별 내구 성능 지표**

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

### 64.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

**<표 64-85> 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 | 97.0%이상 100%이하 | 90.0%이상 100%이하 |
| | b | 96.0%이상 97.5%미만 | 90.0%이상 96.0%미만 | 88.0%이상 97.0%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 64-86> 암반 강도시험 결과**

| 위 치 | 추정강도 평균값(MPa) | 초기값 대비강도(%) | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 89.668k | 84.3 | - | 초기값 미측정으로 대비강도 측정 불가<br>초기값 대비강도(%)<br>= 추정강도 / 초기 강도값 |
| 89.677k | 85.8 | - | |
| 89.688k | 86.2 | - | |
| 89.834k | 91.2 | - | |
| 89.848k | 90.9 | - | |
| 89.857k | 91.9 | - | |
| 평균값 | 88.4 | - | |
| **등급** | **A등급** | | |

**<표 64-87> 표면보호공 평가 결과**

| 항목 | 등급 | 보호공의 종류 | |
|---|---|---|---|
| | | 식생<br>(식생 피복율, %) | 콘크리트뿜어붙이기<br>(손상 면적율, %) |
| 표면<br>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<br>상태, 누수발생(50%이상~70%미만) |
| | e | 매우 불량(0%~30%미만) | 대부분의 범위에서<br>박락 및 유실, 누수발생(70%이상) |

**<표 64-88> 표면보호공 피복 면적**

| 표면보호공 종류 | 식생공 | | 콘크리트 뿜어붙이기 | | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| | 피복면적 | 피복율(%) | 손상면적 | 손상율(%) | |
| 식생 | - | - | 0/180㎡ | 0.0% | |
| 평가 | 숏크리트 손상율이 0.0% 이므로 "a등급"으로 평가함. | | | | |

**<표 64-89> 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<br>(< 5m) | 단단한 충전물<br>(≥ 5m) | 연약한 충전물<br>(< 5m) | 연약한 충전물<br>(≥ 5m) |
| 풍화진행도 | 신선 | 약한 풍화 | 보통 풍화 | 심한 풍화 | 완전 풍화 |

**<표 64-90> 암반의 풍화도 평가 결과**

| 평가항목 | 불연속면(Set A) | | |
|---|---|---|---|
| | Set 1 | Set 2 | Set 3 |
| 길이(m) | 3~10m 미만 | 3~10m 미만 | 3~10m 미만 |
| | c(10) | c(10) | c(10) |
| 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 | HW | HW | HW |
| | d(16) | d(16) | d(16) |
| 합 계 | 46 | 46 | 46 |
| 평 균 | 9.2 | 9.2 | 9.2 |
| **평가 결과** | c | c | c |

| 평가항목 | 불연속면(Set B) | | |
|---|---|---|---|
| | Set 4 | Set 5 | Set 6 |
| 길이(m) | 3~10m 미만 | 3~10m 미만 | 3~10m 미만 |
| | c(10) | c(10) | c(10) |
| 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 | HW | HW | HW |
| | d(16) | d(16) | d(16) |
| 합 계 | 46 | 46 | 46 |
| 평 균 | 9.2 | 9.2 | 9.2 |
| **평가 결과** | c | c | c |

**<표 64-91> 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 | c | 0.43 | 최소 및 최대 제외 |
| **등 급** | | **c** | |

### 64.5.4 내구성능 평가 결과

1) 혼합사면 내구성능 가중치

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

**<표 64-92> 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 | 25 | 28 | - | - | - |

2) 암반구간 내구성능 등급

**<표 64-93> 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 | | | | 0.265 |
| **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 64-94> 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의**

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

# 64.6 종합평가

## 64.6.1 종합평가 개요

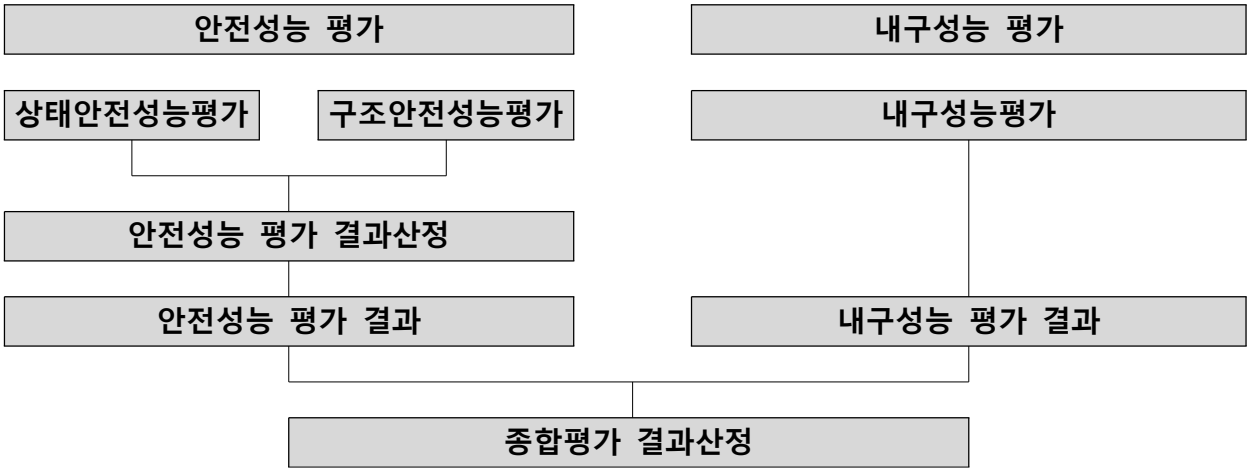
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 64-16> 종합평가 흐름도**

## 64.6.2 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 64-95> 성능간 가중치 산정 값**

| 구분 | 분류 | 성능항목 | |
|---|---|---|---|
| | | 안전성능 | 내구성능 |
| 성능간 가중치 (Wn) | 일반도로 사면<br>고속도로 사면<br>일반철도 사면<br>고속철도 사면 | 0.8 | 0.2 |

**<표 64-96> 종합평가 결과**

| 시설물의 종합평가 결과 산정표 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **시설물명** | 상주절토64 | | **분류** | 상주영천고속도로 |
| **평가 구분** | **성능평가 지수** | **평가 결과** | **성능간가중치(Wn)** | **비 고** |
| 안전성능평가 | Ps=0.150 | B | 0.8 | 인장균열 없음 |
| 내구성능평가 | Pd=0.265 | B | 0.2 | |
| 종합평가 결과 | ㅇ사면의 종합평가 지수(P)<br>= ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn))<br>= (0.150 × 0.8) + (0.265 × 0.2) = 0.173<br>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 64-97> 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 |

## 64.7 유지관리 전략 제안

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

### 64.7.1 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 5년 주기의 "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 64-98> 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**<br>일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준 | | | | |

### 64.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "B등급(0.173)"으로 평가되었다.

**<표 64-99> 종합평가 결과 요약**

| 평가구분 | 안전성능 | 내구성능 | 종합성능 |
|---|---|---|---|
| 평가지수 | 0.150 | 0.265 | 0.173 |
| 평가결과 | B | B | B |

### 64.7.3 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, 성능목표와 동일한 "B등급"으로 금회 조사된 손상들에 대해서는 현상유지 수준의 주의관찰과 손상 진전 억제를 위한 보수가 적정할 것으로 판단된다.

**<표 64-100> 현재 성능목표를 고려한 보수·보강방안**

| 구 분 | | 손상 내용 | 보수·보강방안 | 보수.보강 수준 |
|---|---|---|---|---|
| 표면 보호공 | 표층 | 상태양호 | 주의관찰 | 현상유지 |
| 배수 조건 | 소단배수로 | 균열 | 균열보수 | 일부보수 |
| | 산마루측구 | 상태양호 | 주의관찰 | 현상유지 |
| | 수직도수로 | 상태양호 | 주의관찰 | 현상유지 |
| 상부 자연비탈면 | | 상태양호 | 주의관찰 | 현상유지 |

#### 나. 유지관리 전략 제안

본 비탈면은 현재 목표성능과 동일한 "B등급"의 상태를 유지하고 있으며, 주기적인 점검을 통한 손상의 발생여후 확인 등의 유지관리 전략을 제안한다.

## 64.8 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. 소단배수로 일부구간에서 균열이 발생된 것으로 조사되었으나, 배수기능에는 큰 문제가 없는 것으로 확인되었다. 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 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.

# 제65장 상주절토65

65.1 대상 시설물 현황
65.2 관련 자료의 분석
65.3 현장조사
65.4 안전성능평가
65.5 내구성능평가
65.6 종합평가
65.7 유지관리전략 제안
65.8 종합결론

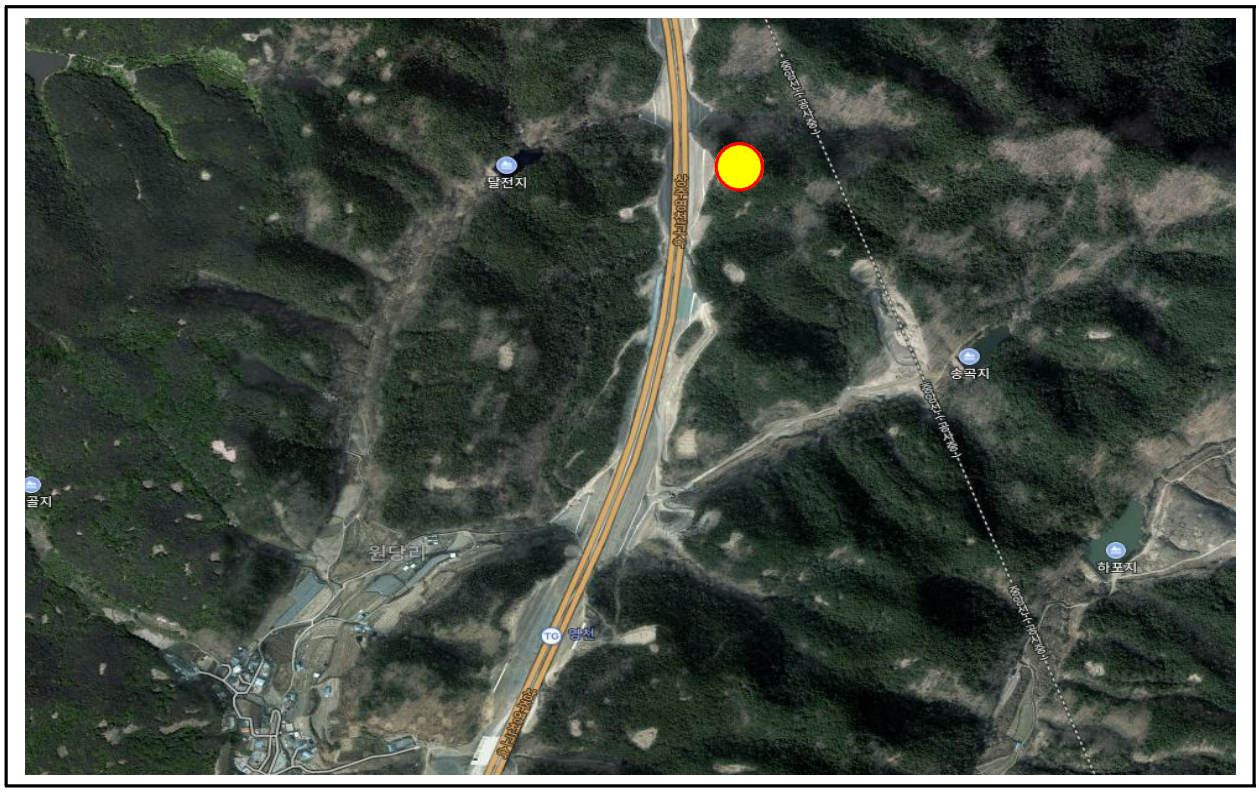
# 제65장 상주절토65

## 65.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 영천시 북안면 원당리(상주영천고속도로 90.938~91.138㎞)에 위치한 사면으로서 총 연장 200.0m, 높이 32.3m의 절토사면으로 시공되어 있다.

**<표 65-1>사면 일반사항**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 시설물번호 | SL2017-0000027 | | 관리번호 | SY SL65 |
| 시설물명 | 상주절토65 | | 시설물구분 | 절토사면 |
| 위 치 | 행정구역 | 경상북도 영천시 북안면 원당리 | | |
| | 위치좌표 | 시점 : 35° 18′33.0″ 127° 47′42.0″ | | |
| | | 종점 : 35° 18′33.0″ 127° 47′35.0″ | | |
| | 관리이정 | 90.938~91.138㎞ | | |
| | 공구이정 | 10공구 STA.6+280~6+480 | | |
| 제 원 | 연 장 | 200m | 높 이 | 32.3m |
| | 경사/방향 | 45/290 | 노 선 | 고속국도 301호선 |
| 관리주체 | 상주영천고속도로(주) | | 관리주체구분 | 민간 |
| 주변환경 | 인공구조물 | - | | |
| | 주변지형 | 산악지형 | 상부사면경사 | 10~20° |
| 시공현황 | 준공년도 | 2017 | 시 공 자 | 대림산업㈜ |
| | 부대시설 | 점검로, 배수로, 산마루측구, 낙석방지울타리 | | |
| 비 고 | | | | |

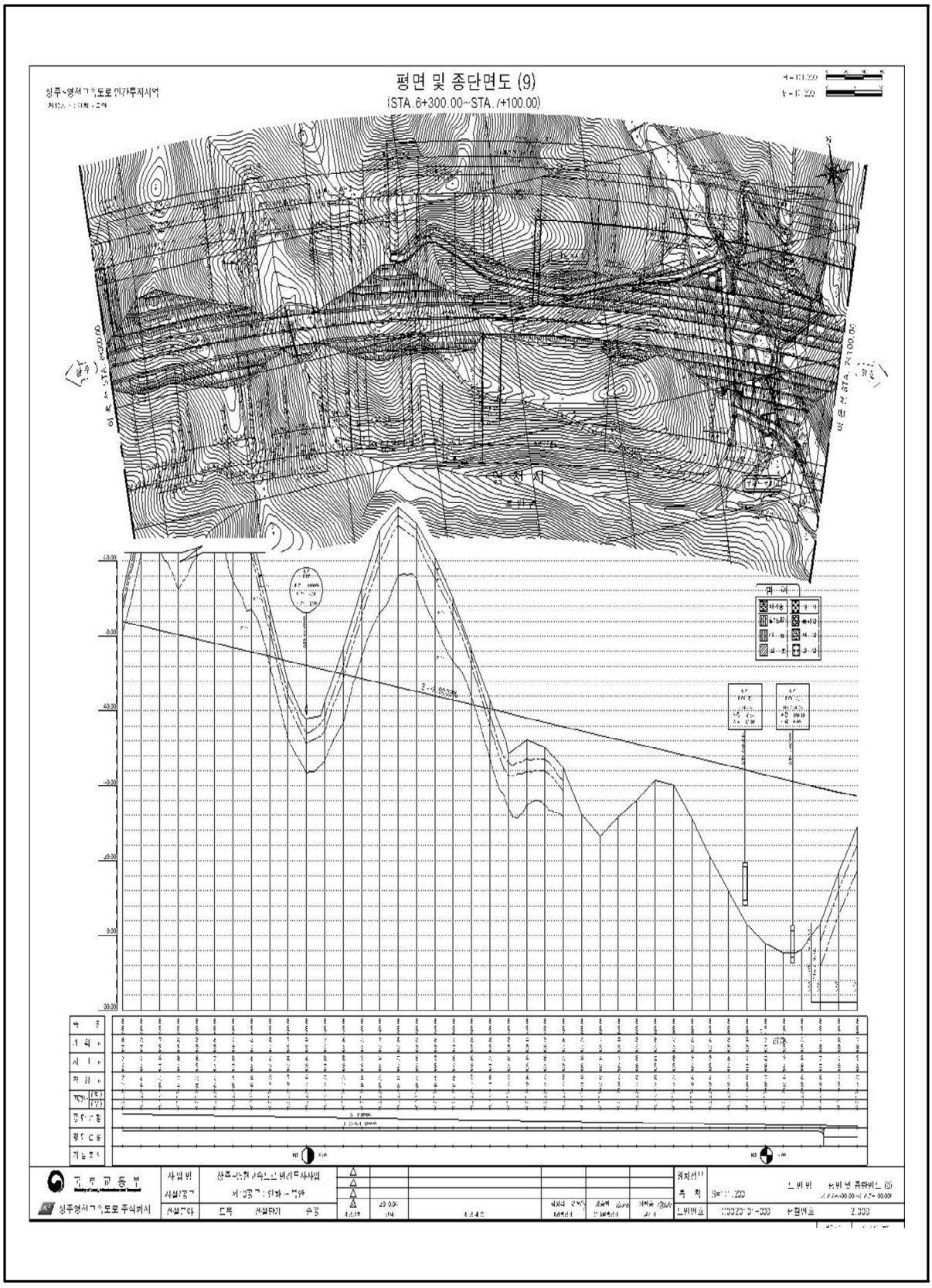



<그림 65-1>위치도

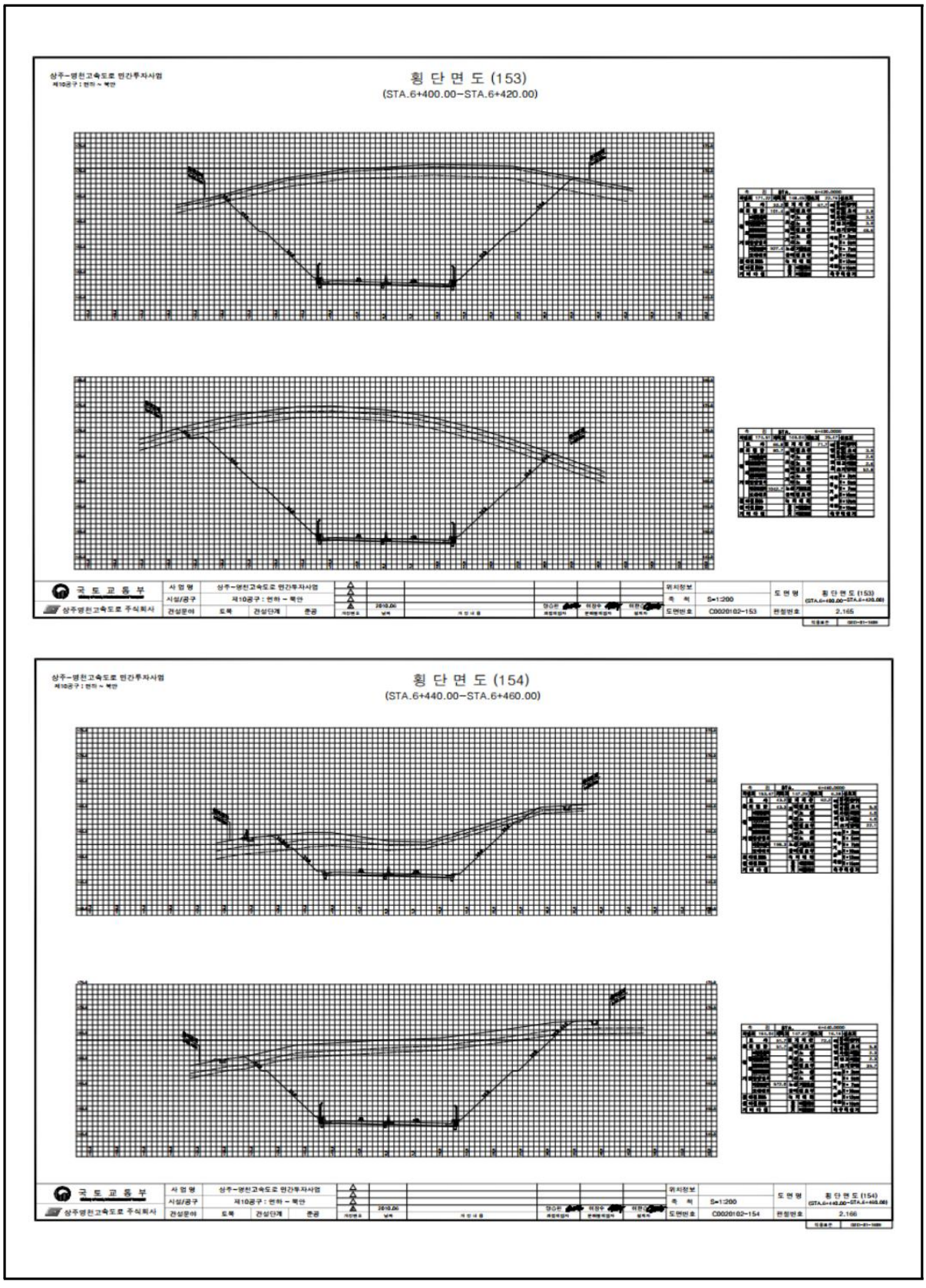
| 2019년 정밀안전점검 |
| --- |
| |

<그림 65-2> 전경사진

| | |
|---|---|
| | |
| 산마루측구 전경 | 1소단 배수로 전경 |
| | |
| 하부 전경 | 점검계단 전경 |




**<그림 65-3> 평면도**




**<그림 65-4>표준횡단면도**

# 65.2 관련 자료의 분석

## 65.2.1 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 65-2> 유지관리 관련자료 현황**

| 보존대상 목록 | | 보유현황 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 설계도서 | ㅇ공통<br>- 준공내역서<br>- 공사 및 특별시방서<br>- 각종계산서<br>- 토질 및 지반조사 보고서<br>- 기타 특이사항 보고서 | <br>보유<br>보유<br>보유<br>보유<br>- | ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 10공구 |
| | ㅇ설계도면<br>- 위치도, 전개도, 평면도, 종·횡단면도 등 | 보유 | ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 10공구 |
| 시 설 물 관리대장 | ㅇ기본현황<br>ㅇ상세제원<br>ㅇ유지관리 이력 | 보유<br>보유<br>보유 | ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS) |
| 시공관련 자 료 | ㅇ시공관련자료<br>ㅇ품질관리 관련자료<br>- 재료증명서<br>- 품질시험기록<br>- 각종 시험기록<br>- 시설물 주요 구조 부위에 대한 계측자료<br>ㅇ사고자료 | 일부 보유<br><br>일부보유<br>일부보유<br>일부보유<br>-<br>-<br>- | ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 10공구 |
| 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 2017년 준공된 시설물로 설계 및 시공관련 자료 관리 및 보관상태는 대체로 양호한 것으로 조사되었다. 관련자료 분석을 통해 당초 시공시의 개략적인 지반상태를 파악할 수 있다.

## 65.2.2 지반조사 보고서 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 "상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 10공구"의 설계 및 준공도서 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

1) 사면 적용구배 및 소단설치 기준

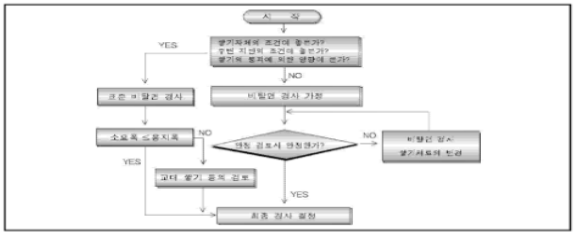
7.4 비탈면 설계기준

비탈면 안정해석을 위한 설계기준은 대체적으로 소단, 비탈면경사 및 최소안전율 등으로 구분할 수 있으며 이에 대하여 검토하면 다음과 같다.

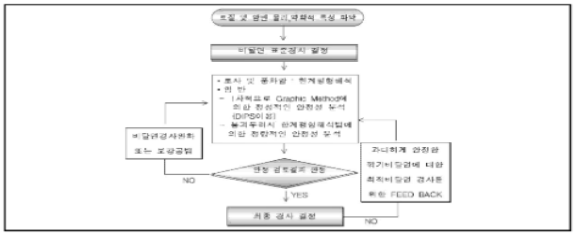
7.4.1 비탈면 경사기준

가. 비탈면 경사의 결정

(1) 쌓기 비탈면경사 결정에 따른 흐름도




(2) 깎기 비탈면경사 결정에 따른 흐름도




248

7.4.2 소단 설치기준

가. 국내외 기관별 소단 적용기준

소단 설치빈도 및 폭에 대하여 국내외 기관별, 비탈면의 종류 및 지반의 특성 등을 고려하여 비교분석한 결과는 다음표와 같다. 소단 적용기준 현황을 보면 일본의 경우는 소단설치 높이 기준을 7m 마다 1~2m로 규정하고 있으며 국내기준은 5~10m마다 0.5~3.0m이다.

소단의 설치목적은 비탈면침식방지를 위한 배수시설 설치, 점검보수용 통로 등의 유지관리에 있으므로 발파암층에서는 H=10.0m 마다 1.0m소단과 리핑암 및 토사층에서는 H=5.0m마다 1.0m소단을 설치하되 H=20.0m마다 3.0m소단을 설치하는 것이 대체적으로 타당한 것으로 사료된다.

[국내외 기관별 소단적용 기준]

| 구 분 | 기관 및 규정명 | 소단적용 기준 |
|---|---|---|
| 국 내 | 건설공사 비탈면 설계기준 (2006) | · 비탈면 높이 10m 이상 : 원칙적으로 소단설치<br>· 비탈면 중간에 5~20m 높이 마다 폭 1~3m 소단설치 |
| | 한국도로공사 도로설계요령 (2002) | · 리핑암 : R.Q.D = 0~10%, H=5m 마다 소단 1m<br>· 발파암<br>RQD = 10~25% : H = 10m 마다 소단 1~2m<br>RQD = 25~50% : H = 10m 마다 소단 1~2m<br>RQD = 50% 이상 : H = 20m 마다 소단 3m |
| | 건설부 도로시설기준 | · H = 5 ~ 10m 마다 소단 1 ~1.5m |
| | 한국토지공사 | · H = 7m 마다 소단 0.5 ~1.5m |
| 일 본 | 도로공단 설계요령 | · H = 7m 마다 소단설치 |
| | 국유철도토목구조물 표준시방서 | · 암석과 접하는 토사 경계부와 7m 마다 소단 설치 |
| | 철도설계요령 | · H > 10m의 경우 7m마다 소단 1.5m, 경사3% |

7.4.3 지하수위 적용기준

가. 적용기준

비탈면안정해석시 지하수위는 계절적인 지하수위 변화, 지형 및 시간적 요소를 고려하여 비탈면의 안정조건에 가장 불리한 상태를 해석에 적용하는 것이 바람직한것으로 사료된다.

쌓기구간에서는 시공속도에 따른 장단기적인 배수조건과 토층 및 풍화암 지반조건에서는 강우시 침투해석에 의한 간극수압분포를 실제 안정해석에 이용하여야 하나 본 설계에서는 다음과 같이 적용하였다.

253

다. 깎기 비탈면

자연지반의 토질은 매우 불균질하고, 풍화도, 성층상태 및 균열 등에 의해 지반의 강도는 현저하게 다르며 시공후 시간의 경과에 따라 응력이완, 대기노출로 인한 풍화진행 등으로 원지반의 전단강도가 약해지므로 비탈면이 차차 불안정하게 된다.

따라서 깎기비탈면 안정을 위한 경사기준 결정은 토질구성, 상태, 특성, 지형조건, 지하수위 상태 및 시공조건과 비탈면의 용도등을 종합적으로 분석 고려되어야 한다.

국내 깎기비탈면 설계기준 적용기준은 건설교통부 및 한국도로공사 설계기준에 의거한 표준경사를 적용하고 있으며 암반층에서 층리나 절리등이 규칙있게 발달할 경우 경사 비탈면에 따라 큰 붕괴가 예상되므로 지반조사 결과를 토대로 파괴형태를 예상하여 이에 대한 적절한 비탈면 경사설정 및 부가적인 안정대책을 수립하도록 계획하였다.

[원지반 토질에 대한 비탈면 경사범위]

| 토 질 조 건 | | 비탈면높이(m) | 경 사 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 모 래 | | - | 1:1.5 이상 | SW, SP |
| 사 질 토 | 밀실한 것 | 5 이하 | 1:0.8 ~ 1:1.0 | SM, SP |
| | | 5~10 | 1:1.0 ~ 1:1.2 | |
| | 밀실하지 않고 입도분포가 나쁨 | 5 이하 | 1:1.0 ~ 1:1.2 | |
| | | 5~10 | 1:1.2 ~ 1:1.5 | |
| 자갈 또는 암괴 섞인 사 질 토 | 밀실하고 입도분포가 좋음 | 10 이하 | 1:0.8 ~ 1:1.0 | SM, SC |
| | | 10~15 | 1:1.0 ~ 1:1.2 | |
| | 밀실하지 않거나 입도분포가 나쁨 | 10 이하 | 1:1.0 ~ 1:1.2 | |
| | | 10~15 | 1:1.2 ~ 1:1.5 | |
| 점 성 토 | | 0~10 | 1:0.8 ~ 1:1.2 | ML, MH, CL, CH |
| | | 5 이하 | 1:1.0 ~ 1:1.2 | GM, GC |
| 암괴 또는 호박돌 섞인 점성토 | | 5~10 | 1:1.2 ~ 1:1.5 | |
| 풍 화 암 | | - | 1:1.0 ~ 1:1.2 | 시편이 형성되지 않는 암 |

주) 1. 실트는 점성토로 간주. 표에 표시한 토질 이외에 대해서는 별도로 고려한다.
2. 위 표의 경사는 소단을 포함하지 않는 단일비탈면의 경사이다.

(건설교통부, 건설공사비탈면설계기준, 2006년)

250

7.4.4 안전율 적용기준

가. 쌓기 비탈면 안전율 기준

국내외 각 기관에서 적용하는 쌓기비탈면의 최소안전율은 쌓기 기초지반의 언약지반 분포여부, 성토체의 시공목적, 비탈면의 영구 구조물 여부 등에 따라 쌓기 비탈면의 안전율 기준에는 차이가 있으며, 각 기관의 쌓기 비탈면 안전율을 간략화 하면 아래 표와 같다.

[국내 기관별 쌓기 비탈면 최소안전율 적용기준]

| 구 분 | | 최 소 안 전 율 (Minimum Safety Factor) | |
|---|---|---|---|
| 건설교통부 | 건설공사 비탈면 설계기준 (2006년) | 건기시(지하수가 없는 것으로 해석) | Fs ≥ 1.5 |
| | | 우기시 | Fs ≥ 1.3 |
| | | 지진시 | Fs ≥ 1.1 |
| 한 국 도 로 공 사 | | 도로설계요령 | Fs ≥ 1.3 |
| 항 만 협 회 | | 항만시설 기술상의 기준, 동해설 | Fs ≥ 1.5 |

나. 깎기 비탈면 안전율 기준

비탈면 안정에 대한 최소안전율은 지역과 공사내용, 비탈면의 중요도, 비탈면 파괴시 주변에 미치는 영향 및 경제성 등에 따라 다르며, 비탈면안정 해석에 앞서 최소안전율 선정은 매우 중요한 의미를 지닌다. 각 기관별로 깎기비탈면에 대한 최소안전율에 대한 적용기준은 아래에 기술되어 있으며 기술된 최소안전율이 어떠한 가정에서 유도되었는지를 파악해야 하나 이런 가정들은 생략되어 있으며 단지 부분적인 서술만을 기재하는 방법으로 간략화 되어있다.

[국내외 기관별 깎기 비탈면 최소안전율 적용기준]

| 구 분 | 최 소 안 전 율 | |
|---|---|---|
| 건설공사 비탈면 설계기준(2006) | 건기시(지하수가 없는 것으로 해석) | Fs ≥ 1.5 |
| | 우기시(지표면에 지하수위를 위치시킨 후 해석) | Fs ≥ 1.2 |
| | 지진시 | Fs ≥ 1.1 |
| 도로설계요령 (2000) | 건기시(지하수위 미고려) | Fs ≥ 1.5 |
| | 우기시(지하수위는 지표면에 위치) | Fs > 1.1~1.2 |
| | 지진시(미국 D'APPOLNIA기준, NAVFAC - DM7.1-329기준) | Fs > 1.1~1.2 |
| 미 국 D'APPOLONIA Consulting Engineers (1975) | 실내시험에 의해 강도를 구할 경우 | 1.5 > Fs > 1.3 |
| | 최대지진가속도를 고려함때 | 1.2 > Fs > 1.0 |
| NAVFAC - DM 7.1-329 | 하중이 오래 작용할 경우 | Fs > 1.5 |
| | 구조물 기초인 경우 | Fs > 2.0 |
| | 일시적인 하중이 적용할 경우 및 시공시 | Fs > 1.35 or 1.25 |
| | 지진하중이 작용하는 경우 | Fs > 1.2 or 1.15 |

255

## 2) 지형 및 지질

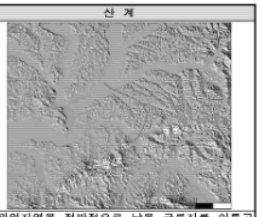
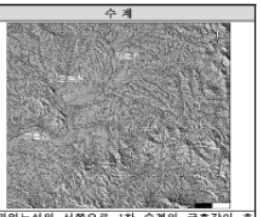
# 제 4 장 조 사 결 과

## 4.1 지표 지질 조사

### 4.1.1 지형 및 지질특성

| | |
|---|---|
| 지질개요 | • 조사지역의 지질은 변성암 상위를 부정합으로 놓인 사암, 역질사암, 역암, 니질암(세일 및 이암)등으로 이루어지는 중생대 경상누층군의 퇴적암류들이 넓게 분포<br>• 조사지역의 구성암석은 충적평원과 호성환경에서 변화되는 양상으로 해당지역에 분포하는 춘산층(반아벌층)의 경우에는 니질층이 매우 우세한 호성 퇴적암임 |

가. 지형특성

| 산 계 | 수 계 |
|---|---|
|  |  |
| • 과업지역은 전반적으로 낮은 구릉지를 이루고 있으며 과업노선은 주로 낮은 구릉지를 따라 지나가고 있음<br>• 과업노선의 남쪽과 남동쪽은 다른 지역에 비해 비교적 높은 산계를 이루고 있음<br>• 과업노선은 시, 종점부는 충적층 및 하천과 접하고 있음 | • 과업노선의 서쪽으로 1차 수계인 금호강이 흐르고 있음<br>• 과업노선의 북쪽에는 고현천과 자호천이 남쪽으로 흐르고 있으며 특히 노선의 종점부는 자호천과 교차되고 있음<br>• 전체적인 수계는 수지상의 형태를 보이며 매우 복잡하게 나타남 |



나. 분포암종 특성

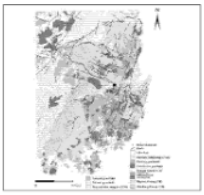
| 구 분 | 지질특성 |
|---|---|
| 춘산층 | • 층의 두께는 700m 내외이며 암회색 및 자색 이암과 실트암, 암회색 세일 및 사암으로 구성된다. 최하부는 2~3m 두께의 구산동층 회암층원으로, 중부는 기시동 역암으로 특징 지워진다. 구산동층회암은 주로 화산기원의 장석 및 석영입자들과 화산희 기질로 구성되었으나, 수류퇴적을 지시하는 층리 및 모양을 갖으며, 식물의 줄기와 잎 화석들이 산출된다(Tatelwa, 1929) |

다. 지질 계통도

| 지질시대 | | 층 명 | | 특 성 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 제4기 | | 충적층(Qu) | | • 하천 및 산곡 퇴적물 | |
| | | | | ~ 부정합 ~ | |
| 중생대 | 백악기 | 중성암맥(Kid)<br>산성암맥(Kad) | | • 괴상의 치밀 | • 전 구간에서 기반암을 관입 |
| | | | | — 관입 — | |
| | | 화강암(Kgr) | | • 괴상의 치밀 | • 3공구 중앙부 |
| | | | | — 관입 — | |
| | | 유천층군 | 안산암질암(Kat) | • 주로 응회암으로 구성 | • 노선과 교차하지 않음 |
| | | | | — 관입 및 분출 — | |
| | | 하양층군 | 신암동층(ke9) | • 암회색 이암 및 세일과 사암이 교호대 | • 10공구 종점부 |
| | | | 춘산층(ke8) | • 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 세일<br>• 하부층에서 석회질 물질 다량 함유 | • 10~8공구에 걸쳐 분포 |
| | | | 사곡층(Ke7) 상부(Ke7-ms) | • 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 세일<br>• 석회질 물질 함유 | • 8공구 시점 |
| | | | 사곡층(Ke7) 하부(Ke7-ss) | • 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 세일과 사암이 교호<br>• 사질부분을 다량 함유 | • 8공구 시점과 7공구 종점 |
| | | | 점곡층(ke6) | • 암회색, 녹회색, 적색 세일 및 이암<br>• 주로 암회색 세일로 구성 | • 7공구 종점 및 중앙부 |
| | | | 후평동층(Ke5) 구계동층원(Ke5-2) | • 사암, 미사암 및 미사질 세일 및 이암(니질 무세) | • 7공구 시점부 |
| | | | 후평동층(Ke5) 구미동층원(Ke5-1) | • 사암, 적색 미사질 세일, 저석처트역 및 역암(사질 무세) | • 6공구 종점부 |
| | | | 일직층(Ke4) | • 사암, 적색 미사질 세일, 역암<br>• 주로 사암이 우세 | • 6공구 중앙 및 종점 |
| | | | 진주층(Ke3) | • 역질사암, 사암, 세일의 교호<br>• 하부층에서 이회암 호층 분포 | • 6공구 시점 및 중앙부 |
| | | | 하산동층(Ke2) 상부(Ke2-2) | • 사암 및 적색 미사암, 이암의 교호 | • 5공구 종점 |
| | | | 하산동층(Ke2) 하부(Ke2-1) | • 사암과 역질사암, 역암의 교호 | • 5공구 중앙 및 시점부 |
| | | | 금당리층원(Ke1-nk) | • 사암과 역질사암, 세일의 교호<br>• 주로 역질 사암 우세 | • 4공구 전구간 |
| | | | 낙동층(ke1) 안경산층원(Ke1-nm) 상부(Ke1-num) | • 사암과 역질사암, 역암 교호 | • 3공구 중앙 및 종점부 |
| | | | 낙동층(ke1) 안경산층원(Ke1-nm) 하부(Ke1-nlm) | • 장석질 사암과 역질사암, 역암 교호<br>• 최하부에 탄질층 협재 | • 3공구 시점 및 중앙부 |
| | | | | ~ 부정합 ~ | |
| | 쥬라기 | 세립질화강암(Jfgr) | | • 엽리 발달 미약<br>• 세립질, 두분석으로 화강섬록암 암상 포함 | • 1공구 종점, 2공구 시점 |
| | | | | 관입 | |
| | | 편마상화강암(Jggr) | | • 엽리 발달<br>• 조립질 | • 1공구 시점 및 중앙, 2공구 중앙부 |



라. 지체구조



• 경상분지는 암상 및 지구조에 의해 몇 개의 소분지로 구분된다. 분지서쪽에 남북방향의 대상으로 발달하는 낙동소분지, 분지 최북단의 일월산 충상단층(thrust)과 청송령 사이에 발달하는 영양소분지, 안동 충상단층 및 청송령과 팔공산 융기대 사이에 발달하는 의성(도평)소분지, 그리고 팔공산 융기대 이남지역에 발달하는 유천(밀양)소분지로 나누어진다.
• 경상분지의 서쪽과 북쪽에서는 경상누층군이 선캄브리아기에 속하는 변성퇴적암류와 쥬라기말의 대보화강암류를 부정합으로 덮고 있고, 동부와 남부는 백악기말의 화성활동과 단층작용으로 심하게 파괴되었으며, 제3기층에 의해 부정합으로 피복되거나 동해 및 남해의 해저로 계속 발달되어 있다.

### 4.1.2 영상정보를 활용한 선형 구조 분석

가. 인공위성영상 분석

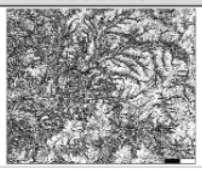
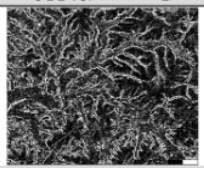
① 목 적

• 과업지역의 광역적인 지형 특성 파악 및 선형구조 발달 상태 파악
• 지형 및 지질특성(단층, 절리, 암맥 등의 선구조)파악
• 과업구간에 대한 지질분포와 단층, 절리 등에 의한 광역적인 선구조 해석

② 원리 및 방법

• 30m급 해상도의 Landsat5 TM 위성영상을 이용하여 분석실시
• 선형 공간 필터링 분석, 주성분 분석, 밴드비율 분석 등을 통해 광역 선구조 해석에 이용
• 식생지수, 습윤도 분석을 통해 식생 및 토양환경 분석 실시

③ 위성영상결과

| 선형공간필터링 | 공간엠보싱(Sobel filtering) |
|---|---|
|  |  |
| • Landsat-7 ETM+ 영상에서 선적인 요소를 강조시키기 위해 고주파 강조 선형 공간필터링을 실시<br>• 고주파강조 공간필터인 Laplacian 필터(Jensen, 1996)를 적용시킨 후의 결과<br>• 지형적인 선구조 이외에 도로나 할만 시설과 같은 인공적인 선구조가 추출됨 | • 영상 내의 지형 또는 선구조의 방향성에 관계없이 지형 지물의 에지를 검출<br>• 선구조 묵안 판독에 유용한 자료임 |



### 7.6.2 암종특성에 따른 비탈면 기울기 현황

가. 지질 및 암종특성

(1) 지질특성

• 본 과업노선은 경상분지의 퇴적암 지역에 위치하며 미세립의 니질암을 90%이상 함유한 춘산층이 주로 분포됨
• 퇴적암 중 이암과 세일로 구성된 니질암은 사암이나 역암에 비해 입자간 공극이 크고 느슨한 특징을 보이며, 탄산염광물 함량이 높을 경우 빠른 시간 내에 풍화되는 특성을 나타냄

(2) 암종특성

• 본구간의 니질암 암종특성 및 풍화특성파악을 위해 XRD, 현미경분석, 산침수에 의한 분말화 시험 및 내구성 시험 등 각종분석 실시
• XRD 및 현미경 분석결과 주구성광물은 석영과 방해석, 그리고 미립의 점토로 구성되었으며, 입자간 교결물질이 방해석인 것으로 판단
• 산침수에 의한 분말화 시험결과 층리에 따른 뚜개짐과 분말화가 상당히 진행됨
• 따라서, 깎기 비탈면 시공시 우수와 지표수에 노출되면 입자간 교결물질인 방해석의 용탈이 발생하여 암반사면이 빠르게 풍화될 것으로 판단

| 구 분 | 일축강도(kg/cm²) | | XRD분석 | 현미경분석 | | NP시험 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 니질암 | 사암 | 점토광물(%) | 실트(%) | 점토(%) | 방해석함량(%) |
| 10공구 | 339~852 | 958~1,317 | 27.2~41.8 | 31.6 | 68.4 | 29.7~39.9 |
| 9공구 | 395~814 | 433~884 | 28.2~39.7 | 52.6 | 47.4 | 5.8~16.8 |
| 8공구 | 535~1,066 | 654~1,345 | 36.4~43.6 | 21.1 | 78.9 | 22.7~28.1 |

주) XRD : X-선 회절분석, NP시험 : 중화잠재(Neutralization Potential) 시험

나. 인근비탈면조사

• 사업노선과 교차하는 4 개소의 고속도로(경부, 대구-포항, 중앙, 중부내륙) 및 기존 도로(국도 및 지방도)의 비탈면 기울기 적용 현황 조사

• 위치 : 신령~영천 현장사무소
• 설명 : 풍화되어 부피가 1/3로 축소됨

• 위치 : 신령~영천 덕산마을 인근
• 설명 : 1:1.0절취, 국부적 붕락발생

3) 지반조사 보고서

## 제 1 장 조 사 개 요

### 1.1 조 사 명

- 상주~영천 고속도로 민간투자사업 실시설계(10공구)

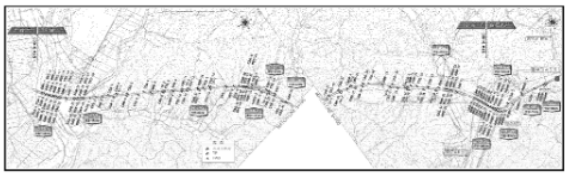
### 1.2 조 사 목 적

- 상주~영천 고속도로 민간투자사업을 위한 지반조사
- 계획노선의 지반공학적 특성을 고려한 조사계획 수립
- 선정된 최적노선을 대상으로 구조물별 특성을 고려한 현장조사, 현장시험 및 실내시험 실시
- 지층의 구성상태, 지반공학적 특성 및 지반조건 파악
- 조사된 자료를 종합·분석하여 합리적이고 경제적인 설계 및 시공에 필요한 공학적 자료 제공

### 1.3 조 사 범 위

| | |
|---|---|
| 위 치 | · 시점 : 경상북도 영천시 언하동 (STA. 0+000) (X=275,770.3573 , Y=197,045.8262)<br>· 종점 : 경상북도 영천시 북안면 임포리(STA. 9+360) (X=269,280.9395 , Y=200,559.7855)<br>· 연장 : 9.36km |
| 특 성 | · 상주~영천간 고속도로 건설을 통한 기존 고속도로(경부, 중부내륙)의 기능 회복 및 연계를 통한 효율성 증대<br>· 고속도로 신설을 통해 동과 지역의 권역별 상호 균형 발전을 통한 공익성 증대 |

### 1.4 위 치 도

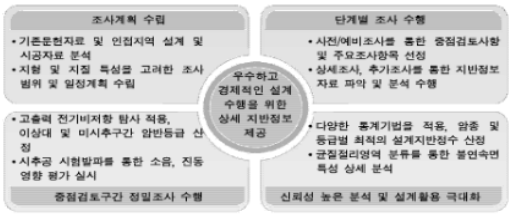


1

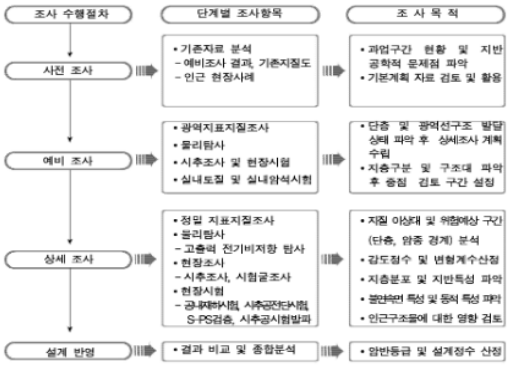
## 제 2 장 조 사 계 획

### 2.1 조사 기본방향 및 수행흐름

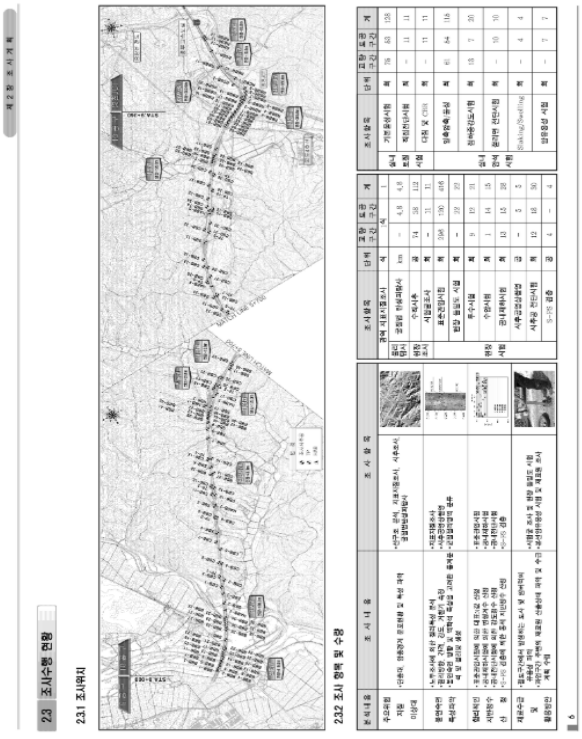
가. 조사 기본방향




나. 조사 수행 흐름도




3



2.3 조사수행 현황

2.3.1 조사위치

2.3.2 조사 항목 및 수량



## 제 7 장 비탈면 안정성 검토

### 7.1 개 요

#### 7.1.1 검토목적

본 검토는 계획노선에 계획되어 있는 깎기 및 쌓기 비탈면 중 붕괴가능성을 지닌 대깎기 비탈면과 고쌓기 비탈면에 대하여 설계시 지반공학적인 측면에서 조사 및 시험을 실시하고 이를 분석 파악 후 토질 및 암반상태와 안정성을 고려한 안정 비탈면기울기 결정 및 대책 등을 검토하여 경제적인 비탈면 설계방안을 제시하는데 그 목적이 있다.

토사비탈면의 경우 토층이 균질하다는 가정하에 임의의 최소안전율을 갖는 활동 저항면에 대한 안정성 평가가 이루어지나 암반비탈면의 경우 지질구조 및 불연속면의 특성에 의해 안정성을 평가하게 된다. 따라서 본 검토에서는 토사와 암반 비탈면의 파괴특성 차이를 고려하여 본 계획 노선의 비탈면을 토사비탈면과 암반비탈면으로 구분하여 안정검토를 실시하였다.

#### 7.1.2 검토내용

본 구간의 검토대상 비탈면에 대하여 현장조사 및 실내시험을 통하여 얻은 성과를 토대로 검토한 내용은 다음과 같다.

- 현장조사 적정성 분석 및 비탈면 설계정수 산정
- 실내시험 적정성 분석 및 비탈면 설계정수 산정
- 합리적인 비탈면 기울기 검토
- 비탈면 안정대책 및 보호공법 검토

### 7.2 검토구간 선정 및 현황

#### 7.2.1 선정기준

과업구간에 계획되는 비탈면 중 흙쌓기 구간의 검토단면 선정은 일반적으로 흙쌓기 높이가 10m이상, 깎기구간은 절취비탈면 높이가 20m 이상 되는 비탈면을 원칙으로 하였으며, 그 외 현장조건 및 토질조건에 따른 대상은 다음의 기준에 따라 선정하였다.

231

| 구 분 | 선 정 기 준 |
|---|---|
| 쌓 기 부 | · 비탈면높이가 10m를 초과하는 경우<br>· 비탈면기울기가 표준기울기보다 급한 경우<br>· 쌓기재료의 함수특성이 높고, 전단강도가 낮은 경우<br>· 붕괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우<br>· 지형특성으로 인하여 쌓기토체 내부로 지속적인 지하수의 유입이 발생하는 경우<br>· 홍수시 비탈면이 침수되거나 비탈끝이 침식되는 경우<br>· 쌓기비탈면의 원지반이 양호하지 못한 경우(연약지반 등)<br>· 내진안정해석이 필요한 경우 |
| 깎 기 부 | · 비탈면높이가 20m 이상인 경우<br>· 비탈면기울기가 표준기울기보다 급한 경우<br>· 비탈면 지반이 봉적토로 이루어진 경우<br>· 암반의 풍화가 심하고 음수가 많은 경우<br>· 붕괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우<br>· 불연속면이 비탈면 방향으로 기울기진 지질조건인 경우<br>· 내진안정해석이 필요한 경우<br>· 불안정 요인을 갖는 지형·지질 조건인 경우 |

### 7.2.2 비탈면 현황

비탈면 안정검토 대상구간 선정기준에 의한 비탈면 현황은 다음과 같다.

| 구 분 | | 구 간 (STA.) | 연 장 (m) | 대표단면 (STA.) | 최대깎기고 (m) | 지층현황 | 조사내용 공번 | 조사내용 조사위치 (STA.) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 깎기 | 깎기1구간 | 1+470 ~2+390 | 920 | 1+580(상주)<br>1+680(영천)<br>1+620(상주) | 19.71<br>26.39<br>10.80 | 표토,풍화토,<br>풍화암,<br>연암,경암 | CBB-4<br>CBB-5<br>CBB-6<br>CBB-7 | 1+967.92(우23.65)<br>1+984.53(좌21.84)<br>2+216.49(우27.54)<br>2+342.05(좌34.83) | |
| | 깎기2구간 | 2+590 ~2+900 | 310 | 2+780(상주) | 19.13 | 풍화토,<br>풍화암,<br>연암,경암 | CBB-8<br>CBB-9 | 2+762.76(우17.14)<br>2+778.62(좌13.82) | |
| | 깎기3구간 | 3+050 ~3+400 | 350 | 3+320(상주)<br>3+140(영천) | 27.86<br>28.32 | 표토,풍화토,<br>풍화암,<br>연암,경암 | CBB-10<br>CBB-12<br>CBB-13<br>CBB-14 | 3+160.48(우25.89)<br>3+279.45(우16.27)<br>3+314.22(좌22.10)<br>3+540.00(우32.42) | |
| | 깎기4구간 | 3+710 ~3+840 | 130 | 3+760(상주) | 18.67 | 표토,풍화토,<br>풍화암,<br>연암,경암 | CBB-15<br>CBB-16 | 3+764.91(좌30.58)<br>3+782.52(우28.65) | |
| 성토 | 깎기5구간 | 4+870 ~5+280 | 410 | 5+060(상주)<br>5+080(영천) | 39.82<br>33.57 | - | - | - | 민원으로 시추 미시행 |
| | 깎기6구간 | 5+640 ~5+820 | 180 | 5+740(영천)<br>5+780(영천) | 20.18<br>18.16 | - | - | - | 민원으로 시추 미시행 |
| | 깎기7구간 | 5+900 ~6+150 | 250 | 6+080(상주)<br>6+100(영천) | 22.46<br>18.61 | - | - | - | 민원으로 시추 미시행 |
| | 깎기8구간 | 6+290 ~6+780 | 490 | 6+360(상주)<br>6+420(영천) | 32.27<br>20.10 | - | - | - | 민원으로 시추 미시행 |
| | 깎기9구간 | 7+110 ~7+440 | 330 | 7+240(상주)<br>7+240(영천)<br>7+300(영천) | 23.57<br>40.17<br>28.67 | - | - | - | 민원으로 시추 미시행 |
| | 깎기10구간 | 7+880 ~8+320 | 440 | 8+020(상주)<br>8+200(영천) | 23.89<br>23.61 | - | - | - | 민원으로 시추 미시행 |



## 7.6 비탈면 안정해석 및 검토

### 7.6.1 개요

가. 깎기구간

본 지역에서의 깎기비탈면 안정해석은 깎기구간 중 깎기 높이가 가장 높은 지역을 기준으로 비탈면 현황을 고려하여 대표단면 선정 후 토사지반 및 암반층에 대해 실시하였고, 지표지질조사 결과 및 시추조사 결과를 종합 분석하여 토사 및 암반층에 널리 적용하고 있는 한계평형해석 및 평사투영법을 이용하여 종합적으로 검토가 이루어졌다. 깎기비탈면 해석을 실시함에 있어 경제적이고 안정한 비탈면기울기의 선정을 위하여 다음과 같이 적용하여 검토하였다.

- 비탈면 안정해석시 일반적으로 기준 안전율을 건기시 **1.5** 이상, 우기시 **1.2** 이상으로 적용하였다.
- 구간 내 시추조사 결과에 의한 지층 층후의 종합적용 및 지표지질 조사시 현장 확인된 암반 노출면 등을 종합하여 지층경계선을 설정하였다.
- 결과를 근거로 암반파괴 상태에 의한 깎기 기울기는 암석별 깎기 적정기울기를 기준으로 암반비탈면 기울기를 결정하였다.
- 수집된 지표지질조사 결과를 이용하여 평사투영법으로 불연속면의 주향 및 기울기방향을 구간별 투영으로 파괴양상을 예측하였다.
- 암반비탈면 기울기에 따라 상부층의 토사비탈면 안정성 검토는 **Talren 97 Program**을 이용하여 원호활동 파괴로 검토함을 원칙으로 하였다. **RQD = 0~10%**의 암석은 연암이라 하더라도 암반이 큰 **COBBLE** 상태에서 거동하는 것으로 사료되므로 풍화암과 같은 특성으로 고려될 수 있다. 이와 같은 경우 암반은 절리면을 따라 파괴하기 보다는 원호활동 파괴의 경향을 보이므로 풍화암과 토사층을 포함하여 검토하였다.

나. 쌓기구간

본 쌓기구간은 산지지형 말단부의 편측쌓기와 곡간형태의 충적층 지역에 대한 쌓기로서 전답토로 형성된 구간을 경유하고 있으며 원지반의 지층분포 상황, 특성파악 및 연약지반 출현 여부를 확인하기 위하여 **Hand Auger Boring**을 실시하였다. 쌓기 비탈면의 파괴형태는 원호활동 파괴로 해석하였으며, 강도정수는 쌓기지역의 지반강도정수 선정에 의거 지층별로 적용하였다. 쌓기 비탈면 해석을 실시함에 있어 차량하중의 고려와 우기시를 고려하여 지표면에 지하수위가 형성된 것으로 가정하여 해석하였다.

# 제 8 장 지표지질조사

## 8.1. 광역 지표지질조사

### 8.1.1. 지질개요

•과업구간은 백악기 경상분지의 주로 신동층과 하양층군이 분포하는 의성소분지의 동남부에 위치한다. 경상분지는 처음에는 일본의 북구주지방과 중국, 대마도에 분포하는 퇴적분지를 총괄하여 대마도분지로 불러왔다. 그 후 1961년 원종권은 수치래 조사로부터 경상누층군이 구조상으로 분지형을 이루고 있으므로 경상분지라고 명명하였다. 경상분지의 분포는 남북방향인 장축이 200km, 동서단축이 120km, 총 면적이 24,000km2에 달한다. 경상분지는 조산운동에 의해 형성된 3개의 소분지로 구성되어 있고, 이들은 다시 여러 개의 단층계에 의해 파괴되어 있다(그림 1).

그림 1. 경상분지와 소분지 분포

•경상분지는 안산 및 지구조에 의해 몇 개의 소분지로 구분된다. 분지서쪽에 남북방향의 대상으로 발달하는 낙동소분지, 분지 최북단의 일월산 충상단층(thrust)과 청송령 사이에 발달하는 영양소분지, 안동충상단층 및 청송령과 팔공산 융기대 사이에 발달하는 의성(도평)소분지, 그리고 팔공산 융기대 이남지역에 발달하는 유천(밀양)소분지로 나누어진다(그림 1).
•경상분지의 서쪽과 북쪽에서는 경상누층군이 선캄브리아기에 속하는 변성퇴적암류와 쥬라기말의 대보화강암류를 부정합으로 덮고 있고, 동부와 남부는 백악기말의 화성활동과 단층작용으로 심하게 파괴되었으며, 제3기층에 의해 부정합으로 피복되거나 동해 및 남해의 해저로 계속 발달되어 있다(그림 2).

### 65.2.3 점검 및 진단 이력

본 비탈면은 2017년부터 정기안전점검 5회, 정밀안전점검 1회를 실시한 것으로 조사되었다. 점검 결과 전반적으로 양호한 상태로 특별한 보수·보강을 필요한 구간은 없는 것으로 평가되었다.

**<표 65-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력**

| 번호 | 기 간 | 구 분 | 주요 점검 결과 | 안전등급 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28 | 정기안전점검 | 상주절토65 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 일부구간에서 균열, 퇴적이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다. | 양호 |
| 2 | 2018. 05. 28 ~ 2018. 06. 30 | 정기안전점검 | 상주절토65 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 일부구간에서 균열, 퇴적이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다. | 양호 |
| 3 | 2018. 10. 23 ~ 2018. 12. 31 | 정기안전점검 | 상주절토65 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 일부구간에서 균열, 퇴적이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다. | 양호 |
| 4 | 2019. 03. 18 ~ 2019. 05. 28 | 정기안전점검 | 상주절토65 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 일부구간에서 균열, 퇴적이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상부의 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다. | 양호 |
| 5 | 2019. 09. 16 ~ 2019. 12. 27 | 정밀안전점검 | 본 사면에 대한 정밀안전점검 결과, 경미한 손상, 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수와 지속적인 관찰이 필요한 상태인 "B"등급의 양호한 상태로 평가되었다. 본 사면은 식생공, 낙석방지망이 시공되어 있으며, 노출암에서 확인할 수 있는 암반의 풍화등급은 약한풍화~심한풍화 정도이다. 사면 전반적으로 식생상태가 양호~보통인 것으로 조사되었다. 일부 노출암 구간은 낙석방지망 및 낙석방지울타리가 설치되어 안전성에는 문제가 없으나, 공용기간이 증가할수록 우수 및 동결융해작용으로 풍화가 진행될 수 있으므로, 주기적인 주의관찰이 요망된다. 배수기능에 큰 문제는 없는 것으로 조사되었다. 사면 보호/보강시설은 기능발휘에 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다. | B |
| 6 | 2020. 05. 12 ~ 2020. 06. 30 | 정기안전점검 | 상주절토65 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 및 산마루측구 일부구간에서 건조수축 및 온도변화 등에 의한 균열이 발생된 것으로 조사되었다. 기 발생된 손상부의 경우 사면의 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 아니나, 손상의 진전방지를 위한 보수가 필요할 것으로 판단된다. | 양호 |

### 65.2.4 보수·보강이력

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

**<표 65-4> 보수·보강이력**

| 번호 | 공사기간 | 공사내역 | 공사비(원) | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| | | 특이사항 없음 | | |

### 65.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 fms상 내진설계가 적용 된 것으로 확인되었다.

**<표 65-5> 내진 설계 적용 여부**

| 검토대상 부재 | 설계적용여부 | 결과 | 검토결과 요약 | 근거 |
|---|---|---|---|---|
| 해당사항 없음 | 적용 | - | - | |

### 65.2.6 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 65-6> 관련 자료 분석 결과 요약 및 점검 방향**

| 구 분 | 자료 분석 결과 | 성능평가 방향 |
|---|---|---|
| 설계도서 | ㅇ준공도서 유지관리중<br>ㅇ위치도, 횡단면도 등 파악 가능<br>ㅇ원지반 상태 파악 가능 | ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득<br>ㅇ설계도면과 현재 제원 비교 |
| 시설물 관리대장 | ㅇ기본현황, 상세제원 확인 가능<br>ㅇ유지관리 이력 파악<br>ㅇ시설물 준공 후 최초의 성능평가 | ㅇ현장조사를 위한 기초자료로 활용<br>ㅇ준공후 특별한 보수·보강이력이 없는 상태로서 금회 성능평가시 손상 조사시 필요에 따라 보수·보강방안 수립 |
| 안전점검 및 정밀안전진단 자료 | ㅇ준공후 정기안전점검, 정밀안전점검이 시행되었으며, 전반적으로 양호한 상태임. | ㅇ사면파괴징후에 대한 면밀한 조사<br>ㅇ필요시 보수보수·보강방안 수립<br>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<br>ㅇ성능평가 결과에 따라 성능목표 유지를 위한 유지관리 전략 제안 |

# 65.3 현장조사

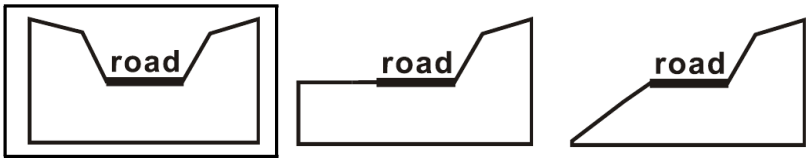
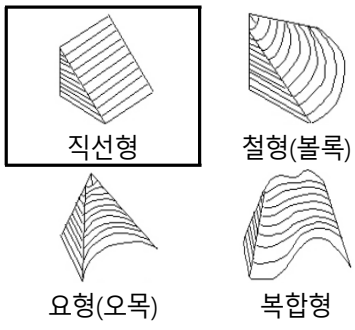
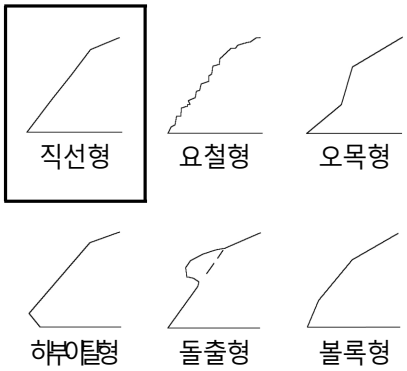
## 65.3.1 현장조사 체크리스트

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

**<표 65-7> 일반현황**

<table>
<tr><td>조사일자</td><td colspan="2">2019. 11. 25.</td><td>조 사 자</td><td colspan="2">장 진 원</td></tr>
<tr><td>일 기</td><td colspan="2">맑음</td><td>준공년도</td><td colspan="2">2017년 06월 27일</td></tr>
<tr><td>행정구역</td><td colspan="5">경상북도 영천시 북안면 원당리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="5">시점 : 35° 18′33.0″ 127° 47′42.0″</td></tr>
<tr><td colspan="5">종점 : 35° 18′33.0″ 127° 47′35.0″</td></tr>
<tr><td rowspan="4">절토사면</td><td colspan="2">길 이 : 200m</td><td colspan="3">높 이 : 32.3m</td></tr>
<tr><td colspan="5">경 사/경사방향 : 45/290</td></tr>
<tr><td colspan="2">구성물질 : 암반</td><td colspan="3">토층심도 : 약 1.0~3.0m</td></tr>
<tr><td colspan="5">소 단 : 3</td></tr>
<tr><td rowspan="4">낙석/뜬돌</td><td colspan="2">낙석 존재유무 : 없음</td><td colspan="3">낙석의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="5">낙석 평균크기 : -<br>낙석 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td colspan="2">뜬돌 존재유무 : 없음</td><td colspan="3">뜬돌의 양 : -</td></tr>
<tr><td colspan="5">뜬돌 평균크기 : -<br>뜬들 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td rowspan="5">절토사면<br>시공현황</td><td>종 류</td><td colspan="2">위 치</td><td colspan="2">상 태</td></tr>
<tr><td>산마루측구</td><td colspan="2">91.078~91.138k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>소단배수로</td><td colspan="2">90.978~91.078k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>낙석방지울타리</td><td colspan="2">90.968~91.128k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>점검계단</td><td colspan="2">91.018k</td><td colspan="2">양호</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">·</td></tr>
</table>

**<표 65-8> 지형·지질 및 식생**

<table>
<tr><td rowspan="3">주변지형의 특성</td><td>주변 지형</td><td colspan="4">산악지형</td></tr>
<tr><td>종단면 형상</td><td colspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td>기타 특징</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>절토사면의 특성</td><td>종<br>횡<br>단<br>면</td><td colspan="2"> 
</td><td>종<br>단<br>면<br>특<br>성</td><td> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="6">상부 자연비탈면</td><td>경 사 도</td><td colspan="4">10~20°</td></tr>
<tr><td>인장균열</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>포행흔적</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>수목의 기울어짐</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>인공구조물</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>산마루측구</td><td colspan="4">유</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 65-9> 기초조사 자료**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 일반현황 | 거리표 | 상주절토65 | | |
| | 위경도 | 시점 : 35° 18′33.0″ 127° 47′42.0″<br>종점 : 35° 18′33.0″ 127° 47′35.0″ | | |
| | 차선 | 왕복 ( 4 ) 차선 | | |
| | 조사일자 | 2019년 11월 25일 | | |
| | 조사자 | 장진원 | 조사기관 | ㈜명성엔지니어링 |
| 절토사면 특 성 | 길이 | 200m | 최대높이 | 32.3m |
| | 경사 | 45° | 상부경사 | 10~20° |
| | 이격거리 | 평균 1.0~2.0m | 소단 | 3개소 |
| | 종류 | ■암반 □혼합<br>□토사 □자연 | 주변지형 | ■산악 □준산악<br>□구릉 □평 지 |
| | 지하수 | ■C.dry □damp<br>□wet □dripping<br>□flowing | 누수위치 | □상 □중 □하<br>□좌 □중 □우 |
| | 풍화도 | □F ■S ■M<br>□H □C □R | 불연속면 방향성 | □일치 □평행<br>■후방 □불가 |
| | 사면형상 | ■직선형 □철형<br>□요형 □파형 | 측면형상 | ■직선형 □요철형<br>□탈락형 □돌출형 |
| | 계곡부 | 없음 | 붕괴이력 | □유(영향) □낙석<br>□유(미영향) ■무 |
| | 뜬돌 | □대 □중<br>□소 ■무 | 낙석 | □대 □중<br>□소 ■무 |
| | 암종 | 사암 및 셰일 | 토층심도 | 1.0~3.0m |
| | 암반형태 | □massive<br>□tabular<br>□columnar<br>□irregular<br>■blocky<br>□crushed | 불연속면 | ■절리 ■층리<br>□엽리 □균열<br>□단층 □전단대<br>□암맥 □무 |
| | 시공현황 (상태) | □식생공<br>□옹벽<br>□격자블럭<br>■점검로(양호) | | ■낙석방지망(양호)<br>■낙석방지울타리(양호)<br>■배수로(양호)<br>□기타 |
| 조사자 소 견 | 위험도 | □상 □중 ■하 | 피해도 | □상 □중 ■하 |
| | 붕괴 유형 | □심층 □표층 ■무 | 위험등급 | □A ■B □C<br>□D □E |
| | 위험구간 (붕괴유형) | □상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( )<br>□상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( )<br>□상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( ) | | |
| | 필요 주공법 | - | 조치 | □응급 ■미응급 |
| | 기타 | | | |

## 65.3.2 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 상주영천고속도로 90.938~91.138㎞에 위치하고 있으며, 길이는 200m, 높이 32.3m의 절토사면으로 시설물 안전법상 2종 시설물로 분류된 시설이다.

### 나. 절토사면의 분류

토층심도 깊이측정을 위한 자료는 준공도서 표준 횡단면도를 참고하여 작성하였고, 블록크기 측정을 위한 절리간격은 사면특성 조사 시 각 구간에 위치하는 절리군의 평균 간격을 측정하였다.

**<표 65-10> 절토비탈면 분류**

(㎫=10.2kg/㎠)

| 구 분 | | 분류기준 | 평가점수 | 비탈면종류 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 세부분류 | 종합분류 |
| 1구간 | 토층심도율 | 0.4 | $\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{32.3}=0.09$로 0.4미만 | 암반사면 | 파쇄 암반사면 |
| | 압축강도 | 10㎫ | 반발경도측정결과 94.2~96.3㎫으로 10㎫이상 | 파쇄암반 절리암반 | |
| | 블록크기 | 0.01 | $\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.25}{32.3}=0.007$로 0.01이하 | 파쇄암반 | |

**다. 비탈면 구간 분할**

본 사면은 연장이 200m로써, 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 기준에 의해, 1개 구간으로 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

**<표 65-11> 비탈면 구간 분할**

| 구 분 | 측 점 | 비 고 |
|---|---|---|
| 1구간 | 90.938~91.138k | 200m |

### 65.3.3 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 -10~20°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 65-12> 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, 약한풍화~심한풍화 상태를 보이고 있는 것으로 분석되었다.

**<표 65-13> 불안정 지질 조사 결과**

| 구 분 | 손상 내용 | 단위 | 손상수량 (개소 / 수량) | 손상 원인 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 불안정 지질 | 국지적 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 대기에 노출된 원지반을 대상으로 3개 구간에서 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

**<표 65-14> 불연속면 특성 조사 결과**

| 구 분 | 1구간 | | |
|---|---|---|---|
| | Set 1 | Set 2 | Set 3 |
| 방향성 | 30/282 | 86/010 | 85/296 |
| 간격(m) | 0.2~0.6 | 0.2~0.6 | 0.2~0.6 |
| 연장성(m) | 3.0~10.0 | 3.0~10.0 | 3.0~10.0 |
| 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 | HW | HW | HW |
| 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 65-15> 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 소단 배수로 및 산마루 측구가 시공되어 있다.

소단 배수로 및 산마루 측구는 지반 변형으로 인한 부상 및 침하 등의 손상은 없는 것으로 확인되었으며, 배수기능에는 문제가 없는 것으로 조사되었다.

**<표 65-16> 배수 조건 조사 결과**

| 구 분 | | 손상 내용 | 단위 | 손상수량 (개소 / 수량) | 손상 원인 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 배수 조건 | 소단 배수로 | - | - | - | - | |
| | 산마루 측구 | - | - | - | - | |

**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 65-17> 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 65-18> 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 65-19> 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 65-20> 인장균열 조사 결과**

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

## 65.3.4 내구성능 조사

### 가. 토사구간의 지반상태

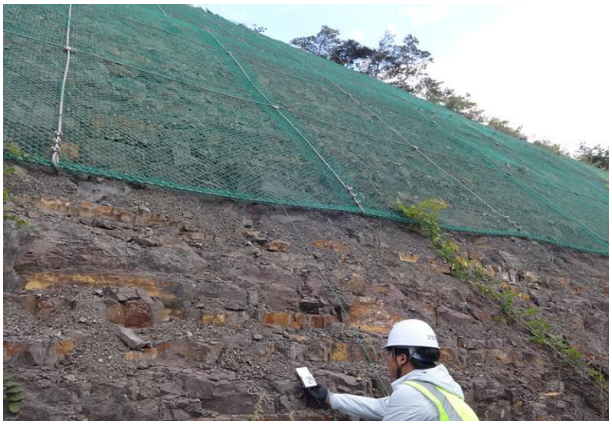
본 비탈면에는 전 구간에 걸쳐 암반으로 구성되어 있으며, 토양경도계를 측정할 수 없으므로 토사구간의 지반상태는 제외토록 하였다.

### 나. 암반구간의 지반상태

암반강도시험은 총 3개소에서 실시하였으며, 그 외 식생 및 녹생토 시공으로 인해 노출된 암반이 존재하지 않아 암반강도시험을 실시하지 못한 구간의 경우 초기점검 보고서 및 토질조사보고서를 참고하였다. 시험 결과 및 기존 자료 검토에 따른 암종 분류 결과 보통암인 것으로 판단된다.

**<표 65-21> 암반강도시험 결과**

| 시험위치 | 반발경도(Ro) | 추정강도(MPa) | 암 판정 결과 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 91.006k | 50.5 | 95.6 | 보통암 | |
| 91.018k | 50.7 | 96.3 | 보통암 | |
| 91.027k | 50.2 | 94.2 | 보통암 | |
| 검토의견 | • 암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 50.2~50.7로 측정되었으며, 추정강도 94.2~96.3MPa로 보통암으로 판정되어 암반의 강도는 양호한 것으로 판단된다. | | | |



절리면 경사/경사방향 측정

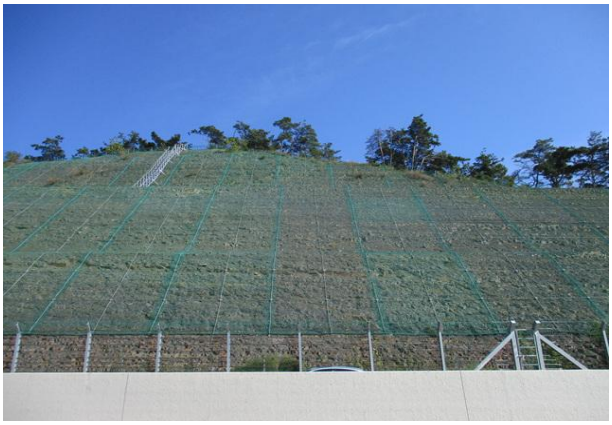
암반 강도시험

**다. 표면보호공**

표면보호공은 사면의 안전성에는 직접적인 영향을 주지 않으나, 사면의 상태보호 및 유지에 영향을 미치는 요소이다.

**<표 65-22> 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 낙석방지망 이외의 특별한 보강시설은 없는 것으로 조사되었으며, 현장조사시 확인한 결과 보강공은 시공되어 있지 않다.

**<표 65-23> 사면보강공 조사 결과**

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

## 65.4 안전성능평가

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

### 65.4.1 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 0.09로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 세부 분류는 절리암반비탈면, 파쇄암반비탈면으로 평가된다.

**<표 65-24> 절토비탈면 분류**

(MPa=10.2kg/㎠)

| 구 분 | | 분류 기준 | 평가점수 | 비탈면종류 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 세부분류 | 종합분류 |
| 1구간 | 토층심도율 | 0.4 | $\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{3.0}{32.3}=0.09$로 0.4미만 | 암반사면 | 파쇄 암반사면 |
| | 압축강도 | 10MPa | 반발경도측정결과 94.2~96.3MPa으로 10MPa이상 | 파쇄암반 절리암반 | |
| | 블록크기 | 0.01 | $\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.25}{32.3}=0.007$로 0.01이하 | 파쇄암반 | |

본 사면은 연장 200m의 사면으로서, 외관조사시 실시한 구간분할과 동일하게 1구간으로 분할하여 손상상태 및 파괴요인에 대한 평가를 실시하였다. 사면분류를 위해 특성조사를 실시한 위치는 외관조사결과현황도(Face Map)에 Set1~3으로 표기하였다.

**<표 65-25> 비탈면 구간 분할**

| 구분 | 측점 | 연장 | 사면상태 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 1구간 | 90.938~91.138k | 200m | 암반사면 | Set1, Set2, Set3 |

**<표 65-26> 사면 형식별 상태안전성능지표**

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

### 나. 1구간 상태안전성능 평가 결과

1) 성능지표별 평가 결과

**<표 65-27> 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 65-28> 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 65-29> 불연속면 특성 평가 결과(1구간)**

| 평가항목 및 등급 | | 평가 기준 | 평가 내용 | 평가 결과 |
|---|---|---|---|---|
| 불연속면 상태 | a | 매우 양호 | 불연속면 상태 점수<br>=Σ(①~⑥) / 6 =<br>(10+5+10+5+16+10) / 6 = 9.3 | c |
| | b | 양호 | | |
| | c | 보통 | | |
| | d | 불량 | | |
| | e | 매우 불량 | | |

**<표 65-30> 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 | 3~10 | c |
| 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 | HW | d |
| ⑥절리간격 | 2.0m이상 | 0.6m이상 2.0m미만 | 0.2m이상 0.6m미만 | 0.06m이상 0.2m미만 | 0.06m미만 | 0.2~0.6 | c |

**<표 65-31> 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 65-32> 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 65-33> 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 | a |
| | 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 65-34> 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 65-35> 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 65-36> 예상 낙석에너지 평가기준(1구간)**

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

**<표 65-37> 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 10~20° | 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 65-38> 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 65-39> 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 65-40> 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 65-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)**

| 시설물명 | | 상주절토65 | | |
|---|---|---|---|---|
| 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 | | 9.3 | 6 | c |
| 지반변형 | | 0 | 0 | a |
| 지하수 | | 0 | 0 | a |
| 배수조건 | | 0 | 0 | a |
| 붕괴이력 | | 0 | 0 | a |
| 낙석 | 발생규모 | 0 | 0 | a |
| | 예상 낙석 에너지 | 0 | | |
| 총점 | | | 12 | |
| 결함지수 | | 0.12 | | |
| **상태안전성능평가 결과** | | **A** | | |

**마. 상태안전성능 평가 결과**

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

**<표 65-42> 상태안전성능 평가 결과 범위**

| 사면 총길이 | 구간분할 | 분할구간 길이 | 평가등급 | 최종 평가결과 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 200m | 1구간 | 90.938~91.138k | a(0.12) | A | 인장균열 없음 |
| | ○구간별 평가 후 최소등급 선정<br>○인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정 | | | | |

## 65.4.2 구조안전성능 평가

### 가. 개 요

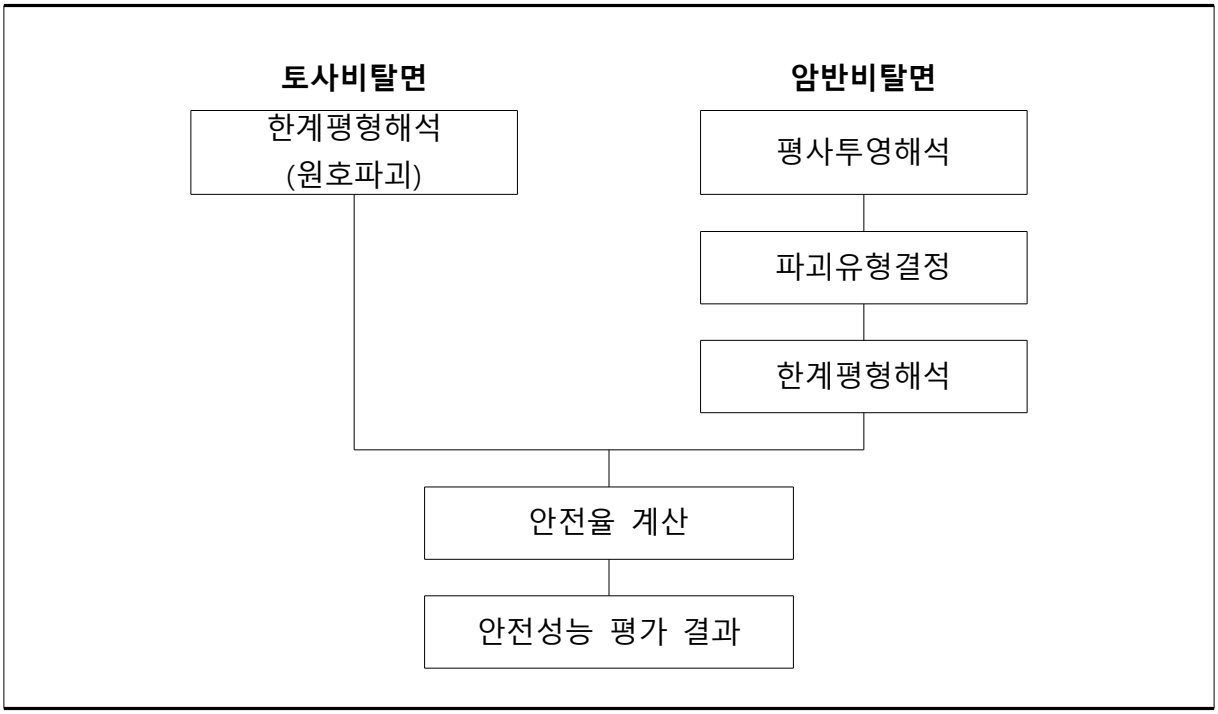
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 65-5> 구조안전성능 평가과정**

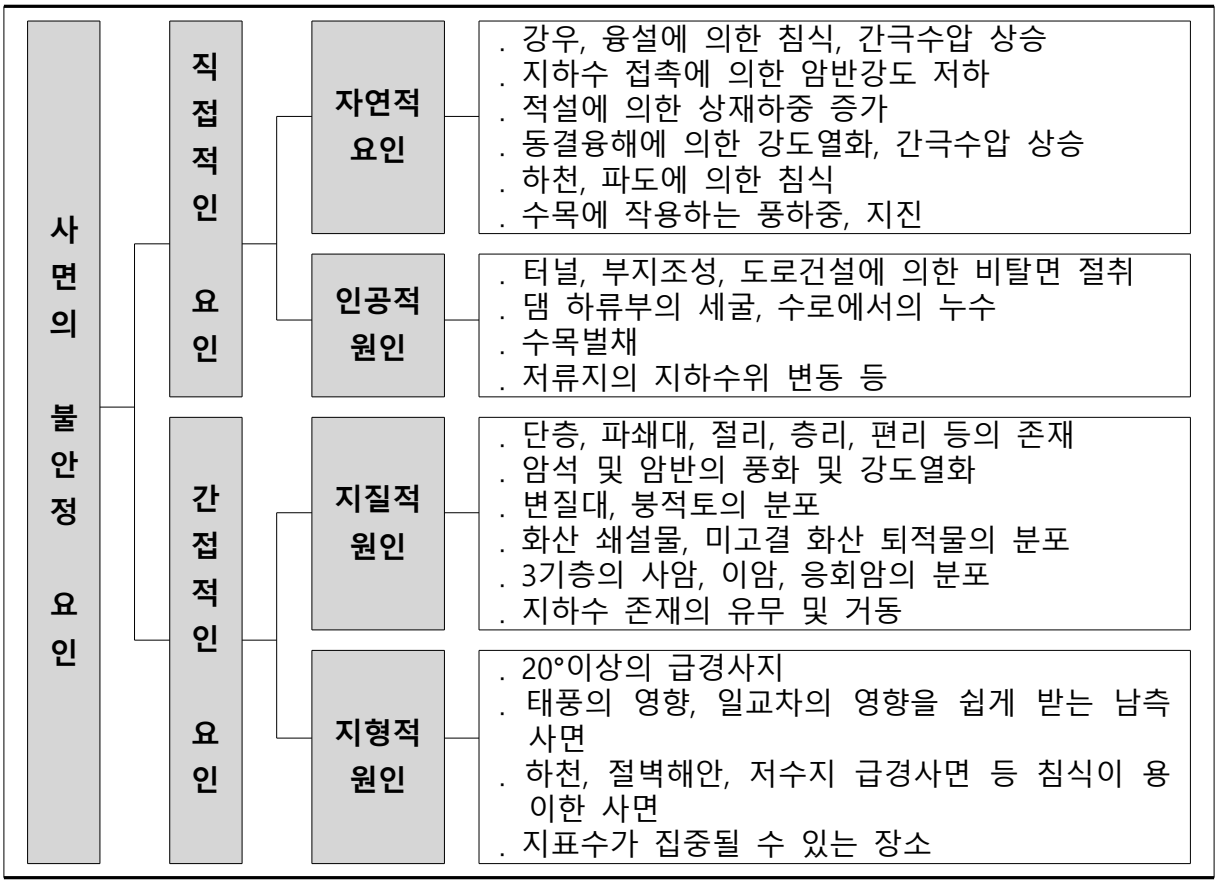
**<표 65-43> 유형별 안정해석 범위**

| 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<br>. 3m이상의 토층이 관찰되거나 풍화가 심하게 진행되어 원호활동이 예상되는 구간에 대해 평사투영해석결과와 별도로 원호파괴 해석을 실시 |
| 혼합비탈면 | ○ | ○ | ○ | . 평사투영해석결과 불안정시 파괴 유형에 따른 한계평형해석 수행<br>. 평사투영해석결과와 별도로 토사구간에 대해 원호파괴해석 실시 |

ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득

ㅇ설계도면과 현재 제원 비교

2) 비탈면의 불안정 요인

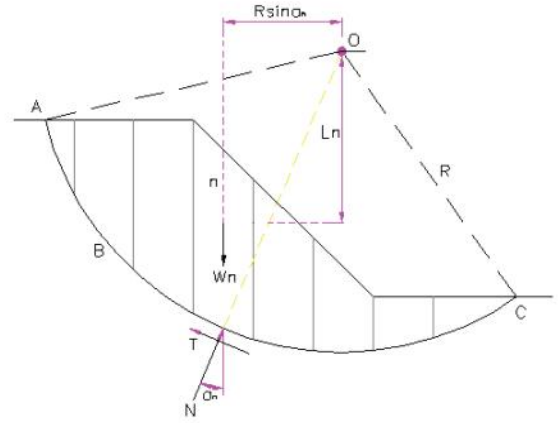



**<그림 65-6> 구조안전성능 평가과정**

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

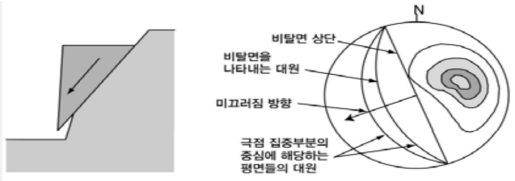
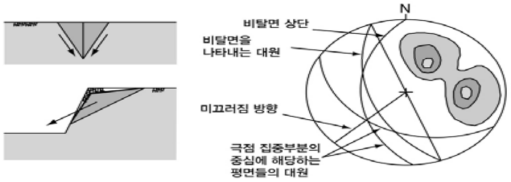
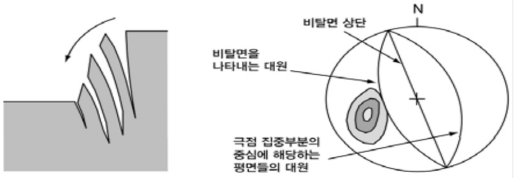
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

**<그림 65-7> 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 65-44> 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 65-45> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율**

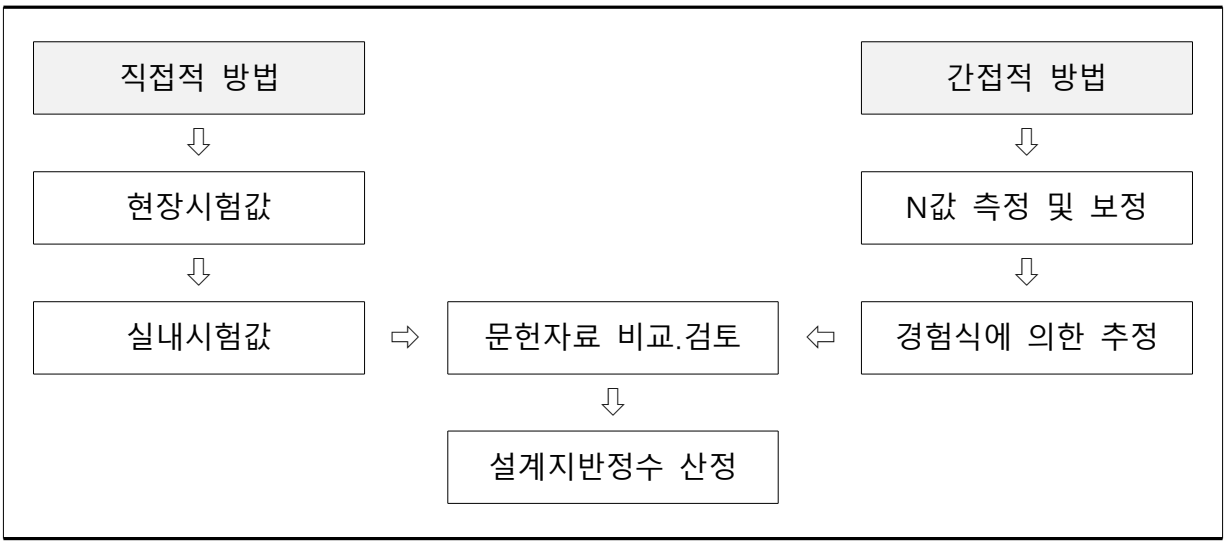
| 구 분 | 기준안전율 | 참조 |
|---|---|---|
| 건기 | FS>1.5 | . 지하수가 없는 것으로 해석 |
| 우기 | FS>1.2<br>또는<br>FS>1.3 | . 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용<br>. 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용)<br>. 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<br>. 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 65-46> 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 65-47> 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 65-48> Geotechnical Engineering Investigation(Roy E. Hunt, 1987)**

| 흙의 종류 | 다짐도 | Dr,% | N | $\gamma_{dry}$ (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 65-49> 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 65-50> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식**

| 구 분 | 지 층 | 단위중량(kN/㎥) | 내부마찰각ø(°) | 점착력c(kPa) | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 상주~영천간 고속도로 건설공사 (10공구) | 풍화(잔적)토 | 19 | 27 | 12 | |
| | 풍화암 | 20 | 29 | 30 | |
| | 기반암 | 25 | 31 | 200 | |

4) 기반암의 지반정수 산정

**① 단위중량 및 강도정수**

◦ 문헌자료 검토

**<표 65-51> 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 65-52> 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 | 27.3~25.6 |
| 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 65-53> 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 (%) | | (°) | 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 65-54> Bieniawski(1989)**

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

**<표 65-55> Trueman (1988)**

| 구 분 | 강도정수 산정식 |
|---|---|
| 점착력($C_m$) | 0.25exp(0.05RMR) (Mpa) |
| 마찰각($\varnothing$) | 0.5RMR + 5 (degree) |

**<표 65-56> 김교원 (1993)**

| 구 분 | 강도정수 산정식 |
|---|---|
| 점착력($C_m$) | 0.02exp(0.08RMR*) (Mpa) |
| 마찰각($\varnothing$) | 0.25(RMR*) + 27.5 (degree) |

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 적용 지반정수 요약

| 지층 | 단위중량 kN/㎥ | 내부마찰각 ° | 점착력 kPa | 프와송비 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 풍화토 | 19 | 27 | 12 | 0.3 | |
| 풍화암 | 20 | 29 | 30 | 0.3 | |
| 기반암 | 25 | 31 | 200 | 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 65-57> 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

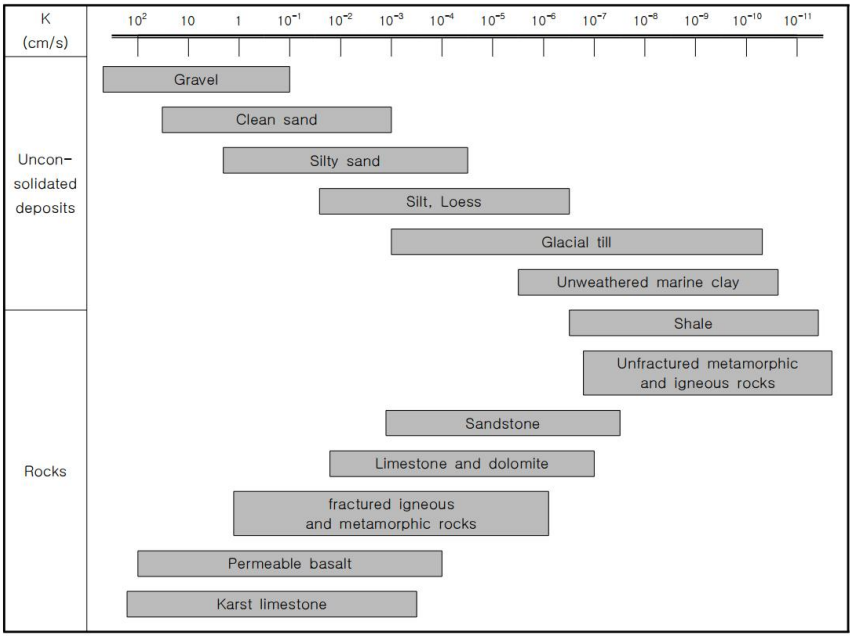
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

**<표 65-58> 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 65-59> 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 65-8> 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 65-60> 도로배수시설 설계빈도**

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

② 비탈면배수시설 설계기준 KDS 11 70 25 : 2016

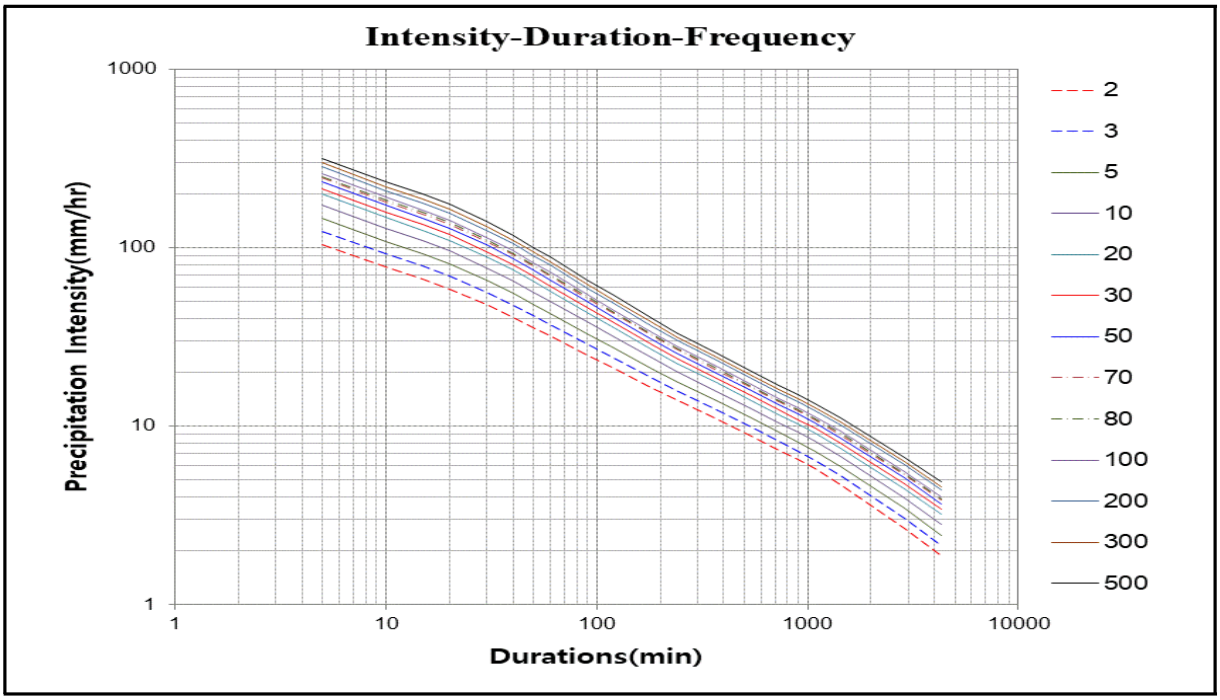
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 영천지역




<그림 65-9> 영천지역 IDF곡선

영천(281) 지점의 확률강우강도(단위:mm/hr)

| 재현기간(년) | 지속기간(분) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 90 | 120 |
| 2 | 104.6 | 78.5 | 66.8 | 58.8 | 47.9 | 40.8 | 35.8 | 32.1 | 25.0 | 21.0 |
| 3 | 123.9 | 93.0 | 79.1 | 69.4 | 56.3 | 47.7 | 41.7 | 37.2 | 28.8 | 24.0 |
| 5 | 145.6 | 108.8 | 92.6 | 81.2 | 65.7 | 55.5 | 48.3 | 43.0 | 33.0 | 27.4 |
| 10 | 173.4 | 128.6 | 109.4 | 96.0 | 77.4 | 65.2 | 56.6 | 50.2 | 38.3 | 31.6 |
| 20 | 199.8 | 147.5 | 125.6 | 110.1 | 88.7 | 74.6 | 64.6 | 57.2 | 43.3 | 35.6 |
| 30 | 214.3 | 158.6 | 135.0 | 118.4 | 95.2 | 79.9 | 69.2 | 61.2 | 46.2 | 37.9 |
| 50 | 233.5 | 172.2 | 146.6 | 128.5 | 103.3 | 86.6 | 74.9 | 66.1 | 49.9 | 40.8 |
| 70 | 245.6 | 181.1 | 154.3 | 135.2 | 108.7 | 91.1 | 78.6 | 69.4 | 52.2 | 42.7 |
| 80 | 250.4 | 185.0 | 157.4 | 137.9 | 110.8 | 92.8 | 80.1 | 70.7 | 53.2 | 43.5 |
| 100 | 258.8 | 191.0 | 162.6 | 142.4 | 114.4 | 95.7 | 82.6 | 72.9 | 54.8 | 44.7 |
| 200 | 283.0 | 209.1 | 178.1 | 156.1 | 125.2 | 104.7 | 90.2 | 79.5 | 59.6 | 48.6 |
| 300 | 298.6 | 219.9 | 187.3 | 164.1 | 131.6 | 110.0 | 94.8 | 83.5 | 62.5 | 50.9 |
| 500 | 316.7 | 233.6 | 198.9 | 174.2 | 139.7 | 116.7 | 100.4 | 88.4 | 66.1 | 53.7 |

확률강우강도(㎜/hr)

<그림 65-10> 영천지역 확률강우강도(한국 확률강우량정보 제공)

**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<br>• 지방도, 시도, 군도 중 방재계획상 필요한 도로에 건설된 교량<br>• 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<br>• 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<br>• 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 65-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)**

**<표 65-61> 설계지반운동 수준**

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

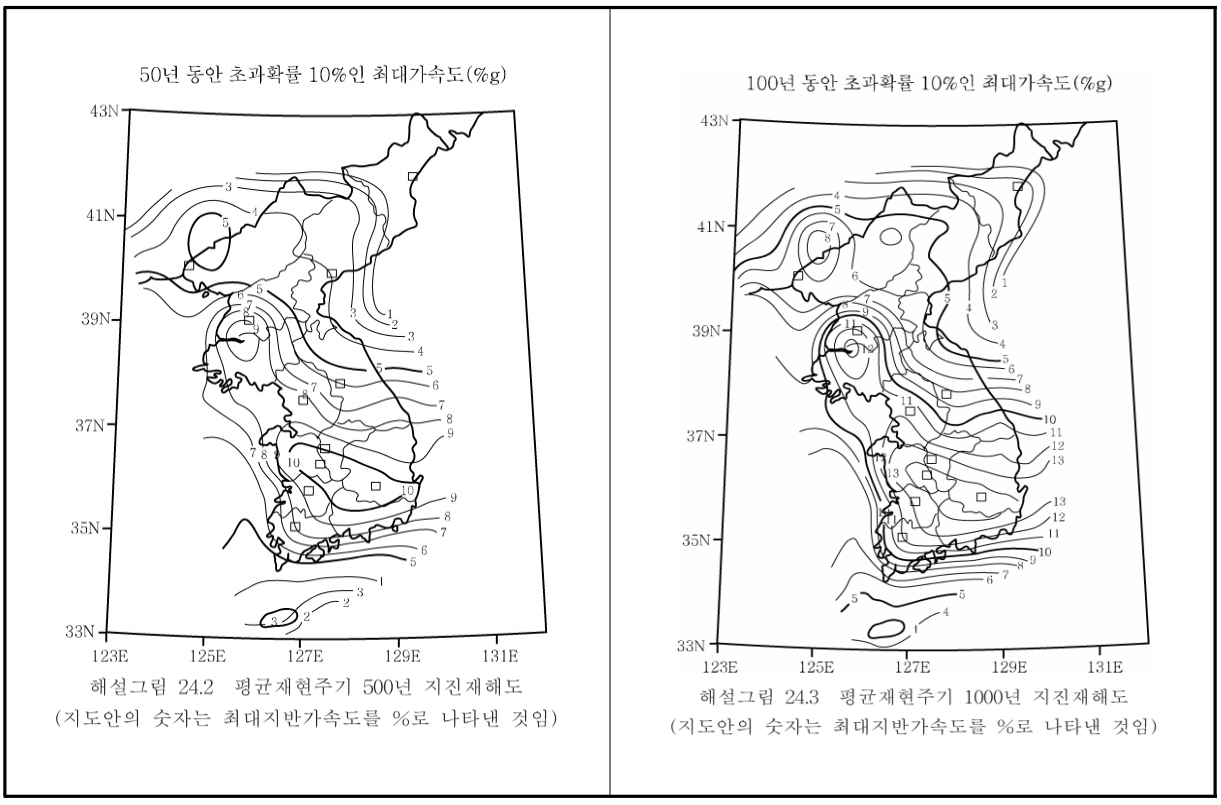
2) 설계지반운동

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 65-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도**

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

**<표 65-62> 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 65-63> 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

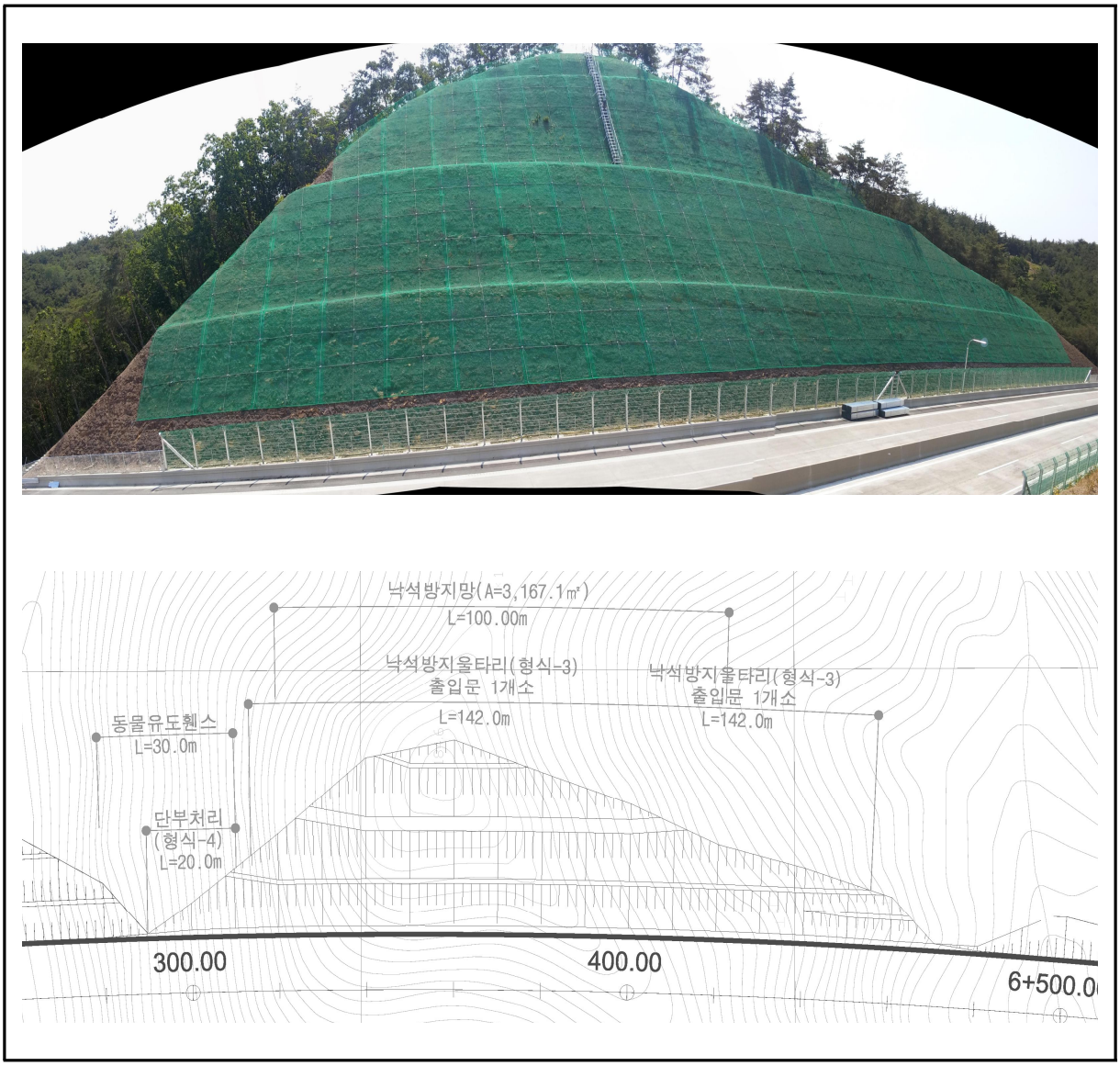
**<표 65-64> 검토대상 비탈면구간 및 현황**

| 구조물명 | 위치 | 이정 (km) | 대표구간 | 비탈면 현황 | | | | 준공년도 | 경사/경사방향 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 높이 (m) | 토사/풍화암 | 암반 | 보강형식 | | |
| 상주절토65 | 경상북도 영천시 북안면 원당리 | 90.938 ~ 91.138 | STA.91+018 | 32.3 | 3.0 | 29.3 | - | 2017 | 45/290 |

**<그림 65-13> 상주절토65 검토대상 비탈면구간**

### 사. 상주절토65 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



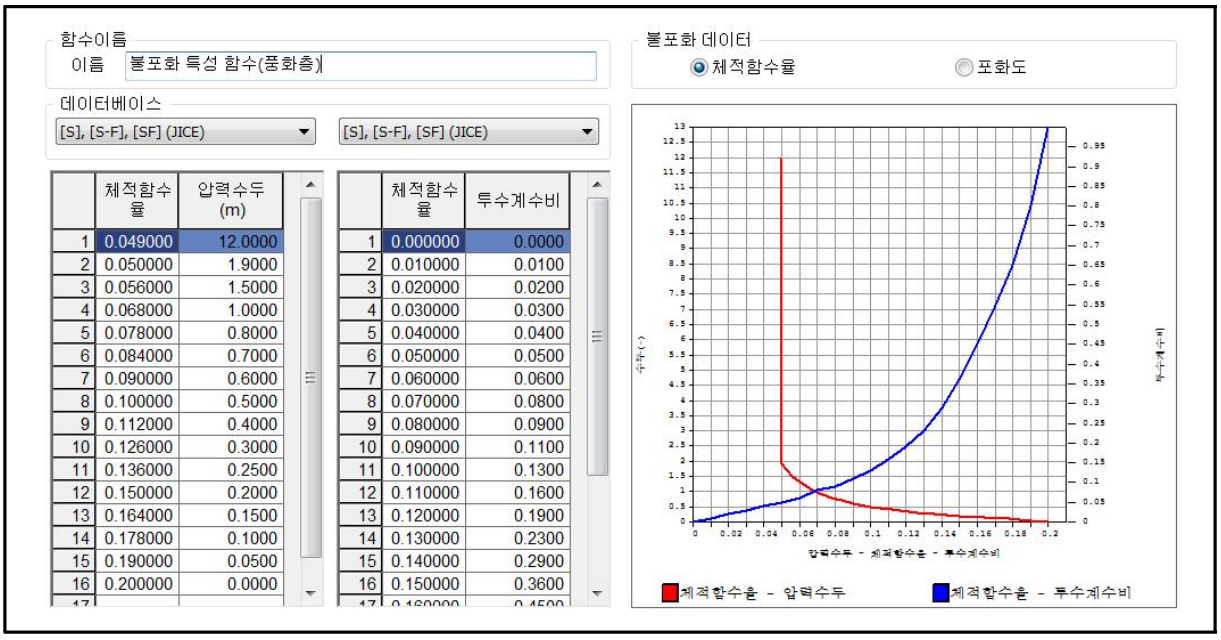

**<그림 65-14> 상주절토65 검토대상 비탈면구간**

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 kPa | 투수계수 ㎝/sec | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 풍화토 | 19 | 27 | 12 | 7.21E-05 | |
| 풍화암 | 20 | 29 | 30 | 3.69E-05 | |
| 기반암 | 25 | 31 | 200 | 5.68E-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 |

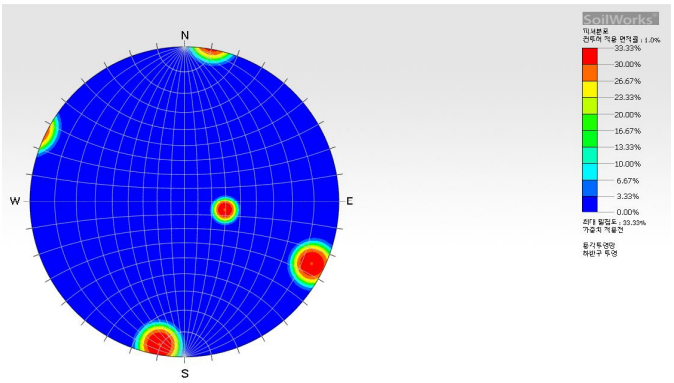
| | 체적함수율 | 투수계수비 |
|---|---|---|
| 1 | 0.000000 | 0.0000 |
| 2 | 0.010000 | 0.0100 |
| 3 | 0.020000 | 0.0200 |
| 4 | 0.030000 | 0.0300 |
| 5 | 0.040000 | 0.0400 |
| 6 | 0.050000 | 0.0500 |
| 7 | 0.060000 | 0.0600 |
| 8 | 0.070000 | 0.0800 |
| 9 | 0.080000 | 0.0900 |
| 10 | 0.090000 | 0.1100 |
| 11 | 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 65-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수**

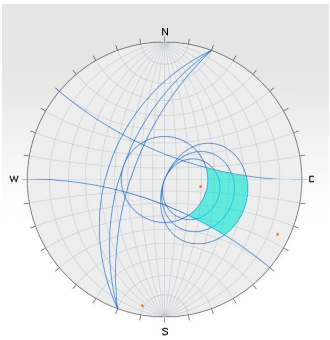
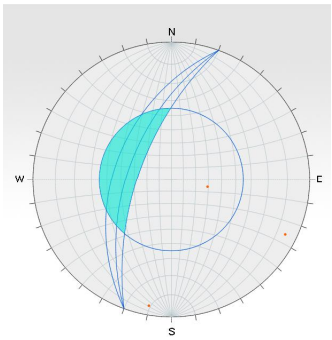
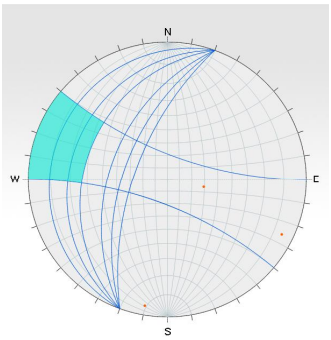
3) 1구간 (STA.90+938 ~ 91+138)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

| 구 분 | 점 검 결 과 | | |
|---|---|---|---|
| 평사 투영도 |  | dip | dip direction |
| | | 30 | 282 |
| | | 86 | 10 |
| | | 85 | 296 |

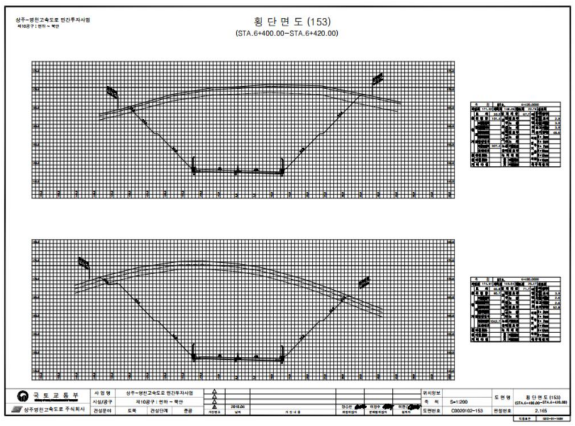
◦ 해석결과

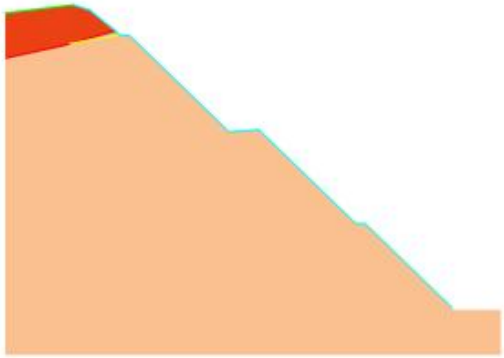
| 평면파괴 | 쐐기파괴 | 전도파괴 |
|---|---|---|
|  |  |  |

| 구 분 | 평면파괴 | 쐐기파괴 | 전도파괴 |
|---|---|---|---|
| 해석결과 | 안정 | 안정 | 안정 |
| 평 가 | ◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음<br>◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음<br>◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 | | |

② 토사깍기비탈면 안정성검토

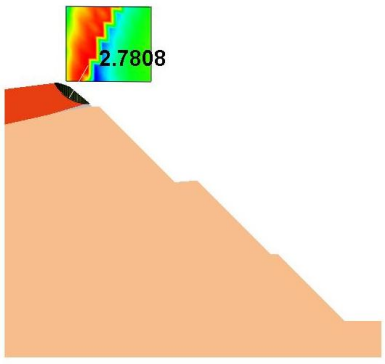
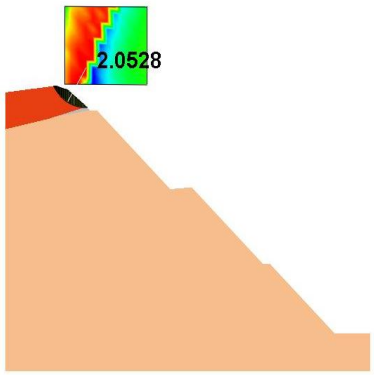
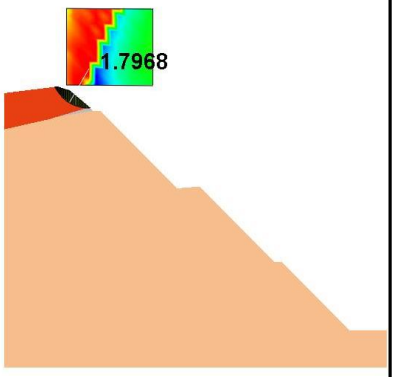
◦ 검토단면



대표단면 : STA.91+018, 상주

◦ 해석결과

| 건기시 | 우기시 | 지진시 |
|---|---|---|
|  |  |  |
| 안전율 : 2.78 | 안전율 : 2.05 | 안전율 : 1.79 |

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 | |
| | 우기시 | Fs ≥ 1.2 ⇨ 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 평면파괴, 전도파괴, 쐐기파괴에 대한 가능성이 없는 것으로 분석되었으며, 한계평형해석을 시행한 결과 건기 및 우기시 허용안전율을 상회하는 것으로 검토되었다. 금회 현장조사를 통한 평사투영해석 결과 각각의 파괴유형에 대해 안전한 것으로 분석되어 구조안전성능평가는 A등급으로 평가되었다.

**<표 65-65> 구조안전성능평가 결과**

| 구조안전성능 평가 결과 산정표 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **시설물명** | | **상주절토65** | | |
| **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 | 2.78 | a | Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K |
| | 우기시 | 2.05 | a | Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K |
| | 지진시 | 1.79 | a | Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K |
| **구조안전성능평가 결과** | | **A** | | |

### 65.4.3 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 65-66> 안전성능 평가 결과**

| 안전성능 평가 결과 산정표 | | | |
|---|---|---|---|
| **시설물명** | **상주절토65** | | |
| **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.<br>ㅇ**안전성능평가 결과 : A등급** | | |

**<표 65-67> 안전성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의**

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

# 65.5 내구성능 평가

## 65.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

**<표 65-68> 평가 대상 사면 개요**

| 구 분 | | 시 설 현 황 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 사면 형식 | | 파쇄암반사면 | SR = 3/32.3 = 0.09 |
| 공용기간 | | 3년 | 2017년 준공 |
| 암반구간 설계(초기)강도 | | 보통 : 100.0MPa | 추정 |
| 면적 | 전체 | 6,471㎡ | |
| | 토사구간 | - | |
| | 암반구간 | 6,471㎡ | |
| 표면보호공 | 낙석방지망 | 5,966㎡ | |
| 사면보강공 | - | - | |

## 65.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

**<표 65-69> 사면 형식별 내구 성능 지표**

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

### 65.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

**<표 65-70> 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 | 97.0%이상 100%이하 | 90.0%이상 100%이하 |
| | b | 96.0%이상 97.5%미만 | 90.0%이상 96.0%미만 | 88.0%이상 97.0%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 65-71> 암반 강도시험 결과**

| 위 치 | 추정강도 평균값(MPa) | 초기값 대비강도(%) | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 91.006k | 95.6 | - | 초기값 미측정으로 대비강도 측정 불가<br>초기값 대비강도(%)<br>= 추정강도 / 초기 강도값 |
| 91.018k | 96.3 | - | |
| 91.027k | 94.2 | - | |
| 평균값 | 95.4 | - | |
| **등급** | **A등급** | | |

**<표 65-72> 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 65-73> 암반의 풍화도 평가 결과**

| 평가항목 | 불연속면(Set A) | | |
|---|---|---|---|
| | Set 1 | Set 2 | Set 3 |
| 길이(m) | 3~10m 미만 | 3~10m 미만 | 3~10m 미만 |
| | c(10) | c(10) | c(10) |
| 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 | HW | HW | HW |
| | d(16) | d(16) | d(16) |
| 합 계 | 46 | 46 | 46 |
| 평 균 | 9.2 | 9.2 | 9.2 |
| **평가 결과** | c | c | c |

**<표 65-74> 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 | c | 0.43 | 최소 및 최대 제외 |
| **등 급** | | **c** | |

### 65.5.4 내구성능 평가 결과

1) 혼합사면 내구성능 가중치

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

**<표 65-75> 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 | 25 | 28 | - | - | - |

2) 암반구간 내구성능 등급

**<표 65-76> 암반사면 내구성능 등급 산정**

| 평가항목 | 등급 | 등급 점수 (a) | 가중치 (b) | 결함지수 (a)×(b) |
|---|---|---|---|---|
| 지반상태(암반) | a | 0.08 | 0.38 | 0.030 |
| 절리상태 및 풍화진행도 | c | 0.43 | 0.62 | 0.267 |
| 결함도 지수 | | | | 0.297 |
| **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 65-77> 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의**

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

## 65.6 종합평가

### 65.6.1 종합평가 개요

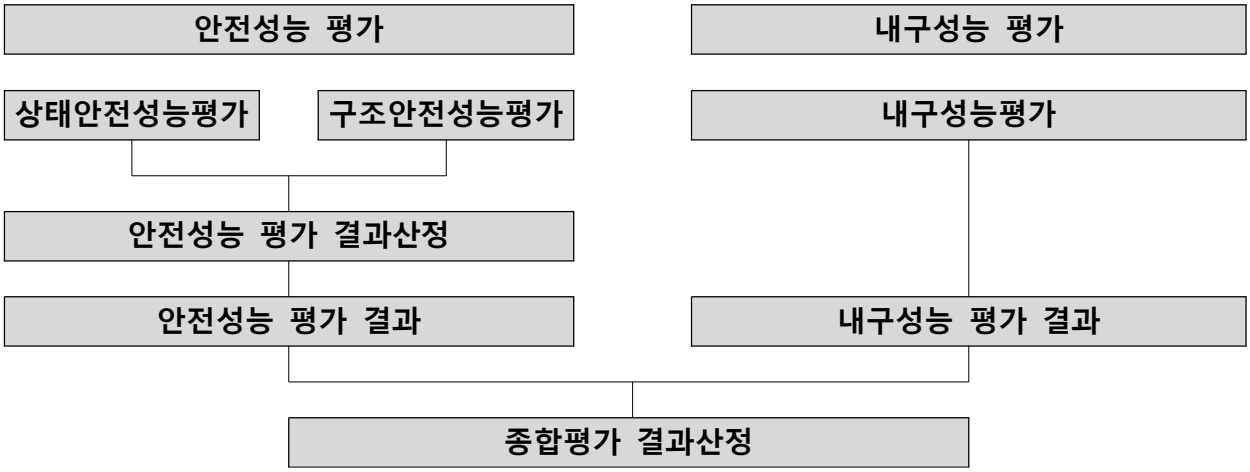
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 65-16> 종합평가 흐름도**

### 65.6.2 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 65-78> 성능간 가중치 산정 값**

| 구분 | 분류 | 성능항목 | |
|---|---|---|---|
| | | 안전성능 | 내구성능 |
| 성능간 가중치 (Wn) | 일반도로 사면<br>고속도로 사면<br>일반철도 사면<br>고속철도 사면 | 0.8 | 0.2 |

**<표 65-79> 종합평가 결과**

| 시설물의 종합평가 결과 산정표 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **시설물명** | 상주절토65 | | **분류** | 상주영천고속도로 |
| **평가 구분** | **성능평가 지수** | **평가 결과** | **성능간가중치(Wn)** | **비 고** |
| 안전성능평가 | Ps=0.120 | A | 0.8 | 인장균열 없음 |
| 내구성능평가 | Pd=0.297 | B | 0.2 | |
| 종합평가 결과 | ㅇ사면의 종합평가 지수(P)<br>= ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn))<br>= (0.120 × 0.8) + (0.297 × 0.2) = 0.155<br>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 65-80> 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 |

## 65.7 유지관리 전략 제안

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

### 65.7.1 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 5년 주기의 "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 65-81> 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**<br>일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준 | | | | |

### 65.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "B등급(0.155)"으로 평가되었다.

**<표 65-82> 종합평가 결과 요약**

| 평가구분 | 안전성능 | 내구성능 | 종합성능 |
|---|---|---|---|
| 평가지수 | 0.120 | 0.297 | 0.155 |
| 평가결과 | A | B | B |

### 65.7.3 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, 성능목표와 동일한 "B등급"으로 금회 조사된 손상들에 대해서는 현상유지 수준의 주의관찰이 적정할 것으로 판단된다.

**<표 65-83> 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 목표성능과 동일한 "B등급"의 상태를 유지하고 있으며, 주기적인 점검을 통한 손상의 발생여후 확인 등의 유지관리 전략을 제안한다.

## 65.8 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. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 결과, 외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 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 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 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.

# 제66장 영천절토66

66.1 대상 시설물 현황

66.2 관련 자료의 분석

66.3 현장조사

66.4 안전성능평가

66.5 내구성능평가

66.6 종합평가

66.7 유지관리전략 제안

66.8 종합결론

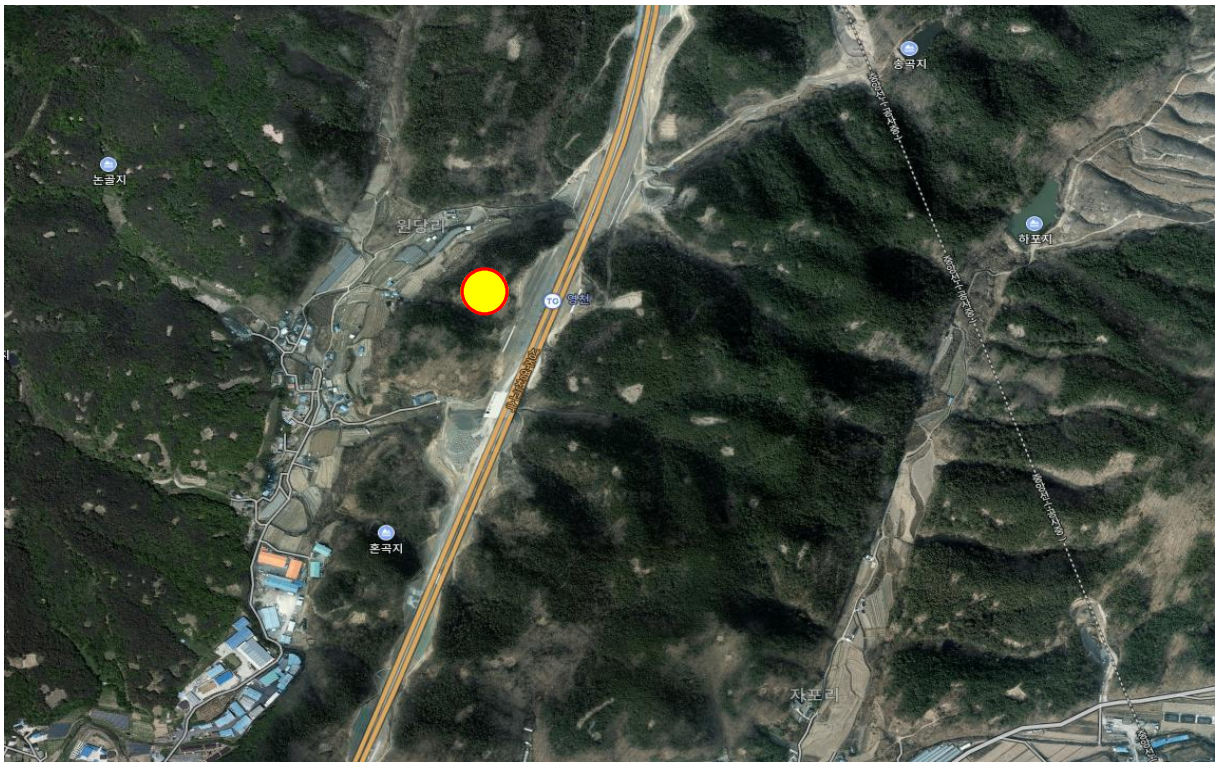
# 제66장 영천절토66

## 66.1 대상 시설물 현황

본 시설물은 경상북도 영천시 북안면 원당리(상주영천고속도로 91.758~92.138㎞)에 위치한 사면으로서 총 연장 380.0m, 높이 40.2m의 절토사면으로 시공되어 있다.

**<표 66-1>사면 일반사항**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 시설물번호 | SL2017-0000028 | | 관리번호 | SY SL66 |
| 시설물명 | 영천절토66 | | 시설물구분 | 절토사면 |
| 위 치 | 행정구역 | 경상북도 영천시 북안면 원당리 | | |
| | 위치좌표 | 시점 : 35° 18′28.0″ 127° 47′11.0″ | | |
| | | 종점 : 35° 18′24.0″ 127° 47′58.0″ | | |
| | 관리이정 | 91.758~92.138㎞ | | |
| | 공구이정 | 10공구 STA.7+100~7+480 | | |
| 제 원 | 연 장 | 380m | 높 이 | 40.2m |
| | 경사/방향 | 45/111 | 노 선 | 고속국도 301호선 |
| 관리주체 | 상주영천고속도로(주) | | 관리주체구분 | 민간 |
| 주변환경 | 인공구조물 | - | | |
| | 주변지형 | 산악지형 | 상부사면경사 | 0° |
| 시공현황 | 준공년도 | 2017 | 시 공 자 | 대림산업㈜ |
| | 부대시설 | 점검로, 배수로, 산마루측구, 낙석방지울타리 | | |
| 비 고 | | | | |




<그림 66-1>위치도

| 2019년 정밀안전점검 |
| --- |
| |

<그림 66-2> 전경사진

종점부 전경

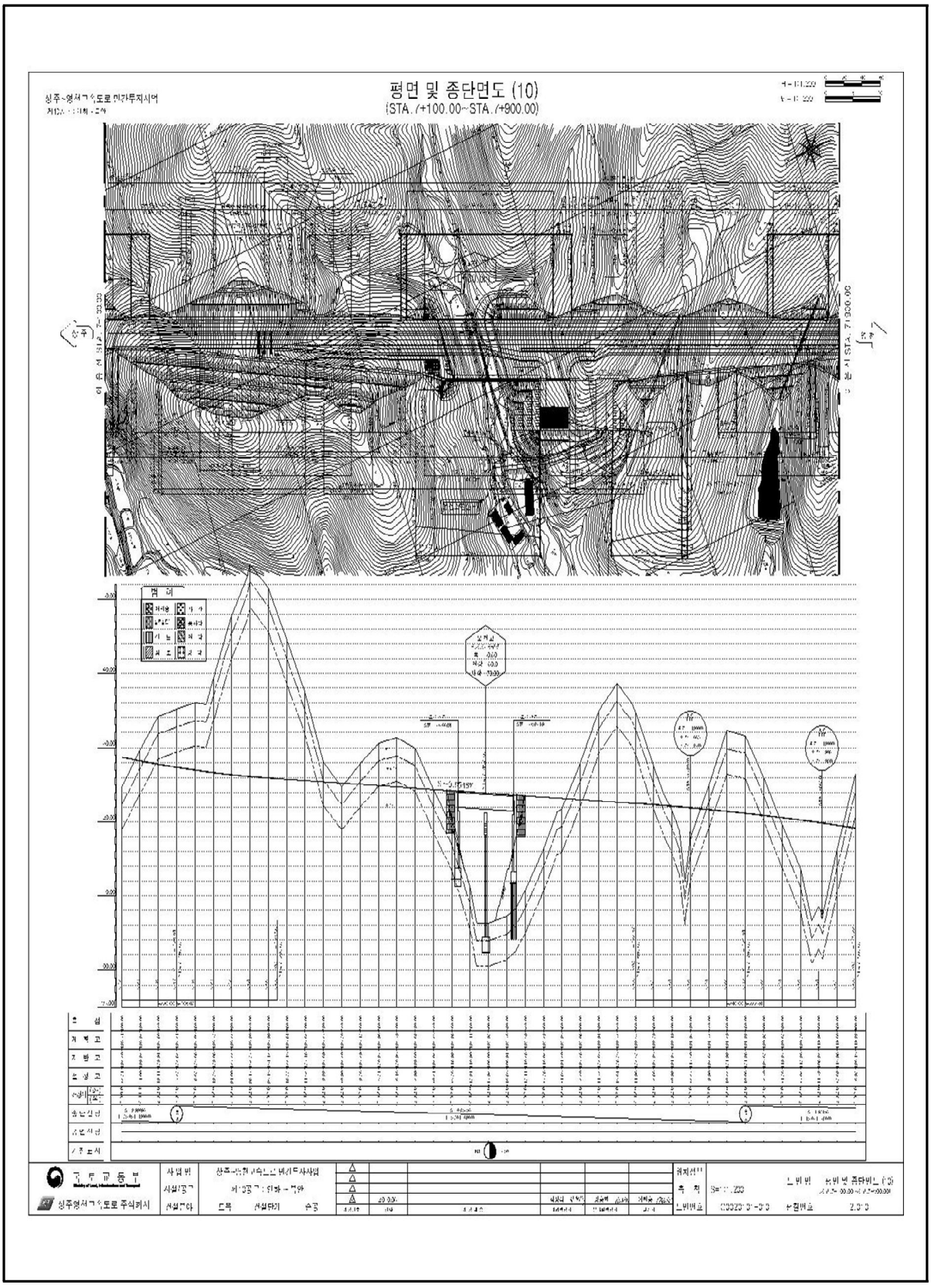
1소단 배수로 전경

산마루측구 전경

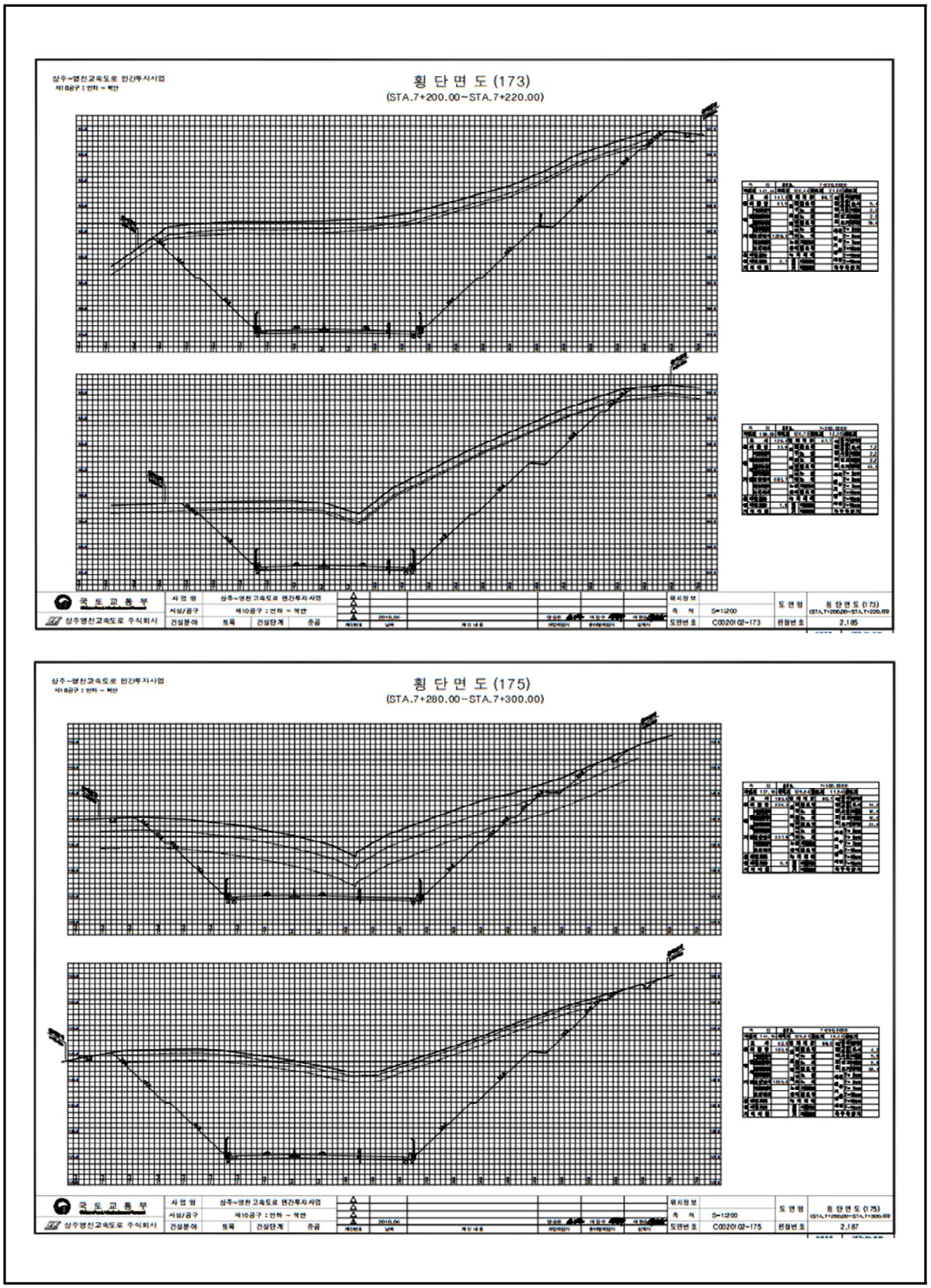
수직도수로 전경

점검계단 전경

하부 전경




**<그림 66-3> 평면도**




<그림 66-4>표준횡단면도

# 66.2 관련 자료의 분석

## 66.2.1 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 66-2> 유지관리 관련자료 현황**

| 보존대상 목록 | | 보유현황 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 설계도서 | ㅇ공통<br>- 준공내역서<br>- 공사 및 특별시방서<br>- 각종계산서<br>- 토질 및 지반조사 보고서<br>- 기타 특이사항 보고서 | <br>보유<br>보유<br>보유<br>보유<br>- | ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 10공구 |
| | ㅇ설계도면<br>- 위치도, 전개도, 평면도, 종・횡단면도 등 | 보유 | ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 10공구 |
| 시 설 물 관리대장 | ㅇ기본현황<br>ㅇ상세제원<br>ㅇ유지관리 이력 | 보유<br>보유<br>보유 | ㅇ시설물정보관리 종합시스템(FMS) |
| 시공관련 자 료 | ㅇ시공관련자료<br>ㅇ품질관리 관련자료<br>- 재료증명서<br>- 품질시험기록<br>- 각종 시험기록<br>- 시설물 주요 구조 부위에 대한 계측자료<br>ㅇ사고자료 | 일부 보유<br><br>일부보유<br>일부보유<br>일부보유<br>-<br>-<br>- | ㅇ상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 10공구 |
| 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 2017년 준공된 시설물로 설계 및 시공관련 자료 관리 및 보관상태는 대체로 양호한 것으로 조사되었다. 관련자료 분석을 통해 당초 시공시의 개략적인 지반상태를 파악할 수 있다.

## 66.2.2 지반조사 보고서 분석

본 과업대상 구조물의 건설당시 주요 현황을 파악하기 위해 "상주영천고속도로 민간투자산업 건설공사 10공구"의 설계 및 준공도서 등을 검토하여 주요 현황을 요약하여 수록하였다.

1) 사면 적용구배 및 소단설치 기준

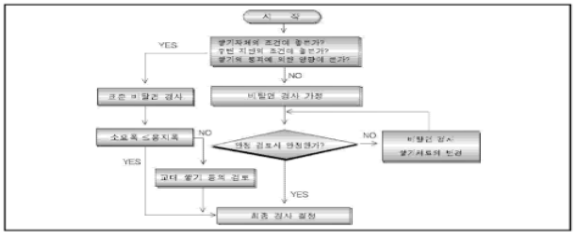
7.4 비탈면 설계기준

비탈면 안정해석을 위한 설계기준은 대체적으로 소단, 비탈면경사 및 최소안전율 등으로 구분할 수 있으며 이에 대하여 검토하면 다음과 같다.

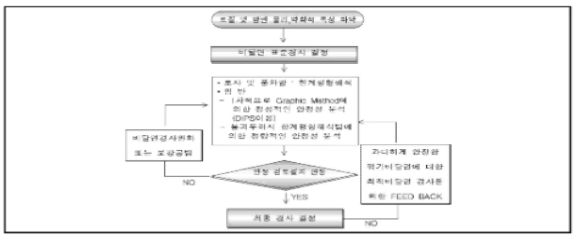
7.4.1 비탈면 경사기준

가. 비탈면 경사의 결정

(1) 쌓기 비탈면경사 결정에 따른 흐름도




(2) 깎기 비탈면경사 결정에 따른 흐름도




248

7.4.2 소단 설치기준

가. 국내외 기관별 소단 적용기준

소단 설치빈도 및 폭에 대하여 국내외 기관별, 비탈면의 종류 및 지반의 특성 등을 고려하여 비교분석한 결과는 다음표와 같다. 소단 적용기준 현황을 보면 일본의 경우는 소단설치 높이 기준을 7m 마다 1~2m로 규정하고 있으며 국내기준은 5~10m마다 0.5~3.0m이다.

소단의 설치목적은 비탈면침식방지를 위한 배수시설 설치, 점검보수용 통로 등의 유지관리에 있으므로 발파암층에서는 H=10.0m 마다 1.0m소단과 리핑암 및 토사층에서는 H=5.0m마다 1.0m소단을 설치하되 H=20.0m마다 3.0m소단을 설치하는 것이 대체적으로 타당한 것으로 사료된다.

[국내외 기관별 소단적용 기준]

| 구 분 | 기관 및 규정명 | 소단적용 기준 |
|---|---|---|
| 국 내 | 건설공사 비탈면 설계기준 (2006) | · 비탈면 높이 10m 이상 : 원칙적으로 소단설치<br>· 비탈면 중간에 5~20m 높이 마다 폭 1~3m 소단설치 |
| | 한국도로공사 도로설계요령 (2002) | · 리핑암 : R.Q.D = 0~10%, H=5m 마다 소단 1m<br>· 발파암<br>RQD = 10~25% : H = 10m 마다 소단 1~2m<br>RQD = 25~50% : H = 10m 마다 소단 1~2m<br>RQD = 50% 이상 : H = 20m 마다 소단 3m |
| | 건설부 도로시설기준 | · H = 5 ~ 10m 마다 소단 1 ~1.5m |
| | 한국토지공사 | · H = 7m 마다 소단 0.5 ~1.5m |
| 일 본 | 도로공단 설계요령 | · H = 7m 마다 소단설치 |
| | 국유철도토목구조물 표준시방서 | · 암석과 접하는 토사 경계부와 7m 마다 소단 설치 |
| | 철도설계요령 | · H > 10m의 경우 7m마다 소단 1.5m, 경사3% |

7.4.3 지하수위 적용기준

가. 적용기준

비탈면안정해석시 지하수위는 계절적인 지하수위 변화, 지형 및 시간적 요소를 고려하여 비탈면의 안정조건에 가장 불리한 상태를 해석에 적용하는 것이 바람직한것으로 사료된다.

쌓기구간에서는 시공속도에 따른 장단기적인 배수조건과 토층 및 풍화암 지반조건에서는 강우시 침투해석에 의한 간극수압분포를 실제 안정해석에 이용하여야 하나 본 설계에서는 다음과 같이 적용하였다.

253

다. 깎기 비탈면

자연지반의 토질은 매우 불균질하고, 풍화도, 성층상태 및 균열 등에 의해 지반의 강도는 현저하게 다르며 시공후 시간의 경과에 따라 응력이완, 대기노출로 인한 풍화진행 등으로 원지반의 전단강도가 약해지므로 비탈면이 차차 불안정하게 된다.

따라서 깎기비탈면 안정을 위한 경사기준 결정은 토질구성, 상태, 특성, 지형조건, 지하수위 상태 및 시공조건과 비탈면의 용도등을 종합적으로 분석 고려되어야 한다.

국내 깎기비탈면 설계기준 적용기준은 건설교통부 및 한국도로공사 설계기준에 의거한 표준경사를 적용하고 있으며 암반층에서 층리나 절리등이 규칙있게 발달할 경우 경사 비탈면에 따라 큰 붕괴가 예상되므로 지반조사 결과를 토대로 파괴형태를 예상하여 이에 대한 적절한 비탈면 경사설정 및 부가적인 안정대책을 수립하도록 계획하였다.

[원지반 토질에 대한 비탈면 경사범위]

| 토 질 조 건 | | 비탈면높이(m) | 경 사 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 모 래 | | - | 1:1.5 이상 | SW, SP |
| 사 질 토 | 밀실한 것 | 5 이하 | 1:0.8 ~ 1:1.0 | SM, SP |
| | | 5~10 | 1:1.0 ~ 1:1.2 | |
| | 밀실하지 않고 입도분포가 나쁨 | 5 이하 | 1:1.0 ~ 1:1.2 | |
| | | 5~10 | 1:1.2 ~ 1:1.5 | |
| 자갈 또는 암괴 섞인 사 질 토 | 밀실하고 입도분포가 좋음 | 10 이하 | 1:0.8 ~ 1:1.0 | SM, SC |
| | | 10~15 | 1:1.0 ~ 1:1.2 | |
| | 밀실하지 않거나 입도분포가 나쁨 | 10 이하 | 1:1.0 ~ 1:1.2 | |
| | | 10~15 | 1:1.2 ~ 1:1.5 | |
| 점 성 토 | | 0~10 | 1:0.8 ~ 1:1.2 | ML, MH, CL, CH |
| | | 5 이하 | 1:1.0 ~ 1:1.2 | GM, GC |
| 암괴 또는 호박돌 섞인 점성토 | | 5~10 | 1:1.2 ~ 1:1.5 | |
| 풍 화 암 | | - | 1:1.0 ~ 1:1.2 | 시편이 형성되지 않는 암 |

주) 1. 실트는 점성토로 간주. 표에 표시한 토질 이외에 대해서는 별도로 고려한다.
2. 위 표의 경사는 소단을 포함하지 않는 단일비탈면의 경사이다.

(건설교통부, 건설공사비탈면설계기준, 2006년)

250

7.4.4 안전율 적용기준

가. 쌓기 비탈면 안전율 기준

국내외 각 기관에서 적용하는 쌓기비탈면의 최소안전율은 쌓기 기초지반의 언약지반 분포여부, 성토체의 시공목적, 비탈면의 영구 구조물 여부 등에 따라 쌓기 비탈면의 안전율 기준에는 차이가 있으며, 각 기관의 쌓기 비탈면 안전율을 간략화 하면 아래 표와 같다.

[국내 기관별 쌓기 비탈면 최소안전율 적용기준]

| 구 분 | | 최 소 안 전 율 (Minimum Safety Factor) | |
|---|---|---|---|
| 건설교통부 | 건설공사 비탈면 설계기준 (2006년) | 건기시(지하수가 없는 것으로 해석) | Fs ≥ 1.5 |
| | | 우기시 | Fs ≥ 1.3 |
| | | 지진시 | Fs ≥ 1.1 |
| 한 국 도 로 공 사 | | 도로설계요령 | Fs ≥ 1.3 |
| 항 만 협 회 | | 항만시설 기술상의 기준, 동해설 | Fs ≥ 1.5 |

나. 깎기 비탈면 안전율 기준

비탈면 안정에 대한 최소안전율은 지역과 공사내용, 비탈면의 중요도, 비탈면 파괴시 주변에 미치는 영향 및 경제성 등에 따라 다르며, 비탈면안정 해석에 앞서 최소안전율 선정은 매우 중요한 의미를 지닌다. 각 기관별로 깎기비탈면에 대한 최소안전율에 대한 적용기준은 아래에 기술되어 있으며 기술된 최소안전율이 어떠한 가정에서 유도되었는지를 파악해야 하나 이런 가정들은 생략되어 있으며 단지 부분적인 서술만을 기재하는 방법으로 간략화 되어있다.

[국내외 기관별 깎기 비탈면 최소안전율 적용기준]

| 구 분 | 최 소 안 전 율 | |
|---|---|---|
| 건설공사 비탈면 설계기준(2006) | 건기시(지하수가 없는 것으로 해석) | Fs ≥ 1.5 |
| | 우기시(지표면에 지하수위를 위치시킨 후 해석) | Fs ≥ 1.2 |
| | 지진시 | Fs ≥ 1.1 |
| 도로설계요령 (2000) | 건기시(지하수위 미고려) | Fs ≥ 1.5 |
| | 우기시(지하수위는 지표면에 위치) | Fs > 1.1~1.2 |
| | 지진시(미국 D'APPOLNIA기준, NAVFAC - DM7.1-329기준) | Fs > 1.1~1.2 |
| 미 국 D'APPOLONIA Consulting Engineers (1975) | 실내시험에 의해 강도를 구할 경우 | 1.5 > Fs > 1.3 |
| | 최대지진가속도를 고려함때 | 1.2 > Fs > 1.0 |
| NAVFAC - DM 7.1-329 | 하중이 오래 작용할 경우 | Fs > 1.5 |
| | 구조물 기초인 경우 | Fs > 2.0 |
| | 일시적인 하중이 적용할 경우 및 시공시 | Fs > 1.35 or 1.25 |
| | 지진하중이 작용하는 경우 | Fs > 1.2 or 1.15 |

255

## 2) 지형 및 지질

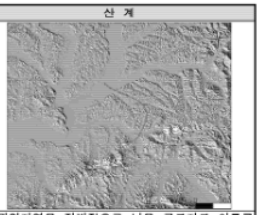
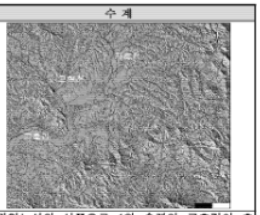
# 제 4 장 조 사 결 과

## 4.1 지표 지질 조사

### 4.1.1 지형 및 지질특성

| | |
|---|---|
| 지질개요 | • 조사지역의 지질은 변성암 상위를 부정합으로 놓인 사암, 역질사암, 역암, 니질암(세일 및 이암)등으로 이루어지는 중생대 경상누층군의 퇴적암류들이 넓게 분포<br>• 조사지역의 구성암석은 충적평원과 호성환경에서 변화되는 암상으로 해당지역에 분포하는 춘산층(반아벌층)의 경우에는 니질층이 매우 우세한 호성 퇴적암임 |

가. 지형특성

| 산 계 | 수 계 |
|---|---|
|  |  |
| • 과업지역은 전반적으로 낮은 구릉지를 이루고 있으며 과업노선은 주로 낮은 구릉지를 따라 지나가고 있음<br>• 과업노선의 남쪽과 남동쪽은 다른 지역에 비해 비교적 높은 산계를 이루고 있음<br>• 과업노선은 시, 종점부는 충적층 및 하천과 접하고 있음 | • 과업노선의 서쪽으로 1차 수계인 금호강이 흐르고 있음<br>• 과업노선의 북쪽에는 고현천과 자호천이 남쪽으로 흐르고 있으며 특히 노선의 종점부는 자호천과 교차되고 있음<br>• 전체적인 수계는 수지상의 형태를 보이며 매우 복잡하게 나타남 |



나. 분포암종 특성

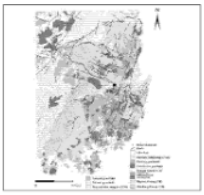
| 구 분 | 지질특성 |
|---|---|
| 춘산층 | • 층의 두께는 700m 내외이며 암회색 및 자색 이암과 실트암, 암회색 세일 및 사암으로 구성된다. 최하부는 2~3m 두께의 구산동층 회암층원으로, 중부는 기시동 역암으로 특징 지워진다. 구산동층회암은 주로 화산기원의 장석 및 석영입자들과 화산희 기질로 구성되었으나, 수류퇴적을 지시하는 층리 및 모양을 갖으며, 식물의 줄기와 잎 화석들이 산출된다(Tateiwa, 1929) |

다. 지질 계통도

| 지질시대 | | 층 명 | | 특 성 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 제4기 | | 충적층(Qu) | | • 하천 및 산곡 퇴적물 | |
| | | | | ~ 부정합 ~ | |
| 중생대 | 백악기 | 중성암맥(Kid)<br>산성암맥(Kad) | | • 괴상의 치밀 | • 전 구간에서 기반암을 관입 |
| | | | | — 관입 — | |
| | | 화강암(Kgr) | | • 괴상의 치밀 | • 3공구 중앙부 |
| | | | | — 관입 — | |
| | | 유천층군 | 안산암질암(Kat) | • 주로 응회암으로 구성 | • 노선과 교차하지 않음 |
| | | | | — 관입 및 분출 — | |
| | | 하양층군 | 신암동층(ke9) | • 암회색 이암 및 세일과 사암이 교호대 | • 10공구 종점부 |
| | | | 춘산층(ke8) | • 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 세일<br>• 하부층에서 석회질 물질 다량 함유 | • 10~8공구에 걸쳐 분포 |
| | | | 사곡층(Ke7) 상부(Ke7-ms) | • 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 세일<br>• 석회질 물질 함유 | • 8공구 시점 |
| | | | 사곡층(Ke7) 하부(Ke7-ss) | • 암회색, 녹회색, 적색 이암 및 세일과 사암이 교호<br>• 사질부분을 다량 함유 | • 8공구 시점과 7공구 종점 |
| | | | 점곡층(ke6) | • 암회색, 녹회색, 적색 세일 및 이암<br>• 주로 암회색 세일로 구성 | • 7공구 종점 및 중앙부 |
| | | | 후평동층(Ke5) 구계동층원(Ke5-2) | • 사암, 미사암 및 미사질 세일 및 이암(니질 우세) | • 7공구 시점부 |
| | | | 후평동층(Ke5) 구미동층원(Ke5-1) | • 사암, 적색 미사질 세일, 저석처트역 및 역암(사질 우세) | • 6공구 종점부 |
| | | | 일직층(Ke4) | • 사암, 적색 미사질 세일, 역암<br>• 주로 사암이 우세 | • 6공구 중앙 및 종점 |
| | | | 진주층(Ke3) | • 역질사암, 사암, 세일의 교호<br>• 하부층에서 이회암 호층 분포 | • 6공구 시점 및 중앙부 |
| | | | 하산동층(Ke2) 상부(Ke2-2) | • 사암 및 적색 미사암, 이암의 교호 | • 5공구 종점 |
| | | | 하산동층(Ke2) 하부(Ke2-1) | • 사암과 역질사암, 역암의 교호 | • 5공구 중앙 및 시점부 |
| | | | 금당리층원(Ke1-nk) | • 사암과 역질사암, 세일의 교호<br>• 주로 역질 사암 우세 | • 4공구 전구간 |
| | | | 낙동층(ke1) 안경산층원(Ke1-nm) 상부(Ke1-num) | • 사암과 역질사암, 역암 교호 | • 3공구 중앙 및 종점부 |
| | | | 낙동층(ke1) 안경산층원(Ke1-nm) 하부(Ke1-nlm) | • 장석질 사암과 역질사암, 역암 교호<br>• 최하부에 탄질층 협재 | • 3공구 시점 및 중앙부 |
| | | | | ~ 부정합 ~ | |
| | 쥬라기 | 세립질화강암(Jfgr) | | • 엽리 발달 미약<br>• 세립질, 부분적으로 화강섬록암 암상 포함 | • 1공구 종점, 2공구 시점 |
| | | | | 관입 | |
| | | 편마상화강암(Jggr) | | • 엽리 발달<br>• 조립질 | • 1공구 시점 및 중앙, 2공구 중앙부 |



라. 지체구조



• 경상분지는 암상 및 지구조에 의해 몇 개의 소분지로 구분된다. 분지서쪽에 남북방향의 대상으로 발달하는 낙동소분지, 분지 최북단의 일월산 충상단층(thrust)과 청송령 사이에 발달하는 영양소분지, 안동 충상단층 및 청송령과 팔공산 융기대 사이에 발달하는 의성(도평)소분지, 그리고 팔공산 융기대 이남지역에 발달하는 유천(밀양)소분지로 나누어진다.
• 경상분지의 서쪽과 북쪽에서는 경상누층군이 선캄브리아기에 속하는 변성퇴적암류와 쥬라기말의 대보화강암류를 부정합으로 덮고 있고, 동부와 남부는 백악기말의 화성활동과 단층작용으로 심하게 파괴되었으며, 제3기층에 의해 부정합으로 피복되거나 동해 및 남해의 해저로 계속 발달되어 있다.

### 4.1.2 영상정보를 활용한 선형 구조 분석

가. 인공위성영상 분석

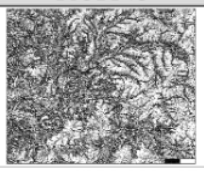
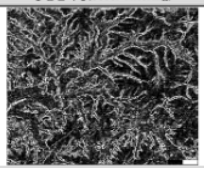
① 목 적

• 과업지역의 광역적인 지형 특성 파악 및 선형구조 발달 상태 파악
• 지형 및 지질특성(단층, 절리, 암맥 등의 선구조)파악
• 과업구간에 대한 지질분포와 단층, 절리 등에 의한 광역적인 선구조 해석

② 원리 및 방법

• 30m급 해상도의 Landsat5 TM 위성영상을 이용하여 분석실시
• 선형 공간 필터링 분석, 주성분 분석, 밴드비율 분석 등을 통해 광역 선구조 해석에 이용
• 식생지수, 습윤도 분석을 통해 식생 및 토양환경 분석 실시

③ 위성영상결과

| 선형공간필터링 | 공간엠보싱(Sobel filtering) |
|---|---|
|  |  |
| • Landsat-7 ETM+ 영상에서 선적인 요소를 강조시키기 위해 고주파 강조 선형 공간필터링을 실시<br>• 고주파강조 공간필터인 Laplacian 필터(Jensen, 1996)를 적용시킨 후의 결과<br>• 지형적인 선구조 이외에 도로나 할만 시설과 같은 인공적인 선구조가 추출됨 | • 영상 내의 지형 또는 선구조의 방향성에 관계없이 지형 지물의 에지를 검출<br>• 선구조 묵안 판독에 유용한 자료임 |



### 7.6.2 암종특성에 따른 비탈면 기울기 현황

가. 지질 및 암종특성

(1) 지질특성

• 본 과업노선은 경상분지의 퇴적암 지역에 위치하며 미세립의 니질암을 90%이상 함유한 춘산층이 주로 분포됨
• 퇴적암 중 이암과 세일로 구성된 니질암은 사암이나 역암에 비해 입자간 공극이 크고 느슨한 특징을 보이며, 탄산염광물 함량이 높을 경우 빠른 시간 내에 풍화되는 특성을 나타냄

(2) 암종특성

• 본구간의 니질암 암종특성 및 풍화특성파악을 위해 XRD, 현미경분석, 산침수에 의한 분말화 시험 및 내구성 시험 등 각종분석 실시
• XRD 및 현미경 분석결과 주구성광물은 석영과 방해석, 그리고 미립의 점토로 구성되었으며, 입자간 교결물질이 방해석인 것으로 판단
• 산침수에 의한 분말화 시험결과 층리에 따른 뚜개짐과 분말화가 상당히 진행됨
• 따라서, 깎기 비탈면 시공시 우수와 지표수에 노출되면 입자간 교결물질인 방해석의 용탈이 발생하여 암반사면이 빠르게 풍화될 것으로 판단

| 구 분 | 일축강도(kg/cm²) | | XRD분석 | 현미경분석 | | NP시험 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 니질암 | 사암 | 점토광물(%) | 실트(%) | 점토(%) | 방해석함량(%) |
| 10공구 | 339~852 | 958~1,317 | 27.2~41.8 | 31.6 | 68.4 | 29.7~39.9 |
| 9공구 | 395~814 | 433~884 | 28.2~39.7 | 52.6 | 47.4 | 5.8~16.8 |
| 8공구 | 535~1,066 | 654~1,345 | 36.4~43.6 | 21.1 | 78.9 | 22.7~28.1 |

주) XRD : X-선 회절분석, NP시험 : 중화잠재(Neutralization Potential) 시험

나. 인근비탈면조사

• 사업노선과 교차하는 4 개소의 고속도로(경부, 대구-포항, 중앙, 중부내륙) 및 기존 도로(국도 및 지방도)의 비탈면 기울기 적용 현황 조사

• 위치 : 신령~영천 현장사무소
• 설명 : 풍화되어 부피가 1/3로 축소됨

• 위치 : 신령~영천 덕산마을 인근
• 설명 : 1:1.0절취, 국부적 붕락발생

3) 지반조사 보고서

## 제 1 장 조 사 개 요

### 1.1 조 사 명

- 상주~영천 고속도로 민간투자사업 실시설계(10공구)

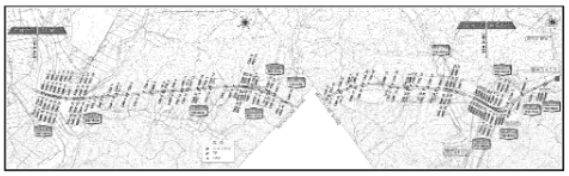
### 1.2 조 사 목 적

- 상주~영천 고속도로 민간투자사업을 위한 지반조사
- 계획노선의 지반공학적 특성을 고려한 조사계획 수립
- 선정된 최적노선을 대상으로 구조물별 특성을 고려한 현장조사, 현장시험 및 실내시험 실시
- 지층의 구성상태, 지반공학적 특성 및 지반조건 파악
- 조사된 자료를 종합·분석하여 합리적이고 경제적인 설계 및 시공에 필요한 공학적 자료 제공

### 1.3 조 사 범 위

| | |
|---|---|
| 위 치 | · 시점 : 경상북도 영천시 언하동 (STA. 0+000) (X=275,770.3573 , Y=197,045.8262)<br>· 종점 : 경상북도 영천시 북안면 임포리(STA. 9+360) (X=269,280.9395 , Y=200,559.7855)<br>· 연장 : 9.36km |
| 특 성 | · 상주~영천간 고속도로 건설을 통한 기존 고속도로(경부, 중부내륙)의 기능 회복 및 연계를 통한 효율성 증대<br>· 고속도로 신설을 통해 동과 지역의 권역별 상호 균형 발전을 통한 공익성 증대 |

### 1.4 위 치 도

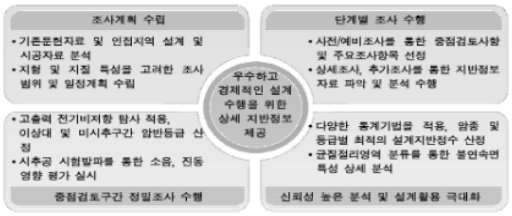




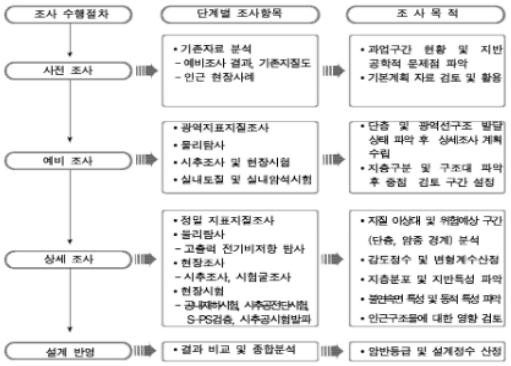
## 제 2 장 조 사 계 획

### 2.1 조사 기본방향 및 수행흐름

가. 조사 기본방향



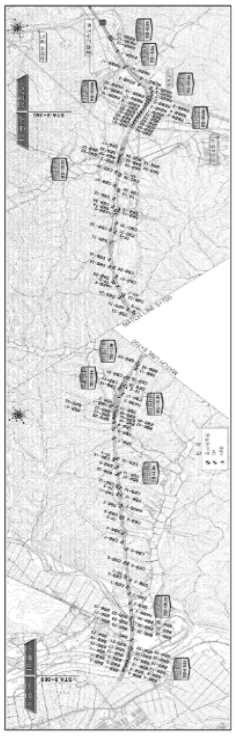

나. 조사 수행 흐름도






## 2.3 조사수행 현황

### 2.3.1 조사위치



### 2.3.2 조사 항목 및 수량

## 제 7 장 비탈면 안정성 검토

### 7.1 개 요

#### 7.1.1 검토목적

본 검토는 계획노선에 계획되어 있는 깎기 및 쌓기 비탈면 중 붕괴가능성을 지닌 대깎기 비탈면과 고쌓기 비탈면에 대하여 설계시 지반공학적인 측면에서 조사 및 시험을 실시하고 이를 분석 파악 후 토질 및 암반상태와 안정성을 고려한 안정 비탈면기울기 결정 및 대책 등을 검토하여 경제적인 비탈면 설계방안을 제시하는데 그 목적이 있다.

토사비탈면의 경우 토층이 균질하다는 가정하에 임의의 최소안전율을 갖는 활동 저항면에 대한 안정성 평가가 이루어지나 암반비탈면의 경우 지질구조 및 불연속면의 특성에 의해 안정성을 평가하게 된다. 따라서 본 검토에서는 토사와 암반 비탈면의 파괴특성 차이를 고려하여 본 계획 노선의 비탈면을 토사비탈면과 암반비탈면으로 구분하여 안정검토를 실시하였다.

#### 7.1.2 검토내용

본 구간의 검토대상 비탈면에 대하여 현장조사 및 실내시험을 통하여 얻은 성과를 토대로 검토한 내용은 다음과 같다.

- 현장조사 적정성 분석 및 비탈면 설계정수 산정
- 실내시험 적정성 분석 및 비탈면 설계정수 산정
- 합리적인 비탈면 기울기 검토
- 비탈면 안정대책 및 보호공법 검토

### 7.2 검토구간 선정 및 현황

#### 7.2.1 선정기준

과업구간에 계획되는 비탈면 중 흙쌓기 구간의 검토단면 선정은 일반적으로 흙쌓기 높이가 10m이상, 깎기구간은 절취비탈면 높이가 20m 이상 되는 비탈면을 원칙으로 하였으며, 그 외 현장조건 및 토질조건에 따른 대상은 다음의 기준에 따라 선정하였다.

| 구 분 | 선 정 기 준 |
|---|---|
| 쌓 기 부 | · 비탈면높이가 10m를 초과하는 경우<br>· 비탈면기울기가 표준기울기보다 급한 경우<br>· 쌓기재료의 함수특성이 높고, 전단강도가 낮은 경우<br>· 붕괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우<br>· 지형특성으로 인하여 쌓기토체 내부로 지속적인 지하수의 유입이 발생하는 경우<br>· 홍수시 비탈면이 침수되거나 비탈끝이 침식되는 경우<br>· 쌓기비탈면의 원지반이 양호하지 못한 경우(연약지반 등)<br>· 내진안정해석이 필요한 경우 |
| 깎 기 부 | · 비탈면높이가 20m 이상인 경우<br>· 비탈면기울기가 표준기울기보다 급한 경우<br>· 비탈면 지반이 봉적토로 이루어진 경우<br>· 암반의 풍화가 심하고 음수가 많은 경우<br>· 붕괴시 복구가 장시간 소요되거나 주변 인접 시설물에 중대한 인명, 재산상 피해를 주는 경우<br>· 불연속면이 비탈면 방향으로 기울기진 지질조건인 경우<br>· 내진안정해석이 필요한 경우<br>· 불안정 요인을 갖는 지형·지질 조건인 경우 |

### 7.2.2 비탈면 현황

비탈면 안정검토 대상구간 선정기준에 의한 비탈면 현황은 다음과 같다.

| 구 분 | | 구 간 (STA.) | 연 장 (m) | 대표단면 (STA.) | 최대깎기고 (m) | 지층현황 | 조사내용 공번 | 조사내용 조사위치 (STA.) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 깎기 | 깎기1구간 | 1+470 ~2+390 | 920 | 1+580(상주)<br>1+680(영천)<br>1+620(하주) | 19.71<br>26.39<br>10.80 | 표토,풍화토,<br>풍화암,<br>연암,경암 | CBB-4<br>CBB-5<br>CBB-6<br>CBB-7 | 1+967.92(우23.65)<br>1+984.53(좌21.84)<br>2+216.49(우27.54)<br>2+342.05(좌34.83) | |
| | 깎기2구간 | 2+590 ~2+900 | 310 | 2+780(상주) | 19.13 | 풍화토,<br>풍화암,<br>연암,경암 | CBB-8<br>CBB-9 | 2+762.76(우17.14)<br>2+778.62(좌13.82) | |
| | 깎기3구간 | 3+050 ~3+400 | 350 | 3+320(상주)<br>3+140(영천) | 27.86<br>28.32 | 표토,풍화토,<br>풍화암,<br>연암,경암 | CBB-10<br>CBB-12<br>CBB-13<br>CBB-14 | 3+160.48(우25.89)<br>3+279.45(우16.27)<br>3+314.22(좌22.10)<br>3+540.00(우32.42) | |
| | 깎기4구간 | 3+710 ~3+840 | 130 | 3+760(상주) | 18.67 | 표토,풍화토,<br>풍화암,<br>연암,경암 | CBB-15<br>CBB-16 | 3+764.91(좌30.58)<br>3+782.52(우28.65) | |
| 성토 | 깎기5구간 | 4+870 ~5+280 | 410 | 5+060(상주)<br>5+080(영천) | 39.82<br>33.57 | - | - | - | 민원으로 시추 미시행 |
| | 깎기6구간 | 5+640 ~5+820 | 180 | 5+740(영천)<br>5+780(영천) | 20.18<br>18.16 | - | - | - | 민원으로 시추 미시행 |
| | 깎기7구간 | 5+900 ~6+150 | 250 | 6+080(상주)<br>6+100(영천) | 22.46<br>18.61 | - | - | - | 민원으로 시추 미시행 |
| | 깎기8구간 | 6+290 ~6+780 | 490 | 6+360(상주)<br>6+420(영천) | 32.27<br>20.10 | - | - | - | 민원으로 시추 미시행 |
| | 깎기9구간 | 7+110 ~7+440 | 330 | 7+240(상주)<br>7+240(영천)<br>7+300(영천) | 23.57<br>40.17<br>28.67 | - | - | - | 민원으로 시추 미시행 |
| | 깎기10구간 | 7+880 ~8+320 | 440 | 8+020(상주)<br>8+200(영천) | 23.89<br>23.61 | - | - | - | 민원으로 시추 미시행 |



## 7.6 비탈면 안정해석 및 검토

### 7.6.1 개요

가. 깎기구간

본 지역에서의 깎기비탈면 안정해석은 깎기구간 중 깎기 높이가 가장 높은 지역을 기준으로 비탈면 현황을 고려하여 대표단면 선정 후 토사지반 및 암반층에 대해 실시하였고, 지표지질조사 결과 및 시추조사 결과를 종합 분석하여 토사 및 암반층에 널리 적용하고 있는 한계평형해석 및 평사투영법을 이용하여 종합적으로 검토가 이루어졌다. 깎기비탈면 해석을 실시함에 있어 경제적이고 안정한 비탈면기울기의 선정을 위하여 다음과 같이 적용하여 검토하였다.

- 비탈면 안정해석시 일반적으로 기준 안전율을 건기시 **1.5** 이상, 우기시 **1.2** 이상으로 적용하였다.
- 구간 내 시추조사 결과에 의한 지층 층후의 종합적용 및 지표지질 조사시 현장 확인된 암반 노출면 등을 종합하여 지층경계선을 설정하였다.
- 결과를 근거로 암반파괴 상태에 의한 깎기 기울기는 암석별 깎기 적정기울기를 기준으로 암반비탈면 기울기를 결정하였다.
- 수집된 지표지질조사 결과를 이용하여 평사투영법으로 불연속면의 주향 및 기울기방향을 구간별 투영으로 파괴양상을 예측하였다.
- 암반비탈면 기울기에 따라 상부층의 토사비탈면 안정성 검토는 **Talren 97 Program**을 이용하여 원호활동 파괴로 검토함을 원칙으로 하였다. **RQD = 0~10%**의 암석은 연암이라 하더라도 암반이 큰 **COBBLE** 상태에서 거동하는 것으로 사료되므로 풍화암과 같은 특성으로 고려될 수 있다. 이와 같은 경우 암반은 절리면을 따라 파괴하기 보다는 원호활동 파괴의 경향을 보이므로 풍화암과 토사층을 포함하여 검토하였다.

나. 쌓기구간

본 쌓기구간은 산지지형 말단부의 편측쌓기와 곡간형태의 충적층 지역에 대한 쌓기로서 전답토로 형성된 구간을 경유하고 있으며 원지반의 지층분포 상황, 특성파악 및 연약지반 출현 여부를 확인하기 위하여 **Hand Auger Boring**을 실시하였다. 쌓기 비탈면의 파괴형태는 원호활동 파괴로 해석하였으며, 강도정수는 쌓기지역의 지반강도정수 선정에 의거 지층별로 적용하였다. 쌓기 비탈면 해석을 실시함에 있어 차량하중의 고려와 우기시를 고려하여 지표면에 지하수위가 형성된 것으로 가정하여 해석하였다.

# 제 8 장 지표지질조사

## 8.1. 광역 지표지질조사

### 8.1.1. 지질개요

•과업구간은 백악기 경상분지의 주로 신동층과 하양층군이 분포하는 의성소분지의 동남부에 위치한다. 경상분지는 처음에는 일본의 북구주지방과 중국, 대마도에 분포하는 퇴적분지를 총괄하여 대마도분지로 불러왔다. 그 후 1961년 원종권은 수차례 조사결과 경상누층군이 구조상으로 분지형을 이루고 있으므로 경상분지라고 명명하였다. 경상분지의 분포는 남북방향인 장축이 200km, 동서단축이 120km, 총 면적이 24,000km2에 달한다. 경상분지는 조산운동에 의해 형성된 3개의 소분지로 구성되어 있고, 이들은 다시 여러 개의 단층계에 의해 파괴되어 있다(그림 1).

그림 1. 경상분지와 소분지 분포

•경상분지는 안상 및 지구조에 의해 몇 개의 소분지로 구분된다. 분지서쪽에 남북방향의 대상으로 발달하는 낙동소분지, 분지 최북단의 일월산 충상단층(thrust)과 청송령 사이에 발달하는 영양소분지, 안동충상단층 및 청송령과 팔공산 융기대 사이에 발달하는 의성(도평)소분지, 그리고 팔공산 융기대 이남지역에 발달하는 유천(밀양)소분지로 나누어진다(그림 1).
•경상분지의 서쪽과 북쪽에서는 경상누층군이 선캄브리아기에 속하는 변성퇴적암류와 쥬라기말의 대보화강암류를 부정합으로 덮고 있고, 동부와 남부는 백악기말의 화성활동과 단층작용으로 심하게 파괴되었으며, 제3기층에 의해 부정합으로 피복되거나 동해 및 남해의 해저로 계속 발달되어 있다(그림 2).

### 66.2.3 점검 및 진단 이력

본 비탈면은 2017년부터 정기안전점검 5회, 정밀안전점검 1회를 실시한 것으로 조사되었다. 점검 결과 전반적으로 양호한 상태로 특별한 보수·보강을 필요한 구간은 없는 것으로 평가되었다.

**<표 66-3> 정기안전점검 및 정밀안전점검 이력**

| 번호 | 기 간 | 구 분 | 주요 점검 결과 | 안전등급 |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 2017. 11. 13 ~ 2017. 12. 28 | 정기안전점검 | 영천절토66 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 일부구간에서 균열, 망상균열, 산마루측구 퇴적이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다. | 양호 |
| 2 | 2018. 05. 28 ~ 2018. 06. 30 | 정기안전점검 | 영천절토66 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 일부구간에서 균열, 망상균열, 산마루측구 퇴적이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다. | 양호 |
| 3 | 2018. 10. 23 ~ 2018. 12. 31 | 정기안전점검 | 영천절토66 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 일부구간에서 균열, 망상균열, 산마루측구 퇴적이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 보수 및 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다. | 양호 |
| 4 | 2019. 03. 18 ~ 2019. 05. 28 | 정기안전점검 | 영천절토66 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 일부구간에서 균열, 망상균열, 퇴적이 발생한 것으로 조사되었다. 기 발생한 손상은 사면 안정성에 영향은 없는 것으로 판단되나, 손상부의 진전여부에 대한 주의관찰이 필요하다. | 양호 |
| 5 | 2019. 09. 16 ~ 2019. 12. 27 | 정밀안전점검 | 본 사면에 대한 정밀안전점검 결과, 경미한 손상, 결함이 발생하였으나 기능 발휘에는 지장이 없으며 내구성 증진을 위하여 일부의 보수와 지속적인 관찰이 필요한 상태인 "B"등급의 양호한 상태로 평가되었다. 본 사면은 낙석방지망이 시공되어 있으며, 노출암에서 확인할 수 있는 암반의 풍화등급은 약한풍화~심한풍화 정도이다. 사면 전반적으로 식생상태가 양호~보통인 것으로 조사되었다. 계곡부가 1개소 조사되었고, 하절기 강우시 주의관찰이 요망된다. 일부 노출암 구간은 낙석방지망 및 낙석방지울타리가 설치되어 안전성에는 문제가 없으나, 공용기간이 증가할수록 우수 및 동결융해작용으로 풍화가 진행될 수 있으므로, 주기적인 주의관찰이 요망된다. 배수기능에 큰 문제는 없는 것으로 조사되었다. 사면 보호/보강시설은 기능발휘에 큰 문제가 없는 것으로 조사되었다. | B |
| 6 | 2020. 05. 12 ~ 2020. 06. 30 | 정기안전점검 | 영천절토66 사면은 지반변형 등의 파괴징후는 확인되지 않았으나, 소단배수로 일부구간에서 망상균열, 폐자재 적치가 발생된 것으로 조사되었다. 기 발생된 손상부의 경우 사면의 안전성에 영향을 미칠만한 손상은 아니나, 손상의 진전 방지를 위한 보수가 필요할 것으로 판단된다. | 양호 |

### 66.2.4 보수·보강이력

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

**<표 66-4> 보수·보강이력**

| 번호 | 공사기간 | 공사내역 | 공사비(원) | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| | | 특이사항 없음 | | |

### 66.2.5 내진설계 적용 여부

본 절토사면은 유지관리 기초자료 분석 결과 fms상 내진설계가 적용 된 것으로 확인되었다.

**<표 66-5> 내진 설계 적용 여부**

| 검토대상 부재 | 설계적용여부 | 결과 | 검토결과 요약 | 근거 |
|---|---|---|---|---|
| 해당사항 없음 | 적용 | - | - | |

### 66.2.6 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 66-6> 관련 자료 분석 결과 요약 및 점검 방향**

| 구 분 | 자료 분석 결과 | 성능평가 방향 |
|---|---|---|
| 설계도서 | ㅇ준공도서 유지관리중<br>ㅇ위치도, 횡단면도 등 파악 가능<br>ㅇ원지반 상태 파악 가능 | ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득<br>ㅇ설계도면과 현재 제원 비교 |
| 시설물 관리대장 | ㅇ기본현황, 상세제원 확인 가능<br>ㅇ유지관리 이력 파악<br>ㅇ시설물 준공 후 최초의 성능평가 | ㅇ현장조사를 위한 기초자료로 활용<br>ㅇ준공후 특별한 보수·보강이력이 없는 상태로서 금회 성능평가시 손상 조사시 필요에 따라 보수·보강방안 수립 |
| 안전점검 및 정밀안전진단 자료 | ㅇ준공후 정기안전점검, 정밀안전점검이 시행되었으며, 전반적으로 양호한 상태임. | ㅇ사면파괴징후에 대한 면밀한 조사<br>ㅇ필요시 보수보수·보강방안 수립<br>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<br>ㅇ성능평가 결과에 따라 성능목표 유지를 위한 유지관리 전략 제안 |

# 66.3 현장조사

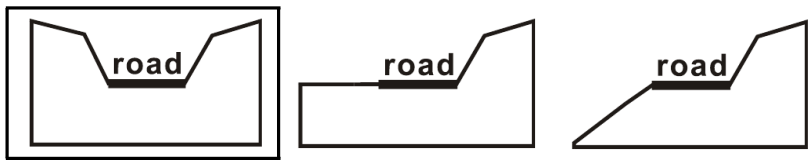
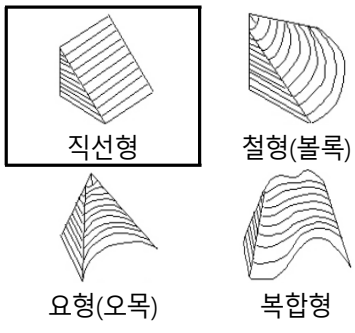
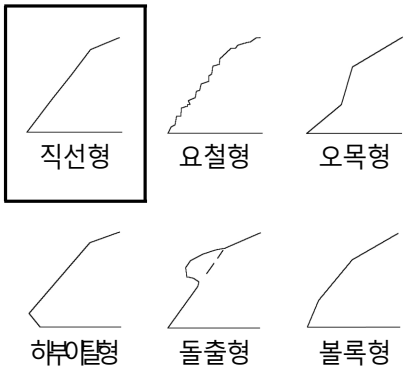
## 66.3.1 현장조사 체크리스트

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

**<표 66-7> 일반현황**

<table>
<tr><td>조사일자</td><td colspan="2">2019. 11. 25.</td><td>조 사 자</td><td colspan="2">장 진 원</td></tr>
<tr><td>일 기</td><td colspan="2">맑음</td><td>준공년도</td><td colspan="2">2017년 06월 27일</td></tr>
<tr><td>행정구역</td><td colspan="5">경상북도 영천시 북안면 원당리</td></tr>
<tr><td rowspan="2">위 경 도</td><td colspan="5">시점 : 35° 18′28.0″ 127° 47′11.0″</td></tr>
<tr><td colspan="5">종점 : 35° 18′24.0″ 127° 47′58.0″</td></tr>
<tr><td rowspan="4">절토사면</td><td colspan="3">길 이 : 380m</td><td colspan="2">높 이 : 40.2m</td></tr>
<tr><td colspan="5">경 사/경사방향 : 45/111</td></tr>
<tr><td colspan="3">구성물질 : 암반</td><td colspan="2">토층심도 : 약 1.0~4.0m</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 : -<br>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 : -<br>뜬들 최대크기 : -</td></tr>
<tr><td rowspan="6">절토사면<br>시공현황</td><td>종 류</td><td colspan="2">위 치</td><td colspan="2">상 태</td></tr>
<tr><td>산마루 측구</td><td colspan="2">91.918~92.058k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>소단배수로</td><td colspan="2">91.818~92.078k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>수직도수로</td><td colspan="2">91.988k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>낙석방지울타리</td><td colspan="2">91.808~92.088k</td><td colspan="2">양호</td></tr>
<tr><td>점검용 계단</td><td colspan="2">91.758~91.818k, 91.908k, 92.058k</td><td colspan="2">양호</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">·</td></tr>
</table>

**<표 66-8> 지형·지질 및 식생**

<table>
<tr><td rowspan="3">주변지형의 특성</td><td>주변 지형</td><td colspan="4">산악지형</td></tr>
<tr><td>종단면 형상</td><td colspan="4"> 
</td></tr>
<tr><td>기타 특징</td><td colspan="4">-</td></tr>
<tr><td>절토사면의 특성</td><td>종<br>횡<br>단<br>면</td><td colspan="2"> 
</td><td>종<br>단<br>면<br>특<br>성</td><td> 
</td></tr>
<tr><td rowspan="7">상부 자연비탈면</td><td>경 사 도</td><td colspan="4">0°</td></tr>
<tr><td>인장균열</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>포행흔적</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>수목의 기울어짐</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>인공구조물</td><td colspan="4">무</td></tr>
<tr><td>산마루측구</td><td colspan="4">유</td></tr>
<tr><td>계곡부</td><td colspan="4">1개소</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 66-9> 기초조사 자료**

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 일반현황 | 거리표 | 영천절토66 | | |
| | 위경도 | 시점 : 35° 18′28.0″ 127° 47′11.0″<br>종점 : 35° 18′24.0″ 127° 47′58.0″ | | |
| | 차선 | 왕복 ( 4 ) 차선 | | |
| | 조사일자 | 2019년 11월 25일 | | |
| | 조사자 | 장진원 | 조사기관 | ㈜명성엔지니어링 |
| 절토사면 특성 | 길이 | 380m | 최대높이 | 40.2m |
| | 경사 | 45° | 상부경사 | 0° |
| | 이격거리 | 평균 1.0~2.0m | 소단 | 4개소 |
| | 종류 | ■암반 □혼합<br>□토사 □자연 | 주변지형 | ■산악 □준산악<br>□구릉 □평 지 |
| | 지하수 | ■C.dry □damp<br>□wet □dripping<br>□flowing | 누수위치 | □상 □중 □하<br>□좌 □중 □우 |
| | 풍화도 | □F ■S ■M<br>□H □C □R | 불연속면 방향성 | □일치 □평행<br>■후방 □불가 |
| | 사면형상 | ■직선형 □철형<br>□요형 □파형 | 측면형상 | ■직선형 □요철형<br>□탈락형 □돌출형 |
| | 계곡부 | 1개소 | 붕괴이력 | □유(영향) □낙석<br>□유(미영향) ■무 |
| | 뜬돌 | □대 □중<br>□소 ■무 | 낙석 | □대 □중<br>□소 ■무 |
| | 암종 | 사암 및 셰일 | 토층심도 | 1.0~4.0m |
| | 암반형태 | □massive<br>□tabular<br>□columnar<br>□irregular<br>■blocky<br>□crushed | 불연속면 | ■절리 ■층리<br>□엽리 □균열<br>□단층 □전단대<br>□암맥 □무 |
| | 시공현황 (상태) | □식생공<br>□옹벽<br>□격자블럭<br>■점검로(양호) | ■낙석방지망(양호)<br>■낙석방지울타리(양호)<br>■배수로(양호)<br>□기타 | |
| 조사자 소 견 | 위험도 | □상 □중 ■하 | 피해도 | □상 □중 ■하 |
| | 붕괴 유형 | □심층 □표층 ■무 | 위험등급 | □A ■B □C<br>□D □E |
| | 위험구간 (붕괴유형) | □상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( )<br>□상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( )<br>□상 □중 □하 / □좌 □중 □우 ( ) | | |
| | 필요 주공법 | - | 조치 | □응급 ■미응급 |
| | 기타 | | | |

## 66.3.2 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 상주영천고속도로 91.758~92.138㎞에 위치하고 있으며, 길이는 380m, 높이 40.2m의 절토사면으로 시설물 안전법상 2종 시설물로 분류된 시설이다.

### 나. 절토사면의 분류

토층심도 깊이측정을 위한 자료는 준공도서 표준 횡단면도를 참고하여 작성하였고, 블록크기 측정을 위한 절리간격은 사면특성 조사 시 각 구간에 위치하는 절리군의 평균 간격을 측정하였다.

**<표 66-10> 절토비탈면 분류**

(㎫=10.2kg/㎠)

| 구 분 | | 분류기준 | 평가점수 | 비탈면종류 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 세부분류 | 종합분류 |
| 1구간 | 토층심도율 | 0.4 | $\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{4.0}{40.2}=0.10$으로 0.4미만 | 암반사면 | 파쇄 암반사면 |
| | 압축강도 | 10㎫ | 반발경도측정결과 90.4~91.5㎫으로 10㎫이상 | 파쇄암반 절리암반 | |
| | 블록크기 | 0.01 | $\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.3}{40.2}=0.007$로 0.01이하 | 파쇄암반 | |
| 2구간 | 토층심도율 | 0.4 | $\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{4.0}{38.0}=0.11$로 0.4미만 | 암반사면 | 파쇄 암반사면 |
| | 압축강도 | 10㎫ | 반발경도측정결과 92.1~94.2㎫으로 10㎫이상 | 파쇄암반 절리암반 | |
| | 블록크기 | 0.01 | $\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.25}{38.0}=0.006$으로 0.01이하 | 파쇄암반 | |

**다. 비탈면 구간 분할**

본 사면은 연장이 380m로써, 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 기준에 의해, 2개 구간으로 구분하여 외관조사 및 상태평가를 실시하였다.

**<표 66-11> 비탈면 구간 분할**

| 구 분 | 측 점 | 비 고 |
|---|---|---|
| 1구간 | 91.758~91.988k | 230m |
| 2구간 | 91.988~92.138k | 150m |

### 66.3.3 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 -0°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 상태이며, 계곡부는 1개소가 존재하는 것으로 확인되었다.

**<표 66-12> 집수 지형 조사 결과**

| 구 분 | | 손상 내용 | 단위 | 손상수량 (개소 / 수량) | 손상 원인 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 집수지형 | 외부 | 시.종점부 | EA | - | - | |
| | | 계곡부 | EA | 1 / 1.0 | - | |
| | 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 원지반이 노출된 구간에 대해서 조사하였다.

그 결과 부분적으로 절리가 관찰되며, 약한풍화~심한풍화 상태를 보이고 있는 것으로 분석되었다.

**<표 66-13> 불안정 지질 조사 결과**

| 구 분 | 손상 내용 | 단위 | 손상수량 (개소 / 수량) | 손상 원인 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 불안정 지질 | 국지적 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 대기에 노출된 원지반을 대상으로 6개 구간에서 암반 불연속면 특성을 조사하였다.

**<표 66-14> 불연속면 특성 조사 결과**

| 구 분 | 1구간 | | |
|---|---|---|---|
| | Set 1 | Set 2 | Set 3 |
| 방향성 | 05/108 | 82/350 | 84/280 |
| 간격(m) | 0.2~0.6 | 0.2~0.6 | 0.2~0.6 |
| 연장성(m) | 3.0~10.0 | 3.0~10.0 | 3.0~10.0 |
| 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 | HW | HW | HW |
| 비고 | 식생공으로 인한 이외의 불연속면 특성조사 불가 | | |

| 구 분 | 2구간 | | |
|---|---|---|---|
| | Set 4 | Set 5 | Set 6 |
| 방향성 | 14/180 | 84/272 | 80/152 |
| 간격(m) | 0.2~0.6 | 0.2~0.6 | 0.2~0.6 |
| 연장성(m) | 3.0~10.0 | 3.0~10.0 | 3.0~10.0 |
| 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 | HW | HW | HW |
| 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 66-15> 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 소단 배수로 및 산마루 측구, 수직도수로가 시공되어 있다.

소단 배수로 및 산마루 측구, 수직도수로는 지반 변형으로 인한 부상 및 침하 등의 손상은 없는 것으로 확인되었으며, 배수기능에는 문제가 없는 것으로 조사되었다.

**<표 66-16> 배수 조건 조사 결과**

| 구 분 | | 손상 내용 | 단위 | 손상수량 (개소 / 수량) | 손상 원인 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 배수 조건 | 소단 배수로 | - | - | - | - | |
| | 산마루 측구 | - | - | - | - | |
| | 수직 도수로 | - | - | - | - | |

**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 66-17> 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 66-18> 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 66-19> 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 66-20> 인장균열 조사 결과**

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

### 66.3.4 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 6개소에서 실시하였으며, 그 외 식생 및 녹생토 시공으로 인해 노출된 암반이 존재하지 않아 암반강도시험을 실시하지 못한 구간의 경우 초기점검 보고서 및 토질조사보고서를 참고하였다. 시험 결과 및 기존 자료 검토에 따른 암종 분류 결과 보통암인 것으로 판단된다.

**<표 66-21> 암반강도시험 결과**

| 시험위치 | 반발경도(Ro) | 추정강도(MPa) | 암 판정 결과 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 91.898k | 49.3 | 90.4 | 보통암 | |
| 91.907k | 49.6 | 91.5 | 보통암 | |
| 91.922k | 49.3 | 90.6 | 보통암 | |
| 92.058k | 50.0 | 93.3 | 보통암 | |
| 92.070k | 50.2 | 94.2 | 보통암 | |
| 92.080k | 49.7 | 92.1 | 보통암 | |
| 검토의견 | ・암반용 슈미트해머에 의한 강도 측정결과, 반발경도는 49.3~50.2으로 측정되었으며, 추정강도 90.4~94.2MPa로 보통암으로 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 66-22> 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 낙석방지망 이외의 특별한 보강시설은 없는 것으로 조사되었으며, 현장조사시 확인한 결과 보강공은 시공되어 있지 않다.

**<표 66-23> 사면보강공 조사 결과**

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

## 66.4 안전성능평가

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

### 66.4.1 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 0.10~0.11로 분석되어 암반비탈면으로 분류되고, 압축강도 및 블록 크기를 고려할 때 세부 분류는 절리암반비탈면, 파쇄암반비탈면으로 평가된다.

**<표 66-24> 절토비탈면 분류**

(MPa=10.2kg/㎠)

| 구 분 | | 분류 기준 | 평가점수 | 비탈면종류 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 세부분류 | 종합분류 |
| 1구간 | 토층심도율 | 0.4 | $\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{4.0}{40.2}=0.10$으로 0.4미만 | 암반사면 | 파쇄 암반사면 |
| | 압축강도 | 10MPa | 반발경도측정결과 90.4~91.5MPa으로 10MPa이상 | 파쇄암반 절리암반 | |
| | 블록크기 | 0.01 | $\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.3}{40.2}=0.007$로 0.01이하 | 파쇄암반 | |
| 2구간 | 토층심도율 | 0.4 | $\frac{Soil\,depth}{Slope\,height}=\frac{4.0}{38.0}=0.11$로 0.4미만 | 암반사면 | 파쇄 암반사면 |
| | 압축강도 | 10MPa | 반발경도측정결과 92.1~94.2MPa으로 10MPa이상 | 파쇄암반 절리암반 | |
| | 블록크기 | 0.01 | $\frac{Block\,size\in dex}{Slope\,height}=\frac{0.25}{38.0}=0.006$으로 0.01이하 | 파쇄암반 | |

본 사면은 연장 380m의 사면으로서, 외관조사시 실시한 구간분할과 동일하게 2구간으로 분할하여 손상상태 및 파괴요인에 대한 평가를 실시하였다. 사면분류를 위해 특성조사를 실시한 위치는 외관조사결과현황도(Face Map)에 Set1~6으로 표기하였다.

**<표 66-25> 비탈면 구간 분할**

| 구분 | 측점 | 연장 | 사면상태 | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| 1구간 | 91.758~91.988k | 230m | 암반사면 | Set1, Set2, Set3 |
| 2구간 | 91.988~92.138k | 150m | 암반사면 | Set4, Set5, Set6 |

**<표 66-26> 사면 형식별 상태안전성능지표**

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

**나. 1구간 상태안전성능 평가 결과**

1) 성능지표별 평가 결과

**<표 66-27> 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 | 계곡부 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 66-28> 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 66-29> 불연속면 특성 평가 결과(1구간)**

| 평가항목 및 등급 | | 평가 기준 | 평가 내용 | 평가 결과 |
|---|---|---|---|---|
| 불연속면 상태 | a | 매우 양호 | 불연속면 상태 점수<br>=Σ(①~⑥) / 6 =<br>(10+5+10+5+16+10) / 6 = 9.3 | c |
| | b | 양호 | | |
| | c | 보통 | | |
| | d | 불량 | | |
| | e | 매우 불량 | | |

**<표 66-30> 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 | 3~10 | c |
| 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 | HW | d |
| ⑥절리간격 | 2.0m이상 | 0.6m이상 2.0m미만 | 0.2m이상 0.6m미만 | 0.06m이상 0.2m미만 | 0.06m미만 | 0.2~0.6 | c |

**<표 66-31> 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 66-32> 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 66-33> 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 | a |
| | 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 66-34> 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 66-35> 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 66-36> 예상 낙석에너지 평가기준(1구간)**

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

**<표 66-37> 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 0° | 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 66-38> 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 66-39> 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 66-40> 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 66-41> 상태안전성능평가 결과(1구간)**

| 시설물명 | | 영천절토66 | | |
|---|---|---|---|---|
| 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 | | 9.3 | 6 | c |
| 지반변형 | | 0 | 0 | a |
| 지하수 | | 0 | 0 | a |
| 배수조건 | | 0 | 0 | a |
| 붕괴이력 | | 0 | 0 | a |
| 낙석 | 발생규모 | 0 | 0 | a |
| | 예상 낙석 에너지 | 0 | | |
| 총점 | | | 13 | |
| 결함지수 | | 0.13 | | |
| **상태안전성능평가 결과** | | **A** | | |

**마. 2구간 상태안전성능 평가 결과**

1) 성능지표별 평가 결과

**<표 66-42> 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 66-43> 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 66-44> 불연속면 특성 평가 결과(2구간)**

| 평가항목 및 등급 | | 평가 기준 | 평가 내용 | 평가 결과 |
|---|---|---|---|---|
| 불연속면 상태 | a | 매우 양호 | 불연속면 상태 점수<br>=Σ(①~⑥) / 6 =<br>(10+5+10+5+16+10) / 6 = 9.3 | c |
| | b | 양호 | | |
| | c | 보통 | | |
| | d | 불량 | | |
| | e | 매우 불량 | | |

**<표 66-45> 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 | 3~10 | c |
| 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 | HW | d |
| ⑥절리간격 | 2.0m이상 | 0.6m이상 2.0m미만 | 0.2m이상 0.6m미만 | 0.06m이상 0.2m미만 | 0.06m미만 | 0.2~0.6 | c |

**<표 66-46> 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 66-47> 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 66-48> 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 | a |
| | 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 66-49> 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 66-50> 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, 6.0㎥미만 | | |
| | d | 6.0㎥이상, 10.0㎥미만 | | |
| | e | 10.0㎥이상 | | |

**<표 66-51> 예상 낙석에너지 평가기준(2구간)**

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

**<표 66-52> 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 0° | 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 66-53> 인장균열 결함점수 산정 결과(2구간)**

| 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.

**사. 2구간 상태안전성능 평가 결과**

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

**<표 66-54> 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 66-55> 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 66-56> 상태안전성능평가 결과(2구간)**

| 시설물명 | | 영천절토66 | | |
|---|---|---|---|---|
| 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 | | 9.3 | 6 | c |
| 지반변형 | | 0 | 0 | a |
| 지하수 | | 0 | 0 | a |
| 배수조건 | | 0 | 0 | a |
| 붕괴이력 | | 0 | 0 | a |
| 낙석 | 발생규모 | 0 | 0 | a |
| | 예상 낙석 에너지 | 0 | | |
| 총점 | | | 12 | |
| 결함지수 | | 0.12 | | |
| **상태안전성능평가 결과** | | **A** | | |

**아. 상태안전성능 평가 결과**

구성 재료에 따른 평가항목별 등급점수는 다음과 같다.

**<표 66-57> 상태안전성능 평가 결과 범위**

| 사면 총길이 | 구간분할 | 분할구간 길이 | 평가등급 | 최종 평가결과 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 380m | 1구간 | 91.758~91.988k | a(0.13) | A | 인장균열 없음 |
| | 2구간 | 91.988~92.138k | a(0.12) | | |
| | ○ 구간별 평가 후 최소등급 선정<br>○ 인장균열 유무, 진행성 여부에 따라 최소등급 선정 | | | | |

## 66.4.2 구조안전성능 평가

### 가. 개 요

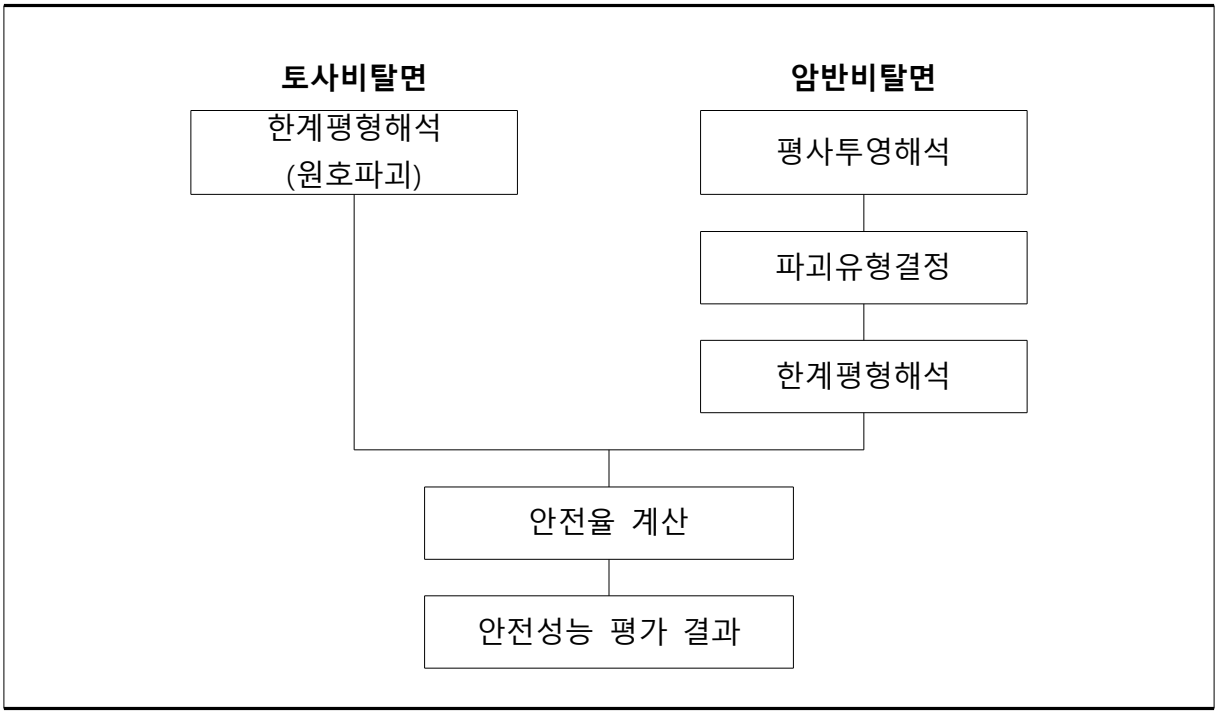
구조안전성능평가는 공학적인 관점에서 시설물을 평가하는 안전수준으로 토사사면의 경우 일반적으로 토층의 원호파괴해석이 주를 이루는 반면, 암반사면의 경우 평사투영해석을 실시한 후 파괴 가능성 여부에 따라 한계평형해석을 실시하도록 제안하고 있다.

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 66-5> 구조안전성능 평가과정**

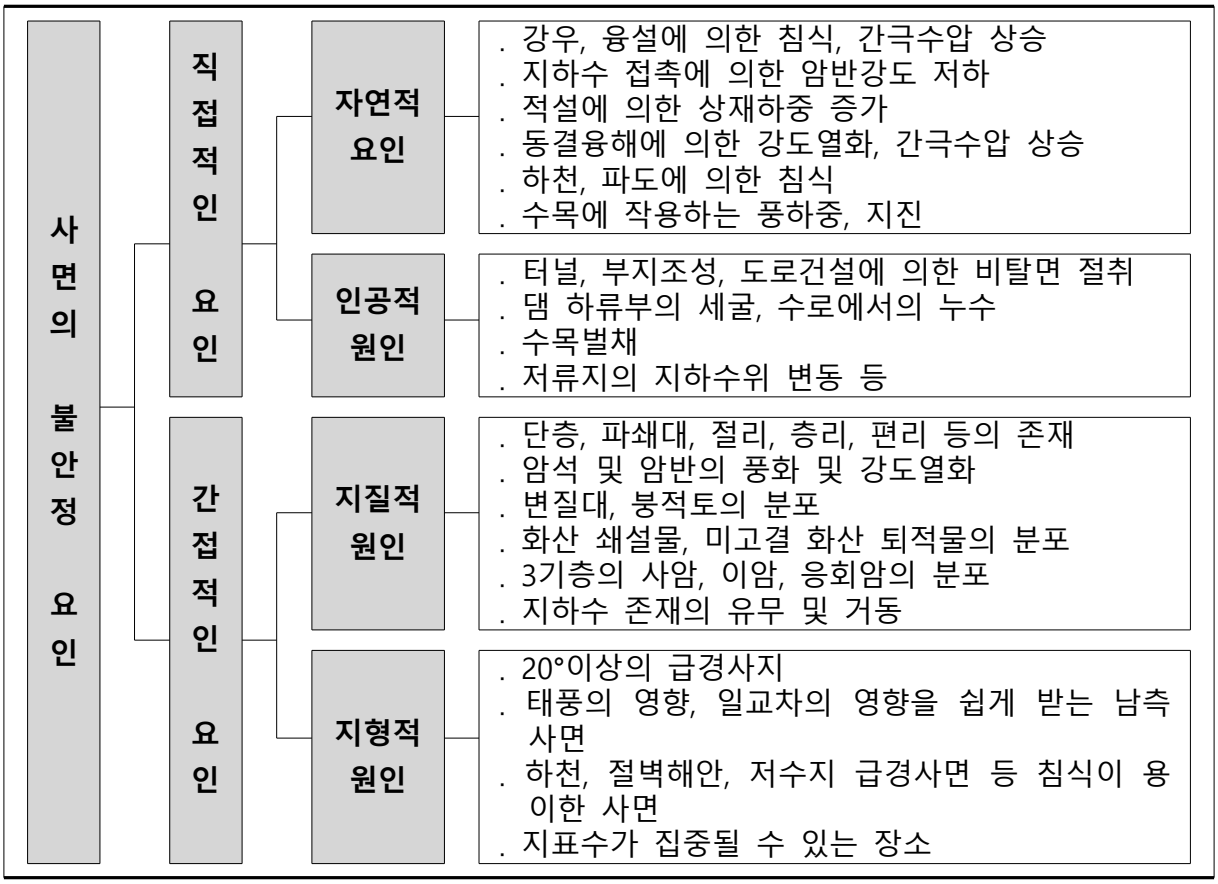
**<표 66-58> 유형별 안정해석 범위**

| 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<br>. 3m이상의 토층이 관찰되거나 풍화가 심하게 진행되어 원호활동이 예상되는 구간에 대해 평사투영해석결과와 별도로 원호파괴 해석을 실시 |
| 혼합비탈면 | ○ | ○ | ○ | . 평사투영해석결과 불안정시 파괴 유형에 따른 한계평형해석 수행<br>. 평사투영해석결과와 별도로 토사구간에 대해 원호파괴해석 실시 |

ㅇ설계도서 분석을 통한 성능평가 기본 자료 획득

ㅇ설계도면과 현재 제원 비교

2) 비탈면의 불안정 요인

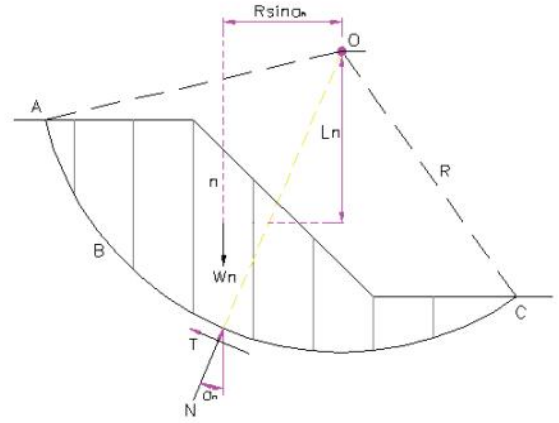



**<그림 66-6> 구조안전성능 평가과정**

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

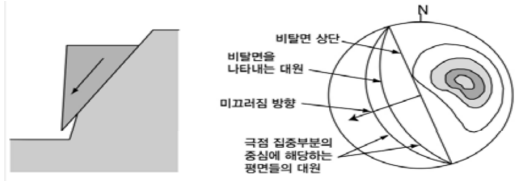
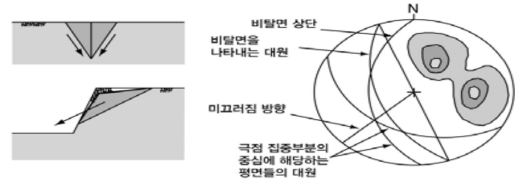
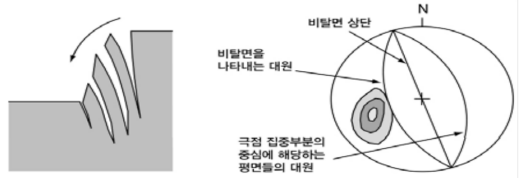
W : 절편 흙의 전체중량(tf/m³)
α : 경사각 (도)
C : 흙의 점착력(tf/m²)
b : 절편 폭(m)
ø : 흙의 내부 마찰각(도)
ΔT : Tn - Tn+1

**<그림 66-7> 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 66-59> 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 66-60> 깎기비탈면 안정해석시 적용하는 기준 안전율**

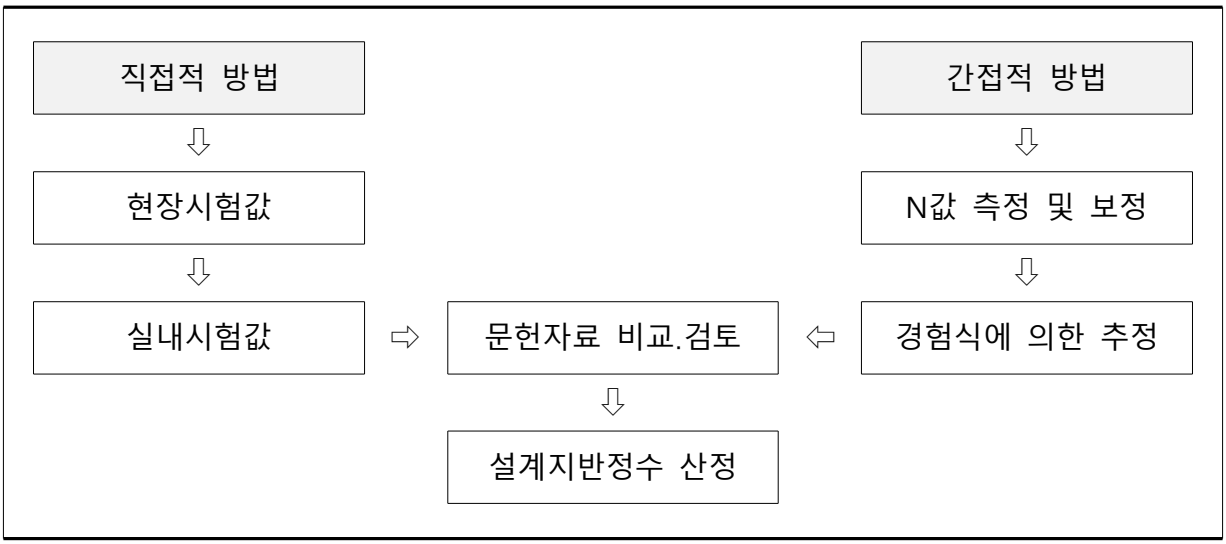
| 구 분 | 기준안전율 | 참조 |
|---|---|---|
| 건기 | FS>1.5 | . 지하수가 없는 것으로 해석 |
| 우기 | FS>1.2<br>또는<br>FS>1.3 | . 연암 및 경암 등으로 구성된 암반비탈면의 경우, 인장균열 내 지하수 포화 높이나 활동면을 따라 지하수로 포화된 비탈면 높이의 ½심도까지 지하수를 위치시키고 해석을 수행하며 이 경우 FS=1.2를 적용<br>. 지하수위를 결정하여 해석하는 경우에는 현장 지반조사 결과, 지형조건 및 배수조건 등을 종합적으로 고려하여 지하수위를 결정하고 안정해석을 수행하며, 지하수위를 결정한 근거를 명확히 기술 (FS=1.2적용)<br>. 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<br>. 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 66-61> 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 66-62> 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 66-63> Geotechnical Engineering Investigation(Roy E. Hunt, 1987)**

| 흙의 종류 | 다짐도 | Dr,% | N | $\gamma_{dry}$ (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 66-64> 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 66-65> 기존 설계자료에 의한 점착력 및 내부마찰각 산정식**

| 구 분 | 지 층 | 단위중량(kN/㎥) | 내부마찰각ø(°) | 점착력c(kPa) | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 상주~영천간 고속도로 건설공사 (10공구) | 풍화(잔적)토 | 19 | 27 | 12 | |
| | 풍화암 | 20 | 29 | 30 | |
| | 기반암 | 25 | 31 | 200 | |

4) 기반암의 지반정수 산정

**① 단위중량 및 강도정수**

◦ 문헌자료 검토

**<표 66-66> 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 66-67> 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 | 27.3~25.6 |
| 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 66-68> 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 (%) | | (°) | 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 66-69> Bieniawski(1989)**

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

**<표 66-70> Trueman (1988)**

| 구 분 | 강도정수 산정식 |
|---|---|
| 점착력($C_m$) | 0.25exp(0.05RMR) (Mpa) |
| 마찰각($\varnothing$) | 0.5RMR + 5 (degree) |

**<표 66-71> 김교원 (1993)**

| 구 분 | 강도정수 산정식 |
|---|---|
| 점착력($C_m$) | 0.02exp(0.08RMR*) (Mpa) |
| 마찰각($\varnothing$) | 0.25(RMR*) + 27.5 (degree) |

RMR* 는 총RMR에서 지하수상태 및 절리방향 보정을 제외함

5) 적용 지반정수 요약

| 지층 | 단위중량 kN/㎥ | 내부마찰각 ° | 점착력 kPa | 프와송비 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 풍화토 | 19 | 27 | 12 | 0.3 | |
| 풍화암 | 20 | 29 | 30 | 0.3 | |
| 기반암 | 25 | 31 | 200 | 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 66-72> 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

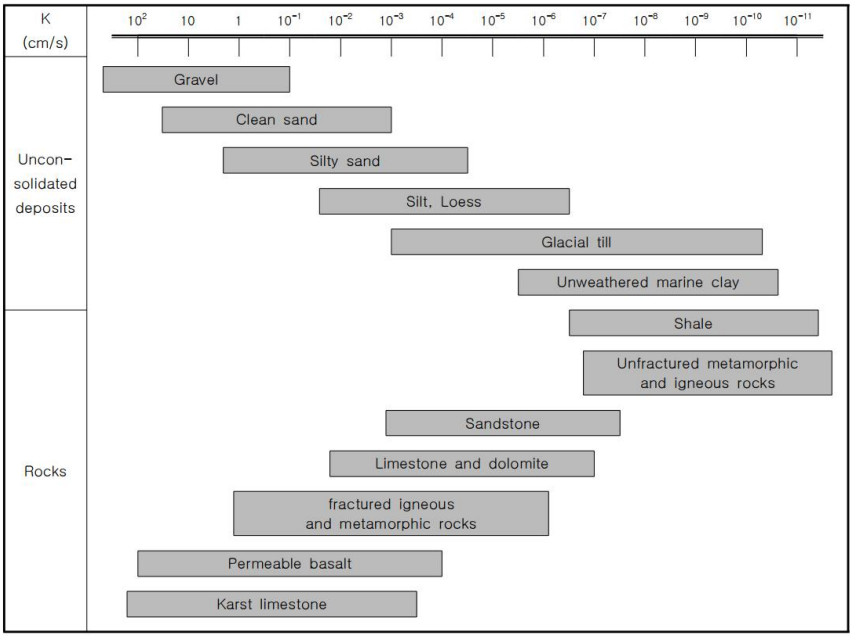
대상지역의 수리정수 즉 투수계수는 문헌자료를 수집하여 이를 비교, 분석하여 설정하였다.

**<표 66-73> 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 66-74> 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 66-8> 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 66-75> 도로배수시설 설계빈도**

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

② 비탈면배수시설 설계기준 KDS 11 70 25 : 2016

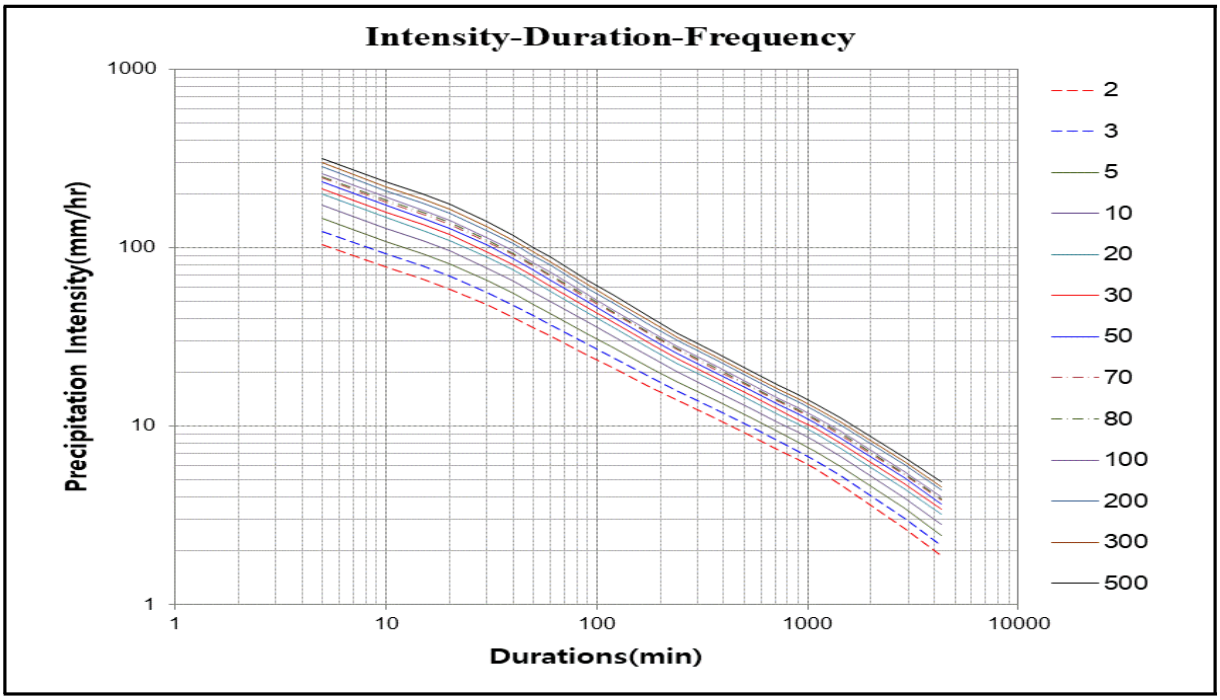
지표수 배수시설의 설계계획빈도는 평지부는 10년, 산지부는 20년을 원칙으로 하고 규격 및 설치간격을 정한다. 다만, 산악지, 도심지, 도시계획구간 등에 형성되는 비탈면에 대해서는 설계계획빈도를 별도로 정할 수 있으며 지역, 지형, 지질, 산사태, 토석류 및 유송잡물, 국지성 집중호우 발생빈도 등의 특성을 고려하여야 한다. 또한, 강우침투 해석시 고려된 설계강우빈도와 상호 연계되어야 한다.

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 영천지역




**<그림 66-9> 영천지역 IDF곡선**

영천(281) 지점의 확률강우강도(단위:mm/hr)

| 재현기간 (년) | 지속기간(분) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 90 | 120 |
| 2 | 104.6 | 78.5 | 66.8 | 58.8 | 47.9 | 40.8 | 35.8 | 32.1 | 25.0 | 21.0 |
| 3 | 123.9 | 93.0 | 79.1 | 69.4 | 56.3 | 47.7 | 41.7 | 37.2 | 28.8 | 24.0 |
| 5 | 145.6 | 108.8 | 92.6 | 81.2 | 65.7 | 55.5 | 48.3 | 43.0 | 33.0 | 27.4 |
| 10 | 173.4 | 128.6 | 109.4 | 96.0 | 77.4 | 65.2 | 56.6 | 50.2 | 38.3 | 31.6 |
| 20 | 199.8 | 147.5 | 125.6 | 110.1 | 88.7 | 74.6 | 64.6 | 57.2 | 43.3 | 35.6 |
| 30 | 214.3 | 158.6 | 135.0 | 118.4 | 95.2 | 79.9 | 69.2 | 61.2 | 46.2 | 37.9 |
| 50 | 233.5 | 172.2 | 146.6 | 128.5 | 103.3 | 86.6 | 74.9 | 66.1 | 49.9 | 40.8 |
| 70 | 245.6 | 181.1 | 154.3 | 135.2 | 108.7 | 91.1 | 78.6 | 69.4 | 52.2 | 42.7 |
| 80 | 250.4 | 185.0 | 157.4 | 137.9 | 110.8 | 92.8 | 80.1 | 70.7 | 53.2 | 43.5 |
| 100 | 258.8 | 191.0 | 162.6 | 142.4 | 114.4 | 95.7 | 82.6 | 72.9 | 54.8 | 44.7 |
| 200 | 283.0 | 209.1 | 178.1 | 156.1 | 125.2 | 104.7 | 90.2 | 79.5 | 59.6 | 48.6 |
| 300 | 298.6 | 219.9 | 187.3 | 164.1 | 131.6 | 110.0 | 94.8 | 83.5 | 62.5 | 50.9 |
| 500 | 316.7 | 233.6 | 198.9 | 174.2 | 139.7 | 116.7 | 100.4 | 88.4 | 66.1 | 53.7 |

확률강우강도(㎜/hr)

**<그림 66-10> 영천지역 확률강우강도(한국 확률강우량정보 제공)**

**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<br>• 지방도, 시도, 군도 중 방재계획상 필요한 도로에 건설된 교량<br>• 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<br>• 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<br>• 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 66-11> 구조물의 등급분류와 등급별 적용대상 (내진설계기준연구I, 1997)**

**<표 66-76> 설계지반운동 수준**

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

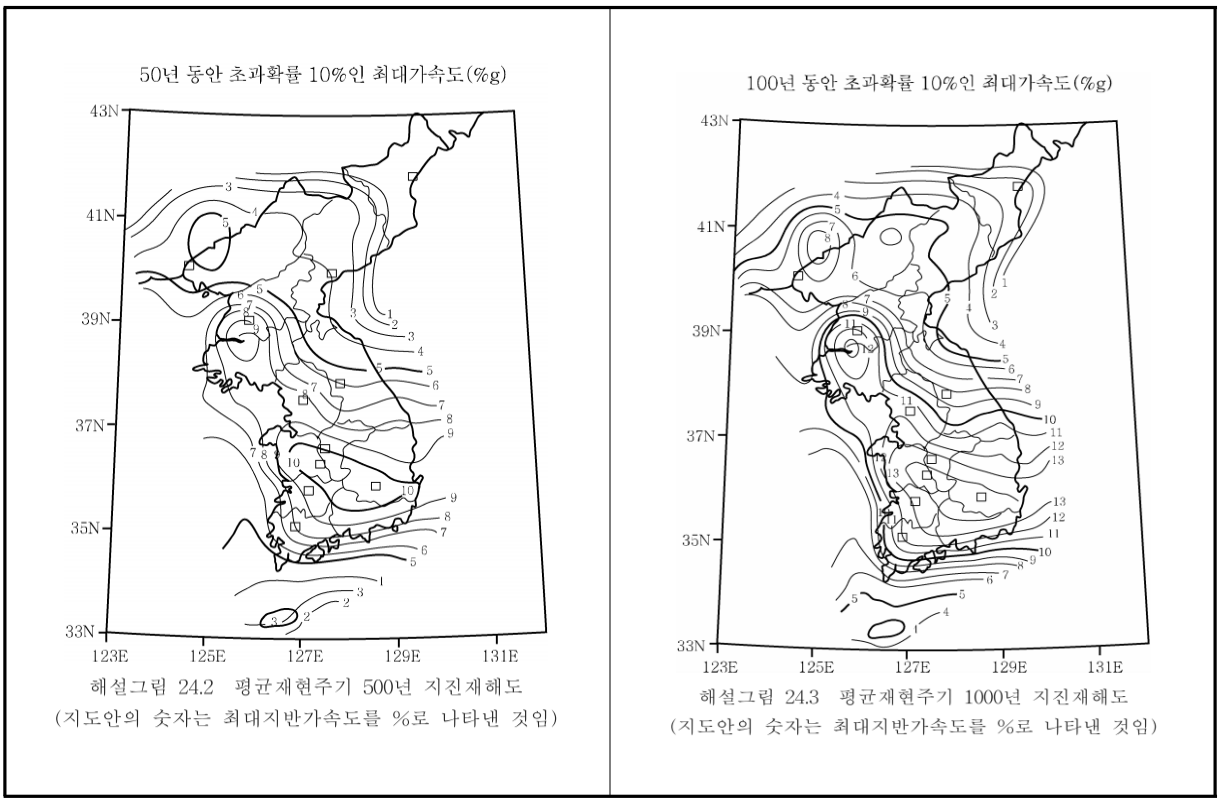
2) 설계지반운동

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 66-12> 평균재현주기 500년 및 1000년 지진재해도**

③ 지진구역도를 이용한 지반가속도계수의 산정

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

**<표 66-77> 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 66-78> 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

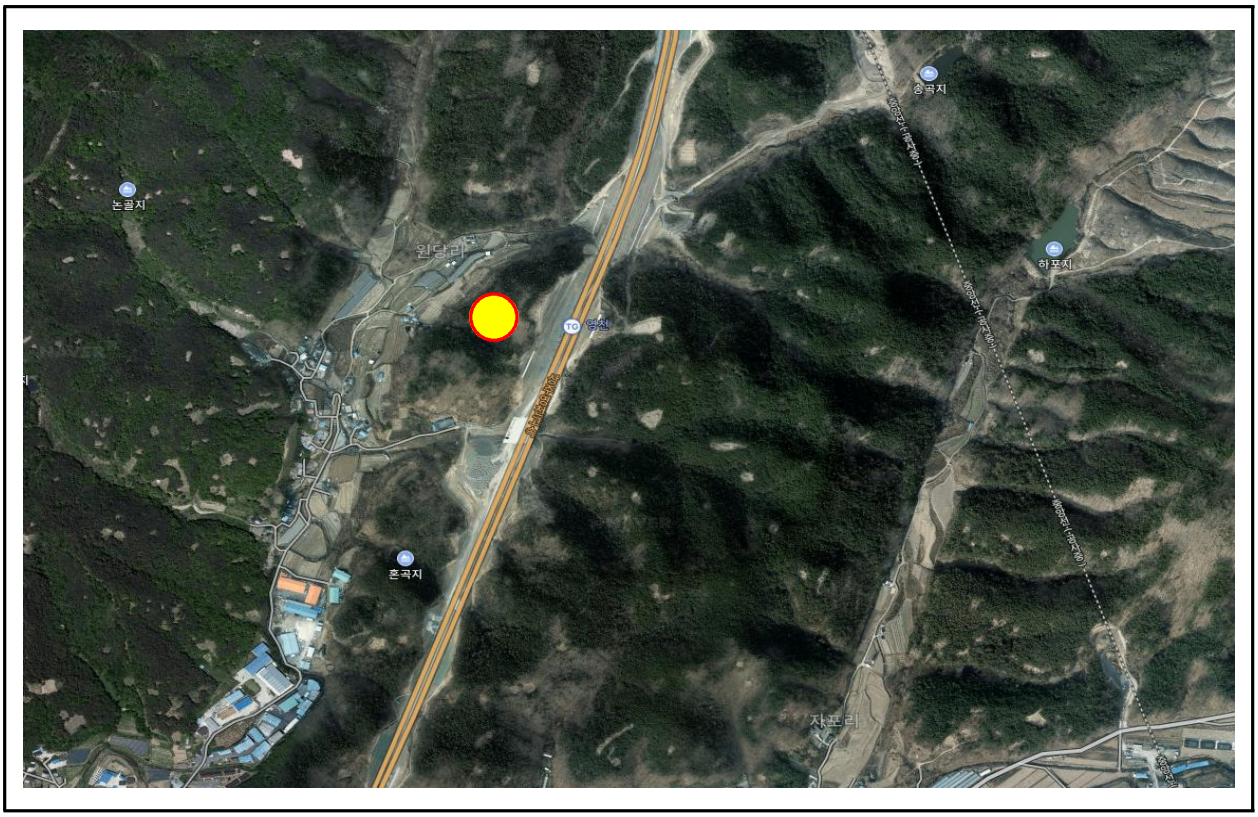
3) 지진가속도계수 선정

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 66-79> 검토대상 비탈면구간 및 현황

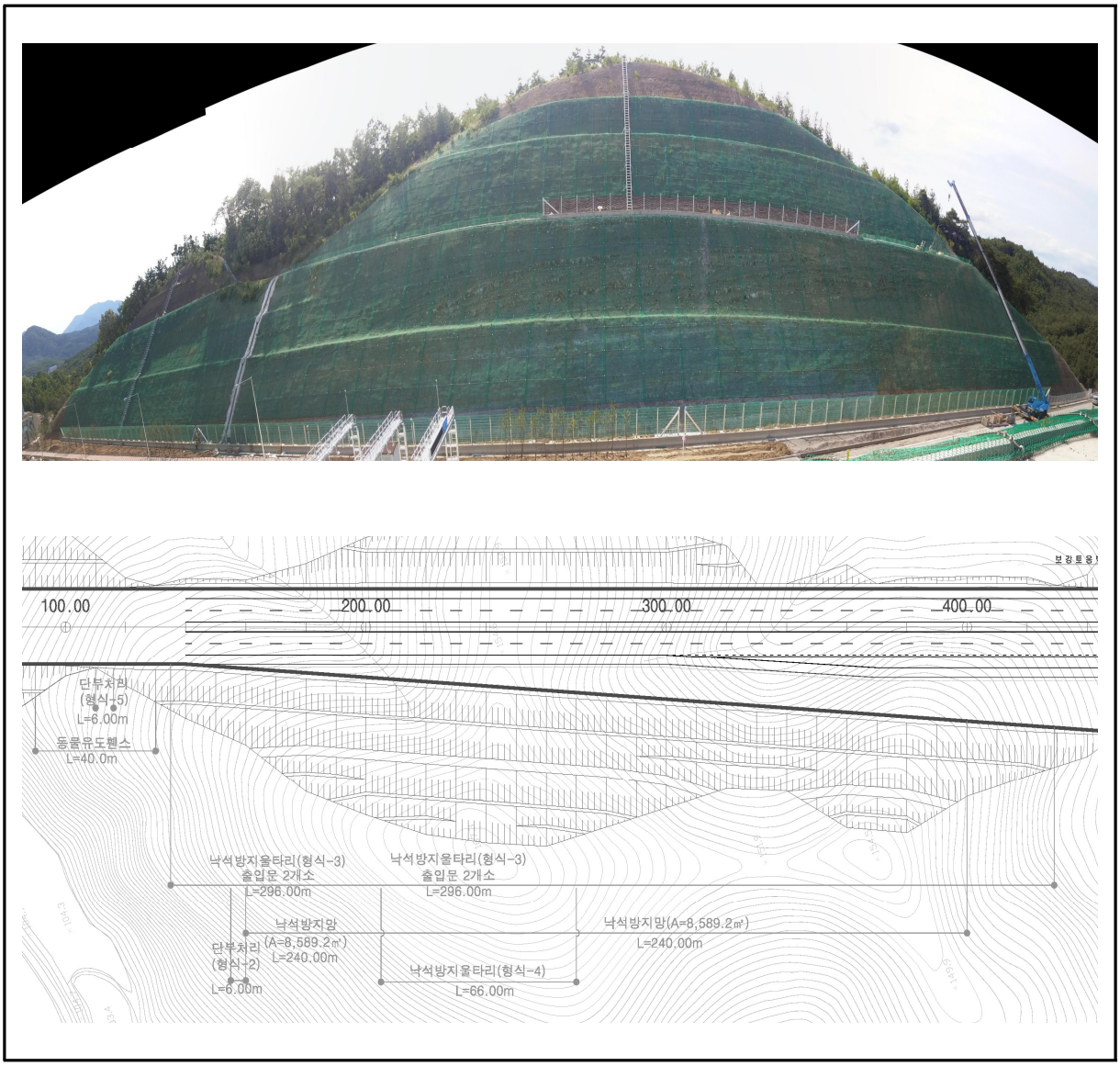
| 구조물명 | 위치 | 이정 (km) | 대표구간 | 비탈면 현황 | | | | 준공년도 | 경사/경사방향 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 높이 (m) | 토사/풍화암 | 암반 | 보강형식 | | |
| 영천절토66 | 경상북도 영천시 북안면 원당리 | 91.758 ~ 92.138 | STA.91+918 | 40.2 | 4.0 | 36.2 | - | 2017 | 45/111 |
| | | | STA.92+068 | 38.0 | 4.0 | 34.0 | - | 2017 | 45/111 |




<그림 66-13> 영천절토66 검토대상 비탈면구간

### 사. 영천절토66 비탈면 안정성검토

1) 세부위치



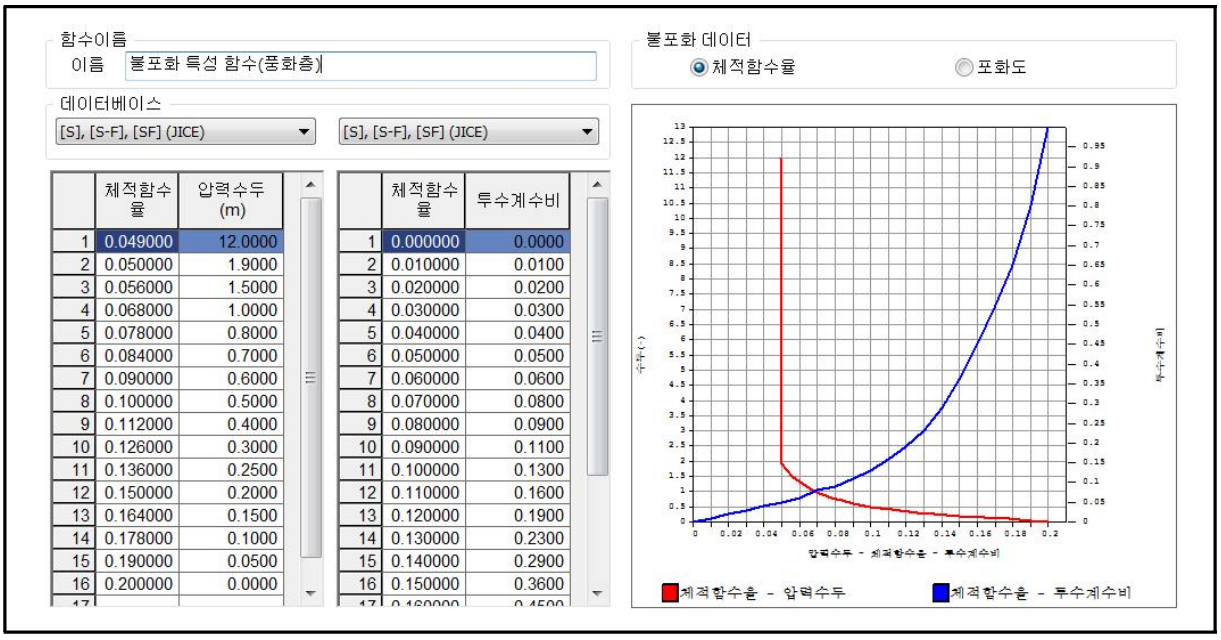

**<그림 66-14> 영천절토66 검토대상 비탈면구간**

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 kPa | 투수계수 ㎝/sec | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 풍화토 | 19 | 27 | 12 | 7.21E-03 | |
| 풍화암 | 20 | 29 | 30 | 3.69E-04 | |
| 기반암 | 25 | 31 | 200 | 5.68E-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 |

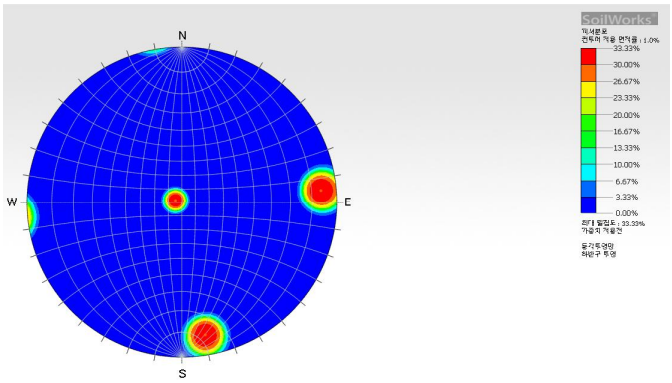
| | 체적함수율 | 투수계수비 |
|---|---|---|
| 1 | 0.000000 | 0.0000 |
| 2 | 0.010000 | 0.0100 |
| 3 | 0.020000 | 0.0200 |
| 4 | 0.030000 | 0.0300 |
| 5 | 0.040000 | 0.0400 |
| 6 | 0.050000 | 0.0500 |
| 7 | 0.060000 | 0.0600 |
| 8 | 0.070000 | 0.0800 |
| 9 | 0.080000 | 0.0900 |
| 10 | 0.090000 | 0.1100 |
| 11 | 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 66-15> 압력수두-체적함수율(포화도)-투수계수비 함수**

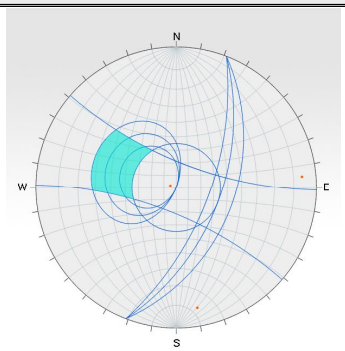
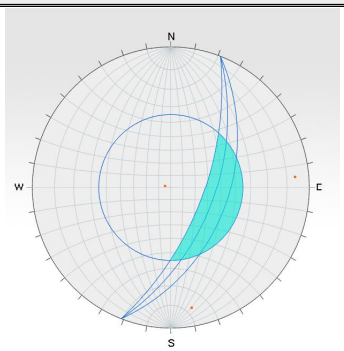
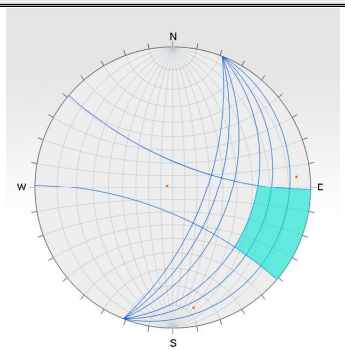
3) 1구간 (STA.91+758 ~ 91+988)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

| 구 분 | 점 검 결 과 | | |
|---|---|---|---|
| 평사 투영도 |  | dip | dip direction |
| | | 5 | 108 |
| | | 82 | 350 |
| | | 84 | 280 |

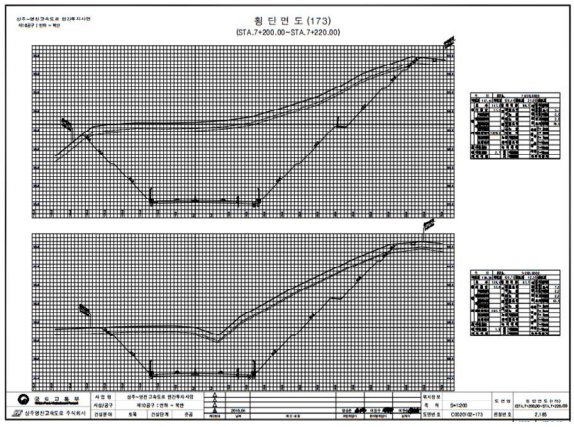
◦ 해석결과

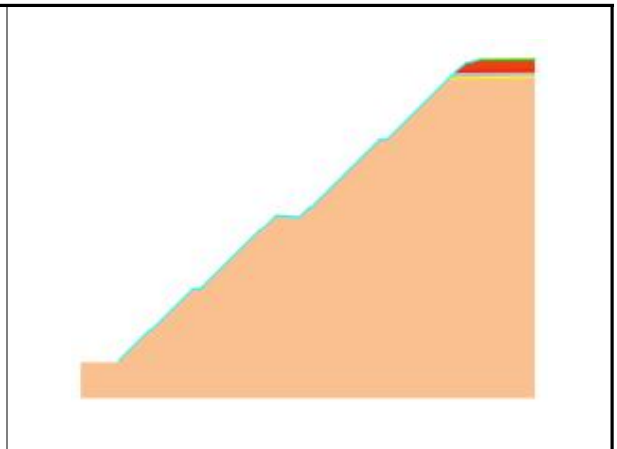
| 평면파괴 | 쐐기파괴 | 전도파괴 |
|---|---|---|
|  |  |  |

| 구 분 | 평면파괴 | 쐐기파괴 | 전도파괴 |
|---|---|---|---|
| 해석결과 | 안정 | 안정 | 안정 |
| 평 가 | ◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음<br>◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음<br>◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 | | |

② 토사깍기비탈면 안정성검토

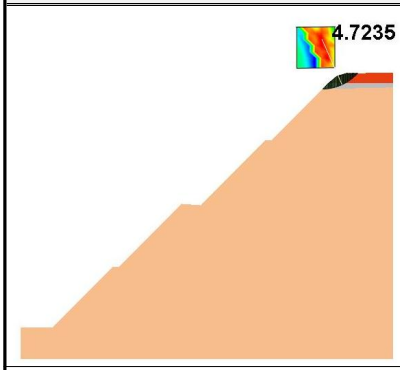
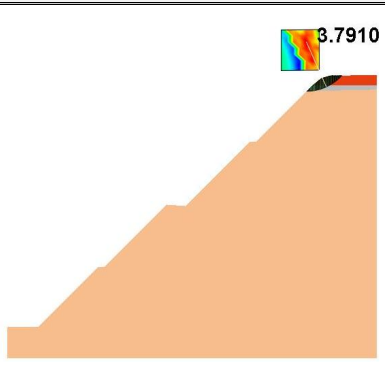
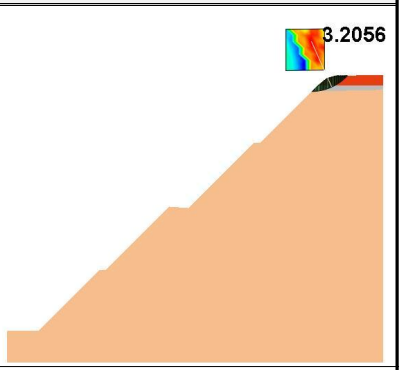
◦ 검토단면



대표단면 : STA.91+918, 영천

◦ 해석결과

| 건기시 | 우기시 | 지진시 |
|---|---|---|
|  |  |  |
| 안전율 : 4.72 | 안전율 : 3.79 | 안전율 : 3.20 |

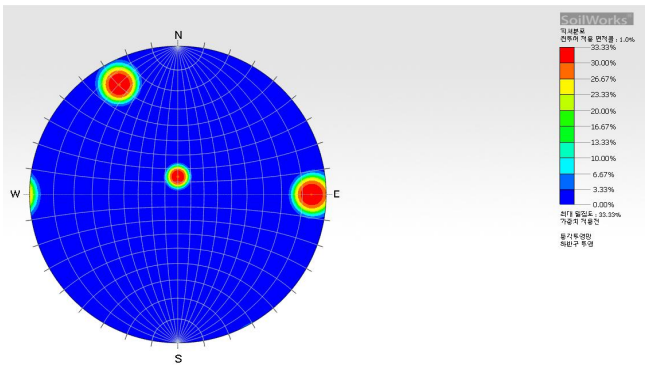
③ 1구간 비탈면 안정성검토 결과

| 구 분 | 검토 결과 | | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 암반구간 (평사투영해석) | 평면파괴 | 안정 | |
| | 쐐기파괴 | 안정 | |
| | 전도파괴 | 안정 | |
| 토사구간 (한계평형해석) | 건기시 | Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K | |
| | 우기시 | Fs ≥ 1.2 ⇨ O.K | |
| | 지진시 | Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K | |

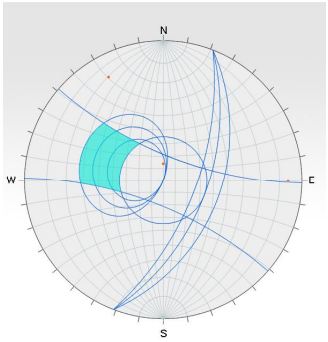
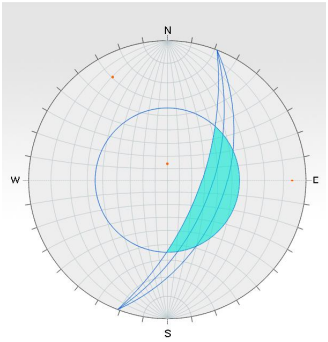
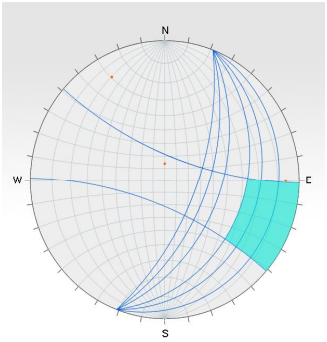
4) 2구간 (STA.91+988 ~ 92+138)

① 암반깍기비탈면 안정성검토

◦ 불연속면 측정

| 구 분 | 점 검 결 과 | | |
|---|---|---|---|
| 평사 투영도 |  | dip | dip direction |
| | | 14 | 180 |
| | | 84 | 272 |
| | | 80 | 152 |

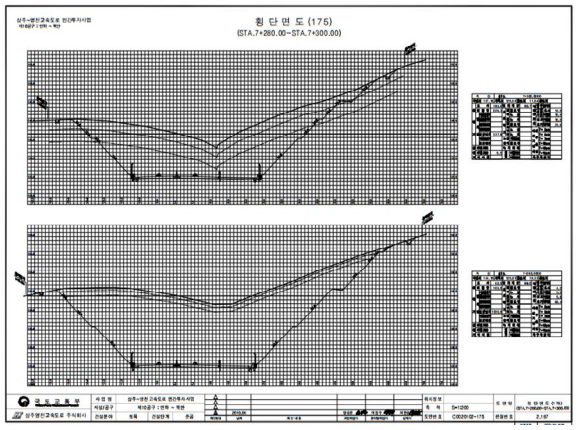
◦ 해석결과

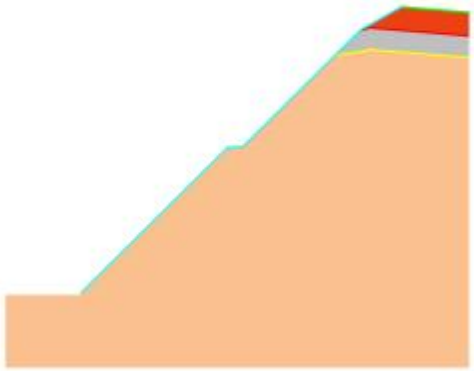
| 평면파괴 | 쐐기파괴 | 전도파괴 |
|---|---|---|
|  |  |  |

| 구 분 | 평면파괴 | 쐐기파괴 | 전도파괴 |
|---|---|---|---|
| 해석결과 | 안정 | 안정 | 안정 |
| 평 가 | ◦ 평면파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음<br>◦ 쐐기파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음<br>◦ 전도파괴 영역에 절리군의 극점이 분포하고 있지 않음 | | |

② 토사깍기비탈면 안정성검토

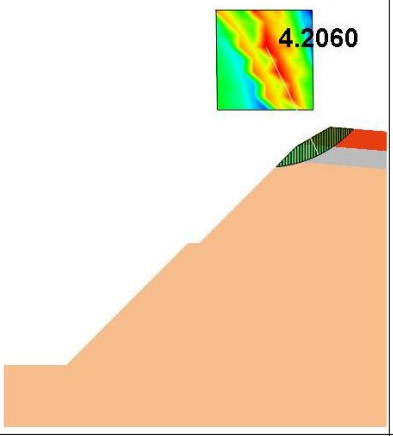
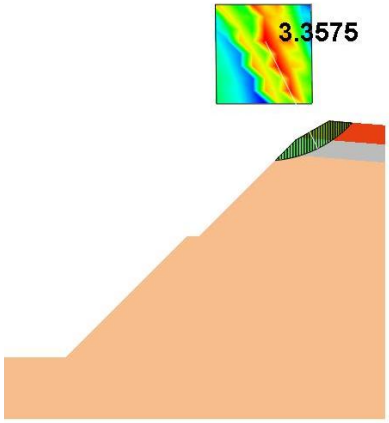
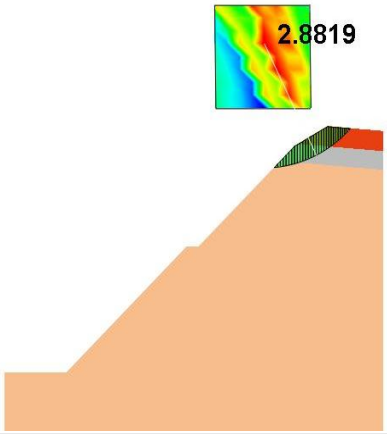
◦ 검토단면





대표단면 : STA.92+068, 영천

◦ 해석결과

| 건기시 | 우기시 | 지진시 |
|---|---|---|
|  |  |  |
| 안전율 : 4.20 | 안전율 : 3.35 | 안전율 : 2.88 |

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 | |
| | 우기시 | Fs ≥ 1.2 ⇨ 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 평면파괴, 전도파괴, 쐐기파괴에 대한 가능성이 없는 것으로 분석되었으며, 한계평형해석을 시행한 결과 건기 및 우기시 허용안전율을 상회하는 것으로 검토되었다. 금회 현장조사를 통한 평사투영해석 결과 각각의 파괴유형에 대해 안전한 것으로 분석되어 구조안전성능평가는 A등급으로 평가되었다.

**<표 66-80> 구조안전성능평가 결과**

| 구조안전성능 평가 결과 산정표 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **시설물명** | | **영천절토66** | | |
| **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 | 4.20 | a | Fs ≥ 1.5 ⇨ O.K |
| | 우기시 | 3.35 | a | Fs ≥ 1.3 ⇨ O.K |
| | 지진시 | 2.88 | a | Fs ≥ 1.1 ⇨ O.K |
| **구조안전성능평가 결과** | | **A** | | |

### 66.4.3 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 B등급으로 평가 되었다.

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

**<표 66-81> 안전성능 평가 결과**

| 안전성능 평가 결과 산정표 | | | |
|---|---|---|---|
| **시설물명** | **영천절토66** | | |
| **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.<br>ㅇ**안전성능평가 결과 : A등급** | | |

**<표 66-82> 안전성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의**

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

# 66.5 내구성능 평가

## 66.5.1 평가 대상 사면 개요

성능평가 대상 사면 현황 개요는 다음과 같다.

**<표 66-83> 평가 대상 사면 개요**

| 구 분 | | 시 설 현 황 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 사면 형식 | | 파쇄암반사면 | SR = 4/40.2 = 0.10 |
| 공용기간 | | 3년 | 2017년 준공 |
| 암반구간 설계(초기)강도 | | 보통암 : 100.0MPa | 추정 |
| 면적 | 전체 | 4,632㎡ | |
| | 토사구간 | - | |
| | 암반구간 | 4,632㎡ | |
| 표면보호공 | 낙석방지망 | 4,246㎡ | |
| 사면보강공 | - | - | |

## 66.5.2 시설물의 형식 및 성능지표

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

**<표 66-84> 사면 형식별 내구 성능 지표**

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

### 66.5.3 성능지표별 평가 결과

1)암반구간의 지표평가

**<표 66-85> 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 | 97.0%이상 100%이하 | 90.0%이상 100%이하 |
| | b | 96.0%이상 97.5%미만 | 90.0%이상 96.0%미만 | 88.0%이상 97.0%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 66-86> 암반 강도시험 결과**

| 위 치 | 추정강도 평균값(MPa) | 초기값 대비강도(%) | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 91.898k | 90.4 | - | 초기값 미측정으로 대비강도 측정 불가<br>초기값 대비강도(%)<br>= 추정강도 / 초기 강도값 |
| 91.907k | 91.5 | - | |
| 91.922k | 90.6 | - | |
| 92.058k | 93.3 | - | |
| 92.070k | 94.2 | - | |
| 92.080k | 92.1 | - | |
| 평균값 | 92.0 | - | |
| **등급** | **A등급** | | |

**<표 66-87> 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 66-88> 암반의 풍화도 평가 결과**

| 평가항목 | 불연속면(Set A) | | |
|---|---|---|---|
| | Set 1 | Set 2 | Set 3 |
| 길이(m) | 3~10m 미만 | 3~10m 미만 | 3~10m 미만 |
| | c(10) | c(10) | c(10) |
| 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 | HW | HW | HW |
| | d(16) | d(16) | d(16) |
| 합 계 | 46 | 46 | 46 |
| 평 균 | 9.2 | 9.2 | 9.2 |
| **평가 결과** | c | c | c |

| 평가항목 | 불연속면(Set B) | | |
|---|---|---|---|
| | Set 4 | Set 5 | Set 6 |
| 길이(m) | 3~10m 미만 | 3~10m 미만 | 3~10m 미만 |
| | c(10) | c(10) | c(10) |
| 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 | HW | HW | HW |
| | d(16) | d(16) | d(16) |
| 합 계 | 46 | 46 | 46 |
| 평 균 | 9.2 | 9.2 | 9.2 |
| **평가 결과** | c | c | c |

**<표 66-89> 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 | c | 0.43 | 최소 및 최대 제외 |
| **등 급** | | **c** | |

### 66.5.4 내구성능 평가 결과

1) 혼합사면 내구성능 가중치

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

**<표 66-90> 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 | 25 | 28 | - | - | - |

2) 암반구간 내구성능 등급

**<표 66-91> 암반사면 내구성능 등급 산정**

| 평가항목 | 등급 | 등급 점수 (a) | 가중치 (b) | 결함지수 (a)×(b) |
|---|---|---|---|---|
| 지반상태(암반) | a | 0.08 | 0.38 | 0.030 |
| 절리상태 및 풍화진행도 | c | 0.43 | 0.62 | 0.267 |
| | | | | |
| 결함도 지수 | | | | 0.297 |
| **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 66-92> 내구성능 평가 결과에 따른 시설물 상태 정의**

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

# 66.6 종합평가

## 66.6.1 종합평가 개요

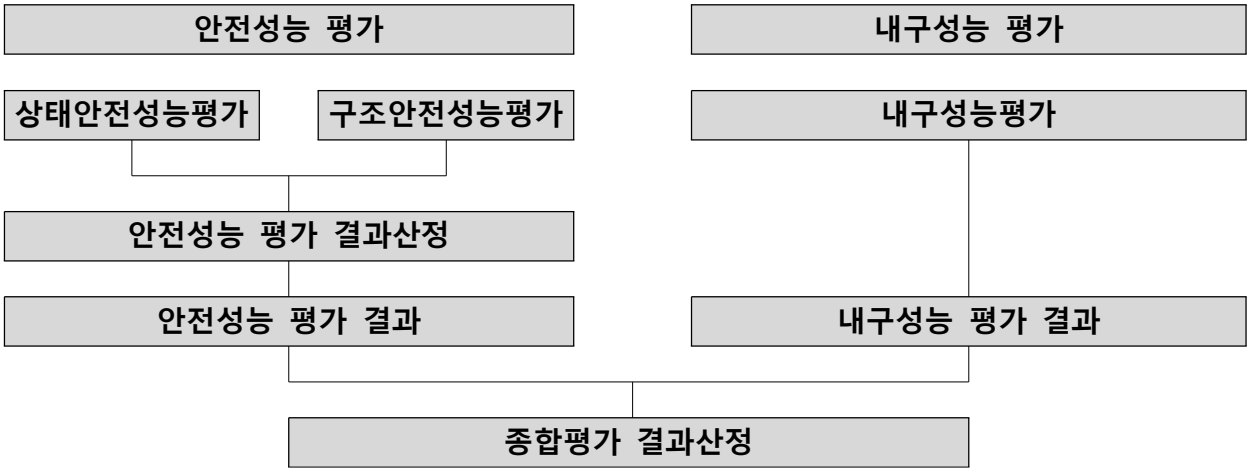
종합평가의 산정방법은 안전성능 평가 결과가 가장 낮은 등급일 때는 안전성능 등급을 종합성능등급으로 선정한다. 이외의 경우에는 안전성능 평가와 내구성능 평가 각 성능항목별로 부여된 가중치를 고려하여 최종등급을 결정한다.

○ 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 66-16> 종합평가 흐름도**

## 66.6.2 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 66-93> 성능간 가중치 산정 값**

| 구분 | 분류 | 성능항목 | |
|---|---|---|---|
| | | 안전성능 | 내구성능 |
| 성능간 가중치 (Wn) | 일반도로 사면<br>고속도로 사면<br>일반철도 사면<br>고속철도 사면 | 0.8 | 0.2 |

**<표 66-94> 종합평가 결과**

| 시설물의 종합평가 결과 산정표 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **시설물명** | 영천절토66 | | **분류** | 상주영천고속도로 |
| **평가 구분** | **성능평가 지수** | **평가 결과** | **성능간가중치(Wn)** | **비 고** |
| 안전성능평가 | Ps=0.130 | A | 0.8 | 인장균열 없음 |
| 내구성능평가 | Pd=0.297 | B | 0.2 | |
| 종합평가 결과 | ㅇ사면의 종합평가 지수(P)<br>= ∑(성능평가지수(pn) × 성능간 가중치(Wn))<br>= (0.130 × 0.8) + (0.297 × 0.2) = 0.163<br>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 66-95> 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 |

## 66.7 유지관리 전략 제안

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

### 66.7.1 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 5년 주기의 "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 66-96> 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**<br>일부 부재에서 경미한 결함이나 내구성 저하 가능성이 조사되었으며, 외부 환경조건 등을 고려하여 진행 여부를 지속 관찰하고 보수 여부를 결정하여야 하는 성능 수준 | | | | |

### 66.7.2 성능평가 결과 검토·분석

본 시설물에 대한 종합성능평가 결과 "B등급(0.163)"으로 평가되었다.

**<표 66-97> 종합평가 결과 요약**

| 평가구분 | 안전성능 | 내구성능 | 종합성능 |
|---|---|---|---|
| 평가지수 | 0.130 | 0.297 | 0.163 |
| 평가결과 | A | B | B |

### 66.7.3 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, 성능목표와 동일한 "B등급"으로 금회 조사된 손상들에 대해서는 현상유지 수준의 주의관찰과 손상 진전 억제를 위한 보수가 적정할 것으로 판단된다.

**<표 66-98> 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 |
| | 수직도수로 | 상태양호 | 주의관찰 | 현상유지 |
| 상부 자연비탈면 | | 상태양호 | 주의관찰 | 현상유지 |

#### 나. 유지관리 전략 제안

본 비탈면은 현재 목표성능과 동일한 "B등급"의 상태를 유지하고 있으며, 주기적인 점검을 통한 손상의 발생여후 확인 등의 유지관리 전략을 제안한다.

## 66.8 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. 상기와 같은 사항을 종합적으로 분석한 결과, 외관상 결함, 손상 또는 붕괴 등의 요인에 대한 문제점이 없는 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 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 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.