

## 진주지역 중생대 암반절토사면 지반특성

### Geoengineering Characteristics of the Cretaceous Rock Cut Slopes in Jinju area

김승현<sup>1)</sup>, Seung-Hyun Kim, 이정엽<sup>1)</sup>, Jung-Yup Lee, 이종현<sup>1)</sup>, Jong-Hyun Rhee,  
구호본<sup>2)</sup>, Ho-Bon Koo

<sup>1)</sup> 한국건설기술연구원 지반연구부 연구원, Researcher, Geotechnical Engineering Research Dept.,  
Korea Institute of Construction Technology (sshkim@kict.re.kr)

<sup>2)</sup> 한국건설기술연구원 지반연구부 수석연구원, Researcher Fellow, Geotechnical Engineering Research  
Dept., Korea Institute of Construction Technology

**SYNOPSIS :** The cut slopes in Jinju area constitute the Cretaceous Sedimentary rock which is one of the most poor ground conditions. The geological rocks of the cut slopes are correlated with Jinju Formation. Most of the rocks consist of Black Shale layer, but the lower parts consist of Alkorsic White Sandstone. So, It is characteristic of the differential weathering due to the difference of rock species. Moreover, vertical joints which concentrate on the released rock and weak rock fragments are accompanied with minor faults.

We make out face mapping about each slopes through the detailed field-study and deduce RMR and SMR from the field data. The strength properties of rocks were obtained from references, indoor tests, and Back Analysis method. And, choosing properties were used in the stability analysis as stereographic projection and limit equilibrium analysis and we establish the countermeasures for the cut slopes.

**Key words :** Cut slopes, Cretaceous sedimentary rock, Stability analysis, Countermeasures

## 1. 서 론

국내 절토사면의 절취경사도는 시추조사 자료, 시료의 압축강도 등 지반조사 자료를 근거로 한 암반강도를 근거로 결정되고 있다. 설계 단계에서 시추공 자료와 암반강도만을 근거로 절토사면 경사도를 결정하는 것은 다소 부리가 있을 수 있으며, 시공 단계에서 지반조사의 한계성으로 인한 예상치 못한 지반이 노출될 경우 설계 자료를 그대로 활용하기가 적절치 못한 상황이 발생하기도 한다. 건설교통부(2000)는 도로설계편람 비탈면 편에서 절토사면 시공 중 설계 단계에서 반영하지 못한 지반 조건이 시공 단계에서 파악될 경우, 시공 단계별 지반특성을 고려한 절토사면 안정성 해석을 수행하고, 적절한 대책을 수립하여 항구적인 절토사면의 시공이 이루어지도록 추천하고 있다.

진주-집현간 도로확포장공사 구간의 경우 국내 지질조건 중 열악한 조건 중의 하나인 중생대 퇴적암류가 분포하며, 대규모 단층대가 존재하는 등 사면, 터널 등 지반을 대상으로 축조하는 구조물의 경우에 있어 국내 다른 지역에 비해 매우 열악한 조건을 갖추고 있다. 따라서 시공 중 설계 단계에서 예상치 못한 열악한 지반상태가 발견될 가능성이 매우 크다고 할 수 있으므로, 시공 단계에서 지반조건을 고려

한 상세정밀조사 및 안정성 해석을 수행하여 영구 절토사면이 구축될 수 있는 대책방안이 결정되어야 한다.

본 연구는 국도 33호선 “진주-집현간 도로확장공사 및 포장공사”구간에서 새로이 조성된 도로절토사면 중 위험성이 내재된 열악한 지반조건의 사면을 대상으로 상세현장조사를 실시하고, 안정해석을 수행함으로써 현장특성과 시공성, 경제성과 친환경성 등 기타 제반사항을 모두 고려한 적절한 보강대책(안)을 제시하여 절토사면의 영구 구조물의 축조에 기여하는데 목적이 있다.

조사대상 절토사면은 총 2개소로 지점 위치는 Sta. 4+160~4+555(395 m) 구간 및 Sta. 4+660~910(250 m) 구간에 해당된다. 상기 절토사면에 대한 기술의 편의상 다음과 같이 제1사면과 제2사면으로 구분하였다.

## 2. 지형 및 지질

본 과업의 연구지역은 북위 35°14'17"~35°14'41", 동경 128°05'56"~128°05'57"의 범위에 놓이며, 행정구역상 경상남도 진주시 집현면에 해당된다. 진주시 일대의 지형은 대부분 200~300 m 내외의 고도를 갖는 낮은 산릉들과 그 사이에 발달하는 비교적 넓은 계곡들로 형성되어 있다. 이 산릉들은 대부분 N10°W에서 N10°E 사이의 방향으로 배열되어 있다. 이 지역의 주된 수계는 남강으로 심하게 와행하며, 그 유역에는 넓은 하성층이 형성되어 있다. 지역 내 수지상의 모든 대소유수는 남강으로 유입되고 있다.

조사대상 절토사면이 위치한 지역은 남해고속도로 진주 IC에서 약 10 Km 정도 북쪽에 위치한다. 절토사면 전방에는 냉정천이 남으로 유하하고 있으며, 넓은 농경지가 형성되어 있다.

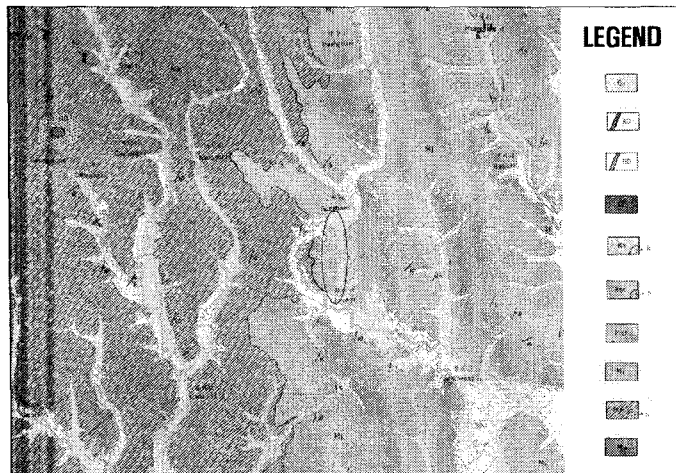


그림 1. 조사대상 지역 지질도

(Qa ; 충적층, AD ; 산성암맥, BD ; 염기성암맥, GD ;

화강섬록암, Kh ; 함안층,

Ksc ; 신라역암, Mch ; 칠곡층, Mj ; 진주층, Mm ; 마동층)

내지 회색의 사질 세일 등이 이 층의 주 구성암석이다. 진주층의 층서별 구성암석의 경우, 하부는 알코스질 사암이 우세한 반면, 상부는 세일이 우세하게 나타난다. 조사대상 절토사면의 경우 대부분 흑색세일로 이루어져 있으나, 제1사면의 경우, 하단부 5 m 까지는 알코스질 백색사암으로 구성되며, 제2소단상단부 범면에서는 폭 3 m의 사암층이 나타나기도 한다(그림 2와 그림 3).

조사대상 절토사면을 포함하고 있는 진주 일대의 지질은 중생대 경상계의 퇴적암류와 후기에 이를 관입한 화강섬록암, 염기성암맥 및 산성암맥 등으로 구성되어 있다(김옥준, 윤선, 1969, 그림 1).

본 지역의 퇴적암류는 경상계 낙동통과 신라통에 해당된다. 낙동통의 4개층은 각각 적색의 퇴적암(사질세일 또는 세일층)의 협재 여부를 기준으로 하부로부터 완지층, 마동층, 진주층, 칠곡층으로 구분된다.

조사대상 절토사면을 구성하는 암석은 낙동통의 진주층에 대비될 것으로 판단된다. 진주층은 마동층으로 정합으로 덮고 있으며, 남북 방향으로 분포하고, 층후는 약 1,800 m 이다. 진주층의 주요구성암석은 흑색세일이며, 마동층에서 나오는 적색세일은 산출되지 않는다. 그 외 담회색 내지 회록색의 알코스질 사암(arkosic sandstone)과 녹회색

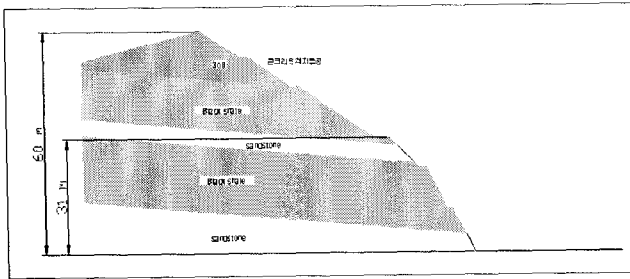


그림 2. 제1사면 단면

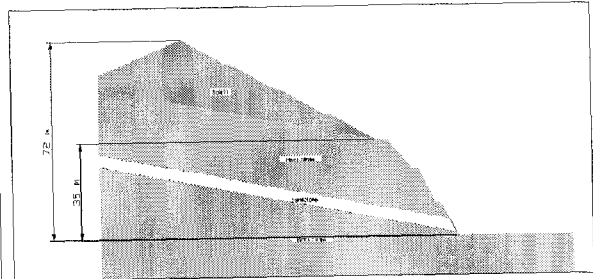


그림 3. 제2사면 단면

흑색셰일 구간에는 부분적으로 탄질을 함유하기도 한다. 흑색셰일 노출구간 중에는 셰일의 특징인 판열성(fissility)으로 인하여 쉽게 암편으로 부서지는 부분이 존재하며, 일부 지점에서는 개구질리의 인장구조 특징 중 하나인 깃털구조가 관찰되기도 한다. 사암은 암반강도가 매우 강하여 상부의 흑색셰일층을 지지하고 있으며, 주로 석영 및 장석 등의 광물로 이루어져 있다(그림 4~그림 7).

조사대상 절토사면에서 측정된 퇴적암의 층리방향은 N10°E/5°SE ~N30°E/11°SE 방향으로 북쪽으로 갈수록 주향이 동쪽으로 치우치며, 경사가 상대적으로 급해지는 특징을 가지나 대부분 경사가 10°내외의 완경사를 이루고 있다.

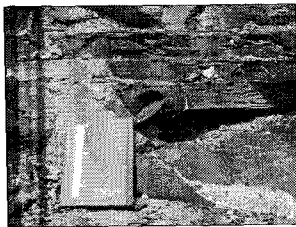


그림 4. 흑색셰일 야외산상

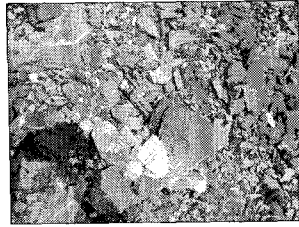


그림 5. 셰일의 판열성

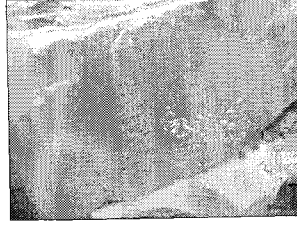


그림 6. 깃털구조

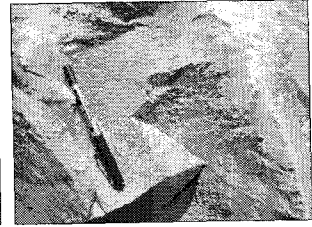


그림 7. 사암 야외산상

### 3. 현장조사

2005년 7월 말 현재 제1사면은 집현-유곡 간 도로와의 연결부로 조사 시점 기준 절취단면의 약 90% 시공이 완료된 상태에서 교량과의 연결차로부에 대한 추가절토 작업이 진행 중에 있으며, 제2사면은 절토공사가 마무리된 상황이다.

#### 3.1 제1사면 현장조사

제1사면은 총연장 395 m, 최대높이 60 m의 암반과 토층으로 이루어진 혼합사면으로 총 5개의 소단이 설치되어 있으며, 제4소단 하단부는 암반으로 제4소단 상단부는 토사로 이루어져 있다. 사면경사의 경우, 최하부로부터 제3소단까지는 약 1:0.5 구배(63°)로 조성되어 있고, 제3소단 상단부는 약 1:1.5 구배(34°)로 형성되어 있다. 제3소단 상단부는 과거 붕괴가 발생된 부분으로 이에 대한 대책으로 현장타설콘크리트 격자틀공이 시공 중에 있다. 제1소단 및 제2소단의 폭은 위치에 따라 약간씩 다르게 나타나지만, 일반적으로 1.5~2.0 m에 해당된다. 특히, 제3소단은 본 사면의 소단 중 가장 넓게 폭이 확보되어 약 4.0 m에 이른다. 제1사면의 사면방향은 094°에 해당되어 동쪽을 바라보고 있는 형상이며, 상부자연사면의 경사는 -14°로 역구배를 이루고 있다(그림 8과 그림 9).

조사대상 절토사면을 구성하는 암석은 퇴적암류로, 층리 발달이 뚜렷하다. 층리의 방향은 5/100의 자세로 사면방향과 거의 유사하지만, 층리경사는 거의 수평에 가까워 층리면을 따른 대규모 붕괴의 가능성은 낮을 것으로 판단된다. 제1사면에는 층리절리면 외에는 부분적으로 다양한 방향의 수직절리가 발

달한다. 제1사면의 수직절리의 경우, 절리 발달 방향이 비교적 규칙적이며, 절리 내 석영세맥 또는 빗살구조가 발달하기도 하고, 깃털구조가 나타나기도 한다(그림 10). 이러한 수직절리의 특성은 수직절리가 대규모 단층대와 수반되어 형성되었음을 간접적으로 시사하는 것이며, 대상 절토사면 외 주변지역에서의 주된 불연속면 중의 하나라는 사실을 지시하는 것이다. 왕성하게 발달된 수직절리는 대규모 붕괴를 일으키기보다는 암탈락, 인장균열 발생 등의 부분적인 파괴를 야기시킨다. 부분적으로 발생하는 붕괴에 대해 빠른시간 내 조치를 취하지 않으면, 절리의 진행에 의해 비교적 대규모의 붕괴를 조장할 수 있으므로 대책을 강구할 필요가 있다.

본 사면의 퇴적암은 흑색셰일과 백색알코스질사암의 호층으로 이루어져 있다. 즉, 높이 기준 0~5 m 까지 백색사암으로 이루어져 있으며, 5~24 m 까지는 흑색셰일로 구성된다. 또한 24~29 m 까지는 백색사암으로 이루어져 있으며, 29~45 m 까지는 다시 흑색셰일로 이루어져 있다가 45 m 높이 이상 지점은 토사로 구성된다. 24~29 m 의 백색사암은 순수한 사암층만으로 이루어진 것이 아니라 부분적으로 폭 5~10 cm의 셰일층을 협재하고 있다(그림 11).



그림 8. 제1사면 측면사진



그림 9. 제2소단

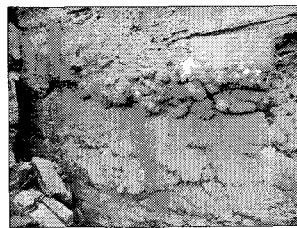


그림 10. 빗살구조

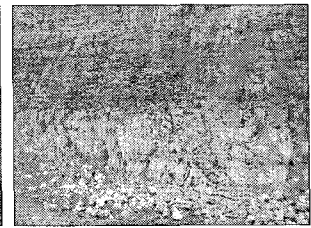


그림 11. / -암 호층

상기의 지질상황을 종합해서 살펴보면, 제1사면은 불연속면의 발달 방향이 사면안정성 측면에서 안정한 것으로 판단되지만, 수직절리(파쇄대) 발달 구간에는 상대적인 암괴 이완이 관찰되며, 수직절리의 연장선상을 따라 인장균열이 발생된 점 등 주의를 요하여야 한다. 또한 셰일층과 사암층의 반복 노출로 인하여, 구성재료의 이질성에 기인한 불안정요소가 잠재되어 있는 상황이다. 즉 셰일층은 사암층에 비하여 풍화가 빠르게 진전되는 것이 특징이며, 이로 인하여 셰일층 내에서는 세굴 현상이 발생할 가능성이 높다. 제1사면의 경우, 최하단부의 백색사암층이 상부의 셰일층을 지지하고 있는 상황으로 부분적인 세굴 현상의 발생 가능성을 제외하고는 지지력 상실에 의한 대규모 붕괴의 발생 가능성은 낮을 것으로 사료된다.

제1사면에 대한 구간별 특성은 다음과 같다.

조사지점 기준 Sta.4+160~4+400 구간 제1소단 하단부는 절취 공사 중에 있어 직접적인 범면관찰이 불가능하였다. 단, Sta.4+220~4+240 구간의 절취적재물에서는 지속적인 지하수 유출현상이 관찰되므로 절취 이후에 이 구간에 대하여 지하수 누수 여부를 점검할 필요성이 있다.

Sta.4+290 지점 제1소단~제3소단 사이 범면에는 수직절리 주변의 암괴가 이완되어 있다. 또한 수직절리면 상부 제3소단과 범면과의 접촉부에는 약 0.3 m 폭까지 유실되어 있는 상황이다(그림 12). Sta.4+320 지점 제1소단~제3소단 사이 범면에는 수직절리를 따라 붕괴가 발생되었으며, 붕괴규모는 폭 1.5 m, 심도 0.5 m이다. 특히 이 지점의 제1소단~제2소단 사이의 수직절리는 절리 발달 빈도가 높고, 수직절리의 절리간 간격이 0.2 m에 불과하여 암괴의 탈락이 예상된다(그림 13).

Sta.4+339 지점 제1소단~제3소단 사이 범면은 수직절리에 의한 폭 3 m의 약대(weak zone)가 형성되었으며, 수직절리가 제3소단 상부의 범면까지 연장되고 있어 붕괴에 대비한 추가적인 보강이 필요한 상황이다. Sta.4+350 지점과 Sta.4+360 지점 제1소단~제3소단 사이 범면에는 수직절리를 따라 소규모 붕괴가 발생되었으며, 상부로 갈수록 수직절리의 발달 정도가 약해지는 경향을 보인다.

Sta.4+380 지점은 제1사면 구간 중 가장 위험한 지점으로 수직방향(88/314)의 파쇄대(fracture zone)가 제1소단 하부로부터 제3소단까지 지속적으로 발달하고 있다. 또한 제2소단 직하단부에는 지하수 유출현상이 관찰된다(그림 14와 그림 15).

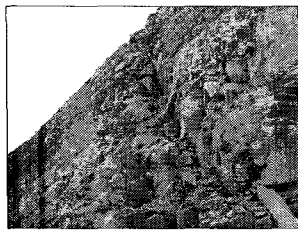


그림 12. 압괴이완

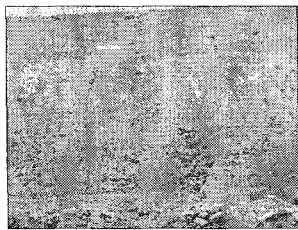


그림 13. 붕괴 발생부

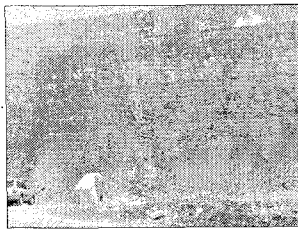


그림 14. 파쇄대

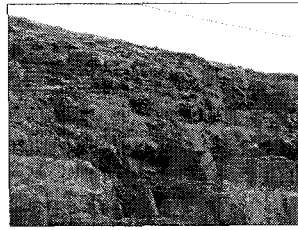


그림 15. 지하수 누수

Sta.4+380 지점 제3소단에는 수직인장균열이 발생되었으며, 인장균열의 모양은 그림 3.22와 같다. 그림 3.22의 인장균열 I은 법면으로부터 가깝게 있는 것으로서, 발달방향은 85/064이며, 틈새 폭은 약 7 cm, 심도는 0.8 m에 해당된다. 인장균열 II는 인장균열 I에 비하여 약 80°정도 좌측으로 틀어져 있으며, 그 발달방향이 83/312로서 하단부에 나타난 연장성이 우수한 파쇄대와 거의 동일한 방향을 가져 파쇄대 영향에 의한 인장균열로 추정된다. 인장균열 II의 폭은 약 6 cm로 1차 현황조사(2005년 6월)에서의 측정치와 동일하였으며, 발생심도는 최대 1.6 m이다(그림 16).

일반적으로 사면 내 혹은 자연사면 내 나타나는 인장균열은 사면의 횡단면 형상과 동일하거나 유사하게 형성되는 것이 특징이다. 이러한 인장균열로 지속적인 우수 유입이 이루어지게 되면, 지반 내 새로운 활동면을 형성시켜 대규모 붕괴를 일으키기도 한다. Sta.4+380 지점의 인장균열은 일반적으로 보고되는 인장균열과는 그 발달 방향 면에서 다른 형태로 쉼기형태를 가진다. 두 인장균열에 의해 형성될 선구조의 경사 방향성을 검토해 본 결과, 기하학적으로 사면 방향과는 90°정도 틀어져 있어, 인장균열 발달 진행에 따른 대규모 붕괴의 가능성은 낮은 것으로 판단된다(그림 17).



그림 16. 인장균열

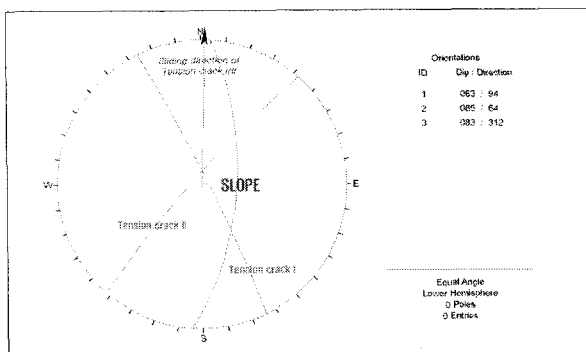


그림 17. 인장균열 슬라이딩 검토 (안정)

Sta.4+400 지점 제1소단~제3소단 사이 법면에는 85/242 방향의 수직절리가 발달하며, 수직절리의 틈새는 약 3~5 cm이다. Sta.4+415~4+435 구간의 법면에는 82/147 방향의 수직절리가 폭 3~5 m의 간격으로 규칙적으로 발달하고 있다. 이 구간 제1소단 직하단부는 약 3 m<sup>2</sup>의 이완암괴가 집중되어 있어서 소단부의 추가적인 유실이 우려되며, 제3소단부를 중심으로 지하수 누수현상이 관찰된다(그림 18).

Sta.4+435~4+460 구간 제1소단~제3소단 사이 법면에는 연장성이 우수한 84/081 방향의 수직절리가 발달하며 수직절리 내에 석영세맥이 관찰된다. 또한 틈새 이완 폭은 약 10 cm까지 발달되며, 수직절리의 경사방향이 사면방향과 유사하여 얇은 파쇄가 발생할 가능성이 높다(그림 19와 그림 20). Sta.4+460~480 구간 제3소단 상부 법면에서 누수현상이 관찰되며, 수리상태는 습함~젖음에 해당된다. Sta.4+480 지점의 수직절리의 발달방향은 82/134이며, 발달된 수직절리면 주변 암괴의 이완이 매우 심하다(그림 21).

Sta.4+480 구간 이후는 수직절리의 발달 빈도가 상대적으로 급격히 줄어든다.

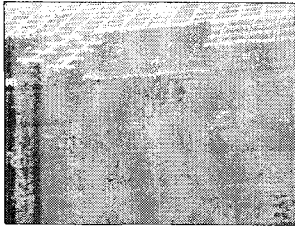


그림 18. 수직절리  
규칙발달(Sta.4+415~4+435)

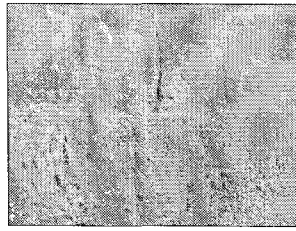


그림 19. 수직절리  
발달(Sta.4+435~4+460)

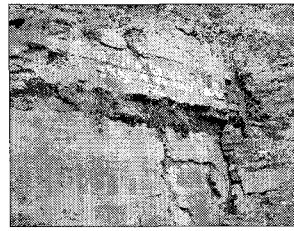


그림 20. 얇은 파괴  
(Sta.4+440)

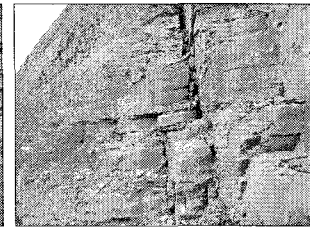


그림 21. 압곡이완  
(Sta.4+480)

### 3.2 제2사면 현장조사

제2사면은 총연장 250 m, 최대높이 72 m의 혼합사면으로 총 6개의 소단이 설치되어 있고, 제3소단 하단부는 암반으로 구성되어 있으며, 제3소단 상단부는 식생공으로 피복되어 있어 직접적인 범면 관찰이 불가능한 상태이다. 사면경사의 경우, 최하부로부터 제3소단까지는 약 1:0.5 구배(63°)로 조성되어 있고, 제3소단 상단부는 약 1:2.0 구배(30°)로 형성되어 있다. 제1사면의 사면방향은 104°에 해당되어 동쪽을 바라보고 있는 형상이며, 상부자연사면의 경사는 -22°로 역구배를 이루고 있다(그림 22).

조사대상 절토사면을 구성하는 암석은 제1사면과 마찬가지로 퇴적암류이며, 층리 발달이 매우 양호하다. 층리의 방향은 11/120의 자세로 제1사면의 층리방향에 비하여는 약간 동쪽으로 회전하였으며, 경사가 상대적으로 약간 급해지는 형태이지만, 층리면을 따른 대규모 붕괴를 발생시킬 정도의 경사도를 가지고 있지는 않다. 제2사면 역시 제1사면과 마찬가지로 대규모 단층파쇄대와 수반된 다양한 방향의 규칙적인 수직절리가 발달한다. 제2사면 역시 불연속면의 발달 방향이 사면안정성 측면에서 안정한 것으로 판단되지만 수직절리 발달 구간에는 암반이 이완되어 있으므로 주의를 요하여야 한다. 또한 세일층과 사암층의 반복 노출로 인하여 구성재료의 이질성에 기인한 불안정요소가 잠재되어 있는 상황이다.

제2사면에 대한 구간별 특성은 다음과 같다.

Sta.4+670 지점은 수직절리를 따라 차별풍화가 진행되어 수직절리면을 중심으로 암석이 적색의 토사로 변질되었다. Sta.4+690 지점 제2소단~제3소단 사이 범면에는 수직절리를 따라 얇은 붕괴가 발생되었으며, 발생낙석량은 약 3 m<sup>3</sup> 정도이다. 이 구간의 제2소단 부분에는 85/075 방향의 수직절리가 연장되어 인장균열이 형성되어 있다(그림 23과 그림 24).

Sta.4+695~4+705 구간 제1소단 하단부는 백색사암 노출부에서 암탈락이 발생되면서 상부의 세일층이 함께 붕괴되었다. 낙석의 평균 크기는 0.5 m×0.5 m×0.5 m 이며, 최대 낙석크기는 1.0 m×1.0 m 이고, 발생낙석 총량은 약 50 m<sup>3</sup>이다. 이 구간의 제1소단부는 붕괴의 결과 완전히 유실되었다(그림 25).

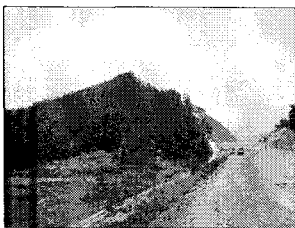


그림 22. 제2사면 측면



그림 23. 수직절리 변질대  
(Sta.4+670)

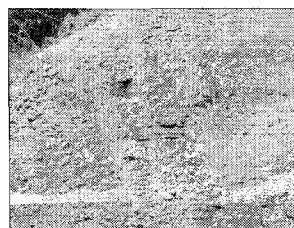


그림 24. 얇은 붕괴  
(Sta.4+690)

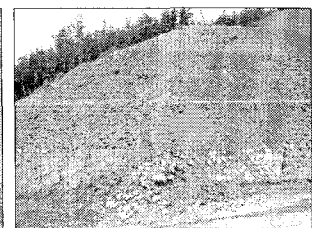


그림 25. 붕괴부  
(Sta.4+695~4+705)

Sta.4+710~4+740 구간 제2소단 하단부에는 층리절리면 이외에 85/040 방향의 수직절리와 80/150 방향의 수직절리가 규칙적으로 발달한다. 특히 Sta.4+720 지점 85/040 방향 수직절리의 경우, 절리 사이의 간격이 0.1~0.2 m 에 불과하며 이완이 뚜렷하여 이 절리면을 따라 암괴의 추가 이탈이 예상된다(그림 26). Sta.4+740~4+770 구간 제1소단~제2소단 사이 범면에서는 84/081 방향의 수직절리가 우세하

게 관찰되며, 이 방향의 수직절리를 따라 소규모 낙석이 발생되었다. 특히 Sta.4+770 지점 제1소단 하단부의 수직절리면 내에는 이끼류가 자생하고 있으며, 수리조건이 젖음에 해당되어 이 지점에서 누수현상이 지속적으로 발생되고 있으므로 유수에 의한 지반약화를 막기 위한 공법 선정이 요구된다. 또한 동일 지점의 제2소단 직하단부는 Sta.4+720 지점의 수직절리와 같은 방향의 절리면을 따라 암괴 이완이 뚜렷하여 추가 붕괴가 예상된다(그림 27).

Sta.4+790~4+810 구간은 제2사면의 가장 큰 붕괴부로서 연장성이 뚜렷한 67/050~87/076 방향의 수직절리가 Sta.4+810 지점의 88/148 방향의 수직절리와 만나는 부분에서 약대를 형성시킴으로서 층리면을 따라 이탈되어 붕괴가 발생된 것으로 판단된다. 붕괴부 폭은 약 50 m 이며, 붕괴부 길이는 10 m, 붕괴부 깊이는 최대 3 m 이다. 88/148 방향 수직절리면 내에는 개구절리임을 지시하는 깃털구조가 관찰된다. 붕괴 발생과 더불어 붕괴부 주변의 암반이 좌측 아래로 회전되어 지지력이 상실되었다. 따라서 붕괴부 주변 제3소단~제4소단 사이 범면의 암반에서는 추가적인 붕괴가 발생할 가능성이 높을 것으로 판단된다. 현재 본 구간의 추가붕괴에 대비하여 임시적으로 붕괴부 하단부에 절취물을 적재시켜 압성토 효과의 지지력을 확보시킨 상태이다(그림 28과 그림 29).

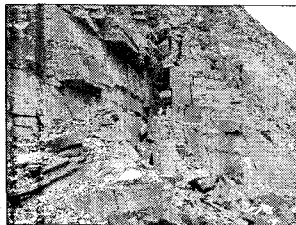


그림 26. 85/040 방향 불연속면 이완상태

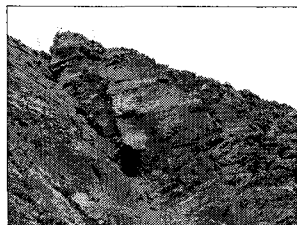


그림 27. 암괴이완상태 (Sta.4+760 지점)

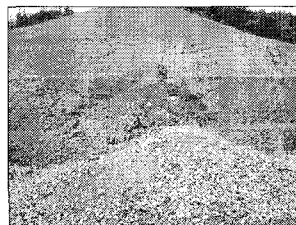


그림 28. 제2사면 대규모 붕괴부(Sta.4+790~4+810)



그림 29. 67/076 방향 절리 규칙배열

## 4. 지반강도정수 도출 및 안정성 해석

### 4.1 지반강도정수 도출

암반의 강도정수 결정 방법은 문헌 제시값, 경험식, 실내시험, 역해석 등을 통하여 얻어진 값과 범위를 결정하여 이 중 가장 최소의 점착력 값과 내부마찰각을 선정한다. 이러한 이유는 지반정수를 최소값으로 선정함으로써 대상사면의 최악의 상황을 고려하고자 하는 것이다.

최종적으로 선택된 값은 암반사면에 대한 안전율을 산출하기 위한 안정해석방법에서 사용된다. 통상적으로 절리 발달이 뚜렷한 경우의 안정 해석시에는 점착력을 고려할 경우 실제보다 상당히 안전하게 해석되기 때문에 점착력은 거의 고려하지 않고 내부마찰각만을 고려하는 경우가 많다. 즉, 암반에 발달하는 절리, 단층, 층리 등의 불연속면 특성들이 연속체 암반을 분리하는 역할을 하고 대부분 이들 불연속면을 따라 붕괴가 발생됨으로 불연속면으로 구성된 암반에서는 점착력을 무시하는 경우가 많다.

본 연구에서 암반에 대하여 적용된 지반강도정수는 표 1과 같다.

본 연구에서 암반에 대하여 적용된 지반강도정수는 암반의 불연속면 특성을 고려하여 평가한 RMR 분류 및 Q-System를 이용하여 산출한 값을 경험식에 대입하여 구하였으며, 한국도로공사(1996)에서 제시한 발파암반의 지반강도값을 참고하였다.

세일의 내부마찰각은 RMR을 이용한 경험식으로 산출된 값을 최소값으로 결정하였다. 또한 세일의 점착력은 제2사면에서 세일층에 대하여 실시한 역해석 자료를 참고하여 설정하였다. 세일의 내부마찰각은  $\phi=20^\circ$ 로 결정하였으므로 점착력은  $2.0(t/m^2)$ 값을 채택하였다. 사암층에 대하여는 역해석을 수행하지 못하였으므로 경험식에 의한 값과 실험치, 기존문헌 값을 참고하여 가장 최소값에 해당되는  $c=20(t/m^2)$ ,  $\phi=38\sim39^\circ$ 로 결정하였다.



표 1. 조사대상 지역 지반의 강도정수

사면	암종	경험식(RMR)		실험치		기존문헌(도로공사)		역해석		설계적용	
		c(t/m <sup>2</sup> )	φ(°)	c(t/m <sup>2</sup> )	φ(°)	c(t/m <sup>2</sup> )	φ(°)	c(t/m <sup>2</sup> )	φ(°)	c(t/m <sup>2</sup> )	φ(°)
제1사면	세일	15.8	20	16.6	49	10	30	-	-	2	20
	사암	35.2	39	20.0	47	20	40	-	-	20	39
제2사면	세일	15.9	20	-	-	10	30	0.6~3.4	16~24	2	20
	사암	34.6	38	-	-	20	40	-	-	20	38

## 4.2 안정성 해석

조사대상 절토사면의 안정성 검토를 위해 현장에서 조사한 불연속면의 자료를 바탕으로 RMR 및 SMR 값을 계산하였으며, 산출된 RMR을 경험식에 대입하여 대상 암반의 점착력과 내부마찰각을 도출하였다(표 1 참조). 현장에서 측정된 불연속면 자료와 내부마찰각 값을 이용하여 평사투영해석을 실시하였다. 또한 절토사면의 안전율을 산출하기 위해 TALREN 97을 이용하였다.

### 4.2.1 제1사면 안정성 해석

제1사면은 강도면에서 차이를 가진 세일층과 사암층으로 구성된다. 평사투영해석(DIPS)을 수행함에 있어 사면안정성 측면에서 최악의 상황을 고려해야 하므로 흑색세일층의 지반강도 정수 값을 적용하여 내부마찰각 값은 20°로 결정하였다. 해석에 사용된 불연속면은 층리절리면과 대규모 단층대와 관련된 수직절리 파쇄대이다(그림 30과 그림 31).

썩기과괴 안정성 결과 모든 불연속면의 대원의 교점이 썩기과괴 발생가능영역에 벗어나 안정한 것으로 나타났다. 또한 평면과괴 및 전도과괴 안정성 해석에서도 모든 불연속면의 극점이 과괴 발생가능역에 도시되지 않아 안정한 것으로 나타났다.

평사투영법 해석 결과, 불연속면의 발달 방향은 사면안정성 측면에서 안정하게 발달되어 있는 것으로 확인되었다. 본 사면의 주요 붕괴는 세일층 분포구간 내 수직절리(파쇄대)를 따라 부분적으로 발생하는 형태이므로 현장상황을 고려한 추가적인 안정해석이 요구되었다.

따라서 토류구조물 안정해석 프로그램인 TALREN 97을 이용하여 원지반의 안정성 여부, 붕괴부를 고려한 안정성 여부에 대한 추가적인 안정성해석을 실시하였다.

제1사면은 절토사면 높이별로 물성 차이가 다른 재료로 이루어져 있다. 일반적으로 지반공학적 특성 차이가 존재하는 암종과의 경계면은 우기시 활동면으로 작용되어 붕괴를 유발시키기도 하므로 이에 대한 검토가 요구되었다. 따라서 제1사면에 대하여 대표단면을 선정하고 이에 대해 TARLEN 97을 이용하여 안정성 해석을 실시하였다.

TARLEN 97을 이용하여 안정성 해석은 원지반 중 파쇄대인 수직절리가 발달되어 제3소단까지 인장 균열이 발생된 부분에 대한 안정해석 상황을 검토하였다. 해석 방법은 파쇄대 및 층리절리면을 고려하여 비원호과괴 해석방법을 사용하였으며, 지반에 지하수위가 분포하지 않는 상황을 가정하는 건조시 해석과 우기 또는 집중강우시 지하수위가 지표면 부근까지 형성된 상황을 가정한 포화시 해석으로 구분하여 실시하였다. TALREN 97을 이용한 한계평형해석 결과, 건기시의 안전율은 1.66으로 허용안전율을 상회하여 안정한 것으로 나타났으나, 우기시의 안전율은 1.00으로 허용안전율에 미달되므로 본 사면은 집중호우기시에는 사면안정성 확보가 미흡한 것으로 나타나 필요에 따라 보강공법을 적용할 필요가 있음이 확인되었다(그림 32과 그림 33).



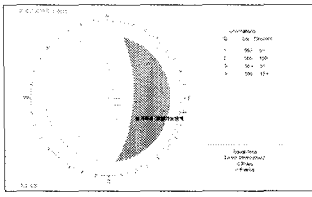


그림 30. 썩기파괴 안정성 검토(안정)

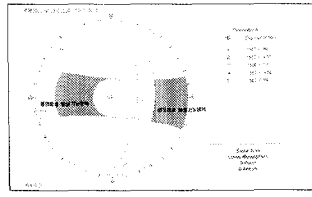


그림 31. 평면·전도파괴 안정성 검토(안정)

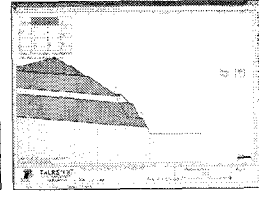


그림 32. 건기시안정해석 (안전율 : 1.66)

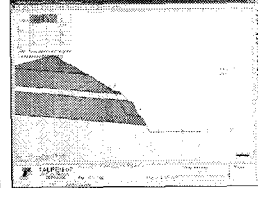


그림 33. 우기시안정해석 (안전율 : 1.00)

#### 4.2.2 제2사면 안정성 해석

제2사면도 제1사면과 노출양상이 유사하며, 사면안정성 측면에서 최악의 상황을 고려해야 하므로 흑색셰일층의 지반강도 정수 값을 적용하여 내부마찰각 값을 20°로 결정하였다. 해석에 사용된 불연속면은 층리절리면과 대규모 단층대와 관련된 수직절리 파쇄대이다(그림 34와 그림 35).

제2사면의 썩기파괴 안정성 결과 모든 불연속면의 대원의 교점이 썩기파괴 발생가능영역에 벗어나 안정한 것으로 나타났다. 또한 평면파괴 및 전도파괴 안정성 해석에서도 모든 불연속면의 극점이 파괴 발생가능영역에 도시되지 않아 안정한 것으로 나타났다.

평사투영법 해석 결과, 불연속면의 발달 방향은 사면안정성 측면에서 안정하게 발달되어 있는 것으로 확인되었다. 본 사면의 주요 붕괴는 셰일층 분포구간 내 수직절리(파쇄대)를 따라 부분적으로 발생하는 형태이므로 현장상황을 고려한 추가적인 안정해석이 요구되었다.

TARLEN 97을 이용하여 안정성 해석은 원지반 중 수직절리가 발달되어 제2소단까지 붕괴가 발생된 부분을 고려하여 안정해석 상황을 검토하였다. 해석 방법은 제1사면과 동일하다. TALREN 97을 이용한 한계평형해석 결과, 건기시의 안전율은 1.22 로 허용안전율을 미달되어 불안정 상태에 해당되며, 우기시의 안전율 역시 0.73으로 허용안전율에 미달되므로 본 사면은 사면안정성 확보가 미흡한 것으로 나타나 필요에 따라 보강공법을 적용할 필요가 있음이 확인되었다(그림 36와 그림 37).

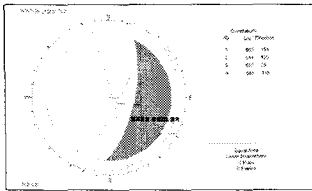


그림 34. 썩기파괴 안정성 검토(안정)

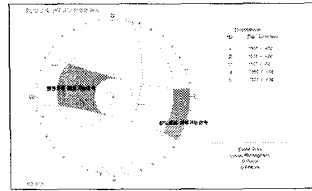


그림 35. 평면·전도파괴 안정성 검토(안정)

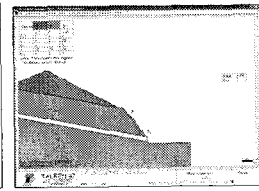


그림 36. 건기시안정해석 (안전율 : 1.22)

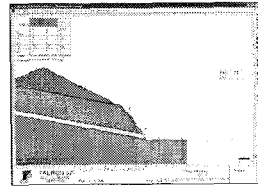


그림 37. 우기시안정해석 (안전율 : 0.73)

### 5. 대책공법

현장조사 결과에 의한 위험 절토사면 대책공법 결정은 조사대상 절토사면의 어느 구간에서 어떠한 형태와 규모로 붕괴가 예상되며, 어떠한 운동 형태로 이동할 것인가를 정확하게 예측하고, 현장여건을 충분히 반영하여야 한다. 또한, 대책공법의 선정 시에는 공법 적용 지반의 조건을 충분히 검토하여야 하며, 주변 교통 상황 등의 조건도 고려하여야 한다. 또한 시공장비의 진입 가능 여부 등 시공상의 제약을 고려하고 시공 난이도를 충분히 고려하여 시공에 무리가 없는 대책공법을 제시하여야 하며, 경제성을 충분히 고려하여야 한다(구호본, 2005).

진주-집현 간 도로확포장 공사 중에 형성된 대상 절토사면은 불연속면의 발달방향은 비교적 안정적이 나, 부분적으로 수직절리의 이완이 뚜렷하고 붕괴 발생 구간이 존재하며, 시간 경과시 차별풍화에 의한 세굴이 우려되므로 적절한 대책공법의 선정이 필요하다.

제1사면은 시공성, 효율성, 경제성, 친환경성을 고려하여 위험구간에 대하여 계단식화단옹벽 및 옹벽 정착용 앵커, 옹벽정착용 네일을 시공하여 지지력 확보 및 암반전단강도를 강화시키고, 전면배수로를 설치하여 올바른 사면배수가 이루어질 수 있도록 시공하여야 할 것이다. 또한 식생공을 설치하여 사면침식을 예방하고 친환경적 사면이 조성될 수 있도록 만전을 기하여야 할 것이다.

제2사면은 구성재료의 특성 및 지반조건을 고려하여 적정구배로 절취를 실시하고, 절취 후 발생될 소규모 낙석 및 토사유실에 대비하여 낙석방지망 및 식생공을 설치할 것을 제안한다. 또한 절취에 의해 발생될 사토는 인근 현장에서 필요로 하는 토사 적재물로 활용 가능할 것으로 판단된다.

## 6. 결론

진주-집현 간 도로확포장 공사 중 조성된 절토사면은 향후 위험요인이 발생하게 되면, 도로이용자의 안전성을 침해하고, 국가의 인적·물적 피해를 유발할 수 있는 국가주요 구조물이다. 신설국도에 조성될 절토사면의 경우, 대부분 식생공법이 적용되어 준공 후에는 직접적인 법면 관찰이 쉽지 않으므로 설계 및 시공단계에서 절토사면의 안정성을 충분히 확보하는 것이 무엇보다 중요하다. 따라서, 설계단계에서 대상 절토사면의 경제성과 안정성을 고려한 최적의 대책공법을 선정하는 것이 본 연구의 목적이다. 본 연구로부터 얻어진 결론은 다음과 같다.

- (1) 조사대상 절토사면을 구성하고 있는 암석은 흑색세일 및 사암층의 호층으로 노출되며, 세일층의 노출 분포비율이 상대적으로 높고, 사면방향과 거의 유사한 경사방향을 가지는 층리절리면의 발달이 뚜렷하다. 층리절리면 이외에 단층파쇄대의 영향으로 형성된 수직절리가 발달하며, 수직절리 내에는 점토충전물, 석영세맥, 빗살구조 등이 존재한다. 일축압축강도에 따른 암반의 강도는 사암은 경암에 해당되며, 세일은 보통암에 해당된다. 구성암반의 지질학적 차이로 차별풍화가 예상되며, 수직절리면을 따라 국부적인 이완 또는 붕괴가 발생되었다.
- (2) 평사투영법에 의한 안정해석 결과 쉐기과괴 및 평면·전도과괴의 가능성은 인지되지 않았으나, 야외조사 결과 수직절리를 따라 붕괴가 발생되거나 이완이 뚜렷하므로 이에 대한 적절한 대책 선정이 요구되었다. 조사대상 절토사면을 대상으로 Talren 97을 이용한 한계평형해석을 실시한 결과 제1사면은 건조시 안전율 1.66, 우기시(포화시) 안전율 1.00, 제2사면은 건조시 안전율 1.22, 우기시(포화시) 안전율 0.73을 보여 절토사면 요구 안전율을 만족하지 못하였다.
- (3) 진주-집현 간 도로확포장 공사 중에 형성된 대상 절토사면은 불연속면의 발달방향은 비교적 안정적이나, 부분적으로 수직절리의 이완이 뚜렷하고 붕괴 발생 구간이 존재하며, 시간 경과시 차별풍화에 의한 세굴이 우려되므로 적절한 대책공법의 선정이 필요하다.
- (4) 조사대상 절토사면에 적용한 대책공법은 현장조사 결과 및 안정성해석결과를 바탕으로 시공성, 효율성, 경제성, 친환경성을 고려하여 계단식화단옹벽 및 옹벽정착용 앵커, 절취, 전면배수로, 낙석방지망 및 식생공 등 다양한 공법을 채택하였다.

## 참 고 문 헌

1. 구호분 등(2005), 2004년도 도로절토사면 유지관리시스템 개발 및 운용, 한국건설기술연구원.
2. 김옥준, 윤선(1969), 한국지질도 지질도폭설명서 『진주』, 11p.