

## 경상분지 세일 지역에서의 절토사면 파괴 특성

### Failure Characteristics of Cut Slopes of Shale in Kyöngsang Basin

김경석<sup>1)</sup>, Kyung-Suk Kim

유병옥<sup>2)</sup>, Byung-Ok You

이상돈<sup>3)</sup>, Sang-Don Lee

1) 한국도로공사 도로교통기술원 지반연구실 연구원

2) 한국도로공사 도로교통기술원 지반연구실 실장, 수석연구원

3) 한국도로공사 도로교통기술원 지반연구실, 수석연구원

## 경상분지 셰일 지역에서의 절토사면 파괴 특성

### Failure Characteristics of Cut Slopes of Shale in Kyongsang Basin

김경석<sup>1)</sup>, Kyung-Suk Kim, 유병옥<sup>2)</sup>, Byung-Ok You, 이상돈<sup>3)</sup>, Sang-Don Lee

1) 한국도로공사 도로교통기술원 지반연구실 연구원

Researcher, Highway & Transportation Technology Institute, Korea Highway Corporation

2) 한국도로공사 도로교통기술원 지반연구실 실장, 수석연구원

Research Director, Highway & Transportation Technology Institute, Korea Highway Corporation

3) 한국도로공사 도로교통기술원 지반연구실, 수석연구원

Research Director, Highway & Transportation Technology Institute, Korea Highway Corporation

**ABSTRACT** : Stability of cut-slope is considered to have a deep relationship with rock types since rock has its own engineering and geological characteristic such as shear strength, durability, weathering profile, geological structures. Therefore, analysis of geological and engineering characteristics of rock mass is essential for the evaluation of rock slope stability

This paper introduces the statistical data of slope failure cases which was collected from highway slopes constructed in sedimentary rock mainly of shale in Kyong-sang Basin. Primary failure feature in this area is planar failure along the bedding regardless of slope geometry. Even a disastrous slope failure case due to the thick clay layer between the beddings was reported. Failures and rock fall were reported to occurred frequently after the completion of cutting due to the weathering, so long-term slope stability should be considered as a important factors in design.

**Key words** : cut-slope, planar failure, sedimentary rock, shale, Kyong-sang basin

## 1. 서론

국내지형특성상 산지를 절취하여 도로를 건설하는 것은 불가피하며 수 많은 절취사면이 도로변에 형성되고 있다. 절취사면의 안정성에 영향을 미치는 요소는 암석종류, 풍화, 지질구조의 특성 등의 내적인 요인과 강우, 융해, 지진, 발파 등의 외적인 요인들이 있을 수 있으며, 특히 사면을 이루는 암석종류, 지질시대 및 지질구조에 따라 사면의 파괴원인과 파괴유형, 발생빈도가 다르므로 암반사면내의 지질학적인 구조와 공학적인 특성은 사면의 전체적인 안정성에 매우 큰 영향을 미치므로 조사시에 이를 파악하는 것은 매우 중요한 일이다.

본 논문은 경상분지 퇴적암(셰일, 사암) 지역을 통과하는 고속도로변의 절취사면에서 발생한 파괴사례들에 대하여 파괴특성에 따른 빈도를 분석하여 설계 및 시공에 참고가 될 수 있는 자료를 제공하고자 하였다.

## 2. 경상분지 퇴적암의 특성

본 논문의 대상지역은 중앙고속도로(대구-안동간), 구마고속도로, 남해고속도로, 경부고속도로(구미-부산간) 주변에 건설된 중생대 퇴적암으로 이루어진 절토사면들이며, 파괴사례는 1991년부터 2000년까지 고속도로 건설과 개통중에 발생한 것들이다.

## 2.1. 지질 특성

경상분지는 중생대 백악기 경상계 신동층, 하양층군, 유천층군으로 구성되어 있으며(Chang, 1975), 세일과 사암 그리고 역암이 주된 암종이고 부분적으로 화강암 계통, 반암 계통 및 염기성, 산성 맥암류가 관입되어 있다(그림 1). 또한 이곳은 신생대 4기 층적층이 부정합으로 피복되어 있다.

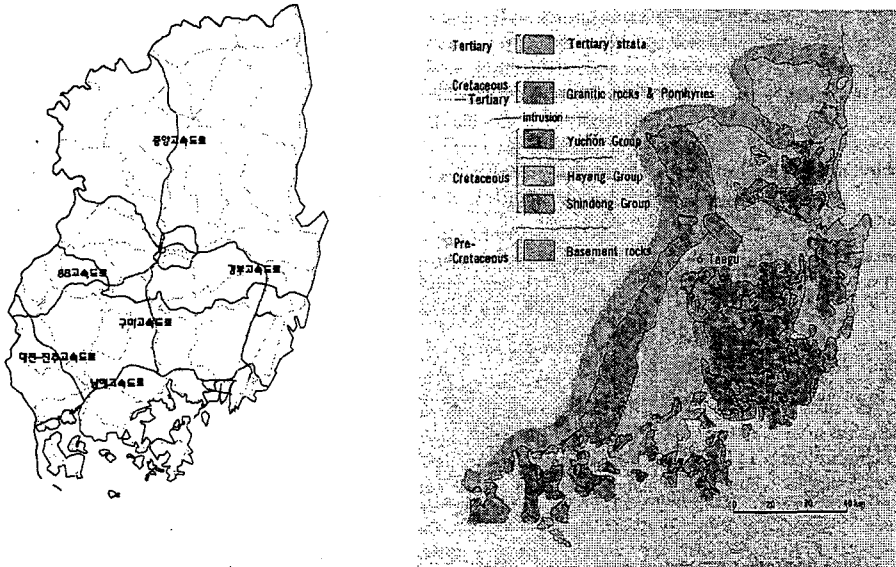
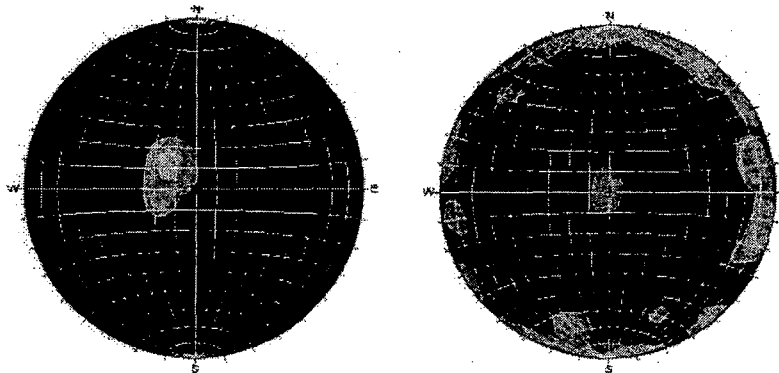


그림 1. 경상분지 지역을 지나는 고속도로 노선 및 지질도(Lee, 1988)

경상분지내의 세일이라도 지역에 따라 다소 다른 특성을 나타내는데, 암석의 색깔로 보면 중앙고속도로(대구-안동간)에서는 의성지역에서는 붉은 암색(적색세일)을 띄고 기타지역에서는 녹색 또는 회색의 암색을 보인다. 구마고속도로의 경우는 세일이 접촉변성작용을 받아 혼펠스화 된 것이 많으며 검은색의 암색을 띄고 있고, 비교적 치밀한 암조직을 가진다.

경상분지 퇴적암의 주 지질구조는 층리면(bedding plane)이며 지역에 따라 다소 다른 방향을 나타내는데, 중앙고속도로(대구-안동간)의 경우 N10E~N10W/10~20SE, 10~20NE 방향이 대표적이며, 구마고속도로의 경우, 층리의 대표적인 주향 및 경사는 달성터널을 경계로 북쪽에서는 N60~70E/15~25SE가 우세하고 남쪽은 N10~40W/15~22NE가 대표적으로 발달한다. 그리고 남해고속도로(진주-부산간)는 수평 및 10° 내외의 경사를 가진 층리가 우세하다. 부절리는 그림 2와 같이 층리 방향에 직각되는 방향으로 발달하고 있다.



(주절리군)

(부절리군)

그림 2. 경상분지 퇴적암 지역의 주요 절리방향

## 2.2. 공학적 특성

세일에서 발생하는 문제는 크게 층리면과 층리면에 충전된 점토에 의한 평면파괴와 장기적으로 풍화에 의한 문제로 구분된다. 여기서 다루는 공학적 특성은 이러한 문제에 대한 기본적인 자료를 위하여 세일의 강도특성 및 층리면의 전단강도특성 그리고 풍화저항성을 가늠할 수 있는 특성에 대해서만 제시한다.

일반적으로 세일은 생성과정에 의해 이방성 일축압축강도 특성을 가지게 되므로 지반조사시에는 이러한 방향성을 확인하여 지층구조와 불연속면의 방향확인이 선행되어야 한다. 특히 층리면의 방향에 따라 일축압축강도는 달라지는데, 수평과 이루는 층리면의 방향이  $0^\circ$  와  $90^\circ$  일 때 최고의 강도특성을 지니며, 약  $60^\circ$  정도일 때 가장 작은 일축압축강도특성을 나타낸다(김영수 등, 2001)

실제로 사면에서는 세일 자체의 일축압축강도보다는 층리면에 의한 평면파괴가 주된 파괴원인이므로 층리면의 전단강도특성이 더 중요한 설계요소가 된다. 여기에서는 실제로 평면형 붕괴가 발생한 사면에 대한 역해석을 바탕으로 활동면의 전단강도를 추정하였다(유병옥, 1997)). 활동면의 전단강도는 층리면에 충전된 점토층에 의해 좌우되고 있어 점토가 충전되지 않은 절리면의 전단강도보다 매우 작은 값을 나타내는데, 마찰각( $\phi$ )은  $10^\circ \sim 17^\circ$ , 점착력( $c$ )은  $0 \sim 2.5t/m^2$ 의 범위로 나타났다.

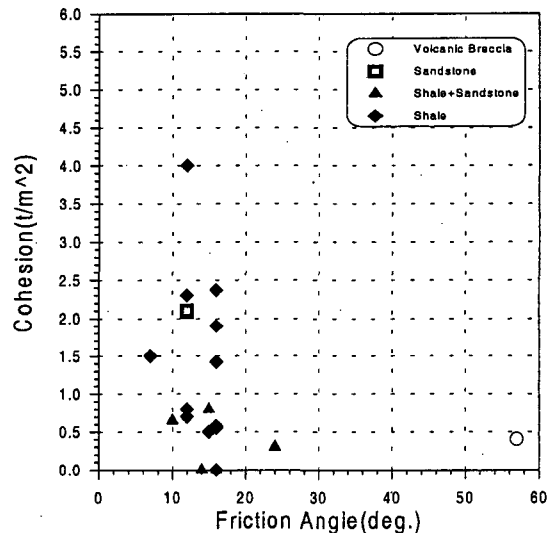


그림 3. 활동면의 점착력과 마찰각

세일은 다른 암종에 비해 풍화에 비교적 약한 것으로 알려져 있으며, 특히 경상분지에 존재하는 적색 세일은 암석강도가 작은 경우 매우 낮은 슬레이킹 지수(slaking index)를 나타내며 작은 입방체 압편으로 부서져 버리거나 우수시에는 세굴에 의해 수로가 형성될 정도의 약한 특성을 갖는다. 경상분지 퇴적암지역에는 세일과 사암이 교호하는 지층구조가 많이 존재하는데, 사암이 세일보다 강한 경우가 많아 사암층의 가운데에 끼어있는 세일층의 풍화에 의해 상부사암층이 붕락되는 경우가 빈번히 발생하고 있다. 이러한 풍화정도는 Slaking Durability Test(내구성 시험) 및 흡수율시험으로 어느 정도 가늠할 수 있다. 그림4에는 경상분지 세일에 대한 점하중지수에 따른 내구성 시험결과와 흡수율 시험결과를 나타내었는데, 점하중 지수가 높을 수록 반복횟수에 따라 마모에 강한 특성을 보이는 것으로 나타나 강도가 약할수록 현격하게 내구성이 떨어져 등근 압편화되는 현상이 두드러지게 나타난다. 흡수율은 강우반복에 의한 암석의 상태변화를 가늠할 수 있으며, 신선하고 치밀한 암석상태에서 1%에도 달하지 않는 경우가 많으며 풍화정도에 따라 흡수율은 현격히 증가하는 특성을 나타낸다. 세일에서의 흡수율 시험결과에서 알 수 있듯이 점하중 지수에 따라 차이를 나타내며 약 5%정도에서 20%정도까지 다양하게 나타나고 있다.

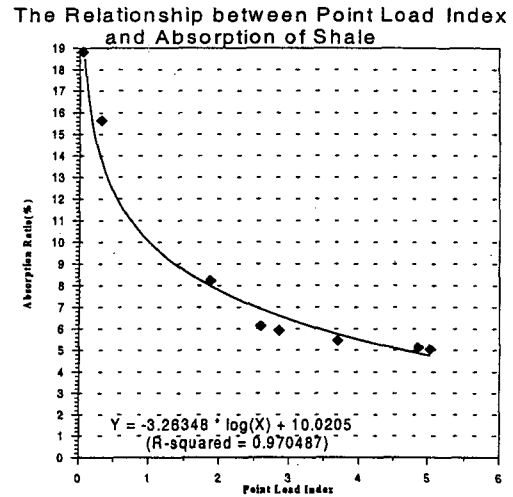
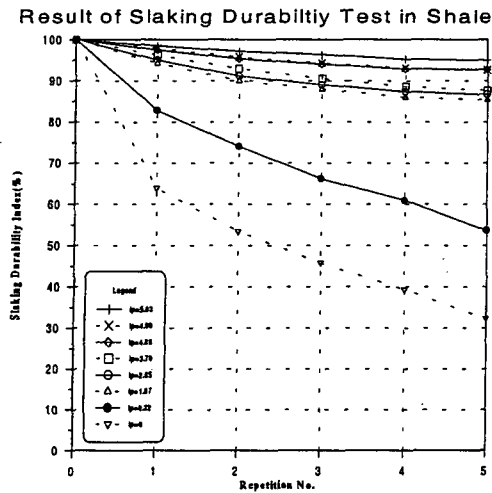


그림 4. 셰일의 내구성특성과 흡수율 특성(유병욱, 1997)

### 3. 사면의 파괴 특성

경상분지 퇴적암 지역을 통과하는 고속도로 노선은 경부, 구마, 중앙, 남해고속도로이며, 현재 추가로 대구-포항간, 부산-울산간, 현풍-김천간 고속도로가 건설되고 있다. 이들 고속도로 주변에 분포하는 절취사면중 퇴적암으로 이루어진 사면과 시공중과 개통후에 문제가 발생한 사면의 현황은 표1과 같다.

2000년말 현재 전국 고속도로 절취사면은 총 3,000여개로 경상분지 퇴적암 절취사면은 전체 사면개소에 대해 25% 정도를 차지하고 있는 데 이중 파괴가 발생한 사면수는 50개(파괴지점:56개소)로 퇴적암 사면 중 6.7%에 해당된다.

표 1. 경상분지 퇴적암의 노선별 사면개소 및 파괴빈도

노선명	노선전체 연장(km)	퇴적암구간 연장(km)	퇴적암 사면수 (개소)	파괴 사면수 (파괴지점)
계	-	367.9	743	50 (56)
경부	428	81.3	95	4 (4)
구마	83.3	74.2	99	21 (24)
중앙	279.2	77.6	470	14 (15)
남해	245.6	108.2	34	10 (12)
88	174.6	26.6	45	1 (1)

암반사면의 파괴는 암반에 발달하는 불연속면에 의해 좌우되며 사면파괴의 주원인이 될 수 있는 불연속면으로는 절리, 엽리, 단층, 층리 등이 있다. 절리는 모든 암석 내에 분포하나 층리는 퇴적암, 엽리, 편리는 변성암중 편마암, 편암에서 발달하는 지질구조이고 단층파쇄대는 주로 변성암에서 우세하게 발달하는 지질구조이다.

조사된 사면 중 특히, 암반 내에 발달하는 지질구조 중 표 2에서 보는 바와 같이 절리는 모든 암석에 발달하는 지질구조이고 층리는 퇴적암의 지질구조로 층리면에 의해 평면파괴가 주로 발생되었으나 셰일층의 풍화로 인해 사면이 낙석되기도 한다. (그림5~그림7)

표 2. 지질구조에 따른 파괴빈도

지질구조 \ 암종	파괴지점수(개소)	파괴발생율(%)
절 리	6	10.7
층 리	25	44.6
단 층	3	5.1
풍 화	13	23.2
암질불량	9	16.1
계	56	100

이러한 사면파괴는 매우 다양한 형태로 나타나게 되는데, 파괴규모, 파괴유형, 파괴위치, 지질구조, 파괴시기 등에 따라 파괴빈도를 분석하여 보았다.

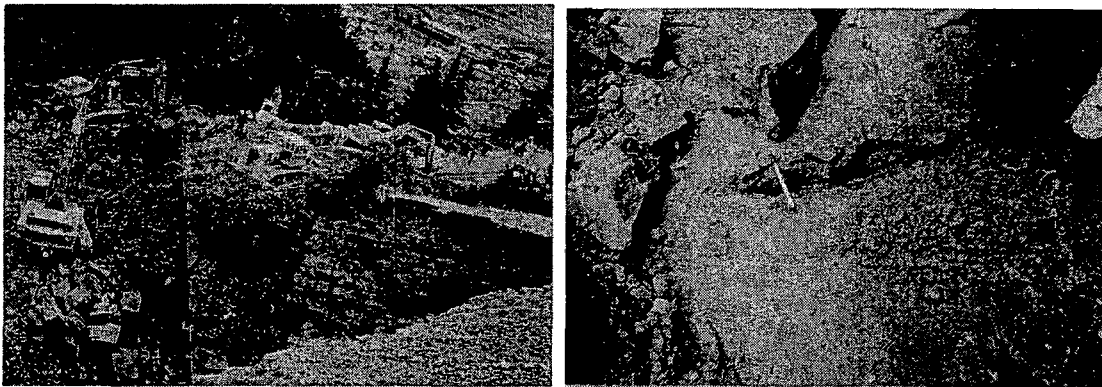


그림 5. 점토 충전층에 의한 대규모 평면파괴

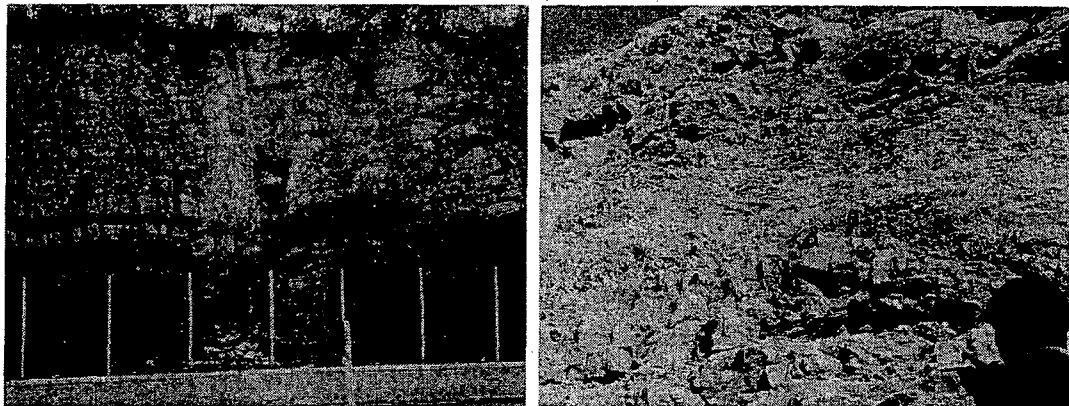


그림 6. 단층대를 따른 유실

그림 7. 차별풍화로 인한 붕괴발생

### 3.1. 파괴 유형

Hoek & Bray(1981)에 의하면 암석사면은 크게 평면파괴, 썩기파괴, 전도파괴, 원형파괴의 네 가지 파괴유형과 이들 파괴의 복합화된 형태로 나타나는 것으로 구분하였으며, 경상분지 퇴적암에서 발생한 파괴사례를 이러한 파괴유형에 따라 분류하여 보았다.(표4)

파괴발생 사례중 평면파괴 형태가 57%로서 가장 빈번히 발생하며 다음으로 낙석, 토층유실의 순서이고, 평면파괴는 사면과 동일한 방향으로 발달한 층리면에 의해 주로 발생하는 것으로 나타났다.

표 3. 파괴유형에 따른 파괴빈도

파괴유형	구분	파괴지점수(개소)	파괴발생율(%)
평면파괴		32	57.1
썩기파괴		3	5.4
진도파괴		0	0.0
원형파괴		3	5.4
낙 석		13	23.2
토층유실(세굴)		5	8.9
계		56	100.0

표 4. 지질특성별 파괴유형 (정형식 외, 1996)

파괴유형	특 징 그 림	지 질 특 징	파괴유형	특 징 그 림	지 질 특 징
평면파괴 (미고결 점토층)		사면방향으로 경사진 층리면에 미고결 점토가 충전된 평면형 파괴가 발생하는 유형으로 세일내에 충전된 예들이 많았다. 수직절리는 인장균열의 역할을 하게 된다.	원형파괴 (5.4%)		세일이 절토에 의해 지표면에 노출되면 풍화속도가 급속히 진전되어 작은 암편화된다. 이 작은 암편은 상호간의 점착력이 없어 강우에 의해 쉽게 토층과 같은 원형파괴유형을 보인다.
(사암과 세일사이)		사암과 세일이 교호되는 층에서 세일이 빗물이나 강우에 의해 풍화되어 파괴되기도 한다. 석회암 및 고생대 퇴적암에서는 경사가 급한 층리면을 따라 평면파괴가 발생한다.	낙 석 (차별적 풍 화)		세일과 사암의 호층으로 이루어진 사면에서 세일이 풍화에 약한 특성에 의해 차별적인 풍화를 받아 상부의 사암이 붕락하는 하는 유형이다. 사암에는 수직절리의 발달이 심하여 이 수직절 리가 블록화 시켜주는 구실을 한다.
(단층 파쇄대)		사암과 세일로 이루어진 층의 층리면 사이에 대규모의 단층점토층이 충전되어 이 면을 따라 활동된다. 이 파괴유형은 매우 대규모적인 파괴규모를 갖는다.	(23.2%)		세일이나 사암, 역암에서 지표 노출로 물리적인 풍화를 받게 된다. 이때 암편은 매우 작은 암편으로 세분화되어 표면에 붙어 있는 암파가 낙석하게 된다.
썩기파괴 (5.4%)		경상분지의 중생대 퇴적암은 층리면의 경사가 완만하여 이와 같은 파괴가 드물지만 고생대 퇴적암지대에서 층리가 경사가 급하거나 심하게 왜곡되어 이 유형의 파괴를 보이기도 한다.	세 굴 (8.9%)		세일이나 사암에서 단층파쇄대를 빗물에 의해 세굴이 발생되어 점진적으로 침수가 되어 세굴 깊이 및 폭이 넓어진다. 그리고 주변 암파가 파괴되는 이어서는 연속적인 파괴형태를 보인다.

실제 사면에서의 파괴유형은 앞에서 언급한 바와 같이 매우 다양한 지질구조와 암석상태에 의해 발생하고 있으며 고속도로가 지나가는 지역별로 상이한 퇴적암의 특성으로 인하여 지역별로 파

괴유형이 조금씩 차이를 나타내기도 한다.

구마고속도로의 경우에는 층리 경사 방향이 도로쪽으로 향한 하행측(마산방향) 절토사면에서 주로 문제가 발생되고 있는데, 층리면 사이에 점토층이 충전되어 있는 경우가 빈번하여 사면상부에서부터 하부까지 이르는 대규모적인 평면파괴가 주를 이룬다. 남해고속도로의 경우는 세일층과 사암이 교호된 지질특성을 가지는데, 차별풍화로 인하여 세일이 먼저 풍화되면서 사암이 붕락되는 유형의 파괴양상이 나타나고 있다. 중앙고속도로 대구측의 경우는 단층파쇄대에 의한 대규모적인 평면파괴의 예가 일부 있었으며, 풍화에 약한 적색 세일로 인하여 원형파괴가 발생하는 경우도 있었고, 단층파쇄대가 지나가는 구간에서 세일 및 사암이 세굴에서 심하게 발생하는 양상을 보인다. 표4에 퇴적암 구간에서 나타나는 파괴유형을 지질특성에 따라 구분하여 나타내었다.

### 3.2. 파괴경사와 방향성

일반적으로 평면파괴는 파괴면주향이 사면주향과 일치할 때 파괴가능성이 가장 높으며, Hoek & Bray (1981)는 절리주향이 사면주향이  $\pm 20^\circ$  내외정도 일때 파괴가능하다고 제시한 바 있다. 하지만, 황영철(2002)에 의하면 평면파괴 발생시 사면주향과 절리주향과의 차이가  $\pm 60^\circ$ 가 되는 경우에도 파괴가 발생한 경우가 있었으며,  $\pm 20^\circ$  이내범위에서 발생하는 경우는 약65%정도로서 많은 빈도를 나타내고 있긴 하지만  $\pm 20 \sim \pm 30^\circ$  범위에서도 약20%정도의 파괴가 발생하고 있는 것으로 제시한 바 있다.

따라서, 평사투영해석시 평면파괴의 파괴조건을 사면주향과 절리주향과의 차이가  $\pm 20^\circ$  범위 이내뿐만 아니라  $\pm 30^\circ$  범위까지 넓혀 적용하는 것이 바람직할 것이며,  $\pm 30^\circ$  이상의 차이에서도 완전히 무시하기 보다는 파괴잠재 가능성을 고려하여야 할 것으로 판단된다.

파괴면의 경사는 사면경사와는 무관하게 약  $20^\circ$  내외정도에 가장 집중되어 나타나고 있으며, 층리면의 경사와 거의 동일하게 발생하고 있는 것으로 나타났다.

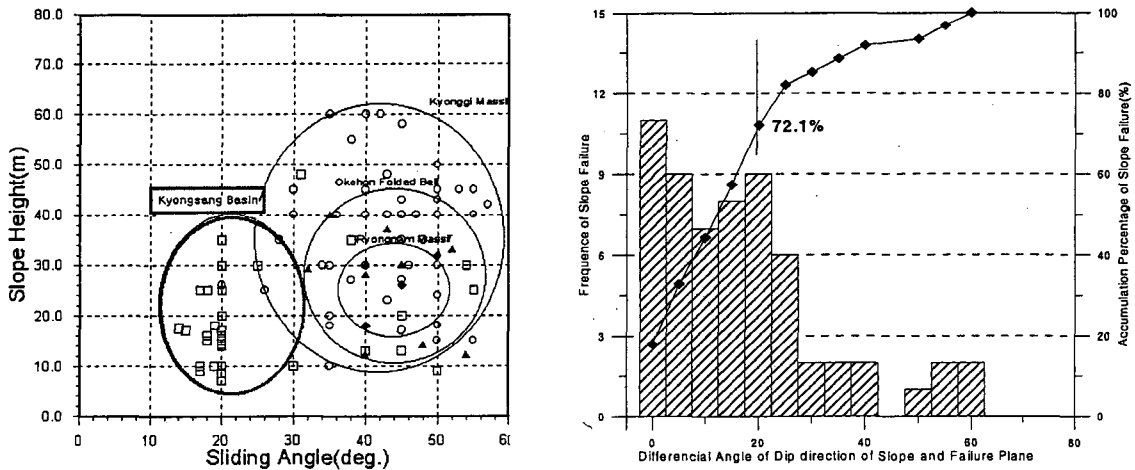


그림 8. 평면파괴면의 경사와 파괴면주향 차이

### 3.3. 파괴 규모

사면에서 발생하는 파괴규모는 파괴심도, 파괴폭, 활동토괴의 부피등 여러 가지 기준에 의해 구분할 수 있지만 공학적인 관점에서 사면표면에서 파괴면까지의 심도가 가장 관심있는 기준이 될 수 있으므로 여기에서는 파괴심도를 파괴규모의 구분기준으로 구분하였으며, 전체 발생자료에 대하여 파괴규모 분석결과를 표5에 나타내었다.

퇴적암 지역에서의 파괴발생 심도는 0~4m정도가 55%정도로서 가장 많으며, 4~8m의 파괴심도가 약 18%로서 그 다음이다. 12m이상 심도의 대규모 사면파괴도 1개소 파괴사례가 보고되고



있는데, 활동토괴의 전체체적이 100,000m<sup>3</sup>~300,000m<sup>3</sup>에 이를 정도로 거대규모의 파괴가 발생하였으며 이는 퇴적암지역에서 발생가능한 산사태성 붕괴의 한 예라고 할 수 있다.

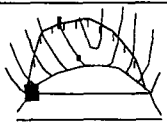
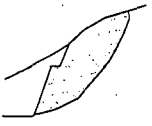










표 5. 파괴규모에 따른 파괴빈도

파괴규모 \ 구분	파괴개소	파괴발생율(%)
낙석, 토층유실	10	17.9
0~4m	31	55.3
4~8m	10	17.9
8~12m	4	7.1
12m이상	1	1.8
합 계	56	100.0

### 3.4. 사면내 파괴위치

사면파괴는 풍화특성 및 지형형상, 단층과 같은 지질구조 유무에 따라 사면내 파괴위치에 다양한 차이를 보인다(日本土質工學會, 1977). 여기에서는 파괴위치를 표6과 같이 구분하여 사면내 어느 지점에서 파괴가 많이 발생되는지를 알아보았다.

표 6. 파괴발생위치 분류

구분	평 면 도	횡 단 도	구분	평 면 도	횡 단 도
I	 주변지역을 포함한 대규모파괴		IV	 사면하단파괴	
II	 사면내 대규모파괴		V	 사면중간부 파괴	
III	 사면상단 파괴		VI	 상부 유실	

I-type은 깊은 활동면을 갖고 사면후방 지형전체가 파괴되는 대규모의 파괴유형으로서 암반내 단층파쇄대나 점토층진층에 의해 발생하는 경우이며, II-type은 사면내의 전면적에서 발생하는 대규모 파괴유형으로 매우 불량한 암질상태이거나, 전면에서 사면방향과 유사한 방향으로 파쇄대층이 깊게 존재하는 사면, 암반 상부에 토층이 덮고 있는 사면, 층리면에 점토가 충전된 지질구조에서 발생된다. III-type은 상부의 토층구간에서 파괴가 발생하는 예로서 일반적으로 풍화대가 깊은 사면에서 우세하다. IV-type은 사면하단부에서 파괴가 발생하는 유형으로 일반적으로 절리, 단층 등의 지질구조선에 의해 발생된다. V-type은 소규모적으로 사면 여러 개소에서 발생하는 예로 사면내에 국부적으로 암질이 불량한 개소나 단층파쇄대 등이 있는 경우에 발생된다. 그리고 VI-type은 낙석 및 매우 소규모적인 상부에서의 유실을 말한다.

표7에서 알 수 있듯이 파괴위치는 주로 사면내부의 소단부에서 많이 발생하며, 상부토층의 유실 사례도 빈번하게 발생하는 것으로 나타나고 있다. 특히, I-type의 파괴는 세일 및 사암으로 이루어진 암층에 주로 발달하는 대규모 파괴 유형으로 구마고속도로의 경우는 미고결 점토층을 따라 파괴가 발생한 바 있다.

표 7. 파괴위치에 따른 파괴빈도

구분 파괴위치	파괴개소	빈도(%)
I(대규모파괴)	1	1.8
II(대규모파괴)	4	7.1
III(사면상단)	4	7.1
IV(사면하단)	8	14.3
V(사면중간부)	26	46.4
VI(상부유실)	13	23.2
②합 계	56	100

### 3.5. 파괴시기

일반적으로 사면의 파괴는 내적 또는 외적요인에 의해 힘의 평형상태가 깨지면서 발생하거나 또는 강우등에 의해 풍화가 진행되면서 서서히 발생한다. 여기에서는 사면의 파괴시점을 힘의 평형상태가 깨지는 절취중, 절취완료~2년, 개통후로 구분하여 사면의 형성과정 중 어느 시점에서 파괴발생 빈도가 많은지를 분석하였다.

많은 사면파괴가 절취완료~2년내에 발생되는 것이 많은 것으로 분석되었는데, 이는 사면 절취 후에 암반이 풍화작용이 촉진되어 굴착전의 안정한 상태에서 불안정한 상태로 전환되면서 발생되거나 강우에 의해 암반의 단위중량이 증가하고 활동면의 전단강도가 저하되면서 발생하는 것으로 사료된다. 개통 후에도 많은 파괴빈도를 보이는 것으로 나타나고 있는데, 이것 또한 공용중의 강우와 사면의 풍화에 기인한 것이라고 볼 수 있다.

표 8. 파괴시기에 따른 파괴빈도

구분 파괴시기	파괴개소	빈도(%)
절 취 중	5	8.9
절취후-2년	30	53.6
개 통 후	21	37.5
②합 계	56	100.0

## 4. 퇴적암 사면 검토시 제안사항

퇴적암 지역에 건설되는 사면에서는 건설시 뿐만 아니라 공용중에도 층리면에 의한 평면파괴 현상이 두드러지게 나타나고 있으며, 공용 후에는 파괴문제 외에도 세일과 단층대의 차별풍화에 의한 낙석, 소규모붕괴 문제가 나타나고 있다. 층리면에 의한 파괴는 층리면에 충진된 점토층에

의해 주로 발생하고 있으며 파괴면까지의 심도가 4~12m정도의 중·대규모가 많이 나타나고 있으므로, 이러한 지역에서 사면을 형성하는 경우에는 불연속면(층리)의 발달방향과 경사, 층리면에 점토충진 여부에 대한 정보가 매우 중요하며, 공학적인 측면에서는 무결암의 강도뿐만 아니라 층리면의 전단강도 특성과 암석자체의 풍화에 대한 내구성 자료를 확보하여 사면설계에 이용하는 것이 매우 중요하다.

따라서, 이러한 정보획득을 위한 사면 조사시에는 지질구조의 파악을 위한 시험이 반드시 수반되어야 하며, 특히 층리면 사이의 점토 충진물을 여부를 확인하기 위한 조사기술이나 방법이 반드시 고려되어야 한다. 예를 들면, 시추시에는 굴진수의 사용을 최소화하고 굴진속도를 감소시켜 회수되는 시추코어의 상태를 최대한 양호하게 확보하는 기법을 사용하거나 시추공에 대한 BIPS시험 등을 실시하여 불연속면의 방향성과 파쇄대의 여부를 직접 확인하는 조사방법을 사용하는 것이 권장된다. 또한, 시추조사는 사면전체에 비해 1~2곳의 지점정보만 제공하므로 이 외에도 사면주변의 암반 노두에 대한 지표조사, 지형상태의 조사, 과거의 이력등을 종합적으로 조사하는 것이 필요하다.

이러한 자료의 활용은 기본적으로 도로 노선의 결정시에 가장 중요하게 활용할 수 있는데, 층리면의 방향성을 고려하여 도로방향이 층리면의 방향과 나란하게 하는 것이 사면문제를 최소화할 수 있으므로 경제적인 사면설계가 가능하며, 층리면의 방향이 도로방향과 직각되더라도 양쪽사면의 경사를 다르게 적용할 수 있는 기본 정보를 제공할 수 있다.

퇴적암 사면은 장기적인 관점에서 사면표면의 풍화나 강우에 의한 세굴등이 문제되는 경우가 많으며, 이는 풍화에 약한 세일의 존재 여부에 따라 식생이나 슛크리트 같은 사면의 조기 표면보호를 위한 방안이 수반되어야 하는 경우가 많다. 이러한 문제는 세일의 풍화에 대한 저항능력을 고려할 수 있는 Slaking Durability시험 등을 수행하여 어느 정도 대책을 수립할 수 있을 것이다.

이러한 사항을 고려하여 표 9에는 퇴적암 지역에서의 사면 설계시 조사·시험항목을 제안하여 나타내었으며 향후 퇴적암으로 이루어진 경상분지 지역에서 사면을 형성할 경우 참고적으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

표 9. 퇴적암지역의 사면설계 조사를 위한 제안

목적	조사·시험항목	조사·시험 빈도	비고
굴착 난이도 평가	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 시추굴조사</li> <li>· 시추조사</li> <li>· 탄성과 탐사</li> <li>· 전기비저항 탐사</li> <li>· 토모그래피(필요시)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 상부 토층구간(1~2개소)</li> <li>· 절토부 개소당 3개소 (연장·규모에 따라 추가)</li> <li>· 대절토 구간</li> <li>· 대절토 구간, 단층지역</li> <li>· 붕괴예상구간, 인근에 붕괴 발생예가 있는 지역</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 약 2m심도</li> <li>· 최대 도로계획고 하부5m까지 (시추는 NX 규격, double core barrel이용 실시, 점토충진여부 확인을 위하여 굴진수를 최소화 하고 굴진속도 천천히)</li> </ul>
안정성 평가	현장 조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 주변지역 전체</li> <li>· 노두 노출 구간</li> <li>· 붕괴예상구간, 시추공마다 실시</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 수리,수문 / 주변의 붕괴사태조사</li> <li>· 노출된 암반,암석 상태 조사</li> <li>· 불연속면 방향성, 암석상태 조사</li> </ul>
	시험	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 토층의 물성, 강도시험</li> <li>· 점하중시험, 일축압축강도시험 슈미트해머시험</li> <li>· 절리면 전단강도 시험</li> <li>· 풍화내구성시험(slake durability)</li> <li>· swelling시험(이암)</li> <li>· 공내전단시험(풍화암)</li> </ul>	
	· 현장시험		

## 5. 결 론

본 논문은 경상분지 퇴적암 지역을 지나는 고속도로 구간에 시공된 절토사면들 중에서 세일(사암, 이암)로 이루어진 절취사면의 붕괴특징을 분석하였으며 이로부터 다음과 같은 결론을 요약할 수 있다.

- 1) 경상분지퇴적암은 세일과 사암, 이암등의 퇴적암으로 이루어져 있으며, 층리면의 방향은 지역별로 차이를 나타내고 있으나 층리면 경사는 10~20° 정도로 나타나고 있다.
- 2) 이 지역의 사면 파괴는 주로 층리면에 의한 평면파괴 형태가 우세하게 나타나며, 파괴면의 경사는 층리면과 비슷한 20° 내외, 파괴면의 주향은 사면주향과 0~±30° 정도차이내에서 많이 발생한다. 파괴규모는 사면표면에서 파괴면 심도까지를 기준으로 할때 8m이내가 대부분이며, 파괴위치는 소단부분이 형성되는 사면내부와 상부의 유실이 가장 많이 발생하고 있다. 사면절취중에는 비교적 파괴빈도가 적지만 사면절취완료후와 공용중에 대부분의 파괴가 발생하고 있어 사면의 장기적인 안정성에 있어서도 고려해야할 것으로 나타났다.
- 3) 이러한 파괴특성을 고려할 때 퇴적암 지역에서의 사면조사 및 설계시에는 층리면의 발달방향과 경사, 층리면 사이의 점토층진상태 및 공학적 특성을 확인하기 위한 조사기법이 필요하며, 장기적인 사면의 풍화상태를 파악하기 위한 내구성시험등이 수반되어야 할 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. 김영수 외 (2001), 층리면을 고려한 세일의 공학적 특성, 한국지반공학회 논문집, 제17권, 제1호, pp.5~13
3. 유병욱 (1997), "암반절취면의 안정성 평가 및 대책에 관한 연구", 공학박사학위논문, 한양대학교
3. 정형식, 유병욱(1996), "지질특성에 따른 암반사면 붕괴유형연구", 한국지반공학회지, 제 12권, 제 6호, pp.37~49.
4. 한국도로공사 (1994-1996), "현장기술자문검토서(사면분야)", 한국도로공사 도로연구소.
5. 한국도로공사 (2000), 암석특성에 따른 절토사면 구배결정기준 연구, 연구보고서, 도로연00-9,
6. 황영철 (2002), " 국내 붕괴특성을 고려한 암반사면의 평면파괴 조건 연구", 지질공학회 논문집, 제12권, 제2호, pp287~286
7. 土質工學會(1977), 切土のり面, pp.3~4, pp.106~123.
8. Lee, Dai-Sung(1988), "Geology of Korea(Second Edition)", Kyohak-Sa Publishing Co., pp.7~10.
9. Hoek, E. & Bray, J.(1981). "Rock Slope Engineering". Revised Third Edition. Institute of Mining and Metallurgy, London, p.88, 114, pp.150~159 171.