

지질특성에 따른 암반사면 붕괴유형연구

Failure Types in Rock Slopes According to Geological Characteristics

정 형 식*¹

Chung, Hyung-Sik

유 병 옥*²

You, Byung-Ok

Abstract

In this study, we collected data through the investigation of rock slopes of highway. By analyzing the collected data, the main factors of rock slope failure were studied. We studied on the failure types and scales according to rock types and geological structures in many rock slopes of highway.

As a result, it was shown that many failed slopes were distributed in the areas of Cretaceous sedimentary rocks of south-eastern part in the Korean Peninsula and the Gneiss Complex in both Kyōnggi-Do and Kangwon-Do.

According to rock types, the following slope failure types were shown: that igneous rocks had the types of rock fall, plane failure, soil erosion and circular failure but had low failure frequency, and sedimentary rocks had predominantly the type of plane failure. Metamorphic rock showed the types of circular failure, wedge failure and plane failure due to poor rock qualities.

According to geological structures, the following slope failure types were shown: slope failure in igneous rocks was caused by joints, and in sedimentary rocks by bedding plane, and in metamorphic rocks by faults and poor rock qualities.

요 지

본 연구는 국내 고속도로의 암반사면의 현장조사를 실시하여 암반사면의 붕괴형상 및 특징을 암종 및 지질구조에 따라 분류하였으며 사면의 암종에 따른 붕괴규모, 붕괴시기 등을 분류하고 불안정한 사면에 영향을 주는 주요 지질구조에 대해 분석하였다.

연구결과, 붕괴 빈도가 높은 사면은 한반도의 남동측에 나타나는 중생대 백악기 퇴적암층과 경기일원 및 강원도 일원의 비교적 넓게 분포하고 있는 선캠브리아기의 편마암, 편암지대에 분포하는 것으로 나타났다. 암종에 따른 붕괴유형은 화성암이 낙석, 평면파괴, 토층유실, 원호파괴

*¹ 정회원, 한양대학교 토목공학과 교수

*² 정회원, 한양대학교 토목공학과 박사수료, 한국도로공사 도로연구소 연구원

의 붕괴유형을 보이나 붕괴빈도가 비교적 낮고 퇴적암에서는 평면파괴가 우세하게 나타났으며 세일층의 차별적인 풍화에 의해 붕락형의 붕괴유형을 보이기도 하였다. 그리고 변성암에서는 암질불량으로 인한 원형파괴, 단층구조 및 엇리 등으로 인한 쉼기파괴, 평면파괴양상을 보였다.

지질구조에 따른 붕괴는 퇴적암에서는 주로 층리에 의해서는 붕괴가 발생되었으며 화성암에서는 절리, 그리고 변성암에서는 단층과 암질불량에 의한 붕괴가 우세한 것으로 나타났다.

Keywords : Rock slope, Slope failure types, Geological structures, Rock types, Joint, Fault, Foliation, Bedding

1. 서론

인구증가 및 산업발달로 인해 국토의 효율적인 개발이 요구되면서 산악지형이 많은 우리나라는 산지를 절취하여 도로개설 및 주택단지를 개발하므로써 대규모의 절취사면이 형성되고 있는 경우가 많다.

일반적으로 절취사면은 얇은 토층과 풍화토, 풍화암, 연암, 경암 등의 풍화도가 다른 물질로 구성된다. 그러나 지반구성물질에 대한 공학적인 시험에는 많은 경비가 요구되며 현지반을 정확히 파악하는데는 한계성을 가지고 있어 시공중 또는 후에 암반사면의 안정성 문제가 대두되고 있는 실정이다.

암반사면의 안정에 영향을 미치는 요소로는 암석종류, 풍화, 지질구조 특성 등의 내적인 요인과 강우, 응해, 지진, 발파 등의 외적인 요인을 들 수 있다. 이들 중 특히, 암반사면의 내적인 요인들이 사면안정에 커다란 영향을 주는 주요인으로 작용할 수 있으며 국내에 분포하는 암반의 지질학적인 구분과 이들 암반에 대한 공학적인 특성을 파악하고 이에 따라 사면안정처리대책방안을 수립하는 것이 매우 중요한 일이다.

지역에 따라 분포하는 암석종류, 지질시대 및 지질구조에 따라 붕괴유형 및 발생빈도에서 다른 특성을 보일 수 있기 때문에 현장조사 자료의 데이터베이스를 구축하고 이들 자료를 잘 활용한다면 도로 및 주택단지의 개설시에 비적인 사면안정문제를 예견할 수 있을 것으로 사료된다.

그러므로 본 연구에서는 국내 고속도로 주변의 암반사면에 대해 암석의 종류에 따라 지질구조 특성, 풍화특성, 지형형상 등을 파악하고 사면붕괴유형, 붕괴규모 등을 분류하여 사면의 안정성에 영향을 주는 요인을 분석하고자 한다.

2. 한국의 지질특성

현재의 한반도형태는 중생대 백악기말 내지 신생대 제3기 초에 형성된 것으로 알려졌으며 백악기말 이후 오늘날까지 동해안의 일부지역을 제외한 전 지역에서 계속된 육화와 더불어 침식에 의하여 선캠브리아누대의 변성암류와 화성암 저반이 노출된 침식지형이 지배적이다. 제4기에 있었던 한국방향(N-S)을 축으로 한 기울어짐은 태백산맥과 낭림산맥을 형성하였으며 동고서저의 지형적 특색을 나타나게 하였고, 추가령열곡을 경계로 북쪽과 남쪽의 지형이 현저한 차이를 나타내고, 이는 지질 및 지체구조에 깊은 관련성을 갖는다.

한반도의 지질은 선캠브리아누대의 지층에서 신생대층에 이르기까지 다양한 분포를 보인다. 한반도의 기반을 이루는 선캠브리아누대의 변성암류와 고생대 및 중생대의 심성암류는 여러 시기의 지각변동과 백악기 이후의 응기와 삭박작용에 의하여 크게 노출되어서 분포면적이 한국 지질의 반이상을 차지한다. 지형적 특색에서와 마찬가지로 지질에서도 추가령열곡을 경계로 북쪽과 남쪽이 현저한 차이를 나타낸다. 이러한 지질특성을 요약하면 다음과 같

다(정창희, 1986).

- ① 추가령열곡을 경계로 북쪽에는 선캄브리아누대의 변성암류와 고생대층이 우세하게 분포하나, 남쪽에는 중생대 지층도 함께 널리 분포한다.
- ② 지질구조에서도 북쪽에는 요동방향(NEE-SWW)이 지배적이나, 남쪽에는 중국방(NE-SW)이 우세하다.
- ③ 중생대 화강암류의 저반이 북쪽에는 무질서하게 산재하나, 남쪽에서는 중국방향의 육천대에 평행하게 대규모의 저반을 이룬다.
- ④ 중생대층의 넓은 분포지는 한반도의 동남부인 영남지방과 남해안지역이다.
- ⑤ 제3기층은 동해안을 따라 작은 조각으로 10 여곳에 분포하고, 서해안에서는 두 곳에서 발견되었을 뿐이다.
- ⑥ 제4기의 화산암은 제주도, 울릉도, 백령도, 추가령열곡, 길주-명천 지구대, 백두산 부근에 분포한다.
- ⑦ 지층의 특징으로 해성층이 적고 육성층이 많아, 고생대 전반까지의 지층은 대체로 해성층이나, 그 이후의 지층은 제 3 기층의 일부를 제외하고는 모두 육성층이다.

3. 고속도로별 사면의 분포현황

국내에는 16개 노선에 1,650km의 고속도로가 개설되어 있으며 신설 및 기존 고속도로의 확장사업이 계속적으로 추진되고 있다. 이들 중 사면높이가 20m 이상되는 대절토 사면은 각 노선별로 표 1(한국도로공사, 1991)에서와 같이 88고속도로 및 영동고속도로, 중앙고속도로에 대절토 사면이 비교적 많이 분포한다.

기존 고속도로 구간에 이들 2,084개의 사면 중 비교적 붕괴위험도가 높은 사면은 30개소에 이르며 신설 구간에서는 238개소, 확장 구간에서는 70개소가 분포한다. 그러나 이들 사면중 공사중 또는 개통후에 사면붕괴가 발생되었거나 붕괴 위험이 있어 현장조사를 실시한 사면은 75개소에 이른다.

노선별 사면붕괴현황은 그림 1에서 보는 바와 같이 구마고속도로가 확장공사중 가장 많은 사면붕괴가 발생되었으며 중앙고속도로와 서울외곽고속도로가 다음으로 많은 사면안정의 문제가 발생된 것으로 나타났다. 이는 주로 사면 절취공사중 또는 절취후에 발생된 것이 많으나 구마고속도로의 경우, 토공이 완료된 후 1년 이내에 발생된 사면이 많은 것으로 나타났다.

표 1. 고속도로의 사면분포현황(20m 이상의 대절토사면)

	노 선		조사 개소	노 선	조사 개소			노 선		조사 개소			
	소 계	개소			소 계	개소		소 계	개소				
기 존	소 계	2,084	19	소 계	238	30	화 장	소 계	77	26			
	성 부	3	신	서 울 외 곽	10	8		구 마 (옥포-내서)	구 마	20	16		
	영 동	1		대전 진주 (서진주-진주)	13	-			남 해 (하안 동광양 연결로)	남 해	8	9	
	중 부	2		서 해 안 (안산 안중)	25	6				고서-순천	31	-	
	호 남	5		세 2 경 인	10	-			영 동 (신갈 원주)	영 동	15	1	
	88	6		서 해 안 (시흥-안산)	5	4				반포-양재	3	-	
	서 울 외 곽 (관교-퇴계원)	2		실	중 앙	175			13				
	남 해	-											
서 해 안 (인천-안산)	-												

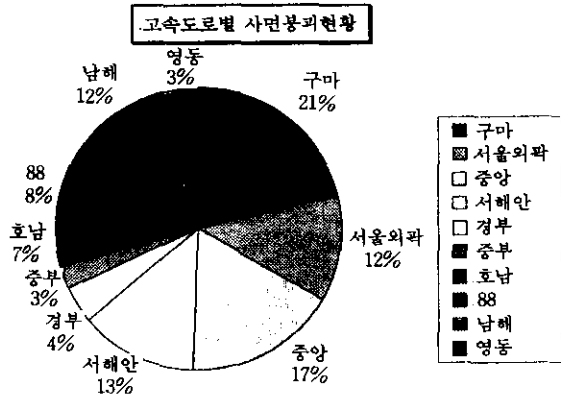


그림 1. 고속도로 노선별 사면붕괴현황

4. 지질특성에 의한 붕괴사면의 분류 및 원인

4.1 붕괴사면의 분포

고속도로의 절취사면은 도로건설에 의해 인공적으로 형성된 것으로 절취사면의 안정성은 환경적인 조건과 지질적인 요인에 의해 좌우된다. 지질적인 특성은 붕괴발생에 큰 영향을 줄 것으로 사료되며, 특히 암석의 종류에 따라 지질적인 특성은 달라지므로 암석종류는 붕괴를 일으키는 가장 중요한 요인이 될 수 있다.

전국에 분포하는 고속도로 사면중 붕괴 발생

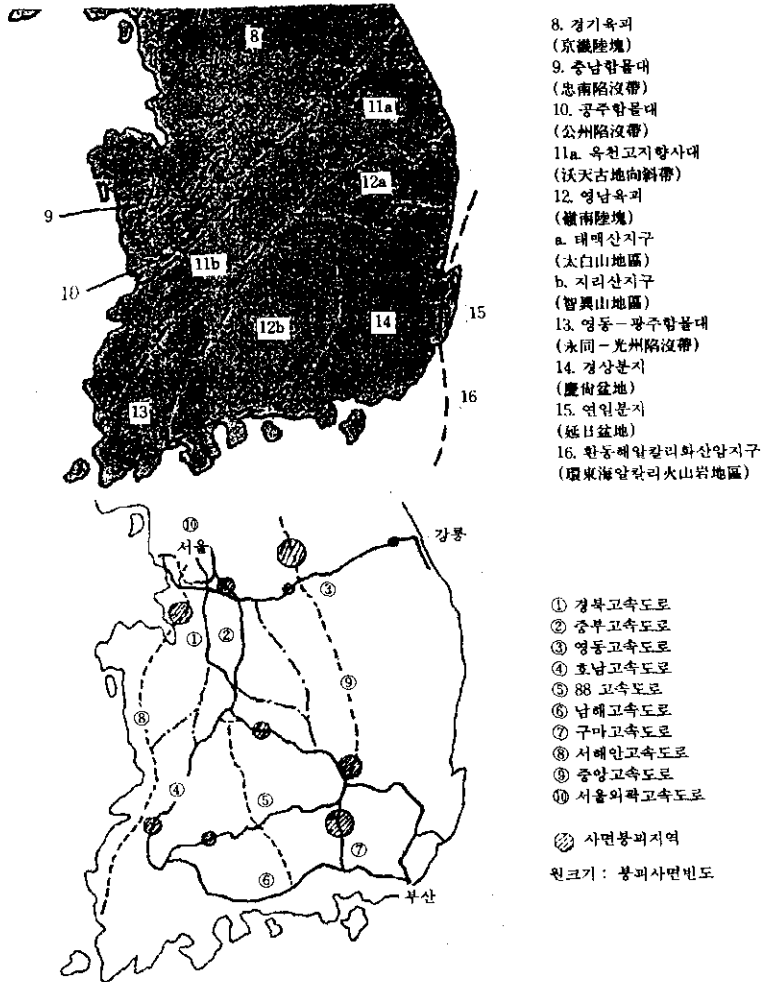


그림 2. 한국의 지체구조도(김옥준, 1980)와 사면붕괴분포상태 비교

를 추정하여 보면, 그림 2와 같이 경기도 및 강원도 일대의 중부지방에서 가장 높고, 경상 남북도 일대의 남부지방에서 다음으로 높은 붕괴빈도를 보인다. 이것을 한국지체구조도(김옥준, 1987)와 비교하여 보면 전체 붕괴빈도중 경상육괴의 편마암지대에서 46.7%를 차지하는 붕괴비율을 나타내고 경상분지를 이루는 퇴적암지대에서는 34.7%, 육천고지향사대의 퇴적 변성암에서는 10.6%, 영남육괴를 이루는 압층에서는 8%의 붕괴 비율을 나타내고 있다.

4.2 붕괴유형별 분류

4.2.1 암종에 따른 사면붕괴유형

일반적으로 암석사면은 크게 평면파괴, 췌기 파괴, 전도파괴, 원형파괴의 네가지 붕괴유형을 갖는데 이는 퇴적암, 화성암 및 변성암에 따라 발달하는 불연속면의 특성에 차이를 보이므로 사면을 형성하는 암종과 매우 밀접한 관계를 갖는다(最新 斜面·土留め技術總覽編集委員會, 1991; 山田剛二, 小橋燈治, 1971).

본 연구에서 조사된 사면은 화성암으로 화강암, 화강반암, 안산암, 섬록암, 퇴적암으로는 사암, 세일, 화산각력암이며 변성암으로는 편마암, 편암, 천매암, 규암으로 이루어진 사면이다.

전국에 분포하는 고속도로에서 발달하는 사면을 대상으로 조사된 암종에 따른 붕괴현황은 표 2 및 그림 3 및 그림 4와 같다.

표 2. 암종에 따른 사면붕괴유형
(조사사면 75개소, 붕괴구간 80개)

붕괴유형	암종			계
	화성암	퇴적암	변성암	
평면파괴	1	25	18	44
췌기파괴	1	0	13	14
전도파괴	1	0	0	1
원형파괴	1	0	9	10
낙 석	2	3	1	6
토층유실	1	0	4	5
계	7	28	45	80

본 결과에 의하면, 평면파괴가 전체 붕괴개소의 50% 이상을 차지하며 변성암과 퇴적암에서 우세하게 발생하고 다음으로 췌기파괴, 원형파괴, 낙석, 토층유실의 순으로 나타났다. 평면파괴는 주로 사면과 유사한 방향의 지질구조에 의해 발생하는 것으로 퇴적암에서는 주로 층리가 변성암에서는 단층 및 절리가 주지질구조가 된다.

각 암종에 따라 붕괴유형은 다음에서 언급되는 바와 같이 특성을 가지고 있다.

1) 화성암으로 이루어진 사면

화성암으로 이루어진 사면의 불연속면의 발달특성으로는 지형과 유사하게 발달하는 판상 절리와 수직절리가 우세하게 발달하여 이들 판상절리에 의한 평면파괴 가능성이 있으며 수직절리에 의해 전도파괴의 가능성이 있다. 그리고 상부 토층의 경우는 석영이 많이 혼입된 자갈 내지 모래질로 이루어져 빗물에 의해 유실 가능성이 크다.

본 연구에서는 화성암으로 이루어진 사면은 비교적 안정된 사면이 많아 자료가 부족하기는 하나 화성암으로 이루어진 사면은 낙석 및 평면파괴, 토층유실, 풍화에 의한 원형파괴 등의 다양한 붕괴양상을 보인다.

2) 퇴적암으로 이루어진 사면(경상분지층)

중생대 백악기층의 퇴적암은 남해고속도로, 구마고속도로, 중앙고속도로의 한반도 남동측 지대에 위치한다(Lee, Dai-Sung, 1987).

본 퇴적암으로 이루어진 사면의 붕괴양상은 구마고속도로의 경우, 층리경사방향이 도로쪽으로 향한 하행측 사면에서 사면안정의 문제가 발생되고 있으며, 특히 층리면에 점토질이 충전되어 있는 경우가 빈번하여 대규모적인 사면 상부로부터의 평면파괴가 주를 이룬다. 그러나 남해고속도로의 경우는 세일층과 사암이 교호되어 세일이 차별적인 풍화를 받아 사암이 붕락되는 유형의 붕괴양상을 보인다. 중앙고속도로 대구측의 경우는 풍화에 약한 적색세일이 발달하여 세일층이 풍화를 받아 원형파괴양상을 보인다.

3) 변성암으로 이루어진 사면

대부분 선캠브리아기의 고기에 형성된 암석으로 복잡한 지질구조가 발달하여 조사시 세심한 주의를 요하며 특히 사면내에 단층파쇄대, 단층점토 등의 약선대의 존재여부를 주의 깊게 판단하여야 한다.

변성암중 가장 많이 사면안정문제가 발생되는 사면으로는 편마암으로 이루어진 사면으로 편마암은 서울외곽 고속도로, 서해안 고속도로, 중앙고속도로 춘천측, 88 고속도로의 일부 구간, 중부고속도로의 일부구간에 분포하며 평면파괴, 쉐기파괴, 원형파괴 등의 다양한 붕괴양상을 보인다. 이는 편마암에 주로 발달하는 지질구조선인 단층과 엽리에 의해 매우 작은

절리면 거칠기(joint roughness coefficient : JRC)를 갖고 단층점토나 점토질이 절리면에 충전되어 있는 경우가 많아 붕괴빈도가 많은 것으로 나타났다.

4.2.2 암종에 따른 붕괴규모

본 연구에서는 암종에 따른 붕괴규모를 표 3과 같이 사면표면에서 활동면까지의 최대심도를 기준으로 하여 다섯 개의 유형으로 암종별에 대한 붕괴빈도를 분류하였다.

75개소의 조사사면에 대한 조사결과는 다음 표 4, 그림 5와 같으며 주로 퇴적암에서는 3-type의 붕괴가 많으며 변성암중 주로 편마암에서는 2-type과 3-type의 붕괴가 많이 발생한

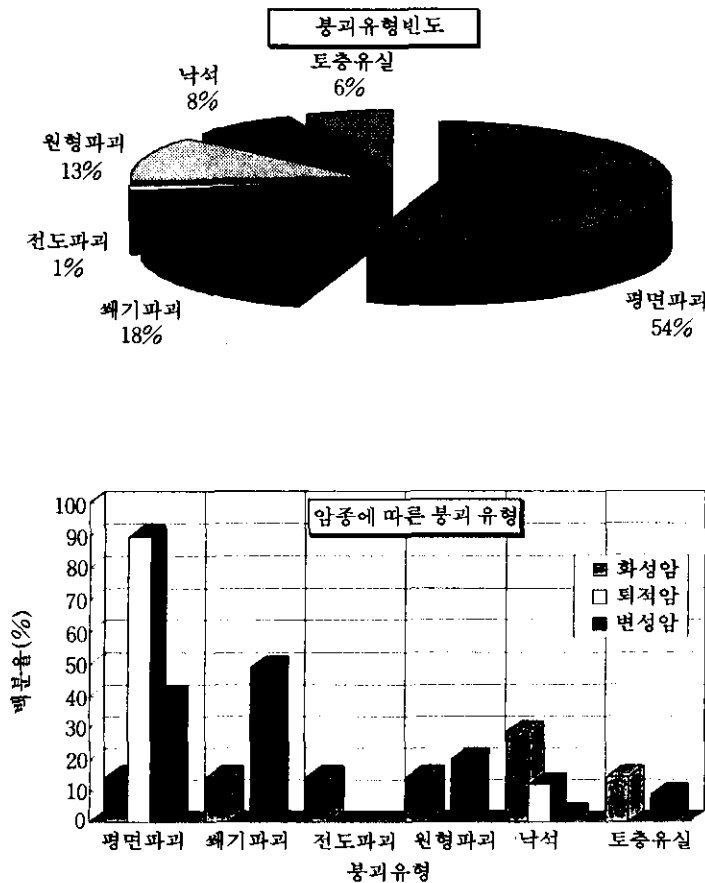


그림 3. 암종에 따른 사면붕괴의 유형별 빈도

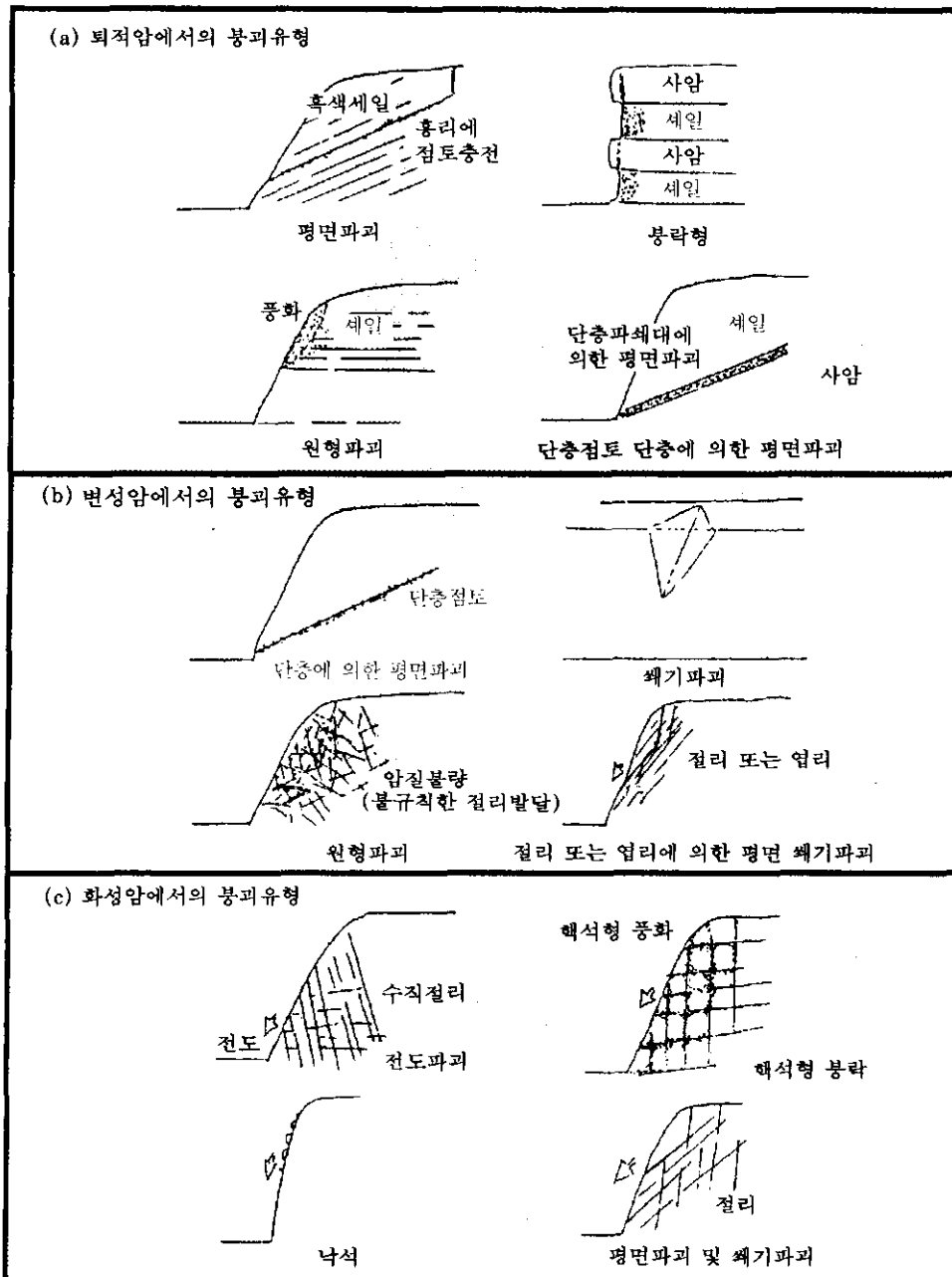
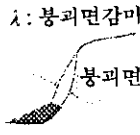


그림 4. 암종에 따른 사면의 붕괴 유형

다. 그러나 5-type의 붕괴는 대규모의 사면붕괴로 산정부에서 부터 활동이 된 사면들로 활동체적이 100,000m³~300,000m³에 이른다. 이

는 단층대에 파쇄대 및 점토층이 충전된 경우에 발생된 것이다.

표 3. 붕괴규모의 구분

Type	1	2	3	4	5	비고
분류기준	낙석, 토층유실	0-4m	4-8m	8-12m	12m 이상	λ: 붕괴면감마 

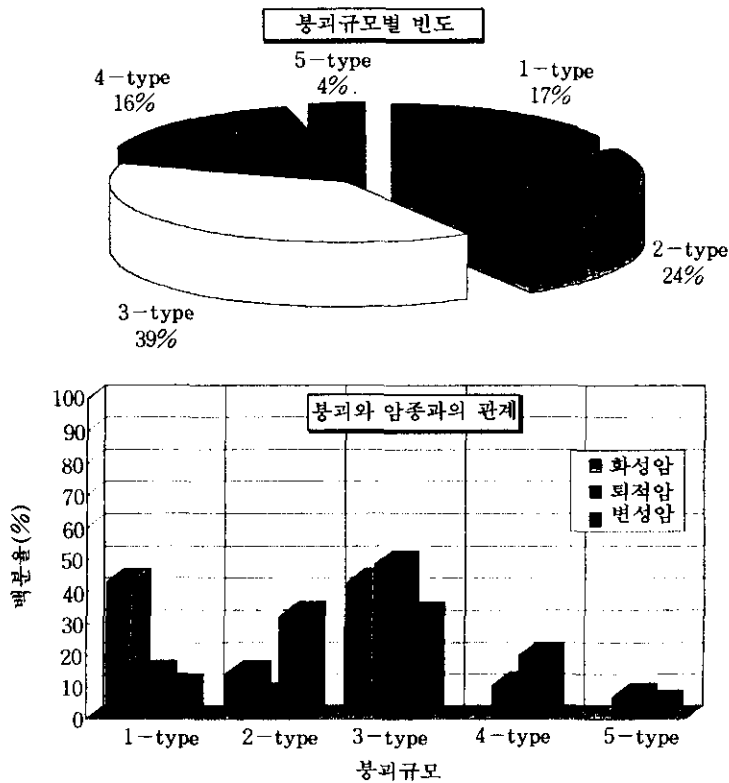


그림 5. 암종에 따른 붕괴규모

표 4. 암종에 따른 사면붕괴규모

분류기준	암종			계
	화성암	퇴적암	변성암	
1-TYPE	3	4	4	11
2-TYPE	1	2	13	16
3-TYPE	3	13	13	29
4-TYPE	0	3	8	11
5-TYPE	0	2	2	4
계	7	28	40	75

4.2.3 지질구조에 따른 붕괴양상

암반사면의 붕괴는 암반에 발달하는 불연속면에 의해 좌우되며 사면붕괴의 주원인이 될 수 있는 불연속면으로는 절리, 엽리, 단층, 층리 등이 있다. 절리(joint)는 모든 암석내에 분포하나 층리(bedding)는 퇴적암, 엽리(foliation)는 변성암중 편마암에서 발달하는 지질구조이고 단층파쇄대는 주로 변성암에서 우세하게 발달하는 지질구조이다.

조사된 사면중 특히 암반내에 발달하는 지질구조중 표 5와 그림 6에서 보는 바와 같이 절리는 모든 암석에 발달하는 지질구조이므로 각 암종에 따라 비교적 고른 분포를 보인다. 층리는 퇴적암의 지질구조로 층리면에 의해 평면과괴가 주로 발생되었으나 세일층의 풍화로 인해 사암이 낙석되기도 한다. 그리고 엽리는 변성암의 지질구조로, 이로 인해 평면과괴 및 쉼기과괴가 발생기도 하며 단층에 의한 사면붕괴는 변성암에서 우세하게 나타나고 있다. 그러나 변성암에서 암실불량으로 인한 붕괴양상도 빈번히 나타나고 있다.

표 5. 지질구조에 따른 사면붕괴현황

지질구조	암종			계
	화성암	퇴적암	변성암	
절리	6	5	7	18
층리	0	19	0	19
엽리	0	0	3	3
단층	0	0	12	12
풍화	1	3	5	9
암실불량	0	1	13	14
계	7	28	40	75

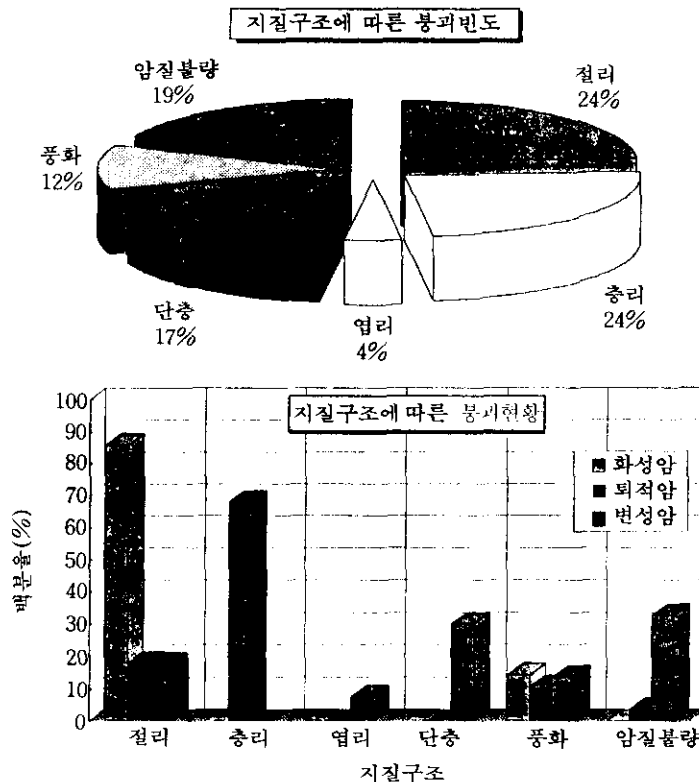


그림 6. 지질구조에 의한 붕괴양상

4.2.4 붕괴시기

일반적으로 사면활동은 지반의 평형상태가 깨어지면서 발생하는 것이므로 사면의 붕괴시기를 다음 표 6과 같이 절취중, 절취완료 1년 이내, 절취완료 1년 이후(개통후)의 세가지로 구

분하여 암종에 따라 붕괴빈도를 구분하였다.

이 결과, 그림 7에서와 같이 주로 퇴적암과 편마암의 많은 사면의 붕괴가 사면을 토공완료 1년 이내에 발생하는 것이 많은 것으로 분석되었는데 이는 사면 절취후에 암반이 풍화작용이

촉진되어 굴착전의 안정한 상태에서 불안정한 상태로 전환되면서 발생되거나 강우에 의해 암반의 단위중량이 증가하고 활동면의 전단강도가 저하되면서 발생하는 것으로 사료된다.

표 6. 암종별 붕괴시기

붕괴시기	암종			계
	화성암	퇴적암	변성암	
절취중	1	6	9	16
절취후-1년전	1	18	19	37
개통후	5	4	12	21

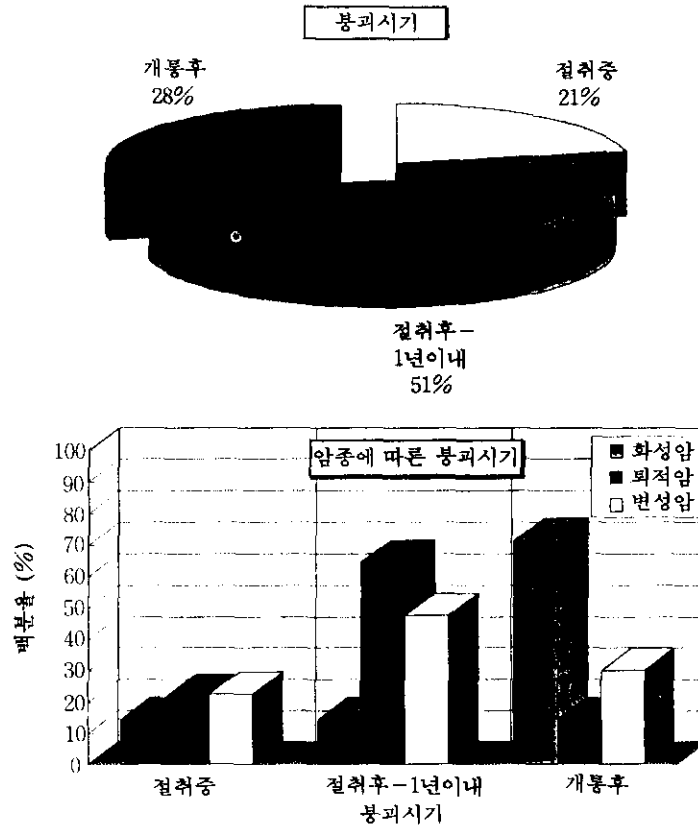


그림 7. 암종별 붕괴시기

4.3 사면붕괴의 주요 원인

국내의 고속도로에 분포하는 암반사면의 붕괴는 구성암반과 밀접한 관계를 가지고 있는 것으로 사면의 붕괴빈도가 경기변성암복합체를 이루는 편마암, 편암과 중생대 백악기의 퇴적암에 높은 붕괴빈도를 보이는 것으로 나타났다.

경기 변성암복합체를 이루는 암층은 복잡한

지질구조선 및 불규칙한 풍화양상을 보이며 지표에 노출시, 풍화되기 쉽고 균열에 의해 깨짐이 발생한다. 퇴적암층은 주로 세일과 사암으로 이루어진 암층으로 점토질이 충전된 층리면을 따라 붕괴가 발생하는 특성을 가진다.

주로 암반사면붕괴는 암질불량, 심한 풍화작용 및 사면방향과 유사한 방향으로 지질구조가 발달한 상태에서 비가 온 후에 발생하는 사례들이 많았다.

5. 암중에 따른 사면안정대책

본 연구는 조사사면을 암중 및 지질구조별로 구분하여 암중별로 사면붕괴빈도 및 특징을 살펴 보았다. 이들 암중에 따른 사면의 특징, 붕괴형태, 적용대책공법에 있어 주의점에 대해 개략적으로 기술하면 표 7과 같다.

5.1 화성암으로 이루어진 사면

암석강도는 비교적 강한 특성을 보이고 미세 균열이 심하게 발달하여 동결융해작용에 의해 쉽게 풍화된다. 풍화심도가 비교적 얇으며 수직절리가 많이 발달하여 경우에 따라 핵석형의 연암질 또는 경암으로 이루어진 암편을 함유하여 시추조사시 오류의 요인이 될 수 있다. 그리고 불연속면의 발달특성은 판상절리 및 수직절리가 우세하여 판상절리에 의한 평면파괴 및 수직절리에 의한 전도파괴의 가능성이 크며 상부 토층의 경우, 석영질이 많이 혼입된 자갈 내지 모래질을 함유하여 빗물에 의해 유실될 가능성이 크다(한국도로공사, 1992-1993, 1994).

그러므로 사면안정대책은 토층유실에 대해 식생을 촉진시켜 빗물에 의한 사면의 유실을 방지하는 사면안정 방안이 좋으며 암반의 낙석을 방지하기 위하여 낙석방지망을 씌우는 것도 좋을 것으로 보인다.

그리고 사면안정대책의 적용시 주의하여야 할 사항은 사면내에 비교적 경암질이 존재한다고 하더라도 Rock Anchor와 같은 억제공법의 적용시 미세균열 및 핵석형의 풍화양상을 보여 정착장이 충분한 전단강도의 발휘에 문제가 될 수 있으므로 충분한 인발시험을 실시하여 허용인장강도값을 가질 수 있는지의 여부를 판단해 보아야 한다.

5.2 퇴적암으로 이루어진 사면

퇴적암중 세일로 이루어진 사면의 풍화특성은 지표에 노출시 빠른 시간에 풍화를 받을 수 있으며 구마고속도로 사면은 하부에 호온펠스

화 작용을 받은 경암질과 풍화를 받아 있는 연암층이 뚜렷한 경계면을 이루고 있다.

암석강도는 층리방향과 층리방향에 수직인 경우 암석강도에 큰 차이를 보이는 이방성의 특성을 보인다. 지질구조선은 20° 내외의 경사를 갖는 층리가 우세하며 구마고속도로는 층리 경사방향이 도로방향으로 향한 하행측 사면에서 사면안정의 문제가 발생되고 있다. 층리면에서 점토질이 충전되어 있는 경우가 빈번하므로 이로 인한 대규모의 평면파괴가 주를 이룬다.

이들 사면의 안정대책은 시공성 및 현장여건에 따라 여러 가지의 안정대책을 실시할 수 있으나 위에서 언급된 암반의 특성을 충분히 파악하여 적절한 안정대책공을 적용하여야 하며 평면파괴에 대한 안정대책으로는 Rock Anchor공 및 기성말뚝공으로 강관, H형강, 고강도 강관말뚝, PC 말뚝, RC 말뚝과 현장타설식 RC 말뚝, 합성말뚝 등을 이용하여 활동에 대한 억제공법도 효과적이다(한국도로공사, 1992-1993, 1994). 그리고 사면경사완화는 사면 특성을 파악하여 강도정수를 파악한 후에 적절한 안정경사각을 추정하여야 한다.

중요한 것은 설계단계에서 퇴적암으로 이루어진 남해고속도로, 구마고속도로, 중앙고속도로의 한반도 남동측 지대에서는 정확한 퇴적층의 방향을 판단한다면 사면붕괴를 미연에 방지할 수 있는 적절한 대책을 수립할 수 있을 것으로 사료된다.

5.3 변성암으로 이루어진 사면

대부분 선캠브리아기의 고기에 형성된 암석으로 복잡한 지질구조가 발달하여 조사시 세심한 주의를 요하며 주로 조사하여야 할 사항으로는 사면내에 단층파쇄대, 단층점토 등의 약선대의 존재여부를 주의 깊게 판단하여야 한다.

풍화양상은 암반내에 열수용액의 작용으로 인한 하부에 풍화대의 존재 및 핵석형의 풍화양상을 보이기도 하며 풍화대의 심도가 깊다.

시추조사시 경암으로 이루어진 암석이라 할

표 7. 고속도로별 암종의 분포 및 사면의 제반 특성

암 종	분포고속도로	풍 화 특 성	불연속면 발달특성	사면붕괴유형
화성암	경부, 88, 영동 중부, 남해 서해 안, 중앙 호남	-강한 강도특성 -미세균열 심함 -동결융해작용에 의해 쉽게 풍화 -풍화심도 비교적 얇음	-수직절리 발달 -절리면 비교적 치밀 -절리면 거칠기 : Rough -높은 전단강도	-낙선 -평면파괴 -토층유실 -원형파괴 -전도파괴
퇴적암	구마(해양층군) 남해, 경부, 중부 (국부적), 88, 중앙	-지표노출시 쉽게 풍화 -하부에 호온펠스화 작용을 받은 경암질회과 풍화를 받 아 있는 연암층이 뚜렷한 경계면을 이룸(구마선) -암석강도의 이방적 특성을 보임	-층리발달 -층리면 경사 : 18~20°(구 마선) 수평(남해선) -층리면에 점토층진(구마 선) -절리면거칠기(Planar) -낮은 전단강도	-평면파괴 -암괴붕락(세 일의 차별적 인 풍화에 의 한)
변성암	경부, 중부, 영 동, 호남(옥천층 군), 중앙, 서울 외곽, 서해안, 88, 남해	-단층파쇄대, 단층점토 등의 약선대의 존재가능성 큼 -암반내에 열수용액의 작용 으로 인한 하부에 풍화대 존재 가능성이 큼 -해석형 풍화양상 -풍화 심도 깊음	-단층에 의해 붕괴 가능성이 큼(서해안, 서울외곽, 중앙 춘천층) -복잡한 지질구조 -단층파쇄대, 단층점토 등의 약선대의 존재여부를 주의 깊게 판단하여야 함	-평면파괴 -썰기파괴 -원형파괴

지라도 그 하부에 사면방향과 유사하게 발달된 단층파쇄대와 같은 약선대가 존재한다면 대규모의 붕괴의 요인이 될 수 있으므로 이들 암석에서는 정밀한 시추기술 및 시추장비를 이용하여 도로계획고의 1m 미만까지는 시추를 실시하여 암반내에 발달된 불연속면의 발달양상을 파악하여야 한다.

변성암으로 이루어진 사면은 시공성 및 현장 여건에 따라 여러가지의 안정대책을 실시할 수 있으나 암반의 특성을 충분히 파악하여 적절한 안정대책공을 적용하여야 한다(한국도로공사, 1992-1993, 1994).

6. 결 론

본 연구는 차후 절취사면의 설계 및 시공에 필요한 기본적인 자료를 제공하고자 국내 고속도로의 절토사면에 대해 현장조사 및 안정성평가를 통하여 사면의 붕괴유형 및 특징을 파악

하고 암석종류에 따라 사면붕괴유형 등을 분류하여 불안정한 사면에 영향을 주는 요인에 대해 분석한 결과로서 다음과 요약된다.

- 1) 전국 고속도로의 75개소 사면을 조사한 바에 의하면, 붕괴 빈도가 높은 사면은 한반도의 남동측에 분포하는 중생대 백악기 퇴적암층과 경기일원 및 강원도 일원의 비교적 넓게 분포하고 있는 선캄브리아기의 편마암, 편암지대에 분포하는 것으로 나타났다.
- 2) 암종에 따른 붕괴유형은 화성암은 낙석, 평면파괴, 썰기파괴, 전도파괴, 토층유실, 원호파괴의 다양한 붕괴유형을 보이나 붕괴빈도가 비교적 낮으며 퇴적암에서는 평면파괴가 우세하게 나타났으며 세일층의 차별적인 풍화에 의해 붕락형의 붕괴유형을 보이기도 한다. 그리고 변성암에서는 암질불량으로 인한 원형파괴, 단층, 엽리로 인한 썰기파괴, 평면파괴양상을 보인다.

- 3) 지질구조에 따른 붕괴는 퇴적암에서는 주로 층리에 의해서는 붕괴가 발생되며 화성암에서는 절리, 그리고 변성암에서는 단층과 암질불량에 의한 붕괴가 우세한 것으로 나타났다.
- 4) 붕괴규모는 퇴적암은 붕괴유형상으로 사면상부에서 부터의 붕괴가 많으며 변성암에서는 많은 사면이 소단부에서 발생하는 경우가 많았다. 붕괴규모는 주로 중간정도에 해당되나 단층파쇄대나 점토층이 충전된 층리를 따라 발생하는 붕괴는 대규모의 붕괴양상을 보였다.
- 5) 차후 계속적으로 불안정한 사면과 안정한 암반사면의 조사가 이루어져 사면의 불안정한 요인을 파악하여 지역적으로 사면붕괴원인, 특성 및 붕괴유형 등에 대해 많은 자료축적이 이루어져 국내 사면설계에 필요한 자료를 구축하여야 한다.

참 고 문 헌

1. 김성환, 유병옥(1994), "사면안정처리공법에 관한 연구 (I)", 한국도로공사 도로연구소.
2. 유재일, 유병옥(1991-1993), "사면안정처리에 관한 연구 (I, II, III)", 한국도로공사 도로연구소.
3. 한국도로공사(1992-1993), "기술자문검토 사례집", 한국도로공사 도로연구소 지방연구실.
4. 한국도로공사(1994), "현장기술자문검토 사례집(사면분야)", 한국도로공사 도로연구소 지방연구실.
5. 정창희(1986), "일반지질학개론", pp. 585~591.
6. 원종관외 5인(1989), "지질학원론", 오성문화사, pp. 600.
7. 日本 最新斜面・土留め技術總覽編集委員會(1991), "最新斜面・土留め技術總覽", pp. 22~23, p. 57, pp. 273~282.
8. 山田剛二, 小橋燈治(1971), "地すべり・斜面崩壊の實態と對策", pp. 403~408.
9. Lee, Dai-Sung(1987), "Geology of Korea", Geological Society of Korea, Kyohak-Sa, pp. 11~13, pp. 175~187.

(접수일자 1996. 3. 4)