

고속도로 절토사면 분포현황 및 붕괴특성 Distribution and Failure characteristic of Cut Slopes on Highways

유병옥, Byung-Ok You¹⁾, 황영철, Young-Cheol Hwang¹⁾, 전기성, Ki-Sung Chun¹⁾, 김태수, Tea-Su Kim²⁾

1) 한국도로공사 도로연구소 책임연구원, Chief Researcher, Highway Research Center, Korea Highway Corporation

2) 한국도로공사 도로연구소 연구원, Researcher, Highway Research Center, Korea Highway Corporation

개요(SYNOPSIS) : 산악지를 절취하여 형성된 국내의 고속도로 상에 분포하는 절토사면은 그 분포갯수가 많아 분포현황 조차 파악이 어려운 상태이며 체계적인 관리가 되지 않은 상태였다.

본 논문은 지난 1년동안 현장조사된 자료를 토대로 국내 고속도로상에 분포하는 절토사면의 현황을 파악하고 노선별로 절토사면에 대한 현장조사자료를 분석하여 각암종별 사면의 붕괴유형 및 붕괴원인에 대해 분석하였다.

주요어(Key words) : 절토사면, 사면안정, 절토사면분포, 사면붕괴, 사면붕괴원인, 붕괴유형, 지질구조, 암석종류

1. 서론

인구증가 및 산업발달로 인해 국토의 효율적인 개발이 요구되면서 산악지형이 많은 우리나라는 산지를 절토하여 도로개설 및 주택단지의 개발로 인해 대규모의 절토사면이 형성되고 있는 경우가 많다. 절토사면은 얇은 토층과 풍화토, 풍화암, 연암, 경암 등의 풍화도가 다른 물질로 구성되어 지반구성물질에 대한 공학적인 판단은 많은 경비가 요구되고 또한 그 한계성을 가지고 있어 시공 중 또는 후에 사면의 안정성 문제가 대두되고 있는 실정이다. 그러나 우리는 많은 사면붕괴를 경험하면서 고속도로상에 분포하고 있는 사면의 개수조차 파악하지 못하고 있는 실정으로 본 논문에서는 전국적으로 분포하는 사면의 현황을 파악하여 보고 이들 사면에서의 문제점을 그동안 조사된 현장조사자료를 토대로 검토하고자 한다.

절토사면의 안정에 영향을 미치는 요소로는 암종, 풍화, 지질구조의 특성 등의 내적인 요인과 강우, 용해, 지진, 발파 등의 외적인 요인을 들 수 있으나 이들 중 암반사면의 내적인 요인들이 사면안정에 커다란 영향을 주는 주 요인으로 작용할 수 있으므로 국내에 분포하는 암반의 내적 요인들에 대한 지질학적인 구분과 공학적인 특성을 파악하는 것이 매우 중요한 일이다. 즉, 지역에 따라 분포하는 암석종류, 지질시대 및 지질구조에 따라 붕괴유형 및 발생빈도가 다른 특성을 보이고 있어 암종 및 지질구조 특성에 따른 붕괴특성을 분석함으로써 도로 및 주택단지의 개설시 예비적인 사면안정문제를 예견할 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 기존에 국내외의 여러 가지 사면 안정성 평가법이 있었으나 국내 절토사면에 직접 적용하는데는 많은 문제점을 가지고 있어 현장기술자들이 객관적인 방법으로 절토사면의 안정성을 정량적으로 평가하는 방법이 없는 실정이다.

그러므로 본 연구는 지난 수년 동안 절토사면의 현장조사를 토대로 조사자료분석을 실시하여 국내에 분포하는 암종에 따라 붕괴특성 및 원인을 파악하고자 한다.

2. 고속도로 현황 및 암종분포

2.1 국내 고속도로 현황

국내의 고속도로는 1967년도에 처음으로 경인고속도로를 건설하기 시작하여 1970년도 경부고속도로가 완공되었으며 울산~연양, 대전~전주, 신갈~새말(서울~원주)의 5개 노선 655.3km의 고속도로를 건설하여 한계점에 도달한 수송능력을 타개하면서 전국을 일일 생활권화하여 지역개발을 촉진하고 고도 경제성장의 원동력이 되게 하였다.

현재는 그림 1에서 보는 바와 같이 18

개 노선에 2,200여km의 고속도로가 개설되어 있다. 그러나 급속한 경제성장으로 인한 차량의 급격한 증가로 인해 고속도로는 과포화상태에 있는 실정으로 2004년도까지 교통난해소 및 국토의 격자식 도로망 확충사업의 일환으로 계속적으로 신설 및 기존 고속도로의 확장사업이 계속적으로 추진되고 있다.

2004년도까지 추진중에 있는 고속도로망은 3,600km를 목표로 현재 신설중이거나 계획중에 있는 구간은 서해안고속도로를 비롯하여 중앙, 서울외곽순환 고속도로 등 14개 노선에 총연장 1,447.2km 구간이며 확장중 또는 확장계획중인 노선은 11개 노선에 459.8km 구간이다. 그리고 향후 2020년까지 국토의 7×9이라는 도로의 격자망 형성 계획하에 고속도로 총연장 6,160km 고속도로시대를 열 계획으로 추진중에 있다.

2.2 국내의 지질

국내 고속도로는 제주도 및 동해 해안지역을 제외하고 한반도 전역에 걸쳐 분포하고 있으며 지형 특성은 그 지역의 지질특성과 그림 2의 산맥분포와 매우 밀접한 연관성을 가지고 있다.

현재의 한반도형태는 중생대 백악기말 내지 신생대 제 3기초에 형성된 것으로 알려졌으며, 백악기말 이후 오늘날까지 동해안의 일부지역을 제외한 전지역에서 계속된 육지화와 더불어 침식에 의하여 선캠브리아기의 변성암류와 화성암 저반이 노출된 침식지형이 지배적이다. 신생대 제 4기에 있었던 한국방향(N-S)을 축으로 한 기울어짐은 태백산맥과 낭림산맥을 형성하였으며 동고서저의 지형적 특색을 나타나게 하였다. 추가령열곡을 경계로 북쪽과 남쪽의 지형이 현저한 차이를 나타내고 이는 지질 및 지체구조에 깊은 관련성을 갖는다(Lee Dai-Sung, 1988).

한반도의 지질은 선캠브리아기의 지층에서 신생대층에 이르기까지 다양한 분포를 보인다. 한반도의 기반을 이루는 선캠브리아기의 변성암류와 고생대 및 중생대의 심성암류는 여러 시기의 지각변

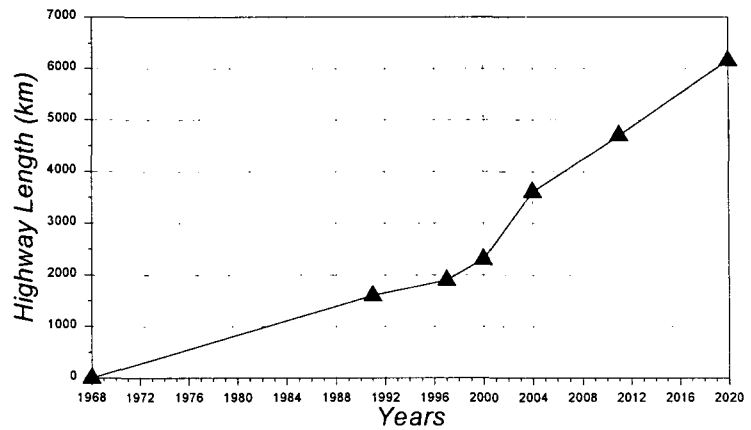
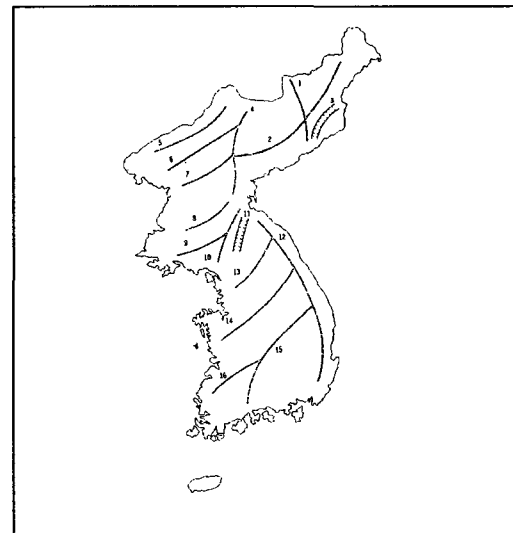


그림 1. 연도별 고속도로 건설 및 건설계획



- | | | |
|---------|---------|-------------|
| 1. 마천령 | 2. 함경 | 3. 김주-명천지구대 |
| 4. 변동령 | 5. 영남권 | 6. 최유령 |
| 7. 묘향 | 8. 연경 | 9. 명악 |
| 10. 마식령 | 11. 추가령 | 12. 태백 |
| 13. 광주 | 14. 차령 | 15. 소백 |
| 16. 노령 | | |

그림 2. 한반도에 분포하는 산맥도

동과 중생대 백악기 이후의 용기와 삭박작용에 의하여 크게 노출되어서 분포면적이 한국 지질의 반이상을 차지한다.

2.3 고속도로 주변의 암종분포

한국건설기술연구원(1989)에서 조사된 바에 의하면, 국내에 분포하는 암석은 크게 북동~남서 방향으로 띠모양의 형상으로 분포하는데 이를 크게 화성암, 변성암, 퇴적암으로 대분하면, 화강암류가 30.18%, 분출암류 7.01%, 변성암류 34.14%, 퇴적암류 20.64%, 충적층 7.09%, 신생대 제 3기 암류 0.94%의 순으로 분포한다.

화강암류는 일반적인 분포방향이 북동~남서방향으로 발달하고 중생대 유라기의 대보화강암이 주를 이룬다. 그리고 분출암류는 경남 유천지역을 중심으로 분포하고 주로 안산암과 유문암으로 구성되어 있다. 변성암류는 시대적으로 가장 오래된 암석으로 편마암, 편암, 점판암, 슬레이트 등으로 구성되며 신생대 제 3기 암층은 경북 포항일대에 분포하고 시대적으로 가장 신기에 속하며 현무암, 응회암, 역암, 셰일 등으로 구성된다.

중생대에 형성된 퇴적암류는 경상남북도 일대와 남해안 지역에 분포하고 역암, 사암, 셰일 등으로 구성되어 있고 고생대에 형성된 퇴적암은 강원도, 충청도 지역 일대에 분포한다. 그리고 충적층은 주로 하천을 중심으로 한 모래층으로 구성된다.

고속도로 노선상의 암종분포는 1 : 50,000 지형도 및 지질도를 참조하여 그림 3에서 보는 바와 같이 각 고속도로 노선에 분포하는 암종 총연장 1,937.7km(중양고속도로는 전구간을 계산)에 대해 암종을 구분한 결과, 화성암이 43.7%, 변성암 31.7%, 퇴적암 24.6%의 순으로 분포하는 것으로 나타났다. 이들은 비교적 다양한 암종을 보이나 변성암, 화성암, 퇴적암중 주로 많이 분포하는 암종으로 변성암은 편마암, 편암, 화성암은 화강암, 퇴적암은 셰일, 사암이 우세하게 나타난다. 특히 사암, 셰일은 대부분의 호층의 상태로 혼합되어 나타나며 일부 구간에서 역암을 혼합하여 나타나기도 한다.

변성암은 비교적 한반도 전역에 골고루 분포하는데 특히, 중부지역에 넓게 분포하는 암종으로 약 6억 5천만년전에 형성된 것이다(Na,K.C. & Lee,D.J., 1973).

화성암은 2억년전과 1억년전에 심성암 또는 분출암의 형태로 중부지역에서 남서~북동방향으로 형성되어 있으며 경상분지내에 일부 지역과 제주도에서 분출암의 형태로 나타난다. 이는 주로 서울, 부산, 대구 등의 대도시 지역과 높은 산악지를 이룬다.

퇴적암은 주로 경상분지를 이루는 한반도의 남동측에 위치하나 일부 옥천지향사대를 형성하는 충청도, 강원도 일부지역의 북동~남서 방향에서 고생대의 퇴적암이 나타나는데 분포암종은 사암, 셰일, 역암, 석회암, 무연탄 등으로 비교적 다양하며 지각운동의 영향을 받아 층리경사가 급한 것들이 많다.

경상분지를 형성하는 암은 약 1억년전에 형성된 암석으로 층리가 매우 잘 발달되어 있고 주로 남동방향으로 경사져 있으나 상부에 형성된 층일수록 경사가 완만하여 방향이 다양하게 분포한다.

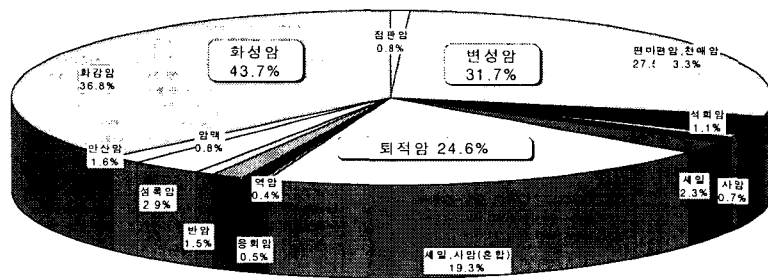


그림 3. 전국고속도로의 암종분포현황

3. 고속도로의 절토사면 분포현황

현재 공용중에 있는 고속도로 주변에 분포하는 5m 이상되는 절토사면은 총 3,528개로 계속적으로 고속도로의 신설로 인해 절토사면이 증가하고 있다. 분포하는 절토사면중에 5~10m 높이가 가장 많이 분포하고 있다(그림 4).

절토사면이 100개 이상 분포하는 노선으로는 경부, 호남, 남해, 88, 영동, 서해안(인천~안중), 중앙고속도로이다. 각 노선별 사면분포현황은 중앙고속도로가 33.2%로 가장 높은 분포를 보이고 경부고속도로가 12.9%, 영동고속도로가 11.9%의 순으로 나타났다.

절토사면이 고속도로상에서 분포하는 연장을 살펴보면, 중앙고속도로가 88km로 가장 길고, 경부고속도로 68km, 영동고속도로 49.5km, 남해고속도로 38.2km의 순으로 나타났는데 이를 고속도로 연장과 비교하여 보면, 그림 4와 같이 중앙고속도로가 33.1%로 가장 높은 비율을 보이며, 신갈~안산간 고속도로 24.6%, 서해안(인천~안중) 21.9%, 서울외곽고속도로(평촌~퇴계원) 13.9%로 나타났다.

각 노선별 절토사면의 분포현황은 그림 5와 같고 400개소 이상 절토사면이 분포하는 노선으로는 경부고속도로, 중앙고속도로 88고속도로의 순으로 나타나고 있다.

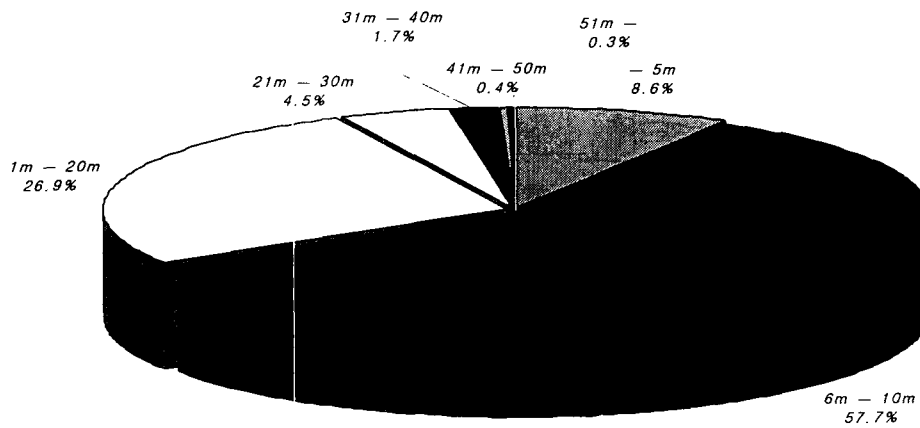


그림 4. 고속도로 절토사면의 높이별 개소수

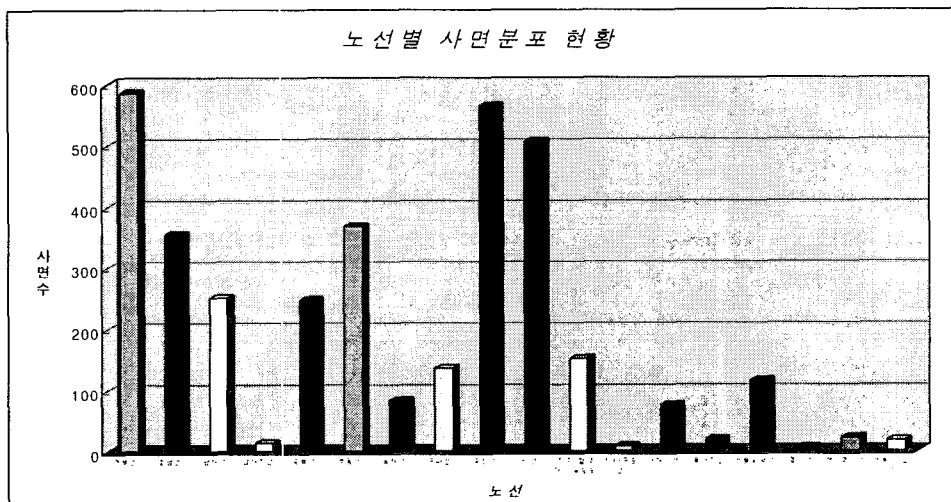


그림 5. 노선별 사면개소수

노선별 사면분포 현황

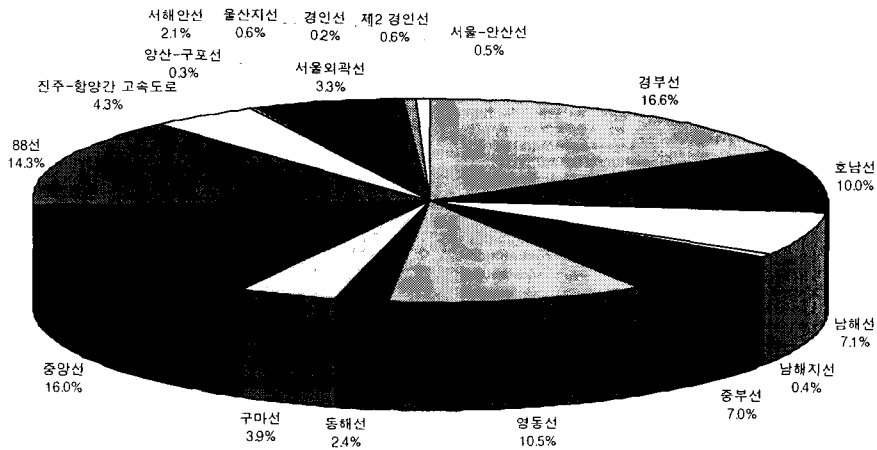


그림 6. 고속도로별 절토사면 분포백분율

4. 절토사면의 붕괴현황

절토사면의 붕괴는 지역 및 암종에 따라 차이를 보이는데 지역별 및 암종별에 따른 붕괴발생 빈도를 알아 보기 위하여 붕괴가 많이 발생하는 지역과 암종, 발생되지 않는 지역과 암종으로 구분하여 붕괴현황을 파악하여 보았다.

4.1 붕괴발생 사면의 분포

고속도로의 절토사면은 도로개설에 의해 인공적으로 형성된 것으로 절토사면의 안정성은 환경적인 조건과 지질적인 요인에 의해 좌우된다. 지질적인 특성은 붕괴발생에 큰 영향을 미치며 특히, 암석종류에 따라 지질적인 특성이 달라지므로 암석종류는 붕괴를 일으킬 수 있는 중요한 요인이 될 수 있다.

전국에 분포하는 고속도로 사면중 붕괴 발생빈도를 추정해 보면, 그림 7 및 그림 8과 같이 경기도 및 강원도 일대의 중부지방에서 가장 높고, 경상남북도 일대의 남부지방에서 다음으로 높은 붕괴빈도를 보인다.

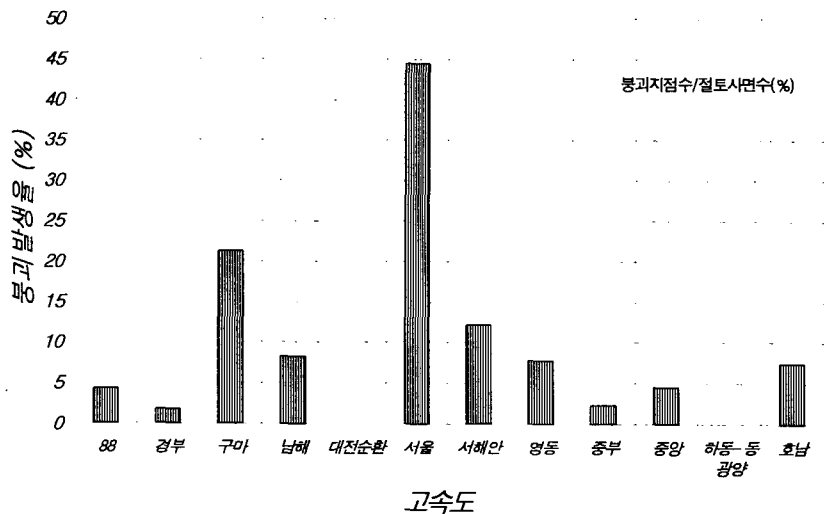


그림 7. 고속도로로 노선별 붕괴현황

이를 노선연장 및 절토연장 10km 당 붕괴지점의 빈도수로 나타내 보면, 서울외곽 고속도로가 노선연장 10km당 4.13개, 절토연장 10km당 14.81로 가장 높은 붕괴를 보이고 서해안고속도로가 각각 3.49개, 7.99개, 중앙고속도로 3.08개, 4.88개의 순으로 나타나고 있다.

이것을 그림 8의 김옥준(1987)의 한국지체구조도(원종관외 5인, 1989)에 따라 구분하여 보면, 전체 붕괴빈도중 경기육괴의 편마암지대에서 46.7%를 차지하는 붕괴비율을 나타내고 경상분지를 이루는 퇴적암지대에서는 34.7%, 옥천지향사대의 퇴적변성암에서는 10.6%, 영남육괴를 이루는 암층에서는 8%의 붕괴비율을 나타내고 있다.

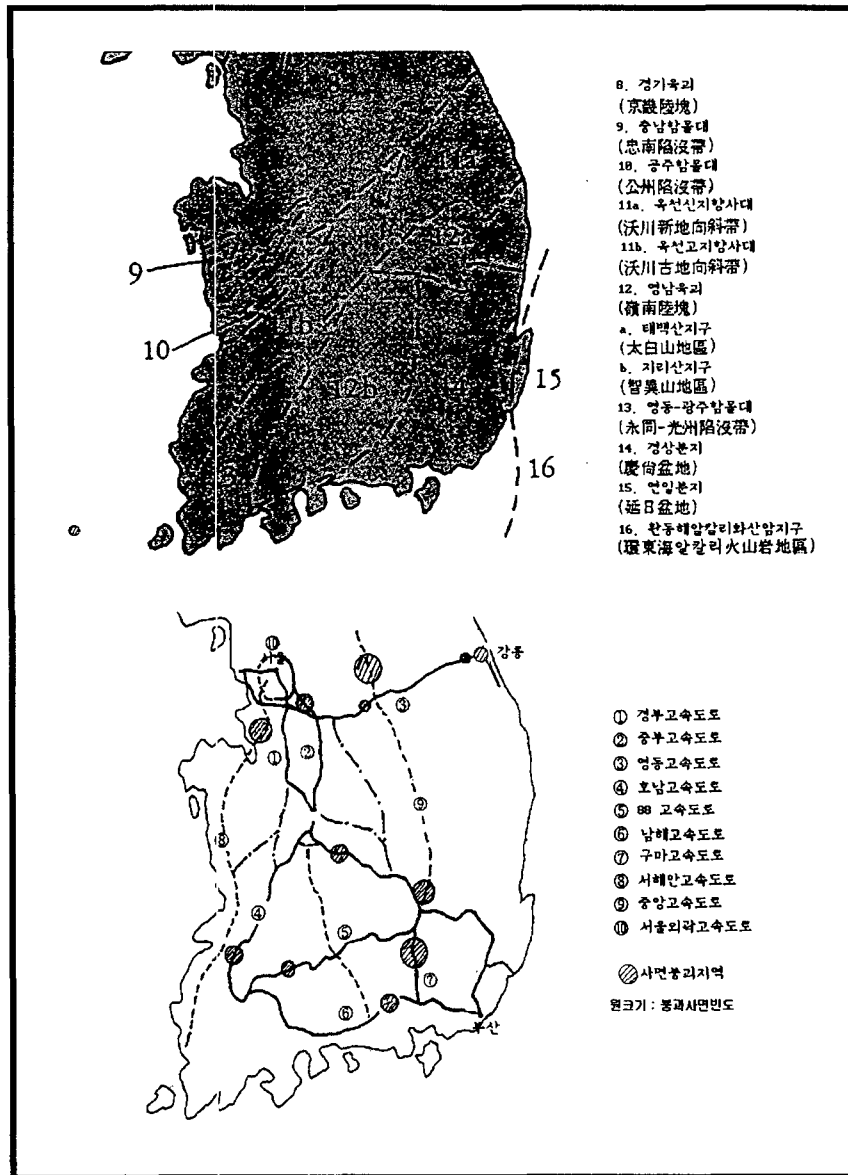


그림 8. 한국의 지체구조도(김옥준, 1987)와 사면붕괴 분포현황 비교

4.2 암석종류에 따른 사면붕괴

암석종류는 사면붕괴와 매우 밀접한 관계를 가지고 있다. 특히, 절토사면이 어느 암종으로 구성되어 있느냐에 따라 사면붕괴특성을 파악할 수 있을 만큼 중요하다.

국내 고속도로에 분포하는 암종은 그림 3에서 보는 바와 같이 화성암이 전체 중 43.7%, 변성암

31.7%, 퇴적암이 24.6%를 차지하는데 이들 지역에서 붕괴가 발생된 사면은 135 개소이고 한 사면내에서 여러 지점에 붕괴가 발생되어 175개의 지점에서 붕괴가 발생되었다.

암종에 따른 붕괴빈도를 파악하면, 표 1과 같이 나타났다. 여러 암종중 변성암이 44%로 가장 높은 빈도를 차지하고 퇴적암이 32% 정도, 화강암이 24%를 보인다. 그림 3의 고속도로 주변 암종분포와 비교하면, 가장 넓게 분포하는 화성암 중 화강암이 붕괴빈도가 가장 낮게 나타나는 것은 비교적 안정한 사면이 많이 분포하고 변성암의 31.7% 분포 중에 편마암에서 가장 높은 붕괴빈도를 보이는 것은 편마암으로 이루어진 사면에 불안정한 경우가 많다는 것을 의미한다.

표 1 암석종류에 따른 붕괴빈도

암	종	발생지점	백분율(%)
(42개)	화강반암	3	1.7
	섬록암	1	0.6
	안산암	1	0.6
	화강암	37	21.1
(56개)	퇴적암	1	0.6
	각력암	1	0.6
	사암+셰일	54	30.9
(77개)	변성암	1	0.6
	천매암	69	39.4
	편마암	1	0.6
	편암	6	3.4
합	계	175	100.0

4.3 절토사면의 붕괴특성

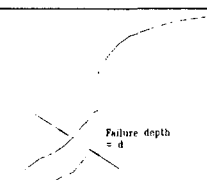
절토사면의 붕괴에 영향을 주는 요인을 알아 보기 위하여 붕괴규모, 붕괴유형, 붕괴위치, 지질구조, 붕괴시기 등에 따라 붕괴빈도를 분석하여 보았다.

4.3.1 절토사면의 암종별 사면붕괴

일본 도로공단(1986)의 보고서에 의하면, 일반적으로 사면붕괴를 규모에 따라 붕괴와 슬라이딩으로 나눌 수 있는데 붕괴를 다시 세분화하면, 사면붕괴, 낙석으로 나눌 수 있다. 붕괴와 슬라이딩의 차이는 명확하지 않으나 붕괴의 특징으로는 이동속도가 빠르고 낙석은 암반의 균열(암반 중에 발달한 절리, 편리, 층리 등의 균열)이 확대되어 암괴나 작은 암석이 떨어지거나 급경사의 붕괴도 퇴적물, 화산쇄설물, 고결도가 낮은 사력층에 포함되는 암괴 또는 암석이 사면에서 낙하하는 현상을 말한다. 사면붕괴는 낙석과 정확한 구분은 없지만 편의상 낙석이란 소량의 것을 말하고 붕괴란 규모가 대량의 것을 말한다.

본 연구에서는 암종에 따른 붕괴규모를 표 2와 같이 사면표면에서 활동면까지의 최대심도를 기준으로 하여 다섯 개의 유형으로 암종별에 대한 붕괴빈도를 분류하였다.

표 2. 붕괴규모의 구분

Type	I	II	III	IV	V	비 고
최 대 붕 괴 심 도	낙석, 토층유실	0~4m	4~8m	8~12m	12m 이상	

217개소의 조사사면에 대한 조사결과를 각 암종연장 10km당 붕괴 지점수로 나타내면, 그림 9와 같다. 주로 퇴적암에서는 II-type의 붕괴가 많으며 변성암 중 주로 편마암에서는 II-type과 I-type의 붕괴가 많이 발생한다. 그리고 화성암에서는 I-type의 붕괴 즉, 낙석 및 토층유실이 많은 것으로 나타났다.

퇴적암에서 I-type의 붕괴는 경부고속도로 대구-부산구간의 자료가 많아서 발생하는 것으로 비교적

II~III-type 정도의 분포를 보인다

그러나 V-type의 붕괴는 대규모의 사면붕괴로 산정부에서 부터 활동이 된 사면들로 퇴적암에서 주를 이루고 것으로 활동체적이 100,000m³~300,000m³에 이른다. 이 붕괴는 단층대에 파쇄층 또는 점토층을 따라 발생된 것으로 점토층의 두께가 수십 cm 정도에 달한다.

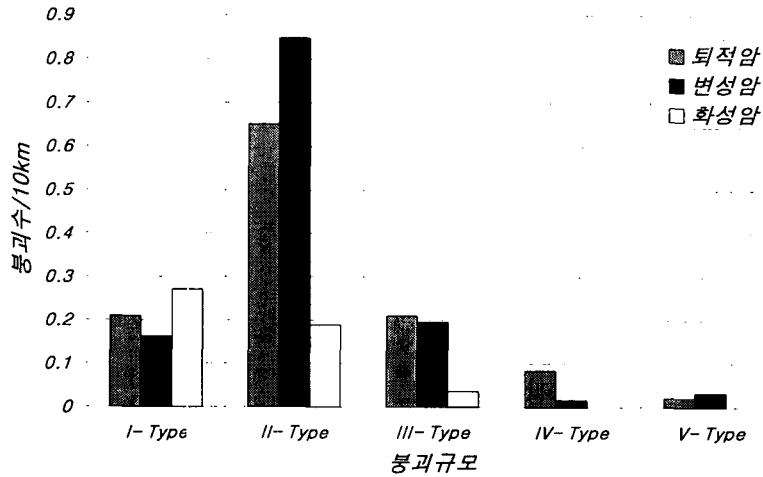


그림 9. 붕괴규모에 따른 암종별 붕괴빈도

4.3.2 암종별 붕괴유형분류

Hoek & Bray(1981)에 의하면, 암석사면은 크게 평면파괴, 쉐기파괴, 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・土留め技術覽編集委員會, 1991).

본 연구에서 조사된 사면은 화성암으로 화강암, 화강반암, 안산암, 섬록암, 반암 등이고 퇴적암으로는 사암, 세일, 화산각력암, 역암 등이며 변성암으로는 편마암, 편암, 천매암, 규암 등으로 이루어진 사면이다. 국내의 고속도로에 있는 사면을 대상으로 조사된 암종에 따른 붕괴현황은 각 암종 연장 10km당 붕괴 지점수로 나타내면, 그림 10과 같다.

본 결과에 의하면, 평면파괴가 변성암과 퇴적암에서 우세하게 발생하여 전체 붕괴개소의 40% 이상을 차지하고 다음으로 낙석, 쉐기파괴, 토층유실의 순으로 나타났다. 평면파괴는 주로 사면과 유사한 방향의 지질구조에 의해 발생하는 것으로 퇴적암에서는 주로 층리, 변성암에서는 단층 및 절리가 주 지질구조가 된다.

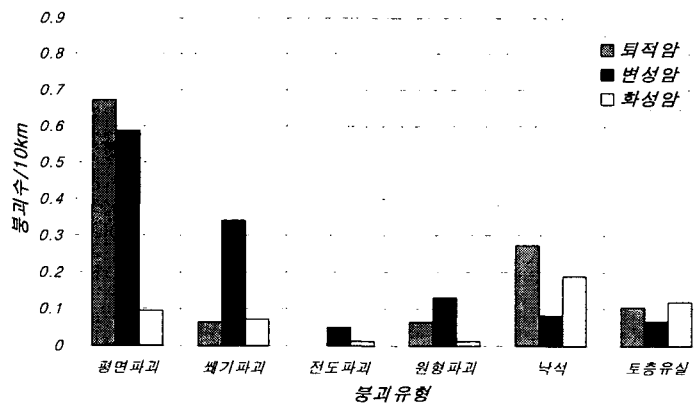


그림 10. 암종별 붕괴유형에 따른 붕괴빈도

4.4 절토사면의 붕괴원인

국내의 고속도로에 분포하는 사면붕괴의 원인은 작게는 미소한 지형조건에서 풍화도, 지질구조 등 너무나 다양해 일반적인 것으로 기술하는 것이 곤란하며 각각의 사례에 따라 특징을 가지고 있다고 할 수 있다(山田剛二, 小橋燈治, 1971). 여기에서는 사면붕괴의 주요 원인으로 작용할 수 있는 사항을 중심으로

로 기술하고자 한다.

4.4.1 지질 및 토질

사면붕괴는 구성암반과 밀접한 관계를 가지고 있는 것으로 사면의 붕괴빈도가 경기변성암복합체를 이루는 편마암, 편암과 중생대 백악기의 퇴적암에 높은 붕괴빈도를 보이는 것으로 나타났다.

지질구조에 따른 사면붕괴는 단층, 층리, 편리, 엽리가 붕괴가능성이 크며 특히, 사면방향과 유사할 경우가 위험하다고 할 수 있으나 절리면의 경우는 사면방향으로 급하게 경사진 경우에 대해 붕괴가 쉽게 발생된다.

암종별로 살펴 보면, 경기 변성암복합체를 이루는 암층은 복잡한 지질구조선 및 불규칙한 풍화양상을 보이며 지표에 노출시, 풍화되기 쉽고 미세균열에 의해 깨짐이 쉽게 발생한다.

퇴적암층은 주로 셰일과 사암으로 이루어진 암층으로 점토질이 충전된 층리면을 따라 붕괴가 발생하는 특성을 가진다. 그리고 퇴적암지대인 중앙고속도로 대구~안동구간에서는 적색 셰일의 단층파쇄대 등과 같은 지질구조선을 따라 차별적인 침식이 발생되어 세굴되는 양상을 보이고 흑색 셰일로 이루어진 사면에서는 물리적인 풍화작용에 의해 매우 작은 암편으로 파쇄되어 낙석되는 사례가 많았다. 남해고속도로의 경우는 셰일의 차별적인 풍화로 인해 암괴가 붕락되는 경우가 많았는데 이는 셰일이 풍화에 약한 특성으로 발생하는 것이다. 그러나 전반적으로 암반사면붕괴는 암질불량, 심한 풍화작용 및 사면방향과 유사한 방향으로 지질구조가 발달한 상태에서 강우에 의해 발생하는 사례들이 많았다.

붕괴된 토층구간에서의 토질조건을 살펴보면, 사질토로 이루어진 사면이 가장 높은 붕괴빈도를 보였다. 토사붕괴는 흔히 기반암상에 놓여 있는 붕적토와 풍화토 등에서 발생되는데 일반적으로 흙의 강도, 투수성에서 상이한 면이 형성되어 있는 경우에 일어난다고 생각된다.

점성토의 경우에는 투수계수가 낮으며 우수침투가 적고 붕괴 위험도는 적다고 생각되지만 강우로 인해 완전히 포화된 상태에서는 배수시간이 오래 걸려 사면하단부의 저부파괴와 같은 붕괴양상을 보이기도 한다.

4.4.2 지형

사면붕괴에 있어서 지형요인의 역할은 명확하지는 않으나 지형은 집수면적에 매우 민감하게 영향을 준다. 사면상부에 묘지, 밭, 과수원 등과 같은 집수면적이 넓은 지형이 있는 경우, 토질조건이 점성토로 이루어진 지반조건에서는 특히, 배수문제로 인해 상부로 부터 붕괴가 쉽게 발생하는 예들이 많았다. 그러나 급경사를 이루는 산악지형인 경우에는 배수문제로 인한 붕괴사례는 드물었다.

사면붕괴에 관련된 지형구분의 방법은 아직 확립되어 있지 않으나 사면붕괴후 지반 특히, 사면어깨 부에서 상부를 잘 조사해 보면, 예전에 한번 붕괴를 일으킨 흔적을 볼 수 있는 경우가 많다. 사면어깨 위에 밭이나 과수원 등의 평지가 있는 경우에 그 상부에 오래전 붕괴가 발생하여 활락애가 남아 있는 것을 볼 수 있다. 이러한 지형적인 요인은 현지답사를 자세히 실시하거나 대축척 항공사진을 이용하여 판별한다.

4.4.3 강우

사면붕괴 발생을 중 약 90% 이상이 강우에 의해 수반되며 태풍, 기타 집중호우에 의한 것이 많지만, 붕괴발생시의 경우량 자료가 많지 않아 넓은 범위의 구분으로 연속 강우량을 조사해 보면, 표 3과 같이 50~100mm까지가 가장 많고 100~200mm 사이의 강우량을 보이는 장마철에도 상당수의 붕괴가 발생하는 것으로 나타났다. 그리고 연속

표 3. 붕괴발생시의 강우량

누적강우량	횟수	백분율(%)
50mm	3	17.6
100mm	10	58.8
200mm	14	83.4
200 mm 이상	17	100.0

강우는 24시간이내에서 붕괴가 발생하는 예가 많았다.

4.4.4 지하수 및 지표수

붕괴의 가장 중요한 주원인은 강우에 의해 발생하는 지하수 또는 강우시 집중된 지표수이다. 붕괴가 일어나기 위해서는 붕괴지점에 지하수 또는 지표수가 집중되어야 하는데 지표수의 집중규모에 따라 침식피해의 정도가 결정된다. 토층에서의 붕괴는 지하수에 의해 수압이 발생되어 흙의 전단저항이 줄어 붕괴가 발생한다. 그러나 암반에서의 붕괴는 활동면에서 양압력(Uplift Pressure)이 발생되거나 물에 의해 활동면의 전단저항이 감소되어 발생된다.

강우집중은 지형형상에 의해 결정되지만 그 판별이 매우 어렵다. 그리고 지표수는 대부분의 경우에 지면으로 강우가 스며들거나 표면에서 흐르는 물이 사면어깨의 산마루측구로 흘러 들어가야 하나 산마루 측구는 사면내에서 배수로 역할을 하지 못하는 경우가 대부분이다. 지하수의 경우에는 침수면적이나 그 흐름을 판단하기가 매우 어려운데 일반적인 경우, 건기시 사면에서 지하수 심도는 매우 낮은 상태이다. 사면에 용수가 있는 경우는 지하수가 집중해 있다는 것을 알기 쉽지만 강우시만 용수가 발생하는 장소는 구별하기 어렵다.

그러므로 객관적으로 빗물이 침수되는 구역을 알아 볼 수 있는 방법을 개발할 필요가 있을 것이다.

4.4.5 사면형상

일반적으로 사면높이가 높을 수록 붕괴되기 쉽고 발생하는 피해도 크다. 사면높이가 높을 수록 붕괴되는 사례가 많았으며 주로 강우에 의해 수반되고 붕괴토량도 높은 사면일 수록 많게 된다.

그림 11과 같이 사면형상이凸형,凹형이나에 따라서도 사면붕괴에 원인 될 수 있다. 이는 강우의 침수와도 관련이 있지만凹형 사면에서는 계곡부를 형성하는 부분에 붕적토(Colluvium)가 퇴적될 수 있는 여건이 되고 붕적토의 심도가 깊어 지므로 이 부분에서 붕괴 가능성이 크다고 할 수 있다. 그리고 사면을 설계할 때 일반적인 설계경사를 적용하는데 있어서 확실적인 사면경사의 적용으로 붕괴를 유발시키는 원인이 될 수 있으므로 지질적 특성, 지형형상 등을 파악한 후에 사면경사를 정하여야 한다.

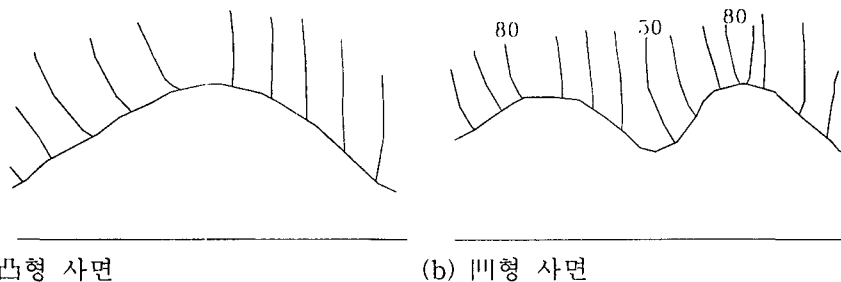


그림 11. 사면형상에 따른 붕괴

4.4.6 인위적 요인

도로공사시의 절토사면은 인위적으로 절토하는 것이므로 절토공사가 붕괴의 직접적인 원인이 되는 경우가 있다. 이것은 설계시에 고려하지 못하는 요인 예를 들면, 암반의 절리특성 등이 붕괴를 일으킬 수 있는 조건에 있는 경우는 절토시공중에 붕락하거나 굴착완료 후 1~2년 후에 붕락하는 경우가 많다.

상부 토층의 붕괴에 있어서도 그 원인의 대부분은 사면어깨 부근의 굴착으로 인해 강우의 흐름이 증대했기 때문이다. 그리고 지금까지 임야였던 곳이 도로가 건설되면서 식생이 없는 지표면의 노출이 급증하여 지금까지 피해가 없었던 사면에 재해가 발생하게 된다.

그러므로 사면부근의 환경이 급속히 변화하는 경우에는 배수구의 용량부족이나 물의 모이는 쪽이 급

변하기 때문에 충분히 주의가 필요하다.

4.4.7 사면보호공과 재해

사면보호공을 시공한 경우에 방재효과가 어느 정도 증가했는가를 객관적으로 평가하는 것은 어렵다.

지반의 조건과 지질특성을 고려하여 사면보호공을 설치하여야 하지만 그렇지 못한 경우는 오히려 붕괴를 촉진하여 주는 예들도 있다. 예를 들어, 녹생토공법의 적용은 주로 암반의 녹화를 목적으로 사용하나 이를 토층구간 또는 약한 풍화암 구간에 사용된 경우, 강우에 의해 자중의 증가로 토층과 함께 활동되는 경우가 흔히 있다. 그리고 기성 플라스틱 격자블록의 시공시는 지면과 밀착되지 못하는 경우가 많아 강우에 의해 흠이 유실되어 붕괴를 유발시키는 경우가 많다.

그러나 일반적으로 붕괴가 발생한 사면의 90% 이상이 보호공이 없는 상태에서 발생되었고 보호공이 실시되지 않은 사면개소에서 붕괴가 많다.

5. 결론

국내 절토사면의 붕괴특성을 고려하여 현장기술자들이 간단한 방법으로 붕괴가 우려되는 절토사면을 선정할 수 있는 판단기준을 제안한 결과는 다음과 같다.

- 1) 전국 고속도로에 산재되어 있는 5m이상의 절토사면개소는 3,500여개가 분포하고 217개소의 사면에서 조사된 바에 의하면, 붕괴 빈도가 높은 사면은 한반도의 남동측에 나타나는 중생대 백악기 퇴적암층과 경기일원 및 강원도 일원의 비교적 넓게 분포하고 있는 선캠브리아기의 편마암, 편암지대에 분포하는 것으로 나타났다.
- 2) 암종에 따른 붕괴유형은 화성암은 낙석, 평면파괴, 토층유실, 원호파괴의 붕괴유형을 보이나 붕괴빈도가 비교적 낮으며 퇴적암에서는 평면파괴가 우세하게 나타났으며 세일층의 차별적인 풍화에 의해 블록형의 붕괴유형을 보이기도 한다. 그리고 변성암에서는 암질불량으로 인한 원형파괴, 쉼기파괴, 평면파괴양상을 보인다.
- 3) 전국에 분포하는 고속도로 사면중 붕괴 발생율을 추정하여 보면, 경기도 및 강원도 일대의 중부지방에서 가장 높고, 경상남북도 일대의 남부지방에서 다음으로 높은 붕괴빈도를 보인다. 그리고 한국지체구조도와 비교하면, 전체 붕괴빈도중 경기육괴의 편마암지대에서 46.7%를 차지하는 붕괴비율을 나타내고 경상분지를 이루는 퇴적암지대에서는 34.7%, 옥천고지향사대의 퇴적변성암에서는 10.6%, 영남육괴를 이루는 암층에서는 8%의 붕괴비율을 나타내고 있다.
- 4) 국내의 고속도로에 분포하는 사면붕괴의 원인은 작게는 미소한 지형조건에서 풍화도, 지질구조 등 너무나 다양해 일반적인 것으로 기술하는 것이 곤란하며 각각의 사례에 따라 특징을 가지고 있다고 할 수 있다.

참고문헌

1. 유병옥(1997), “암절취면의 안정성 평가 및 대책에 관한 연구”, 한양대학교 박사논문, pp.4~58, pp.155~169
2. 정형식, 유병옥(1996), “지질특성에 따른 암반사면 붕괴유형연구”, 한국지반공학회지, 제 12권, 제 6호, pp.37~49.
3. 조천환외 2인(1989), “사면의 안전진단 및 보호공법”, 한국건설기술연구원, pp.202~209.
4. 山田剛二, 小橋燈治(1971), “地すべり・斜面崩壊の實態と對策”, pp.361~388, pp.403~417.
5. 日本道路公團(1986), “道路土工のり面工・斜面安定工指針”, 社團法人 日本道路協會, pp.6~32.
6. Hoek, E. & Bray, J.(1981). “Rock Slope Engineering”. Revised Third Edition. Institute of Mining and Metallurgy, London, p.88, 114, pp.150~159 171.