

한계령 일대 도로절토사면 특성과 보강방안 연구 A Study on the Characteristic and Reinforcement of Road Cut Slope all over the HanGye Pass

이종현¹⁾, Jong-Hyun Rhee, 김승현¹⁾, Seung-Hyun Kim, 이정엽¹⁾, Jung-Yup Lee,
구호본²⁾, Ho-Bon Koo

¹⁾ 한국건설기술연구원 지반연구부 연구원, Researcher, Geotechnical Engineering Research Dept.,
Korea Institute of Construction Technology (jhrhee@kict.re.kr)

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

SYNOPSIS : Many collapse of road cut slope consisted of representative granite of Korea peninsula is happened by weathering progress. Chose hangye pass consisted of Korea peninsula's representative granite style for this study. Purpose of this study is that consider suitable reinforcement of cut slope consisted of granite by analyzing characteristic of hangye pass vicinity road cut slope.

Key words : Road cut slope, Weathering, Granite

1. 서 론

오늘날 급격한 산업화와 도시화의 영향으로 수많은 도로 건설이 진행되고 있는 상황에서 다수의 도로 절토사면이 발생되고 있다. 특히 한반도의 대표적인 지반 구성 암체인 화강암으로 구성된 도로 절토사면은 많은 사례에서 볼 수 있듯이 시공후 급격한 풍화 진행에 따른 붕괴가 다수 발생되고 있는 상황이다. 본 연구에서는 중생대 대보 조산 운동 시기에 한반도 옥천습곡대 전역에 걸쳐 광범위하게 관입한 한반도의 대표적인 화강암체로 구성된 강원도 한계령 지역을 선정하여 일대 도로 절토사면의 일반적인 특성 및 풍화 특성을 분석하고, 대표적인 붕괴 특성을 파악하여 향후 화강암 지역에서의 절토사면 조성 시 적절한 대책 방안을 강구하는데 그 목적이 있다. 본 연구 대상 지역은 강원도 한계령이 위치한 양양군 서면 오색리에서 인제군 북면 한계리를 연결하는 국도 44호선이 운행되고 있으며, 이 구간 도로의 총 연장은 약 20 km, 도로 절토사면은 99 개소가 분포하고 있는 것으로 파악되었다.

2. 한계령 일대 도로 절토사면 특성 분석

2.1 한계령 일대 도로 절토사면의 현황 특성 분석

강원도 한계령 일대의 도로 절토사면은 산악 지형에 형성되어 있으며, 행정구역상 양양군 서면 약수리에서 인제군 북면 한계리에 걸쳐 분포하고 있다. 본 연구 대상 구간은 약 20 km의 거리에 총 99 개소의 크고 작은 절토사면이 존재하며, 절토사면의 연장은 최소 11.1 m에서 최대 240 m까지 다양하며,

평균 68.1 m의 양상을 보이고 있어 한계령 일대 도로 절토사면은 전국 국도변 절토사면 평균치(약 117.4 m)보다 짧은 연장성을 보이는 것으로 나타났다. 절토사면의 전체 연장은 6,746.3 m로써 연구 구간 내 분포율은 약 33.7 %를 보이고 있다. 이를 자세히 살펴보면 다음의 표 1, 그림 1과 같으며 50~100 m의 연장 범위에서 가장 높은 분포율을 보이고 있음을 알 수 있다. 연구 대상 절토사면의 경사도 분포를 살펴보면, 60~75 °의 범위에서 가장 많은 개소수를 보이고 있으며, 이는 한계령 일대 도로 절토사면이 산악 지역에 조성되어 상부자연사면 등을 고려하였을 때 완경사로의 절취가 불가능하였기 때문으로 판단된다(표 2, 그림 2 참조).

표 1. 한계령 일대 도로 절토사면 연장 분포

연장 범위	0~50 m	50~100 m	100~150 m	150 m 이상
개 소 수	35 개소	47 개소	9 개소	8 개소
분 포 율	35.4 %	47.5 %	9.1 %	8.1 %

표 2. 한계령 일대 도로 절토사면 경사도 분포

경사도 범위	45 ° 이하	45~60 °	60~75 °	75~90 °
개 소 수	5 개소	15 개소	65 개소	14 개소
분 포 율	5.1 %	15.2 %	65.7 %	14.1 %

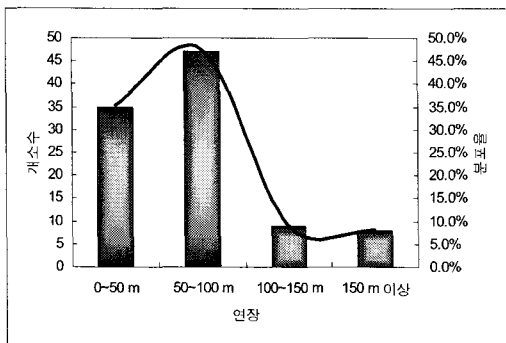


그림 1. 한계령 일대 도로 절토사면 연장 분포

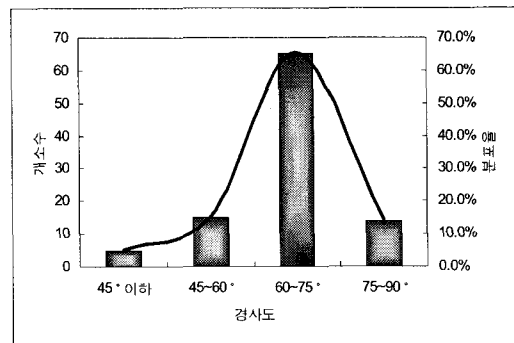


그림 2. 한계령 일대 도로 절토사면 경사도 분포

다음으로 절토사면의 높이 분포를 살펴보면, 6 m에서 35 m까지 다양한 높낮이를 보이고 있으며, 평균 약 14.7 m를 보이고 있다. 높이 10~20 m 범위에서 가장 높은 분포율을 보이고 있어 대체로 한계령 일대 도로 절토사면은 전국 국도변 절토사면 평균치(약 16.6 m)보다 약간 낮은 것으로 분석되었다(표 3, 그림 3 참조).

표 3. 한계령 일대 도로 절토사면 높이 분포

연장 범위	0~10 m	10~20 m	20~30 m	30 m 이상
개 소 수	27 개소	59 개소	10 개소	3 개소
분 포 율	27.3 %	59.6 %	10.1 %	3.0 %

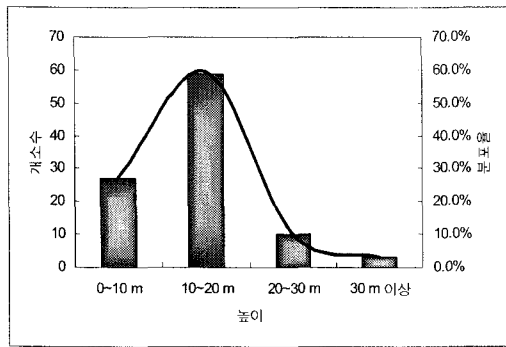


그림 3. 한계령 일대 도로 절토사면 높이 분포

2.2 한계령 일대 도로 절토사면의 붕괴특성 분석

한계령 일대의 도로 절토사면 붕괴 유형을 살펴보면, 총 99 개소의 절토사면 가운데 썰기파괴 14 개소(14.1%), 평면파괴 26 개소(26.3%), 원호파괴 2 개소(2.0%), 낙석 40 개소(40.4%), 표층유실 17 개소(17.2%) 등으로 파악되었다(그림 4 참조). 이와 같은 결과를 토대로 한계령 일대의 도로 절토사면은 낙석, 평면파괴, 표층유실 등이 주요 붕괴특성으로 판단된다. 특히, 낙석 및 표층유실 등이 높은 발생 건수를 보이는 것은 한계령 일대의 구성 암종인 화강암의 풍화 양상과 관련이 깊은 것으로 판단되며, 한계령 일대 도로 절토사면의 풍화 경향은 다음의 그림 5와 같이 보통풍화(MW)에서 심한풍화(HW) 단계 이상이 약 68.7%로써 전반적으로 풍화가 진행되어 있는 경향을 볼 수 있다.

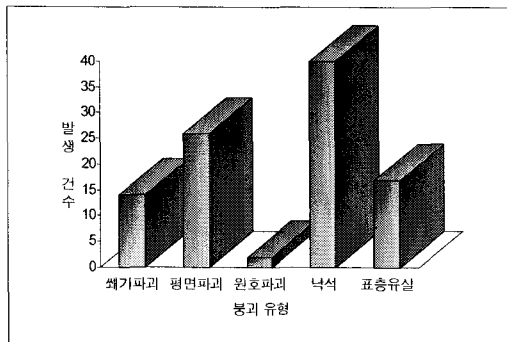


그림 4. 한계령 일대 도로 절토사면의 붕괴 유형

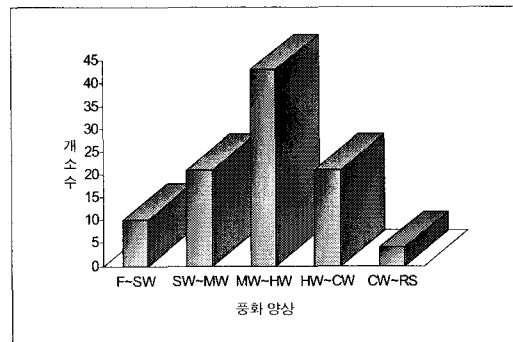


그림 5. 한계령 일대 도로 절토사면의 풍화 양상

중생대에 관입한 한계령 일대의 화강암은 현재보다 따뜻하고 습하였던 신생대 제3기 동안 화학적 풍화와 침식 작용을 받은 것으로써 연구 대상 지역 일대의 풍화 경향을 파악하는 것은 도로 절토사면의 특성 파악에 있어 매우 중요한 사항이다. 앞서 확인된 도로 절토사면의 붕괴 유형별 풍화 양상을 살펴보면 다음의 표 4, 그림 6과 같다.

표 4. 한계령 일대 도로 절토사면의 붕괴 유형별 풍화 양상

붕괴 유형 \ 풍화 양상	F~SW	SW~MW	MW~HW	HW~CW	CW~RS
썰기파괴	2 개소	3 개소	9 개소	-	-
평면파괴	2 개소	8 개소	16 개소	-	-
원호파괴	-	-	-	2 개소	-
낙석	6 개소	11 개소	17 개소	5 개소	1 개소
표층유실	-	-	-	14 개소	3 개소

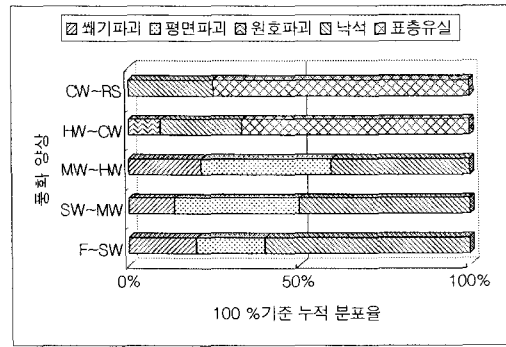


그림 6. 한계령 일대 도로 절토사면의 붕괴 유형별 풍화 양상

쉐기파괴와 평면파괴는 보통풍화에서 심한풍화의 풍화 단계에서 가장 많은 수의 절토사면 유실이 발생되었으며, 심한풍화에서 완전풍화(CW)와 완전풍화에서 잔류토(RS)의 단계에서는 다른 붕괴 유형으로 나타나 확인되지 않으며, 풍화 양상이 심하지 않을수록 감소하는 추세를 보였다. 낙석의 경우는 모든 풍화 단계에서 발생하는 것으로 파악되었으며, 보통풍화에서 심한풍화의 단계에서 가장 높은 것으로 분석되었다. 또한, 원호파괴와 표층유실은 심한풍화에서 완전풍화 이상의 풍화 단계에서 발생되고 있으며, 완전 토사화되기 전 풍화암과 풍화토의 협재 단계에서 활발히 발생하는 것으로 분석되었다.

한계령 일대 도로 절토사면에서 낙석 발생 다음으로 높은 빈도를 보이는 평면파괴의 붕괴특성을 파악하기 위해 한계령 일대에 분포하는 도로 절토사면에 발달하는 주불연속면의 방향을 그림 7과 같이 도시해 보았으며, 51/153(dip/dip direction) 방향으로 불연속면이 가장 우세한 양상을 보이고 있는 것으로 확인되었다. 총 99 개소 도로 절토사면 가운데 절토사면 방향과 절토사면에 발달하는 우세한 불연속면(major joint) 방향과의 관계를 비교해 보면, 절토사면 방향과 절토사면에 우세한 불연속면의 주향과의 차이가 $\pm 20^\circ$ 범위에 드는 절토사면이 31 개소였으며, 이 가운데 26 개소에서 평면파괴가 발생되었다. 나머지 5 개소는 평면파괴 유발 불연속면의 경사각이 절토사면의 경사각보다 크거나(2 개소), 절토사면의 풍화가 완전풍화까지 진행되어 원호파괴 및 표층유실의 형태로 붕괴된 경우(2 개소), 불연속면의 내부마찰각이 불연속면의 경사각보다 큰 경우(1 개소) 등으로 파악되었다.

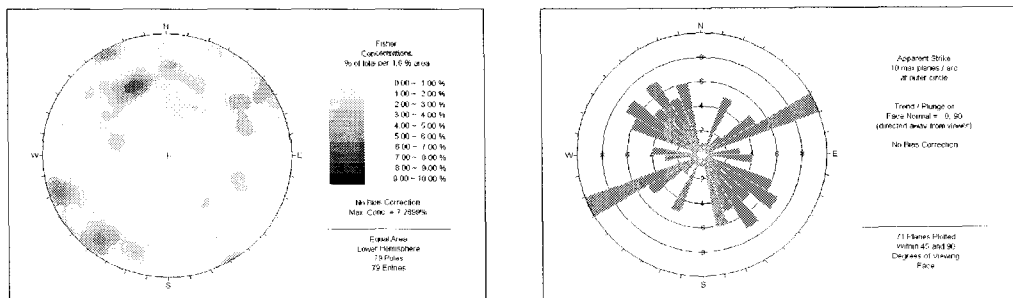


그림 7. 한계령 일대 도로 절토사면의 주불연속면 방향성

3. 한계령 일대 도로 절토사면 안정화 대책

한계령 일대 도로 절토사면에 대해 도로 개설후 설치된 낙석방지대책을 살펴보면, 어떠한 공법도 시공되지 않은 소규모의 절토사면 9 개소를 제외하고 90 개소에 그림 8과 같은 공법이 적용되었으며, 본 논문에서는 상위 5 개 공법에 대해 정리하였다. 이들 공법은 한계령 일대 도로 절토사면의 직접적인 위험 요인인 풍화 진행과 평면파괴의 위험성을 고려하지 못한 상황을 보여주고 있다. 따라서, 도로 절토사면에 대한 현황조사와 붕괴 위험성이 상존하는 위험 절토사면에 대한 정밀안전진단 결과, 1 차적으로 그림 9와 같은 공법이 제안되었으며, 이 지역에서 우세하게 나타나는 풍화 진행과 평면파괴의 위험성을

고려하여 절취공, 보강공, 식생공 등을 이용한 공법이 여러 절토사면에 제시하였다.

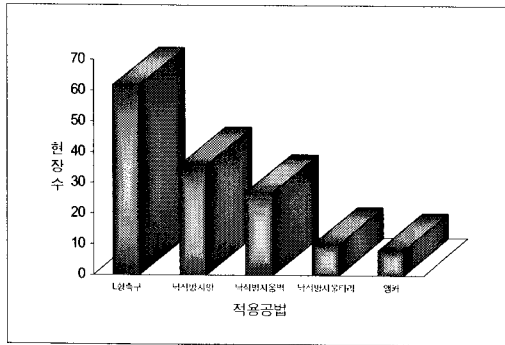


그림 8. 기시공된 대책공법

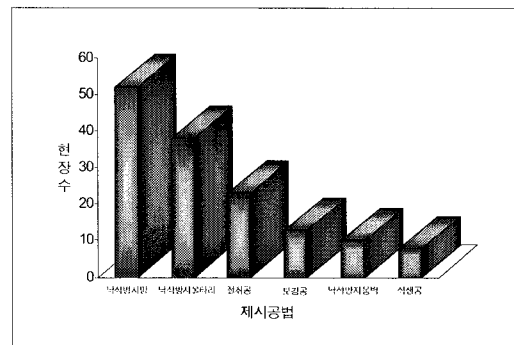


그림 9. 새로이 추가된 절토사면 안정화 공법

4. 결 론

강원도 한계령 일대에 위치한 도로 절토사면은 한반도의 대표적인 지반 구성 암체인 화강암으로 구성되어 있으며, 풍화 경향 및 이 일대의 지질구조적인 특징이 고려되지 않아 도로 절토사면의 지속적인 붕괴 위험성이 상존하고 있는 낙석위험지역이다. 이 지역에 대한 전반적인 현황조사와 위험 절토사면으로 분류된 절토사면에 대한 정밀안전진단과 대책안을 마련하면서 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- (1) 한계령 일대 도로 절토사면은 전국 국도변 절토사면에 비해 상대적으로 짧은 연장성과 높은 경사도, 낮은 높이를 보이고 있으며, 이는 산악으로 형성된 한계령 일대의 지형적인 요인과 관련이 깊은 결과이다.
- (2) 한계령 일대 도로 절토사면의 주요 붕괴 특성은 풍화 진행에 의한 낙석, 표층유실과 도로 방향으로 발달하는 불연속면에 의한 평면파괴 등이며, 이는 구성 암상인 화강암이 중생대에 관입되어 현재보다 따뜻하고 습하였던 신생대 제3기 동안 화학적 풍화와 침식 작용을 받아 풍화 진행이 현저한 것에 기인하며, 이와 같은 화강암 지역 절토사면의 안정화를 위해서는 풍화 양상에 대한 고려가 매우 중요할 것으로 판단된다. 또한, 평면파괴와 같은 붕괴는 절토사면 조사설계시 충분히 확인 가능한 사항이므로 주 불연속면의 발달 양상을 충분히 고려한 보강공법의 설계, 시공이 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 구호본 등(2003), 2002년도 도로절개면 유지관리시스템 개발 및 운용, 건기연 2003-006, 한국건설기술연구원.
2. 구호본 등(2001), 도로절개면 안정성 해석 및 대책 III (현황조사자료) - 강릉국도유지건설사무소, 건기연 2001-099, 한국건설기술연구원.
3. 김정찬 등(2001), 1:250,000 강릉-속초 지질도폭 설명서, 한국지질자원연구원.
4. Hoek E. & Bray J. W.(1981), *Rock Slope Engineering*, Institute of Mining and Metallurgy, London.