

유망식생사면 하부철망 유실에 대한 연구

Vegetation Slopes for the loss of the lower gridlock Research

전국재¹⁾, Guk-Jae Jeon, 신창건²⁾, Chang-Gun Shin,
박재영³⁾, Jae-Young Park, 장범수⁴⁾, Beoum-Su Jang,

¹⁾ 한국시설안전공단 기술개발팀, Staff, Korea Infrastructure Safety Corporation

²⁾ 한국시설안전공단 기술개발팀, Assistant Director, Korea Infrastructure Safety Corporation

³⁾ 한국시설안전공단 기술개발팀, Staff, Korea Infrastructure Safety Corporation

⁴⁾ 한국시설안전공단 기술개발팀, Team Chief, Korea Infrastructure Safety Corporation

SYNOPSIS : 유망식생공을 실시한 사면에 집중강우가 유입되면 단위중량이 증가하여 중력방향으로 이동을 하게 되며, 그에 따라 망이 유실되는 경우가 많아, 이를 고려한 점착력 확보가 요구되고 있는 실정이다. 강우와 사고사례에 따른 분석을 통하여 적절한 점착력을 확보하기 위한 기준마련 및 제시를 통해 국도이용의 안정성을 확보하고자 한다.

Keywords : Vegetation Slopes, lower gridlock Research

1. 서 론

식생공법이란 절토사면에 식생을 피복하여 우수에 의한 침식 방지를 목적으로 하는 공법으로 보강 및 수리제어 공법적용 후 표면보호 공법의 한 방법으로 적용된다. 공법의 종류에는 암절개면보호식재공법(녹생토), 연속장점유보강공법(텍솔), 법면배토습식공법(ASNA), 원지반식생정착공, 자연생태복원공법(JSB), 프리졸 등과 함께 여러 신공법들이 적용되고 있다. 토사사면(1:1.0이상)이 거적덮기나 줄때, 평때를 시공할 경우와 공사비나 기타의 이유로 철망을 시공하지 않는 경우를 제외하면 대부분의 경우 하부에 철망을 시공하여 지반과 식생의 정착과 사면절개 후 야기 될 수 있는 낙반 및 붕괴의 위험성을 제거하기 위하여 철망을 설치하고 일정간격으로 양카핀과 착지핀을 사용하여 고정 후 토양개량제를 뿜어 녹화시키는 방법을 채택하고 있다.

우수에 의한 사면붕괴의 경우 누적강우량 보다는 강우강도가 사면안정성에 더 큰 영향을 미치는 것으로 밝혀졌으며, 사면의 성질에 따른 알맞은 기울기와 적합한 보강 및 수리제어가 되어있는 사면의 경우 또한 6월~9월 장마철과 태풍이 발생하는 시기에 강우가 집중되면 하부철망이 유실되는 경우가 빈번히 관찰되고 있다. 이와 같은 경우 사면내로 직접 우수가 침투되어 더 큰 지반거동을 야기할 수 있기에 식생유실에 따른 응급복구 대책과 그에 따른 정확한 공법적용이 필요한 시점이다.

2. 시공법종류와 단면상세도

2.1 식생공법의 종류

현재 사면의 시공 시 자주 채택되어 시공되어지는 공법은 다음과 같으며 몇몇 공법을 제외하고는 대부분 사면의 안정성을 위해 하부에 철망을 시공하는 경우가 많다. 물론 철망을 시공하는 방법의 공사비가 높게 책정되며, 망을 설치하지 않는 경우는 침식과 세굴에 취약하기 때문에 지반과의 부착력을 높여 주고 우수에 의한 피해를 줄이기 위해 유망식생을 적용하고 있다.

표 1. 식생공법

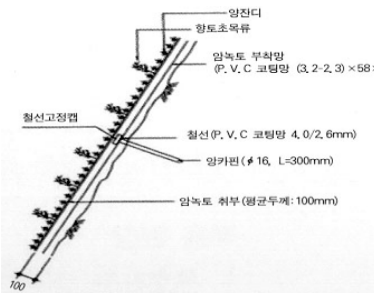
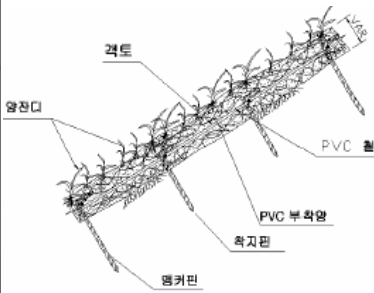




구 분	암절개면보호식재공법(녹생토)	연속장섬유보강공법(텍솔)	범면배토습식공법(ASNA)
공법개요	-산업폐기물을 주재료로 제조한 인공토양을 공기압으로 비탈면에 부착시키는 건식공법 -P.V.C코팅망 설치 후 종자층 구분없이 한번에 부착	-산업폐기물을 주재료로 제조한 인공토에 연속장섬유를 혼합하여 비탈면에 부착시키는 건식공법 -P.V.C코팅망 설치 후 종자층 구분없이 한번에 부착	-산업폐기물을 주재료로 제조한 경량화된 미생물 배양토를 비탈면에 취부하는 습식공법 -철망 및 양카, 와이어로프에 의한 비탈면 안정화 유도
녹화종자	양잔디 위주	양잔디 위주	양잔디 위주
적용토질	풍화토~경암	풍화토~경암	토사~경암
단 면			
시공사례			
장 점	-시공실적 다수 -급경사지 시공가능 -균열이없는 암반에 시공유리 -반영구적 식생기반조성 -양잔디위주로 조기녹화우수	-시공직후 강우에 세굴현상적음 -급경사지 시공가능 -식재 및 식수 가능 -양생기간 없는 현장타설	-암절리가 많은곳은 락볼트로0.3 ~ 1.5m까지 안정화 시도 -미생물주입으로 생장에 도움 -흙이 전혀없는 식생이 곤란한 암반 및 토사 절토면에도 녹화가능 -시공실적 다수
단 점	-토양고결화로 종자사용 제한적 -토양고결화로 식물최퇴가 빠름 (성장기간 3~5년) -천이불가로 주변경관과 부조화	-토양고결화로 종자사용 제한적 -공극율이 적다 -천이불가로 주변경관과 부조화	-미생물고갈로 인한 추가주입 -두께가 얇아 건조피해우려 -천이불가로 주변경관과 부조화
비 고	건설신기술 제28호	프랑스 TEXSOR FRANCE사와 기술제휴	건설신기술 제49호

표 2. 식생공법(계속)

구분	원지반식생정착공	자연생태복원공법(JSB)	프리졸
공법개요	<ul style="list-style-type: none"> -절·성토 사면보호 및 조기 녹화와 자연친이의 촉진을 통해 훼손된 생태계를 복구하는 공법 -생육보조제와 선구식물의 역할을 수행하는 종자,고분자 수지등으로 구성 	<ul style="list-style-type: none"> -생태복원형 자연토양을 주재료로 제조한 녹화기반제를 비탈면에 취부하는 습식공법 -섬유망, 철망등을 설치 후 기반제층과 종자층을 별도로 취부 	<ul style="list-style-type: none"> -유기물재료를 주재료로 하여 씨앗, 섬유류, 혼합제 등을 뿜어붙이는 공법
녹화종자	자생초화류 및 콩과식물	자생초화류 및 다층구조 삼립형	자생초화류
적용토질	토사~경암	토사~경암	토사~리핑암
단면			
시공사례			
장점	<ul style="list-style-type: none"> -재료구독이 양호 -식생도입에 따른 생태복원 및 친환경적임 -단시간내에 시공이 가능 -녹화초기 섬유층 형성으로 세굴 및 침식에 효과적으로 대항 	<ul style="list-style-type: none"> -다양한 초본 및 목본류 위주녹화 -친이용으로 주변경관과 조화되는 다층구조의 친환경군락조성 -공사비 저렴 	<ul style="list-style-type: none"> -시공성이 좋아서 토사 및 리핑암 비탈에 적용성 높음 -가격이 저렴하고 시공이 편리함
단점	<ul style="list-style-type: none"> -암구간중 절리·균열이 없는 부분은 녹화율 저조 -원지반의 붕괴가 없는 절취 비탈면에 사용해야 함 	<ul style="list-style-type: none"> -균열이 없는 암반부 적용곤란 -급경사지 적용곤란 -다층취부시 양생시간 필요 	<ul style="list-style-type: none"> -경암지역은 적용곤란
비고	건설신기술 제310호	발명특허 제0439008호	건설신기술 제503호

2.2 대표단면 상세도

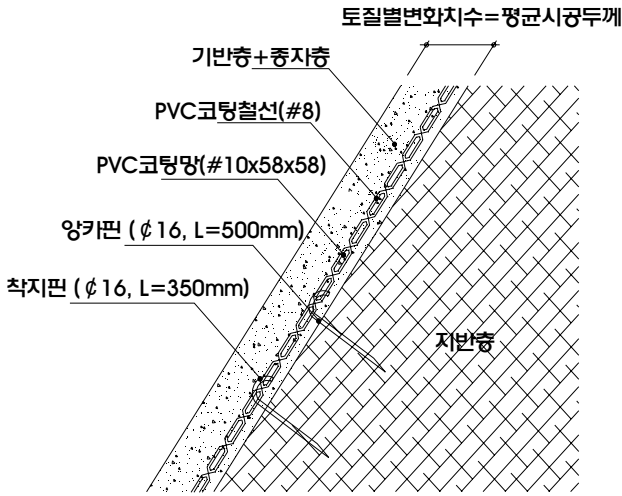


그림 1. 단면상세도

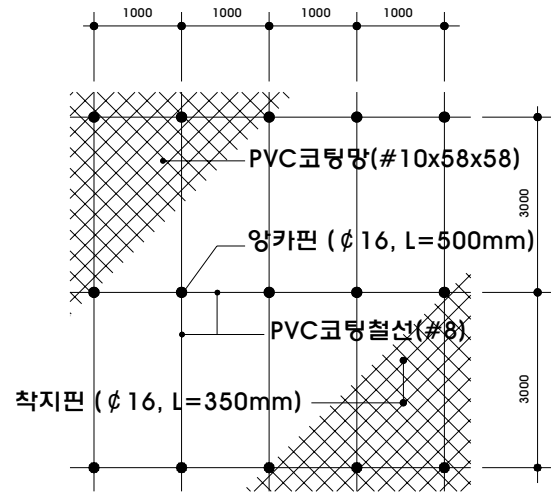


그림 2. 단면전개도

암반으로 이루어진 경사(1:0.7) 사면의 한 예이다. 보는 바와 같이 지반층 위 철망을 시공한 후 양카핀과 착지핀으로 코팅망을 지반과 밀착시켜 정착시키는 방법을 채택하고 있다. 하부 철망을 사용하는 공법 모두 이와 같은 형식으로 시공되고 있으며, 사면의 기울기나 지반의 특성에 따라 전개도에서 보여지는 양카핀과 착지핀의 간격은 경우에 따라 조정이 가능하다.

하지만 지역별 강우강도에 따른 핀의 깊이나 시공방법이 정해져 있지 않아 일괄적으로 같은 시공방법이 적용되어 그에 따른 기준 및 대책마련이 필요한 시점이다.

3. 표층붕괴 사례연구

최근 우리나라에서도 국지성 집중호우로 인한 사면의 붕괴가 많이 발생하고 있다. 2002년 발생한 제 15호 태풍 '루사'의 기록적인 강우에 의해 다수의 절토사면 붕괴가 발생하는 등 지역적으로 집중강우에 의한 절토사면의 붕괴가 발생하는 것으로 볼 때, 붕괴의 가장 주요 원인은 강우에 의한 것으로 예측할 수 있다.

집중강우시 붕괴의 발생빈도 중 가장 빈번히 관찰되는 것이 표층이 붕괴된 사면이며 이에 따른 많은 사례들을 주위에서 흔히 관찰할 수 있다. 아래에 언급할 붕괴사례는 ○○국도 수해현장으로 사면 상부에서부터 철망이 유실되어 도로까지 지반층 상부의 토사가 유입된 사례이다. 상부 자연 사면에서 유입되는 강우의 영향으로 인해 발생되어진 것으로 판단되며, 사면내로 우수가 집중되어 유망식생의 단위중량의 증가와 철망과 지반층의 부착력의 감소로 인해 발생하였다고 판단된다. 붕괴현장에는 최초 망과 하부 지반층과의 부착을 유도했던 착지핀과 망부분의 유실부가 관찰되었고 최종 대책안으로는 사면 상부 산마루 측구와 유실시 영향을 받았던 측구의 보수와 유실된 곳의 유망식생공이 적용되었다.

3.1 붕괴사례

표 3. 현장요약표

현 장 명	○○국도 수해현장			
도로현황	차선	왕복 2차선	도로폭	11.5 m
	교통량	8225 대/일	도로준공년도	1963
절토사면현황	연장	60 m	최대높이	17 m
	경사/경사방향	55/300 (1:0.7 경사도)	상부자연사면경사	30°
	이격거리	평균 5.0 m	상부자연사면높이	무한
	구성물질	풍화암사면	토층심도	0.3 m 내외
	소단	무		
붕괴추정일	7월 8일 ~ 7월 15일			

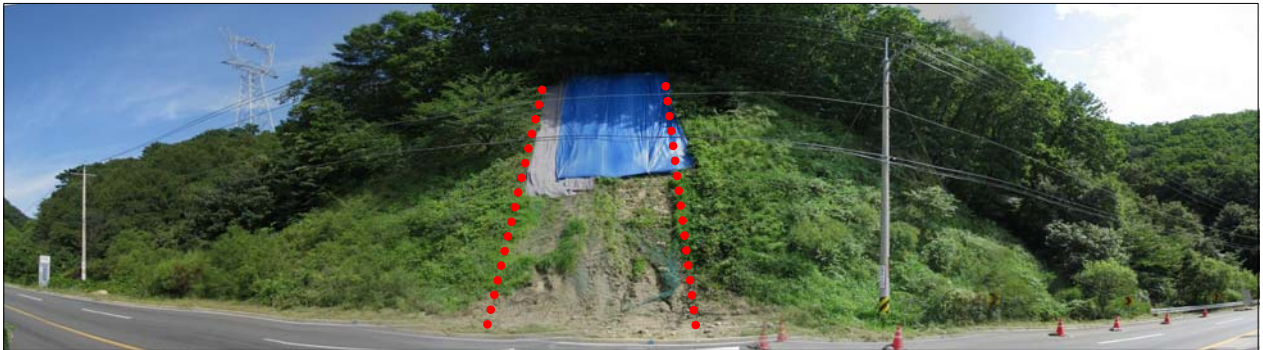


그림 3. 현장전경



그림 4. 붕괴부상세



그림 5. 유실된 착지핀

응급복구의 형태로 유실된 부분의 상부에 방수포가 설치되어 있으며, 땅의 유실부 이외의 기타 위험 부분은 관찰되지 않았다. 유실시 소량의 토사가 도로측으로 유실되었고 상부에 산마루층구가 시공되어 있지 않아 수리제어가 이루어지지 않았을 것으로 판단된다.

편마암의 풍화암으로 이루어지 사면의 특성상 리핑 및 발파당시 하부 지반층의 풍화암이 완료되어 실트성분이 많은 풍화토화 되어 우수의 침투시 땅과의 부착력의 한계점이 취약했을 것으로 보이며, 시공되었던 착지핀의 상태로 보아 하부 코팅망을 지반층과 밀착시키는 역할이 미약했다고 판단된다.

3.2 봉곡지역 강수량검토

위에서 언급했듯이 이러한 종류의 표층붕괴(망의 유실)의 가장 큰 영향을 주는 요인은 우수이다. 그 중 누적강수량 보다는 ‘강우강도’ 즉, 시간당 내리는 우수의 양이 근본적인 원인이라 할 수 있다.

사례의 붕괴추정일은 7월 8일 ~ 7월 15일 사이이며 그 기간 동안의 강수량을 확인하여 붕괴추정일과의 연관성을 확인해 보았다.

표 4. ○○지역 2009년 강수량

(mm)

월 일	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
1일											5.5	
2일					3.0	10.0	42.0					
3일			4.0			8.5				0.5		0.1
4일										0.5		
5일			5.0								0.5	10.5
6일								0.1			0.1	
7일							3.0	14.0	1.0			
8일								0.5			34.0	0.2
9일						16.5	184.0					
10일						17.5						4.5
11일		0.1			22.5		1.5	74.0	2.5			0.5
12일		0.2	3.5		7.0	0.5	243.0	127.5	13.5			
13일		39.0	17.5				1.5			7.5	3.0	
14일						2.0	169.6			0.5		
15일		0.5		6.0	0.4	5.0						
16일	0.5				38.0							
17일					4.5		85.0			16.0		
18일	0.2						18.5	0.2				
19일										13.5		
20일		0.4		39.0		42.0		26.5				
21일			6.0	0.5	23.5	0.3	0.1		8.5			
22일			13.5		0.2							
23일					1.0					0.5		0.5
24일	0.5			3.5			0.1					
25일	0.1			2.5			13.0				1.0	1.0
26일	0.5		11.0	0.1				0.1				
27일	0.1			2.5				24.0	2.0			1.5
28일				0.5			0.2		6.0			
29일						9.5					6.5	
30일			0.1					2.0				0.5
31일							17.0			17.5		
합계	1.9	40.2	60.6	54.6	100.1	111.8	778.5	268.9	33.5	56.5	50.6	19.3

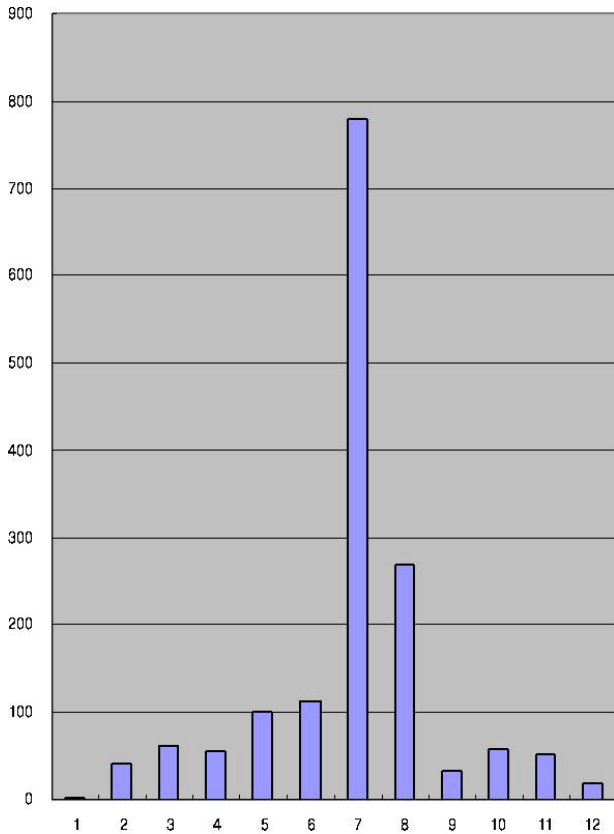


그림 6. ○○지역 월별강수량

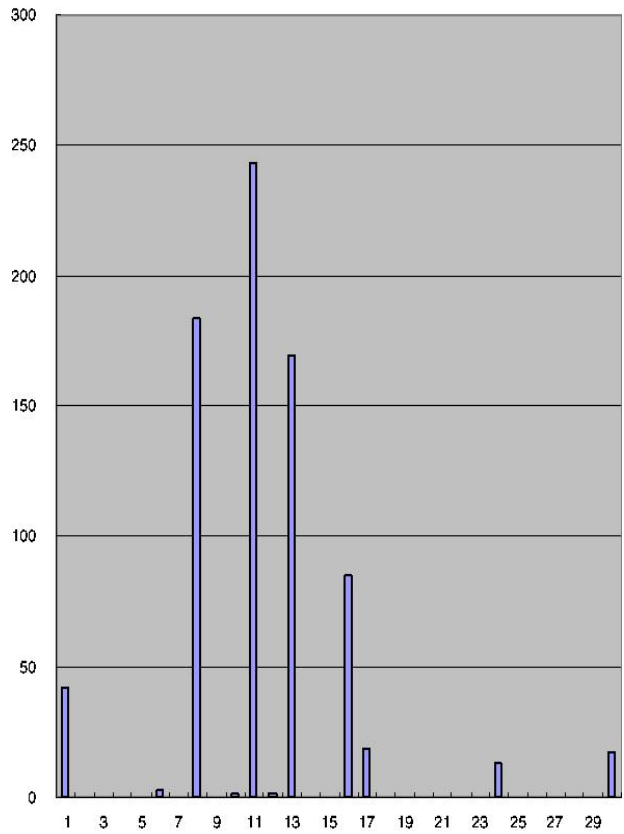


그림 7. ○○지역 7월 일별강수량

위 표와 그림에서 볼 수 있듯이 연중 7월의 강수량이 가장 많았으며, 7월 중에서도 12일의 강우량이 7월 전체 강우량의 31%를 차지할 정도로 집중된 점을 확인할 수 있었다. 따라서 위 사례현장의 경우 붕괴된 시점은 연중 강우강도가 가장 높았던 7월 8일 ~ 7월 12일 사이이며, 붕괴추정일과도 일치한다.

4. 결론

‘60, ’70년대의 급속한 경제 발전에 따른 도로개설 과정 중 준공된 산악지형의 도로의 경우 단기간 내에 도로를 개설할 목적으로 무리한 화약발파와 현장여건을 고려하지 않은 설계로 인해 잦은 붕괴가 발생되고 있는 실정이다.

그중 하부의 철망이 유실되어 발생하는 경우는 흔히 볼 수 있는 표층유실의 한 예이다. 그 원인으로 는 산악지에 위치한 사면이 기후적으로 동결, 융해를 장기간 반복하게 되어 표층지반이 동상에 의한 들뜸으로 인해 생긴 공간에 국지성 호우로 인한 다량의 우수가 침투하여 상부 유망식생공의 단위중량이 증가하고 하부 지반층과의 부착력이 약화되어 발생된다고 판단된다. 이러한 경우 대부분 장마철인 6월 ~9월에 발생되며, 최초 설계시 그 지역의 강우량과 강우강도를 반영한 핀의 깊이나 간격의 기준제시는 현재까지 전무한 실정이다.

근래에는 사면 설계시 지역별 강우강도에 의한 대표 사면의 침투해석을 검토한 설계가 이루어지고는 있지만 표층붕괴(망의유실)에 대한 해석이나 시공기준은 없는 실정이다. 하지만 망의 유실이 사면붕괴 전의 1차적 문제 및 원인이라고 본다면 간과해서는 안 될 부분이라 하겠다. 따라서 지역별 강우강도의 분석을 통한 앵커핀과 차지핀의 간격의 기준을 통해 신설되는 사면의 경우 유망식생공법의 제시된 기준에 따른 명확한 시공이 이루어지도록 연구해 나아가야 할 것이다.

참고문헌

1. 국토해양부, 2009년도 도로절토사면 유지관리시스템(CSMS) 운용업무
2. 한국시설안전기술공단(2003), “절토사면 점검, 진단 및 유지관리 기법 개발(I)”
3. 이민석, 김교원, 수치해석에 의한 강우강도와 사면 안정성의 상관성 분석 2009년 3월 지질공학 학회지 pp.25-31