

쇄설성 유동파괴 사면 복구를 위한 토목섬유 보강토 공법

Geosynthetic Reinforced Soil Method for Restoration of Debris Flow Failure Slopes

조 용 성¹ Cho, Yong-Seong

김 유 성² Kim, You-Seong

박 인 준³ Park, Inn-Joon

Abstract

The formation of slopes is unavoidable under the special circumstance of Korea where 70% of the whole area are composed of mountains and civil engineering projects such as road and site developments are increasing with industrial development and horizontal expansions of urban area. Stability of slopes is one of quite important issues under special meteorological characteristics that over two-thirds of annual average rainfall is concentrated in summer season and the localized torrential downpour is getting more frequent recently. As a result of these circumstances, partial slope failures by debris flow of the high water content soils occur frequently in cut soil slopes. In this case of debris flow slope failure, slope declination method is selected for the stable recovery because it is impossible to recover entirely by existing recovery methods. Seeding or special grass planting methods are followed separately without exception. The method by which entire recover with bigger stability ratio would be possible and grass planting work would be done simultaneously is developed. For debris flow failure slopes, this study secured the safety of slopes by preventing the inflow of rainwater and scour using geosynthetics-reinforced embankment, and created nature-friendly slopes by planting trees on the slopes.

요 지

산업의 발달과 도시의 수평적 팽창에 따른 도로개설, 단지개발 등 토목사업의 경우 산지가 70% 이상을 차지하는 국내지형 특성을 고려할 때 경사면의 발생은 필연적이다. 또한 국내기후 특성상 연평균 강수량의 2/3 이상이 여름철에 집중되고, 또한 국부적인 게릴라성 집중호우의 발생 등으로 사면의 안정성이 매우 중요한 사안으로 되는 경우가 빈번히 발생한다. 이러한 외부환경에 의하여 일부 토사사면에서는 고함수비를 함유한 토사의 쇄설성 유동으로 인한 국부적파괴가 종종 발생하고 있다. 이와 같은 쇄설성 유동으로 인하여 사면이 파괴되었을 경우, 원상태로의 복구가 거의 불가능하게 되어 불안정해진 사면토체가 충분히 안정할 수 있도록 경사를 조정하여 절취하는 대책공법이 주로 적용되고 있고, 보강사면의 녹화는 별도의 공종으로 처리하고 있다. 이러한 쇄설성 유동파괴 토사사면에 보강토 공법을 이용하여 원상태로의 복구가 가능하고, 보다 큰 안정성의 확보가 이루어짐과 동시에 표면녹화가 이루어질 수 있는 방법을 개발하였다. 본 논문은 쇄설성 유동파괴 사면에 대하여 토목섬유 보강성토체를 조성하여 강우에 의한 침투수 유입방지와 세굴방지 등에 의한 경사면 안정성 확보 및 녹화가 진행되어 자연 친화적인 사면을 형성할 수 있었다.

Keywords : Debris flow failure, Geosynthetics, Reinforced soil method

1 정회원, 한국건설기술연구원 지반연구부 선임연구원 (Member, Senior Researcher, Geotechnical Engr., Research Dept., Korea Institute of Construction Technology, machoys@kict.re.kr)

2 정회원, 전북대학교 공과대학 토목공학 부교수 (Member, Associate Prof., Dept. of Civil Engr., Chonbuk National Univ.)

3 정회원, 한서대학교 공학부 토목공학 조교수 (Member, Assistant Prof., Dept. of Civil Engr., Hanseo Univ.)

1. 서론

우리나라는 국토의 70~80%가 산악지형으로 이루어져 있어 산업 및 도시의 발달에 따라 새로운 택지 조성, 도로개설 및 산업기지 건설, 대규모 주택단지 개발 등과 같은 부지확보차원에서 자연사면을 변형시키는 규모나 빈도가 증가하고 있으며, 이에 따라 필연적으로 절·성토사면 등이 형성되고 있다. 일부 토사사면의 경우, 강우 등 외적환경에 의하여 고함수비를 차지하는 토사의 쇄설성 유동으로 인한 사면 파괴가 종종 발생하고 있다. 이와 같이 토사사면이 유동파괴 되었을 경우, 원상태로의 복구가 거의 불가능하므로 불안정해진 사면 토체가 충분히 안정할 수 있도록 사면경사를 조정, 절취하는 대책공법이 주로 적용되고 있다. 이러한 파괴사면의 경사조정에 따른 절취를 위하여 추가 용지보상 및 다량의 토공량 발생으로 공사비가 과다하게 소요될 수 있고, 사면 녹화를 위한 별도의 공종 적용이 필요할 경우 추가적 공사비가 소요된다. 또한 붕괴되어진 사면에서는 현지발생토가 다량 발생하고 있으며, 이의 대부분은 포화도가 높고 세립분이 많은 사질토, 풍화토 및 점성토의 경우가 많다. 이러한 현지 발생토의 처리를 위하여 추가적인 비용이 들어가고 있는 실정이다. 그러나 이러한 현장 발생토를 활용하여 성토재료로 활용한다면, 경제적인 보강성토공법이 될 것으로 사료된다. 이와 같은 배경에 의하여, 본 논문은 쇄설성 토사유동으로 인한 붕괴사면현장에 대하여 현장에서 발생된 불량한 토사를 활용하여 사면형상을 붕괴이전의 형태로 복구하는 방안과 추가적으로 녹화가 진행되어 자연환경으로의 복원이 가능한 토목섬유 보강토 공법에 대하여 제시하고자 한다. 또한 현장여건과 동일하게 실내에서 축적한 모형실험을 통하여 보강재의 거동에 대해서 분석하고, 보강 성토사면에 대하여 안정성을 확보할 수 있는 경사도를 제안하고자 한다.

2. 보강토 공법 개요

토체가 응력을 받으면 내부에서는 압축 및 인장변형이 발생한다. 보강토 공법의 기본적 원리는 토체의 평형을 유지하기 위해서 흙 속에 보강재를 삽입하여, 이것에 응력을 부담시키고, 그 결과 인장변형을 흙 속에 분산시키고자 하는 것이다. 즉 사면의 활동면에 직각인

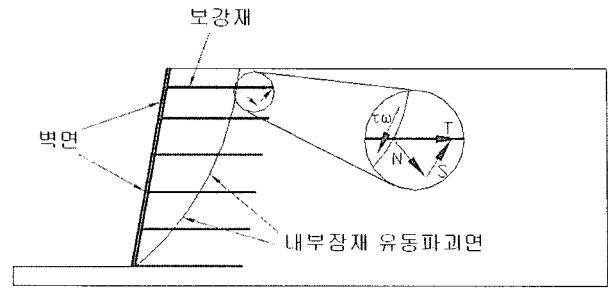


그림 1. 보강토의 기본적 보강메카니즘

분력은 흙의 마찰력과 조합하여 흙의 마찰저항이 증가하도록 작용하고 평행한 힘은 활동면을 따라 작용전단력에 저항하도록 작용하는 것이다. 위 내용은 유동파괴가 있는 또는 발생가능성이 있는 토사사면에 상대적으로 짧은 길이의 보강재를 이용하여 보강할 경우도 기본적 보강메카니즘은 같다. 즉, 보강토체가 수평방향의 움직임이 있을 경우 보강재에 인장력 T가 발생한다(그림 1). 보강영역의 인장력 T의 내부 잠재파괴면 방향 성분 S는 작용 전단응력 τ_w 에 직접저항하고, 직각성분 N은 구속압력 σ_n 이 감소하는 것을 억제하여 흙의 전단강도 $\tau_f = \sigma_n \cdot \tan\phi$ 가 감소하는 것을 방지한다. 즉, 보강영역은 일체로서 거동하므로, 폭이 넓고 유연성이 큰 중력식 옹벽과 같은 기능을 발휘하게 된다. 이것이 절토사면의 유동성 파괴에 대한 보강토공법의 기본적인 보강 메카니즘이라 할 수 있다. 개발된 녹화보강토공법의 보강 메카니즘을 검토하기 위하여 실내 축소모형을 제작하여 경사면의 수평변위 및 보강재의 인장변형률을 조사하였다.

3. 실내모형실험

3.1 시험 재료의 역학적 특성

실내모형에 사용된 뒤채움재(흙)는 현지 발생 불량 토사로서 액성한계(w_l (%)) 및 소성한계(w_p (%))는 각각 30.6, 22.3이며, 소성지수(PI)는 8.26, 비중(G_s)은 2.7로 조사되었다. 액·소성시험 및 입도시험의 결과로부터 본 시험에 사용된 재료는 통일분류법(USCS)에 의해 분류한 결과 CL로 분류되었다. 시험에 사용된 보강재는 국내에서 생산되는 폴리에스터 100% 장섬유 부직포를 사용하였다. 표 1은 생산자가 제시한 보강재의 특성을 보여주고 있다.

표 1. 생산자가 제시한 보강재의 특성

품명	중량 (g/m ²)	인장강도(kgf/in)		인장신도(%)		투수계수 (cm/sec)	두께 (mm)
		길이	폭	길이	폭		
부직포(P520)	211.6	92.3	61.2	73	96	2.8×10^{-1}	2.05
시험방법	KS K 0514-1991	KS K 0520-1995(C.R.E)		KS K 0520-1995(C.R.E)		KS K 2322	KS K 0506-1996

3.2 모형실험 방법

절·성토사면은 지반조건, 성토재료, 다짐방법 및 절·성토 높이에 따라 그 경사가 달라지며, 소단사이에 비탈면은 단일 경사로 시공하는 사례가 많다. 따라서 본 실내 모형시험에서는 가장 보편적으로 사용되고 있는 경사(1:1.2(40°), 1:1.0(45°), 1:0.8(51°), 1:0.5(63°))를 선택하였다. 일정한 경사사면을 형성하기 위해서 일정한 경사를 갖는 목재 합판을 제작하여 각 층의 다짐시 전면으로 밀리지 못하게 고정하는 방법을 선택하였다. 보강토의 실내시험을 위한 모형토조는 평면변형률 상태를 재현하기 위해 높이 60cm, 폭 35cm, 길이 160cm로 제작하였으며, 토조의 사각측면 중 길이방향 한쪽 측면은 시험 중 내부관측이 용이하도록 두께 20mm의 투명 아크릴판을 장착하여 파괴면을 관찰할 수 있도록 하였다. 전면벽의 변위와 기초의 침하량은 변위계(LVDT)를 이용하였고, 피 하중의 재하하중은 만능시험기(UTM)에 설치된 로드셀을 이용하여 측정하였다. 전면벽의 변위계는 보강토벽 바닥으로부터 5cm 위치 및 그 상부에 10cm 간격으로 설치하였고, 재하판의 끝단에서 0.2H에 위치하여 하중을 재하 하였으며, 변위계를 설치하여 침하량을 측정하였다. 또한 보강재에서 발생하는 변형 및 인장력 측을 위해 스트레인 게이지를 각각의 보강재 3개소에 부착하였다. 부직포의 경우는 클로로프렌(CR) 접

표 2. 각층별 다짐회수

층 수	Test 1 (1:0.5) (회)	Test 2 (1:0.8) (회)	Test 3 (1:1.0) (회)	Test 4 (1:1.2) (회)
바닥층	534	534	534	534
1층	1045	1030	1020	1011
2층	997	953	924	894
3층	948	875	826	777
4층	900	797	729	661
5층	850	720	632	544

표 3. 모형시험에 대한 함수비와 다짐도

구 분	함수비 (%)	습윤단위중량 (tf/m ³)	건조단위중량 (tf/m ³)	다짐도 (%)
Test 1	14.91	2.01	1.77	96.25
Test 2	14.87	2.03	1.76	95.70
Test 3	14.85	2.00	1.78	96.79
Test 4	14.82	2.05	1.80	97.88

착제를 매개체로 하여 스트레인 게이지를 부직포에 간접적으로 부착하여 보강재의 변형률을 측정하는 방법을 이용하였으며, Data Logger(UCAM-20PC)를 사용하여 매 10초 간격으로 데이터를 취득하였다. 이러한 실내 모형시험의 측정 모식도를 그림 2에 나타내었다. 보강재는 높이를 고려하여 0.5H로 절단하였고, 하부 25cm, 높이 10~15cm, 상부 10cm로 각층에 포설하였다. 뒤채움재의 다짐은 소형 표준다짐시험(KS F 2312의 A방법)시의 다짐에너지를 기준으로 다짐층수와 층별 다짐회수를 표 2와 같이 설정하여 실시하였으며, 이때의 함수비 및 다짐도를 표 3에 정리하였다.

3.3 모형실험 결과 및 고찰

3.3.1 하중-침하량 관계

보강토 용벽의 경우, 시공 중 벽면의 변위가 클수록 보강재의 역할이 발휘되므로, 그 크기 자체만으로 안전성의 판단은 불가능하다. 그러나 상재압의 증가에 대해 토층이 보강재의 구속에 의해 일차원적으로 압축하고, 강제적으로 수평변위가 일어나고 있는지의 여부를 검

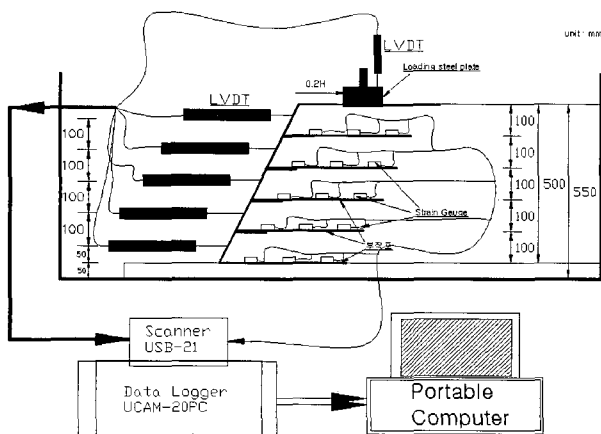


그림 2. 실내모형시험 측정 모식도

표 4. 기울기에 따른 침하량 및 하중강도

변위량 하중 강도(tf/m ²)	TEST 1 (1:0.5) mm	TEST 2 (1:0.8) mm	TEST 3 (1:1.0) mm	TEST 4 (1:1.2) mm
10	2.59	0.75	0.18	2.05
20	6.82	4.56	1.82	8.13
30	13.27	9.93	4.75	16.06
40	23.52	18.2	10.54	30.11
50	36.46	38.18	21.73	61.95
Peak Load	70.7	45.01	55.9	98.67

토함에는 상재압의 증가에 대한 압축변형률의 증가율이 감소하는지, 수평변위/압축량의 비가 감소하는지 여부를 감시하는 것이 유효하다. 본 연구를 위한 모형시험에서는 시공 시 전면벽의 수평변위를 억제한 상태에서 토체의 다짐작업을 시행하였으므로 위 사항에 대한 검토는 불가능하고, 시공 후 하중재하에 의한 변위와 보강재 변형에 대하여 검토하였다. 표 4와 그림 3은 각각의 경사에 따른 침하량과 하중강도와의 관계를 나타낸 것으로 기울기가 1:1.2에서는 다른 기울기의 형태보다 하중 증가는 둔하지만, 계속적인 하중 증가를 보여주고 있다. 그러나 기울기가 1:1.0, 1:0.8, 1:0.5로 커질수록 초기 부분의 하중강도(load intensity)는 기울기의 크기에 따라 커지지만, 기울기가 1:1.0 및 1:0.8의 경우는 침하량이 약 50~60mm 부근에서 최대하중강도(peak load intensity)를 보여주고 있으며, 파괴 경향은 상단부에서 대표적인 원형파괴를 보여주었다. 그러나 기울기가 1:0.5의 경우에는 침하량의 증가에 따라 지속적으로 하중이 증가하지만, 침하량 약 80mm 부근에서 파괴를 보였으며, 다른 경사도에 비해 강도가 약간 크게 나타나고 있다. 이것은 기울기가 커질수록, 또한 상단부에서 하중이 증가할수록 토체 전체에 영향을 미치고 있다고 사료된다. 또한 기울기 1:0.5일 경우에는 보강재의 영향이 크게 작용하고 있는 것으로 전체적인 사면에 영향을 미치고 있는 하중에 대해서 보강재의 역할이 커지면서 상대적으로 강도의 증가가 크게 나타나고 있는 것으로 사료된다. 그러나 기울기가 작아질수록 보강재의 역할은 하중이 작용하고 있는 상단부에서 크게 작용하지만, 보강재에 의한 하중의 전달이 하부층까지 전달되지 못하는 것으로 판단된다. 토목섬유 보강토체는 전체적으로 매우 연성적인 파괴형상을 보이고 있으며, 전체적으로 최대하중강도는 50~60tf/m²의 큰 값을 보이고 있다. 최대하중강도 이후의 잔류강도 과정도 매우 연성적

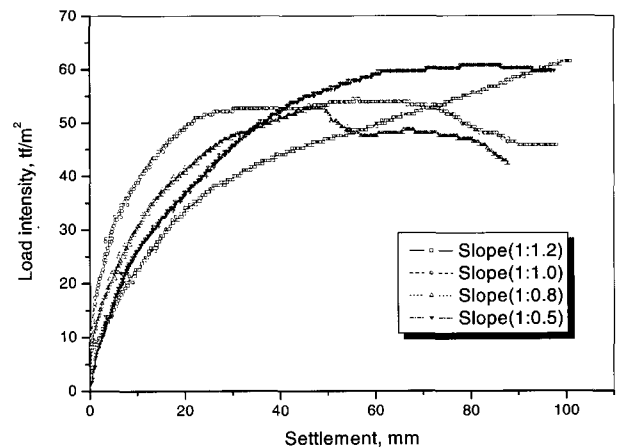


그림 3. 기울기에 따른 침하량 및 재하된 하중관계

이고, 그 값의 감소경향은 매우 작다. 그림에서 개략적으로 항복강도(응력~변형률 관계에서 선형관계가 현저히 감소되어 변형률이 급증하기 시작하는 점)는 20mm의 침하량 즉 4%의 침하를 보이는 지점에서 발생하고 있고, 항복강도의 값은 35~50tf/m²의 값을 나타낸다. 이때의 수평변위는 벽 상부에서 최대 2% 이하로 연성벽면의 특징을 잘 나타내주고 있다.

3.3.2 전면변위 및 보강재 변형

하중증가에 따른 각 사면의 전면변위 양상을 검토하기 위해, 각 토층의 중간지점에 변위계를 설치하였고, 또한 보강재에는 스트레인게이지를 부착하여 보강재의 변형거동을 조사하였다. 각 시험에서 재하판 하중 10, 20, 30, 40, 50tf/m² 및 최대하중시의 전면변위 및 보강재의 변형률을 그림 4~7에 나타내었고, 각 그림에는 파괴시 파괴면 발달상황을 도시하였다. 사면경사가 큰 그림 4의 파괴형태는 사면의 선단파괴 형태가 나타났으며, 경사가 작아질수록 두드러지게 사면내 파괴를 보여주었다. 또한 전체적인 파괴모양은 하중이 작용하는 지점으로부터 대표적인 원호파괴의 모습을 보여주었다.

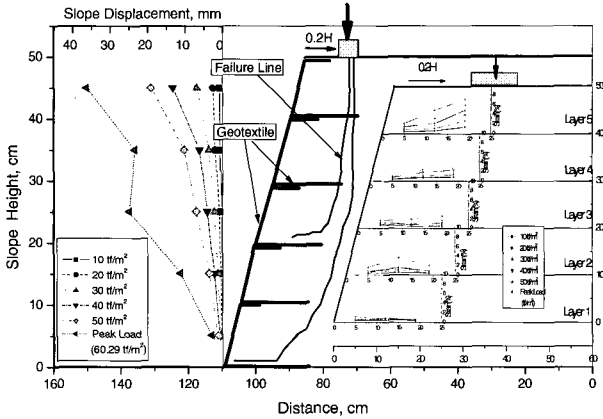


그림 4. 기울기 1:0.5의 수평변위 및 보강재 변화량

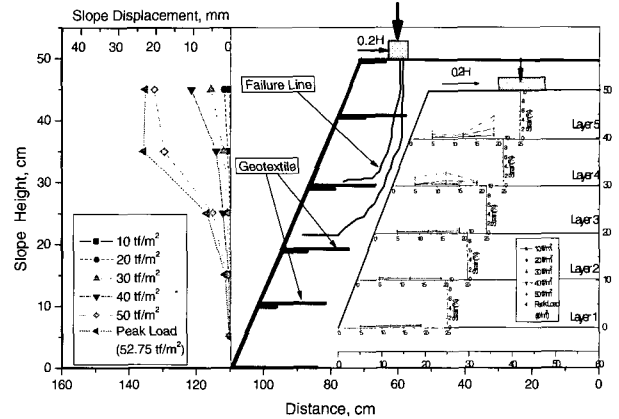


그림 6. 기울기 1:1.0의 수평변위 및 보강재 변화량

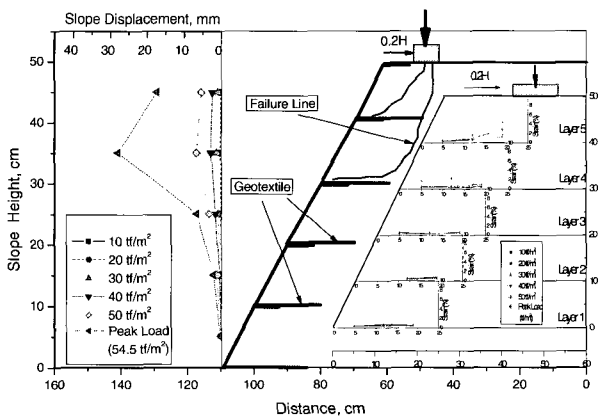


그림 5. 기울기 1:0.8의 수평변위 및 보강재 변화량

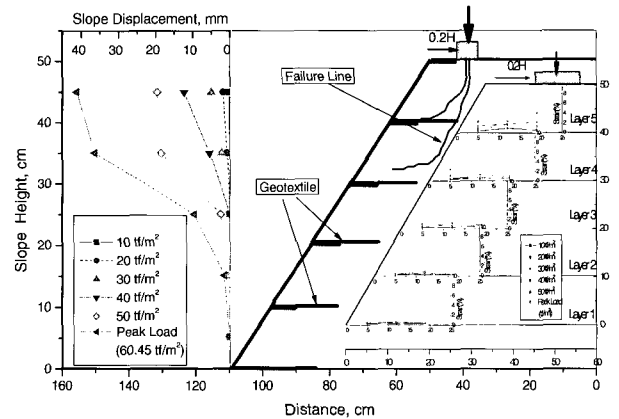


그림 7. 기울기 1:1.2의 수평변위 및 보강재 변화량

특히 경사가 큰 1:0.5의 경우에는 상부에서 작용한 하중의 영향으로 사면 전면에서 걸쳐 수평변위 및 보강재의 변화량 값이 나타났으나, 각도가 작아질수록 하단에서의 변위 및 보강재 변형은 상대적으로 나타나지 않았다. 그러나 그림 7(1:1.2)의 경우는 상부에서 작용하는 하중에 의하여 수평변위가 그림 5, 6에 비하여 크게 나타나는 것은 사면의 경사가 작아질수록 보강재의 영향보다는 토체 자체의 밀립현상이 두드러지게 나타나고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 전체적인 파괴면은 보강영역과 비보강영역의 경계면을 따라 하중 재하판 직하로 진행해가는 발달양상을 보인다. 또한 경사가 크면 클수록 파괴면의 발달양상은 하부로 진행되지 않고 상부에서 보강재 위치에 연하여 발달해가는 보강재 인발현상과 유사한 양상을 보이니, 보강재의 감싸기(wrapping)효과에 의해 인발현상은 크게 둔화되어 있을 가능성이 크다. 또한 이 파괴양상과 유사하게 경사가 커질수록 사면상부에 비해 사면하부에서는 수평변위 및 보강재의 인장 변형률의 변화는 매우 작게 나타나고 있음을 알 수 있

다. 파괴시의 전면 수평변위는 20~40mm(4~8%)이고, 항복시(35~50tf/m²)의 전면변위는 대략 10mm(2%) 내외로써 사면경사에 크게 좌우됨이 없이 안정적인 응력~변형 형상을 나타내고 있다.

4. 붕괴사면 사례 및 대책공법

4.1 붕괴사면 사례

사진 1은 국도 1호선 삼서-장성간 도로 확포장 공사 구간 중, 우기시 토사사면 구간의 쇄설성 유동파괴 상황을 보여주고 있다. 그림 8에 사면붕괴 지역의 시추조사 결과에 의한 지층단면도를 나타내었다. 시추조사 결과에 의하면 조사지역의 기반암층 상부에는 풍화토층과 그 상부에는 완전 포화되어 있는 중립 및 우수의 운반되기에 의한 붕적토층이 사면 상단에서 23m 정도로 매우 두텁게 분포하고 있다. 이러한 토층분포는 일반적으로 계곡보다 능선부에서 붕적토층이 얇게 분포한다는 점

에 비하면 매우 특이한 분포를 보인다.

본 조사구간의 파괴원인을 규명하기 위해 시추조사 결과를 토대로 전기비저항 탐사를 실시하였다. 전기비저항 탐사는 지하매질에 전류를 흘려준 후 지질변화에 따른 전위차를 측정하여 지하 토층상태 정보를 획득하

는 탐사법으로, 지표하부의 연약대의 존재여부 및 규모, 지하수 발달상황을 판정할 수 있다. 본 파괴사면의 조사는 구간내 노선을 따라 종단방향으로 수행하였고, 조사 내용은 표 5에 나타내었다.

10m 간격으로 쌍극자를 배치 비저항치를 측정하였고 해석프로그램(DiprofwIn 4.0)을 이용하여 분석한 사면 상단부의 조사결과를 그림 9에 나타내었다. 조사결과 본 조사지역은 70(Ohm-m) 정도로 저항치가 극히 작은 지역과, 2400(Ohm-m) 정도로 저항치가 매우 높은 지역도 국부적으로 존재하나, 대체적으로 200~700(Ohm-m) 범위에 있다. 그러나 특이한 점은 상부의 붕적토 비저항값이 하부의 풍화토 비저항값에 비해 2배 정도 크다는 것이다. 이것은 풍화토층 자체의 전단강도가 작다기 보다는 시추 결과에서도 나타나듯이 지하수위 분포와 밀접한 관련이 있는 것으로 판단된다. 또한 파괴 사면 우측에 저항값 70(Ohm-m) 이하의 지역이 존재하고 있음을 볼 때 지하수 유동경로가 존재하고 있음을 암시하고 있고, 이것이 본 조사사면의 구조적 취약성의 근본원인이 된 것으로 판단된다.

그림 10은 사면중간부분의 측정결과를 보여주고 있다. 상부의 고비저항 값은 국부적인 접지잡음 또는 건조된 흙 상태의 결과로 판단되고, 이하 심도에서는 전반적으로 지하수로 포화되어 있으며, 오른쪽에 나타나는 저비저항 값은 상부에서 얻은 조사결과와 유사하다. 지질 조사 및 전기비저항 조사 결과, 본 조사 사면은 사면내의 포화대가 풍화토층 전체에 걸쳐 폭넓게 발달되어있

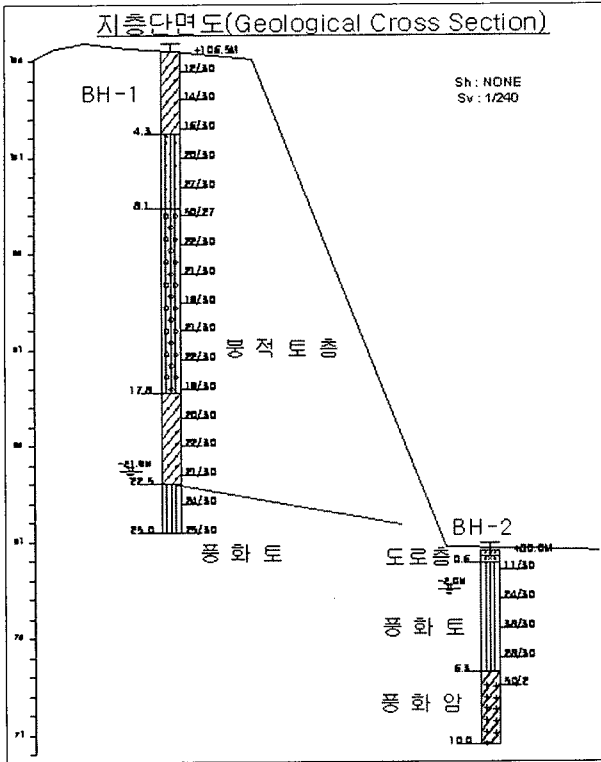


그림 8. 조사지역 지층단면도

표 5. 전기비저항탐사 조사현황

구분	탐사위치	쌍극자간격(m)	조사연장(m)	총 물량	조사장비	
절토부 사면	종방향	사면상단(Up)	10	200	총 810m	- ABEM SAS300C - Booster - 해석S/W DiprofwIn 4.0
	사면중간(Down)	10	190			

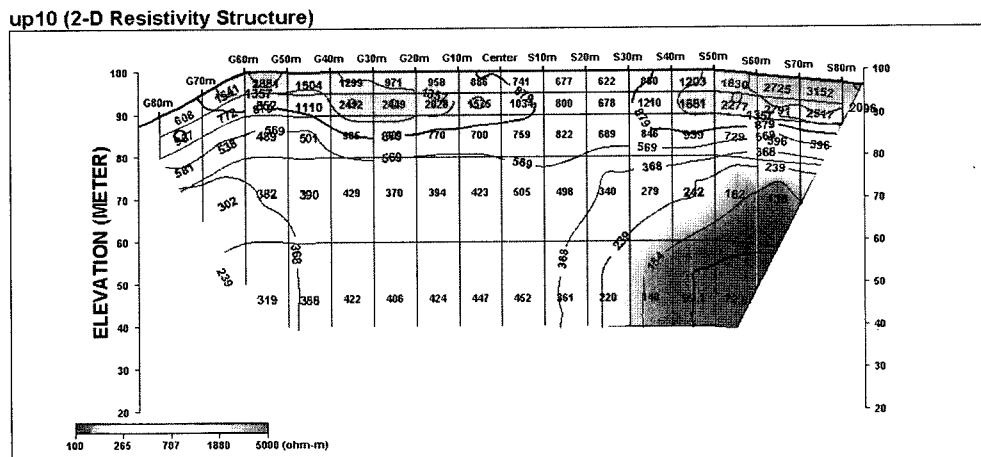


그림 9. 전기비저항 측정결과-사면상단

down-10 (2-D Resistivity Structure)

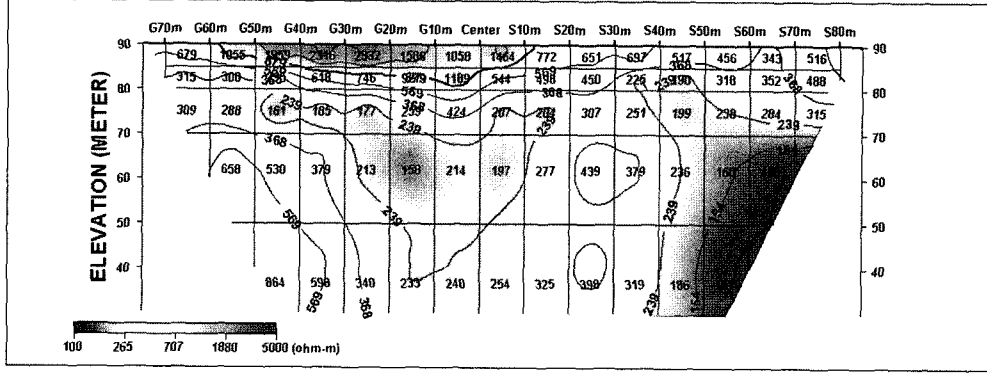


그림 10. 전기비저항 측정결과-사면중간

고, 또한 지하수의 유동경로도 특정지역에서 잘 형성되어 있어, 이것이 사면의 국부적 쇄설성 유동파괴의 원인이 된 것으로 판단된다.

4.2 대책공법

4.2.1 대책공법 검토

사면안정 대책공법은 크게 억제공과 억지공으로 대별된다. 억제공은 지형, 지하수 등의 자연조건을 개량하여 활동을 안정화시키려는 공법으로 장기간 안정에 기여하여 안전을 유지하는 공법이고, 억지공은 인공구조물에 의해 활동력에 대항하려고 하는 공법으로 억제공보다는 높은 안전율이 요구되며 안전율을 증가시키는 공법이다. 이러한 일반적인 대책공법(표 6)은 지하수 유동에 따른 토사사면의 쇄설성 유동파괴에 적용시키는 것은 적절치 못하다. 왜냐하면 이 사면의 대책공법으로서의 주 검토내용은 지하수위 저감대책과 지하수 유동 경로 조절에 있기 때문이다. 따라서 본 파괴사면은 지하수위 저하와 지하수 유동 경로 조절이 가능하고, 동시에 표면 녹화가 가능한 본 연구에서의 검토공법인 녹화보강토공법을 적용하여 시공하였다.

4.2.2 녹화보강토공법 개요

절토사면이 파괴되었을 경우, 사면의 보수·보강은 파

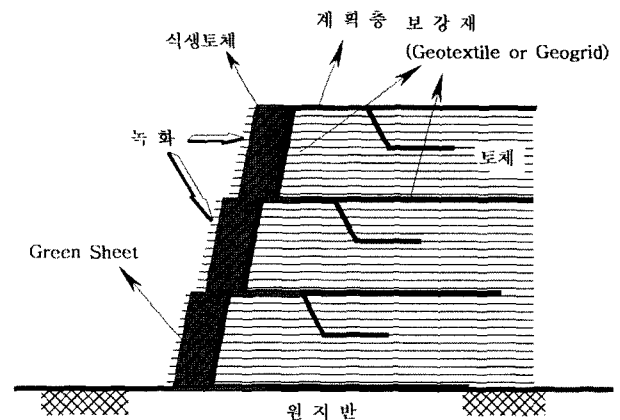


그림 11. 녹화보강토공법 시공 단면도

괴형태, 파괴규모 및 토층구조에 따라 안정성 및 경제적 측면에서 가장 효과적인 방법을 선정하게 된다. 이 검토 현장에 적용한 녹화보강토공법의 개요도는 그림 11과 같다. 보강재의 배치와 보강토층의 설치에 앞서 기술한 모형보강토와 전혀 다른점이 없으나, 전면녹화를 위해 실제 시공에서는 전면에 식생토층을 형성시키고 있다. 이 식생토층은 특별히 고안된 슬라이드폼을 이용하여 보강성토층과 식생토층이 일체화 되도록 하였고 식생토층에서 발아하여 전면에 녹화가 가능토록 하였다.

4.2.3 보강토공법 적용 결과

본 조사현장에 대한 실내시험 및 지반조사 등의 결과를 바탕으로 지반강도정수를 결정하였으며, 사면의 원호파괴안정과 활동안정성을 평가하기 위하여 보강토공법의 안정해석 프로그램인 ReSSA 2.0을 이용하였다. 안정해석에 적용된 지반강도정수 및 해석결과를 표 7 및 그림 12에 나타내었으며, 소요안전율을 확보할 수 있었다. 파괴사면은 경사가 1:1.8로 전체 5단의 소단으로 총

표 6. 일반적인 대책공법

분 류	공 법
안전율 유지공법	파복공법, 뽕기공법, 붙임공법, 격자공법, 낙석방호공법 등
안전율 증가공법	옹벽공법, 구배완화공법, 보강토공법, 미끄럼방지말뚝공법, 앵커공법 등

높이 30m 내외의 비교적 대규모의 사면이다. 국부적으로 3단 소단까지 연장 150m가 파괴되었고, 대규모 원호 파괴라기 보다는 고함수토사의 쇄설성유동에 따른 국부적파괴로 판정되었다. 보수방법은 실내 모형실험 결과 및 주위사면과의 조화를 위하여 사면경사는 1:1.0으로 하였고, 소단의 폭을 3m로 설정하여 소단내에 배수로 및 보강구역과 비보강구역 경계면에 맹암거를 설치

하여 배수기능 및 보강구역내로의 지하수 차단기능을 두었다. 그림 13에 세부적 표준단면도를 나타내었다.

본 조사지역의 붕괴구간(사진 1, 3)에 토목섬유 보강토공법 적용 결과(사진 2, 4), 불안정한 사면에 대하여 안정성을 확보하였을 뿐만 아니라, 성토체 구축에 있어서 사면경사를 1:1.0으로 신설하였으며, 추가적으로 녹화가 진행되어 자연친화적인 사면을 형성하였다. 또한 현장발생 불량토를 사용하여 외부 토사의 반·출입이 없

표 7. 해석에 적용된 지반정수 및 해석결과

지반정수	단위중량(t/m^3)	점착력(C)	내부마찰각(ϕ)
보강토층	1.86	0	30
풍화토층	1.86	1.0	34.6
기초지반	1.86	1.0	37.3
해석방법	원호파괴 (Bishop)	2-Part Wedge (Spencer)	3-Part Wedge (Spencer)
해석결과	1.31 (>1.3)	1.30	1.47



사진 1. 붕괴사면현장

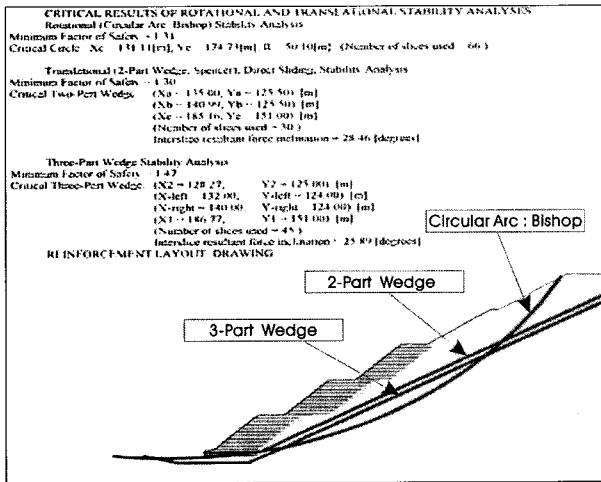


그림 12. 안정해석 결과(ReSSA)

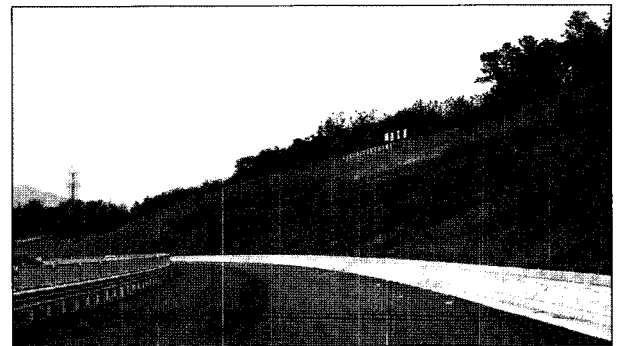


사진 2. 녹화보강토공법 적용결과

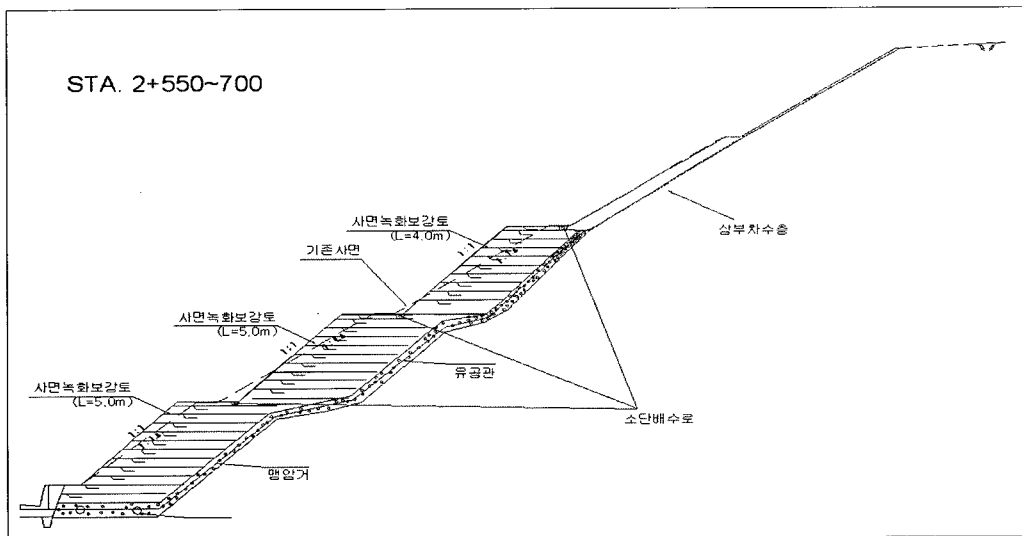


그림 13. 보강토공법 현장적용 표준단면도

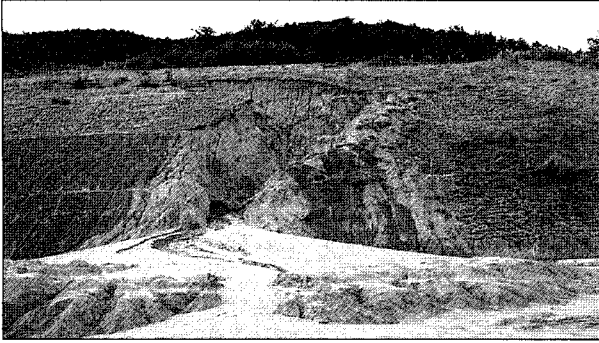


사진 3. 붕괴사면현장-1

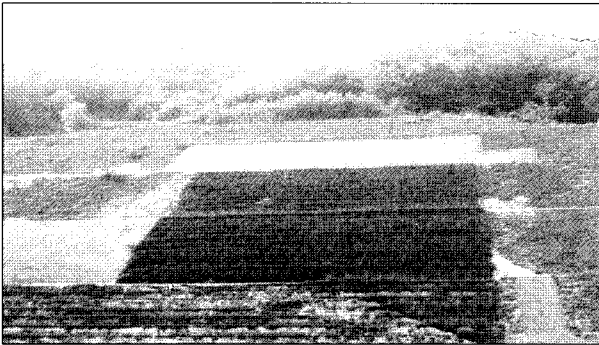


사진 4. 녹화보강토공법 적용결과-1

어 경제적인 시공법이 되었으며, 여름철 집중적인 강우에도 안전하게 성토체를 유지하여 추가적인 사면붕괴를 방지하였다. 현재 사면전면에는 시간의 경과에 따라 녹화가 진행 중이다.

5. 결론

쇄설성 유동파괴 토사사면 복구를 위한 토목섬유 보강토 공법을 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 토목섬유를 이용한 실내모형실험 결과로부터 상부 하중 작용시, 사면의 경사가 작을수록 선단파괴 양상을 사면경사가 커질수록 사면내 파괴양상을 보이며, 파괴면은 보강영역과 비보강영역의 경계면의 하중재하 직하점에서 사면 경사각을 따라 발생하였다.
- (2) 일반적으로 성토사면의 국내 경사기준은 1:1.5~

1:1.8로 설정하고 있으나, 보강재를 사용한 보강토 공법에서는 사면경사 기울기를 1:0.5~1:1.8까지 다양하게 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

- (3) 보강재로 보강된 토체는 기울기가 커지면서 보강재의 인장력이 발휘되어 강도증진효과가 발생하지만, 수평변위 및 보강재의 변형률에 있어서 기울기가 작아지면 상대적으로 크게 나타났다.
- (4) 쇄설성 유동파괴 사면에 대해 적용한 결과, 현장에서 발생한 불량토사를 재사용하여 경제성을 확보함과 동시에 집중호우시기를 겪은 현재 녹화 및 배수 기능에 문제가 없고, 외관상 두드러진 변형상태도 보이지 않고 있어, 이와 같은 보강토공법은 쇄설성 유동파괴 사면보수에 매우 유용한 공법이라 할 수 있다.

참 고 문 헌

1. 김유성, 원명수, 김영민 (2002), “실내모형실험에 의한 보강토벽의 변형거동에 관한 연구(III)”, *대한토목학회논문집*, 제22권, 제3-C호, pp.251-261.
2. 김유성 (2001), *녹화 보강토공법 개발에 관한 연구*, 전북대학교 부설공학연구원 공업기술연구센터.
3. 김유성 (1999), *경제성을 고려한 연직사면 성토공법의 최적화에 관한 연구*, '96사업 제3차년도 최종보고서, 건설교통부.
4. 김정호 (1987), *전기비저항탐사 자료의 2차원 역산*, 박사학위논문, 서울대학교.
5. 조용성, 김유성 (2003), “실내모형실험에 의한 녹화보강토벽의 거동분석”, *한국지반환경공학회 논문집*, 제4권, 제1호, pp.11-17.
6. 한국건설기술연구원 (1995), *Geotextile 및 보강토공법에 관한 연구*.
7. Leshchinsky, D. (2002), “Design Software for Geosynthetic-Reinforced Soil Structures”, *Geotechnical Fabrics Report*, Vol.19, Marc/April, pp.44-49.
8. Leshchinsky, D., Ling, H.I., and Hanks, G. (1995), “Unified Design Approach to Geosynthetic-Reinforced Slopes and Segmental Walls”, *Geosynthetics International*, Vol.2, No.5, pp.845-881.
9. Ruiter, J. (1971), “Electric Penetrometer for Site Investigations”. *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, American Society of Civil Engineers, Vol.97, No.2, pp.50-70.
10. Yamauchi, H., Tatsuoka, F., Nakamura, K., Tamura, Y., and Iwasaki, K. (1997), “Stability of Steep Clay Embankments Reinforced with a Non-woven Geotextile”. *Proc. the Post Vienna Conf. on Geotextiles*, Singapore, pp.370-386.

(접수일자 2005. 5. 31, 심사완료일 2005. 7. 5)