

퇴적암지역에서의 가압그라우팅에 의한 사면보강 사례

Cases for slope reinforcement by the pressure grouting in sedimentary rocks

장진기¹⁾, Jin-Ki Kang, 우상백²⁾, Sang-Baik Woo, 한현희³⁾, Hyun-Hee Han

¹⁾ 대원토질 기술연구소 연구원, Researcher, Research Center, DaeWon Soil Co., Ltd.

²⁾ 대원토질(주) 부장, General Manager, Daewon Soil Co., Ltd.

³⁾ 대원토질(주) 이사, Director, Daewon Soil Co., Ltd.

1. 서론

국토의 대부분이 산악지로 형성된 국내 지형 상, 도로건설 현장에서 자연사면을 절취하는 경우가 많다. 이러한 절취면이 암반인 경우, 암반 내에 발달해 있는 불연속면이나 단층과 같은 지질구조 요소에 의해 그 안정성이 크게 좌우된다. 특히, 현재 공사가 다수 진행 중인 경상분지 퇴적암 절취사면의 경우, 층리의 경사가 비교적 완만함에도 불구하고 사면활동으로 이어지는 경우가 빈번히 발생하는데, 이러한 이유는 파쇄가 심한 퇴적암의 경우, 절취로 인한 응력해방으로 절취면이 쉽게 이완될 뿐 아니라, 대기 노출시 급속한 풍화로 이어지기 때문인 것으로 알려져 있다. 현재 일반적으로 적용되고 있는 사면 보강공법으로는 Soil Nailing, Rock Bolt 공법 등이 있으나, 이러한 사면보강공법의 경우 주입재를 중력식 채움 방식으로 시공하므로, 절취로 인한 층리, 절리 및 단층 등의 불연속면 사이가 이완된 퇴적암지반에 대해서는 보강재 주변지반에 대한 보강 효과가 미미한 것이 일반적이다. 또한 이들 공법이 영구사면으로 사용되기 위해서는 내구성이 뛰어난 보강재를 사용해야 하는 등의 어려움이 있다.

따라서, 본 논문은 경상도 퇴적암 절취사면 중 대표적인 3개소 사면에 대한 안정성 검토 및 유리섬유보강재(Fiberglass Reinforced Plastic)를 이용한 가압그라우팅에 의한 대책방안 사례를 제시함으로써 관련기술자들에게 퇴적암 절취사면의 특성을 고려한 설계 및 시공 시에 도움이 되는 자료를 제공하고자 한다.

2. 현장별 대책 사례

2.1 00교 개체공사 접속도로 절취사면(CASE I)



<그림 2.1> 00교 개체공사 접속도로 절취사면 현황(CASE I)

2.1.1 사면현황 및 지질

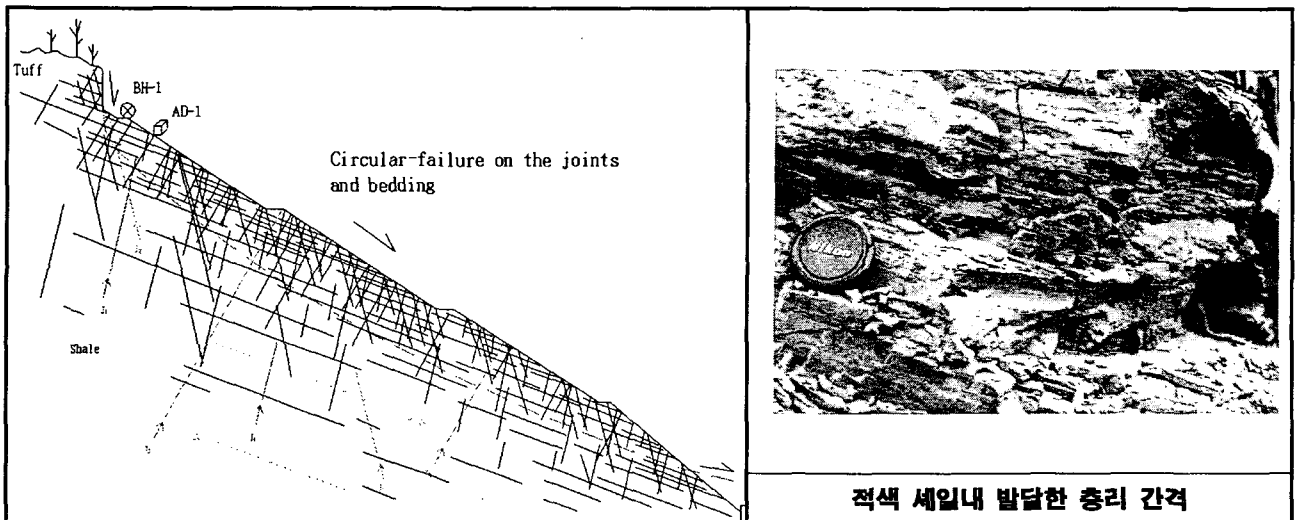
본 사면은 경상북도 청송군 안덕면 소재의 교량개체공사 접속도로 절취사면으로서 공사 수행 중 일부 구간의 절취사면이 붕괴되었다. 청송지역은 경상누층군 하양층군으로 불리는 퇴적암체의 일부가 분포하는데 본 과업수행 사면은 중생대 백악기의 퇴적암인 사곡층과 춘산층의 경계부로서 춘산층의 최하부층에 해당하는 사암, 셰일, 및 협제한 응회암으로 분류할 수 있다.

2.1.2 불연속면 특성

1) 층리 구조

본 사면은 대부분 퇴적암으로서 3회 이상의 취성변형작용을 받은 경험이 있는 암석이므로 복잡한 단층구조와 여러 단계의 절리면들이 형성되어 있으나, 암석 형성시 생성된 층리들은 수 mm의 간격이 거의 수평으로 발달하고 있다. 단지 사암과 셰일이 교호하는 양상에 따라 층리의 간격이 암상에 지배되어 간격을 달리할 뿐, 각 층리면들의 배향은 거의 평행하다.

사면 전체의 층리면은 N80W/12SW~N80W/26SW로 비교적 완만하나, 파괴가 발생한 부분의 층리면의 주향 경사는 단층과 전단절리 등의 영향으로 경사각이 급해지는 경향이다. 즉, 파괴부 사면의 층리면의 주향과 경사는 평균 N80W/25SW(190/25)이다.



〈그림 2.2〉 STA. No. 15+000 지질 특성(CASE I)

2) 단층 구조

인장성 단층면이 발달한 부분에서 층리와 절리 등의 경사가 단층과 사교하면서 수직에 가까운 양상을 나타내게 된다. 사면하부의 일부는 층리면과 단층면이 동시에 관찰되는 암반양상을 보이나, 사면하부는 단층대를 형성시킨 단순응력(simple shearing)작용이 미치지 못한 양상이므로 단층과 같은 취성구조의 발달이 미약하다. 다만, 또 다른 지구조 응력장의 결과 형성된 3매 이상의 전단절리들이 형성되어 있다. 사면 전체에 분포하는 단층면의 평균은 N10W/84SW(260/84)이다.

3) 절리 구조

사면 하부의 경우는 단층으로 전이된 층리와 전단절리가 3조 발달하고 있다. 또한, 제 2전단절리대를 따른 평면파괴의 발생으로 사면 배후 상단에는 사면의 주향과 거의 평행하고 경사각이 거의 수직인 인장균열대가 발달하고 있다. 전단절리들의 평균 배향은 제 1전단절리는 N10W/80NE(080/80), 제 2전단절리는 N75W/75SW(195/75), 제 3전단절리는 N85E/60NW(355/60)이다. 이들 전단절리와 단층 및 층리가 만나 이루는 암괴가 썩기형상으로 본 사면에는 파괴가 발생한 것으로 판단된다.

<표 2.1> 암반 내 불연속면의 간격, 연속성, 거칠기, 지하수 상태 및 충전물의 현황(CASE I)

대상특성 불연속종류	간격	연속성	거칠기	지하수 상 태	충진물	틈
층 리	1cm ~ 50cm	무한	평활	건조	약간의 점토광물	평균 0.1mm
전단절리	30cm	3m	평탄	건조	없음	평균 1mm
인장절리	500cm	평균 10m	평활	건조	약간의 점토광물	평균 100mm
단 층	500cm	평균 10m	매우 평활	건조	방해석	2mm

<표 2.2> 사면의 구역별 암반의 RMR 분류(CASE I)

zone	암석명	압축강도 (kgf/cm ²)	RQD (%)	불연속면 간격(cm)	불연속면 상 태	지하수 상 태	사면 배향 주불연속면 배향	침수	등급	비고
상부	응회암	147.2	0	1~20	매우 평활	건조	평행	-5	V	
중·하부	세일 사암	913.2	0	20~50	평활	건조	거의 평행	-10	V	
평균	세일	530.2	0	20	평활	건조	거의 평행	-7.5	V	

2.1.3 파괴원인 및 유형 판단

사면 전체에 분포하는 단층면의 평균은 N10W/84SW(260/84)이며, 이들 단층면들은 확장도로를 횡단하는 양상으로 발달되어 있다. 특히, 사면상부에 위치한 두께 약 3m의 응회암이 암석의 특성상 쉽게 강한 단층대를 발달시킬 수 있으며, 그로 인하여 암반이 심하게 파쇄되어 동시에 사면상단의 배후에 대규모의 인장균열을 발생시켜 그 틈으로 우수 등이 침투하여 사면붕괴에 주 요인으로 작용한 것으로 평가된다.

현 사면의 STA. No. 15+000 단면 상부는 전단절리면을 따른 전도파괴 및 단층면을 따른 평면파괴가 발생하였고, 중부는 단층면과 전단절리면을 따른 평면파괴가 발생하였고, 하부는 절리면과 층리면을 따른 원호파괴가 발생하였다. 또한 STA. No. 17+000 단면에서는 사면 전체가 절리면과 층리면을 따른 원호파괴가 발생하였고, 상부는 단층면과 전단절리면을 따른 평면파괴 및 전도파괴가 발생하였다.

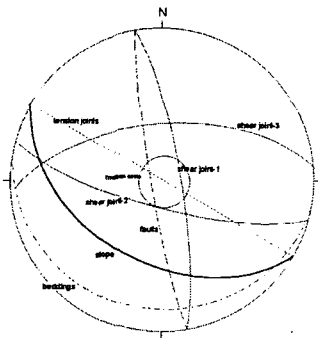

2.1.4 사면안정성검토

1) 예상 파괴 형태 및 방향

파괴암체의 미끄러짐 방향을 살펴보면 STA. No. 15+000단면과 STA. No. 17+000단면의 중·상부의 경우는 제1 및 제2 전단절리, 제2 및 제3 전단절리, 제2 전단절리 및 인장절리, 제2 전단절리 및 단층면을 따른 썸기 파괴가 남서 방향으로 45°의 침강각을 나타내며, 사면 상부의 단면은 제2 전단절리면을 따른 평면파괴가 남서 방향의 45°의 경사각을 나타낸다

2) 전체사면의 안정성

암반사면에 대하여 주된 불연속면을 대상으로 입체투영망 분석을 입체투영도(등면적 하반구 투영법)에 의해 실시하여 사면의 배향 및 사면의 예상 파괴방향을 결정했으나, 본 사면에서 취약부위인 대표적인 단면의 안정해석에 일반적으로 많이 이용되는 한계평형이론 및 암반의 평면파괴해석에 근거한 사면안정해석을 실시하였다. 붕괴부분에 의한 역해석결과와 시험값의 지반 물성치로 평면파괴안정성을 검토한 결과 우기시 기준안전을 만족하지 못하였다.

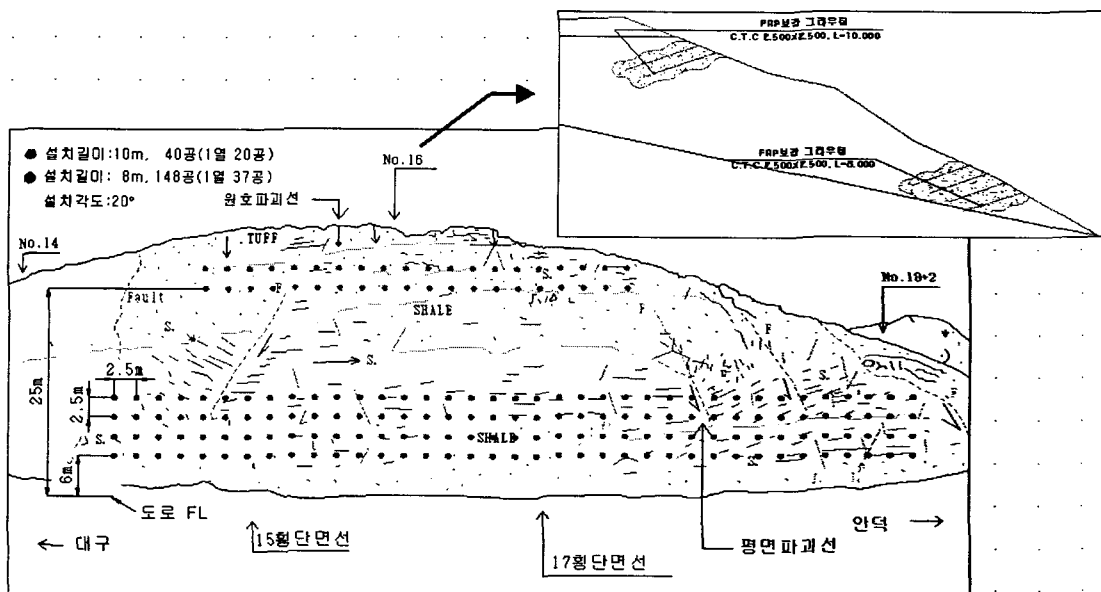
<p>평사투영</p>		
<p>파괴형태</p>	<p>썩기파괴 가능성</p>	
<p>불연속면</p>	<p>(J1 ^ J2, J2 ^ J3, J2 ^ Jt, J2 ^ fault)</p>	
<p>파괴된 사면의 측면 인장 균열면이 벌어진 상태</p>		

<그림 2.3> 평사투영에 의한 예상 파괴 형태(CASE I)

2.1.5 보강대책검토

본 사면의 여건을 종합적으로 고려할 때, 적용 가능한 대책공법으로 사면구배완화공법, Rock Anchor 보강, Rock Bolt+Grouting 보강, FRP 보강 및 GABION 옹벽설치 등을 들 수 있으나, 현장 여건상 FRP 보강공법의 적용이 가장 합리적인 것으로 판단된다. FRP 보강공법의 적용시에는 수발공의 설치가 필수적이다.

대책공법의 적용시 본 사면은 기 붕괴가 발생되어 밀도가 느슨한 상태를 유지하며, 수직방향의 대규모 균열이 다수 발생한 상태이므로 밀도증가를 위해 불도져 등을 이용하여 면고르기 및 다지는 작업이 필요하며, 산마루 측구와 송수로 설치 및 약 7cm 두께의 녹생토공법에 의한 표면보호를 실시하여 우수의 사면내 침투를 방지할 필요가 있다. 또한, 사면법선(비탈기슭)부에 붕괴부의 표토 흘러내림 방지를 위한 L형 측구설치가 요망된다. 추후 도로축조 작업시 진동 및 충격 등이 본 사면에 전달되지 않도록 유의할 필요가 있으며 가능한 도로 평면선형을 수정하여 중심선이 본 사면에서 원거리에 위치시키는 것이 유리하다. 아울러, 대책공법 적용후 공사 종료시까지 사면의 불확정요인에 의해 발생가능성이 있는 사면의 변위거동을 수시로 육안 관찰해 볼 필요가 있다.



<그림 2.4> 보강대책 대표단면 및 전개도(CASE I)

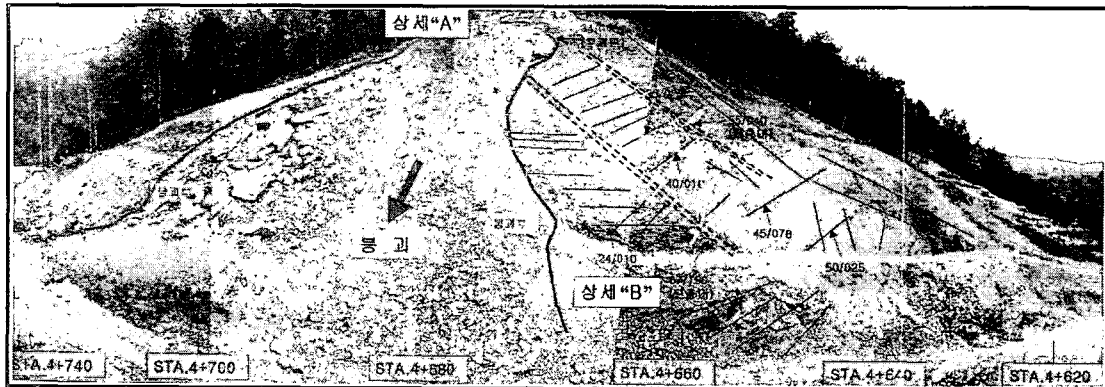
2.2 00~00간 도로4차선 확·포장공사 절취사면(CASE II)

2.2.1 붕괴이력 및 지질

경상북도 고령군에 소재한 본 사면은 1차붕괴 후 사면구배완화공법으로 사면안정을 확보하려고 했지만 퇴적암의 특성으로 인하여 암반내 발달한 불연속면을 따라 2차 변위거동을 한 상태이다. 본 지역의 지질은 중생대 쥐라기~백악기 사이의 신동층군에 속하는 낙동층, 하산동층 및 진주층이 주로 분포하는데 과업구간에 분포하는 기반암은 하산동층과 진주층이 주를 이루며 분포하고, 제4기 충적층이 이들 기반암을 부정합으로 피복하고 있다. 또한, 암층은 화산기원 퇴적물을 함유하는 사암과 흙색 이암 또는 세일이나, 세립사암과 실트암도 포함되며 애쉬폴(ash-fall) 및 응회질 사암이 협재되는 것이 특징이다.

2.2.2 사면현황

절취사면의 기반암은 퇴적암(사암, 실트암 및 세일)으로 구성되어 있으며, 단층대가 발달하고 있다. 또한, 산성 암맥류가 세맥(dyke)의 형태로 관입하고 있다. 각각의 구간은 평면파괴를 유발하는 불연속면이 주로 발달해 있고, 그 외의 불연속면이 불규칙하게 분포하고 있다.



<그림 2.5> 1차붕괴 후 사면현황(CASE II)

<표 2.3> 대상구간의 시공 및 붕괴 현황(CASE II)

조사항목	현장명	00~00간 우회도로		조사일자	2001년 11월 19일	
	위치	STA.4+580~4+740(R)				
도로	국도			방향 : 45/350		
				연장 : 180m	높이:35.2m	
절개면 및 지형	암·토 : 토사, 리핑, 발파	산 절개				
	주변지형 특성	층리 발달				
	절개면 특성	토사, 리핑암 - 1:1.2, 발파암 1: 1.0				
	표준 기울기	38/000, 14/070, 78/205, 84/280, 86/150, 28/010, 80/030, 84/060, 84/070, 10/120, 10/125, 12/080, 74/170, 76/210, 16/088, 82/045, 90/305, 15/100, 58/360, 60/360, 82/240				
지질	풍화정도	연암-풍화토	암종 : 퇴적암(사암, 실트암, 세일)			
	암반형태	blocky or tabular	암색 : 황갈색	풍화암색 : 갈색		
수리조건	함수상태	하부 습한 상태				
	지하수 유출구간					
시공현황	사면 절취중					
붕괴이력	붕괴1		붕괴2		붕괴3	
	위치	4+670~720	위치	4+670~740	위치	
	type	P.F	type	P.F	type	
	규모	폭 10~30m, 높이 10~15m 심도 1.5~2.0m	규모	붕괴1과 유사	규모	
기타	STA. 640~670 55/040, 67/190 단층대 발달					

2.2.3 사면붕괴원인

1) 퇴적암의 빠른 풍화 진행속도

기반암은 셰일, 실트암 및 사암의 퇴적암으로 이루어져 있다. 퇴적암의 특성상 절취시 풍화가 매우 급속하게 진행되는 특징이 있으며, 현재 파쇄가 매우 심하게 진행된 상태로 일부 구간에서 붕괴가 발생하였다.

2) 우수의 지중 침투로 인한 지반의 전단강도 감소

본 검토구간과 같이 층리와 절리가 매우 발달한 퇴적암의 경우 우기시 우수의 지중 침투가 매우 빠르게 진행되어 간극수압이 급속하게 증가하게 된다. 지중 간극수압의 증가로 인한 지반의 전단강도 감소는 사면 붕괴의 주 원인이 되므로 사면안정 대책 수립시 이에 대한 대책이 수립되어야 한다.

3) 퇴적암의 차별풍화

암반의 구성광물 및 강도 차이가 클 경우 일조상태, 우수 및 동결·융해 등의 영향에 의해 차별풍화가 발생하게 된다. 특히, 사암, 셰일 및 실트암으로 이루어진 퇴적암의 경우 일조, 동결기 및 해빙기의 동결융해 작용과 우수에 의한 차별풍화가 심하게 발생하며, 차별풍화가 심한 사면의 경우 붕괴가 발생하게 된다. 특히, STA.4+640~680구간의 불연속면인 단층대 부근에서 차별풍화가 발생할 가능성이 크며, 전체적으로 차별풍화에 의한 구간 별 붕괴 위험성이 큰 것으로 사료된다.

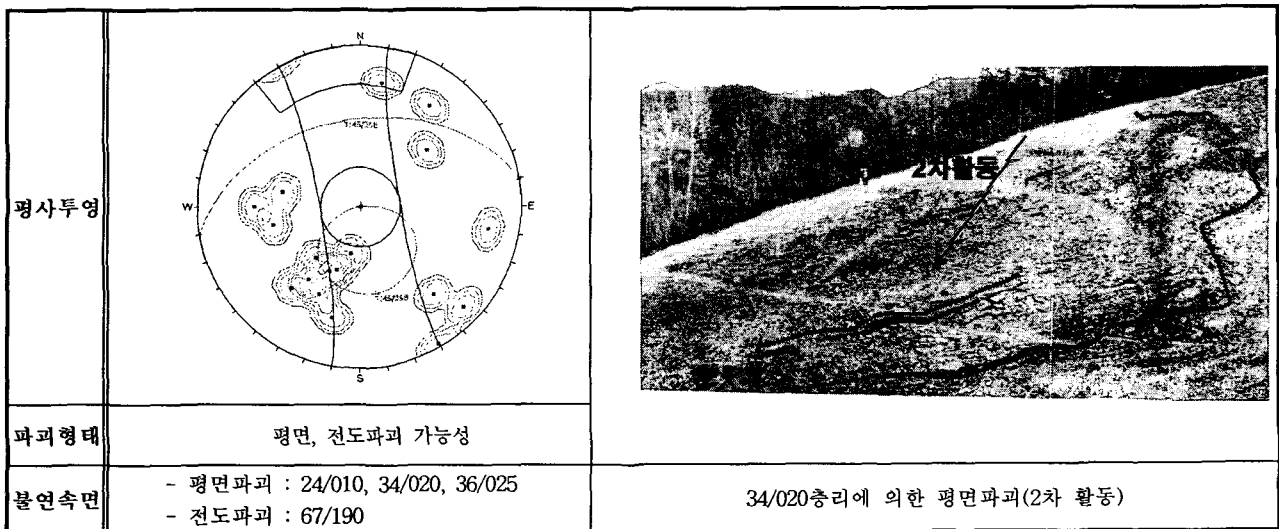
4) 불연속면 틈새의 충전 물질

사면내 불연속면사이에 충전물이 있는 경우 우수나 지하수가 침투하게 되면 절리면의 전단강도가 급속하게 감소하게 되어 절리면을 따라 파괴가 발생하게 된다. 본 검토 구간내 STA. 4+670~720 붕괴 사면의 경우 불연속면 사이에 점토가 5mm이상의 두께로 협재되어 있고 붕괴구간에 점토가 쌓여 있는 것을 육안으로 확인할 수 있었다. 따라서, 우기시 절리면내로 우수가 침투되어 절리면의 급속한 절리면의 전단강도 감소가 붕괴의 원인이었을 것으로 사료된다.

2.2.4 사면안정성검토

<표 2.4> STA.4+580~740구간의 불연속면(CASE II)

구간(STA.)	사면방향	불연속면	비고
4+580~740	63/350	34/040, 65/215, 40/010, 36/025, 24/010, 78/314, 60/014, 34/020, 67/190, 55/040, 45/078, 70/280, 60/320, 50/025, 46/035, 45/230, 88/330, 55/090	



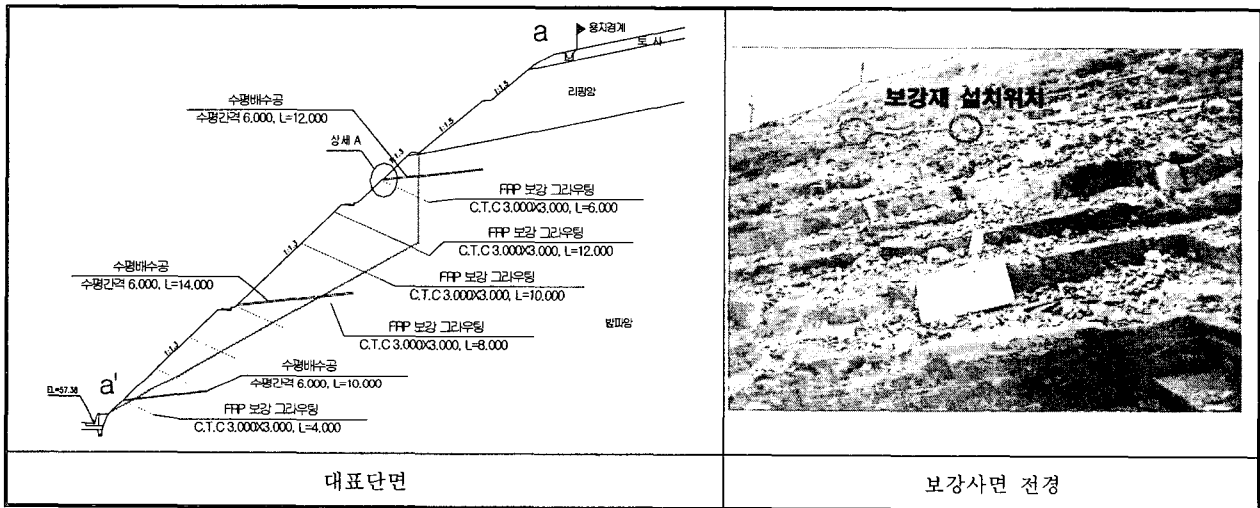
<그림 2.6> STA.4+580~740구간의 평사투영해석

평사투영해석 결과 평면파괴 및 전도파괴가 발생할 가능성이 크며, 썩기파괴는 평면형으로 발생할 가능성이 큰 것으로 검토되었다. 평면파괴 가능성이 높은 불연속면(24/010)에 대해 한계평형해석을 실시한 결과 기준안전율을 만족하지 못하는 것으로 해석되어 적절한 보강대책이 수립되어야 할 것으로 분석되었다.

2.2.5 보강대책검토

본 검토구간의 사면은 부분적으로 이미 붕괴가 발생되었거나, 붕괴의 가능성이 높은 상태이다. 본 사면의 경우 슬라이딩에 의한 변위발생으로 인하여 지반이 느슨한 상태이며 안정성 검토결과 불안정한 것으로 판정되어 사면안정 대책이 필요할 것으로 판단되었다. 본 검토구간은 이미 경사완화공법을 적용하였음에도 불구하고 층리 및 절리 등의 불연속면이 발달된 퇴적암의 특징으로 1, 2차 붕괴가 발생되었으며 추가적인 붕괴가 예상되므로 불연속면의 방향성(주향 및 경사)을 고려한 경사완화공법과 병행하여 보강공법을 적용해야 할 것으로 판단되었다.

본 지역의 기반암의 지반특성상 가압그라우팅에 의한 주변지반의 전단강도를 증가와 고강도 FRP판에 의해 활동면에 대한 전단저항력을 발휘할 수 있는 FRP 보강 그라우팅 공법이 경제성 및 시공성 측면에서 최적의 공법으로 판단되어 FRP 보강 그라우팅 공법을 대책공법으로 선정하였다. 또한 절리 간격이 넓고 비교적 신선한 기반암이 분포하는 미 붕괴구간은 Rockbolt공법을 적용하였다.



<그림 2.7> 보강대책(CASE II)

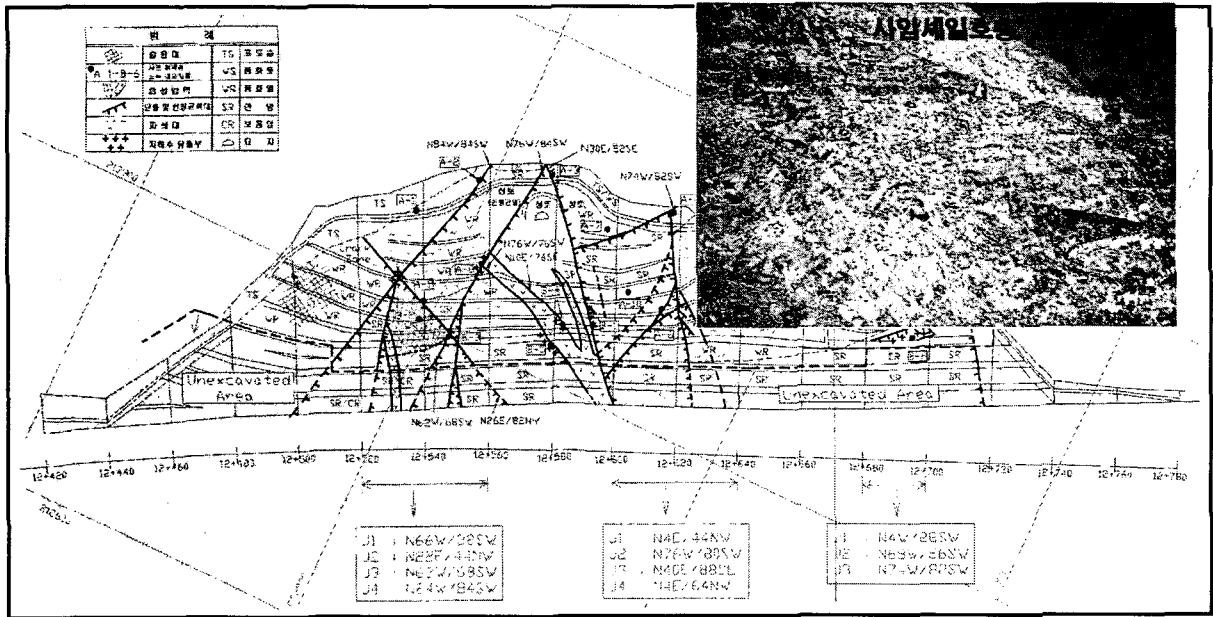
2.3 00~00간 도로 확·포장공사 대절취사면(CASE III)

2.3.1 지질 및 사면현황

울산광역시 울주군에 소재한 본 구간은 원 설계시 계획된 사면구배에 의해 사면조성 공사가 상당히 진행된 상태이며, 사면조성을 위한 절취작업 중 여러 구간에서 평면 및 썩기파괴 형태의 대규모 붕괴가 발생되었고 일부 구간에서 부분적인 지하수 용출이 발생한 상태이다. 최대 사면고는 약 100m 정도이며, 사면경사는 약 37°~63° 정도를 나타내고 있다.

노출된 법면에서 관찰되는 기반암은 사암과 셰일의 호층으로 구성된 중생대 퇴적암과 중생암맥으로서 전체적으로는 사암이 우세하고 셰일 및 실트암은 사암과 일부 호층을 이루거나 부분적으로 박층으로 협재되어 있는 양상을 보여준다. 실트암 및 셰일은 건열 및 물결자국과 같은 퇴적구조가 관찰되며, 불연속면 사이에는 대부분 방해석 광물이 Coating되어 있다. 불연속면은 N4~84W/28~86SW의 방향성을 갖는 단층대와 N4~26E/64~82NW의 방향성을 나타내는 단층대 및 절리, N15~30E/15~44NW의 층리면이 주를 이루며, 특히 층리면이 사면방향과 유사한 방향으로 발달되어 사면의 안정성에 매우 불리하게 작용하고 있는 것으로 조사되었다.

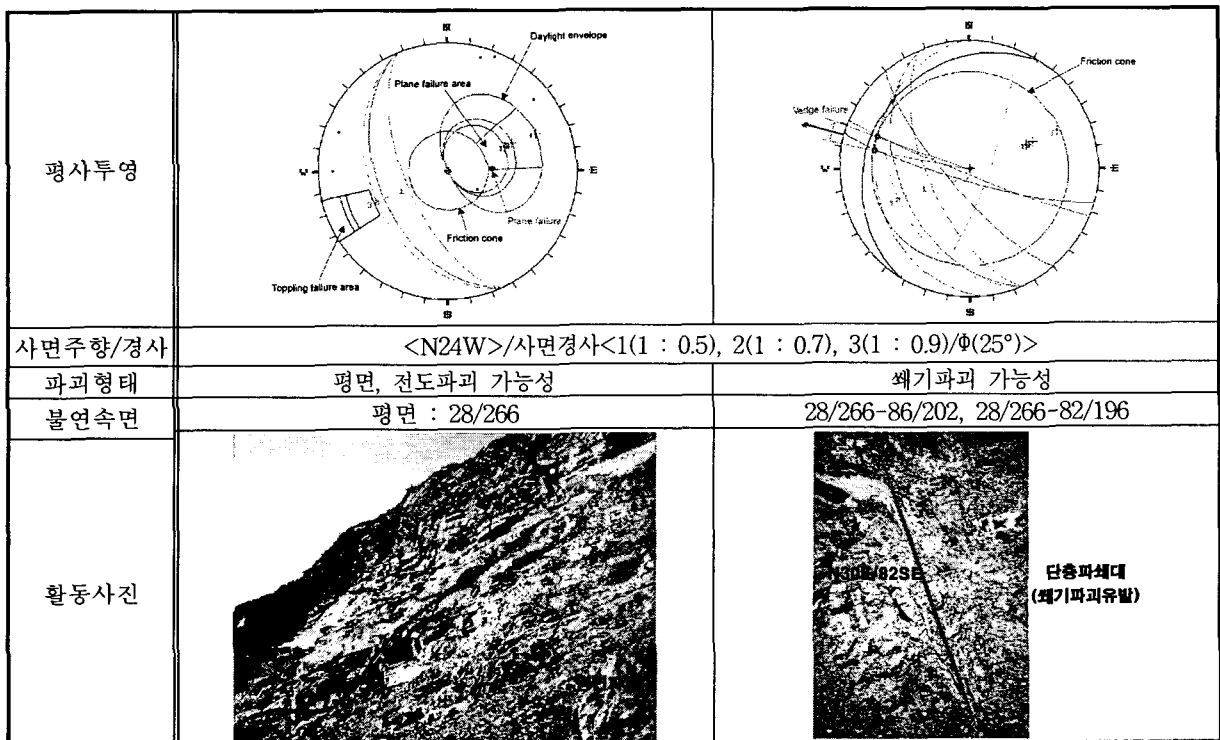
전반적으로 노출된 법면의 지반상태는 수조의 단층과 파쇄대를 수반하고 있고 절리 및 균열이 매우 발달되어 있으며 비교적 협소한 범위에서조차도 규칙적인 양상을 띠지 못하고 단층 및 관입작용으로 인하여 상하 측방으로 매우 교란되어 있는 상태이다. 또한, 부분적으로 풍화변질이 매우 심하며 사면 전반에 추가적인 붕괴가 지속적으로 발생할 수 있는 매우 불안정한 상태이므로 적절한 보강대책 마련이 시급히 요구된다.



<그림 2.8> 절리 발달 현황(CASE III)

2.3.2 사면안정성검토

1) 평사투영법에 의한 안정성 검토



<그림 2.9> 평사투영 해석도(CASE III)

평사투영법에 의한 안정성 분석 결과, 본 검토구간의 기반암은 퇴적암류로서 기반암에 발달된 층리면의 경사 방향이 절취면의 경사방향과 일치하고, 평면파괴를 유발할 수 있는 층리면의 경사각이 15°~ 25°정도인 것을 감안할 때, 전체적인 사면의 안정성을 확보할 수 있는 사면의 구배는 약 1 : 2(≈27°) 정도인 것으로 판단된다.

그러나, 현장여건상 본 현장에서 전체적인 사면의 구배를 1 : 2 정도까지 완화시킨다는 것은 현실적으로 불가능할 것으로 사료되므로 현 사면구배(원 설계시 계획구배)로 사면을 조성한 상태에서 보강대책공법을 적용하여 사면의 안정성을 확보하거나, 적절한 구배로 사면의 경사를 어느 정도 완화한 뒤, 보강대책공법을 적용하여 사면의 안정성을 확보하는 방법을 생각할 수 있는데, 이는 안정성, 경제성, 시공성 측면에서 다각적인 비교·검토를 통해 선정되어야 할 것으로 판단된다.

2) 한계평영법을 이용한 사면안정 해석

평사투영법에 의한 암사면의 붕괴유형 및 가능성에 대해 검토하여 암반사면에서의 개략적인 안정성 평가를 실시한 후, 붕괴 위험성이 높다고 판단된 잠재적인 파괴 가능성을 가지고 있는 불연속면에 대해서는 한계평형식을 이용하여 안정성 검토를 실시하였다. 또한, 토사 및 리핑암에 대해서는 원호파괴에 대한 사면안정성 해석을 실시한 결과 기준안전율을 만족하지 못하는 것으로 분석되었다.

2.3.3 보강대책검토

1) 보강 대책 검토

현 사면 경사를 유지한 상태에서 보강공법을 적용할 경우 본 구간은 사면조성 공사가 거의 마무리 된 상태이므로 크레인을 사용하거나 비계를 설치한 후 천공이나 Grouting 작업등이 이루어져야 하는데, 현 사면의 높이가 약 80m(사면의 경사거리)이상 임을 감안할 때 크레인을 사용할 경우 400ton(HD 기준) 이상의 초대형 크레인이 이용되어야 하므로 장비 수배의 어려움 및 비용 면에서 지극히 비현실적이라 사료되며, 비계를 설치하여 작업을 한다하더라도 과도한 공기발생과 비계의 구조적인 안정성 검토, 고소작업에 따른 안전사고 방지대책 등이 수반되어야 할 것으로 판단되며, 그 외 방법으로는 시공 가능한 위치까지 성토 후 시공하는 것을 생각할 수 있으나 이 역시 여러 면에서 비현실적이라 판단되므로 전반적으로 사면의 구배를 완화시키면서 TOP-DOWN방식에 의해 사면을 보강하는 것이 현실적으로 매우 경제적이며 안정성 확보 측면에서도 유리할 것으로 판단된다.

본 구간은 전반적으로 노출된 법면의 지반상태가 수조의 단층과 파쇄대를 수반하고 있고 절리 및 균열이 매우 발달되어 있으며 부분적으로 풍화변질이 매우 심한 상태이며 특히, 층리면은 사면방향과 동일한 방향으로 사면 전반에 추가적인 붕괴가 지속적으로 발생할 수 있는 매우 불안정한 상태임을 감안할 때 사면 경사를 현 사면경사보다 어느 정도 완화시킨 뒤, 보강대책공법을 적용하여 사면의 안정성을 확보하는 것이 현 사면 경사를 유지한 상태에서 보강공법을 적용하는 것보다는 경제성 측면에서 훨씬 유리할 것으로 판단된다. 당 현장에 적용 가능한 사면보강 대책공법으로는 Soil Nailing 공법, Rock bolt 공법, Anchor 공법, FRP보강 그라우팅 공법과 사면의 구배를 완화시키는 공법 등이 있다.

따라서, 과도한 토공량 발생 및 추가 용지매입 문제, 자연 환경훼손 등을 최대한 줄이고, 사면의 안정성, 시공성, 경제성 등을 감안하여 사면경사를 발파암은 1 : 0.7, 리핑암 및 토사는 1 : 1.0으로 적용한 뒤 보강공법을 적용하는 것이 바람직하리라 사료된다.

2) 보강대책공법 선정

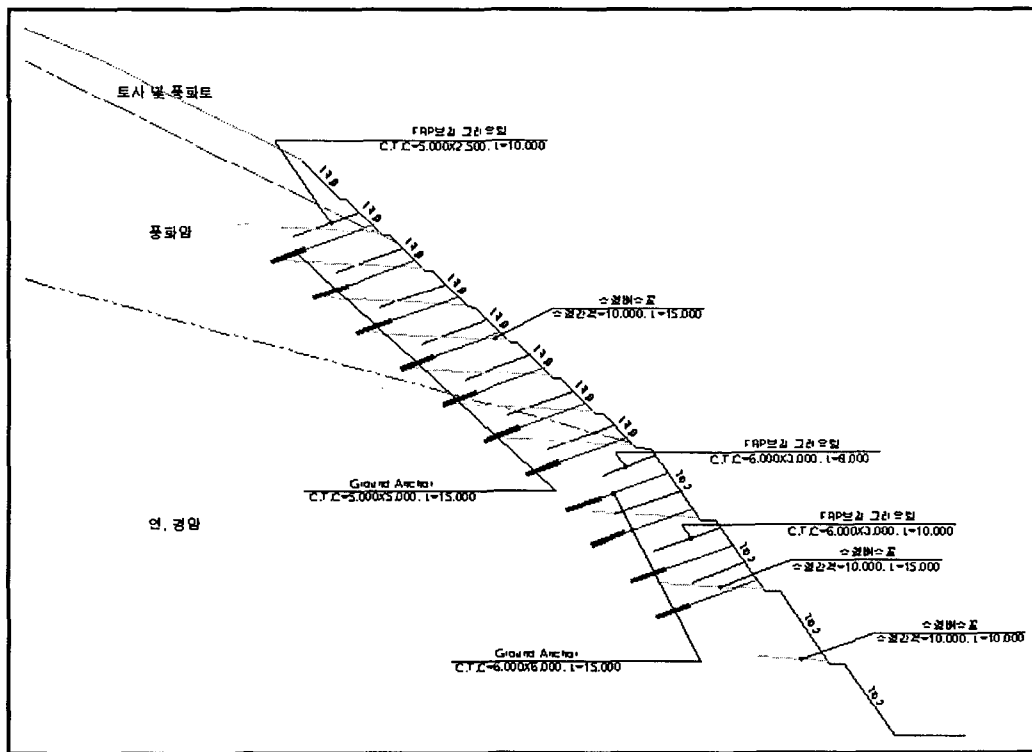
본 구간에 대한 보강대책은 먼저 구배완화로 인해 붕괴구간과 이완된 주변지반이 어느 정도 제거될 것으로 판단되고, 사면 붕괴로 인해 붕괴구간과 주변지반이 이미 이완되어 지반 자체의 전단강도가 현저히 저하되었을 것으로 판단되므로 붕괴구간을 포함한 붕괴 인접구간과 추후 붕괴발생의 우려가 있는 구간에 대해 부분적으로 FRP보강 그라우팅 공법과 Ground Anchor 공법을 병행하여 고강도 그라우팅재를 지반에 압력주입 하여 단층과 쇄대 및 절리면을 충전하고 고결 시킴으로서 지반의 전단강도를 증가시키고, FRP보강재에 의한 Nailing 효과와

그라우팅에 의해 일체화된 지반을 앵커의 인장력으로 압축시킴으로서 사면활동에 대한 저항력을 증가시켜 전체적인 사면의 안정성을 확보하는 것이 바람직하리라 판단된다.

또한, 장기적인 측면에서 강우에 의한 법면의 유실을 방지하고 풍화에 의한 낙석 및 낙반을 막기 위해 녹생토 공법으로 법면을 보호하는 것이 장기적인 안정성 확보측면에서 바람직하리라 사료된다.

<표 2.2> 보강 현황(CASE III)

구 분	보 강 구 간	보 강 대 책		사면경사
A 구간 STA No. 12+420~12+780 (L = 360m)	STA. 12+490~12+710 (L = 220.0m)	▶ FRP보강 그라우팅	- 배치간격 : 5.0×2.5~6.0×3.0m - 길 이 : 8.0~15.0m	- 토사, 풍화암 = 1 : 1.0 - 연, 경암 = 1 : 0.7
		▶ Ground Anchor	- 배치간격 : 5.0×5.0m~6.0×6.0m - 길 이 : 15.0~20.0m	
		▶ 수평배수공	- 수평간격 : 5.0~10.0m - 길 이 : 10.0~20.0m	
		▶ 법면보호공	- 녹생토 + 낙석방지망	



<그림 2.10> 보강대책 대표단면(CASE III)

3. 결론

- (1) 경상분지 퇴적암지역의 지층구조는 세일과 사암이 교호하는 지층구조가 많다. 절취로 인하여 공사 중 퇴적암의 빠른 풍화특성으로 인하여 낮은 사면경사에서도 층리면을 따라 사면활동이 자주 발생되고 있다. 이러한 퇴적암 지반의 지반공학적 특성 및 불연속면(단층, 절리 및 층리 등)의 발달특성을 고려하여 가압그라우팅 공법을 적용함으로써 사면의 안정성을 확보할 수 있었다.
- (2) “CASE I”의 경우 평균 N80W/25SW의 층리구조, 평균 N10W/84SW의 단층구조와 평균 N10W/80NE, N75W/75SW, N85E/60NW의 3조의 전단절리에 의해 평면파괴 및 전도파괴가 발생하였다.
- (3) “CASE II”의 경우 사암, 실트암 및 세일이 호층을 이루고 있고, 절취 시공 중 1차붕괴가 발생하여 안정대책으로 구배완화를 했으나 N70W/34NE의 층리면을 따라 2차 활동이 발생하였다. 무보강시 향후 N80W/24NE층리면으로 인해 추가 붕괴가 예상되었다.
- (4) “CASE III”의 경우 최대사면고가 약 100m정도이며, 사면경사는 약 37°~63°이다. 지층구성은 사암이 우세하고 세일 및 실트암은 사암과 일부 호층을 이루거나 부분적으로 박층으로 협재되어 있다. 불연속면은 N4~84W/28~86SW의 방향성을 갖는 단층대와 N4~26E/64~82NW의 방향성을 나타내는 단층대 및 절리, N15~30E/15~44NW의 층리면이 주를 이루며, 특히 층리면은 사면방향과 동일한 방향으로서 사면의 안정에 매우 불리한 조건을 가지고 있다. 이러한 불연속면 특징으로 인하여 평면 및 췌기파괴가 부분적으로 발생하였다.
- (5) 상기 사례의 붕괴 원인은 절취로 인한 세일, 실트암 및 사암 등으로 구성된 퇴적암의 급속한 풍화와 응력해방에 의해 이완된 불연속면 사이로 유입된 침투수에 의한 하중증가 그리고 층리면사이 협재한 점토 충전물이 침투수에 의해 유효작용이 슬라이딩을 가속시킨 것으로 판단된다. 이러한 붕괴원인을 제거하기 위하여 불연속면 사이의 틈새에 그라우트재의 충전으로 우수 침투를 방지하여 풍화를 방지할 수 있고, 층리면사이에 분포하는 점토 충전물에 의한 활동을 억제할 수 있는 가압그라우팅 공법을 적용하였다.
- (6) 향후, 경상분지 퇴적암지역에서 사면의 장기적인 안정성을 확보할 수 있는 설계 및 보강방안을 수립할 경우에는 퇴적암 지역의 지질학적 정보와 암반의 지반공학적 특성을 고려한 안정성 검토가 선행되어야 할 것으로 판단되며, 퇴적암이 분포하는 암반사면의 슬라이딩은 비교적 완만한 절취구배에서도 불연속면의 방향성 및 분포 특성에 따라 자주 발생되고 있으므로 이러한 경상계 퇴적암의 특성을 고려한 적절한 보강방안이 선정되어야 할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 김정환, 윤운상, 최재원 (1999), “절취 사면의 파괴 특성과 관련된 영향 요인 분석 ; 경기도 남부 국도 사례”, 한국지반공학회 봄학술발표논문집, pp 277-284.
2. 박용원, 박종호, 신락현, 정기훈, 이생구 (1999), “FRP 사면보강그라우팅 공법의 현장 적용성 연구”, 한국지반공학회 봄학술발표논문집, pp 143-150.
3. 박종호, 정희석, 이재덕, 홍익표 (2002), “사면보강 공사시 관리 방안”, 한국지반공학회 가을학술발표논문집, pp 44-51.
4. 서울대학교 공학연구소, 한국도로공사 도로연구소 (2002) “FRP보강 그라우팅 공법의 설계기법 연구”
5. 신윤식 (1998) “사면활동공학-사면안정해석이론대책”
6. 한국지반공학회 (2002. 12) “이암/세일의 공학적 특성 및 문제”
7. Lee W.Abramson *et al.*, (2002) “Slope stability and stabilization methods”
8. M.Kuhne *et al.*, (2001) “International Conference on LANDSLIDES”