

Rock cleavages가 발달한 천매암 사면의 파괴활동사례연구

신 경진¹⁾, 김 선기¹⁾, 김 주화²⁾

¹⁾대림산업 기술연구소, ²⁾대림산업 토목사업본부

요 지

본 연구대상은 00우회도로 Sta.3+300~600 구간에 형성된 높이 약 50m의 대절토 암반사면으로 대부분 절취가 완료된 상태에서, 1차로 사면 좌측부의 발파암과 풍화암의 경계부를 따라 인장균열이 소규모로 형성되면서 Slip 등 사면파괴활동이 시작되었으며, 2차로 활동높이 35m, 활동폭 40m, 활동깊이 약 10m 규모로 붕괴되었고, 주변에도 인장균열의 발생이 확인되는 등 추가 붕괴의 징후가 있어 사면의 안정성을 검토하였다.

Rock Cleavages가 발달한 천매암으로 구성된 파괴활동사면을 대상으로 지표지질조사, 추가시추조사, 전기비저항탐사, 시추공 영상촬영(BIPS)을 실시하여 사면붕괴의 원인과 추후에 예상되는 붕괴의 양상을 파악하고, 연구지역에 가장 적합한 보강대책을 수립하고자 하였다.

1. 서론

1.1 검토목적

전국토의 70%가 산지인 우리나라에서 최근 많은 도로의 신설과 기존 도로의 선형변경, 우회도로 신설 및 각종 부지확보공사 등으로 인하여 크고 작은 암반사면이 많이 형성되고 있다. 그러나 다수 현장에서 지질조사의 미비등 인위적 요인, 집중호우와 풍화작용등 자연적 요인으로 인하여 공사 중 또는 공사 완료 후에 갑작스러운 파괴가 발생하여 많은 인명과 재산피해를 입는 것이 현실이다.

특히 암반사면의 규모가 크거나 대상지역의 지질이 복잡하고 지반공학적으로 사면안정성에 문제가 있다면 시공중이라도 다양하고 정밀한 조사와 해석을 통하여 합리적인 구배설정과 보강방안을 검토하여야 한다. 그러나 많은 현장에서, 실시설계가 부족한 조사자료 및 실험데이터를 가지고 설계된 것임에도 불구하고 굴착중 충분한 재검토나 조사를 하지 않고 설계안대로 시공하여 낙석 및 낙반으로부터 대규모 사면활동까지 유발하여 희생자를 내거나 막대한 추가 공사비용을 초래하는 경우가 왕왕 발생하고 있다.

본 연구는 편리가 수 mm~수십 mm 간격으로 발달하는 천매암 절취사면을 대상으로 지표지질조사, 추가시추조사, 전기비저항탐사, 시추공 영상촬영(BIPS)을 실시하여 사면붕괴의 원인을 파악하고 각각의 보강대책을 비교하여 절취사면의 안정성 확보를 위한 적정 보강대책을 수립하는 것이 목적이다. 또한 향후 유사한 암반조건의 사면에 대한 안정성 평가 및 적정보강방안을 수립하는데 있어서 도움이 되고자 한다.

1.2 사면현황

사례연구 구간은 발파암 1:0.5, 리핑암 1:0.7, 토사 1:1.2~1.5의 설계구배로 최하단 일부를

제외하고는 대부분 절취가 완료된 상태이다. 사면상부는 대부분 풍화토~풍화암층으로, 사면 중앙 하부는 발파암으로 구성되어 있는바 대규모 사면활동은 발파암선이 높은 Sta.3+460~600 구간에서 발생하였으며, 발파암선이 낮은 Sta.3+300~460 구간에서도 소규모 평면파괴와 더불어 인장균열의 발생등 절취사면을 구성하는 현장암반의 이완영역 확대가 쉽사리 관찰되고 있다.

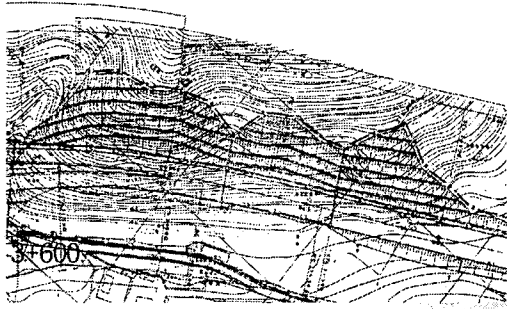


그림 1. 절취비탈면 평면도 3+300

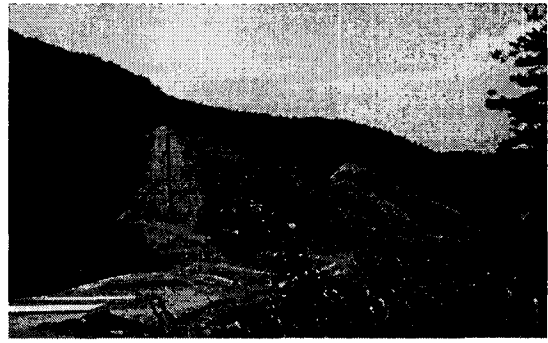


그림 2. 사면활동전경

2. 현장조사결과

2.1 지표조사 결과

2.1.1 지질현황

연구지역의 지질은 고생대 말기의 오산리층에 해당하는 지역으로서 퇴적기원의 변성암인 천매암 내지 편암으로 구성되어 있으며, 이들 퇴적기원의 변성암은 구성입자가 육안으로 관찰되는 사암질암이 변성된 것과 점토질 입자로 구성된 셰일이 변성된 점토질 변성암이 교호한다. 이 중 점토질암은 탄질셰일(Coally Shale)이나 괴상, 또는 pinch-out and swelling 형태의 석탄층이 협재된 함탄층을 형성하고 있다. 조사지역을 포함한 주변의 지질계통표는 표 1과 같다.

2.1.2 비탈면 활동현황

사면활동은 사면절취작업이 대부분 완료된 후, 1차로 사면좌측부의 발파암과 풍화암 등의 암질경계부에 인장균열이 소규모로 형성되면서 사면파괴활동이 시작되었으며, 2차로 활동높이 35m, 활동폭 40m, 활동깊이 약 10m 규모로 암괴가 활동하였다. 파괴활동 후에도 인장균열의 발생 및 평면파괴활동이 파괴지역 상부 및 좌우측부에 나타나고 있어 추가파괴 활동이 지속적으로 발생하고 있음이 확인되고 있다.

제 4 기	—————	충 적 층
		~ 부 정 합 ~
백 악 기	□	변성석영반암
		- 관 입 -
		장동용회암
		~ 부 정 합 ~
고생대말	□	천 운 산 층
		~ 부 정 합 ~
		오 산 리 층
		- - 점 이 적 - -
시대미상	—————	화강암질편마암

표 1. 지질계통표

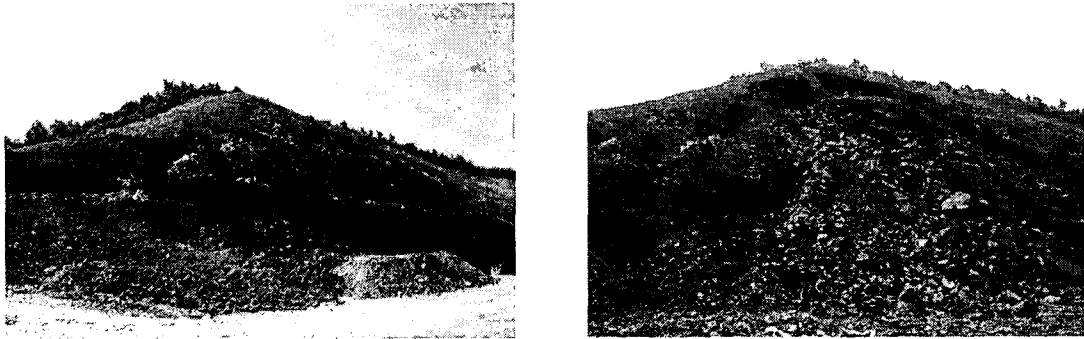


그림 3. 사면활동초기 전경(좌), 사면활동후의 전경(우), Sta.3+460~600

2.1.3 구간별 지표조사 결과

절취사면의 기반암은 운모류 등 판상광물로 함유량이 많고 Rock cleavages(이하 편리면)가 발달하여 얇은 판으로 쪼개지는 성질을 가지는 천매암으로, 현장암반은 발파암질에서는 판상암괴 형태로 나타나며, 풍화암질과 풍화토에서는 잔류편리면을 따라 분리되어 팽창되는 양상을 나타낸다.

현장암반은 발파암내에서도 차별풍화작용을 받아 약한 강도를 가지는 것에서 강한 강도를 가지는 것까지 다양하게 분포하는데, 강도가 강한 것은 대부분 판상으로 나타나고 있으며 풍화암 이하에서는 편리면을 따라 완전히 open 될 정도로 풍화가 진행되어 약 5×5cm 크기의 판상형태로 편리면을 따라 두께 1mm 이하의 작은 암편으로 분리되면서 나타난다.

1) Sta.3+300~460 구간

본 구간은 천매암으로 구성되어 있으며 전구간에 걸쳐 편리의 발달이 현저하다. 발파암 구간(Sta.3+380~460 구간의 하부)은 편리의 발달에 따른 판상으로 나타나며, 강도는 매우 양호한 편이다. 그러나 상부 풍화암 구간은 강도가 현저히 감소하여 지질해머로 1회 타격시에도 쉽사리 부서지는 경우가 많으며 풍화가 많이 진행된 부분은 편리면을 따라 팽창된 상태로 발달한다.

본 구간에는 크게 2set의 불연속면이 관찰되는데, 편리방향은 N20~35E/30~40NW, N50~70E/35~50NW으로 비탈면 방향과 거의 일치하며, 경사는 상대적으로 완만하여 잠재적인 활동면으로 판단된다. 또한 사면과 거의 직교하는 수직계열의 절리군(Joint Set #1 ; N70~80W/75~85NE)은 편리를 끊어주는 역할을 하고 있다. 절리군들 중 일부는 점토로 충전되어 있으며 절리면은 평탄한 편이다(표 2, 그림 5).

표 2. Sta.3+300~460 구간의 불연속면 발달특성

구 분	주 향 / 경 사	비 고
절취비탈면	N60~70E/63.5~45NW	발파암구간이 1:0.5로 절취되어 있으나 평면파괴가 기발생하였고 추가 발생할 가능성이 큼
편 리	N20~35E/30~40NW N50~70E/35~50NW	사면상부에는 저경사의 편리가 잘 나타나고 하부는 고경사의 편리가 나타난다.
Joint Set #1	N70~80W/75~85NE	편리를 끊어주는 역할을 하는 수직절리
Joint Set #2	-	기타 급경사 절리

2) Sta.3+460~600 구간

대규모 사면활동이 일어난 Sta.3+460~600구간의 지반조건은 발파암 구간내에서도 양호한 암질을 보이는 부분과 풍화가 심해 풍화암 정도의 암질을 보이는 부분이 혼재하는 등 암질의 변화가 심한 편이며 편리도 교란을 많이 받아 휘어진 형태로 나타나고 있다. 또한 사면활동부 주위의 절리면에는 붉은색의 점토층이 충전되어 있거나 일부구간에는 운모류가 밀집되어 나타나는 것이 관찰되고 있다. 또한 활동부 좌측면에는 점토가 피복된 매우 매끄러운 전단활동면이 뚜렷하게 노출된 단층파쇄대(주향/경사 : N25E/75NW) 주변에는 완전히 풍화된 암맥(Dyke)이 폭 1~2m 두께로 황토색(CW Rockmass)을 띠며 나타나고 있다. 사면활동부 우측의 파괴면에는 절취비탈면과 유사한 주향 및 경사로 편리면이 발달하여 암반이 판상으로 발달하고 있는 것이 관찰되며 N60~70W/70~90NE의 수직절리가 발달하면서 편리를 끊어주고 있으며 이들 절리면에는 점토층이 충전되어 있다.



그림 4. 활동부 상부 전경

풍화암구간에서도 N25E/30~40NW의 편리와 이를 절단하는 N60W/75~80NE 수직절리가 잘 관찰되며 소규모 판상 형태로 파괴활동이 진행되고 있음이 인지된다. 즉, 현장암반 편리면의 경사방향 및 경사가 절취비탈면의 방향 및 구배와 거의 일치하고 있는 부분이 산재·발달함이 확인되었다.

표 3. Sta.3+460~600 구간의 불연속면 발달특성

구 분	주 향 / 경 사	비 고
절취비탈면	N40~50E/40~63NW	1:0.5로 절취되어 있으나 사면파괴가 발생하였고 추가 발생할 가능성이 큼
편 리	N20~50E/30~50NW	천매암의 편리로 상부는 대부분 저경사를 보이거나 하부의 발파암 구간은 변화가 심해 고경사의 편리면도 나타난다
Joint Set #1	N60~80W/70~85NE N60~80W/70~85SW	고각의 절리로 주로 편리를 끊어주는 역할을 함
Joint Set #2	N25~45E/70~75NW	편리와 경사방향은 유사하나 경사가 큰 절리로 단층대의 방향이 포함됨

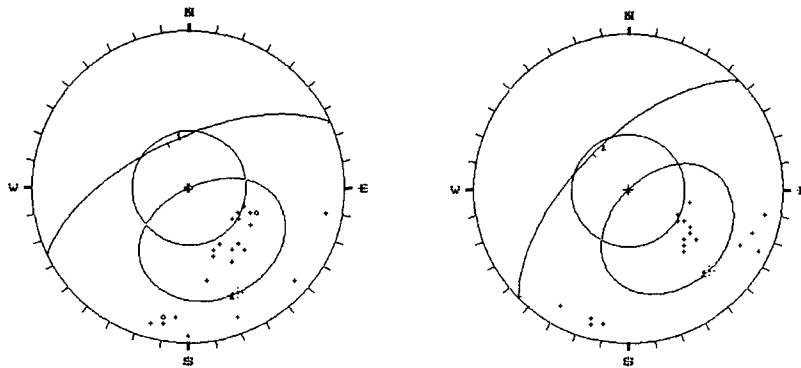


그림 5. 구간별 불연속면의 발달특성 (좌 : Sta.3+300~460, 우 : Sta.3+460~600)

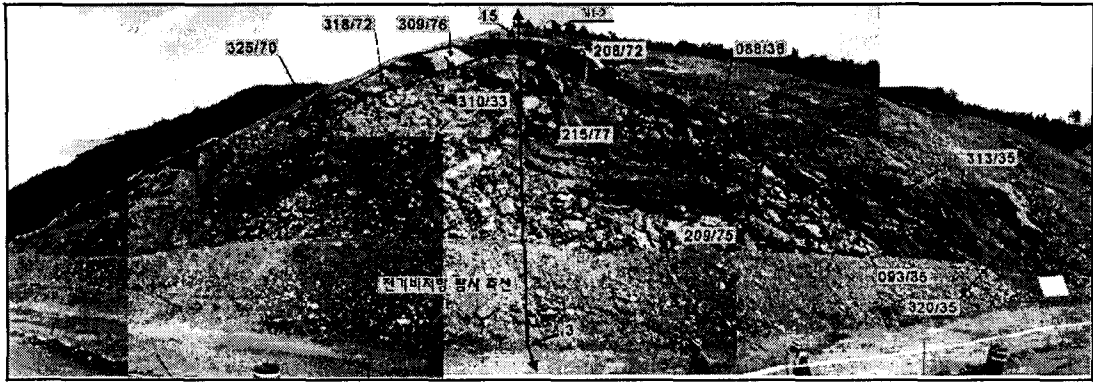


그림 6. Sta.3+460~600 구간 지표조사 결과 및 비저항탐사측선

2.2 추가시추조사 결과

추가시추조사 결과, 본 조사지역에 분포하는 기반암은 퇴적암인 사암과 셰일이 변성되어 형성된 퇴적기원의 변성암인 천매암으로 구성되어 있으며, 사암질암이 변성된 담회색 내지 녹회색을 띠는 부분은 비교적 풍화가 적게 진행되어 보통 강함 정도로 코아회수율이 높은 편이지만, 점토질암(셰일)이 변성된 암회색 내지 흑색의 부분은 풍화가 상대적으로 심하게 진행되고 대부분 함탄층을 포함하는 현장암반으로 약한 강도를 갖는 매우 불량한 암질상태를 보여주고 있으며, 기반암은 이들 사암질암과 점토질암이 교호하면서 나타나고 있다. 또한, 천매암의 특성상 퇴적층리면의 변성작용으로 형성된 편리면을 따른 쪼개짐이 잘 발달하여 암질상태를 불량하게 하고 있으며, 편리면과 교차하는 절리군에 의하여 암반이 더욱 파쇄되는 상태로 회수되고 있다. 이러한 편리면(쪼개진면)은 평탄하면서도 매끄럽거나 파상 또는 지그재그로 굴곡된 면을 보여주고, 금속성 광택을 갖는 건운모가 심하게 풍화되어 산화철로 얼룩져 피복되어 있어 코아로 회수되어 대기에 노출되면 쉽게 판상으로 분리되고 잘게 부서져 점토입자~작은 암편으로 되는 매우 불량한 암질상태를 나타내고 있다.

조사된 사면의 지층구성상태는 최상부에 기반암인 천매암의 암편 부스러기가 혼재된 붕적층이 위치하며, 그 하부에 연암과 보통암 등 발파암이 발달하지만 신선한 경암은 현 절취비탈면 계획고 심도까지 분포하지 않는 것으로 확인되었다.

표 4. BH-2호공의 지층분포 현황

공 변	지층명	심도 (m)	층후 (m)	TCR (%)	RQD (%)	비 고
BH-2	표 토	0.0~ 0.8	0.8	-	-	점토질암(셰일)이 변성된 암회색 지층에는 대부분 0.05~0.3m 정도의 탄질셰일 또는 석탄이 협재됨
	연 암	0.8~18.5	17.7	55~100	0~23	
	보통암	18.5~46.5	28.0	80~100	5~63	
	경 암	-	-	-	-	

(GL. 0.0m 기준)

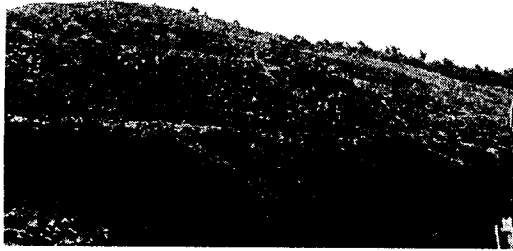


그림 7. (좌) Sta.3+460~600 구간의 활동전 발파암구간 전경, 심한 교란을 받아 불연속면의 방향 및 경사의 변화가 크게 나타난다. (우) 사면활동부 상부 우측의 풍화암~발파암구간, 편리경사가 50도 정도로 급하며 편리면을 끊어주는 수직절리가 잘 발달하고 있다.



그림 8. (좌) 사면활동부 활동암괴중 발파암 노출구간, 대부분 판상으로 나타난다. (우) 완전풍화된 암맥의 상세, 암맥의 노출폭은 150cm 내외이며 습윤상태이다.

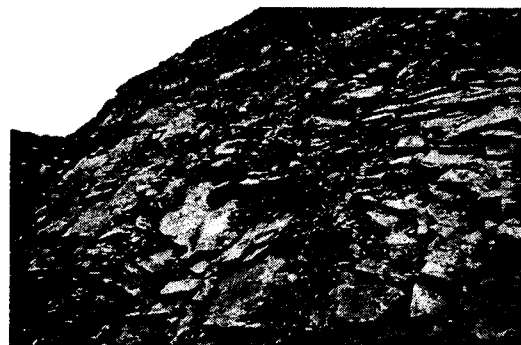
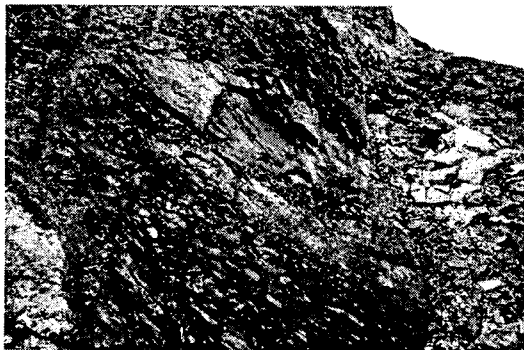


그림 9. (좌) 사면활동부 좌측의 전단활동면, (우) 우측 풍화암 구간의 편리발달상태 및 절취면 전경

2.3 시추공 영상촬영 (BIPS)에 의한 해석결과

2.3.1 BIPS 분석결과

조사공에서 시추공 영상촬영에 의해 측정된 전체 불연속면은 총 289개로 편리면이 54개이고 절리면이 239개이다. 절리면은 개구성 및 파쇄절리면이 151개, 미세 절리군이 84개로 거의 대부분 암질불량에 의한 파쇄절리군이 분포하고 있는 것으로 나타났다.

BIPS에 의해 측정된 편리면의 방향성은 313/22로 집중되어 분포하며 부방향성을 나타내지 않는다. 절리군도 전체 절리군과 개구성 파쇄절리군의 주방향이 310/24, 316/28로서 편리면을 따라 집중적으로 발달하고 있는데, 이는 편리면이 판상으로 쉽게 쪼개지는 천매암의 암석 특성을 잘 반영하고 있는 것이다. 주절리군과 직교 내지 사교하는 부절리군은 124/26, 198/61 및 070/76, 145/41로 분산되어 나타나고 있으며, 이러한 부절리군 또한 천매암을 잘게 파쇄시켜 암질상태를 불량하게 하는 역할을 하고 있다.

2.3.2 암반노두 불연속면 방향성 분석결과

암반사면의 지표(노두)에서 불연속면(편리, 절리)의 방향성을 측정된 결과, 현재 절취된 암반사면의 안정성에 가장 큰 영향을 미칠 수 있는 지배적인 불연속면은 편리로 314/33의 방향을 보이며, 이와 함께 317/71의 주절리군이 경사각은 다소 차이를 보이고 있으나 편리와 유사한 방향으로 발달하고 있다. 또한 090/36, 210/73 등의 부절리군도 발달하여 사면파괴에 복합적인 요소로 작용하고 있다.

표 5. 시추공 영상촬영 장비 구성

구 분	구성장비/규격 및 제원
Control unit (BIPCU40SV)	· 5" Dual LCD 모니터 · 3.5" MO Drive 640Mb
Control Probe (BCP-552)	· Image + Azimuth Sensor, Inclination
Probe	· Project Image(BPR-552) · Detailed Image(BTV-552)
Cable & Winch	· Winch : WM-300KV/MD · Cable : 320m Kevlar, Ø5mm
Encoder(MPL-100)	· Electric Pulse : 0.25mm/Pulse
BIPS Software	· BIPS Data Processing/Data Analysis · BIPS Data Image Print/Image Viewer · BTV Data Processing/BIPS Utility · Borehole Vector Analysis · BTV Image Viewer

표 6. BIPS 분석결과

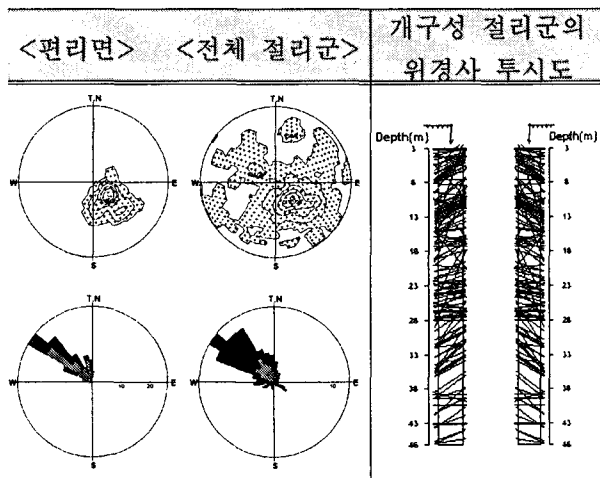


표 7. 시추공(BH-2) 및 사면노두에서의 불연속면 방향성 측정결과

구 분	편리면	절 리 군			
		전체 절리군	개구성, 파쇄절리	미세 균열	
BH-2	주방향	313/22	310/24	316/28	300/45, 324/24
	부방향	-	124/26, 198/61	070/76, 122/25	124/26, 145/41, 197/59
사 면 노 두	주방향	314/33	317/71		
	부방향	-	090/36, 210/73		

2.4 전기비저항탐사 결과

탐사결과 단면상에서 나타나는 추정 파괴면의 평균심도는 약 19m 로 붕괴된 파쇄암괴의 거동 양상이 고비저항 이상대로 잘 표현되고 있다(그림 10).

또한, 시추조사공(BH-2)이 위치하는 전극측점 18~20번 일대의 천심도 구간은 저비저항 이상대로 나타나는 추정 파괴면으로서 시추공 영상촬영(BIPS) 결과 지표하 4m 부근에 개구폭 15.6cm의 인장균열이 존재하는 것으로 확인되었다. 이는 하단부에서 이미 발생한 사면파괴의 영향으로 발생한 추가 균열로서 현재까지는 지표 천심도 구간에만 균열이 발생하여 완전히 파괴되지 않았기 때문에 지표 부근만 저비저항 이상대로 측정된 것으로 판단된다.

표 8. 전기비저항탐사 장비 구성

구분	구성장비 규격 및 제원
STING R1	<ul style="list-style-type: none"> · 최대 출력 전압 : ±400V · 사용가능 전류 : 1mA ~500mA · 저장용량 : 약 3,000개의 자료저장
Swift System (Multi Controller)	<ul style="list-style-type: none"> · 최대 256개의 전극 제어 가능
Electrode(28 EA)	<ul style="list-style-type: none"> · 전극 각각에 고유번지 내장 · 분리형 전극 28EA
Electric Cable Set (28 channel)	<ul style="list-style-type: none"> · Cable : 50m * 30EA · 분리형 Cable
자료처리 프로그램	<ul style="list-style-type: none"> · Swiftcmp ver 1.01 · Swiftcnc ver 1.2.3.0 · Res2dinv ver 3.42d

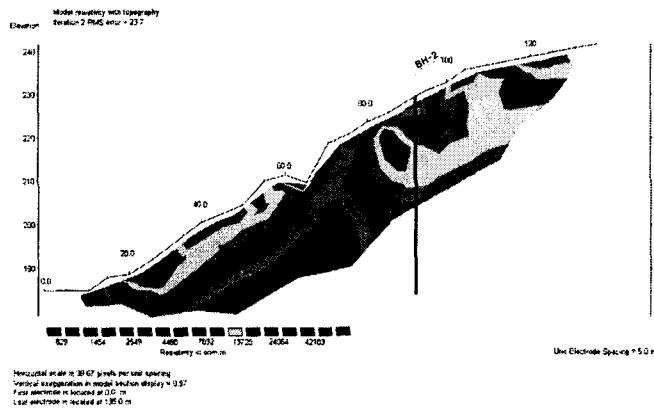


그림 10. 전기비저항탐사 결과도

3. 사면활동 원인분석

3.1 Sta.3+300~460 구간

평면파괴활동은 주로 1:0.5로 절취된 발파암 부분과 일부 리핑암구간에서 발생하였다. 사면파괴원인은 1:0.5 절취구배보다 완만한 편리(N30~35E/30~40NW)가 잘 발달하며, 절취비탈면에 수직방향으로 발달하는 절리군(N70~80W/75~85NE)이 함께 발달하여 평면활동이 발생할 수 있는 조건을 제공하며, 발파암 하부의 점토 및 일부 탄질점토를 협제한 편리면을 중심으로 충분한 전단강도를 확보하지 못했기 때문으로, 약한 부분부터 점이적으로 파괴되면서 차례로 상부까지 활동한 것으로 판단된다. 특히 암질불량에 따른 강우시 지표수 침투의 용이함은 본 구간의 사면의 평면파괴활동을 가속화시킨 것으로 사료된다. Slip 파괴활동이 일어난 구간 주변에도 인장균열의 발생이 쉽사리 인지되고 있는바, 추가로 평면파괴활동의 가능성이 있는 것으로 나타났다.

3.2 Sta.3+460~600 구간

사면파괴활동의 원인은 발파암과 풍화암으로 구성된 활동파괴부의 주요 불연속면인 편리가 사면상부 풍화암에서는 대부분 20~40도의 저경사로 나타나나, 하부의 발파암에서는 심한 교란을 받아 30~50도의 범위를 가지고 나타나고, 이와 함께 편리를 절단하는 수직방향의 절리가 잘 나타나고 있어 평면활동의 발생가능 조건을 제공하며, 교란이 진행되면서 절리면을 따른 지하수 침투로 인해 편리면내에 충전된 점토등의 포화 및 지하수압의 증가로 전단강도가 급격히 감소하면서 평면파괴활동이 일어난 것으로 판단된다. 또한 좌측에는 활동파괴면으로 작용하는 단층파쇄대가 완전히 풍화된 암맥을 동반하고 있어 편리와 조합하여 사면파괴활동에 유리한 조건을 제공한 것으로 판단된다.

사면파괴활동부 직상부와 측면부에도 동일조건에 의한 인장균열이 확인되고 있어 사면파괴활동은 추가발생 가능성이 있는 것으로 판단된다.

3.3 결과종합

Sta.3+300~600 대절토구간은 편리를 따라 조개져 판상으로 쉽게 분리되는 천매암으로 구성되어 있으며, 편리면의 경사방향이 절취사면과 같은 방향으로 발달하고 있고, 조사지역의 천매암 내에는 5~30cm 두께의 함탄층 점토질암이 파쇄대를 수반하면서 사암질암과 호층으로 분포하며 불량 내지 매우 불량한 암질을 보이고 있다. 즉, 편리의 발달과 더불어 두암층의 경계면, 그리고 협재함탄층이 파괴활동면으로 작용한 것으로 조사결과 나타났다. 본 현장의 편리면은 평탄하거나 매끄럽고, 심하게 풍화된 점토광물이 피복되어 있거나 함탄층이 협재되어 있어 편리의 경사방향으로 하중이 작용할 경우 마찰저항(전단강도)을 현저하게 감소시키는 요인이 될 수 있음이 규명되었다.

한편 점토구간의 불연속면의 분포특성은 편리면이 20~50도 정도의 저경사로 나타나며, 이들과 직교 또는 사교하는 부절리군도 천매암의 편리면을 수직방향으로 분리해주는 역할을 하며 평면파괴의 조건을 만족시키고 있다. 그리고 활동파괴면으로 작용하는 단층파쇄대가 Sta.3+460~600 구간 우측에 발달하여 천매암의 편리와 조합되어 대규모 사면활동의 원인을 제공하고 있다.

또한, 천매암의 특성상 사면 절취를 위한 굴착공사 초기에는 비교적 신선하고 양호한 암질상태를 보일 수도 있겠으나, 대기에 노출된 후에는 빠른 속도로 풍화가 진행되면서 지하수를 비롯한 여러 요소들이 상호 복합적으로 작용함으로써 대규모의 평면파괴활동을 야기시킨 것으로 판단된다.

4. 사면안정대책

사례연구구간에 대해 정밀지반조사 및 분석을 실시한 결과, 사면파괴활동은 기반암의 편리를 따른 평면파괴와 편리와 단층파쇄대, 협재함탄층 등이 복합적으로 작용한 결과에 의해 발생한 것으로 나타났다. 사면안정대책안은 지형 및 지하수, 지질조건등 자연적 조건과, 환경친화 및 유지관리, 시공성 및 경제성 등 인위적 여건들을 고려, 절취구배를 완화하는 공법과 역지공 등을 이용한 공법으로 구분할 수 있다.

본 사면에서는 절취구배완화공법이 가장 적절한 보강대책으로 판단되나 절취면적의 증가

등 자연환경의 훼손에 따른 문제들도 고려해야 한다. 종합검토결과, 대책안은 절취구배를 완화하는 공법을 중심으로 하였으며, 대안으로 콘크리트 옹벽 + 앵커공법, 피암터널등을 각각 검토하였다.

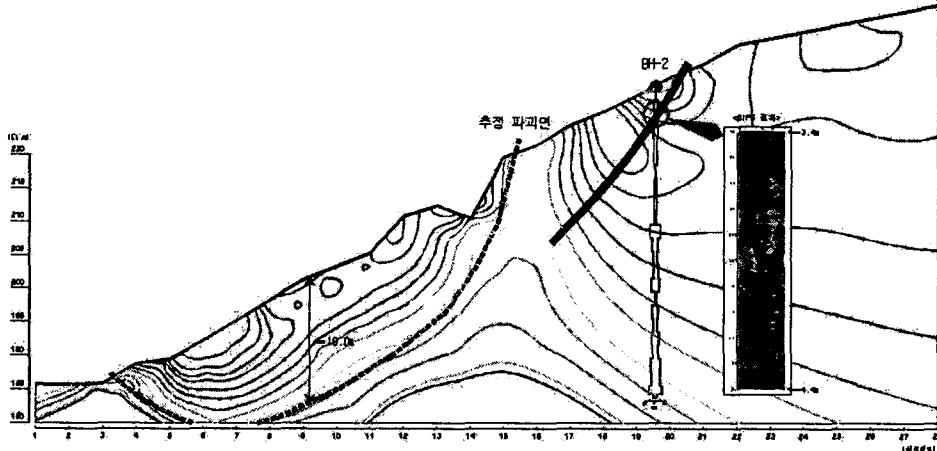


그림 11. 추가조사에 의한 사면활동파괴면 추정

4.1 Sta.3+300~460 구간의 사면안정대책

본 구간의 사면안정대책으로는 본 구간에서 발생하는 사면활동을 유발시키는 절리(편리)의 경사가 사면상부에서는 30~40°의 범위로 발달하며 사면 및 편리면의 주향은 거의 일치하고 있다. 사면하부에서는 35~50°의 범위로 나타나므로 이를 평사투영망을 이용하여 절취사면 안정성을 평가하면 그림 15와 같다. 기반암인 천매암의 절취사면의 구배를 1:1.2까지 완화하면 대부분의 평면파괴 절리가 제거되며 일부 절리만 불안정 영역에 포함된다. 따라서 발파암과 풍화암의 절취구배를 1:1.2 이하로 하는 경우에는 평면활동을 야기시키는 제반요인이 제거되어 절취비탈면은 안정성을 확보할 수 있지만, 만곡부등 일부 구간에 대해서는 부분적인 보강이 필요한 것으로 나타났다

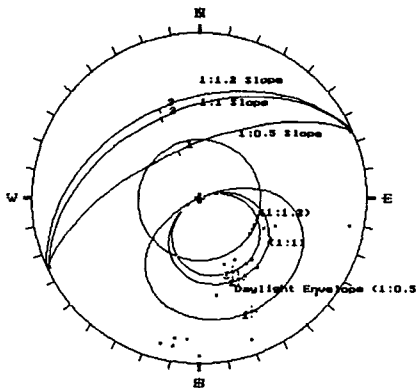


그림 12. 평사투영해석결과

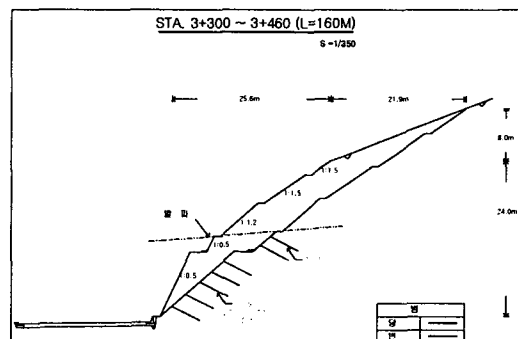


그림 13. 구배완화방안

4.2 Sta.3+460~600 구간의 사면안정대책

평면파괴를 유발하는 편리면의 경사가 20~50° 사이이고 암질이 RQD 대비 불량~매우 불량으로 나타나 발파암의 절취구배를 1:1.2 이하로 하여도 평면파괴 형태의 사면활동 가능성이 있는 것으로 판단되므로 앵커 또는 록볼트 등의 사면보강이 필요하며, 구배완화에 따른 절취면적의 증가로 인한 추가용지구입, 자연훼손 및 상부 토사구간에 대한 보강량 증가등이 예상된다.

대안으로는 옹벽과 앵커를 이용하여 사면안정화를 시키는 방안과 피암터널(Rock shed)을 설치하는 방안을 검토하였다.

4.2.1 구배완화안

본 검토구간에는 천매암의 편리가 20~50도의 경사로 발달하고 있어 편리면을 따른 평면파괴활동이 주로 발생할 것으로 판단되므로 편리의 경사를 고려하여 재절취 구배를 결정하였다.

BIPS에서 측정된 불연속면 자료를 이용 평사투영법에 의해 사면안정구배를 검토한 결과, 천매암의 편리경사의 분포가 20~50°이며, 경사방향이 사면절취방향과 거의 유사하여 사면구배를 1:1.2(약 40°)로 완화하여도 평면파괴의 가능성이 있는 것으로 나타나므로 보강이 필요한 것으로 판단된다.

사면구배 완화 후 편리면을 따른 평면활동을 억제하기 위해 발파암 구간은 록볼트 보강(pattern type C.T.C 3x3m, 길이는 5m)으로, 풍화암~토사구간은 풍화에 취약한 것을 고려하여 재절취 후 신속히 표면보호공을 실시하여야 한다.

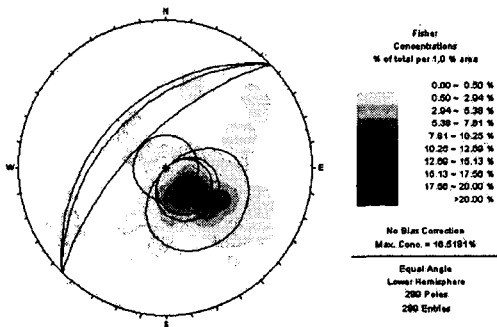


그림 14. 평면파괴 검토

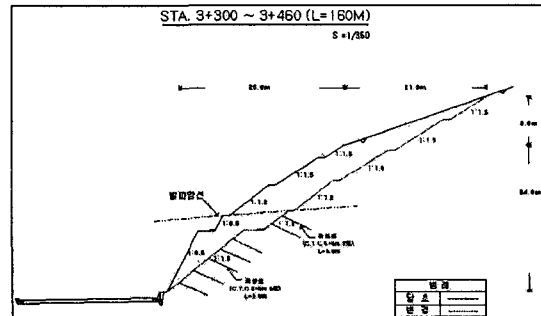


그림 15. 구배완화방안

4.2.2 옹벽 + 앵커 보강안

사면 Toe 부분에 5m 높이의 옹벽을 설치하고 앵커로 예상활동면 상부의 암반활동을 억제하여 사면 안정화를 이루는 공법으로 현 활동면 상부의 불안정 압괴 일부는 제거가 선행되어야 한다. 즉, 발파암 및 풍화암은 1:1.2 이하, 토사층은 1:1.2~1.5로 구배를 조정하여야 표면에서의 추가 사면활동을 억제할수 있을 것으로 판단된다. 사면활동억제에 필요한 앵커력은 단위 m당 30ton, 배치는 1본당 설계축력인 40ton인 앵커를 상하간격 3.5m 좌우간격 2.5m로 검토되었다.

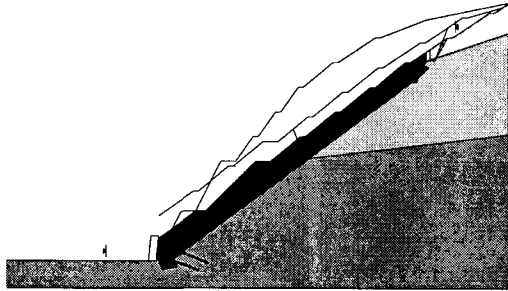


그림 16. 옹벽+앵커 보강안 수치해석

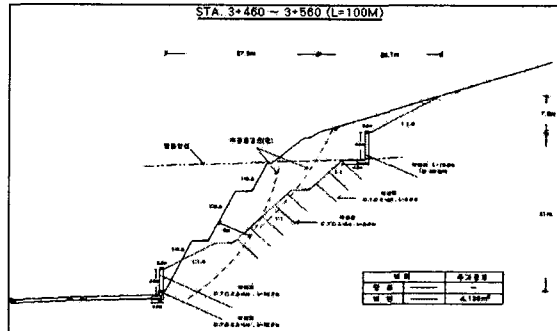


그림 17. 옹벽+앵커보강 방안

표 9. 사면안정대책안 비교

구분	구배완화	앵커+옹벽 보강	피암터널
개념	• 검토사면의 절취구배를 완화하여 사면안정을 도모하는 공법	• 앵커에 의해 전단저항력을 증가시켜 사면을 안정시키며 옹벽을 설치하여 사면절취고를 줄임	• 사면하부에 구조물을 설치하여 터널화하고 활동사면은 압성토등으로 안정화하는 공법
장점	• 사면안정성확보가 타 공법에 비해 확실함 • 일반적으로 공사비 저렴, 공정이 단순	• 예상활동면의 심도가 깊을 경우도 적용가능 • 사면상부의 추가절취를 구배조정안보다 줄일수 있음	• 활동사면의 안정성 확보가 어려운 경우 사용가능함 • 추가절취가 적거나 필요없어 자연훼손이 적음 • 낙석, 낙반등의 위험이 적음
단점	• 추가절취에 따른 환경훼손 • 사면상부 절취에 따른 토사구간 보강량 증가예상 • 토사구간 녹화필요	• 앵커 1개당 억지력이 크므로 정밀 시공필요 • 영구앵커시공	• 가시설 및 구조물 설치에 의한 공사비 증가 • 편도압 검토 필요 • 기존도로구간에 적용이 어려움
검토	• 구배조정에 의해 상부 재절취시에는 절취고 증가함(거리 21m, 높이 9m 증가) • 사면상부 절취에 따른 풍화암~토사구간 노출면적 증가 및 표면보호공 필요	• 옹벽상부 구배조정에 의해 절취면적이 증가함(거리 7m, 높이 24m 증가) • 영구앵커시공 필요	• 압성토 부분에 대한 가시설 필요 • 피암터널 구조물에 대한 구조검토 필요 • 균열발생부 보강처리 필요

4.2.3 피암터널 설치안

피암터널은 지형 및 지질조건, 지하수 상태등 제반요인이 기존의 사면안정대책 대비 비효율적이거나 낙석, 낙반제어가 어려울 경우, 또는 원활한 유지관리와 주변환경을 고려시 절취고, 절취면적을 최소화하여야 할 경우 등에 도로계획고에 설치하는 콘크리트 구조물이다. 본 검토 절취비탈면은 대규모 파괴활동이 발생하였고, 사면안정을 위해서는 추가 절취량이 많이 필요하고 절취이후에도 유지관리 및 환경보존 측면에서 문제를 내포하고 있는 것이 현실이다.

본 방안은 추가절취작업이 필요없고 되메움 실시후 적절한 조경으로 환경친화적인 장점도 있지만 다소 많은 공사비가 요구되고 공정이 복잡한 단점을 갖고 있다.

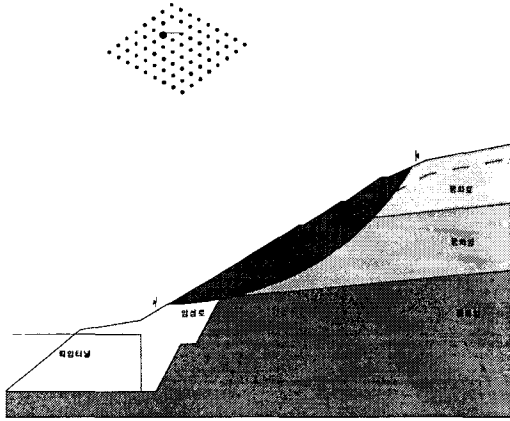


그림 18. 피암터널 설치안의 수치해석

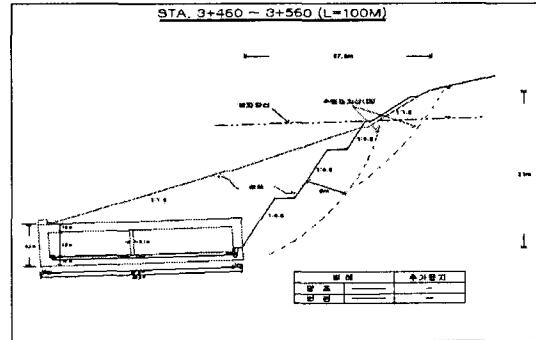


그림 19. 피암터널 설치방안

5. 결론

절취비탈면 파괴활동 원인규명 및 적정 보강대책안 수립을 위하여 상세지표지질조사, 추가시추조사, 시추공영상촬영조사 및 전기비저항탐사를 실시하였다. 연구지역의 기반암은 사질암과 점토질암의 호층으로 이루어진 천매암으로 Rock cleavages 발달이 매우 양호하며, 시추코어는 대부분 RQD 30 이하의 불량한 상태를 보이는 것으로 나타났다. 또한 전기비저항탐사 결과, 사면활동부에서 추정파괴면의 심도가 최대 19m까지 나타나며, 시추공영상촬영결과 사면절취방향으로 20~50도의 경사를 가진 편리가 발달하고 편리를 절단하는 고각의 절리가 분포하는 것으로 밝혀졌다.

사면파괴활동의 원인은 기반암이 편리를 따라 판상으로 쉽게 떨어지는 천매암으로 구성되어 있으며, 편리의 경사방향이 절취사면 경사방향과 같은 방향으로 20~50도 정도의 저경사로 발달하고 있는 것이 주원인으로 판단된다. 그리고 편리와 직교 또는 사교하는 부절리군도 발달하여 현 절취비탈면은 평면파괴의 조건을 간접적으로 만족시키고 있다. 또한 단층파쇄대가 Sta.3+460~560 구간 좌측에 발달하여 천매암의 편리와 조합하여 대규모 사면파괴활동의 원인을 제공하고 있다.

본 파괴활동사면의 사면안정대책으로 1) 사면구배완화 방안, 2) 옹벽과 앵커에 의한 보강안, 3) 구조물(피암터널) 설치에 의한 사면안정방안을 검토하였다.

금번 사례연구결과에 의하면 절취고가 높은 (약 20m 이상) 암반사면 설계시에는 반드시 정밀한 지표지질조사가 선행되어야 하며, 두꺼운 토사층이 발달하거나 복잡한 지질특성을 보이는 구간의 경우는 탄성파탐사 및 전기비저항탐사 등의 물리탐사, 그리고 그 결과에 따른 확인시추조사, 그리고 시추공영상촬영등의 기법을 적절히 사용, 절취비탈면의 안정구배 확보, 필요 보강공 채택 등을 통해 최적의 설계를 할 수 있다고 판단된다.

참고문헌

1. 이수근, 1994. "암석과 불연속면의 분류 및 공학적 특성", 토목시공 고등기술강좌 (series

- Ⅲ), 대한토목학회, pp.253~338
2. 구민호, 이동우, 원경식. 1999. “시추공 텔레뷰어 및 BIPS의 영상자료 해석을 통한 파쇄매질의 투수율 계산 프로그램 개발 및 현장적용성 평가”, 대한지질학회. 제9권 제3호 pp.189~190
 3. 김상규, 박경중. 1997. “우리나라에서의 사면안정화 대책공법”, ‘97 사면안정 학술발표회 논문집, pp137~146
 4. E.Heok & J.W.Bray. 1981. "Rock Slope Engineering."The Institution of Mining and Metallurgy. London.
 5. E.Heok & E.T.Brown. 1980. "Underground Excavation." The Institution of Mining and Metallurgy. London. pp38~59