

이암 · 셰일 지역에서의 사면시공사례
(대구-포항 고속도로 9공구)
Construction of Rock Slope at Mudstone and Shale Region
(The 9th Section of Daegu-Pohang Highway)

김용일, 황낙연, 이내용 ((주)대우건설)
백기현, 노종륜 ((주)대우건설 기술연구소)

1. 서론

최근 도로 및 철도건설이 활발하게 진행되면서 함탄층, 이암층, 석회암층과 같이 지질공학적으로 문제가 되는 지질층에서의 터널, 사면 등을 시공하는 경우가 많아지고 있다. 이러한 특수지질불량구간에서 터널, 사면 등을 설계하고 시공하는 경우 대상지질과 같은 고유한 지질·암반 특성으로 인하여 시공 상 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다.

이암층은 풍화에 매우 민감하고, 수분 함유 시 팽창하는 특성을 가지고 있다. 따라서 암반사면 시공 시 굴착 초기에는 양호한 암반으로 설계 사면구배에서 안정한 상태를 유지하더라도, 대기 중에 오랫동안 노출됨에 따라 이암, 셰일 등과 같은 퇴적암은 급격히 풍화변질이 진행되어 암반의 내구성이 저하되어 불안정성이 증가하게 된다. 특히 사면의 주향과 층리면의 주향이 일치하는 경우에는 암반사면의 붕괴를 유발하여 공사의 위험도가 증가하고 추가적인 공사비가 소요되는 경우가 많다.

대구-포항고속도로 9공구 현장은 전형적인 퇴적암지층으로 알려진 포항지역 중 중생대 퇴적암류로부터 신생대 제 3기의 미고결 퇴적암류에 이르는 다양하고 복잡한 지질구조를 이루고 있는 지역에 위치하고 있다. 본 기사에서는 이러한 불량지질 조건에서 암반사면에 대한 안정성검토와 적절한 보호공의 실시를 통해 안전하고 합리적인 시공사례를 보고하고자 한다.

2. 이암의 지질학적 · 공학적 특성

2.1 이암의 지질특성

이암(Mudstone 또는 Mudrock)은 지질학적 단편의 65%를 차지하고 있는 가장 많은 퇴적암이다. 이것은 석유나 천연가스의 기원암이고, 저류암과 대수층(지하수를 간직하고 있는 다공질 삼투성 지층)의 덮개암으로 형성된다. 또한 많은 금속의 모암이다. 또한 이암은 점토질 암석으로 알려져 있다. 이암을 이루는 입자들은 세립질이기 때문에 이암의 조직(Texture), 구조(structure), 광물 성분(mineral composition)을 알아내기가 힘들다.

2.1.1 조직(Texture)

이암은 대부분 석영이나 점토로 형성되어 있다. 각각의 입자는 너무 작아서 돋보기로 보아야 보인다. 그러나 이빨에 긁어서 또는 조금씩 깨물어 약간 씹어보면 모래 같은 느낌이 드는 것으로 실트암을 점토암으로부터 구별해내는 것은 가능하다. 이러한 방법으로 점토 입자량에서 실트질 석영 입자의 양을 다음과 같이 평가할 수 있다.

- 만약 모래 같은 마찰 느낌을 감지할 수 없으면, 점토가 암석의 2/3이상이고 이는 점토암이다.
- 만약 석영 실트는 볼 수 없지만 마찰 느낌을 감지할 수 있으면 점토가 1/3~2/3 이고 이는 이암이다.
- 석영 실트 입자가 돋보기로 충분히 보이면 점토가 1/3이하이고 실트암이다.

2.1.2 구조(Structures)

이암은 다양한 구조를 가지며 어떤 것은 단지 박편으로만 볼 수 있다. 작은 규모의 사층리(cross-bedding), 점이층리(graded bedding), 붕락(slumping), 깎고-메우기(cut-and-fill), 구멍들(burrows), 자파쇄작용(autobrecciation)이 일어나며, 더 명백한 쪼개짐과 엽층이 나타난다. 쪼개짐(fissility)은 평행한 층리면을 따라 깨지는 이암의 성질이다. 그것은 점토 박편의 우선 방향에 기인한다. 이 쪼개지는 이암을 셰일이라 한다.

2.1.3 색깔(Color)

점토질 암석의 색깔은 매물질의 환경에 대한 정보를 제공한다. 어두운 계통의 암석일수록 더 많은 양의 유기질 물질을 함유하고 있는 것이다. 점토질 암석의 색깔이 붉거나 갈색, 또는 노란색일 경우 철분자가 함유되어 있는 것이다. Fe_2O_3 는 붉은색, $FeO(OH)$ 는 갈색이고 limonite(갈철광)은 노란색이다. 단지 몇 퍼센트의 haematite가 짙은 붉은색을 만들어 내기도 한다.

2.2 이암의 물리적·공학적 특성

2.2.1 단축강도

단축강도 실험을 위해서는 시료의 획득이 중요하다. 그러나 많은 이암의 경우 온전한 시료를 얻기가 힘들다. 따라서 다른 물리적 성질(점하중 강도, 함수율, 공극률 등)과 단축강도의 관계를 나타내는 식들이 제안되었다.

○ Hoshino(1981)가 제안한 공극률과 단축강도의 관계

$$n = Ae^{-bq} \quad n : \text{공극률}, q : \text{단축강도}, A, b : \text{상수}$$

Hoshino(1981)는 제3기 지층인 일본 이암의 경우 공극률이 1%에서 단축강도는 200MPa, 10%에서 110MPa, 20%에서 50MPa, 40%에서 5MPa를 가진다고 하였다. 또한 매물 깊이에 따라 공극률 변화를 식으로 나타내었다.

$$n = n_i e^{-ch} \quad n_i : \text{매물 전 공극률}, c : \text{다짐계수}, h : \text{매물 깊이}$$

표 1. statistical summaries of the air-dried shale properties.

Properties	시료수	최소값	최대값	평균	표준편차
밀도(Mg/m ³)	60	2.201	2.710	2.521	0.106
공극률(%)	40	11.15	3.30	24.15	5.30
P파 속도	55	1.982	3.660	2.548	0.340
S파 속도	23	1.316	1.913	1.445	0.181
단축강도(MPa)	60	23.650	107.687	54.366	17.831
인장강도(MPa)	40	2.271	8.928	4.669	1.756
점하중강도(MPa)	40	1.025	4.768	2.457	0.851
슬레이킹 내구성(% retained)	25	71.4	98.85	86.82	11.14
정적탄성계수(GPa)	55	2.511	13.130	5.158	2.321
동적탄성계수(GPa)	19	9.609	23.410	13.497	3.929
정적포아송비	48	0.045	0.337	0.130	0.067
동적포아송비	19	0.067	0.221	0.261	0.058

○ G. R. Lashkariporu and M. Nakhaei가 제안한 여러 가지 식

G. R. Lashkariporu and M. Nakhaei는 많은 횡수의 실험을 통해 얻은 자료를 통계적 분석을 통해 서로의 상관관계를 규명하였다. 실험을 통해 얻은 물성값들은 표 1과 같다.

○ 점하중강도와 단축강도와의 관계

$$\sigma_c = 22.08I_{s(50)} \quad \sigma_c : \text{단축강도(MPa)}$$

$$I_{s(50)} : \text{지름 50mm에 대한 점하중지수}$$

2.3 포항 지역의 이암의 특성

포항지역 이암의 물리적·역학적 특성을 살펴보면 다음과 같다.

○ 포항지역 이암의 Creep 특성(서울대학교 에너지자원 신기술 연구소, 1994)

표 2. 포항 이암시료의 물성값

Sample No.	Depth (m)	단축강도 (kg/cm ²)	탄성계수 (×10 ⁴ kg/cm ²)
1B-2-1	12.0 - 12.5	53	0.89
1B-2-2	13.2 - 13.5		
1B-3	18.0 - 18.5 16	67	1.21
4B-2	16.5 - 17.2	74	1.07
36B-2	14.9 - 16.4	60	1.11

표 3. 포항 이암시료에 대한 Burger 모형의 모형정수

Sample No.	σ_0 (kg/cm ²)	σ_0/S_0	E_m (×10 ⁴ kg/cm ²)	η_m (×10 ¹⁴ poise)	E_k (×10 ⁴ kg/cm ²)	η_k (×10 ¹⁴ poise)	Creep rate (×10 ⁻⁴ hr)
1B-2-1	30	0.57	1.11	3.23	7.5	2.29	1.0
1B-2-2	47	0.89	1.21	0.35	1.51	0.16	16.2
1B-3	43	0.64	1.16	4.28	14.33	3.47	1.21
4B-2	51	0.69	0.51	0.83	4.45	0.44	7.38
36B-2	40	0.67	1.11	4.03	13.3	1.99	1.2

○ 포항지역 이암의 물리·역학적 특성(이승재, 노상림, 윤지선, 2001)

표 4. strength at three different states

state	Mudstone		
	Natural	Dry	Wet
Uniaxial compressive strength(Average)(kgf/cm ²)	174	209	53

표 5. Result of slake durability test

팽창압 : 0.03 - 0.18 kgf/cm ² 비구속 상태에서의 팽창변형율 : 횡방향(층리면 평행) 0.039% - 0.388% 축방향(층리면 직교) 0.561% - 0.642%										
rock type	Slake durability Index(%)	5℃			20℃			35℃		
		pH5	pH7	pH9	pH5	pH7	pH9	pH5	pH7	pH9
mudstone	I _{d2}	98.85	98.65	98.69	98.59	98.16	98.32	98.19	98.24	98.10
		98.98	99.03	99.08	98.91	98.52	98.60	98.12	97.06	98.60
		98.92	98.81	98.82	98.65	98.30	98.41	98.14	98.06	98.41

3. 공사 개요

본 현장은 대구-포항 광역권과 환태평양 경제권의 전초기지인 포항 신항만을 지원하기 위한 간선축으로 대구광역시 동구 도동 경부고속도로에서 분기하여 경북 포항시 남구 연일읍 학전리 포항국도 대체 우회도로에 접속되는 68.420km의 4~6차로 고속도로 신설공사중 9공구로서 경상북도 포항시 북구 기계면 현내리(대구기점 STA. 58+600)에서 종점(대구기점

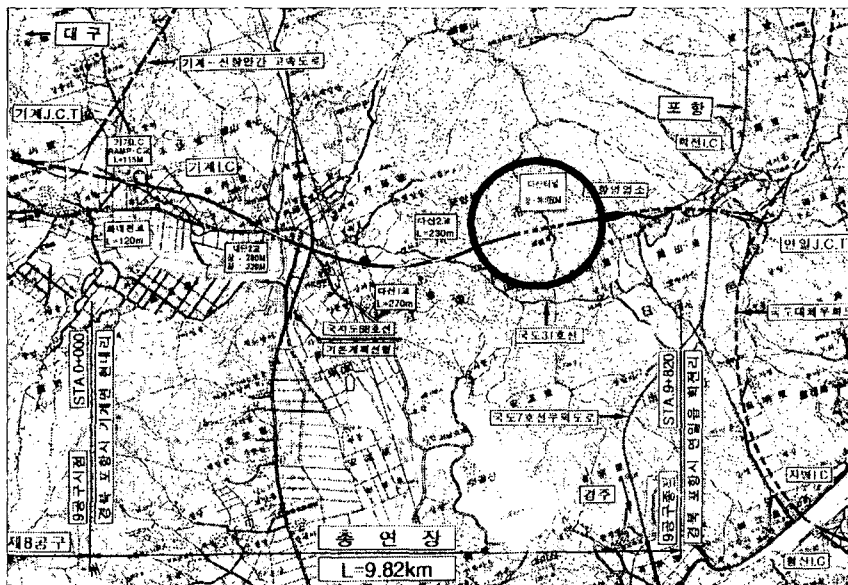


그림 1. 대구-포항 고속도로 9공구 노선도

STA. 68+420)까지의 9.82km 구간(그림 1)이다. 여기에서 소개할 시공사면은 다산터널 시점 부로서 STA. 65+200~260까지로 그림 1에서 원 안에 해당된다. 공사기간은 1999년 4월 15일에서 2004년 12월까지 총 1,912일이며, 총공사비는 1,799억원이며, 폭원은 4차로 23.4m이다. 주요시설물은 기계 IC, 기계영업소, 포항영업소이고 주요공사수량은 다음과 같다.

- 토 공 : 흙깎기 2,189 천 m^3 , 흙쌓기 2,687 천 m^3
- 배 수 공 : 배수관 61개소 / 2,309 m, 암거 28개소 / 1,655 m
- 구조물공 : 장대교 6개소 / 1,315 m, 소교량 9개소 / 307 m
- 포 장 공 : 콘크리트 포장 64,408 m^3 , 아스팔트 콘크리트 포장 335 a
- 부 대 공 : 1식

4. 사면 시공

4.1 지형 및 지질 특성

4.1.1 지형 특성

본 지역은 태백산맥의 동남부에 해당되며, 동쪽으로 포항시가 위치하고 있고, 본 지역의 산계로는 동편으로 바데산, 내연산, 향로봉, 수음산으로 이어지는 남북방향과 서편으로 비학산, 운주산, 아래산으로 이어지는 남북방향의 주능선으로 양분된다. 이는 지괴의 구조운동 방향과 일치되어 지며, 주능선을 경계로 서북 및 남동방향으로 소능선과 계곡이 발달하고 있다.

수계의 발달로는 부지 남동으로 형상강, 서편으로 기계천, 북쪽으로 곡강천이 위치하고 있으며, 동류하여 동해에 유입된다. 수지상 또는 평행상의 수계망을 나타내며, 주변의 소하천들은 계곡을 따라 비교적 일직선으로 흐르면서 소류지에 유입되거나 상기 하천으로 흘러들어간다.

4.1.2 지질 특성

본 지역을 구성하고 있는 암석은 중생대 백악기 경상계 퇴적암류가 기반암으로 분포하고 있으며, 후기 이를 관입한 불국사관입암류 및 신생대 제3기에서 걸쳐 형성된 3기 퇴적암이 나타나고 있다. 포항분지의 신생대 3기 퇴적암류는 하부로부터 단구리 역암, 천곡사층, 학전층, 흥해층, 두호층의 순으로 분포하며, 마이오세 전기 말에서 중기 초의 연일해침에 의한 것이고, 내만성 퇴적층에서 마이오세 중기의 원양성 퇴적층(흥해층)에 이르기까지 연속적으로 해성층이 분포하고 있다.

본 지역은 경상계 퇴적암류인 적색 세일 및 회색 사암류가 호층을 이루며, 두터운 층후로 분포하고 있다. 또한 불국사관입암류인 규장암이 암주상 또는 대상으로 분포하며, 신생대 3기 퇴적암류는 서편으로부터 포항시에 이르기까지 넓게 나타나고 있다(그림 2).

경상계 퇴적암류인 신라통은 주로 적색 세일 및 회백색 사암이 호층을 이루며, 두터운 층후로 분포하고 있다. 적색세일은 층리가 매우 발달되어 층리를 따라 쪼개짐이 양호하며 대체로 N30~45W/25~30NE의 방향성을 보이고, 사면에 발달하고 있는 불연속면은 3개조로서 N60E/80~85NW, N70E/80~86SE, N20W/65~70SW를 이루며 표 6과 같다.

표 6. 조사지역의 불연속면의 방향성

NO.	주향	경사	절리면 상태	비고
절리군 1	N27~45W	25~32NE	bedding joint. Planar, smooth. 점도협재	퇴적암의 층리방향
절리군 2	N60E	80~85NW	Rough planar, 연속성 양호	인장절리면 발달
절리군 3	N70E	80~86SE	Rough planar, 연속성 양호	
절리군 4	N20W	65~70SW	Rough planar, 연속성 양호	

4.2 사면현황

본 지역은 대구-포항간 고속도로 건설공사 제9공구 다산터널 시점부로서 STA. 65+200~260에 이르는 구간이다(그림 3). 이 지역에서 1차적으로 사면붕괴가 발생하여 붕괴된 암반을 걷어내고 암반사면구배를 완화하여 공사를 실시하던 중에 사면 상단부에서 부분적으로 암반이 이완(절리, open)되고 인장균열이 관찰되며 그 상태가 계속 진행되어 이에 대한 대책 마련이 필요하게 되었다.

사면붕괴가 발생하면 붕괴된 지반은 완전히 이완되어 지지력을 상실하게 된다. 특히 붕괴 특성상 사면의 하부지반에 영향을 미치게 되며, 본 지역의 퇴적지층의 경우 층리와 같은 불연속면의 연속성이 잘 발달되어 있기 때문에 1차 붕괴에 의한 주변지반에 대한 영향은 매우 크다고 판단된다.

또한 붕괴된 토체를 걷어내면서 하부지반이 비어있는 상태를 유지하게 되었고, 이로 인해서 상부지반을 지지할 수 없게 되면서 이완이 진행되었다. 지반이 이완되면서 절리와 층리가 오픈되었고, 이러한 지반이완의 범위가 커지면서 상부지반에 인장균열(tension crack)이 발생한 것으로 판단된다. 당초 인장균열은 사면과 도로가 만나는 지점에서 관찰되었고, 그 폭과 범위가 작게 나타났으나, 인장균열은 도로 안쪽까지 확대된 상태로 지반이완의 범위가 점점 커지고 있는 것으로 보인다(그림 4, 5).

4.3 안정성검토

4.3.1 평사투영 분석

해석지역은 STA. 65+200~65+240이며, 사면방향은 N80W/30NE, 구배는 1:1.7 이고, 해석 절리의 방향성은 표 6에 있는 바와 같다. 암석의 종류는 경상계 퇴적암류로서 적색 세일 및 사암이고 풍화도가 높거나 보통정도로 파쇄가 심한 상태이며 지하수의 상태는 전반적으로 건조한 상태이다.

앞서 설명한 바와 같이 연속성이 양호한 3조의 절리군이 발달되어 있고, 사면방향과 사교하는 층리가 발달되어 있으며, 점토성분이 협재되어 있다. 층리가 주 활동면으로 작용하고 있으며, 해석결과 (그림 6, 7) 층리와 수직경사의 절리 N60~80E/80~85SE 에 의해 평면과 쉐기파괴가 복잡한 형태의 사면파괴가 발생하는 것으로 나타났다.

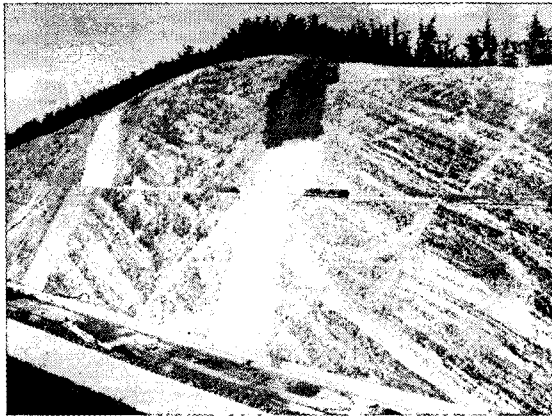


그림 2. 포항지역의 지층

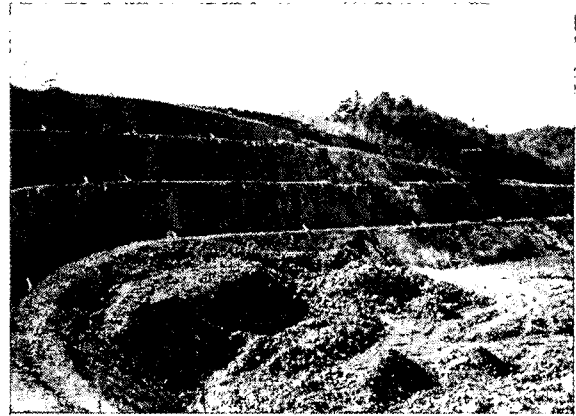


그림 3. 사면의 전경



그림 4. 붕괴된 부분의 상단에 인장으로 균열 발생

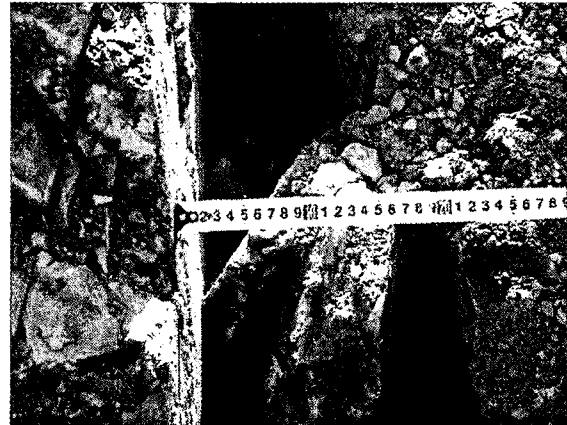


그림 5. 좌측부 균열 (원지반과 활동토끼 사이)

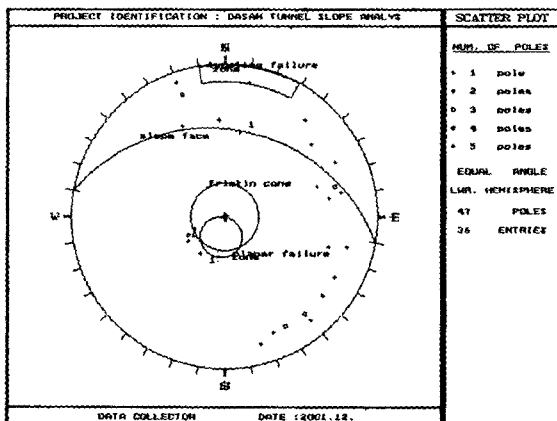


그림 6. 평면파괴 및 전도파괴 해석

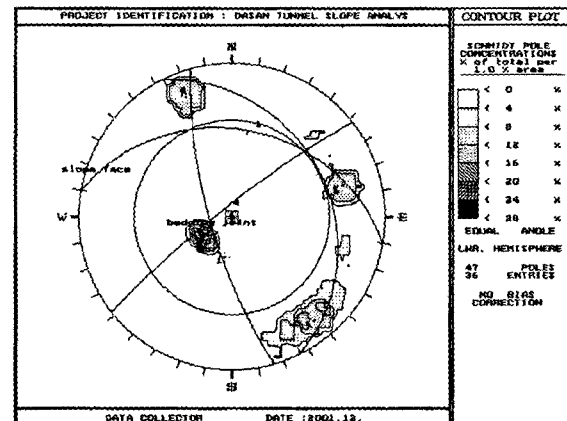


그림 7. 쉐기파괴 해석

4.3.2 사면안정해석

본 지역사면의 안전진단에서 사용한 사면안정해석 방법은 Bishop의 간편법을 위주로 하여 Janbu, Morgenstern-Price 방법을 사용하는 전산프로그램인 COSTANAK(일본 FUJITSU)으로 사면의 안정해석을 수행하였다.

사면의 안정성을 평가하는 안전율은 건기시의 안전율을 1.5, 우기시의 안전율을 1.2로 최소안전율을 정하였다. 지질조사 및 현재 법면에 노출된 면을 참고로 지층구분을 실시하였으며, 안정 검토시에 건기시에는 지하수위가 전혀 없는 것으로 보았으며, 우기시에는 지표면까지 완전포화된다고 가정하였다. 예상파괴 활동면은 그림 8과 같다.

현 상태에서 예상 파괴 활동면 1, 2, 3에 대한 한계평형법을 이용한 안정성 해석결과, 표 7과 같이 기준 안전율을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 따라서 본 지역의 사면은 적절한 사면안정 공법을 적용하여 사면의 안정성을 확보하여야 할 것으로 판단되었다(그림 9, 10).

본 지역에서 발생한 사면의 거동 형태는 기본적으로 사면의 안전율 부족으로 발생하는 것이지만, 표면부의 풍화암이 급속히 풍화되면서 전단강도가 낮아지는 결과로 인한 원인도 있는 것으로 판단된다. 표의 결과에서 보듯이 강우시 배면의 지하수의 유입에 의하거나, 표면수에 의해 지반의 풍화가 급속히 진행되면 사면의 안정성은 아주 낮아지는 결과를 초래할 것이다. 본 과업 대상사면이 전체적인 안정성을 만족하지 못하고 추가 사면의 활동 위험을 내포하고 있으므로 적절한 사면의 보수·보강을 실시하여야 할 것으로 판단된다. 또한 발생한 붕괴면까지는 이미 심한 교란이 일어났으므로 완전히 제거한 후에 보강공을 실시해야 될 것으로 판단되었다.

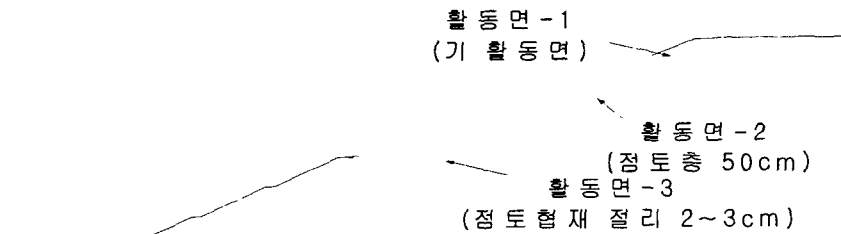


그림 8. 예상 파괴 활동면

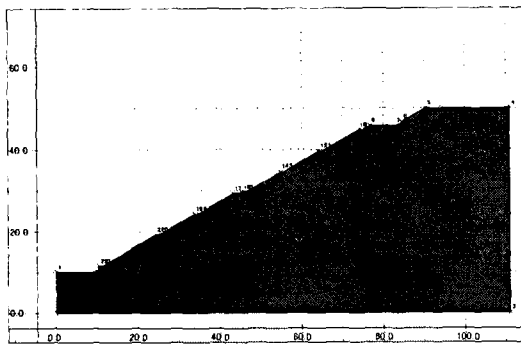


그림 9 안정성 해석(예상파괴면1-건기시)

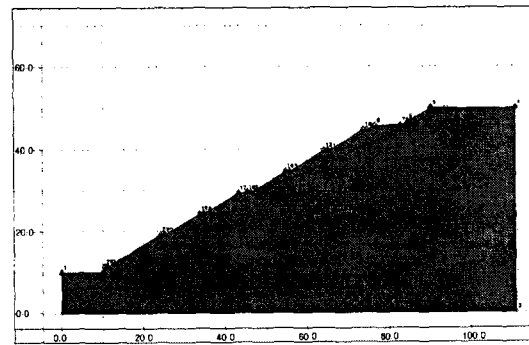


그림 10 안정성 해석(예상파괴면1-우기시)

표 7. 예상파괴면에 대한 사면의 안정해석 결과

구 분		최소안전율	요구안전율	판 정	비 고
파괴활동면-1	건기시	1.320	1.5	N.G	
	우기시	0.571	1.2	N.G	
파괴활동면-2	건기시	1.368	1.5	N.G	
	우기시	0.599	1.2	N.G	
파괴활동면-3	건기시	1.361	1.5	N.G	
	우기시	0.594	1.2	N.G	

4.4 보호공 및 대책공 종류

본 지역은 사면의 활동이 썩기형태로 발생하였으나, 하부지층에 대해 조사한 결과, 파쇄대에 의한 일부 상부지층이 활동을 일으킨 것으로 판단되어 진다. 그림 11의 지질주상도 결과에서 보듯이 조사위치 아래 2.5m 정도에 파쇄대가 존재하는 것으로 조사되었다. 이 파쇄대가 활동을 일으킨 면으로 판단되나, 그 아래 5.0~5.5m에서 점토가 혼재한 지층이 존재하고, 또 7.0m 지점에서도 2~3 cm 정도의 점토가 낀 질리면이 존재하므로 장기적인 안정성을 확보하기 위해서는 7.0m 지점까지의 활동면에 대한 보강이 이루어져야할 것으로 판단된다.

본 사면의 활동은 파쇄대층으로 이미 붕괴가 발생하여 활동을 일으킨 토괴는 심하게 교란되었고, 질리툼도 최대 60cm 정도로 발생하였기 때문에 붕괴토괴를 그대로 유지하면서 안전율을 증가시키는 방법은 부적절할 것으로 판단된다. 따라서 이미 붕괴가 발생한 면까지 토괴를 모두 제거하는 공사가 선행되어야 할 것이다. 이때 좌측(STA. 65k+240)으로는 붕괴면과 이루는 각도가 매우 크므로 붕괴토괴 제거 시 경사를 완화시키는 것이 안정적인 공사를 도모하는데 유리할 것이다. 또 향후 보강공을 적용하는데 있어서도 붕괴면과 어느 정도의 단차를 맞출 필요가 있다. 대책공법으로는 다음 표 8과 같은 대안이 제시되었고 각각에 대한 안정 해석이 수행되었다.

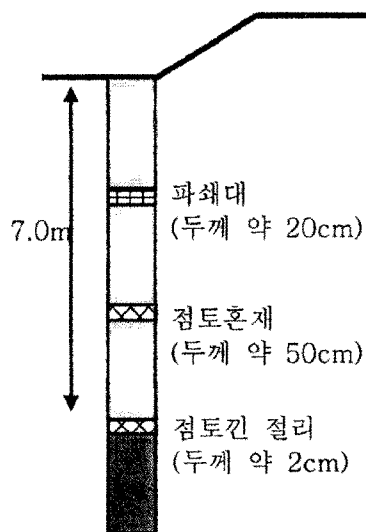


그림 11. 지질주상도

표 8. 사면 보강 공법

구분	1 안	2 안	3 안	4 안
공법	네일링 + 슛크리트공	역지말뚝 + 옹벽공	앵커 + 옹벽공	역지말뚝 + 옹벽공 + 앵커
단면도				
개요	<ul style="list-style-type: none"> · 천공 후 보강재 삽입하여 그라우팅으로 충진, 지반과 보강재를 일체화시킨 후 표면을 슛크리트나 유망구조로서 보강하여 마감처리하는 공법. · 토사면에 적용, 다량의 주입재의 효과로 인하여 지반을 강화하는 공법 	<ul style="list-style-type: none"> · 사면의 활동 토괴를 관통하여 부동지반까지 간격으로 말뚝머리부분을 구속시키는 방법으로 저항을 발휘하는 공법 	<ul style="list-style-type: none"> · 지층에 따라 정착 위치 및 정착방법이 구분되어 다양한 지층에 적용 가능 · 정착지반의 정착부에 채거나, 정착부를 지압하여 지반의 지압층에 저항하는 공법. 	<ul style="list-style-type: none"> · 사면의 활동 토괴를 관통하여 부동지반까지 간격으로 말뚝머리부분을 고정시키고 앵커로 고정을 하는 방법으로 사면의 활동 저항을 발휘하는 공법.
장점	<ul style="list-style-type: none"> · 시공성이 용이 · 토사면에 유리 · 공기 단축 효과적 · 암반의 풍화방지에 유리 	<ul style="list-style-type: none"> · 토사사면에 유리 · 활동에 대한 저항 효과 탁월. 	<ul style="list-style-type: none"> · 천공심도, 공수 적음 · 시공성이 용이 · 지반변형억제 유리 · 공기 단축 효과적 · 수명이 영구적 · 현장상황에 즉시 대응 	<ul style="list-style-type: none"> · 토사사면에 유리함 · 활동에 대한 저항 효과 탁월. · Prestress를 가해 지반변형이 감소함.
단점	<ul style="list-style-type: none"> · 대사면 적용이 어려움 · 지하수에 의한 NAIL의 부식이 우려 · 설치간격 조밀로 지반의 교란이 과다. · prestress가 없으면 초기변형의 발생으로 영구성 미약 	<ul style="list-style-type: none"> · 시공장비가 대형. · 대구경천공으로 불연속면 발달된 암사면의 적용은 지반의 교란으로 부적합함 · 두부의 구속을 위한 공정이 필요 · 말뚝과 말뚝사이의 간격이 넓어(4M) 부분적인 붕괴가 잔존 	<ul style="list-style-type: none"> · 전문가에 의한 시공관리가 요구 · 별도의 표면처리공 필요 · 부분 이상시 전체적인 안정성에 문제 발생 가능 	<ul style="list-style-type: none"> · 시공장비가 대형. · 대구경천공으로 불연속면 발달된 암사면의 적용은 지반의 교란으로 부적합함 · 두부의 구속을 위한 공정이 필요 · 말뚝과 말뚝사이의 간격이 넓어(4M) 부분적인 붕괴가 잔존

4.5 공법에 따른 안정성 검토

앞서 4.3 에서와 마찬가지로 각 대안 공법에 대한 사면 안정해석을 실시하였다. 기 활동면을 걷어낸 후 예상과파 활동면 2, 3에 대해 건기시, 우기시를 가정하여 해석을 수행하였다. 해석결과는 다음 표 9와 같다. 해석결과에서 보듯이 제1안의 네일링공법의 경우에 안정성은 확보하는 것으로 나타나고 있으나, 설치간격을 1.2m × 1.2m로 하는 경우에 절리가 많은 암반에서 오히려 지반을 교란시키는 역효과가 나타나기 때문에 본 구간의 사면에서 보강안으로 채택할 때, 천공시 공벽의 붕괴나 긴장재를 삽입한 후의 그라우팅 등 시공에 세심한 주의를 기울일 필요가 있다.

제2안의 역지말뚝으로 보강하는 것은 저항효과가 크고, 대규모 활동과파에 대한 보강안으로 매우 적절하지만 소규모적인 파괴에 대한 저항효과가 떨어진다. 그리고 말뚝으로 보강하

표 9. 보강방법에 따른 사면의 안정성 해석 결과

보강안	구 분		최소안전율	요구안전율	판 정
1안	파괴활동면-2	건기시	2.524	1.5	O.K.
		우기시	1.741	1.2	O.K.
	파괴활동면-3	건기시	2.019	1.5	O.K.
		우기시	1.238	1.2	O.K.
2안	파괴활동면-2	건기시	1.865	1.5	O.K.
		우기시	1.278	1.2	O.K.
	파괴활동면-3	건기시	1.678	1.5	O.K.
		우기시	1.024	1.2	N.G.
3안	파괴활동면-2	건기시	2.217	1.5	O.K.
		우기시	1.592	1.2	O.K.
	파괴활동면-3	건기시	1.895	1.5	O.K.
		우기시	1.243	1.2	O.K.
4안	파괴활동면-2	건기시	2.175	1.5	O.K.
		우기시	1.588	1.2	O.K.
	파괴활동면-3	건기시	1.871	1.5	O.K.
		우기시	1.217	1.2	O.K.

는 경우, 지반의 활동을 완전히 구속시키기 위해서는 두부의 고정처리가 매우 중요하다.

제3안의 앵커로 보강하는 경우에는 설치간격이 2.0m × 2.0m로 좀 더 넓어지기는 하지만 지반을 교란시키는 효과는 무시하지 못하고 대규모활동에 대한 안정성을 확보하지 못한다.

제4안의 경우 제2안과 같은 문제점이 나타나고 공정이 복잡하며, 시공성이 떨어지는 단점이 있다.

안정성 해석의 결과 제1안이 대안 2, 3, 4에 비해 안전율이 가장 크게 예측되어 제1안으로 사면보강시 사면의 안정성을 유지하는데 가장 유리한 것으로 나타났다. 또한 제1안이 다른 대안들에 비해 시공성이 가장 우수하여 효율적인 시공이 가능할 것으로 판단되었다. 따라서 효율적인 시공이 가능하며 가장 안정적인 결과를 얻을 수 있을 것으로 판단되는 제 1안을 선택하였으며, 해당 사면의 경우 네일링과 슛크리트공으로 보강을 하였다(그림12~14).



그림 12. 네일링 시공



그림 13. 법면 녹화공



그림 14. 시공 완료후 사면

5. 결론

대구-포항 고속도로 9공구 현장은 전형적인 퇴적암지층으로 알려진 포항지역 중 중생대 퇴적암류로부터 신생대 제 3기의 미고결 퇴적암류에 이르는 다양하고 복잡한 지질구조를 나타내는 지역이다. 경상계 퇴적암류인 적색 세일 및 회색 사암류가 호층을 이루며, 두터운 층후로 분포하고 있고, 불국사 관입암류인 규장암이 암주상 또는 대상으로 분포하며, 신생대 3기 퇴적암류는 서편으로부터 포항시에 이르기까지 넓게 나타나고 있고 층리가 발달되어 있다.

이런 이암, 세일 지역에서 암반사면 시공시 급격한 풍화가 진행되어 사면의 붕괴가 나타났다. 평사투영법과 한계평형법을 이용한 사면안정 해석을 통해 사면의 안정성을 평가하고 적절한 보강 방안을 제시하였고, 각 보강방안에 대한 안정성 해석과 타당성 평가를 통해 가장 합리적이고 안정적인 네일링과 슛크리트를 이용한 보강법을 선택하여 시공 하였다.

이러한 특수지반불량 구간에서는 안정성 해석에 앞서 시공 기술자의 빠른 대처 및 판단이 필요하며, 특히 지질 및 암반에 대한 특성을 충분히 이해하여 시공에 임하는 자세가 가장 중요한 부분임을 알 수 있었다.

참고문헌

1. 대구-포항 고속도로공사 지반조사보고서, 1999
2. 대구-포항 고속도로공사 설계보고서, 1999
3. 대구-포항 고속도로공사 제9공구 다산터널 시점부 사면안정성 검토보고서, 2003, (주) 연앤지니어링
4. 이승재, 노상립, 윤지선, 2001, 포항지역 Mudstone 및 대구지역 Black shale의 물리·역학적 특성에 관한 연구, 한국암반공학회지 터널과 지하공간
5. 포항지역 이암의 Creep 특성에 관한 연구보고서, 1994, 서울대학교 에너지·자원 신기술연구소