

이암/셰일지역에서의 터널 및 사면 시공시의 문제점
Problems in Construction of Tunnel and Rock Slope
at Mudstone and Shale Region

이내용²⁾, Ne-Young Lee

김용일³⁾, Yung-il Kim

정한중⁴⁾, Han-Jung Jung

김영근¹⁾, Young-Geun Kim

- 1) (주)대우건설 토목기술1팀 대리
- 2) (주)대우건설 토목기술1팀 차장, 공학박사
- 3) (주)대우건설 대구-포항 9공구 현장소장, 기술사
- 4) (주)삼보기술단 지반공학부 부장, 공학박사/기술사

이암/셰일 지역에서의 터널 및 사면 시공시의 문제점

Problems in Construction of Tunnel and Rock Slope at Mudstone and Shale Resion

이내용¹⁾, Ne-Young Lee, 김용일²⁾, Yung-il Kim, 정한중³⁾, Han-Jung Jung, 김영근⁴⁾,
Young-Geun Kim

- 1) (주) 대우건설 토목기술1팀 대리
- 2) (주) 대우건설 토목기술1팀 차장, 공학박사
- 3) (주) 대우건설 대구-포항9공구 현장소장, 기술사
- 4) (주) 삼보기술단 지반공학부 부장, 공학박사/기술사

요 약 : 이암층, 함탄층, 석회암층과 같은 특수지질불량구간에서 터널과 암반사면의 합리적인 시공을 달성하기 위해서는 먼저 대상지질에 대한 지질특성, 암반특성을 정확히 이해하는 것이 필요하며, 지반특성에 적합한 지보대책을 수립하도록 하여야 한다.

본고에서는 전형적인 퇴적암지층으로 알려진 포항지역중 중생대 퇴적암류로부터 신생대 제 3기의 미고결 퇴적암류에 이르는 다양하고 복잡한 지질구조를 이루고 있는 지역에서의 터널 및 암반사면의 시공사례를 통하여 시공중의 제반문제점을 검토하여 이암층에서의 안전하고 합리적인 터널/암반사면의 시공방안에 대하여 고찰하였다.

주요어(Key words) : 이암, 미고결 퇴적암, 터널시공, 사면붕괴

1. 서론

최근 도로 및 철도건설이 활발하게 진행됨에 따라 함탄층, 이암층, 석회암층과 같이 지질공학적으로 문제가 되는 지질층에 터널을 설계하고 시공하는 사례가 증가하고 있다. 이러한 특수지질불량구간에서의 터널을 설계하거나 시공하는 경우 대상지질이 같은 고유한 지질·암반 특성으로 인하여 시공상 많은 어려움을 겪고 있는 실정이다.

이암층의 경우 풍화에 매우 민감하고, 수분함유시 팽창하는 특성을 가지고 있어 터널 설계 시 주의가 요구되고, 특히 미고결상태인 경우에는 터널시공시 터널의 안정성 확보에 유의하여야 하며, 장기적인 터널 안정성 확보를 위한 보강대책이 요구된다 할 수 있다.

따라서 이암층, 함탄층, 석회암층과 같은 특수지질불량구간에서 합리적인 터널시공을 달성하기 위해서는 먼저 대상지질에 대한 지질특성, 암반특성을 정확히 이해하는 것이 필요하며, 이러한 것을 바탕으로 지반특성에 적합한 지보대책을 수립하도록 하여야 한다.

본고에서는 전형적인 퇴적암지층으로 알려진 포항지역중 중생대 퇴적암류로부터 신생대 제 3기의 미고결 퇴적암류에 이르는 다양하고 복잡한 지질구조를 이루고 있는 지역에서의 안전하고 합리적인 시공사례에 대하여 기술하고자 한다.

2. 이암의 특성

2.1 이암의 암석학적 특성

이암은 지질학적 단편의 65%를 차지하고 있는 가장 많은 퇴적암이다. 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 이암의 성분(Composition)

① 점토 광물 : 이암은 평균 60%가 점토 광물로 이루어져 있다. 점토질 암석에 포함된 점토의 종류는 지층의 지질학적 시대에 따라 다르게 나타나는데, 표 1에서 알 수 있듯이 최근 지층일수록 팽창성 점토가 많이 포함되어 있다(D. M. Patrick and D. R. Snethen, 1975). 신성대 제3기말에 형성된 점토질 암석을 살펴보면 팽창이 잘 되는 montmorillonite를 포함한 smectite 그룹의 점토와 smectite-illite 점토로 이루어져 있다.

표 1. 지질적 시대에 따른 점토질 암석에 포함된 팽창성 점토의 양

Age	Percent
Pliocene, Miocene	65
Oligocene	50
Eocene, Cretaceous	40
Jurassic, Triassic	20
Permian	40
Pennsylvanian	30
Upper Mississippian	40
Lower Mississippian	5
Devonian, Silurian	5
Ordovician	15
Cambrian and Precambrian	5

또한 시추공의 연구에서 smectite와 illite 양이 매물 깊이에 따라 변한다는 것을 보여준다. 이는 smectite에서 illite로의 diagenetic 전환을 가리킨다. 같은 시기에 칼륨 장석의 양이 감소하면 아주 잔 알갱이의 석영과 처트는 증가하는 관계가 있다.

② 석영 : 이암에서 석영의 양은 그 모양과 대부분 점토 박편의 높은 복굴절 때문에 종종 과소평가 되어 왔다. 석영의 Percentages는 화학작용과 X-ray의 기술을 기초로 약 31%로 측정되었다. 석영은 우선 잔 알갱이 결정질의 암석에서 부서진 것이나 또는 운반되는 동안 결이 거친 석영 알갱이의 조각으로부터 유래된다. 그러나 어떤 것은 smectite에서 illite로 diagenesis된 산물이기도 하다..

③ 장석 : 비록 강에서 뜬 짐 형태의 장석의 퍼센트는 45%까지 높을지 모르나, 그것은 후에 높은 환경 에너지로 파괴되고, diagenesis로 제거되고 결국 대부분의 이암 속에서 적은 양으로 존재한다.

④ 탄산염 광물 : 탄산염은 또한 이암에서 희박하다. 하나의 이암 속에 약 3.6%의 탄산염이 들어있는 것으로 추정된다. 더 좋은 자료가 부족하기 때문에 대부분의 탄산염은 calcite(방해석)라고 여겨진다. 그러나 aragonite, dolomite, ankerite 그리고 siderite는 또한 이암에 들어있는 탄산염이다. 방해석은 화학적으로 생성될 수 있고, 또는 이암 속에 묻힌 유기체로부터 생성되기도 한다.

⑤ 유기 물질 : 유기 물질은 이암의 소량의 구성 물질이라도 매우 중요하다. 퇴적암의 유기 물질의 포함은 낮은 Eh환경(전자 이동에 의한 산화 환원 반응의 낮은 위치)을 요구한다. 이것은 침전지에서의 유기물질의 유입비율은 그것은 산화하는데 유용한 산소의 양을 초과해야 한다는 의미이다. 대지의 유기물질은 범람원의 진흙, 호수 하부 그리고 늪과 소택지에 다량 존재한다. 해양 분지안의 탄층상 분지는 한정적 물의 순환을 요구하는 구조적 특징에 의해 형성되어진다.

유기물질이 감소한다는 조건하에서 탄소는 또한 다른 물질을 감소시킨다. 예를 들어 염화제3철은 염화제2철이 된다. 그리고 sulphur(황)은 $(SO_4)^{2-}$ 의 +6에서 S^{2-} 의 -2로 감소되어진다. 감소된 철과 황은 비결정질의 철 황화물, FeS 그리고 황철광, FeS_2 의 형태로 결합한다. 많은 검은 mudrock은 황철을 함유한다.

⑥ Bentonite : Bentonite은 화산재의 변질상태에서 형성된 clay 집합암이다. clay는 smectite이다. 기원 응회암의 구성에 의거하여 smectite는 calcic, sodic 또는 potassic이 될 수도 있다. 그러나 일반적인 현무암이나 안산암질 모물질에 의해 유래된 calcic montmorillonit이 가장 일반적이다. Bentonite층은 한 번의 폭발이나 단시간 내의 여러번의 폭발에 의해 생성된다. 그리고 Bentonite층은 명백한 화산 기원의 다른 광물과 관계가 있다. 층의 두께는 분출구로부터의 거리에 따라 다양하다.

2.1.2 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 1/3~2/3이고 이는 이암이다.
- 석영 실트 입자가 돋보기로 충분히 보이면 점토가 1/3이하이고 실트암이다.

2.1.3 구조(Structures)

이암은 다양한 구조를 가지며 어떤 것은 단지 박편으로만 볼 수 있다. 작은 규모의 사층리(cross-bedding), 점이층리(graded bedding), 붕낙(skumping), 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. 이상적으로 점토는 층리에 평행하게 놓이지만 그 정도는 부분적으로 다음과 같은 작용에 의존한다.

■ 생물교란(bioturbation) : 밑바닥에 사는 생물들은 침전물들 사이를 파고 들고, 침전물들을 먹고 펠렛으로 분비하며 퇴적된 조직을 교란시킨다. 물의 증발 역시 이것을 돕는다. 만일 생물학적인 혼합이 퇴적물보다 10배나 빠르다면 침전물은 완벽하게 균질화될 수 있다.

■ 속성작용(diagenesis) : 매장되는 동안 밀압작용과 재결정작용은 쪼개짐을 만들어 낼 수 있다. 그것은 낮은 등급의 변성작용 속에서 단계적으로 점판암이 되는 것인데, 셰일과 점판암이 유사한 것은 이러한 이유에서이다. 대부분의 mudrock이 모임침전(응집)과 생물교란(bioturbation)이 우세한 해양환경에서 퇴적되므로, diagenesis동안 암석의 쪼개짐이 더욱 우세하게 된다. smectite-illite 혼합 점토들이 illite로 될때 쪼개짐이 생기는 것도 역시 가능하다.

2.1.4 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 성질

2.2.1 단축강도

단축강도실험을 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)의 제안식

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

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

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

■ Lashkariporu and Nakhaei의 제안식

G. R. Lashkariporu and M. Nakhaei는 많은 횡수의 실험을 통해 얻은 자료를 통계적 분석을 통해 서로의 상관관계를 규명하였다. 실험을 통해 얻은 물성값들은 표 2와 같다.

표 2. statistical summaries of the air-dried shale properties.

Properties	시료 수	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
접하중강도(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

■ 접하중강도와 단축강도와의 관계

$$\sigma_c = 22.08 I_{s(50)}$$

여기서, σ_c : 단축강도(MPa), $I_{s(50)}$: 지름 50mm에 대한 접하중지수

■ 함수율과 단축강도와의 관계

$$\sigma_c = 79.51 e^{-0.39w}$$

여기서, σ_c : 단축강도(MPa), w : 함수율(%)

■ 공극률과 단축강도와의 관계

$$\sigma_c = 210.12 n^{-0.82}$$

여기서, σ_c : 단축강도(MPa), n : 공극률(%)

■ 단축강도와 정적탄성계수와의 관계

$$E_s = 0.045 \sigma_c^{1.163}$$

여기서, E_s : 정적탄성계수(GPa), σ_c : 단축강도(MPa)

■ 공극률과 정적탄성계수와의 관계

$$E_s = 38.9 n^{-0.863}$$

여기서, E_s : 정적탄성계수(GPa), n : 공극률(%)

2.3 이암에서의 공학적 문제점

2.3.1 Squeezing

Squeezing이란 터널 굴착 후 유도되는 응력 상태가 무결암의 강도를 초과하여 무결암을 항복시켜 큰 변형을 야기시키는 것을 말한다. 즉 squeezing 현상에 의해서 터널 단면은 점차적으로 축소가 일어나고 터널의 지보에 큰 손실을 주게 된다. 여러 사람들에 의해서 squeezing을 예측하는 식들이 제안되었는데 다음과 같다.

- Aydna et al. Method(1991)

$$h \geq \frac{q_u}{2\gamma} \quad (h : \text{깊이}, q_u : \text{단축강도}, \gamma : \text{단위중량}) \text{인 깊이에서 squeezing}$$

일어난다고 봄.

- Singh et al. Method(1992)

$$h > 350Q^{1/3} \quad (Q : \text{rock mass quality})$$

터널의 크기를 고려한 식

$$a^{0.1}h > 460Q^{1/3} \quad (Q : \text{rock mass quality}, a : \text{터널의 지름})$$

- Bhasin et al. Method(1996)

접선응력과 암반의 압축강도의 비로써 안정계수(stability factor)를 구하고 그 값으로 squeezing의 정도를 나타내었다.

$$\text{stability factor} = \frac{\sigma_\theta}{\sigma_{cm}}$$

(σ_θ : tangential stress, σ_{cm} : rock mass compressive strength)

표 3. Degree of squeezing(Grimstad and Barton, 1993)

Degree of squeezing	Stability factor($\sigma_\theta/\sigma_{cm}$)
Non-squeezing	< 1
Mild to moderate squeezing	1 - 5
Heavy squeezing	> 5

squeezing에 영향을 미치는 요인들로는 암반의 강도, 응력상태, 터널축과 불연속면의 방향, 공극수압, 굴착방법, 지보재의 강성을 들 수 있다(S. C. Sunuwar and R. J. Fowell).

2.3.2 Swelling

팽창성이 강한 점토를 함유한 이암이 물과 만나게 되면 swelling 현상이 일어나게 된다. swelling pressure는 터널의 lining에 압력을 미쳐 터널의 안정성에 영향을 미친다. swelling 현상을 막기 위해서는 터널로의 지하수 유입을 차단하는 것이다.

2.3.3 Slaking

표면에 노출된 이암은 Slaking이 일어나므로 가능한 한 빨리 노출된 암석을 보호하는 것이 중요하다.

2.4 국내 포항 지역의 이암의 특성

국내에서 보고된 포항지역의 이암의 물리적·역학적 특성을 살펴보면 다음과 같다.

- 포항지역 이암의 Creep 특성에 관한 연구 보고서 (서울대학교 에너지·자원 신기술 연구소, 1994)

표 4. 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	1.21
4B-2	16.5 - 17.2	74	1.07
36B-2	14.9 - 16.4	60	1.11

표 5. 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 Mudston 및 대구지역 Black shale의 물리·역학적 특성에 관한 연구 (이승재, 노상립, 윤지선, 2001)

표 6. strength at three different states

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

표 7. Result of slake durability test

· 팽창압 : 0.03 - 0.18 kgf/cm²

비구속 상태에서의 팽창변형율 : 횡방향(층리면 평행) 0.039% - 0.388%

축방향(층리면 직교) 0.561% - 0.642%

rock type	Slake durability Index(%)	5°C			20°C			35°C		
		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. 터널 시공사례

3.1 개요

대구-포항 광역권과 환태평양 경제권의 전초기지인 포항 신항만을 지원하기 위한 간선축으로 대구광역시 동구 도동 경부고속도로에서 분기하여 경북 포항시 남구 연일읍학전리 포항국도 대체 우회도로에 접속되는 68.420km의 4~6차로 고속도로 신설공사중경주시 강동명 다산리(65.200km)~포항시 남구 연일읍 달전리(66.135km)에 위치한 굴착연장 935m의 2차선 상·하행병설 다산터널은 중생대 백악기 퇴적암류로부터 신생대 제 3기의 미고결 퇴적암류에 이르는 다양하고 복잡한 지질구조를 이루고 있다.

또한 터널중양에는 최대 120m, 최소 30m로 예상되는 단층파쇄대가 추정(우리나라 남동지역의 대표적 단층으로 최근 활성단층의 논란대상인 양산단층지역과 근접위치함)되며, 지하수위가 높고 피압수가 존재하고 있다.

특히 신생대 제3기 미고결퇴적암(이암)은 구성광물을 이루는 Montmorillonite의 영향으로 팽윤이 잘 일어나며, 수분 흡수시 급격히 풍화되어 토사화되는 성질(Slaking)이 있고, 선구도 분석결과도 절리나 층리의 주불연속면 경사방향이 터널굴진에 불리하게 평가되는등 터널설계 및 시공시 굴착방법, 지보형식, 보조공법적용등에 세심한 배려가 요구되는 실정이다.

이에 터널구간별로 기반암의 종류에 따라 지질특성을 정리하고 이를 고려한 설계현황과 실시공과정에 대하여 소개하고자 한다.

3.2 지질특성

3.2.1 지질현황

본 터널의 지질은 중생대 백악기의 퇴적암류로부터 신생대 제3기의 미고결퇴적암(이암)류에 이르는 복잡한 지질구조를 가지고 있으며 터널부분에서의 기반암의 종류에 따라 구간별로 정리하면 다음과 같으며, 터널구간의 지질종단면도는 그림 1에서 보는바와 같다.

가. 터널시점(65+200) ~ 65+500

① 기반암 : 중생대 백악기 퇴적암류 (대구층)

② 지질특성 : 본 퇴적암류는 Purple shale, Greenish gray sandstone으로 구성되는 층으로 대구층에 속한다. 부분적으로 Felsite(규장암)의 관입이 있으며 그 관입방향은 터널입구측 노두에서는 350/88로 수직적인 관입접촉면을 보이고 있다. 또한 다산터널 서측약 2km지점에 발달하는 NNE-SSW방향의 양산단층의 파생단층의 영향을 받고 있다. 퇴적암의 대부분을 차지하고 있는 shale은 그 강도가 sandstone에비하여 약하여 단층의 영향을 받은 지역에서는 심하게 파쇄되어 있는 양상을 보이고있다. 따라서 본 구간에서는 선구조는 단층대 또는 단층작용시 수반되는 전단대의발달이 매우 심한 특성을 보이고 있다. 7+120에서부터 felsite와는 관입으로 접촉하고 있다.

나. 65+500 ~ 65+735

① 기 반 암 : 중생대 백악기 Felsite(규장암)

② 지질특성 : 본 암은 상기 대구층을 관입접촉하고 있으며 터널 내에서의 맥폭은 약 72m로 두꺼운 편이다. 암석의 특징은 세립-미정질의 화산암으로 암색은 유백색 - 황갈색을 띠고 있으며, 구성광물은 규정질로 거의 미정질의 석영, 장석으로 구성되어 있어 풍화에 강한 특성으로 보이고 있다. 단층에 의한 파쇄작용을 받을시 그 파쇄대에서 풍화가 잘 일어나지 않아 점토성분이 거의 없는 특성이 있어 투수계수가 상대적으로 높은 특성이 있다. 따라서 본 구간에서는 지하수에 대한 세밀한 고려가 되어야 한다.

다. 65+735 ~ 65+970

① 기 반 암 : 중생대 백악기 퇴적암류(대구층)

② 지질특성 : 본 암석은 터널입구에 분포하는 퇴적암류와 동일한 지층으로 구성되어 있으나, 터널입구에 비하여 파쇄정도가 더 심한 것으로 판단된다. 이는 65+760부근에 발달하는 단층에 의한 영향으로 판단된다.

라. 65+970 ~ 66+090

① 기 반 암 : 신생대 제3기 화산암류(응회암질암)

② 지질특성 : 본 암류는 중생대 백악기의 퇴적암류를 부정합으로 접촉하고 있는 화산암류로 왕산층에 대비되는 것으로 판단된다. 본층은 기존 포항지질도(국립 지질조사소, 1964, 엄상호등)에서는 언급하지 않았으나 윤선 (1989, Wangsan Dacitic Volcanics), Shimazu et al.(1990)에 의하여 명명된 지층으로 당초 Tateiwa(1924)에 의하여 경상계의 암석으로 기재되었지만 연대측정에 의하여 에오신초에 속하는 응회암질암으로 경상계를 부정합으로 피복하고 있는 지층으로 주장되었다.

따라서 마이오신에 속하는 후기의 퇴적암의 BASE를 이루고 있는 암석이다. 본암은 주로 담녹색을 띠고 있는 응회암질 부분과 담황색 내지 담갈색을 띠고 있는 응회암질 안산암이 주를 이루는 화산암복합체(Volcanic Complex)를 이루고 있는 것으로 추정된다.

마. 66+090 ~ 터널입구(66+135)

① 기 반 암 : 신생대 제3기 퇴적암류(미고결이암)

② 지질특성 : 본층은 본 구간에서부터 노선의 종점부에 이르기까지 넓게 발달하는 퇴적암류로서 완전한 속성작용(Diagenesis)을 받지 않아 미고결 상태를 보이고 있는 퇴적성연암으로 구성되어 있으며 암석의 종류는 역암, 사질이암, 이암이 나타나고 있으나, 역암은 그 층후가 10m내외로 매우 얇으며 대부분은 이암 및 사질이암으로 구성되어 있다. 층서적으로는 학림층 및 홍해층에 속하는 것으로 양자간의 차이는 암상의 차이로 공학적인 관점에서 살펴보면 비슷한 상태를 보이고 있다.

퇴적성연암은 퇴적물이 굳어져 암석이 되는 과정에 있는 아직 굳어지지 않은 암석으로 비교적 균열이 적고, 있다해도 암체의 역학적 성상에서는 그리 영향을 주지 않기 때문에 흙과 같이 연속체에 준한 취급이 가능한 것이고, 암석이나 흙과 달라서 굴착할 때는 암체의 성질이 급속히 변화하고, 그 정도가 큰 것이다. 또 암석과 달리 함수상태의 변화에 대해서 민감하지만, 흙과도 다른 성상을 나타낸다. 따라서 미고결퇴적암과 같은 연암의 성질을 다루는 경우에는 강도, 변형성 등의 특성 이외에 함수상태 및 열화하기 쉬움의 4가지를 총괄적으로 취하는 것

이 중요하다.

미고결이암은 구성광물이 거의 점토광물로 구성되며 이 점토광물의 그 종류에 따라 공학적 성질이 매우 상이함으로 점토광물 및 구성광물을 파악하기 위하여 본 터널구간 및 노선후반부 절취사면측의 미고결이암에 대하여 X-ray 회석분석(XRD)을 실시하였다. 그 결과 중생대 백악기의 세일(TB-4)은 Quartz(석영), Feldspar(장석), Mica(운모), Calcite(방해석), Chlorite(녹니석)가 구성광물로 나타났으며, 신생대 제3기의 미고결 이암(TB-8)에서는 Montmorillonite, Quartz, Feldspar, Mica가 구성광물로 나타났다. 미고결이암 중의 구성광물을 이루는 Montmorillonite는 특히 팽윤이 잘 일어나는 대표적인 광물로 이에 대하여 swelling test 및 slaking-durability를 실시하였으며 그 결과는 다음 표 8, 표 9와 같다.

표 8. 이암의 Swelling 시험결과

specimen ID.	Rock type	Size of specimen Dx L(mm)	Swelling Strain(%)	Depth	Composition
CB-7-S-1	Mudstone	51.8×24.3	1.0	10.5~10.8	Clay(70%)+Sand(30%)
CB-7-S-2	Mudstone	51.4×23.3	4.5	19.6~19.8	Clay(90%)+Sand(10%)
TB-8-S-3	Mudstone	49.8×20.5	6.4	17.5~17.7	Clay(95%)+Sand(5%)
TB-8-S-4	Mudstone	49.4×22.4	6.0	23.4~23.6	Clay(95%)+Sand(5%)

상기 결과를 분석하면 Swelling Strain은 1.0~6.4%로 나타나고 있으며 이 범위는 넓은 편이나 실제 암석중의 Clay의 함량에 따른 차이로 나타나고 있으며 지역적인 분포에 의한 차이는 없는 것으로 사료된다.

Slaking Test는 터널설계 및 사면의 안정성 평가를 위하여 각각 대표되는 시료에 대하여 시험하였다. 시험은 국제암반역학회(International Society for Rock Mechanics)의 기준에 의하여 실시 되었으며 그 결과는 다음과 같다.

표 9. 이암의 Slaking 시험결과

specimen ID.	Id ₁	Id ₂	Depth	Classification (Franklin)	Classification (Gamble)
CB-7-S-1	93.29	90.21	10.5~10.8	Very high	Medium high durability
CB-7-S-2	90.65	83.83	19.6~9.8	High	Medium durability
TB-8-S-3	85.81	72.64	17.5~17.7	Medium	Medium durability
TB-8-S-4	86.49	74.29	23.4~23.6	Medium	Medium durability

상기 결과를 분석하면 Id₁ 은 85.81~93.29의 범위로 나타나고 있으며 Id₂ 는 90.12 ~72.64의 범위에 나타나고 있으며 Franklin의 분류에 따르면 CB-7-S-1은 Very High에 CB-7-S-2은 High에 TB-8-S-3과 TB-8-S-4는 Medium에 속한다. Gamble의 분류에 의하면 CB-7-S-1은 Medium high durability에 속하고 그 외는 Medium durability에 속하여 양자간의 분류방법을 통하여 볼 때 본 지역에서 slaking durability는 대체로 Medium정도에 속하는 것을 알 수 있

으며, 암석중의 Clay의 함량에 따른 차이에 의하여 내구성이 변하는 것으로 판단되며 시추공의 거리상의 변화나 심도별의 변화에 의한 차이는 없는 것으로 사료된다.

3.2.2 선구조분석

다산터널의 입구에서의 절리계는 본터널의 서측 약 500m에서 남북으로 발달하는 단층(양산 단층)의 영향으로 인하여 많은수의 minor fault의 발달이 있다. 다산2교 A-3, 4번 근처의 노두에서 발달하는 단층군중 일부 단층은 그 방향이 다산터널입구로 진행하고 있으나 연장성은 확인이 불가능한 상태이다. 또한 다산터널 입구측에서 시추한 결과 단층대의 영향을 받고 있는 것으로 판단되나, 그 방향성은 파악이 불가능한 상태에 있으며 Fault gauge가 다수 협재되어 있어 이 gauge가 사면의 안정성에 영향을 끼칠수 있다.

지표지질조사시 산출된 선구조를 이용하여 DIPS를 활용하여 사면의 안정성을 살펴본 결과 시점부 갱구사면의 경우 층리는 사면의 방향과는 반대로 경사되어 있으나 양산단층의 영향으로 심하게 패쇄되어 있어 사면의 안정에 영향을 미칠것으로 판단된다.

단층을 포함하는 절리의 방향은 사면의 방향과 같으나 그 경사가 75~80°로 사면의 경사에 비하여 커서 안정에 영향을 미치지 않을 것으로 판단되지만 상기 단층면및 절리면이 산출된 부분이 상기 터널입구에서 이격이 되어 있는 관계로 그 방향 및 경사가 부분적으로 달라질 수 있으며 이에 대하여 고려하여야 한다.

출구측의 기반암은 신생대 제3기의 미고결퇴적암으로 주로 이암 및 이에 부분적으로 교호되는 사질이암으로 구성되어 있다. 이 미고결퇴적암은 퇴적암의 속성작용을완전히 받지 못한 상태로 그 강도가 일반적인 퇴적암에 비하여 떨어지며, 팽윤성이강하여 대기에 노출될 경우 그 강도가 현저히 떨어지는 경향을 보인다. 또한 퇴적암내의 구조중 퇴적당시에 형성된 슬럼프구조가 많이 발달하고 있으며 주로 단층형 및 습곡형을 띠고 있어 부분적으로 층리가 교란이 심한 지층이다.

지표지질조사시 측정된 층리는 일정한 영역에 들어가 있어 대규모적인 슬럼프구조의 발달은 없는 것으로 판단되나 소규모적인 현상은 전체적인 층리에 포함될 수 있다.

출구부 터널사면에 대한 안정성을 파악하기 위하여 DIPS를 이용하여 PLOT한 결과 DAYLIGHT ZONE에 일부 층리가 포함되므로(1:1.2이하)층리에 대한 주의가 필요하다. 또한 본 노선 인근에 위치한 국도의 절취사면의 구배가 1:1.2로 이루어져 있으나 사면내에서 진행성 파괴가 발생하고 있는 점 등을 감안하여 한계평형식에 의해 분석한 결과 사면을 1:1.5로 경사를 낮출 경우 안전율은 (건기 : 1.870 , 우기 : 1.728)로 산출되므로 안정할 것으로 판단된다. 터널에서의 선구조와 터널굴질 방향에 따른 관계는 다음 표 10과 같다.

표 10. 터널에서의 선구조와 터널굴진방향에 따른 관계

구분	시점부	종점부	비 고
주불연속면	187 / 72(J1)	130 / 85(J1)	J는 절리 B는 층리
	161 / 76(J2)	333 / 75(J2)	
	263 / 75(J3)	164 / 27(B)	
	78 / 35(B)		
터널굴진방향	90	270	
평가	불리	불리	

3.3 터널 설계

다산터널 구간은 지반의 생성과정에서 상당한 지각변동을 받았으며, 우리나라 남동지역의 대표적 단층으로 최근 활성단층의 논란 대상인 양상단층 지역과 근접하여 있다. 지반조사결과 시점부 및 중앙부에서 단층파쇄대를 확인하였으며, 종점부에서는 신생대 제3기의 이암이 존재하고 불연속면의 경사방향은 터널굴착시 안정성에 불리한 방향으로 발달되어 있다.

특히, 이암은 고결상태가 불량한 팽창성 지반으로서 수분흡수시 급격히 약화되어 토사화하는 성질이 있으므로 터널설계 및 시공시 적절한 보강방법을 강구할 필요성이 있다.

따라서, 본 터널에 적용할 지보형식 및 굴착방법은 연약한 암반과 단층파쇄대의 특성을 고려할 때 기본적 표준패턴을 적용하기에는 안전성면에서 문제가 있을 것으로 판단되므로 연약 암반에 적용가능한 지보형식 및 굴착방법등을 추가하여 터널의 안정성을 확보하도록 설계하였다.

4.3.1 암반분류결과 및 적용지보패턴

한국도로공사, 한국기술용역협회, 서울지하철 및 고속철도에서의 암반분류기준을참고로 하여 시추조사, 실내시험결과등을 종합한 구간별 RMR분류결과 및 적용지보패턴은 표 11과 같다.

표 11. 암반분류 및 적용지보패턴

구 간	연장 (m)	RMR분류		지보패턴
		등 급	구 분	
STA.65+200 ~ STA.65+220	20	V	매우불량	6(A)
STA.65+220 ~ STA.65+250	30	V	매우불량	5
STA.65+250 ~ STA.65+280	30	V	매우불량	5(B)
STA.65+280 ~ STA.65+340	60	IV	불 량	4
STA.65+340 ~ STA.65+400	60	III	보 통	3
STA.65+400 ~ STA.65+450	50	IV	불 량	4
STA.65+450 ~ STA.65+510	60	V	매우불량	5(B)
STA.65+510 ~ STA.65+550	40	IV	불 량	4
STA.65+550 ~ STA.65+610	60	V	매우불량	5(B)
STA.65+610 ~ STA.65+640	30	IV	불 량	4
STA.65+640 ~ STA.65+680	40	III	보 통	3
STA.65+680 ~ STA.65+710	30	IV	불 량	4
STA.65+710 ~ STA.65+750	40	V	매우불량	5(B)
STA.65+750 ~ STA.65+790	40	V	매우불량	5(A)
STA.65+790 ~ STA.65+830	40	V	매우불량	5(B)
STA.65+880 ~ STA.65+940	50	V	매우불량	5
STA.65+940 ~ STA.66+000	60	IV	불 량	4
STA.65+940 ~ STA.66+000	60	V	매우불량	5
STA.66+000 ~ STA.66+060	60	IV	불 량	4
STA.66+060 ~ STA.66+080	20	V	매우불량	5
STA.66+080 ~ STA.66+105	25	V	매우불량	5(A)
STA.66+105 ~ STA.66+135	30	V	매우불량	(B)

3.3.2 지보패턴

본 터널에 적용한 지보패턴은 표 12와 같으며, 구간별 지보패턴은 그림 1과 같다.

표 12. 터널 지보패턴

구분	TYPE	내부 라이닝 두께 (cm)	숫크리트 두께 (cm)	록볼트			강지보재		1회 굴진장 (m)	굴착 방법	설계 연장 (m)
				길이 (m)	간격		규격	간격 (m)			
					횡방향 (m)	종방향 (m)					
일반 구간	3	30	8	4.0	1.5	2.0	-	-	2.0	전단면	100
	4	30	12	4.0	1.5	1.5	H-100×100×6×8	1.5	1.5/3.0	반단면	330
	5	30	16	4.0	1.5	1.2	H-100×100×6×8	1.2	1.2/1.2	반단면	160
	5(A)	30	20	4.0	1.0	1.0	H-100×100×6×8	1.0	1.0/1.0	반단면 (상반링컷분할)	65
	5(B)	30	16	4.0	1.0	1.0	H-100×100×6×8	1.0	1.0/1.0	반단면	230
갱구부	6(A)	30	16	4.0	0.6	0.6	H-100×100×6×8	0.6	0.6/0.6	반단면	20
	6(B)	30	20	4.0	0.6	0.6	H-100×100×6×8	0.6	0.6/0.6	반단면 (상반링컷분할)	30

3.3.3 이암구간의 지보패턴

단층파쇄대 및 미고결 팽윤성이암을 포함한 연약내지 연약암반지대에는 기존 도로공사 표준지보 형식만으로는 터널시공의 안정성에 문제가 있을 것으로 판단되어 TYPE-5, TYPE-6 (갱구부 지보형식)을 변형한 4개의 새로운 지보형식 TYPE-5(A), TYPE-5(B), TYPE-6(B)를 추가하여 설계에 반영하였다.

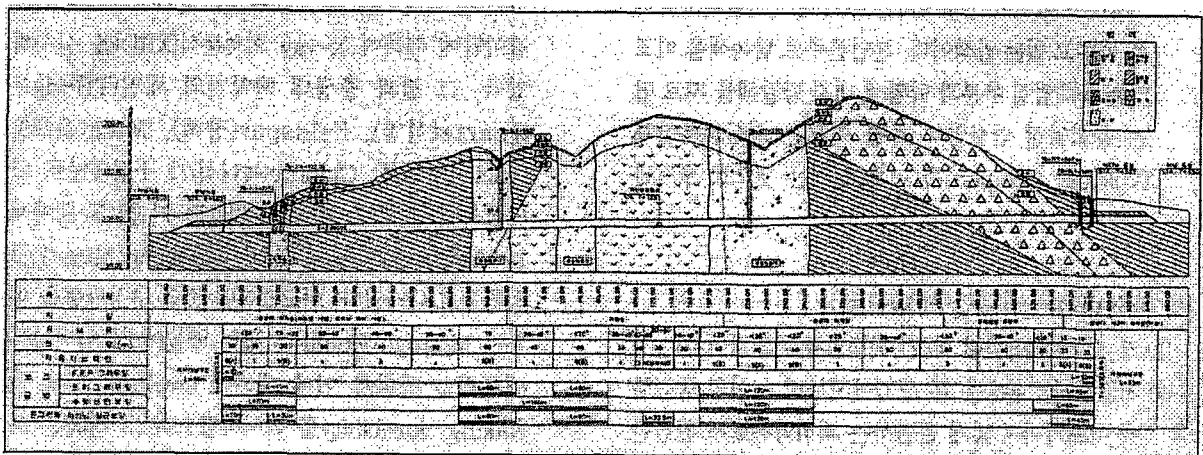


그림 1. 암반분류와 지보패턴

표준지보에 추가된 지보형식을 요약하면 표 13과 같으며 TYPE별 표준단면도는 그림 2와 같다.

표 13. 추가 지보형식

지보형식	TYPE-5(A)	TYPE-5(B)	TYPE-6(A)	TYPE-6(B)
대상지반	팽윤성이암 및 대 규모 단층점토대	단층파쇄대	갱구부	팽윤성 이암대의 갱구부
굴착	굴착공법	상하반 분할굴착 상반 Ring cut 굴착 상하 인버트 설치	상하반 분할굴착	상하반 분할굴착 상반 Ring cut 굴착 상하 인버트 설치
	굴진장	1.0m	1.0m	0.6m
보조공법	수평선진보링 프리그라우팅 Fore Poling	수평선진보링 프리그라우팅 Fore Poling	강관다단그라우팅 수평선진보링	강관다단그라우팅 프리그라우팅 수평선진보링 Fore Poling
라이닝	철근콘크리트	철근콘크리트	철근콘크리트	철근콘크리트

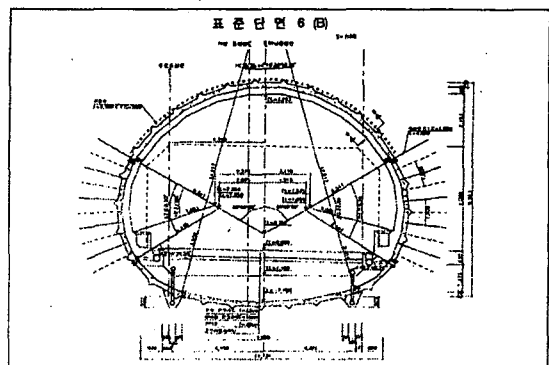
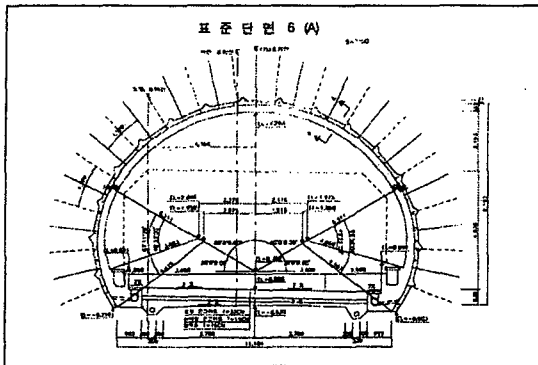
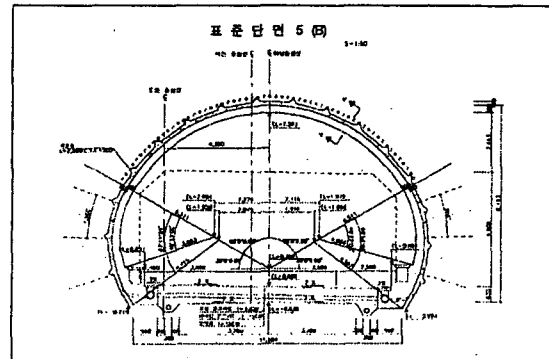
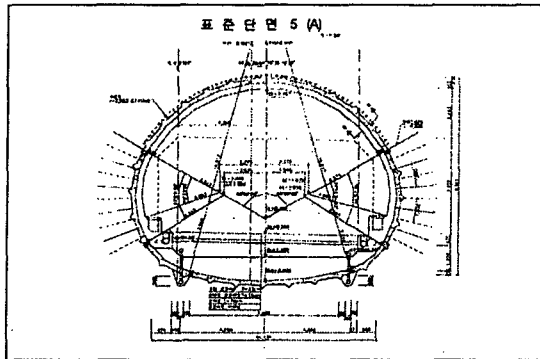


그림 2. 표준지보패턴도

3.4 터널 시공

3.4.1 막장지질 및 조사

그림 3은 본 터널구간에서 나타나는 전형적인 암석의 모습을 보여주고 있으며, 굴착당시엔 상당히 견고한 상태를 유지하였으나, 햇볕에 노출되고 시간이 지남에 따라 풍화되고 완전 부스러진 상태를 보여주고 있다. 그림 4는 터널 막장에서 관찰되는 흑색의 사질이암의 모습 보여주고 있으며, 미고결 상태로 쉽게 부스러지는 특성을 가지며, 암반 상태가 매우 불량 상태로 터널 막장의 안정성을 확보하기 위하여 보강공이 필요한 상태이다.

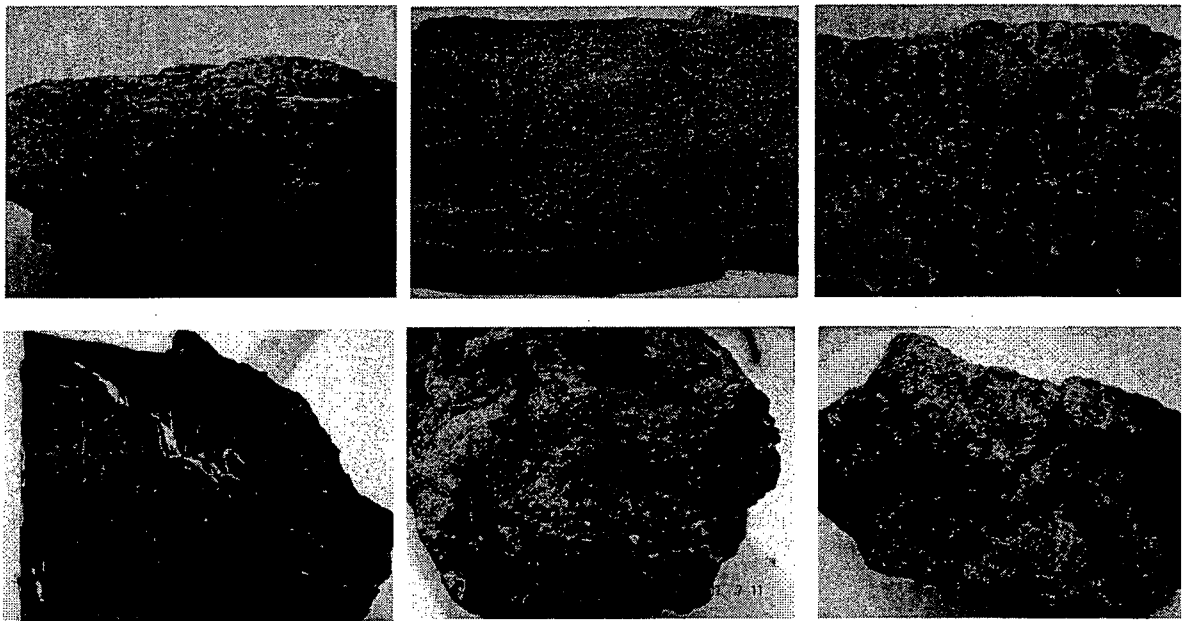


그림 3. 터널구간에서 나타난 각종 암석들 (안산암, 사암, 역암, 이암, 응회암류)

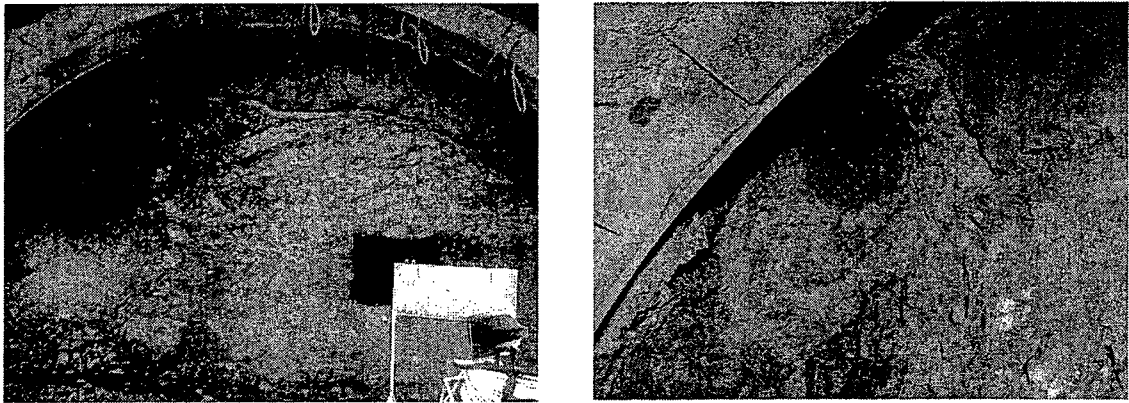


그림 4. 터널 막장사진

본 터널은 암질이 매우 불량하고 지질변화가 심하기 때문에 전방지질에 대한 평가가 매우 중요하다. 따라서 지질이 불량한 구간에 대하여 터널막장에서 수평선진보오링을 실시하였으며, 막장 전방 20m 지점까지 암석코어를 획득하여 암질상태 및 절리상태로부터 암반을 상태를 평가하여 지보대책을 수립하고 터널공사의 안전성을 도모하였다.

3.4.2 굴착 및 지보

본 터널에서의 굴착방법은 브레카에 의한 기계굴착으로 암반굴착을 수행하고 있다. 이는 암석의 강도가 약하고, 미고결 퇴적암층으로 층리 및 절리가 발달되어 있어 브레카에 의한 굴착이 가능하기 때문이다. 그림 5는 브레카에 의한 터널굴착의 모습이다.

본 터널에서는 일반적으로 사용되는 습식 슛크리트를 사용하였으며, 그림 6은 슛크리트를 타설하는 장면이다. 그리고 시공중 가장 큰 애로사항중의 하나는 록볼트 시공이다. 즉 점보드릴을 천공한후 당초에는 충전형 록볼트로 설계되었으나, 암질이 불량하여 천공홀 형성이 잘 안되었고, 충전재의 삽입후 록볼트의 삽입이 잘되거나 충분한 쉐어지지 않아 시공이 제대로 되지 않았다. 이에 현장에서는 록볼트삽입후 주변공을 시멘트밀트 그라우팅하여 시공하였으며, 록볼트 인발시험결과 충분한 인발력을 확보할 수 있었다.

3.4.3 보강공

본 터널에서는 암질이 불량한 구간, 특히 이암구간에 대한 보조공법으로서 프리구라우팅과 포아폴링을 적용하였으며, 이암구간중 갱구부나 암질이 매우 불량한 구간에는 강관다단그라우팅공법을 채택하였다. 그림 7은 터널막장천단에 시공된 포아폴링의 모습을 보여주고 있으며, 그림 8은 터널 막장 천단부에 실시된 강관다단그라우팅의 시공장면이다.



그림 5. 브레카에 의한 기계굴착



그림 6. 슛크리트 타설

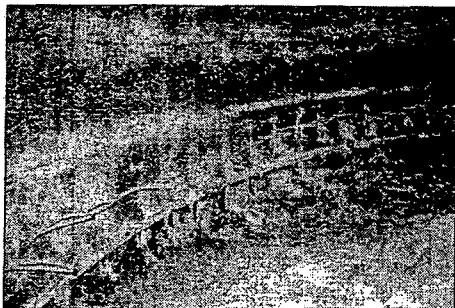


그림 7. 천단부 포아폴링 시공

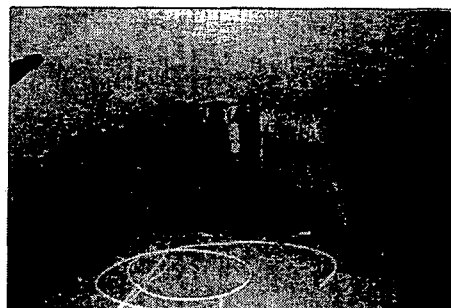


그림 8. 강관다단 그라우팅 시공

4. 암반 사면

4.1 암반사면 시공사례 1

4.1.1 지질개요

(1) 암석 특성

본 지역은 사암과 셰일로 구성되는 전형적인 퇴적암 지층으로서 사암과 셰일이 교호하고 있으며, 퇴적암 지층의 특징은 층리구조(bedding planes)을 잘 보여주고 있다.

사암(sandstone)의 경우 상부에는 미고결층을 형성하고 있어 암석의 내구성이 매우 약하고 굴착면의 노출로 인하여 풍화가 급속히 진행되어 암반의 지지력이 매우 약한 상태로 조사되었다. 또한 셰일(shale)의 경우 점토와 같은 미립자들이 쌓여 만들어진 퇴적암으로서 초기 굴착시에는 매우 견고한 상태를 유지하지만, 자연상태에 노출되면 풍화가 진행되고 특히 물이 공급되면 그 내구성이 현저히 저하되어 쉽게 쪼개지거나 부스러지는 공학적인 특성을 보여주고 있다.

(2) 불연속면의 특징

퇴적암의 경우 모래나 진흙이 쌓이면서 만들어진 층리면을 형성하게 된다. 이러한 층리면은 일종의 암반불연속면(Rock discontinuity)로서 연약면을 만들게 되어 이면을 따라 쉽게 분리되는 특징을 가지게 되며, 상대적으로 물의 침투가 용이하여 풍화변질이 빨리 진행되므로 층리면을 따라 사면활동이나 붕괴 등이 잘 일어난다.

또한 층리면에 대한 수직인 방향으로 수직절리를 형성하게 된다. 이는 층리면이 일정한 간격으로 쌓인 얇은 층구조를 형성하기 때문에 수직방향으로 쉽게 부러지는 역학적인 특성을 반영한 결과라고 할 수 있으며, 본 지역에서도 이러한 특징은 매우 잘 나타나고 있음을 볼 수 있다. 본 지역은 층리면과 이에 직각방향으로 형성된 두 개의 수직절리가 주불연속면이라고 할 수 있다. 그림 9는 본 사면의 붕괴직후의 모습이다.



그림 9. 암반 사면붕괴직후의 모습

4.1.2 사면안정성 검토

(1) 사면현황

STA.6+658 지점에서 1차적으로 사면붕괴가 발생하여 붕괴된 암반을 걷어내고 그림 10과 같이 암반사면구배를 완화하여 공사를 진행하던 중, 사면의 상단부에서 부분적으로 암반이 이완(절리Open)되고 인장균열이 관찰되고 그 상태가 계속 진행되는 바, 이에 대한 적절한 대책을 수립하기 위한 것이다.

(2) 붕괴원인분석

본 지역은 1차적으로 사면붕괴가 발생한 곳이다. 사면붕괴가 발생하게 되면 붕괴된 지반은 완전히 이완되어 지지력을 상실하게 된다. 특히 붕괴특성상 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.



그림 10. 사면구배 완화후의 모습

또한 붕괴된 토체를 걷어내면서 하부지반이 비어 있는 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 발행한 것으로 판단된다. (그림 11, 12, 13, 14)

그림 13과 14에서 보는 바와 같이 인장절리의 폭과 깊이로부터 판단해 보면 지반의 이완은 이미 상당히 진행된 상태로 지반자체의 지지력을 상실한 상태로 추가적인 붕괴에 이를 것으로 판단된다.



그림 11. 암반사면 상부지반의 모습



그림 12. 암반사면 상부지반의 인장절리



그림 13 파괴형태 및 규모조사(1)



그림 14 파괴형태 및 규모조사(2)

당초 인장균열은 사면과 도로가 만나는 지점에서 관찰되었고, 그 폭과 범위가 작게 나타났으나, 현재 인장균열은 도로 안쪽까지 확대된 상태로 지반이완의 범위가 점점 커지고 있는 것으로 보인다. (그림 11, 그림 12)

본 지역은 1차적으로 사면붕괴가 발생하면서 하부지반이 지지력을 상실하게 되었고, 붕괴된 토사를 걷어내어 하부지반이 오픈되면서 상부지반이 이완되어 주변 절리가 오픈되었고, 이완 범위가 확대되면서 상부도로지반에 인장균열이 발생한 것으로 보이며, 추가적인 붕괴의 위험성이 있다고 판단된다.

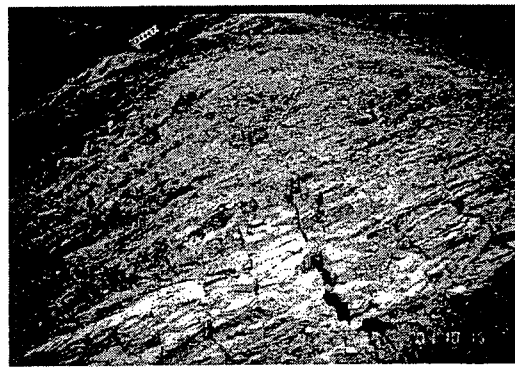
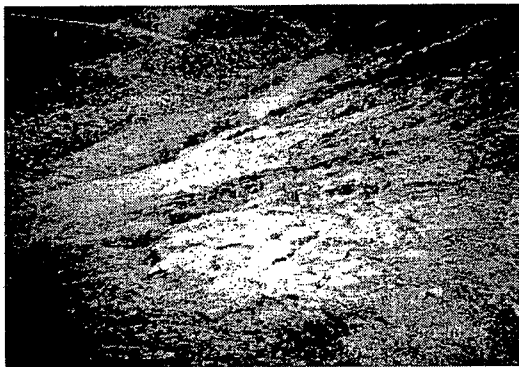


그림 15. 붕괴이전의 사면의 모습



그림 16. 사면의 전체 모습

4.1.3 안정성 검토

본 검토에서는 층리면과 절리 그리고 사면방향에 대한 평사투영해석을 실시하여 암반사면에 대한 안정성 검토를 실시하였다.

그림 17에서 보는 바와 같이 층리면의 경사방향과 사면의 경사방향이 60° 이상교차하고 있고, 두 개의 수직절리와의 경사방향과는 많이 엇갈리고 있어 평면파괴의 가능성은 매우 적은 것으로 나타났다.

그러나 층리면과 수직절리의 교차로 인하여 발생하는 썩기파괴에 대하여 검토한 결과, 그림 18에서 보는 바와 같이 층리와 수직절리 1과의 교차점이 사면의 경사방향과 20° 이내로 썩기파괴의 가능성이 있음을 알 수 있다. 그러나 층리면과 수직절리 2, 수직절리 1과 2는 썩기파괴의 매우 낮음을 볼 수 있다.

또한 수직절리 2는 층리면과 수직절리 1에 의해 발생하는 암반썩기에 대하여 상부에서 암반을 끊어주는 역할을 하게되고 있음을 확인하였다.

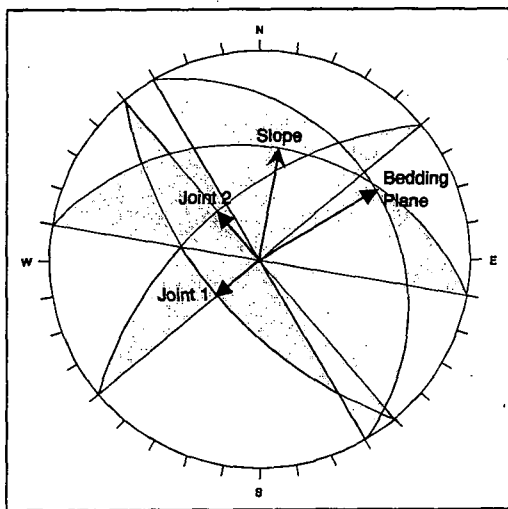


그림 17. 평면파괴 검토

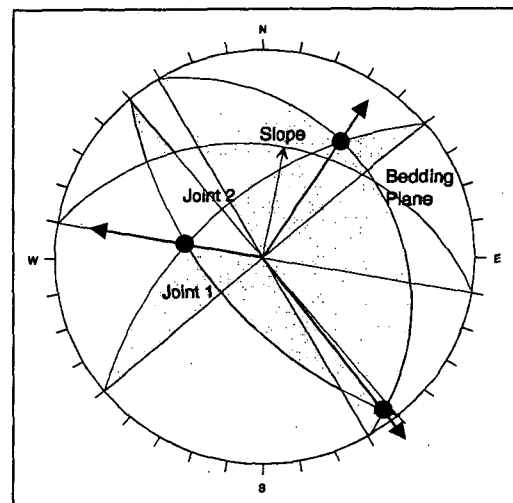


그림 18. 썩기파괴 검토

4.1.4 대책 검토

본 사면의 경우 암반면의 지속적인 자연노출은 암반을 풍화변질시켜 사면의 불안정성을 야기할 수 있으므로 사암과 셰일의 풍화를 억제하기 위한 표면 보호공을 가능한 빨리 시공하는 것이 바람직 할 것으로 판단된다. 현재 설계된 Seeding공법으로는 본 사면의 장기적인 안정성을 확보할 수 없을 것으로 판단되므로 본 지역의 지질특성을 고려한 표면 보호공이 필요하다고 판단된다.

본 지역의 지질은 층리가 연속적으로 발달한 전형적인 퇴적암 구조로서, 공사기간 또는 준공후에도 계속적으로 안정성을 확보하기 어렵다고 판단되며, 특히 시점부 터널굴착이 시작되면 암반의 이완등으로 갱구사면의 불안정성이 나타날 것으로 사료되므로 이에 대한 전반적인 보강대책이 필요하다고 판단된다. 사면 대책공법은 Concrete 옹벽공, Gabion 공법, Soil Nailing 공법 등이 검토될 수 있으며, 이중 Concrete 옹벽공이 추천된다

본 사면의 경우 지속적인 노출로 인한 풍화변질로 사면의 불안정성을 야기할 수 있으므로 이를 억제하기 위한 표면보호공(녹생토 등)을 시공하도록 해야하며, 또한 장기적인 사면의 안정성을 확보하기 위하여 Rock Bolt+Shotcrete 대책공이 전체적으로 검토되어야 할 것으로 판단된다. 현재 사면의 안정성은 확보되었다고 할 수 없는 상태이므로 적절한 보강공이 시공되기 전에는 지속적인 관찰을 주의깊게 실시하여 암반의 이완 및 거동상태를 Check 하도록 한다.

4.2 암반사면 시공사례 II

4.2.1 지질개요

본 지역은 중생대 백악기 말 퇴적암으로 구성된 대구층과 후기에 관입한 화강암, 퇴적암의 열수변질작용에 의한 변성대 및 이를 기반암으로 신생대4기 지층으로 구성되어 있다

본 조사구간은 사암을 기반암으로 셰일, 이암, 석회암 등 퇴적암류(그림 19)가 주를 이루고 있고, 풍화상태에 따라 역학적 특성을 달리하는 암층과 토층으로 점이적인 경 계를 이루고 있다. 암반의 장기노출에 따라 절리와 퇴적암의 구조적 특성인 층리와 같은 불연속면이 발달되어 있고, 부분적으로 화성암맥이 관입되어 있다

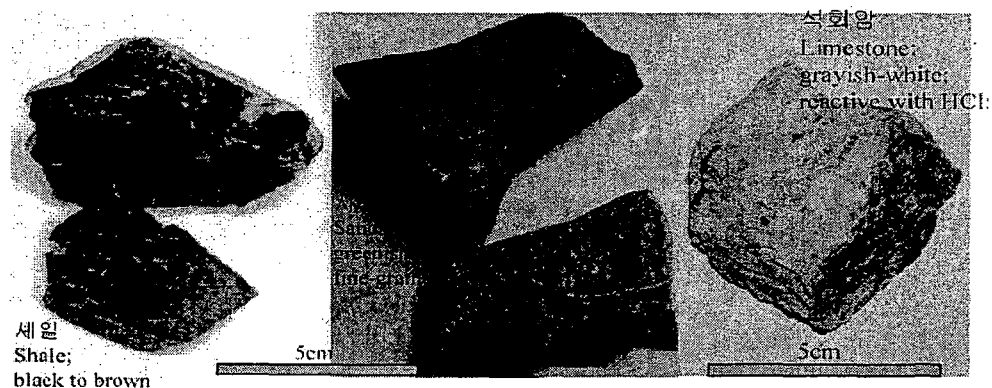


그림 19. 중생대 백악기 퇴적암류(경산지역)

4.2.2 현장전경

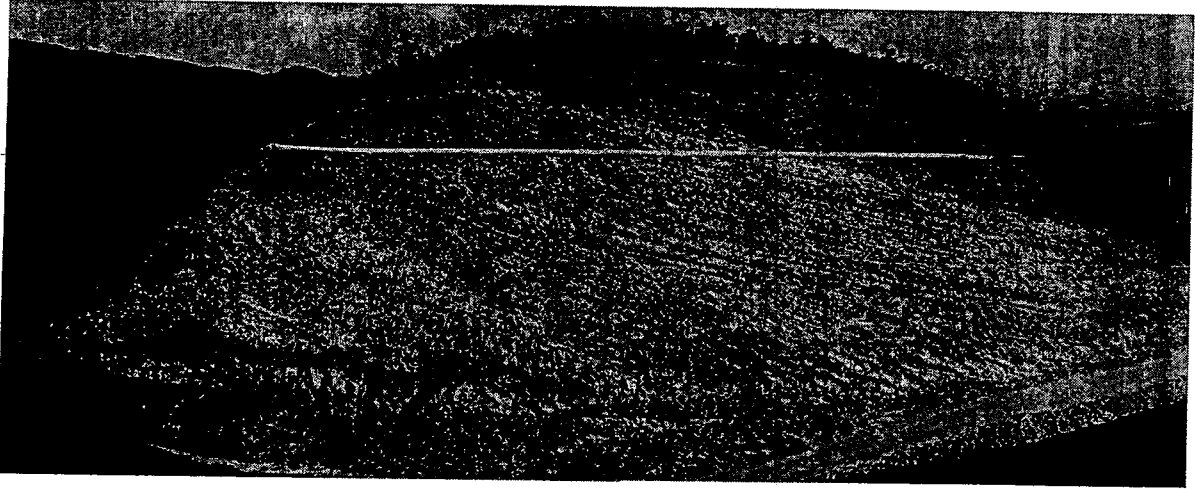


그림 20. STA. 6+500-6+600(대구방향)

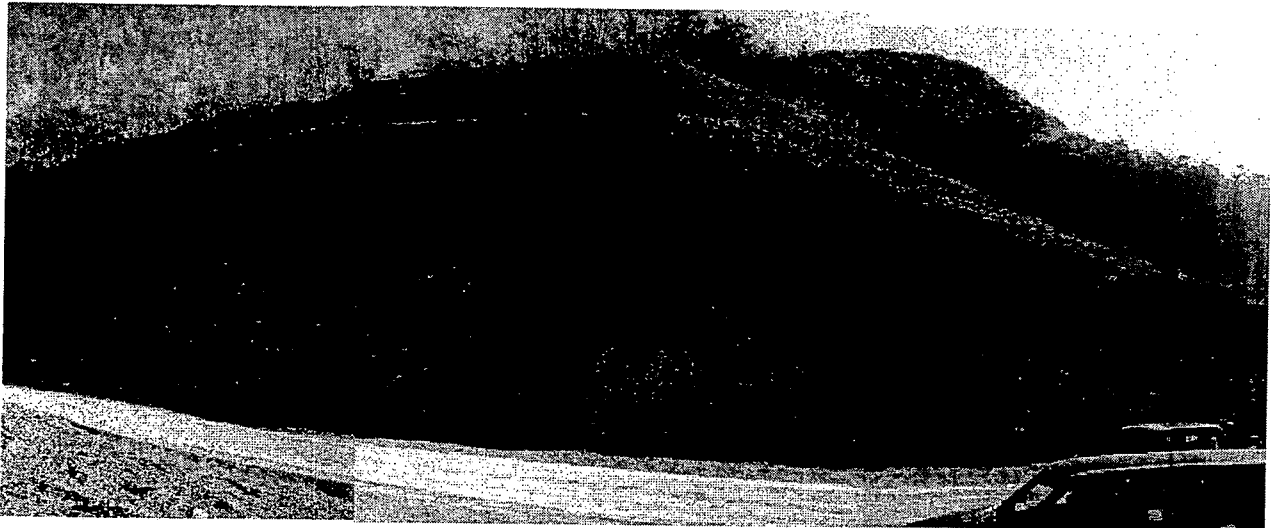


그림 21. STA. 6+500-6+600(포항방향)

4.2.3 안정성 검토

(1) 기본방향

본 검토는 STA.6+500~6+600(포항방향)의 암반사면중 대표단면(구간 I (STA. 6+520~6+540), 구간 II (STA. 6+560~6+580))을 선정하여 평사투영에 의해 검토하였다.

본 구간의 암반은 전체적으로 절개면(N80W/56SE)과 층리 및 절리가 다른 방향으로 절취중이고, 평사투영해석결과, 본 구간의 불연속면은 각 파괴유형의 불안정영역(Unstable area)을 모두 벗어나므로 절개면과 절리에 의해 발생할 수 있는 사면의 평면·전도파괴와 절리면과의 교선에 의해 발생 수 있는 썩기파괴의 위험성은 적은 것으로 나타났다. 따라서 현 사면의

구배(발파암(보통암)기준1:0.7)에서 소요의 안전율을 확보한 것으로 사료된다 (그림 22~25 참조)

(2) 평사투영 해석결과

■ 구간 I

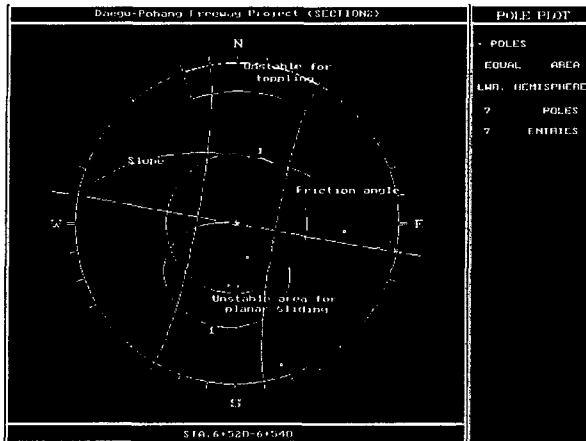


그림 22. STA. 6+520~6+540 평사투영
(평면·전도파괴 검토)

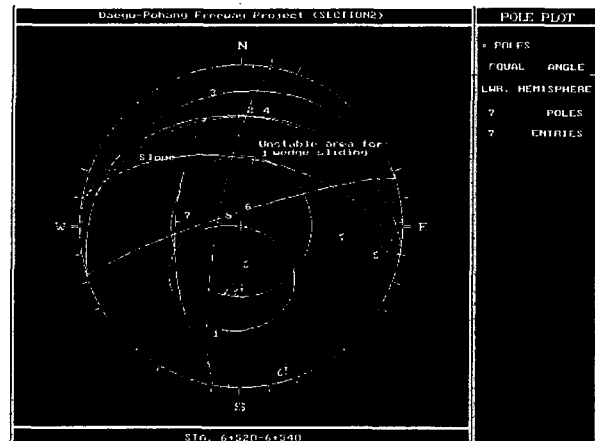


그림 23. STA. 6+520~6+540 평사투영
(썩기파괴 검토)

■ 구간 II

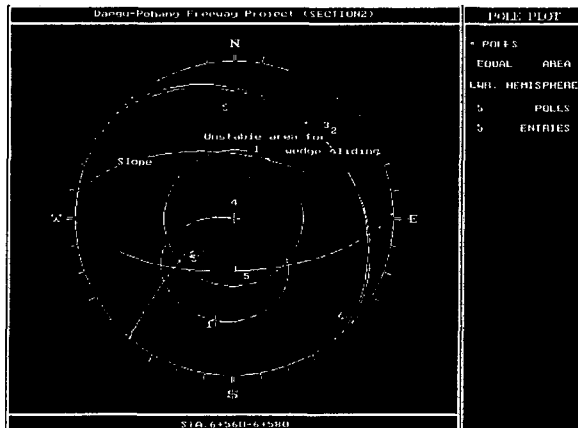


그림 24. STA. 6+560~6+580 평사투영
(썩기파괴 검토)

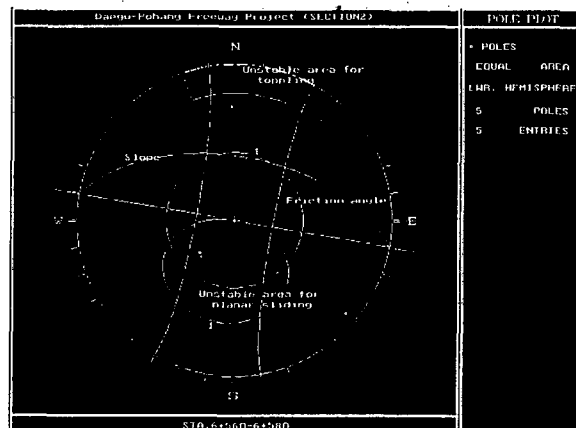


그림 25. STA. 6+560~6+580 평사투영
(평면·전도파괴 검토)

4.2.4 사면안정 확보방안

상기 기술한 대로 본 검토구간은 퇴적암의 특징적인 층리구조를 보이는 암반사면으로서 절개면과 층리면등의 불연속면의 방향성 검토결과 소요의 안정성을 확보한 것으로 파악되나, 암반의 장기적 노출로 인한 풍화가 진행중이고 사면시공시 일부 뜬돌이 생성되어 있으므로 낙석방지망 등의 안정화 방안이 필요하다.

5. 결 언

최근 함탄층, 이암층, 석회암층과 같은 특수지질불량구간에서의 터널공사가 증가하고 있으며, 특히 신생대 제3기 미고결 퇴적암층인 포항지역의 이암층의 경우 풍화에 매우 민감하고, 수분함유시 팽창하는 특성을 가지고 있어 터널시공시 많은 문제점이 예상되었다.

그러나 다산터널의 경우, 이암층에 대한 공학적 특성을 파악하고 적절한 암반평가에 의해 지질조건에 적합한 지보공 및 보강공을 시공함으로써 안전하고 합리적인 터널시공을 달성하고 있으며, 특별한 사고나 문제점 없이 공사가 잘 진행되고 있으며 조만간 터널관통을 앞두고 있다. 또한 이암층과 같은 열악한 조건하에서 터널시공중 많은 문제점의 해결과정을 통해서 터널기술을 축적할 수 있었으며, 자연과 하나되는 터널, 환경친화적인 도로건설을 위해 노력하고 있다.

암반사면의 경우 굴착초기에는 양호한 암반으로 설계 사면구배에도 안정한 상태를 유지하고 있으나, 대기중에 오랫동안 노출됨에 따라 이암, 셰일 등과 같은 퇴적암은 급격히 풍화변질이 진행되어 암반의 내구성이 저하되어 불안정성이 증가하게 된다. 특히 사면의 주향과 층리면이 주향이 일치하는 경우에는 암반사면의 붕괴를 유발하여 공사의 위험도 증가와 추가적인 공사비가 소요되는 경우가 많다.

따라서 본 지역과 같은 경우 굴착후 적절한 보호공을 실시하여 암반면의 풍화변질을 최소화시키면서 지질 및 암반조건을 분석하여 보강공을 추가적으로 실시하도록 하는 방안이 필요하다고 판단된다.

참고문헌

1. 강한욱, 박현준, 정한중, 김영근(2001), 이암의 공학적 특성과 이암층에서의 터널시공사례, 한국터널공학회지 터널기술, Vol.3 No.4 99~113
2. 포항지역 이암의 Creep 특성에 관한 연구보고서(1994), 서울대학교 에너지·자원 신기술연구소
3. 이승재, 노상림, 윤지선(2001), 포항지역 Mudstone 및 대구지역 Black shale의 물리·역학적 특성에 관한 연구, 한국암반공학지 터널과 지하공간
4. 대구-포항 고속도로공사 지반조사보고서
5. 대구-포항 고속도로공사 터널설계보고서