

# 시추공 화상처리장치에 의한 사면의 안정성 평가 (Evaluation for Slope Stability Using Borehole Image Processing System)

유병옥<sup>1)</sup>, Byung-Ok You, 황영철<sup>2)</sup>, Young-Cheol Hwang, 김성환<sup>3)</sup>, Sung-Hwan Kim, 조성로<sup>4)</sup>, Sung-Ro Cho

## 요약(Abstract)

Boring and geological survey are used for rock slope design in general. These investigation methods can not consider discontinuities of rock mass which is a major factor in slope stability. Due to these poor methods, many rock slopes have been failed during construction or after construction. Therefore, Borehole Image Processing system was applied to obtain information of discontinuity. As the results of BIPs, we conducted to check slope stability and decided slope angles considering of direction of discontinuities.

## 1. 서론

현재 절취사면을 설계하는데 있어 사면경사를 설정하기 위해 조사하는 방법으로는 시추지질조사 및 지표지질조사 등을 실시하고 있으며 경우에 따라 중요도가 있는 사면에 대해서는 지구물리탐사 등을 병행하여 실시하고 있다. 그리고 시추지질조사 자료를 이용하여 암반의 RQD 나 TCR을 판단하여 리핑암과 발파암으로 구분하고 있으며 이에 따라 사면경사각도를 설정한다.

사면안정성 평가를 위해서는 사면주변의 노두에서의 지표지질조사를 실시하여 절리면의 방향에 대한 정보를 획득한다. 그러나 이러한 조사방법은 도로확장공사인 경우에는 노출된 사면에서 조사가 이루어 질 수 있으나 신설되는 도로인 경우에는 매우 지역적인 제약을 받게 되어 조사의 신뢰성이 떨어지게 된다. 그러나 절토사면의 경사를 설정에 있어서 중요한 사항은 사면내에 발달하는 불연속면의 방향을 판단하는 것이 매우 중요한 일로써 이에 따라 사면의 안정여부가 결정되어 진다.

그러므로 본 연구는 시추공 카메라 장치를 이용하여 설계당시부터 불연속면의 방향을 고려

- 1) 한국도로공사 도로연구소 책임연구원, Chief Researcher, Highway Research Center, K Highway Corporation.
- 2) 한국도로공사 도로연구소 책임연구원, Chief Researcher, Highway Research Center, K Highway Corporation.
- 3) 한국도로공사 도로연구소 수석연구원, Research Director, Highway Research Center, K Highway Corporation.
- 4) 한국도로공사 도로연구소 연구원, Researcher, Highway Research Center, Korea High Corporation.

하여 사면설계에 적용방법을 검토하고자 한다.

## 2. 절토사면 설계시 조사방법의 문제점

복잡한 지반에 대한 조사는 지형, 토질 및 지질조사, 대상사면의 공학적인 특성, 지반의 물성과약, 지하수상황, 식생상태 및 단층파쇄대 존재여부, 산사태 발생여부, 과거 붕괴가 많이 일어난 지역 또는 약한 암질로 이루어진 지역인지의 여부를 파악하는 것이 매우 중요하므로 이에 대한 자세한 현장조사가 이루어져야 한다. 그러나 설계시에는 조사의 한계성으로 인해 절리방향에 대한 정확한 조사가 어려운 실정이다.

시추조사는 암반을 조사하는 가장 일반적인 방법으로 암반의 지층구성상태 및 지반 공학적 특성을 파악하여 가장 합리적인 안정대책을 강구하는데 필요한 기초자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

시추조사에 의한 결과를 이용하여 RQD와 TCR을 이용하여 토사, 리핑암, 발파암의 구분은 시공성을 충분히 검토한 후, 토사와 리핑암은 표준관입시험(N치) 50타/15cm를 기준으로 구분한다. 리핑암과 발파암은 암반의 굴착특성을 결정하는 불연속면의 발달빈도(TCR, RQD)를 기준으로 표 2.1에 따라 구분한다.

표 2.1 불연속면의 발달빈도에 따른 리핑암과 발파암의 분류.

구 분	리 핑 암		발 파 암	
	약한 암석인 풍화암, 연암, 보통암 중에서		강한 암석인 보통암, 경암, 극경암 중에서	
불연속면의 발달빈도	BX 크기	T.C.R=5% 이하이고 R.Q.D=0% 정도	BX 크기	T.C.R=5~10% 이상이고 R.Q.D=0~5%
	NX 크기	T.C.R=25% 이하이고 R.Q.D=0% 정도	NX 크기	T.C.R=25% 이상이고 R.Q.D=10% 정도
약한 강도	풍화암		경암	
설계경사	1:1~1:1.2		1:0.5~1:0.8	

현행 사용되고 있는 설계단계 및 굴착이전에 평가방법은 굴착된 곳이 없는 지역, 즉 신설구간인 경우 시추조사 및 지표지질조사로 인접지의 노두(Outcrop)에서 절리면의 방향 및 경사, 기타 공학적인 특성 판단하고 있다. 그러나 이들 정보는 절리방향 및 획득할 수 있는 자료의 한계성을 가지고 있어 현행 조사방법에 있어 안정성 평가, 시공 및 굴착 후에 매우 많은 오차를 포함하고 있어 굴착 후 사면이 붕괴되는 사례가 많다. 즉, 현재의 시추조사는 굴착난이도를 평가할 수 있는 방법이 주를 이루고 있다.

## 3. 시추공벽 화상처리 시스템

토목 지질조사에 한하는 시추공 카메라를 이용한 기기의 주요한 용도·목적으로서는 암반의 지질조사, 콘크리트 구조물의 보수·열화조사, 지반개량 효과의 확인이 있다. 특히, 암반의 지

질조사에서 구체적인 목적은 공내의 원위치에서의 지층이나 암질 확인, 불연속면의 위치, 형상, 주향·경사, 틈새폭, 충전물질의 판정, 활동면의 위치, 주향·경사의 판정, 공벽의 팽창, 붕괴 상황의 관찰, 벌어진 균열에서의 용수 상황 파악 등이다.

### 3.1 원리·장치

기본적인 시추공벽 화상처리 시스템의 측정·해석 원리는 각 기종에 따라 유사하다. 그러나 사용 카메라나 촬영 방식, A/D 변환 특성, 광원특성 등은 장비에 따라 다소 차이를 보인다. 본 시스템의 시추공 카메라의 기본 구성은 그림 3.1에 표시된 바와 같다.

본 시스템은 현장 측정 시스템과 실내 해석 시스템으로 구분되며 현장 측정시스템은 그림 3.1과 같이 공내에 삽입하여 시추공벽을 360° 회전하면서 디지털izing에 의해 이미지 기록하는 Probe 및 케이블과 지상부의 Probe가 시추공내로 들어가는 Sonde 장치나 촬영 조건을 제어·조정하는 컨트롤 장치, 기록장치 및 모니터 화면, 깊이 측정할 수 있는 Indicator 등으로 되었다. 그리고 해석 시스템은 절리면 방향분석, 절리종류, 절리틈새, 스트레오네트 분석, 절리충전물질, 절리누적수 등 암반의 공학적인 분류에 필요한 기본적인 자료를 제공할 수 있다.

기록된 데이터는 그림 3.2의 절차에 의해 지질분석을 수행하여 절리면의 방향을 측정한다.

### 3.2 장치구성

본 장치의 구성에 대해서는 그림 3.3에 정리하여 표시한다.

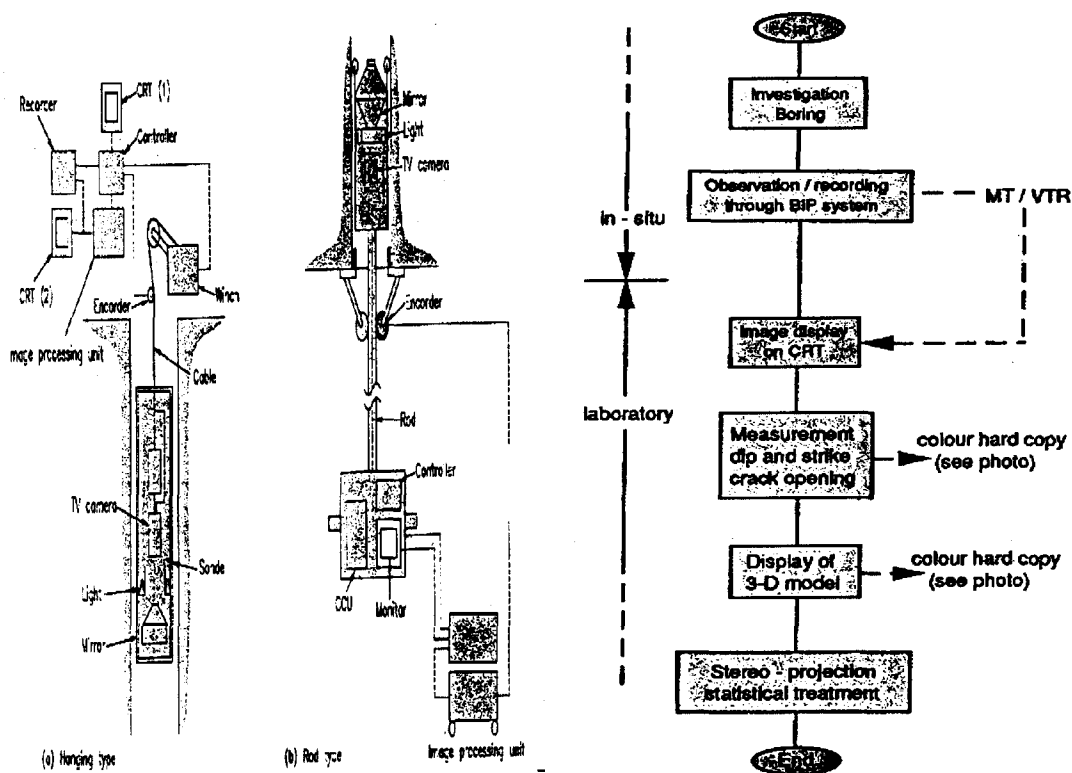


그림 3.1 현장에서 시추공 화상처리 기법을 이용한 조사

그림 3.2 시추공화상처리기법 지질학적 분석절차.

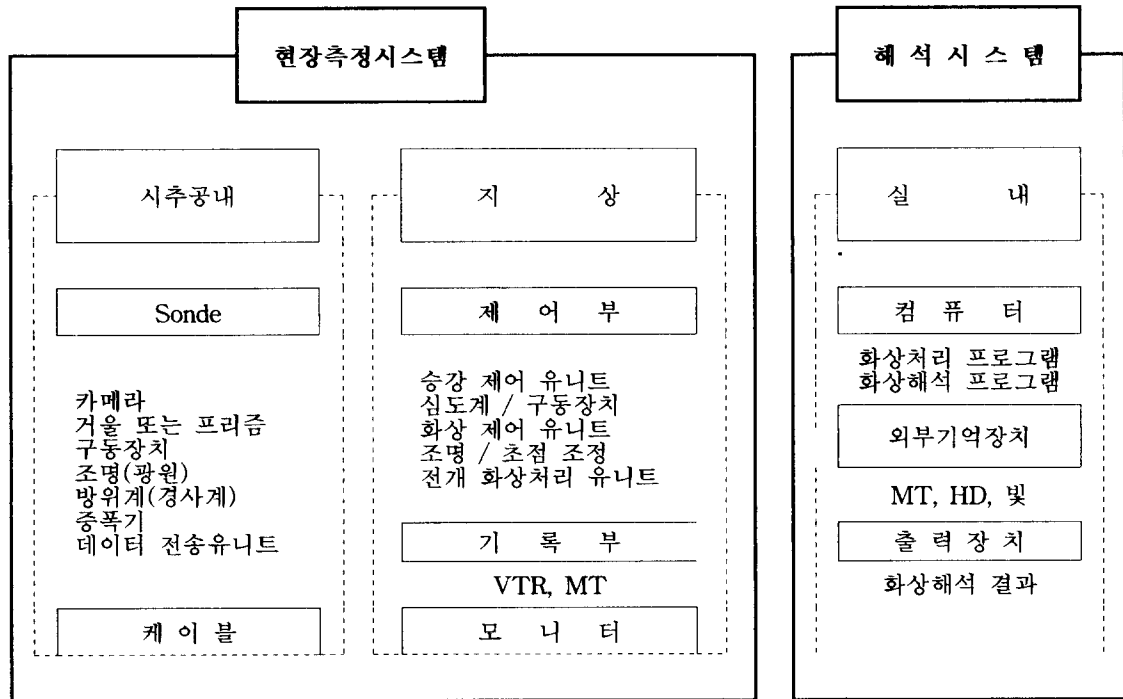


그림 3.3 시추공벽 화상처리 시스템의 기본 구성.

#### 4. 현장 적용 사례

본 논문은 기존 시추지질조사 방법에 대해 시추공벽 화상처리시스템(BIPS)을 도입하여 시추공내에 발달하는 불연속면의 방향 및 충전물질 등을 측정하여 사면안정검토를 하고자 한다.

##### 4.1 대상사면 선정

본 연구대상 사면은 설계가 완료된 후 사면굴착 작업이 되지 않은 대구-포항간의 고속도로 지역중의 2개소를 선정하여 시추공벽 화상처리 시스템을 적용하고자 한다. 대상사면은 그림 4.1의 터널 입구부 사면과 그림 4.2의 절토부 사면으로 사면연장 및 길이는 표 4.1과 같다.

표 4.1 대상사면의 일반현황.

구분	사면방향	설계경사	높이	연장	비고	
A	NS	45E	32m	60m	터널입구	
B	상행측(대구측)	N45W	52SW	45m	200m	절토사면
	하행측(포항측)	N45W	52NE	38m	200m	절토사면

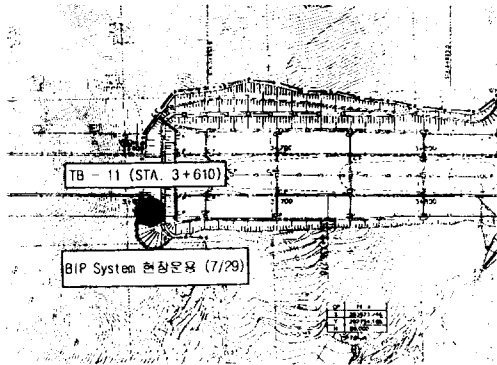


그림 4.1 A 사면구간의 평면도  
(터널 입구사면)

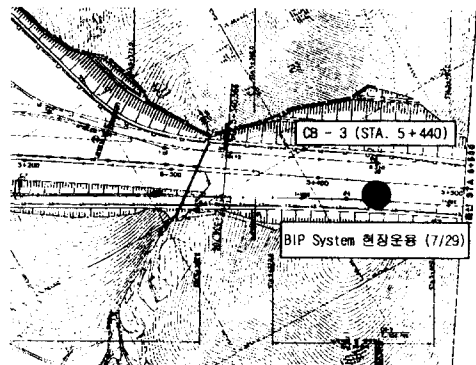


그림 4.2 B 사면구간의 평면도  
(터널 입구사면)

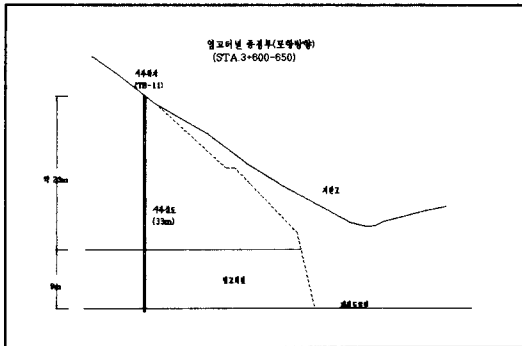


그림 4.3 A 사면구간의 시추위치도.

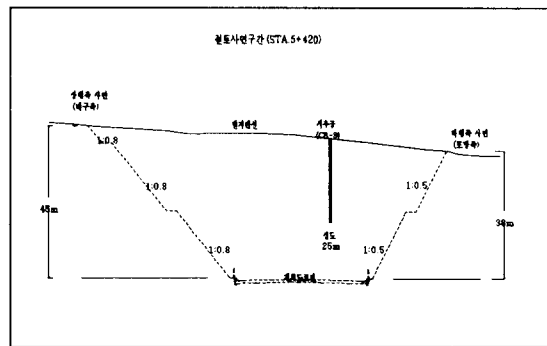


그림 4.4 B 사면구간의 시추위치도.

## 4.2 대상사면의 조사현황

### 4.2.1 지질 및 암상

#### (1) 지질

본 지역의 지질을 관찰하면 백악기를 통하여 형성된 퇴적암류, 화산암류 그리고 화강암류로 구분된다.

본 지역에서 퇴적암은 암회색, 암흑색, 녹외색 및 적색의 세일 및 사질세일, 회색의 세립사암과 이암 그리고 화성암 접촉부에서 변성작용을 받고 호른펠스화된 세일로 구분되는데 주구성암은 세일 및 사질세일과 호른펠스화된 세일이다(그림 4.5).

#### (2) 암상

본 지역의 암상은 흑색 또는 암회색 세일로 이루어진 퇴적암 지역으로 비교적 층리구조가 우세하게 발달하나 상부 층의 균열이 심한 구간을 제외하고는 매우 조밀한 암조적을 보이고 있다.

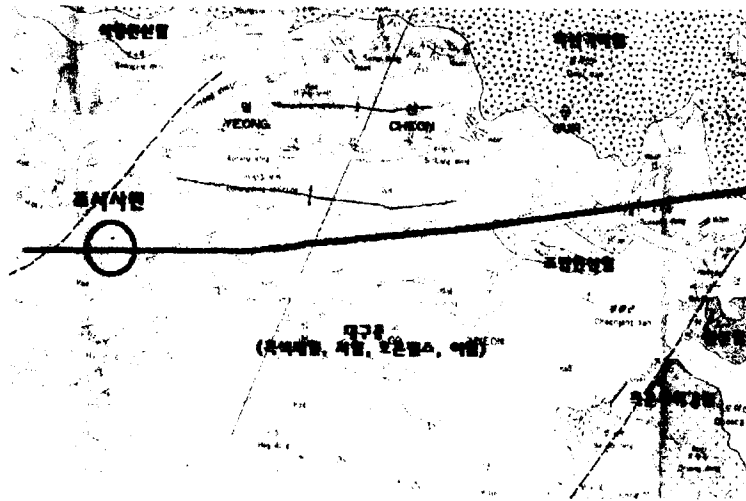


그림 4.5 조사사면의 지질도.

#### 4.2.2 BIP System에 의한 불연속면 조사

조사사면은 시추조사가 실시되어 있으므로 시추공내에 시추공벽 카메라장치를 이용한 불연속면의 방향, 충전물질, 틈새측정 및 암질상태 등을 파악하고자 한다.

##### (1) A 사면

###### 가. 시추조사

먼저 시추 조사결과에 의하면, A 사면의 암질 상태는 0~11.2m 까지의 심도에서 파쇄가 매우 심한 상태로 RQD가 매우 저조한 상태를 보인다. 그리고 11.2~12.5m 까지는 층리면이 우세하고 부분적으로 산화작용을 받은 균열이 상당수 존재하고 12.5m 이하의 심도에서는 층리구조가 보이나 비교적 치밀하게 붙어 있는 상태로 존재한다.

표 4.2와 같이 시추조사결과에 의하면, 0~3.5m 심도까지는 토층으로 존재하고 3.5~3.9m 정도에서는 작은 암석으로 형성된 둥근 암편상의 코아 형상을 보인다. 그리고 그 이하의 심도에서는 원주상의 코아형상을 가진 비교적 코아회수율(TCR)이 좋은 상태이나 구간에 따라 RQD는 저조한 상태로 나타난다. 시추조사에서는 층리면 사이에 존재하는 점토층이 물에 의해 씻겨 없어지게 되어 실제 점토층의 존재여부를 파악할 수 없다.

###### 나. BIPS 조사

BIPS 조사 결과에 의하면, 주지질 구조는 층리면으로 방향은 그림 4.7과 같이 030~050/10~20(N40~60W/10~20NE)가 우세하며 부지질구조인 절리는 방향이 230~240/50~60(N40~50W/50~60SW)이다.

이들 중 Open된 층리구조는 그림 4.8과 같이 상부 18m 정도에서 우세하게 존재하며 18m 하부에서는 Opening되지 않은 상태의 층리가 존재한다. Opening 정도는 구간에 따라 다소 다른 상태를 보이나 상부 11.2m까지는 평균 15mm 정도를 보인다. 이들 Opening이 발생된 절리는 절리틈 사이에 점토 또는 점토화될 가능성이 있는 층으로 존재한다.

표 4.2 A 사면의 심도에 따른 암질상태(시추조사결과).

심도	절리상태	풍화상태	코아형상	비고
0~3.5m	-	토층(CW)	-	
3.5~3.9m	암편 및 토층이 혼합된 상태	HW (TCR=50, RQD=0)	작은 암석으로 둥근 암편상	
3.9~8.0m	파쇄가 심한 상태로 층리 및 절리면을 따라 풍화를 받아 있음	MW (시추코아 TCR>90, RQD=0)	원주상 작은 암편화	파쇄심함
8.0~11.2m	Opening이 발생된 절리가 많으며 파쇄대 형성	MW (시추코아 TCR>90, RQD=0)	실린더형의 원주상 코아	0~8.5m Casing 처리
11.2~33.2m	비교적 치밀하나 부분적으로 점토층이 충전된 층리면 존재	SW (시추코아 TCR>95, RQD>50)	실린더형의 원주상 코아 원주상	

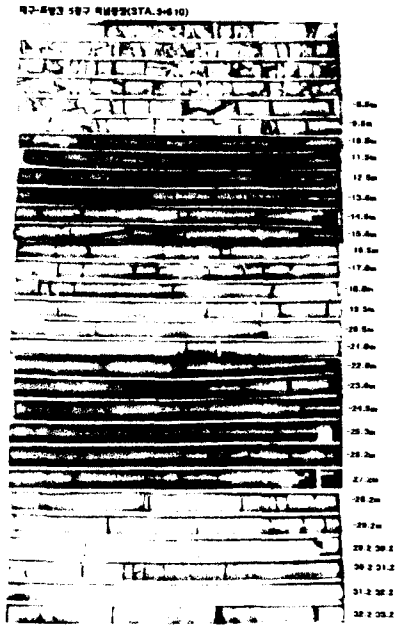
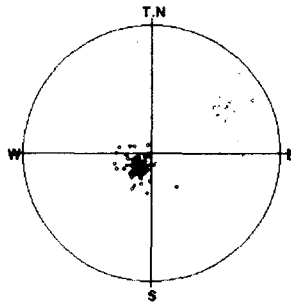


그림 4.6 A 사면의 시추조사 결과 코아사진.

Title : DG-6B.STR  
Comment :  
Depth : 8.756 - 32.178m  
Aperture : 0.0 - 83.0mm  
Sert : 5/5 Form : 8/8  
Condition : 5/5 Remark : 9/9  
Projection : Schmidt (L.H)  
Number of Data : 156/156

<Legend>  
○ 57mm-wr - 95  
○ 57mm-wr - 43  
○ 57mm-wr - 16  
○ 57mm-wr - 1  
○ 57mm-wr - 1



Title : DG-6B.STR  
Comment :  
Depth : 8.756 - 32.178m  
Aperture : 0.0 - 83.0mm  
Sert : 5/5 Form : 8/8  
Condition : 5/5 Remark : 9/9  
Projection : Schmidt (L.H)  
Number of Data : 156

<Legend> Sym (%)  
▲ 51  
● 41 51  
■ 31 41  
◆ 20 31  
● 10 20  
+ 0 10

Contour Value (%)  
Contour 1 0  
Contour 2 10  
Contour 3 20  
Contour 4 31  
Contour 5 41  
Contour 6 51

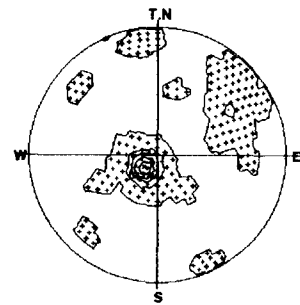


그림 4.7 A 사면의 평사투영망에 의한 불연속면 분포

Title : DG-6B.STR  
Comment :  
Depth : 8.756 - 32.178m  
Aperture : 0.0 - 83.0mm  
Sert : 5/5 Form : 8/8  
Condition : 5/5 Remark : 9/9  
Projection : Schmidt (L.H)  
Number of Data : 156

<Legend>  
— Return Aperture (mm)  
— Accum. num. of Aperture (count)  
■ All Crack Frequency  
○ Open Crack Frequency  
+ Water Level

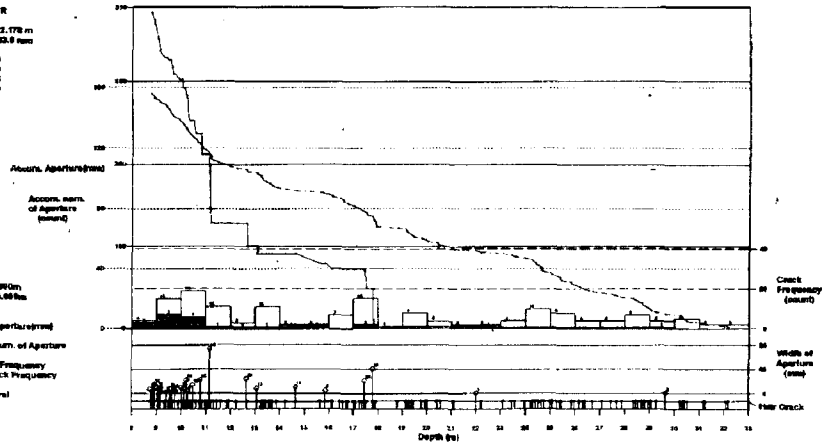


그림 4.8 A 사면의 암질상태.

특히, A 사면에서 주의 해야할 구간은 점토층이 존재하는 층리가 존재하는 구간으로 다음 표 4.3과 같다.

표 4.3 A 사면의 시추공에서 주의를 요하는 구간(점토층 존재구간).

심도	절리방향	점토층		비고
		유무	두께 (mm)	
8.5~9.3m	파쇄구간	존재가능	-	
10.7~11.2m	파쇄대구간	존재가능	150	암편+점토
12.65~12.7m	층리 N24W/12NE	존재	28	
13.1m	층리 N27W/9NE	존재	10	
14.2~14.3m	층리 N27W/17NE	존재가능	-	
15.85~15.9m	층리 N5W/16NE	존재	6	
16.15m	층리 N50W/9NE	존재	20	
17.45m	층리 N45W/19NE	존재	24	점토화될 가능성있음
17.7~17.8m	층리 N51W/12NE	존재	10	17.8m 지하수위
17.8m~	양호한 암반상태	-	-	

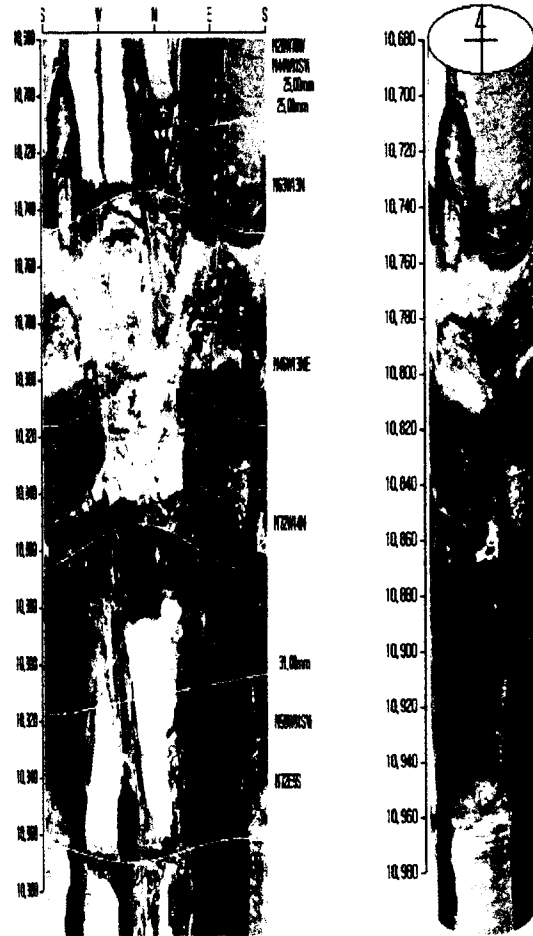


그림 4.9 A 사면의 점토층 존재구간 예 (10.75~10.8m)

## (2) B 사면

### 가. 시추조사

먼저 시추 조사결과에 의하면, B 사면의 암질 상태는 그림 4.10과 같이 0~11.5m까지 심도에서 파쇄가 매우 심한 상태로 RQD가 매우 저조한 상태로 수직절리가 우세하게 발달한다. 그리고 11.5m 이하의 심도까지는 층리면이 우세하게 발달하나 비교적 치밀하고 풍화작용을 받지 않은 상태로 존재한다.

표 4.4와 같이 시추조사결과에 의하면, 0~3.0m 심도까지는 토층으로 존재하고 3.0~3.6m 정도에서는 작은 암석으로 형성된 둥근 암편상의 코아 형상을 보인다. 그리고 그 이하의 심도에서는 원주상의 코아형상을 가진 비교적 코아회수율(TCR)이 좋은 상태이나 구간에 따라 RQD



는 저조한 상태로 나타난다. 시추조사에서는 층리면 사이에 존재하는 점토층이 물에 의해 씻겨 없어지게 되어 실제 점토층의 존재여부를 파악할 수 없다.

특히, 10.5m 심도에서는 약 30cm 정도로 파쇄가 심한 층이 존재하므로 이 구간에 대한 주의를 요한다.

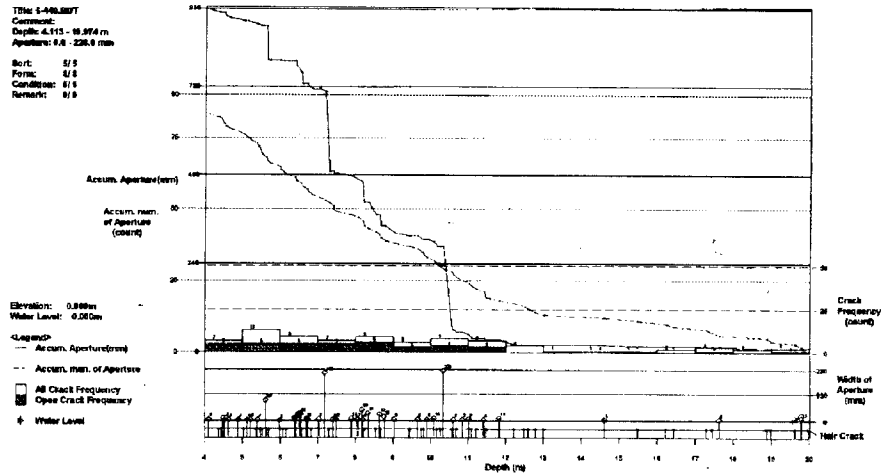


그림 4.12 B 사면의 암질상태.

특히, B 사면에서 주의 해야할 구간은 점토층이 존재하는 층리가 존재하는 구간으로 다음 표 4.5와 같다.

표 4.5 B 사면의 시추공에서 주의를 요하는 구간(점토층 존재구간)

심도	절리방향	점토층		비고
		유무	두께 (mm)	
0~4m	-	-	-	Casing 설치
5.1~5.2m	층리N54W/13SW	존재가능	3~5	점토
5.5m	층리N76W/6SW	존재	5	
5.7m	층리N74W/14SW	존재가능	92	점토화될 가능성
6.4m	층리N79W/11SW	존재	14	
6.6m	층리N79W/10SW	존재	31	
7.2~7.45m	층리	존재가능	215	점토화될 가능성
8.1~8.2m	층리N76W/17SW	존재	50	
8.7m	층리N88W/10SW	존재	28	
10.2~11.2m	파쇄대구간	존재	10	
10.2~10.6m	층리N69E/16SE	존재	226	
11.1m	층리N51E/48SE	존재	61	
11.7m 이하	암질양호한상태	-	-	20.3m 이하수위

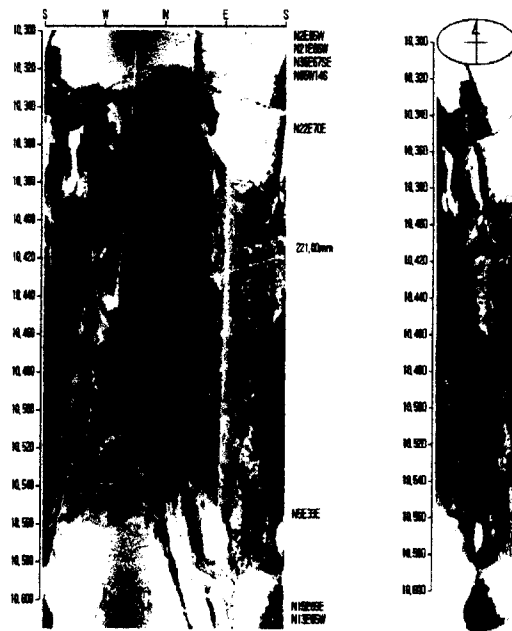


그림 4.13 파쇄대 및 점토층 존재 구간의 예 (10.3~10.6m)

### 4.2.3 지하수상태

본 사면에서의 지하수는 층리면이 주요 지하수의 유출통로가 되고 있으며 이 층리면 사이가 벌어져 있거나 점토층을 따라 흐르는 것으로 관찰 할 수 있다.

지하수위는 A 사면의 경우 17.8m, B 사면의 경우 20.3m에 위치하는 것으로 나타났으나 일반적으로 건기와 강우시에 따라 큰 차이를 보이므로 사면안정 해석시 적절한 지하수위를 가정하여야 할 것으로 판단된다.

## 4.3 사면안정 해석

### 4.3.1 충전물질이 있는 경우의 층리면 전단강도 추정

사면붕괴는 불연속면을 따라 발생되므로 사면안정해석에 필요한 전단강도는 불연속면에서의 전단강도를 추정하여야 한다. 그러나 불연속면에 충전물질이 충전된 경우는 충전물질의 공학적인 특성에 따라 좌우되므로 이에 대한 전단강도 평가가 요구된다.

본 연구에서는 층면의 전단강도로 마찰각을  $10 \sim 15^\circ$  범위에서 추정하고자 한다.

### 4.3.2 평사투영법에 의한 사면안정해석

#### (1) A 사면

BIPS에 의해 조사된 절리방향에 대해 DIPS 프로그램을 이용하여 평사투영 해석을 실시하여 보면, 사면방향 NS/64E에 대해 분포하는 절리면에 대해 사면파괴형태는 그림 4.14와 같이 평면파괴가 가능한 것으로 나타났다.

평면파괴는 N5~50W/10~20NE 방향으로 분포하는 층리중 점토층이 충전된 층리면에 의해 발생될 수 있으며 붕괴유형은 표 4.6과 같다.

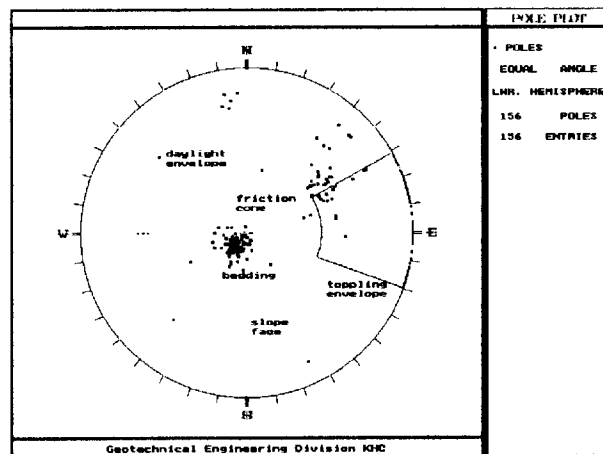
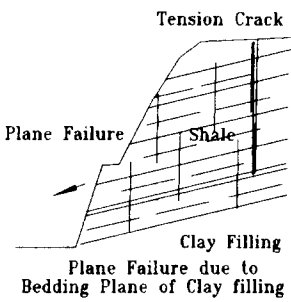


그림 4.14 A 사면의 평사투영법에 의한 사면안정 해석결과

표 4.6 조사사면의 붕괴유형.

붕괴유형	특 징 그 림	지 질 특 징
평면파괴 (미고결 점토층)		<p>사면방향으로 경사진 층리면에 미고결 점토가 충전된 평면형 파괴가 발생하는 유형으로 세일내에 충전된 예들이 많았다. 수직절리는 인장균열의 역할을 하게 된다.</p>

본 사면에서 발달하고 점토가 충전된 층리면은 경사가 10~20° 정도의 범위에 있으나 퇴적 압층의 붕괴특성을 고려해 볼 때, 강우시 점토층이 포화된 상태에서는 마찰각의 저하로 인해 평면파괴의 가능성을 가지고 있다.

그러나 이러한 평면파괴는 표 4.4에서 보는 바와 같이 시추위치 17.8m 하부에서는 양호한 암반 조건을 보이고 있으므로 시추심도 0~약 18m 구간에서 발생할 가능성이 있으므로 이에 대한 대책방안을 수립하여야 할 것이다.

(2) B 사면

가. 상행선 사면

BIPS에 의해 조사된 절리방향에 대해 DIPS 프로그램을 이용하여 평사투영 해석을 실시하여 보면, 사면방향 N45W/52SW에 대해 분포하는 절리면에 대해 사면파괴형태는 그림 4.15와 같이 평면파괴가 가능한 것으로 나타났다.

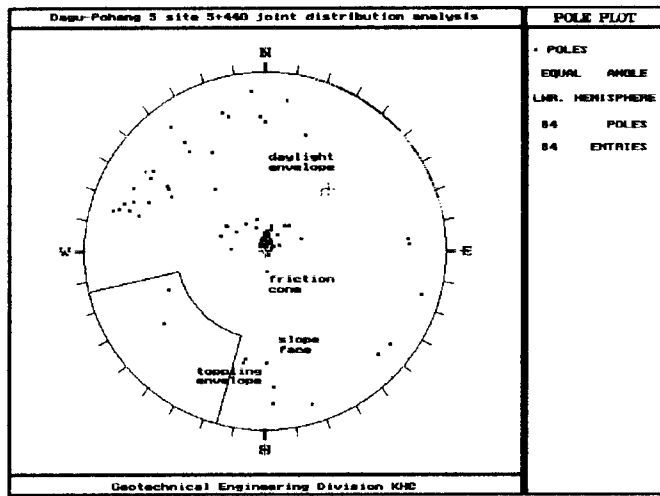


그림 4.15 B 상행선 사면의 평사투영법에 의한 사면 안정해석결과.

평면파괴는 N80W~EW/10~20NE 방향으로 분포하는 층리 중 점토층이 충전된 층리면에 의해 발생할 수 있으며 붕괴유형은 A 사면과 같다.

본 사면에서 발달하고 점토가 충전된 층리면은 경사가 10~20° 정도의 범위에 있으나 퇴적암층의 붕괴특성을 고려해 볼 때, 강우시 점토층이 포화된 상태에서는 마찰각의 저하로 인해 평면파괴의 가능성을 가지고 있다.

그러나 이러한 평면파괴는 표 4.5에서 보는 바와 같이 시추위치 11.7m 하부에서는 양호한 암반 조건을 보이므로 시추심도(시추위치 : 도로중앙부) 0m~약12m 구간에서 발생할 가능성이 있으므로 이를 고려하여 대책방안을 수립하여야 할 것이다.

#### 나. 하행선 사면

사면경사가 상행측 사면과 반대방향으로 경사져 있으므로 이에 대해 평사투영법에 의한 안정해석결과는 그림 4.16과 같이 본 사면에 대해서는 층리면에 대해서는 안정한 것으로 분석되었다.

그러므로 본 사면에서는 암질상태 등을 고려하여 붕괴가능성을 평가하여야 할 것으로 판단된다.

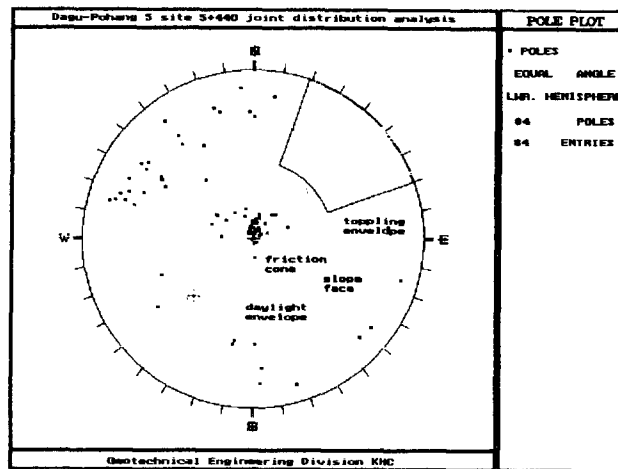


그림 4.16 B 하행측 사면의 평사투영법에 의한  
사면안정해석결과.

#### 4.4 시추코아와 시추공벽 화상처리시스템과의 비교

시추조사에서 채취된 코아 시료와 BIPS에 의해 촬영된 화상을 비교하여 보면, 시추코아는 시추공에서 촬영된 화상에서 나타나지 않는 많은 균열을 가지고 있으며 시추과정에서 절리틈새에 충전된 충전물에 대한 정보를 얻기가 곤란한 문제를 가지고 있으나 시추공벽 화상에서는 충전물질에 정보를 얻을 수 있으며 틈새크기를 알 수 있다. 그리고 시추코아시료와 BIPS에 의한 화상사이에 RQD에 많은 차이를 보일 것으로 판단된다.

## 4.5 사면 설계경사선정 및 안정대책

### 4.5.1 사면안정성 평가

위에서 분석된 결과를 이용하여 A 사면 및 B 사면에서의 붕괴가능성이 있는 구간을 단면에 표시하여 시추위치 지점에서 조사된 자료와 현재의 사면설계경사에서의 안정성을 검토하고자 한다.

#### (1) A 사면

터널 상단에서 실시된 시추공내에서 실시된 BIPS Data 분석결과, 그림 4.17과 같이 시추공 내 여러 구간에서 점토가 충전된 층리면이 발견되는 것으로 나타났다. 이 점토층은 구간에 따라 두께 차이를 보이지만 10~30mm 정도의 분포를 보이거나 일부 구간에서는 150mm 정도로 파쇄대 층과 혼재되어 나타나기도 한다. 그리고 17.8m 하부에서는 비교적 양호한 암반층으로 구성되어 안정성에 큰 문제가 없을 것으로 판단된다.

본 사면은 그림 4.24와 같이 사면방향(NS/64E)에 대해 점토가 충전된 층리면의 방향(N5~50W/10~20NE)의 분포를 보이므로 터널 갱구 굴착시 사면내에 노출되어 붕괴가능성이 있으므로 이에 대해서는 보강대책이 요구된다.

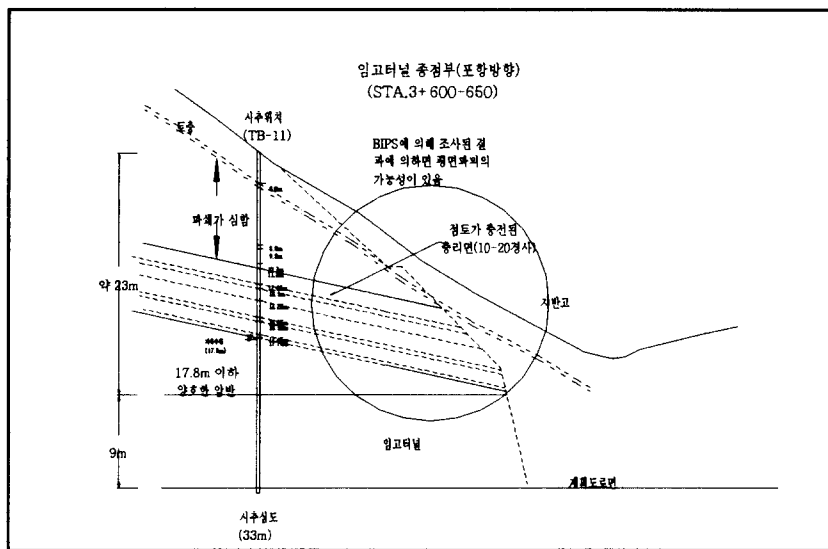


그림 4.17 BIPS 결과에 의한 A 사면의 절리발달상태.

#### (2) B 사면

도로 중앙부의 시추공 내에서 실시된 BIPS Data 분석결과, 그림 4.18과 같이 시추공내 여러 구간에서 점토가 충전된 층리면이 발견되었다.

B 사면은 사면방향(N45W/52SW)에 대해 점토가 충전된 층리면의 방향((N80E~N80W/5~

20SE)의 분포를 보인다.

본 사면의 경우는 상행측 사면과 하행측 사면으로 구성되어 층리면의 방향에 대해 상행측 사면에서는 층리면이 도로방향으로 경사져 평사투영법 해석결과, 평면파괴가 가능한 것으로 분석되었다. 층리면의 경사를 고려하여 사면방향으로 연장해 보면, 사면상부에서 붕괴가능성이 있는 것으로 보이나 시추위치와 사면위치가 상당히 떨어져 있으므로 오차성은 가질 것으로 판단된다.

하행측 사면에서는 사면안쪽 방향으로 경사져 층리면이 사면안정에는 큰 영향을 미치지 못하나 세일의 암질특성을 고려하여 사면경사를 설정하여야 하며 특히, 사면상부에서 약 10m까지의 파쇄가 매우 심한 상태이므로 이 구간에서는 불량한 암질상태를 고려하여야 한다.

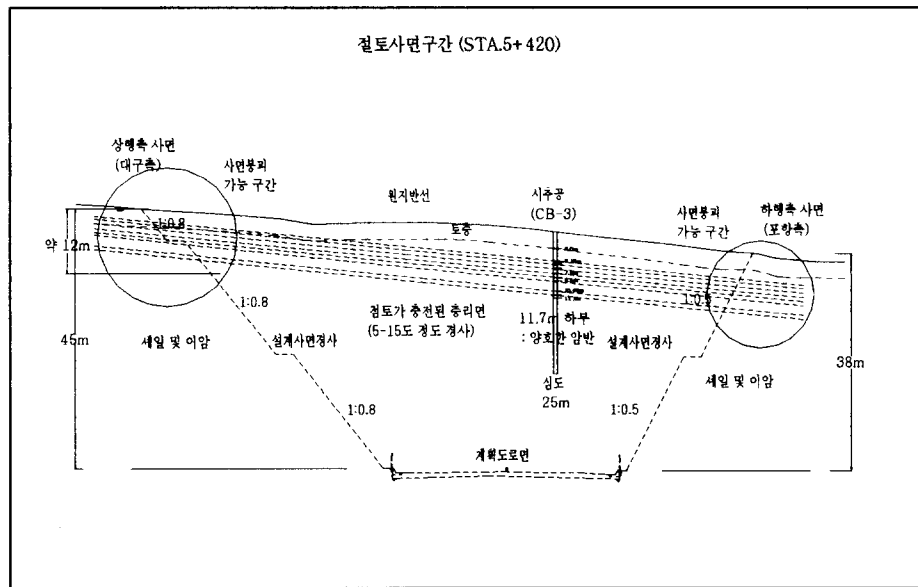


그림 4.18 BIPS 결과에 의한 B 사면의 절리발달상태.

#### 4.5.2 사면의 설계경사선정 및 안정대책

본 논문에서는 불연속면이 사면안정에 영향을 주지 않는 경우, 표 4.7 같이 기존의 발파암의 설계구배인 1:0.5 경사보다 풍화에 약한 세일의 특성을 고려하여 설계구배를 1:0.8~1:1 범위로 완화하여 적용하고자 한다. 그러나 사면안정에 영향을 주는 불연속면이 존재하는 경우, 불연속면의 전단강도특성을 고려하여 사면경사각을 선정한다.

표 4.7 본 논문에 적용된 사면경사.

구 분	기존 설계규정	적 용	적 용 사 유
토 층	1:1.2~1:1.5	1:1.2~1:1.5	암반의 풍화특성 고려
리 평 암	1:1~1:1.2	1:1~1:1.2	
발 파 암	1:0.5~1:1	1:0.8~1:1	

※ 불연속면이 사면안정에 주는 영향이 없는 경우

(1) A 사면

A 사면은 터널 입구에 위치하는 사면으로 일부 심도에 분포하는 점토가 충전된 층리면에 의해 평면파괴가 발생할 가능성이 있을 것으로 판단된다. 그러나 지형상 가파른 산지를 형성하고 있어 사면경사 완화방법은 긴 사면장 및 대절토 사면을 형성할 수 있으므로 안정대책방안으로 일반적으로 터널 입구사면에 보강하는 방안인 Rock Bolt 및 슛크리트보 보강하는 방법을 제안하고자 한다(그림 4.19).

그러나 BIPS 탐사에 의한 절리방향의 예측이 가능하므로 Rock Bolt 길이 산정에 필요한 정보를 제공해 준다.

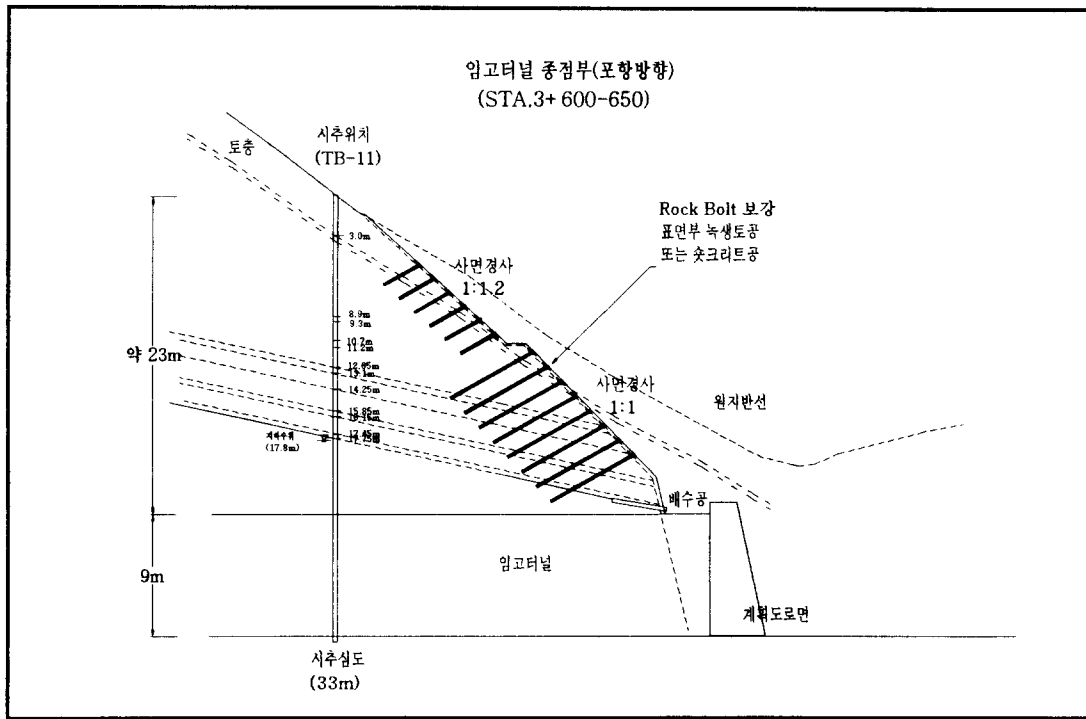


그림 4.19 A 사면에 대한 안정대책방안.

(2) B 사면

상행측 사면의 경우, 당초 설계경사에 대해 사면하부의 경사는 풍화특성을 고려하여 1:1의 사면경사로 완화하였다.

사면 상부에서 평면파괴가 발생할 가능성을 가지고 있으므로 상부에 대해서는 한계평형식을 이용하여 안전율을 계산한 결과 그림 4.20과 같은 결과를 얻었다. 그래서 상행측 사면의 경우, 사면 상부(0m~약 15m 구간)에 대해서는 지하수위 1/2 정도를 고려하였을 때 안전율 1.2~1.3이 확보 될 수 있는 사면경사인 1:2(26°)로 사면경사를 완화하고자 한다(그림 4.21).

하행측 사면의 경우, 당초 설계경사에 대해 사면하부의 경사는 풍화특성을 고려하여 1:0.8의 사면경사로 완화하였고 상부에서는 위에서 제시된 바와 같은 사면경사로 완화하였다(그림 4.21).

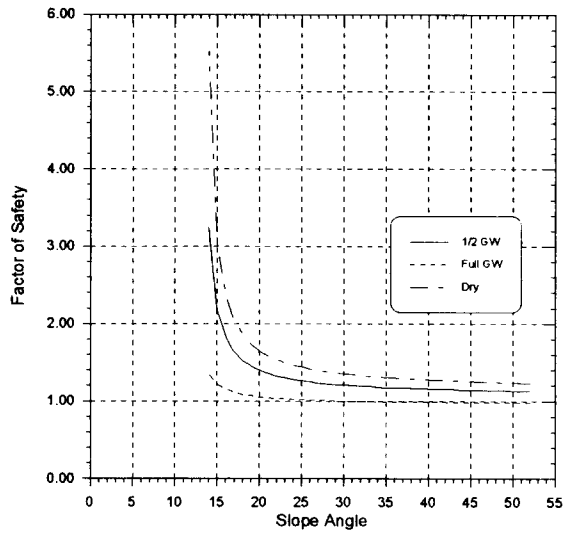


그림 4.20 B 상행측 사면의 사면경사완화에 따른 안전율 계산결과.

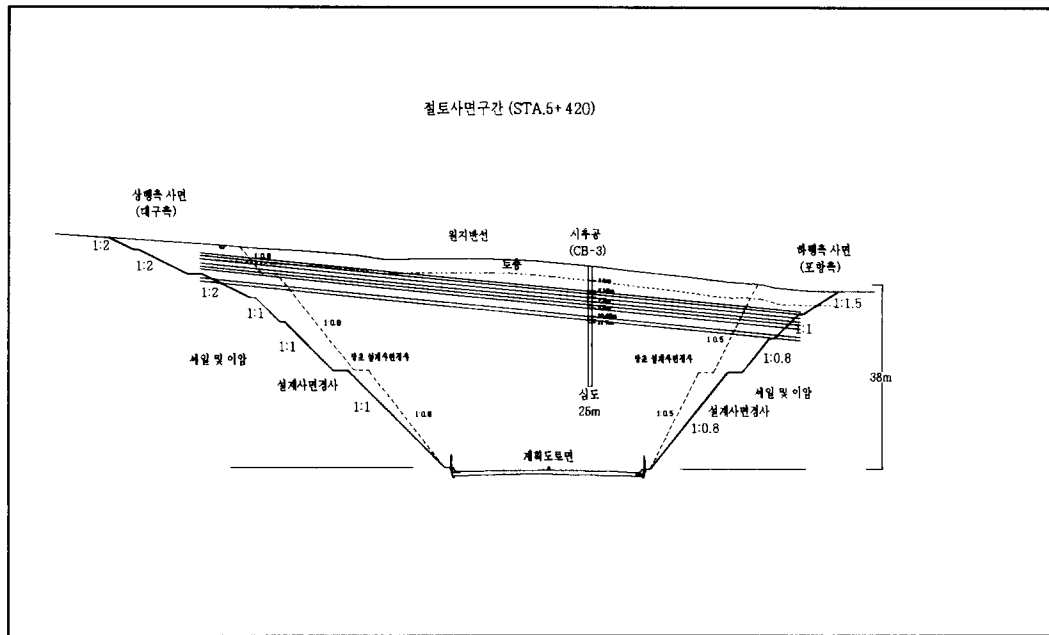


그림 4.21 B 사면에 대한 안정대책방안.

## 5. 결론

본 연구는 고속도로 신설구간의 사면설계에 있어 기존에 실시되는 시추조사 이외에 시추공벽 화상처리 시스템을 이용하여 불연속면에 대한 정보를 수집하여 사면안정해석을 실시한 결과는



다음과 같다.

1) 국내 절토사면의 설계 및 시공은 암석종류, 지질구조 그리고 공학적 성질과 무관하게 암석강도와 굴착난이도에 따라서 설계경사를 설정하여 시공되어 왔으며 불연속면 및 암반의 제반 특성을 무시한 설계로 인해 시공시 사면붕괴가 되는 사례가 많았다.

2) 본 논문은 시추공에서 불연속면의 방향을 측정할 수 있는 최신 조사장비인 시추공벽 화상처리 시스템(BIPS)을 도입하여 신설구간 두개 사면의 시추공에서 불연속면의 방향을 측정하여 사면안정성 평가를 실시하여 적용성을 평가하였다.

3) 시추조사에서 채취된 코아 시료와 BIPS에 의해 촬영된 화상을 비교한 결과에 의하면, 시추코아는 시추공에서 촬영된 화상에서 나타나지 않는 많은 균열을 가지고 있으며 시추과정에서 절리틈새에 충전된 충전물에 대한 정보를 얻기가 곤란한 문제를 가지고 있으나 시추공벽 화상에서는 충전물질에 정보를 얻을 수 있으며 틈새크기를 알 수 있다. 그리고 시추 코아시료와 BIPS에 의한 화상사이에 RQD에 많은 차이를 보인다.

4) 연구대상으로 선정된 두 개의 사면중 A 사면(터널 입구부)은 17.8m까지 층리면에 점토층이 충전된 구간 및 파쇄대를 발견할 수 있었으며 B 사면의 경우 11.7m까지 점토층이 충전된 층리면 및 파쇄구간을 찾을 수 있었다.

5) 사면안정 해석결과, A 사면에서는 점토가 충전된 층리면에 의해 평면파괴가 발생할 가능성이 있을 것으로 분석되었고 B 사면의 경우, 상행측 사면은 평면파괴가 발생할 가능성이 있으며 하행측 사면은 층리면에 대해서는 안정한 것으로 분석되었다.

6) 연구 대상사면에 대한 안정대책 방안으로 A 사면은 지형이 급하고 터널입구에 위치하므로 Rock Bolt 및 슛크리트를 이용하여 사면을 보강하는 방안을 제안하였으며 B 사면은 암질 및 불연속면을 고려하여 사면경사를 완화하는 방안을 제안하였다.

7) 본 시스템을 이용하여 시추단계에서 사면내에 발달하는 불연속면에 대한 정보를 얻으므로 사면안정성을 평가할 수 있으며 현장에서 신속하고 정확한 데이터를 다량 획득하여 데이터의 신뢰성을 높여 수치해석 및 안정성 평가의 정확도를 증가 할 수 있을 것으로 판단된다.

8) 본 시스템을 이용하는 방법이 기존의 방법보다는 다소 많은 조사비용이 소요되지만 기존의 불연속면 방향을 무시한 획일적인 설계방법보다 좀더 정확한 지반정보를 얻을 수 있을 것으로 판단되므로 차후 조사단계에서 이러한 시스템의 도입이 요구된다.

## 참고문헌

1. 大橋敏行, 草深守人(1987), 畫像處理により 岩盤節理情報調査・評価システム開發、第19回 岩盤力學に関するシンポジウム講演論文集, pp396-400.
2. 大西有三, 堀田政國, 大谷可郎(1989), 畫像處理システム用いた岩盤割れ目のフラクタル幾何學的特性評価について、土木學會論文集, 第412号/Ⅲ-12, pp61-68.
3. 竹田 均, 川越 健, 岩井孝宰, 御手洗良夫(1993), 畫像解析による岩盤評価システムの研究, 第25回 岩盤力學に関するシンポジウム講演論文集, pp1-5.
4. 龜和田俊一, 遠藤 努, 國分英彦, 西垣好彦(1989), BIPS システムの 装置とその能力について, 第21回 岩盤力學に関するシンポジウム講演論文集, pp196-200.
5. S. Kamewada & H. S. Gi, Taniguchi, H. Yoneda(1990), "Application of borehole image processing system to survey of tunnel", Proceedings of the international symposium on rock joints, pp51-57.