

Borehole Image Processing System에 의한 붕괴사면의 활동면 추정

유병옥¹⁾ · 정형식²⁾

¹⁾ 한국도로공사 도로연구소, ²⁾ 한양대학교 토목공학과

Assumption of Failure Surface using Borehole Image Processing System in Failed Rock Slope

Byung-Ok Yoo¹⁾, Hyung-Sik Chung²⁾

¹⁾ Highway Research Center, Korea Highway Corporation,

²⁾ Department of Civil Engineering, Hanyang University

요 약 : 일반적으로 사면에 대한 조사방법은 지표지질조사를 실시하여 불연속면의 정보를 획득하는 것이 보편화 된 방법이나 제한된 영역의 정보만을 획득하게 되는 문제점을 가지게 된다. 일반적으로 절취사면에서 활동면 또는 활동가능면을 추정하는 방법으로 토모그래피, 전기비저항탐사, 탄성파 탐사와 같은 지구물리탐사 방법을 이용하나 최근에 사용된 카메라 장치를 이용하는 방법은 시추공벽의 화상을 촬영하여 직접 육안으로 확인 할 수 있는 방법으로 다른 방법들에 비해 보다 확실한 방법이라고 생각된다. 그러므로 본 논문은 고속도로 현장에서 붕괴가 발생된 사면의 활동면 위치를 파악하기 위해 총 4 개공의 시추를 실시하였고 BIPS(Borehole Image Processing System) 장비를 도입하여 활동면의 위치를 파악하였다. 그 결과, 철타구간은 지표에서 20m 하부구간까지 암질이 매우 불량하고 점토층이 충전된 파쇄대층이 존재하고 철타좌측구간은 이미 인장균열이 발생되었으며 점토층이 충전된 층리면 존재하고 층리면은 사면방향으로 경사져 붕괴가능성이 클 것으로 나타났다. BIPS 결과는 사면안정대책 방안에 수립하는 데 이용하여 억지말뚝으로 사면보강공을 선정하였다.

주요어 : 활동면, 시추공벽 화상처리시스템, BIPS, 점토층, 사면붕괴, 평면파괴, 층리, 사암, 셰일, 억지말뚝공

Abstract : Investigation methods of cut slope are conducted generally only geological surface survey to gain engineering geological data of cut slopes. These methods have many problems such as limitation of investigation for a special area. So geophysical investigations such as geotomography, seismic and electrical resistivity methods have been used to search for failure surface in potential failure slopes or failed slopes. But investigation method using the borehole camera is recently a used method and it is thought that this method is more reliable method than other investigation methods because of being able to see by the eyes. Therefore, this paper was conducted investigations of 4 boreholes and BIPS(Borehole Image Processing System) to search for potential sliding surfaces and was applied to obtain information of discontinuity on failed highway slope. As the results of BIPS, we could decide potential sliding surface in the slope and conducted to check slope stability. And decided slope stability measures.

Keywords : Failure surface, BIPS(Borehole Image Processing System), Clay Layer, Slope Failure, Plane Failure, Bedding, Sandstone, Shale, Pile for Slope Stability Measures

1. 서 론

사면활동은 암반 내에 발달하는 불연속면의 방향에 따라 발생되므로 사면 설계시나 시공 중에 붕괴된 사면이나 붕괴우려를 가지고 있는 사면의 암반 내에 발달하는 활동면 또는 불연속면의 정보를 얻는 것은 매우 중요한 일이다. 그래서 절취사면의 지반조사시 활동면 또는 불연속면에 대한 정보를 얻고자 많은 비용을 소모하고 여러 장비를 동원하고 있다.

일반적인 국내의 절취사면 설계는 안정성 측면에 의한 조사보다는 사면경사를 설정하기 위해 시추지질조사 및 지표지질조사 등을 실시하고 있으며 경우에 따라 중요도가 있는 사면에 대해서 이와 병행하여 지구물리탐사 등을 실시하고 있다. 사면설계시 시추조사 자료에 의해 암반의 RQD(Rock Quality Designation)나 TCR(Total Core Recovery)을 판단하여 리핑암과 발파암으로 구분하여 이에 따라 사면경사각도를 설정한다. 그리고 안정성 평가를 위해서는 사면주변의 노두에서 지표지질조사를 실시하여 절리면의 방향에 대한 정보를 획득한다. 그러나 이러한 조사방법은 도로확장 공사인 경우에 노출된 사면에서 조사가 이루어질 수 있으나 신설되는 도로인 경우에는 노출된 사면이 없어 주변 노두조사만 실시하여 지역적인 제약을 받아 신뢰성이 떨어지게 되는 문제를 가지고 있다.

붕괴가 발생된 사면이나 붕괴우려가 있는 사면은 일반적으로 지표면에서의 지표지질조사를 실시하여 불연속면의 정보를 획득하는 것이 보편화 된 방법이나 이 역시 제한된 표면에서의 정보만을 획득하여 많은 한계성을 가지는 문제점을 안고 있다. 절취사면에서 활동면을 추정하는 방법으로 토모그래피, 전기비저항탐사, 탄성과 탐사와 같은 여러 가지의 지구물리탐사 방법을 이용하나 최근에 사용되는 카메라 장치를 이용하는 방법은 시추공벽의 화상을 촬영하여 직접 육안으로 확인 할 수 있는 것으로 다른 방법들에 비해 보다 확실한 방법이라고 생각된다.

그러므로 본 논문은 국내 고속도로 현장에서 발생된 붕괴사면의 활동면 위치를 파악하기 위해 도입된 BIPS(Borehole Image Processing System) 장비를 이용하여 사면안정 검토 사례에 대해 언급하고자 한다.

2. 시추공벽 화상처리 시스템

토목공학분야의 지반조사에 시추공 카메라를 이용한 것은 최근의 일로서 주로 암반의 지질조사에 이용하고 있다. 시추공 카메라 장치의 주요한 용도·목적은 암반의 지질조사, 콘크리트 구조물의 보수·열화조사, 지반개량 효과의 확인 등이다. 특히, 암반의 지질조사 목적은 시추공 내의 암반 지층 확인이나 암질 확인, 불연속면의 위치, 형상, 주향·경사, 틈새폭, 충전물질의 종류 및 두께, 활동면의 위치, 주향·경사의 판정, 시추공벽의 팽창, 붕괴 상황의 관찰, 벌어진 균열에서의 용수 상황 파악 등이다.

2.1 원리·장치

기본적인 시추공벽 화상처리 시스템의 측정·해석 원리는 여러 기종들이 유사하나 사용 카메라, 촬영 방식, A/D 변환특성 및 광원특성 등은 장비에 따라 다소 차이를 보인다.

본 시스템의 구성은 크게 그림 1과 같이 현장 측정시스템과 실내 해석시스템으로 구분하는 데 현장 측정시스템은 그림 2와 같이 시추공내에 삽입하여 시추공벽을 360° 전개화상의 이미지를 촬영하는 카메라장치를 가지고 있는 공간으로 들어가는 Sonde 장치, 케이블, 촬영조건을 제어·조정하는 컨트롤 장치, 저장 또는 기록장치 및 모니터 화면, 깊이를 측정할 수 있는 Indicator 등으로 되었다.

해석시스템은 절리면의 방향분석, 절리종류, 절리틈새, 스트레오네트 분석, 절리충전물

질, 절리누적수 등 암반의 공학적인 분류에 필요한 기본적인 자료를 제공할 수 있다.

저장 매체에 기록된 데이터는 그림 3의 절차에 의해 지질분석을 수행하여 절리면의 방향 및 절리특성, 충전물질 두께 등 암반에 대한 여러 가지 자료를 해석할 수 있으며 이들 자료의 스테레오네트 분석을 통한 절리방향, 암질상태, 위경사(Apparent Dip) 평가 등의 여러 가지를 분석할 수 있다.

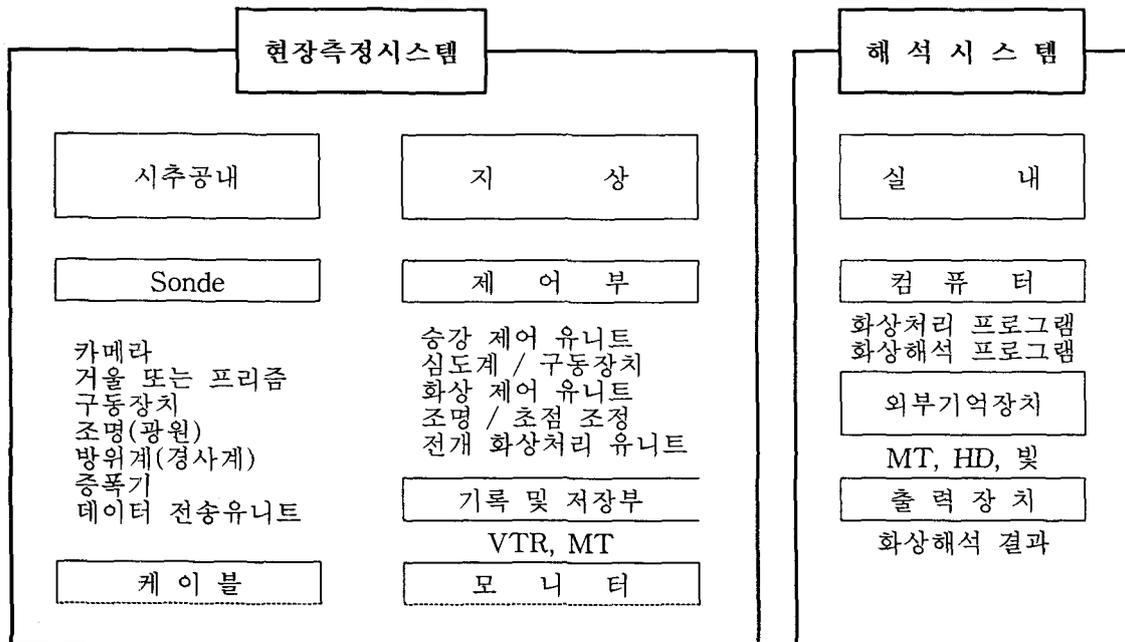


Figure 1. Basic composition of Borehole Image Processing System

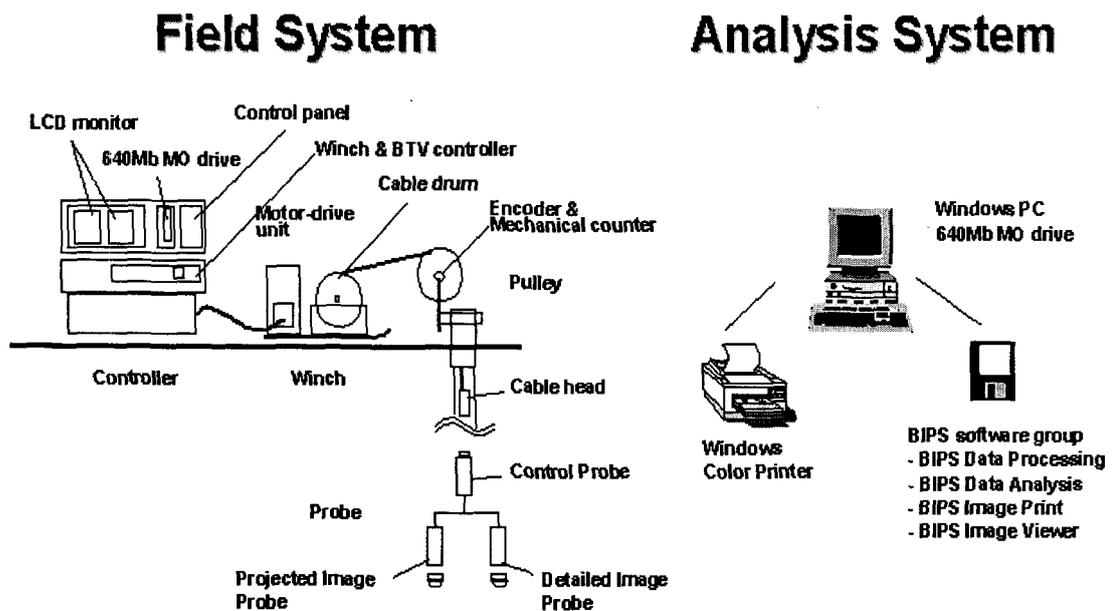


Figure 2. BIP system in the field and laboratory

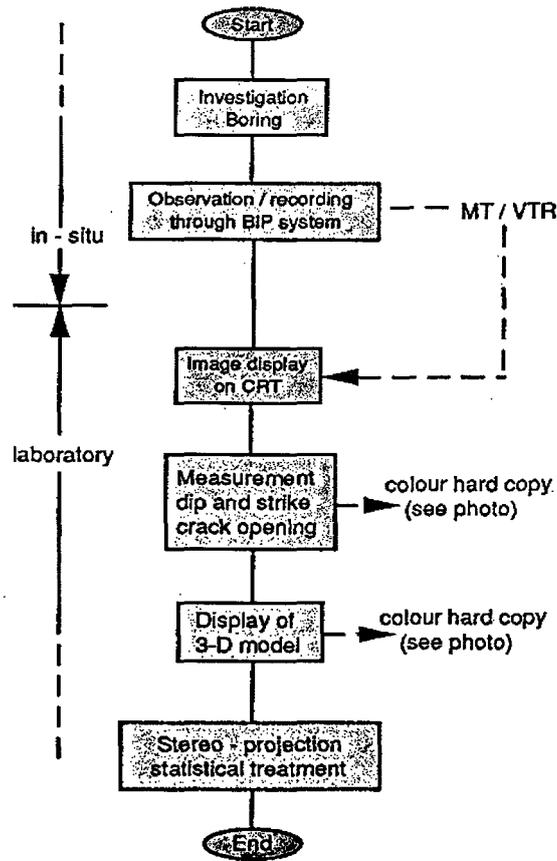


Figure 3. Geological analysis order of BIPS

2.2 장치구성

본 장치의 구성은 그림 4의 그림과 같이 주구성장치로 컨트롤 패널(Controller)로 케이블 윈치(Winch), 풀리(Pulley), 프루브(Probe)로 이루어져 있다.

컨트롤 패널(Controller)은 5인치 모니터 2개, 화상을 저장할 수 있는 저장장치, 프루브를 자동으로 승강시킬 수 있는 리모트 컨트롤 장치 및 심도표시, 승강속도 조절 등을 할 수 있으며 화질을 조절할 수 있도록 되어 있다. 5인치 모니터는 360° 전개화상과 승강시의 시추벽을 볼 수 있도록 한 두 가지 화면으로 되어 있다. 장비는 -5~50°의 온도 범위에 사용할 수 있고 저장 장치는 3.5인치 640 Mb MO drive를 사용한다. 화상의 녹화속도는 0~60m 범위/시간이고 리모트 컨트롤은 카메라 조정 및 프루브의 속도를 조절할 수 있다.

프루브를 시추공 내에서 이동시키는 힘을 발생해 주는 케이블 윈치(Motor driven cable winch)는 적용 가능심도가 300~500m 정도이고 적은 용량인 경우에는 얇은 심도만 볼 수 있도록 되어 있다. 구동방법은 모터작동(Motor driven)과 핸들레버로 작동하는 수동식이 가능하며 모터를 작동하는 경우 속도조절이 가능하도록 되어 있다. 사용전원은 AC 110V~220V 겸용을 사용한다.

심도 측정 풀리 (Measuring Pulley)는 둥근 원판형태로 되어 있으며 원판의 회전에 의해 심도측정이 가능하도록 되어 있다. 작동환경은 -5~50°C의 온도범위이다. 풀리는 시추공의 케이싱에 고정하여 사용하는 데 케이싱 크기는 일반적으로 66mm ~ 134mm 정도이다.

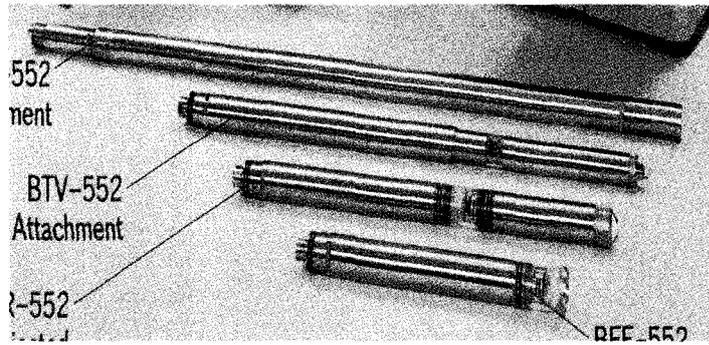
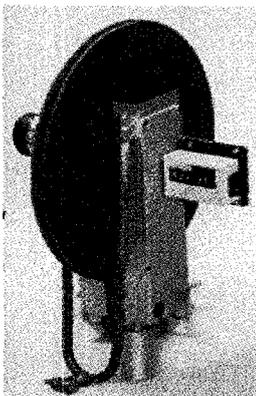
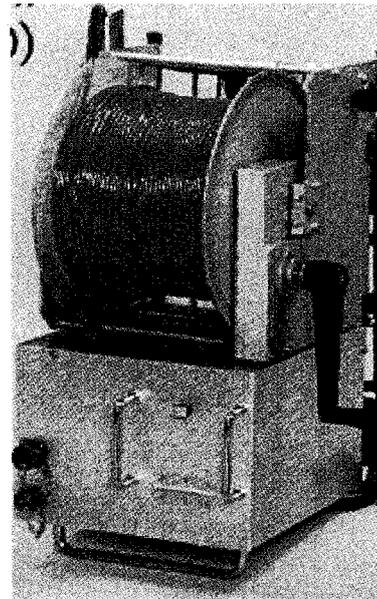
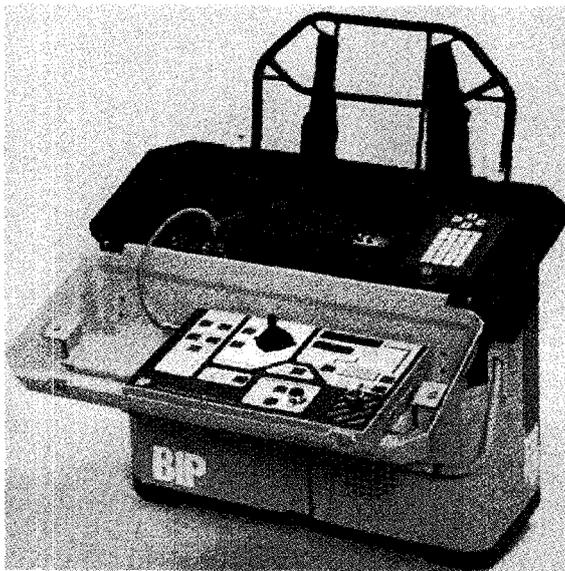


그림 4. Equipment composition of BIPS

시추공내로 들어가는 프루브는 BIPS Control Probe(BCP-552)와 360° Projected Image Attachment(BPR-552), Side Detailed Image Attachment(BTV-552), Front-Side Image Attachment(BFE-552)의 네 가지로 되어 있는데 컨트롤 프루브(BCP-552)에 세 가지 Attachment를 부착하여 사용할 수 있다. BIPS Control Probe(BCP-552)는 케이블을 통하여 지상에서 보내진 전기신호를 전환하고 조절하며 Attachment에 공급하는 기능을 한다. Flux Gate Sensor, 중력방향 감지기, 2축 Inclination Meter로 구성되어 있으며 프루브의 방향 즉, 프루브의 회전각 및 경사방향, 각도를 측정할 수 있어 이미지신호와 함께 지상 장치로 보낸다. 360° Projected Image Attachment(BPR-552)는 360° 공벽의 이미지를 관찰하고 기록하는데 사용되는 초기의 BIP system과 동등한 기능을 가진 Attachment이다. 원뿔형의 Cone Mirror와 작은 크기의 CCD 카메라, 링형태의 형광램프, Mirror 하부에는 방위각을 측정하는 컴퍼스 및 램프로 이루어져 있다. Side Detailed Image Attachment(BTV-552)는 공벽의 관찰을 위한 프리즘을 사용하여 공벽의 특정부를 확대하는 Attachment로서 프리즘이 회전할 수 있도록 되어 있어 어느 방향이든지 관찰이 가능하다. 지상의 컨트롤 장치에서 제어되어 이미지를 확대할 수 있다. 조명은 두 개의 할로겐 램프를 사용하여 측정지점 및 시추공벽의 전체를 조명할 수 있다. Front-Side Image Attachment(BFE-552)는 시추공의 하부 및 측면을 동시에 관찰할 수 있다. 측면 이미지는 전방 이미지 주변에 나타나며 지상 컨트롤 장치에 투영된 이미지를 전환할 수 있다.

3. 붕괴 사면의 현장적용사례

본 논문은 고속도로 건설공사 중에 그림 5와 같이 붕괴가 발생된 퇴적암 사면에 대해 시추공벽 화상처리시스템(BIPS)을 도입하여 활동면의 심도를 파악하고 불연속면의 방향 및 충전물질 등을 측정하여 사면안정검토를 하고자 한다.

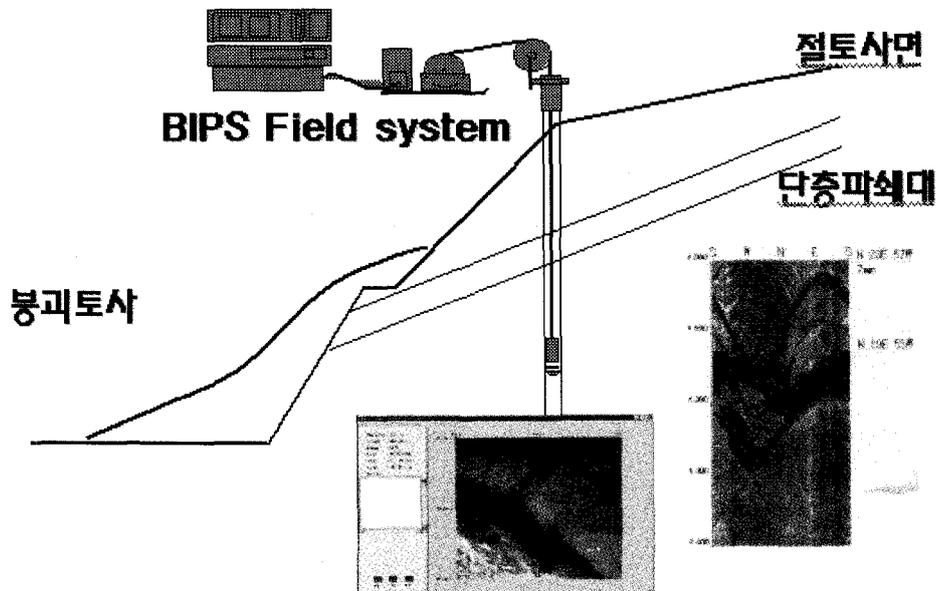


Figure 5. BIPS use in failed slopes

3.1 대상사면 선정

본 연구대상 사면은 중앙고속도로 대구-안동 구간에서 붕괴가 발생된 사면을 선정하여 시추공벽 화상처리 시스템을 적용하고자 한다.

대상사면은 굴착이 완료되었으나 공사 중 이미 세 차례의 사면붕괴가 발생되어 사면경사를 1:1.2로 완화 예정인 사면으로 현재 철타좌측구간에 평면파괴발생으로 인한 인장균열이 발생된 상태에 있다. 사면의 위치 및 시추현황, 사면연장, 높이에 대한 현황은 그림 6 및 표 1과 같다.

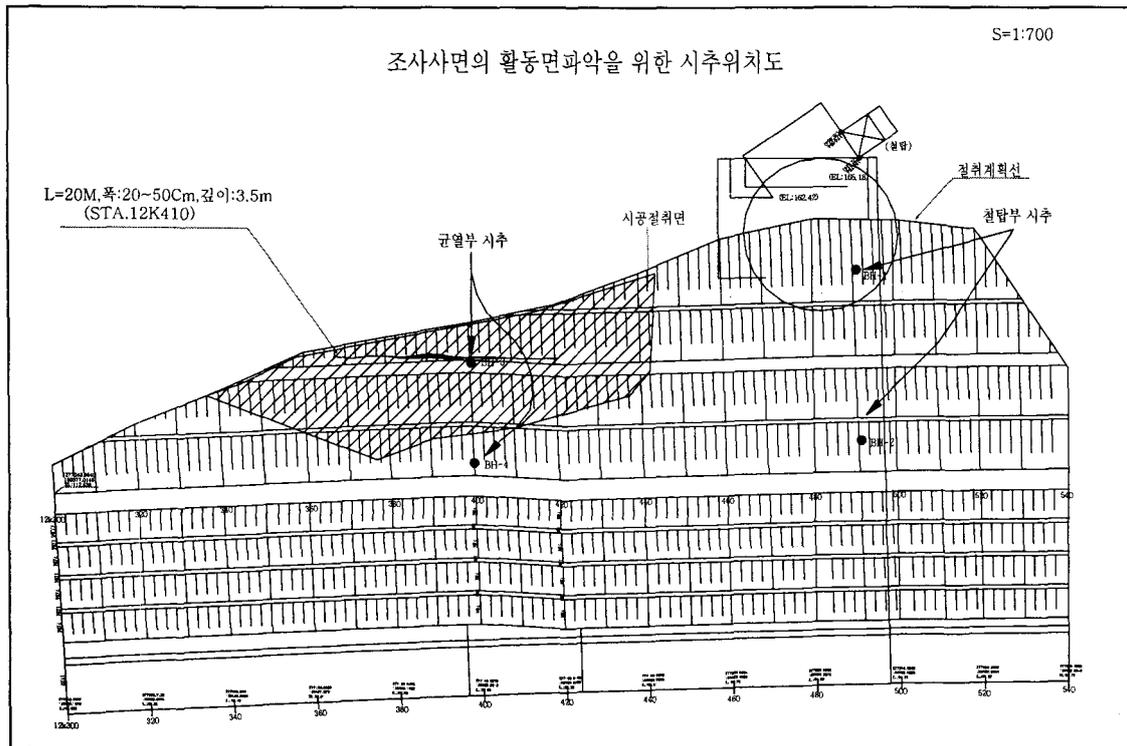


Figure 6. A plane and borehole location map of investigated slope

Table 1. Present and investigation conditions of investigated slope

위 치	사면방향	설계경사	높 이	연 장	사면경사	비 고
중앙고속도로 대구-안동간	NS	42E	31m	240m	토층 1:1.2~1:1.5 리핑암 1:1.2 발파암 1:1	사면상부 철타위치
시추현황 및 BIPS 조사	구간	시추공변	시추심도 (m)	BIPS 조사(m)	위 치	
	철타하부 구간	BH-1	60	22	도로횡단방향으로 시추공분포	추가시추
		BH-2	40	38.1		추가시추
	철타좌측 구간	BH-3	40	35.2	도로횡단방향으로 시추공분포	추가시추
Bh-4		40	38.2	추가시추		

사면조사는 1998년 12월 22일, 1999년 1월 22일~23일, 1999년 6월 16일~18일의 세 차례에 걸쳐 지표지질조사 및 4 개공에 대해 BIPS 조사를 실시하였다(그림 6).

3.2 조사사항

시추조사는 철탑구간 및 철탑 좌측구간에 대해 횡단면 방향으로 두 공씩 실시하였으며 각 시추공에 대해 BIPS 조사를 실시하였다.

3.2.1 암석

본 대상사면의 암종은 경상분지에 속하는 중생대 백악기의 사암 및 흑색 셰일로 이루어져 있으며 사암은 비교적 강한 암석강도를 가지나 셰일은 지표에 노출시 작은 암편으로 쉽게 풍화되는 특성을 보인다. 주 지질구조는 층리면으로 층리면 사이에 미고결 점토층이 충전되어 인근 사면들이 대규모의 평면파괴를 경험하고 있다.

3.2.2 풍화상태

지표 지질조사결과, 사암층은 지표상태에서 보통정도의 풍화상태에서 약간 풍화된 정도 즉, MW(Moderately Weathered)~SW(Slightly Weathered) 정도의 풍화등급으로 관찰되어 비교적 양호한 암반층으로 판단되며 셰일층은 지표상태에서 풍화에 대한 저항력이 약해 심하게 풍화된 정도인 HW(Highly Weathered) 등급으로 관찰된다. 불연속면을 따라 점토층이 두텁게 충전된 상태이며 특히, 층리면 사이에 점토층이 충전되어 있는 것을 관찰할 수 있다.

3.2.3 BIPS 조사결과

(1) BH-1 시추공의 BIPS 조사결과

시추위치는 철탑하부에 위치하며 도로 계획고에서 사면높이 약 60m 지점으로 시추심도는 60m의 도로계획고까지 실시하였다.

BIPS 결과 자료는 22m 이하에서 공벽이 무너져 22m까지 화상을 찍었으나 1차 조사시 케이싱이 있는 상태에서 조사된 바에 의하면, 22m 이하 심도는 암반상태가 매우 양호한 상태로 비교적 Massive하다(초기 2~15.78m 까지 케이싱이 설치되어 있었으나 케이싱을 제거한 후에 조사 실시).

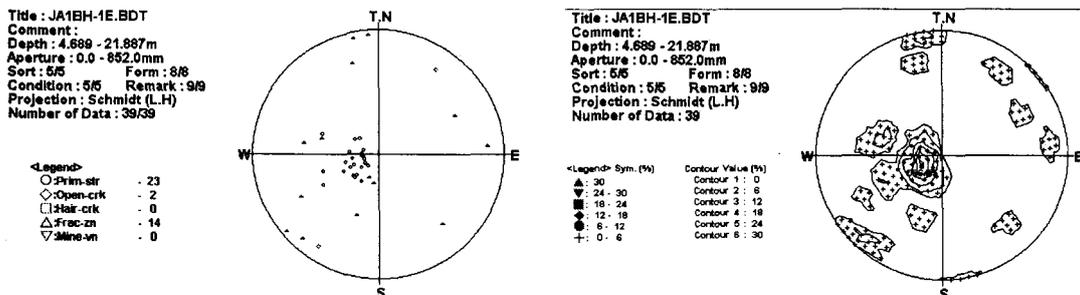


Figure 7. Discontinuities orientation of BH-1(depth to 22m)

본 시추공내의 절리발달양상은 그림 7과 그림 8에서와 같이 상부 20m까지 066/15 (N24W/15NE) 층리방향이 우세하게 발달하나 슬라이딩에 의해 상당히 교란된 것으로 판단된다.

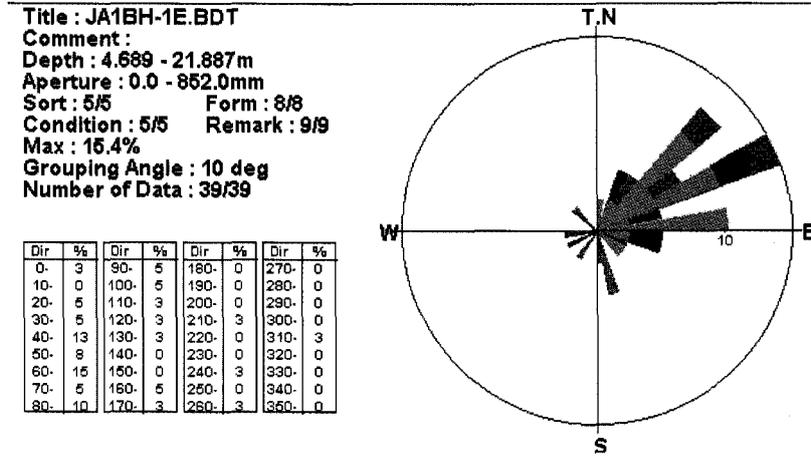


Figure 8. Rose diagram of Discontinuities orientation in BH-1

암반상태는 그림 9에서와 같이 상부 2~16m 까지 점토층 및 암괴가 혼합된 상태로 절리면의 방향측정이 불가능한 하였으며 매우 불량한 암질상태를 보인다. 그리고 주 절리면(층리)의 방향은 그림 10과 같이 도로방향으로 15° 정도 경사져 있으나 경사각도는 비교적 완만한 상태이고 그림 11은 심도별 불연속면방향 분포를 나타낸다.

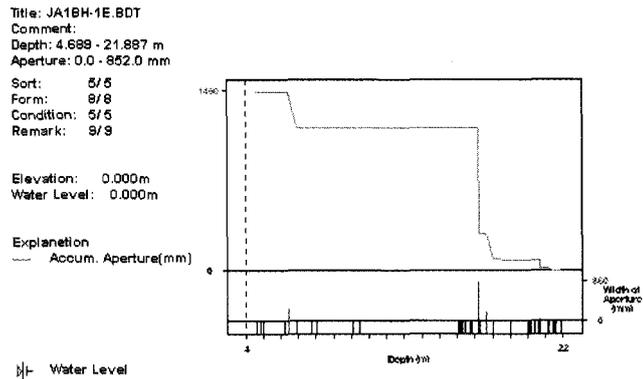


Figure 9. Rock condition of BH-1

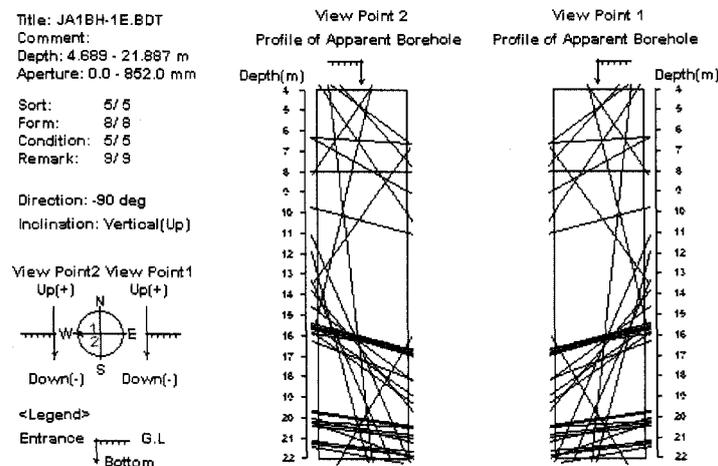


Figure 10. Discontinuities dip angle of BH-1

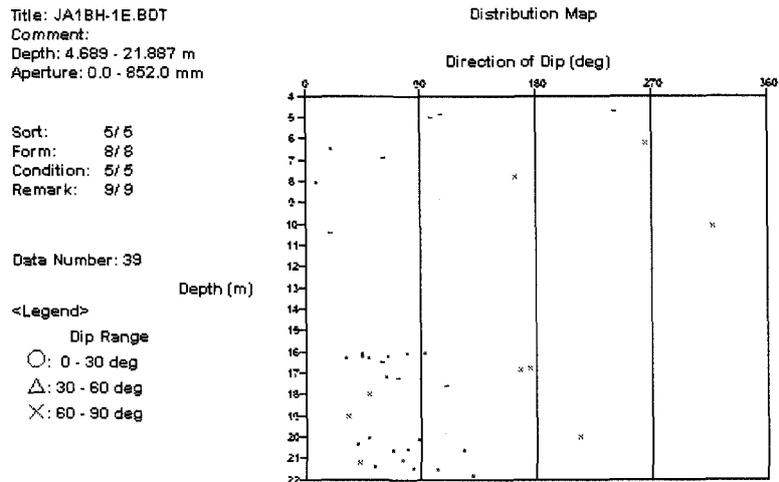


Figure 11. Distribution of discontinuities due to depth in BH-1

붕괴 가능한 심도를 알아보기 위하여 심도별 암반상태를 살펴보면 표 2와 같다.

Table 2. Rock condition description due to depth in BH-1

심도	상태	비고
2~11.6m	암괴+점토층 혼합된 층으로 매우 불량한 암질상태를 보임. 뚜렷한 층리방향을 찾기 어려우나 전반적으로 활동이 발생되어 암괴가 움직인 구간으로 추정됨.	활동 가능 구간
11.6~13.0m	비교적 양호한 암반상태(약 1.4m 구간)	
13.0~16.8m	매우 불량한 암질상태를 보이며 암괴와 점토가 혼합된 상태로 존재	활동 가능 구간
16.8~17.6m	과쇄가 심한 상태로 일부구간에서는 암괴가 없어진 상태이다. 층리구조가 N18~35W/17~40NE 방향으로 잘 발달되어 있으나 이 방향은 실제 사면 내에 발달하는 층리방향과는 다소 다른 것을 보아 이 구간에서도 암괴가 움직였을 가능성이 있음.	활동 가능 구간
17.6~20.7m	절리가 발달하고 있으나 비교적 양호한 상태	
20.7m	약 6cm 정도의 점토층이 충전(활동 가능면의 하단선) 물에 씻겨 없어진 상태로 opening 상태로 존재(그림 12)	활동 가능 하단
20.7m 하부	비교적 양호한 상태(22m 부근에서는 다소 opening 발생)	

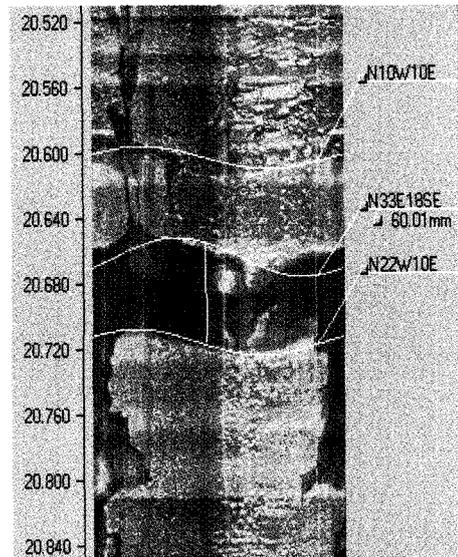


Figure 12. The lowest depth of potential sliding surface in BH-1

(2) BH-2 시추공의 BIPS 조사결과

시추위치는 철탑하부 도로계획고 약 36m지점으로 시추심도는 40m까지이다. BIPS 조사는 1차 케이싱이 설치된 상태의 20~38.1m, 2차 케이싱이 제거 후 2.18~15.9m까지의 두 차례에 걸쳐 실시하였으나 중간 15.9~20m까지 구간은 시추공이 무너져 조사가 불가능하였다.

BIPS 조사결과는 20m 이하는 암반상태가 비교적 Massive한 양호한 상태를 보인다.

절리발달양상은 그림 13 및 그림 14와 같이 상부 20m까지는 층리경각각이 45~60° 정도로 경사져 있고 방향도 다양하게 나타나고 있으나 20m 하부에서는 137/12(N47E/12SE)의 층리방향이 우세하게 발달한다. 그러므로 BH-1과 같이 상부의 약 20m까지 구간이 슬라이딩에 의해 상당히 교란된 것으로 판단된다.

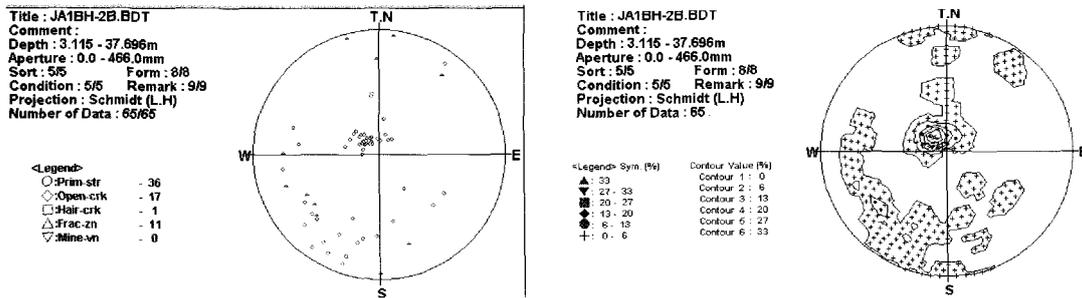


Figure 13. Discontinuities orientation of BH-2

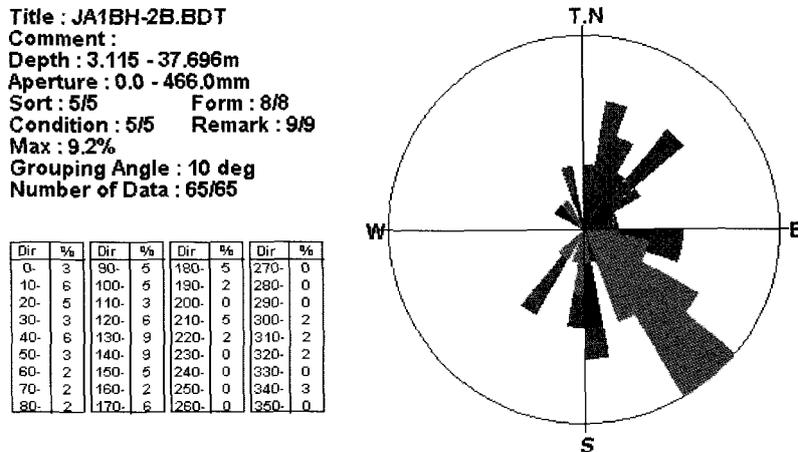


Figure 14. Rose diagram of Discontinuities orientation in BH-2

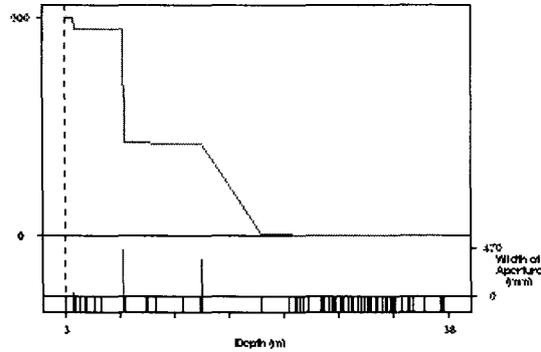
암반상태는 그림 15와 같이 상부 2~20m까지 암반층 사이에 점토가 충전되었거나 암절이 매우 좋지 않은 상태를 보이나 부분적으로 크게 점토가 충전된 층을 관찰할 수 있다. 그리고 20m 하부에서는 전반적으로 양호한 상태의 암반층으로 절리면이 비교적 tight한 상태로 존재하며 단지 절리면 사이에 산화된 상태를 보인다. 주 절리면(층리)의 방향은 그림 16과 같이 20m 상부에서는 급한 경사로 도로방향 쪽으로 경사져 있으며 20m 하부에서는 경사각도는 비교적 완만한 상태이다. 그림 11은 심도별 불연속면방향 분포를 나타낸다.

Title: JA1BH-2B.BDT
 Comment:
 Depth: 3.115 - 37.696 m
 Aperture: 0.0 - 466.0 mm

Sort: 5/5
 Form: 8/8
 Condition: 5/5
 Remark: 9/9

Elevation: 0.000m
 Water Level: 0.000m

Explanation
 — Accum. Aperture(mm)



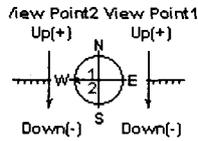
Water Level

Figure 15. Rock condition of BH-2

Title: JA1BH-2B.BDT
 Comment:
 Depth: 3.115 - 37.696 m
 Aperture: 0.0 - 466.0 mm

Sort: 5/5
 Form: 8/8
 Condition: 5/5
 Remark: 9/9

Direction: -90 deg
 Inclination: Vertical(Up)



<Legend>
 Entrance G.L.
 Bottom

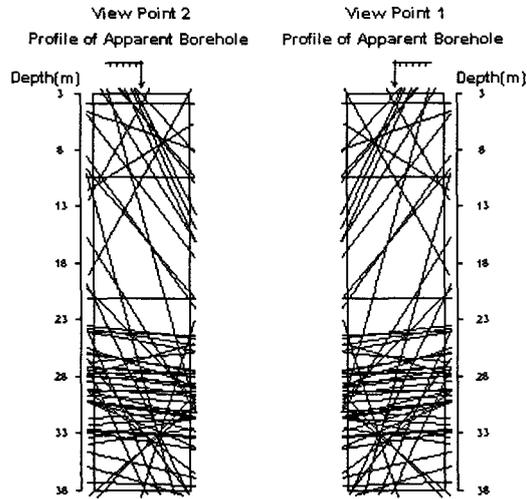


Figure 16. Discontinuities dip angle of BH-2

Title: JA1BH-2B.BDT
 Comment:
 Depth: 3.115 - 37.696 m
 Aperture: 0.0 - 466.0 mm

Sort: 5/5
 Form: 8/8
 Condition: 5/5
 Remark: 9/9

Data Number: 65

<Legend>
 Dip Range
 ○: 0 - 30 deg
 △: 30 - 60 deg
 ×: 60 - 90 deg

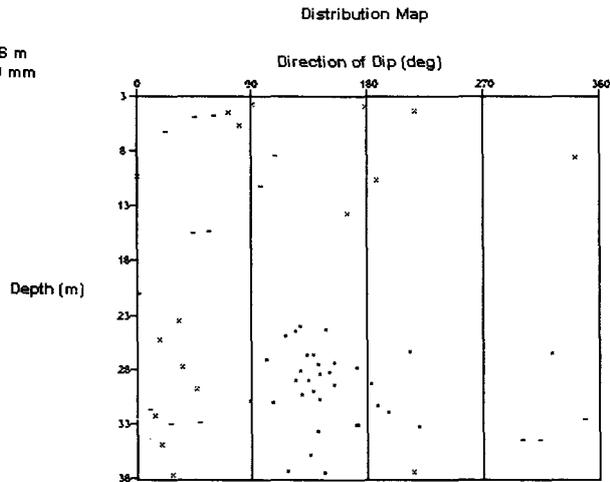


Figure 17. Distribution of discontinuities due to depth in BH-2

· 붕괴가능한 심도를 알아보기 위하여 심도별 암반상태를 살펴보면 표 3과 같다.

Table 3. Rock condition description due to depth in BH-2

심도	상 태	비 고
2.18~8.8m	암괴+점토층이 혼합된 층으로 매우 불량한 암질상태를 보임. 뚜렷한 층리방향을 찾기 어려우나 층리면이 급하게 경사져 있음. 전반적으로 활동이 발생되어 암괴가 움직인 구간으로 추정됨.	활동가능 구간
8.8~11.0m	층리면이 존재하지 않는 비교적 양호한 암반상태이나 일부 구간에서 수직절리면을 따라 파쇄된 상태(다소 절리 opening)	
11.0~12.4m	점토+암괴 혼합된 상태로 뚜렷한 층리 방향은 찾을 수 없으나 매우 불량한 암질상태를 보임.	활동가능 구간
12.4~13.4m	절리가 발달하였으나 파쇄된 암반상태로 존재(비교적 양호한 상태)	
13.4~13.8m	점토층 및 파쇄대가 존재, 매우 불량한 암반상태	활동가능 구간
13.8~14.8m	비교적 양호한 암반상태(다소 절리 opening)	
14.8~15.2m	40cm 정도의 점토층 및 파쇄대가 존재하는 층으로 이 구간 하부에서는 경사각이 60° 정도로 심하게 교란되어 있음. 점토+암괴 혼합된 상태(매우 불량한 층리면상태, 그림 18)	활동가능 구간
15.2~15.6m	암괴	
15.6m 하부	점토+암괴 혼합된 상태(매우 불량한 상태) 30~50cm 정도의 점토층 및 파쇄대가 존재하는 매우 불량한 암반상태	활동가능 구간
16.0~20m	시추공벽의 붕괴로 탐사 불가능, 공벽이 무너진 것으로 보아 매우 불량한 암질상태거나 점토층을 혼합한 파쇄대층이 존재한 것으로 판단됨	활동가능 구간
20m 하부	매우 양호한 상태로 절리면 사이에서 단지 산화작용을 받아 있음. 상부와는 매우 다른 양상을 보임.	

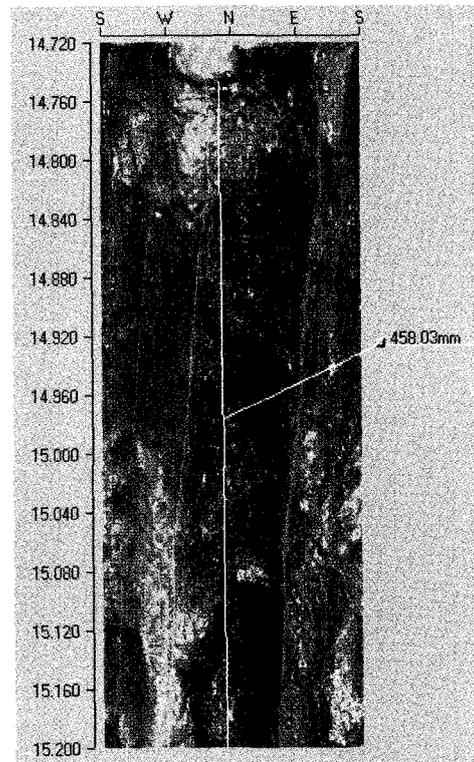


Figure 18. Clay layer and fracture zone(potential sliding surface) in BH-2

※ 위의 조사자료로 판단해 볼 때, BIPS 조사가 가능했던 상부 15.6m 정도까지의 구간이 매우 불량한 상태로 과거에 계속적인 슬라이딩이 발생된 구간으로 판단됨.

인근 주민의 이야기로는 과거 굴착이전 원지반 상태에 개천이 하부에 흐르고 있었는데 비가 오고 난 후에는 큰 암괴들이 개천으로 떨어지곤 했다고 함.

(3) BH-3 시추공의 BIPS 조사결과

시추위치는 철탑 좌측 인장균열 발생 전면부에서 실시하였으며 시추심도는 도로계획고까지 40m 정도이다. BIPS Data는 케이싱이 1m 정도 설치되어 1차에 걸쳐 2.18~35.2m까지

실시하였다.

BIPS 조사결과는 10.8m 이하는 비교적 Massive한 양호한 암반상태를 보인다.

절리발달양상은 그림 19 및 그림 20과 같이 비교적 20° 미만의 층리가 우세하게 발달하는 데 137/12(N47E/12SE)의 층리방향이 우세하게 발달한다.

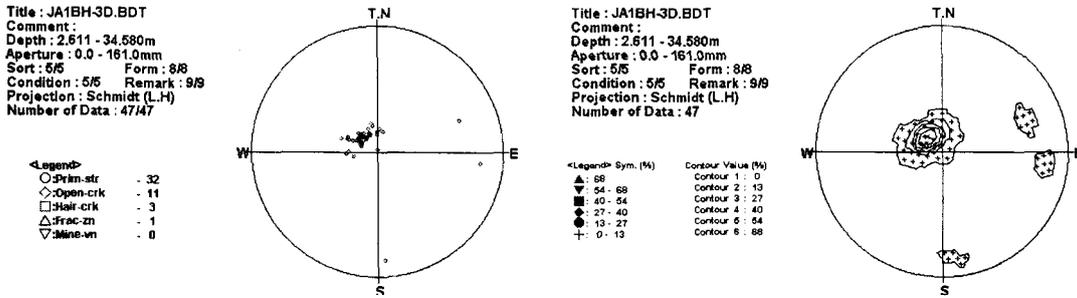


Figure 19. Discontinuities orientation of BH-3

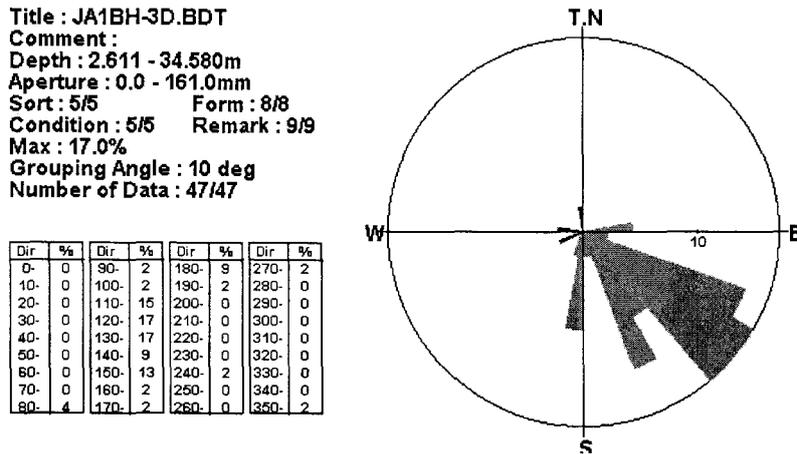


Figure 20. Rose diagram of Discontinuities orientation in BH-3

암반상태는 그림 21에서 보는 바와 같이 상부 2~35.2m까지의 일부 구간(10.6~10.8m)에서 암반층 사이에 점토가 충전되어 있고 전반적으로 층리가 잘 발달된 양호한 상태의 암반층으로 절리면이 비교적 tight한 상태로 존재하며 단지 절리면 사이에 산화된 상태를 보인다. 주 절리면(층리)의 방향은 그림 22와 같이 도로방향으로 경사져 있으며 경사각도는 비교적 완만한 상태이다. 그림 23은 심도별 불연속면방향 분포를 나타낸다.

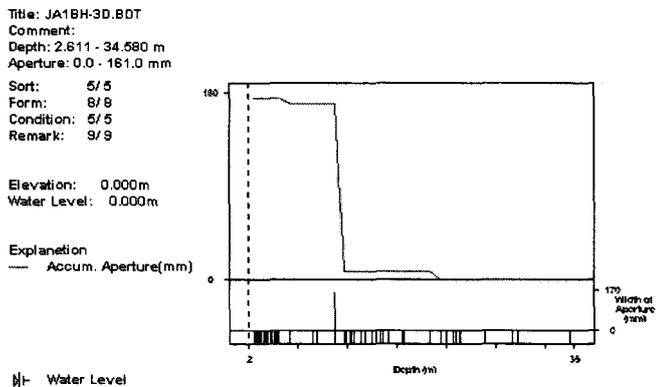


Figure 21. Rock condition of BH-3

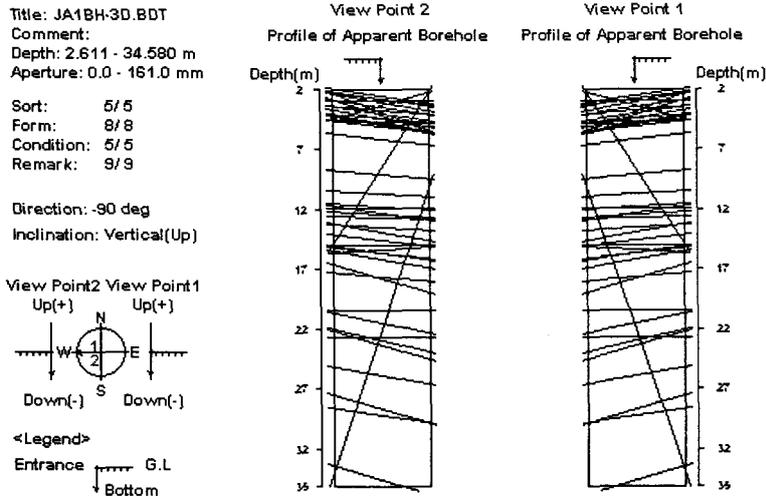


Figure 22. Discontinuities dip angle of BH-3

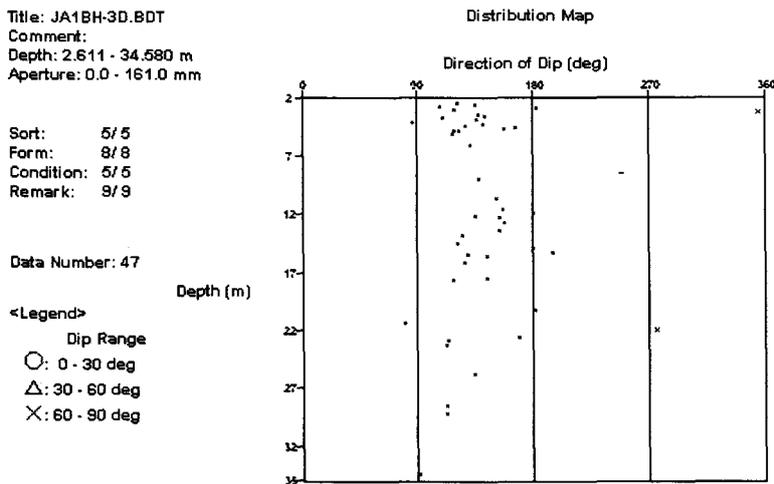


Figure 23. Distribution of discontinuities due to depth in BH-3

붕괴가능한 심도를 알아보기 위하여 심도별 암반상태를 살펴보면 표 4와 같다.

Table 4. Rock condition description due to depth in BH-3

심도	상태	비고
2.2~10.6m	양호한 암반상태(경암), 부분적으로 층리구조 발달, 층리면의 경사는 10~15° 정도	
10.6~10.8m	약 20cm의 점토층 + 파쇄대층 존재(그림 24)	활동가능 구간
10.8m 이하	양호한 암반상태(경암), 비교적 massive한 상태를 보임. 층리면의 경사는 10~15° 정도	

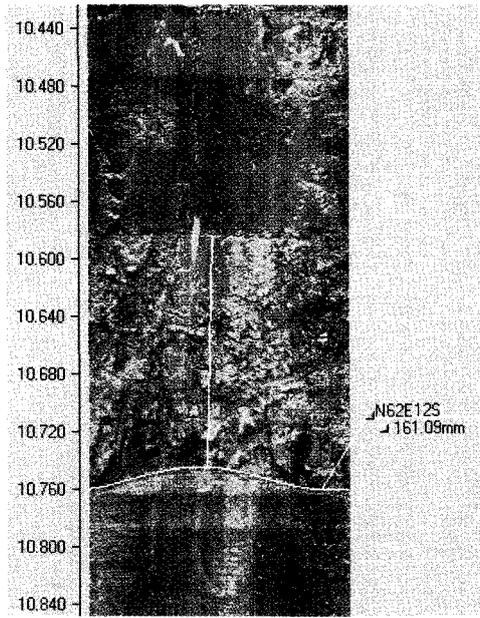


Figure 24. Clay layer and fracture zone(potential sliding surface) in BH-3

(4) BH-4 시추공의 BIPS 조사결과

시추위치는 철탑좌측 계획고 약 40m 지점으로 시추심도는 40m 정도의 도로계획고까지이다. BIPS 조사는 1차 케이싱이 설치된 상태의 19.0~38.2m와 2차 케이싱이 제거 후 2.18~11.4m의 심도에 대해 두 차례에 걸쳐 실시하였다. 그러나 중간 11.4~19.0m까지 구간은 시추공이 무너져 조사가 불가능하였다.

BIPS 조사결과는 21.6m 이하는 비교적 Massive한 암반의 양호 상태를 보인다.

절리발달양상은 그림 25 및 그림 26과 같이 부분적으로 층리발달하나 9.7~11.0m의 심도에서 매우 두터운 점토층이 존재한다. 이 구간의 전면부에 붕괴와 연관성이 있는 것으로 판단된다.

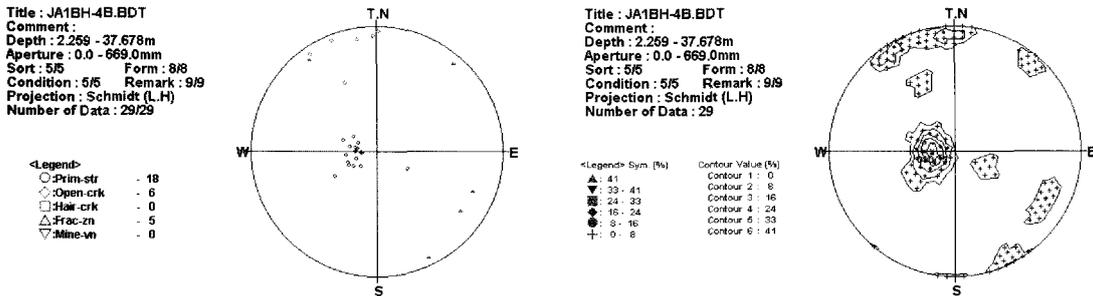


Figure 25. Discontinuities orientation of BH-4

암반상태는 그림 27과 같이 상부 2~9.7m 까지는 비교적 양호한 상태를 보이나 9.7~11.0m까지는 매우 불량한 상태의 점토가 충전된 층이 존재한다. 그리고 11.7~19.0m 까지는 시추공이 막혀 조사가 불가능하였으나 시추코아로 판단해 볼 때, 매우 불량한 상태를 보인다. 주 절리면(층리)의 방향은 그림 28과 같이 도로방향으로 경사져 있으며 경사각도는 비교

적 완만한 상태이다. 그림 29는 심도별 불연속면방향 분포를 나타낸다.

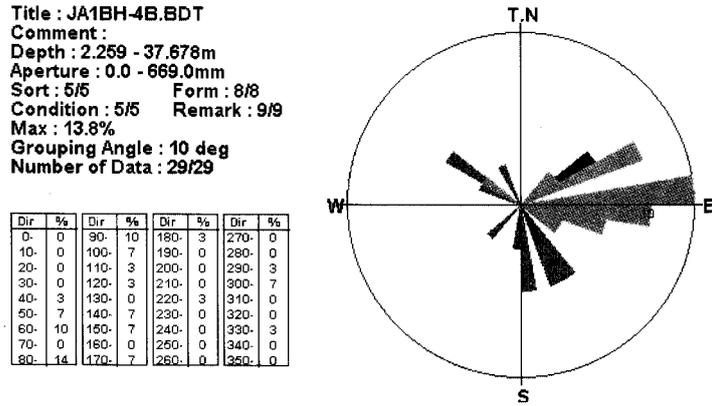


Figure 26. Rose diagram of Discontinuities orientation in BH-4

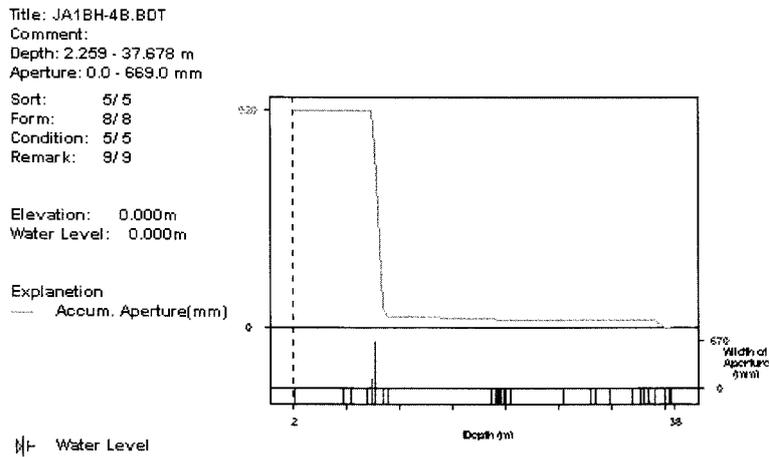


Figure 27. Rock condition of BH-4

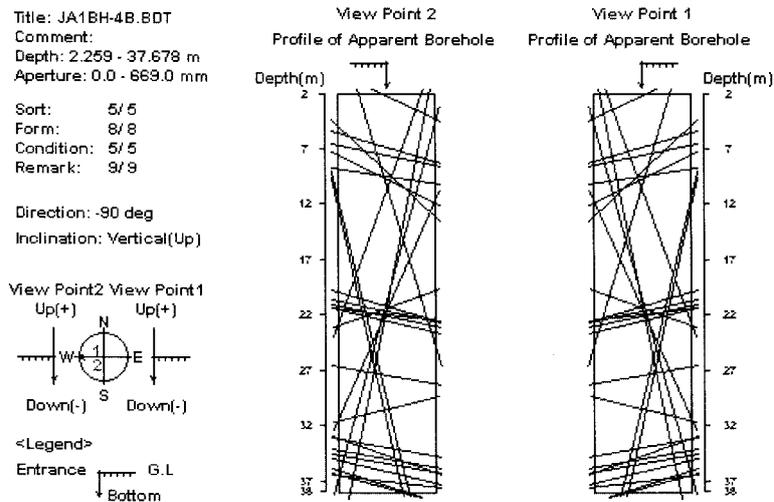


그림 28. BH-4 시추공에서의 절리면 경사각

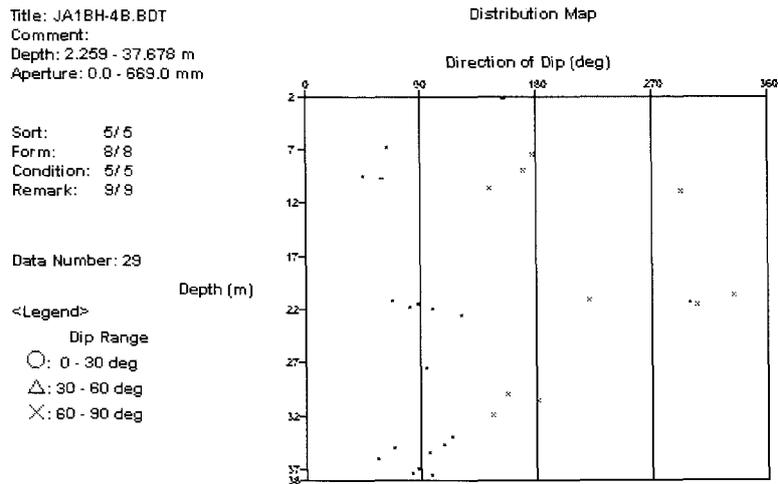


Figure 29. Distribution of discontinuities due to depth in BH-4

붕괴가능한 심도를 알아보기 위하여 심도별 암반상태를 살펴 보면 표 5와 같다.

Table 5. Rock condition description due to depth in BH-4

심도	상태	비고
0~ 9.7m	비교적 양호한 암반상태	
9.7~ 11.1m	점토층+암괴 혼합(그림 30)	활동가능구간
11.4~ 19.0m	공이 막혀 조사 불가능(시추코아로 추정) ※ BH-4(시추번호 : BH-3) : BIPS 조사시 11.436m~19.2m 까지 구간 공벽이 막혀 조사 불가능 ----- 시추사진으로 유추하였음. - 시추조사결과 12~13m core 손실 14~16m 50cm 코아 손실 20.5~22m : 1m 정도 코아손실	
19~ 21.6m	불량한 암반상태(Opening이 상당히 발달)	
21.6m 이하	양호한 암반상태	

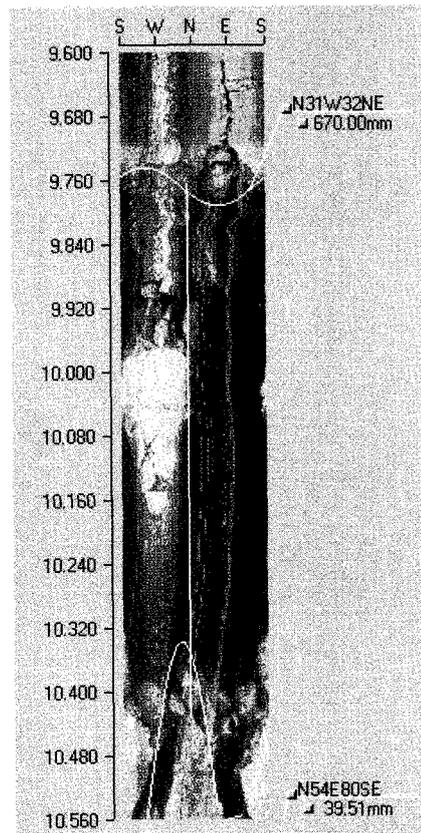


Figure 30. Clay layer and fracture zone(potential sliding surface) in BH-4

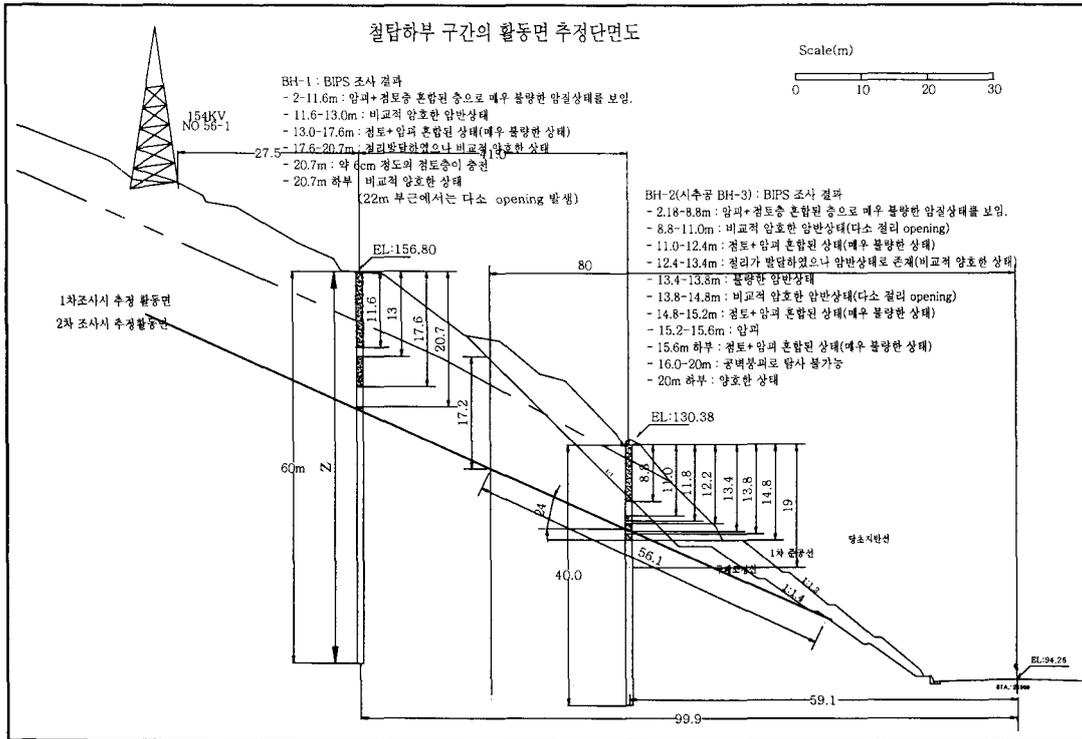


Figure 32. Assumption section for sliding surface in the front of electronic tower

(3) 붕괴가능 유형

위에서 조사된 바에 의하면, 사면 내에 층리면을 따라 파쇄된 점토층이 충전된 상태이므로 기존에 발생된 평면파괴와 같은 양상으로 평면파괴가 발생할 가능성이 크므로 이에 대한 안정대책이 요망된다.

3.4. 사면안정대책

본 사면은 활동암괴의 활동력이 크고 활동면의 경사가 20° 정도로 매우 완만한 상태이므로 경사 완화시는 안정경사각은 1 : 2 정도(26°)로 산 지형의 경사와 같은 경사각으로 절취하여야 한다. 이 방법은 토공량이 많고 산정상까지의 무한사면이 형성되므로 시공성 및 경제성이 없을 것으로 판단되므로 사면안정을 위한 대책으로 어느 정도 사면경사를 완화하고 사면을 보장하는 것이 유리할 것으로 판단된다.

3.4.1 사면경사완화

본 대상사면의 사면경사 완화방안은 철탑좌측구간에서 그림 33과 같이 하부가 1 : 1.2~1 : 1.4, 중간-상부구간은 1 : 1.2로 완화한다. 그리고 40m 상부구간은 뒷쪽 지형이 하향 구배를 가지고 있으므로 상부를 제거하여 준다. 그리고 그림 34의 철탑구간은 하부에서 1 : 1.2~1 : 1.4 정도, 상부의 철탑구간에서 1 : 1(45°)로 완화하여 준다.

3.4.2 억지말뚝보강

(1) 억지말뚝설치간격

억지말뚝 본수산정은 위에서 추정활동면에 의해 계산된 결과에 의하면, 단위폭당 말뚝 본수가 철탐좌측구간은 약 4.59본/m, 철탐하부 구간에서는 4.45본/m로 계산되었으나 말뚝의 배치문제로 인해 1.2m로 5열로 사면구간에 동일하게 적용하고자 한다.

억지말뚝보강 간격은 철탐좌측구간에 대해 1.2m 간격으로 5단으로 억지말뚝을 시공하며 억지말뚝심도는 그림 33과 같다. 그리고 철탐구간에서는 그림 34와 같이 1.2m 간격으로 5단으로 억지말뚝을 시공하고 철탐하부 약 50m 높이 부근에서 2m 간격으로 말뚝 1단을 설치한다. 사면하부 흙막이 벽체로 사용되는 H-pile은 시공 후에 억지말뚝으로 사용하기 위하여 천공후 5m 정도의 H-pile 삽입, 시멘트 속채움을 하여 차후 억지말뚝으로 사용할 수 있도록 한다.

(2) 천공장비

억지말뚝 시공을 위한 천공장비는 검토사면이 층리면이 매우 잘 발달한 퇴적암 지역으로 층리면 사이에 충전된 점토층에 의해 사면붕괴(평면파괴 및 인장균열)가 발생되므로 위에서 제시된 억지말뚝의 시공을 위한 천공작업을 케이싱 없이 수행할 경우, Caving(공내 붕괴) 현상 및 Clogging(공내 함몰)현상이 발생할 것으로 예상되며 이러한 현상은 시추조사를 수행한 시추공에서 쉽게 확인 할 수 있다. 또한, 천공장비를 Percussion을 이용한 장비를 투입할 경우 분사되는 Air에 의한 지층교란 및 Percussion 진동에 의한 층리면 교란 등이 유발되어 층리면의 전단강도를 현격히 저하시킬 우려가 있으므로, 지층 및 층리면 교란을 최소화할 수 있는 천공장비를 사용해야 할 것으로 판단된다.

(3) 억지말뚝 제원

상기에서 추천한 장비를 이용하여 직경 $\varnothing 250\text{mm}$, $t=6\text{mm}$ 을 단독으로 사용하는 경우, 억지말뚝 소요본수는 사면내 시공이 불가능할 정도로 늘어나므로 시공가능한 억지말뚝 소요본수를 산정하기 위하여 강관 케이싱($\varnothing 250\text{mm}$)에 H-pile(H-150 \times 150 \times 7 \times 10)을 삽입하여 억지말뚝의 전단저항을 증대시켜 준다.

3.4.3 사면계측

사면내 계측기를 매설하여 사면거동을 파악하는 데 계측항목은 변형율계, 경사계, 지하수위계, 강수량 등에 대해 실시한다.

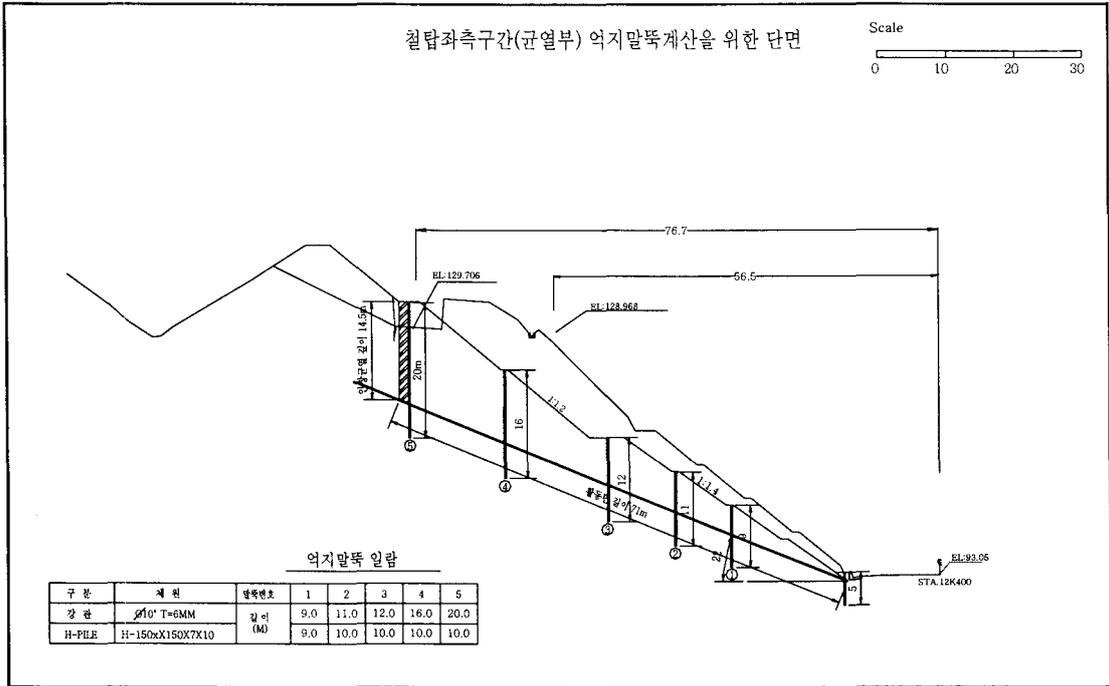


Figure 33. Slope stability measure in the left area of electronic tower

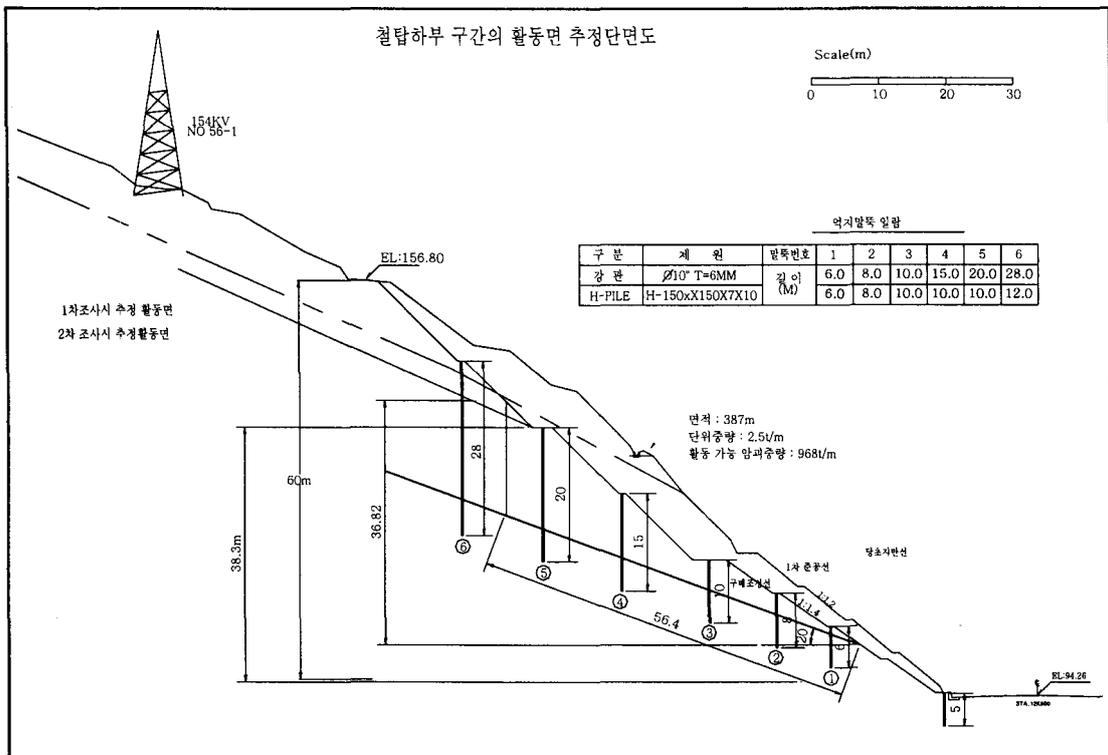


Figure 34. Slope stability measure in the front area of electronic tower

4. 결론

본 논문은 붕괴가 발생된 고속도로 사면에 대해 BIPS 조사를 실시하여 활동면 및 활동가능면을 조사한 결과는 다음과 같다.

- 1) 본 사면은 사암, 세일의 퇴적암으로 이루어진 사면으로 층리 및 수직절리가 우세하게 발달하고 있으며 사면붕괴는 이미 세 차례에 걸쳐 발생되었다.
- 2) BIPS 조사결과에 의하면, 사면하부의 여러 심도에서 활동면으로 작용할 수 있는 20° 정도의 경사를 가지는 층리면이 관찰되었으며 여러 개소의 시추공에서 활동가능한 심도로 약 20m 정도를 추정할 수 있었다.
- 3) 본 사면은 활동암괴의 활동력이 크고 활동면의 경사가 20° 정도로 매우 완만한 상태이므로 사면경사 완화시 안정경사각은 1 : 2 정도(26°)로 산 지형의 경사와 같은 경사각으로 절취하여야 한다. 이 방법은 토공량이 많고 산정상까지의 무한사면이 형성되므로 시공성 및 경제성이 없을 것으로 판단되므로 사면안정을 위한 대책으로 어느 정도 사면경사를 완화하고 사면을 보강하는 것이 유리할 것으로 보인다.
- 4) 사면보강방안은 역지말뚝으로 보강하며 철타좌측 및 철타구간에 1.2m 간격으로 5단으로 역지말뚝 시공하고 철타구간은 도로계획고에서 약 50m 높이 소단에 2m 간격으로 말뚝 1단을 추가 설치한다.
- 5) 흙막이 벽체로 사용되는 H-pile은 시공 후에 역지말뚝으로 사용하기 위하여 천공후 H-pile 삽입, 시멘트 속채움을 하여 토공이 완료된 후 말뚝 상부를 절단하여 말뚝으로 사용한다.
- 6) 장기적인 측면에서의 철타의 안정성을 알아 보기 위하여 사면계측을 실시한다.
- 7) BIPS 조사는 암반 내에 발달하는 불연속면의 방향을 측정할 수 있는 장점을 가지고 있으나 본 연구대상 사면에서는 불연속면에 의한 붕괴보다는 점토가 충전된 파쇄대에서 붕괴가 발생되므로 파쇄대의 심도를 알아보는 데 초점을 두었다.

참고문헌

1. 유병옥, 황영철, 김성환(1998), 시추공 화상처리장치에 의한 사면의 안정성 평가 : '98 사면안정학술발표회 논문집, 한국지반공학회, pp63-79.
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 岩盤力學に關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價について、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 岩盤力學に關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 岩盤力學に關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.