

시추공내 영상촬영(BIPS)을 이용한 사면의 3차원적 해석연구

-대모초등학교 절개지 사례연구-

이 수 곤

서울시립대학교 토목공학과

금 동 현

서울시립대학교 토목공학과

1. 서 론

시추조사자료에는 단위 굴진장, 회수율, 암석의 상태, 절리의 발달상태, 절리의 형상등이 기록되고 동시에 RQD, 각 암층의 풍화상태, 균열의 발달상태등도 기록되며, 절리의 경사각(TCA: to core axis), 절리면내의 충전물, 절리면의 변질정도등이 기록되어 토목설계를 위한 자료로는 매우 훌륭한 자료가 된다. 그러나 지하수의 유로 및 토목 구조물의 안정성에 지대한 영향을 미치는 절리의 방향성, 절리의 충전물질(연약한 충전물질, 시추 굴진수에 의해 씻겨 없어짐) 등을 파악하는데는 많은 취약점이 있다.

이러한 문제점을 해결하고 절리의 발달상태를 정량적으로 표현하기 위하여 본 연구에서는 시추공 영상 촬영장치 기법중의 하나인 시추공내 영상촬영장치(BIPS : Borehole Image Processing System)를 이용하면 지하 암반의 균열상태를 직접 영상(Image)으로 확인할 수 있으며 암반의 불연속면이나 균열의 상태 및 암질상태를 명확하게 규명하여 현장 조사자료에 대한 신뢰도를 높일 수 있도록 하였다. 이러한 시추공 영상촬영에 의하여 분석된 절리의 방향성 및 발달상태를 분석하기 위하여 본 연구에서는 서울시 강남구 일원동의 대모초등학교 절개지 사면을 선정하여 시추조사, 시추공 영상촬영, 지표지질조사를 통한 절리 및 단층의 방향(주향과 경사), 형태 및 연속성등을 비교·분석하고 이러한 조사자료를 토대로 3차원적인 모델링을 제작함으로써 불연속면이 절개지에 미치는 영향을 파악하고자 한다.

2. 지반조사

본 연구지역의 절취사면은 녹생토로 덮여있으므로 현장에서 노두관찰이 매우 어렵기 때문에 절취사면의 상부와 하부에 부분적으로 관찰되는 노두에서 정밀 지표지질조사가 수행되었으며, 암반이 노출된 지역을 중심으로 암반의 특징을 조사하였다. 각 조사지역에서 조사된 불연속면(절리, 단층, 엽리, 암맥)의 경사/경사방향, 연장성 및 간격, 암반의 슈미트 해머수치, 파쇄정도, 풍화정도, 지하수 상태 등을 조사하였다.(Fig 1)

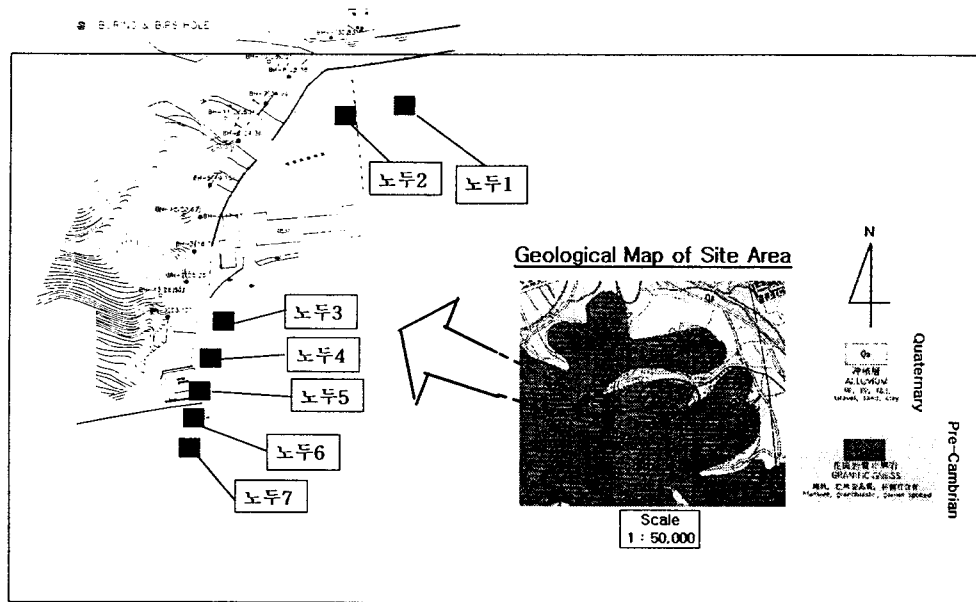


Figure 1. Site investigation of study area

1) 구성암반이 특징

본 연구지역의 암반은 선캠브리아기의 호상혹운모 편마암으로서 엽리구조가 잘 발달하고 있으나 여러 가지 지각변동에 의한 뚜렷한 방향성을 가지고 있지 않으며 석영질 광물이 1~3mm 두께의 띠형태(엽리, 편리)로 나타나고 있다.

2) 암석강도(슈미트해머 수치)

본 연구지역의 암석에 대하여 현장에서 수행한 슈미트 해머 수치는 SHV=30~50정도로 측정되며 이것을 일축압축강도로 환산하면 500~1500kg/cm²정도로 연암에서 경암까지 다양하게 분포하는 것을 알 수 있다.

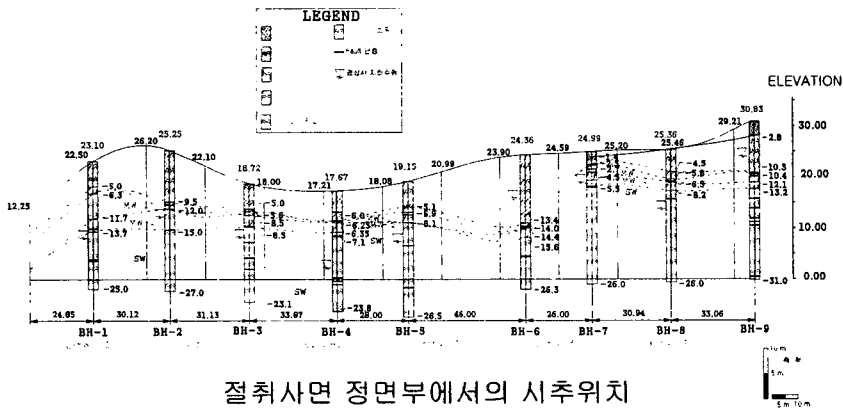
3) 불연속면의 발달

본 연구지역은 흑운모 편마암지역으로서 편마암의 엽리가 잘 발달하고 있는데, 주향의 방향성은 불규칙한 편이나 엽리는 경사 방향이 일반적으로 역구배이고 경사가 10°~20°로 완만한 편이다. 본 엽리를 따라서 비교적 연장성이 1m 이내로 짧으며 발달간격은 0.1~0.3m인 절리가 간혹 발달한다. 또한 본 절리는 약간 절리면의 굴곡도 상당히 있는 편으로서 사면 안정성 측면에서는 큰 위험 요인이 아니다. 또한 주로 연장성이 길고 경사가 70°~90°인 수직절리들도 많이 나타나는데 본 절리는 연장성도 3~5m로 긴 편이고 발달간격은 0.5~1m이며 절리면의 굴곡도는 거의 평편한 편으로서 절리면 전단강도는 낮은 편이다. 본 절리는 수직으로 가파르므로 본 절리를 따라서 국부적인 전도파괴 위험이 있다. 단층파쇄대가 국부적으로 나타나는데 단층틈새는 5cm 두께로서 적은 편이며 그 단층사이에는 파쇄와 풍화가 많으며 그 단층틈새로 간혹 엽기성 암맥과 석영맥이 충전된 경우도 있다.

3. 시추지질조사

시추지질조사는 절취사면에 인접하여서 13개의 시추조사를 수행하였다. 원래는 절취사면에 인접하여서 9개의 시추조사를 수행하려고 하였으나 사전에 추측한 것보다도 풍화토/풍화암이 5~14.8m로 깊게 나타나므로 풍화토/풍화암과 연암 경계를 따라서 대규모 붕괴가 우려(우리나라의 산사태가 빈발하는 특성임)되므로 본 풍화토와 연암 경계선의 기울어진 상태를 파악하기 위하여 9개의 시추한 위치에서 약 10m 후방에서 4개의 시추를 추가하여서 조사하였다(Fig 2).

시추주상도에 의한 암석 풍화, 불연속면, 지하수위의 발달 상태



절취사면 정면부에서의 시추위치

Figure 2. Weathering, discontinuity, groundwater level in core logging

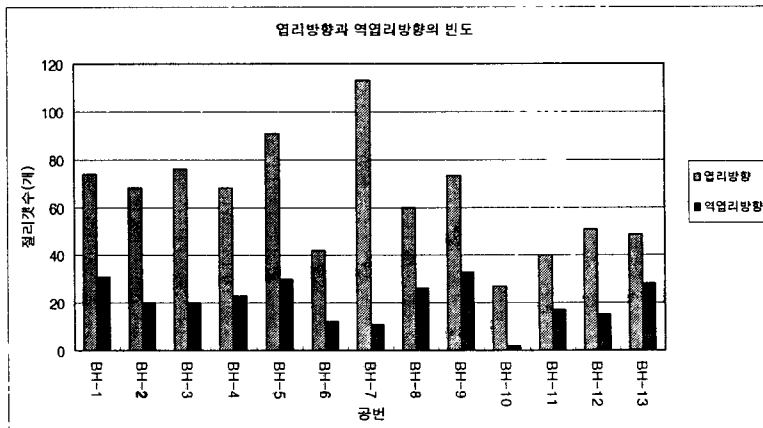


Figure 3. Relationship in foliation and joint of total core boring

시추주상도에 의한 결과 및 절리의 특성은 연장성이 짧은 절리의 경우 대체로 엽리방향의 절리들로 엽리 횡단 절리보다 그 빈도가 많았다. 엽리의 각도는 보통 20~40° 가 우세하였

다. 연장성이 긴 절리의 경우 주로 엽리의 방향보다는 엽리를 횡단하는 역엽리 방향의 절리
 들에서 많았으나 그 빈도는 엽리 방향의 절리보다는 현저히 적었다. 그러나 이런 절리들이
 나타내는 각도들은 주로 각도가 45° 이상으로 큰 고각의 경우가 많았다.

이와 같이 전체 시추공의 엽리와 절리의 관계 및 분포(Fig 3)와 각 암층별 색깔, 입도, 엽리
 각도와 거칠기 정도를 분석하여 다음과 같은 연구 절개지의 암석풍화, 불연속면, 지하수위의
 발달상태를 모식화 하였다.

4 시추공내 영상촬영(BIPS)에 의한 지반조사

본 연구에서는 9개의 시추공에 대하여 불연속면의 방향성(주향, 경사), Stereonet 투영, 균
 열내의 충전물 유무 및 균열면의 풍화상태, 균열의 형상(Roughness 및 Type), 균열의 벌어
 진 정도(Aperture Width)을 측정하였으며 암종의 변화와 Dyke Rock, Vein의 관입상태, 그
 리고 암석이 가지고 있는 일차구조(Primary Structure; Bedding, Foliation, Schistosity)와 구
 성광물의 입자상태와 크기를 파악하였다.(Fig 4,5)

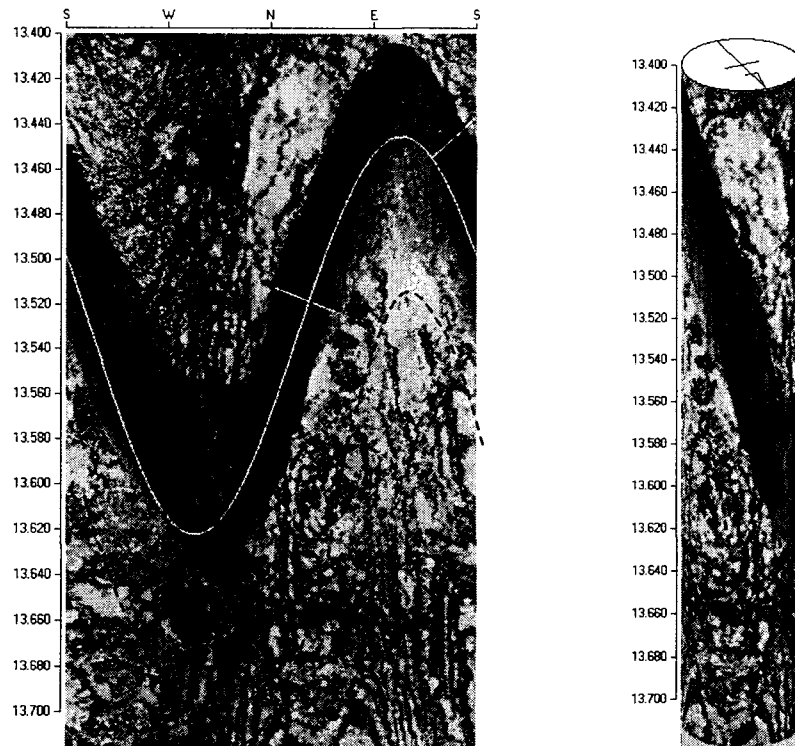


Fig 4. Fragmental zone of fault analysis of BH-9 in BIPS

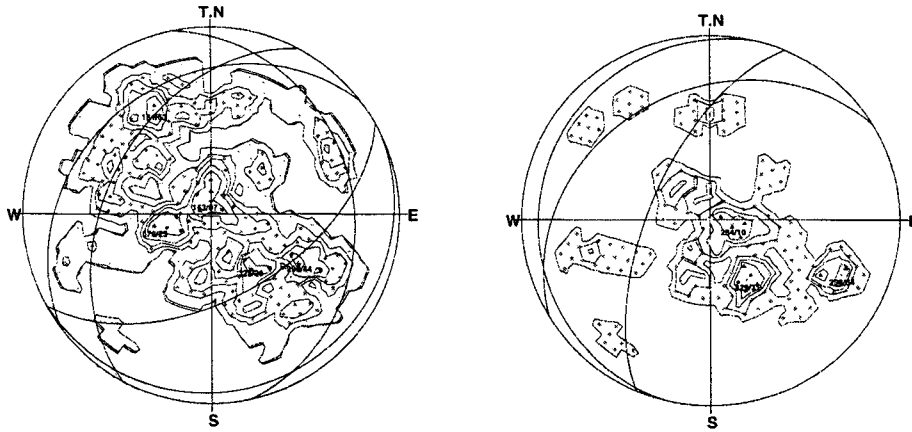


Fig 5. All discontinuity stereonet zone and Open Crack & Fracture stereonet

Stereonet 분석결과 본 조사공에 발달하는 불연속면들의 방향성을 살펴보면 다음과 같다. 전체적인 불연속면(All Discontinuity)은 주 방향은 BH-1:074/28 BH-2:054/19 BH-3:124/20 BH-4:101/25 BH-5:098/34 BH-6:252/55 BH-7:081/26 BH-8:090/30 BH-9:151/53,153/07 078 /25 이며, 부 방향은 BH-1:068/45, 053/46, BH-2:113/71, 236/70, BH-3:없음, BH-4:095/41 229/32, BH-5:061/23, BH-6:070/30, BH-7:없음, BH-8:021/84, BH-9:298/44,323/28 로 주방향에 비하여 비교적 분산된 양상을 보인다. 개구성 절리군인 Open Crack과 Fracture zone은 대체적으로 주 방향으로 비교적 집중된 방향성을 보인다. 편마구조(Gneissosity)는 060-095/20-40의 방향성을 보이며, 단층대(Fault Zone)는 BH-2.6.7.8.9에서 나타나며 190/77, 082/45, 103/74, 098/45, 252/04, 317/29, 296/40의 방향성을 보인다.

Rock mass condition 및 Distribution map 의 경우에는 조사공 전반에 걸쳐 불연속면이 발달되어 있으며, 13.0~15.0m, 23.0~24.0m 구간에서 집중적으로 개구성 절리군이 발달되어 있다. 13.4~14.8m(68~333mm), 23.9m (125mm) 구간에서 Fracture zone이 나타난다.

5. 시추지질조사와 시추공내 영상촬영(BIPS)의 비교분석 및 3차원 모델

1) 시추공내영상촬영(BIPS)와 시추조사의 비교

BIPS나 시추 코아를 이용한 주상도는 서로 같은 것이 다르게 표현되는 것뿐이므로 상호 보완을 위해 병용하는 것이 적절하리라고 보여졌다. 본 조사지역은 편마암 지역으로 편마암의 특성상 엽리를 따른 절리가 많아 시추 코아 조사로 판단한 것을 BIPS를 통해 확인함으로써 더욱 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있었다.

Table 1. comparison of BIPS & core boring investigation

조사방법 비교 항목	BIPS	시추 코아 분석	비고
절리의 연장성	판단 가능	판단 가능	수직 절리의 연장성 파악에는 시추코아 분석이 유리
절리의 주향, 경사	비교적 정확	주관적인 판단	BIPS가 비교적 정확하나 절리면이 일정치 않을시 오판 가능
절리의 거칠기	판단 힘들	정확한 판단 가능	
절리 충전 물질	판단 힘들	정확한 판단 가능	
Core Loss	정확히 판단 가능	과도한 판단의 우려	시추코아는 여러 가지 이유로 유실된 부분이 많은 것으로 나타남
풍화 정도	개략적인 판단 가능	정확한 판단 가능	
단층 추정	위치 판단 가능	구간 판단 가능	절리면 전후의 지층 상태로 파악 가능

2) 3차원 해석모델

지반조사와 시추지질조사, 시추공내 영상촬영(BIPS) 해석결과에 따른 모델링에서 한 시추공에 대해 좌, 우 시추공을 고려하여(즉 3개의 시추공) 평면, 썸기, 전도 파괴의 가능성을 검토하였다. 또한 절취면의 전면부 시추공 BH-1~9와 후면부 시추공 BH-10~13의 자료를 비교 검토하여 각 단면별 암반 풍화 상태도 입체적으로 검토하였다.(Fig. 6)



Fig 6. 3D Underground modelling using core boring and BIPS

6. 결 론

본 지역의 절취사면은 지질이 편마암지역으로서 매우 복잡하여서 암반의 파쇄와 풍화가 불규칙하고 심한 특이한 지역이다. 이와 같이 복잡한 지질에서 본 절취사면을 설계할 때와 같이 일반적인 토목공사를 위한 지질조사 단계에서는 충분한 검토가 수행될 수 없는 한계가 있다. 그러므로 본 연구에서는 정밀지표지질조사를 통한 육안으로 불연속면의 지반공학적인 상태를 파악하고 13개의 시추공에 의한 시추지질조에 의하여 각 암층을 구분하여 절리의 방향과 엽리의 방향에 따른 절리의 개수를 파악하였으며, 9공의 시추공내 영상촬영(BIPS)분석을 통해 절개지의 암반의 파쇄와 풍화정도를 판단하고 절리 및 단층의 방향과 경사, 연속성 등을 측정함으로써 본 지역의 절개지가 가지는 풍화암과 연암의 뚜렷한 경계를 파악하여 좀더 정밀한 안정성 평가를 할 수 있는 토대를 마련하였다. 또한 시추지질조사와 시추공내 영상촬영(BIPS)의 비교분석을 통하여 3차원 모델을 제작함으로써 본 연구절개지를 한눈에 파악할 수 있도록 정확하고 세밀하게 조사를 수행하였다. 이에 따라서 절취면의 안정성 평가와 보강대책이 이루어 진다면 절개지의 붕괴나 낙반사고 등을 사전에 예방할 수 있으리라고 판단된다.

참고문헌

1. 송무영, 고희재. 2000. “ 시추공 영상분석을 통한 지반구조 및 암상 해석원리와 그 사례”, 대한지질공학회 제 10권, 제2호 pp.175~193
2. 유병옥, 정형식, 1999. “Borehole Image Processing System에 의한 붕괴사면의 활동면 추정”. 한국물리탐사학회, 2회 학술발표회. pp.277-288]
3. 이수관. 1993. “화강암과 편마암 절취사면의 안정성연구”. 한국지반공학회 사면안정위원회 학술발표회 제2권. pp167~189
4. S. R. Hencher. 1987 " The implication of joints and studies for slope stability", John wiley & sons Ltd, New York, , pp.145-186
5. S. R. Hencher. 2000," Review of Design Report about the cutting slope at Deamo Primary School " Personal Discussion, Hong Kong, pp.6