

대도시에서 굴착공사후 암반안정성 평가연구

이 수 곤

(서울시립대학교 토목공학과 부교수)

Stability of Cutting slopes in an urban area

Lee, Su Gon

ABSTRACT

Cut slopes in an urban area are potentially hazardous because they are on an unstable gneiss area. To prevent any risk that might be posed by the slopes, a strict evaluation of the previously constructed site was necessary. Toward this goal, we have investigated the geological structure of the cut slopes using field mapping, field seismic survey, BIPS and bore hole logging, and also predicted a future water level after surveying the site. For a more precise interpretation, we have modelled the cut slopes on the basis of the data collected, operating programs such as UDEC, FLAC, SLOPE/W and TALREN. Besides, possible large scale slope failure along the boundaries between rock and soil has been examined, in which the limit equilibrium analysis is applied. Our result indicate that the anchor reinforcement method as the optimum method for its stabilizing effect, and its feasibility regarding restrictive building conditions of the site.

Key Words : Limit Equilibrium, Plane Failure, Rock Slope Stability

1. 서론

본 연구 대상 지역은 산 정상에서 북동쪽 능선부에 위치한 대규모 절취면으로서 절취면 하단부에는 많은 사람들이 모이는 운동장과 고층 건물, 도로가 인접한 인구밀도가 높은 대도시

지역이다.

기시공된 절취면에 대해 현장조사를 실시하여 안전성을 평가하고 불안정한 부분에 대한 대책 공법을 제시한다. 또한, 본 연구의 대상 사면이 암질의 변화가 심한 편마암지대이며 많은 사람들이 모이는 곳에 위치하고 있는 등, 특성상

216 이수곤

상세한 조사와 안전한 보강 공법을 채택함으로써 아무리 작은 위험 요소라도 보완하는 방향으로 절취면의 보강방안을 채택하여 많은 국민들이 안심하고 운동장을 이용하도록 하는데 그 목적이 있다. 절취면의 지질구조를 조사하는데는 탄성과 탐사, BIPS 및 시추조사를 실시하였고 지하수위는 실측을 통하여 장래 수위를 예측하여 사용하였다. 그리고 사면의 안정성을 분석하기 위해서 사면의 실제 실험자료를 근거로 하여 FLAC, UDEC, SLOPE/W등으로 사면을 모델링 하였으며 한계 평형법을 이용하여 암선을 따른 대규모 파괴 또한 고려하였다. 이를 통하여 가장 적절한 보강방법을 선정하여 사면의 안정성을 확보하고자 하였다.

II. 연구 대상 지역의 위치와 특성

2.1 연구 대상 지역의 위치

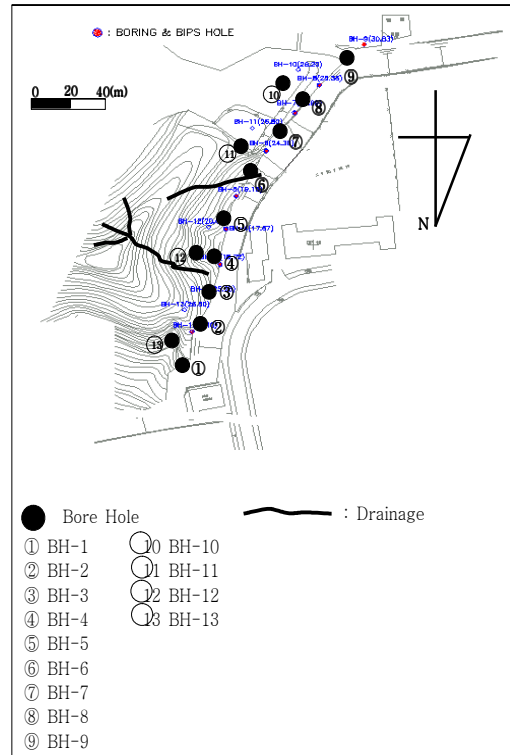
본 과업 지역은 산 정상에서 북동쪽에 위치한 절개로써, 절개지 하단부에는 많은 사람들이 모이는 운동장과 고층 건물, 도로가 인접하여 있다.

(그림2-1. 연구 지역 참조).

2.2 연구 대상 지역의 지질학적 특성

(1) 암석의 종류

본 지역의 지질은 선캠브리아기의 호상흑운모 편마암이 분포하고 있으며 엽리구조가 잘 발달하고 있다. 그러나 여러 가지 지각변동에 의해 뚜렷한 방향성을 가지고 있지 않으며 암석에 석영질 광물이 1~3mm 두께의 띠형태로 나타나고 있다. 본 지역의 암석은 대체로 흑운모가 주를 이루는 유색광물부분과 장석과 석영의 집합체인 우백질부분이 서로 교호하여 있다. 또한 기반암을 부정합으로 피복하고 있는 봉적층은 주로 점토질 모래와 자갈이 혼재되어 있으며 자



<그림2-1> 연구 지역

갈의 크기는 약 10cm 내외가 대부분이지만 그 이상의 것도 포함되어 있다.⁽¹⁾

(2) 풍화 상태

사면 하부 ~ 중간까지는 연, 경암이 분포하고 사면 중간 ~ 상부까지는 연암, 풍화암, 풍화토 순으로 분포한다. 풍화암, 풍화토의 두께가 약 10 ~ 5m까지 다양하게 분포하며 일부 계곡부에서는 풍화심도가 깊다. 또한 일부 단층이나 암맥 등을 따라서 부분적인 풍화를 받은 곳도 발견된다.

(3) 항공사진을 통한 불연속면 발달 상태

본 과업지역은 독립적으로 산계가 발달한 지역이기 때문에 선구조의 발달경향을 파악하기 어렵지만 정밀한 항공사진 판독결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- ▶ 주 구조선의 방향 : N25 ~ 30E, N40 ~ 50E
- ▶ 본 과업지역을 지나는 구조선의 방향 : N40 ~ 50E, N80 ~ 85W의 교차

(4) 현장 지표조사를 통한 불연속면 발달 상태

본 조사지역의 불연속면의 상태는 대부분 절리의 경우 연장성이 2m 이상으로 긴 수직절리가 분포를 하며 간격은 50cm-1m이고 경사는 70-90°정도이다. 수평절리의 간격은 10~30cm 정도이며 연장성은 1m이하이다. 평사투영망 해석 결과 수직절리는 사면의 경사방향과 반대인 전도파괴의 위험성이 있는 절리가 간혹 있으나 부분적인 보강으로 안정성을 확보할 수 있으며 수평절리의 경우는 대부분 연장성도 짧고 빈도수도 많지 않으나 간혹 평면파괴의 위험성이 있는 절리들이 분포한다.

본 지역에는 암맥과 단층이 분포하며 대체로 암맥의 경사방향은 불규칙하나 BH-6~9을 따라서 60-65°정도의 경사를 가지는 10m 이상의 연장성을 가지는 단층이 분포를 하며 이에 대한 보강이 요구된다. 엽리의 주향과 경사방향은 사면과 반대방향으로 이에 대한 위험성은 없는 것으로 판단된다.

(5) 지형

본 과업 지역은 해발 293.5m인 산의 북동측 산지부에 해당하는 지역으로 1980년대 말에 신도시로 건설되어 절취구간이 많으며, 조사구간의 남쪽과 동쪽으로 소규모의 하천들이 합류하여 큰 강으로 유입된 수계를 형성하고 있다. 또한 독립산계가 발달한 지역으로 뚜렷한 구조를 파악하기 어렵다.

(6) 사면의 위치 및 크기

본 사면은 운동장 끝부분에서 시작하여 도로변까지 이르는 약 300 ~ 350m 정도의 길이를 가지고 있다. 구배는 대부분의 사면에서 약 63° ~ 70°정도로 매우 급하고, 절취면의 높이는 20 ~ 29m 이다. 사면의 약 250 ~ 300m는

운동장에 접해 있으나 나머지 부분은 고층 건물 우측부와 약 5 ~ 10m 정도의 간격을 두고 접해있기 때문에 사면의 붕괴시 직접적인 영향을 받을 수 있다 (그림2-1. 연구지역 참조).

2.3 연구 대상 지역의 수리현황

(1) 수계로 본 수리현황

수계분석은 사면의 안정성에 많은 영향을 주는 물의 흐름과 지형구조를 판단할 수 있는 조사로써 본 조사지역에서는 두 개의 선구조가 본 절취면을 지나가고 있으며 수계를 분석한 결과 절취면 방향으로 흐르는 수계가 존재함을 알 수 있었다. 고지형도를 분석한 결과 기존에(1998년) 붕괴된 사면쪽(BH-4 ~ BH-5)으로도 수계가 존재함을 알 수 있었다

(2) 지하수위 측정에 의한 수리현황

지하수위는 2000년 9월 15일부터 10월 15일까지 약 한 달간 측정하였으며 측정 초기에는 강우량이 많았기 때문에 수위가 상승하는 경향을 보였고 측정 중반 이후에는 수위가 일정해지는 경향을 보였다.

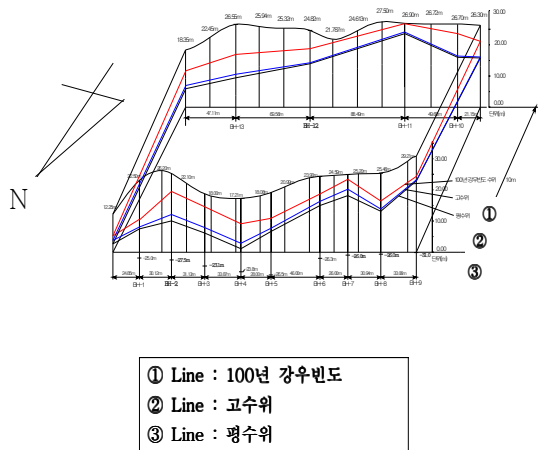
(3) 시추공의 수위 조사 결과 및 분석

본 연구 기간 내에 집중호우(태풍 사오마이)가 있었으므로 이를 토대로 간단한 강우량 분석을 실시하여 지하수위와 강우량의 일차 관계식을 만든 뒤 본 지역의 100년 빈도의 3일 강우 강도(평균적인 집중호우 기간)를 적용 그 수위를 추정하였다. 본 지역의 지하수위는 평시에는 지표에서 -16.7 ~ -3.3m인데 특히 BH-6,7 지역과 BH-11 지역이 지하수위가 높아서 각각 -7m와 -3.3m정도이다.

그런데 이번 조사기간중의 폭우시(2000년 9월 15일 ~ 9월 17일) 강우량 129.7mm가 내린후의 지하수위는 -15 ~ -2.8m로 약 0.5 ~ 1.7m의 지하수위 상승이 있었다. 그리고 100년 빈도의 강우 강도(712.4mm)를 적용하였을 때는 약 2 ~

218 이수곤

4m의 지하수위 상승이 예상되었다. 아래의 <그림2-2>의 본 조사지역에 대한 수위분포는 한달 간 수위를 측정한 평균수위와 집중호우에 의한



<그림2-2> 본 조사지역의 지하수위 분포

고수위를 표시하였으며(3일간 약 129.7mm), 이를 토대로 100년 빈도의 강우강도 중적합도가 가장 좋은 모델을 택하여 수위상승을 예측하였다. 수위예측 결과 본 연구에 고수위로 사용한 지하수위 지표 -3m는 안전측인 것으로 판단되었다.

Ⅲ. 절취면의 안정성 평가

3.1 절취면의 지반 강도정수 산정

풍화암과 풍화토의 강도정수는 전단시험을 통하여 얻어진 값을 현장 응력 수준에 맞추어 조정하여 사용하였으며 암반에 대한 강도 정수를 산정하는데 있어서는 GSI가 일반적으로 암반의 C, ϕ 값이 높은 것으로 알려져 있으므로 비교적 보수적인 값인 RMR에서 구한 암반의 C, ϕ 값과 절리면 전단 시험값을 비교하여 본 사면의 안전을 계산 및 설계에 사용하였다.

전반적으로 편마암이 풍화된 지역으로 상부 토

사층에 그 흔적이 남아있어 강도특성에 영향을 주고있다. 암반층에도 절리 파쇄부가 존재하여 일괄적인 설계 파라미터의 산정이 어려워 안전측으로 설계정수를 산정하였다.

(1) 매립층(BF:Back Fill)

BH-6, 7, 8, 9 인근에는 절취사면의 정상부 지표면에는 풍화잔류토의 상부에 매립층(Back Fill : 토층과 자갈의 혼합물)이 5~14.8m 정도의 두께로 존재하므로 BH-9 부근의 매립층내의 토사에 대하여 전단강도 시험을 수행하였다.

(2) 풍화잔류토(CW:Completed Weathered soil)

실제 응력수준에 맞게 판단하기위하여 전단시험의 자료중 높은 응력수준의 것을 채택하여 3~5m정도에서 채취된 시료의 현장조건을 반영하여 해석하였다. 그러나 풍화토에 엽리의 흔적이 지표에 평행하게 남아(잔류구조:Residual Structure)있으므로 C(점착력)값은 작게 판단되었고 설계시에도 작게 반영하였다.

(3) 풍화암(HW:Highly Weathered Rock)

RMR, GSI, 토질전단시험에 근거하여 판단하였으나 잔류 절리와 잔류 단층내에 잔류점토가 얇게 충전되는 경우가 있어 내부마찰각과 C값은 약간 낮게 판단하였다.

(4) 풍화암과 연암1의 경계층(Rock Head)

풍화암과 연암1의 경계층에는 파쇄대와 단층점토가 상당수 분포하고 있으며 또한 경계층의 경사가 운동장 방향인 절취면 방향으로 기울어져 있기 때문에 이에 따른 평면파괴의 가능성이 있다고 판단되었다. 따라서 이 경계층에 대한 물성치는 잔류 풍화토층과 연암층 사이에 대한 전단시험과 현장조사에 따른 판단에 따라 산정하여 사면안정을 위한 한계평형계산시에 적용하였다.

(5) 연암(MW:moderated Weathered Rock)

연암사이에 간혹 파쇄대가 존재하고 T.C.R.과 R.Q.D.가 현저히 적은 부분이므로 암석이 토층/풍화암 사이에 존재하는 취약한 지반인 경우는

연암1(MW1:Moderated Weathered Rock 1)로 설정하였고, 또한 TCR과 RQD가 높아서 대부분 양호한 연암으로 구성된 경우는 연암2(MW2:Moderated Weathered Rock 2)로서 구분하였다. 또한 현장조사와 시추공내 영상촬영(BIPS) 결과로서 판단하건데 단층 틈새에 점토등이 얇게 코팅되어 있는 경우는 특별히 이러한 특성을 고려하여서 이를 강도정수 산정시에 반영하였다.

(6) 경암(SW:Slightly Weathered Rock)

본 조사지역에 나타난 경암층은 암석이 매우 신선하고 RQD(%)도 높아서 암반내에 파쇄가 적은 편이므로 절리에 대한 영향도 다른 풍화암이나 연암층에 비해 적으므로 경암층에서의 내부마찰각과 점착력은 intact rock의 수준으로 판단하였다.⁽²⁾

<표3-1> 본 연구에 사용된 지반 강도 정수

물성지 층구분	단위중량 (ton/m ³)	점착력 (ton/m ²)	내부마찰각 (°)
매립토층	1.5 (토층내의 자갈까지 고려하면 약 2.0)	0.3	23.5
*매립토층, 자갈+ 풍화잔류토층	1.9 ~ 2.0	0.3 ~ 0.7	23.5 ~ 28
풍화토	1.8	0.5 ~ 1.0	28
풍화암	2.0	1.5 ~ 2.0	29 ~ 30
풍화토, 암- 연암1 경계	2.0	0 ~ 0.7	23 ~ 26.7
연암 I	2.2	3 ~ 5	30
연암 II	2.4	8	33
경암	2.6	10	35 ~ 38

*지표면부근에 매립층이 5 ~ 10m 두께로 풍화잔류토층의 상부에 불규칙하게 분포하는 경우가 있다. 이 경우에 매립층과 풍화잔류토층 상호간의 분포면적을 고려하여서 강도정수와 물성은 매립층과 풍화잔류토층과의 평균값을 산정하여서 결정하였는데 본 지역에서는 Back Fill+ CW는 단위중량=1.9 ~ 2.0t/m², ϕ =23.5 ~ 28, C=0.3 ~ 0.7을 적용하였다.

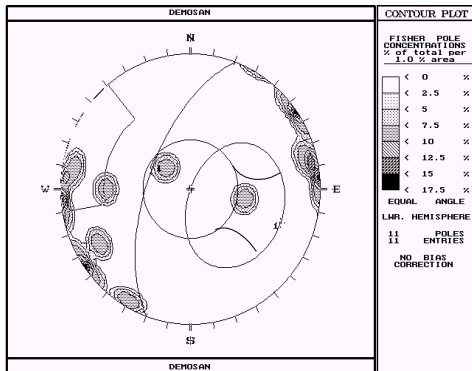
3.2 평사투영 해석

본 절취사면에서 불연속면의 발달특성상 위험하다고 판단되는 부분들을 각 세부분으로 나누어서 해석한 결과이다.

1. 각 세부구역별 평사투영망 해석결과

1) 좌측사면 (BH-1, BH-2, BH-3, BH-4, BH-5)

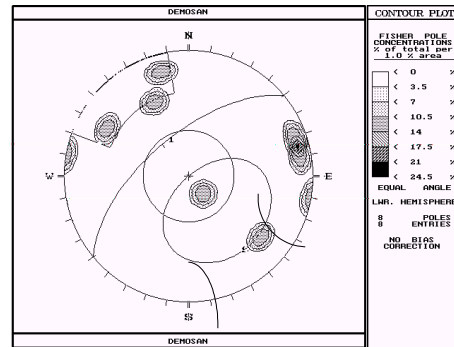
본 사면은 전체적으로 절취사면의 주향방향과 30 ~ 50° 주향차이를 가지는 수직절리들이 다수 분포하며 본 절리들은 연장성이 2m 이상인 긴 절리들로서 절리표면이 매끈한 편인데 이 절리들은 사면의 안정성에 영향을 끼치지는 못하나 본 고각인 수직절리들을 따라서 전도파괴의 위험성이 있는 역할을 하고 있다. 대체로 절리표면은 매끈하며 수직절리들은 연장성이 2m 이상으로 긴 절리들이 분포한다. 또한 역경사로 발달하는 엽리가 많은데 본 엽리의 방향에 평행한 절리들이 분포하는데 본 절리의 연장성이 20 ~ 30cm로 짧은 편이고 절리표면이 약간 거친편으로서 본 절리는 위험요인이 아니다. 그러나 시추공내 영상촬영자료에 따르면 BH-4, 5, 6에서는 N10 ~ 35E/35 ~ 36NW의 단층이 존재하는데 본 단층은 운동장쪽으로 기울어져서 평면파괴의 우려가 있다. 본 단층은 시추공 영상촬영자료에 따르면 BH-4, 5, 6에서 관찰되므로 본 단층을 따라서 록볼트 보강이 필요하다. 또한 시추공내 영상촬영자료(BIPS)에 따르면 BH-3과 BH-4 사이에는 두 개의 단층 N84E/29NW(BH-3)과 N35E/36NW(BH-4) 사이의 교선을 따라서 켜기 파괴의 위험성이 있다.



<그림3-1> 좌측사면의 평사투영망

2) 우측사면 (BH-6, BH-7, BH-8, BH-9)

본 사면은 좌측부와 거의 동일한 절리들이 많이 분포하며 이 지역 역시 연장성이 긴 수직절리가 다수를 나타내고 있다. 단지 이 사면에서는 사면 하부에는 N30E/6 5SE의 절리가 연장성이 20m 이상으로서 역구배가 되어서 대규모의 전도파괴 위험성이 있으므로 이 위험 부분에는 록볼트 등으로 부분적인 보강이 필요한 것으로 판단된다. 다른 절리들은 별다른 위험성은 없으나 N40E/65NW의 절리는 Daylight envelope 안의 영역에 포함되어 있어 위험하다. 그러나 이러한 절리군들이 나타나지 않기 때문에 큰 위험성은 없는 것으로 판단된다. 엽리의 방향은 다른 지역과 동일하게 20-30°의 경사방향으로 사면과 역경사로 발달하므로 본 엽리에 평행하게 발달하는 연장성이 짧은 절리들은 큰 위험요소가 아니다.



<그림3-2> 우측사면의 평사투영망

3.3 FLAC 해석 및 UDEC 해석

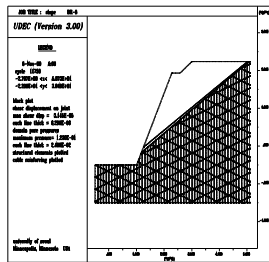
(1) 개요

본 연구에 사용된 수치해석의 사면의 안정성을 분석하기 위한 도구는 유한차분법을 이용한 FDM 해석기법의 FLAC과 암반을 절리나 단층 등으로 나누어진 블록들의 집합체라고 보고 블록들의 접촉면에서 발생하는 힘과 변위와의 관계를 운동방정식에 의거 해석함으로써 블록들의 거동을 예측하는 수치해석적 기법인 UDEC을 사용하여 해석하였다.

(2) 해석결과

- UDEC의 해석결과

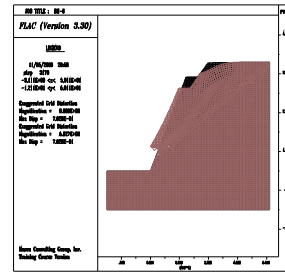
모든 경우에 있어 변위가 극히 작고 불평형력과 속도벡터가 모두 수렴하는 것으로 나타나 대체적으로 안정적인 것으로 판단되었다.



<그림3-3> UDEC 해석결과(BH-6 단면)

- FLAC의 해석결과

정상수위상태에서는 최대변위가 10mm 미만으로 대체적으로 안정적이나, 최고수위상태에서 BH-(7,10)과 BH-(8,10)을 제외한 다른 시추지역에서는 최대변위가 10~120mm 정도로 상대적으로 큰 변위를 나타내어 장기적인 안정성에 문제가 있을 것으로 판단된다. 이는 토층 경계면이 사면의 경사방향과 같은 방향으로 존재하기 때문에 이에 의한 영향이 큰 것으로 판단되며, 구배완화나 앵커 및 Rock-bolt의 보강으로 최대변위 10mm 이내의 작은 변위로 수렴하므로써 사면을 안정화 시킬 수 있는 것으로 나타났다. 또한 암반의 파괴거동은 절리나 단층이 지배적인 영향을 미치므로 이를 고려한 해석이 필수적인 것으로 판단된다.

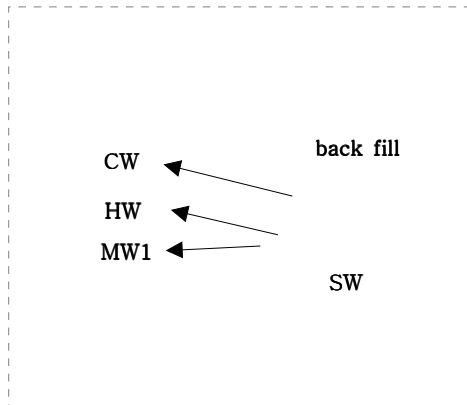


<그림3-4> FLAC 해석결과 (BH-6 단면)

3.4 원형파괴를 고려한 한계평형해석

(1)개요

사면을 여러개의 절편(Slice)으로 나누어 임의의 가상파괴면(Potential Slip Surface)에서의 한계평형 상태를 가정하여 활동모멘트(Driving Moment)와 저항모멘트(Resisting Moment)의 비를 안전율로 계산하며, 가상파괴면중 최소의 안전율을 나타내는 가상 파괴면을 예상 파괴면으로 가정한다. 이 최소 안전율은 사면의 안정을 위해서는 어떤 기준을 만족해야 하는데 본 연구지역과 같이 절취사면에 인접하여서 고층 건물과 운동장이 있는 경우에는 붕괴시 매우 위험하므로 사면의 안전율은 $F_s=1.5$ 가 안전측인 것으로 고려하였다.



<그림 3-5>구배완화전 사면안정성 해석사례 (BH-6 단면)

(2) 전체적인 해석결과

SLOPE/W 해석결과는 원호파괴가 토층까지의 파괴와 연암 I 까지 파괴를 구분하여 검토하였다. 구배 완화전의 안전율이 최고수위(사면정상부에서 -3m적용)의 경우 $F_s=0.31 \sim 1.08$, 정상수위(실제 현장수위계측결과)의 경우 $F_s=0.55 \sim 1.22$ 의 범위로 전체적으로 안전율이 낮은 것으로 판단되었다. (그중 BH-7번은 안전율이 최고수위시 1.08로 여전히 불안하며 단층 활동면이 있어 위험하다고 판단된다.)

<표 3-2> 각 단면별 SLOPE/W 해석결과

측점	사면안전율(F_s) : 최고수위(정상수위)		
	사면구배		
	1:0.5(구배완화전)	1:1(구배완화후)	앵커보강
BH-1	0.93(0.95)	1.37(1.81)	1.64(1.85)
BH-2	0.78(0.93)	1.15(1.48)	1.64(1.53)
BH-3	0.69(0.79)	1.52(1.74)	1.53(1.94)
BH-4	0.82(0.87)	1.19(1.19)	1.52(1.67)
BH-5	0.84(1.11)	1.47(1.56)	1.50(1.51)
BH-6	0.31(0.55)	0.43(0.79)	1.52(1.84)
BH-7	1.08(1.22)	1.29(1.31)	1.58(1.72)
BH-8	0.78(0.79)	1.11(1.15)	1.54(1.96)
BH-9	0.65(0.66)	1.90(2.15)	1.52(1.55)

그 결과 구배완화와 앵커보강을 통한 안정화 대

책을 검토하였다. 구배완화 해석결과에서 최고수위의 경우 $F_s=0.43 \sim 1.90$, 정상수위의 경우 $F_s=0.79 \sim 2.15$ 으로 구배완화를 하더라도 부분적인 앵커보강이 필요한 것으로 나타났다.

앵커보강 해석결과는 안전율이 최고수위의 경우 $F_s=1.50 \sim 1.64$, 정상수위의 경우 $F_s=1.51 \sim 1.96$ 으로 안전한 것으로 판단되었다

3.5 불연속면에 의한 직선적인 파괴를 고려한 한계평형해석

사면내의 활동력과 저항력사이의 관계로 안전율을 구하고 총 보강량을 산정할 수 있는 방법으로 인장균열이 있거나 없을시 평면파괴에 대해 적용할 수 있다.

평면파괴의 경우에 안전율은 “안전율=저항력/활동력”으로 구하며 수식으로 다음과 같이 표시되고 이 수식을 변환하여 안전율 1.5를 고려한 후 총 보강량을 산정하였다

여기서 직선파괴시 위험암괴의 후방에 인장균열이 있는 몇 가지 경우(①:첫 번째 인장균열 ②:두 번째 인장균열, ③:인장균열이 없는 경우)를 가정하여서 우기시 인장균열에 지하수압이 발생하는 것도 검토하였다.(그림 3-6참조)⁽³⁾⁽⁴⁾

$$F_s = \frac{CA + (W \cos \phi_p - U - V \sin \phi_p) \tan \phi}{W \sin \phi_p + V \cos \phi_p} \quad (1)$$

여기서

W = 활동토체의 중량

A = 활동면의 길이

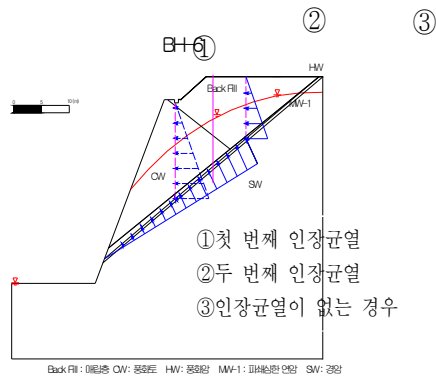
$$U = \frac{1}{2} \gamma_w z_w (H - z) \operatorname{cosec} \phi_p \quad (2)$$

$$V = \frac{1}{2} \gamma_w z_w^2 \quad (3)$$

총보강량 T 는

$$T = \frac{F_s W \sin \phi_p - CA - (W \cos \phi_p - U - V \sin \phi_p) \times \tan \phi}{\tan \phi_p \sin \beta + F_s \cos \beta} \quad (4)$$

로 구한다.



<그림 3-6> 토층과 암반의 직선적인 양압력 작용시 평면파괴 가능성 검토사례(BH-6단면)

IV. 결과 및 고찰

4.1 보강 방법별 비교 및 선정

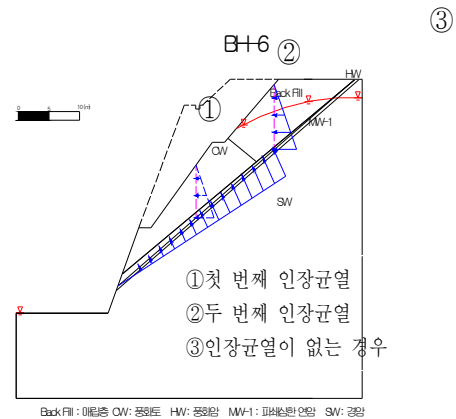
본 연구지역의 절취면에 알맞는 보강방안을 선정하기 위해 기존의 사면 안정공법중 적용 가능한 것을 선정하여 비교 검토하였다.

본 지역은 지반이 상부에 매립층, 풍화잔류토, 풍화암, 연암1(파쇄와 풍화가 심한 연암층), 연암2(양호한 암반층), 경암이 존재하고 풍화토/풍화암과 연암의 경계가 뚜렷하며 단층이 존재하므로 상기와 같은 복잡한 풍화특성과 불연속면의 특성을 모두 고려하여서 사면안정성을 분석하였고 각 경우에 따른 안정성과 보강대책을 모두 검토해본 후에 최종적으로 가장 최적의 보강대책을 제시하고자 한다. 현재 구배완화(1:1)하는 방법과 절취사면(1:0.5)에서 직접 앵커 등으로 보강하는 방법을 각각 검토하였다.

(1) 전체적인 구배 완화

사면을 안정화 시키는 방법중 가장 일반적이고 안전한 방법이 사면의 구배완화 방법이다. 본 지역은 사면의 경사가 급하고 높이가 25~30m 이므로 구배 완화하는 방법을 고려하였다. 구배를 완화하면 본 절취사면내에 있는 위험한 단층들은 거의 제거되므로 위험 요인을 사전에 제거

시키는 효과가 있다. 절취면의 하단부에서부터 상부로 10m까지는 현재 1:0.5의 구배를 그대로 유지하고, 그 상부의 풍화암/연암1의 10m는 1:1로 완만하게 하고 그 상부의 풍화토는 5~10m는 1:1.2로 완만하게 재절취한다. 여기서 10m 높이마다 소단을 2m폭으로 두는 방법을 고려하였다.



<그림 4-1> 구배완화방안 (BH-6 단면)

(2) 전체적인 앵커보강 + 부분적인 록볼트

본 지역의 절취사면을 직접적 앵커와 록볼트로 보강함으로써 안정화시키는 방법이다.

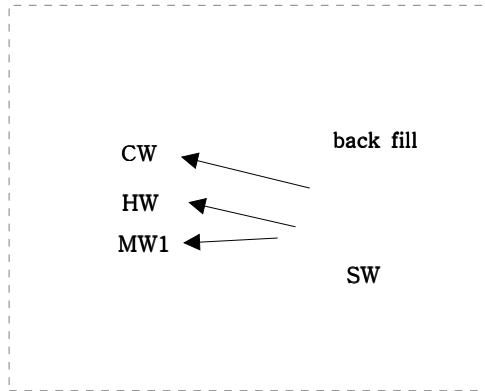
(2)-1. 전체적인 앵커 보강

앵커로 직접 보강하는 제 2안은 시추공 9개에 해당하는 단면에 대하여 사면의 안정성을 검토하였다. 본 절취사면은 지반조건이 취약하여서 예상했던 것보다는 풍화와 파쇄가 심한 편이고, 또한 운동장에 인접하므로 붕괴시 인명피해가 우려된다. 그러므로 장기적인 안정을 위하여 안전율 $F_s=1.5$ 를 확보하기 위한 앵커와 록볼트에 의한 보강물량을 각 단면 별로 검토하였다. 우선 전체적으로 앵커보강을 검토하는 방법은 다음과 같다.

① 원형 파괴의 검토: 매립층, 풍화토, 풍화암, 파쇄가 극심하고 풍화가 심한 연암1(T.C,R=50%, R.Q.D=30%미만인 암석)에 대해서 원형파괴의

224 이수곤

가능성을 검토하였다. 지하수위는 정상수위와 고수위(지표 -3m)를 고려하였다.



<그림4-2> 원형파괴를 검토한 앵커보강 (BH-6 단면)

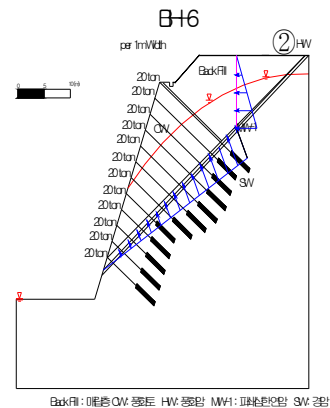
② 직선파괴의 검토: 절취사면의 중간~하부는 비교적 양호한 암반(연암2, 경암)으로 구성되어 있다. 그러므로 암반의 전형적인 파괴형태인 직선, 켜기, 평면파괴의 가능성을 검토하여서 위험 요소가 있으면 암괴가 앵커로 보강될 수 있도록 대책을 강구하였다. 위험암괴 후방에 존재하는 절리나 단층의 틈새로 지하수가 유입되어서 발생하는 몇 가지 인장균열<그림3-6참조>에 의한 양압력도 고려하여 안전율 $F_s=1.5$ 를 만족시키는 보강량을 산정하였다. 대부분 두 번째 인장균열(②)에 의한 보강량이 가장 많은 것으로 나타났다.<표4-1 참조>

상기의 ① 원형파괴의 검토와 ② 직선파괴의 검토를 동시에 만족시키는 보강량을 제시하였다.<그림4-3 참조>

<표 4-1> 인장균열별 보강량

시추공	$F_s=1.5$ 의 안전율확보를 위한 각 시추공별 보강량(ton)	비 고
BH-1	①	16.58
	②	19.21
	③	10.06
BH-2	①	84.87
	②	125.51
	③	105.68
BH-3	①	27.25
	②	48.59
	③	45.71
BH-4	①	22.75
	②	43.96
	③	32.12
BH-5	①	24.41
	②	44.60
	③	29.75
BH-6	①	127.21
	②	221.40
	③	201.47
BH-9	①	49.53
	②	53.42
	③	20.31

- ① 첫 번째 인장균열
- ② 두 번째 인장균열
- ③ 인장균열이 없는 경우
- BH-7, 8 은 단층에 의한 파괴가능성을 검토함



<그림4-3> 직선의 파괴를 검토한 앵커보강 (BH-6 단면)

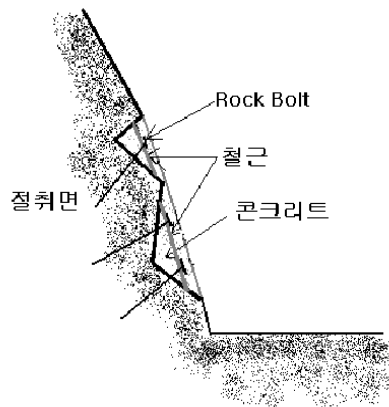
(2)-2 록볼트에 의한 부분적인 보강

(가) 부분적인 위험암괴를 보강

본 지역에는 BH-3과 BH-4 사이에서 두 단층으로 인하여 간혹 켜기 파괴가 가능하고, 또한 BH-5 부근에는 위험 단층으로 인하여 평면파괴가 가능하므로 록볼트 보강을 설계하였다.

(간격 $2 \times 2\text{m}$, $L=5\text{m}$, $\phi=25\text{mm}$) 이러한 록볼트는 국부적인 파괴에 대한 보강이므로 수치적인 계산이라기 보다는 암괴의 풍화-파쇄 정도에 의한 경험적인 보강방법을 따라 설계하였다.

(나) 절취사면 하부의 여굴된 부분을 보강
본 절취사면의 하부 BH-6,7,8,9 지점에는 시공시 발파로 인하여 역구배가 된곳이 많으며 하부지반이 파쇄와 풍화가 심하고 사면 전방으로 기울어진 단층이 단층군을 형성하고 있어 암반이 매우 취약하므로 평면파괴의 우려가 있는 암괴에 대하여 록볼트와 합벽(철근합벽콘크리트)으로서 보강하여야 한다. 본 부분은 재절취하거나 앵커와 록볼트로서 보강하는 경우의 어느 경우라도 꼭 보강이 필요하다.



<그림4-4> 부분적인 합벽 철근 콘크리트식 보강방안

V. 결론

본 연구지역은 흑운모 호상편마암으로 이루어진 지역으로써 파쇄가 많고 절취면의 전면으로 수계가 존재하는 등 많은 위험요소를 내재하고 있는 것으로 판단되었다. 따라서 안정성을 도모하기 위해서는 지층의 상태나 지질 구조를 알아야 했기 때문에 시추와 BIPS, 현장탄성파등을 실시하였고 지하수위는 실측하여 장래 호우시

수위를 예측하여 설계에 반영하였다.

설계시에는 본 지역의 위치가 사람이 많이 모이는 운동장 사면이라는 특수한 상황을 고려하여 발생할 수 있는 확률이 아주 작은 위험요소라도 제거하고자 하였으며 보강 방법간의 비교를 통하여 최선의 보강 방법을 선정하도록 하였다. 그리고 일반 국민들이 느끼는 시각적인 효과도 고려하여서 미관상 녹생토를 절취면 표면에 피복하도록 설계하였다.

본 사면의 안정성을 확보하기 위한 공법들을 비교하면 다음과 같다.

<표5-1> 보강방법 비교검토

구분	구배안정화공법	Anchor 공법
공법	주공법 ·절취면에 대한 영구 안정성 확보 ·절취면의 구배를 완화하여 활동력을 줄임으로서 안정성을 확보	·절취면의 현재구배 유지 ·Anchor의 인장력에 의해 전단저항력을 증가시켜 사면안정성 확보
	보조공법 ·녹생토+배수공	·배수공+피장+녹생토
장점	·안정성을 확실히 얻을 수 있는 공법 ·시각적인 안정감을 부여 ·장기 안정성 확보	·추가 용지 불필요 ·원지반 물성의 강화 효과 ·평면파괴에 대한 보강 고려
단점	·용지 보상의 문제 ·절토량 과다	·시공후 지속적 유지관리필요 ·대형원공장비로 시공성 저하
시공성	·시공 난해 (사람이 많이 모이는 운동장) ·공기 뿜음	·시공 용이 (사람이 많이 모이는 운동장으로 부지 넓음) ·건물 인접부는 인력시공 가능 ·공정이 간단하고 양호
안정성	매우 우수, 장기안정	우수
외관	시각적인 안정성 우수	·녹생토로 시각적인 문제해결

보강 방법별로 비교검토 결과 제2안인 앵커보강 방법이 가장 우수한 보강방법으로 판단되었다.

<그림5-1>은 앵커보강 상세도를 도시하였다.⁽⁵⁾

<사사>

이 논문은 1999년도 서울시립대학교 교내학술
연구조성비(자유공모 연구분야)의 일부지원으로
수행되었으며 지원에 감사를 드립니다.

<참고문헌>

1. 이수곤, “화강암과 편마암 절취사면의 안정성
연구” 한국지반공학회 사면안정위원회 학술발표
회 제2권, 1993, pp167-189
2. 이수곤, “암석과 불연속면의 분류 및 공학적
특성” 토목시공 고등기술강좌(seriesⅢ), 대한토
목학회, 1994, pp.253-338
3. E. Hoek & J. W. Bray "Rock slope Eng
ineering", The Institution of Mining and
Metallurgy, London, 1981
4. S.R.Hencher " The implication of joints and
studies for slope stability", John wiley & sons
Ltd, New York, 1987, pp.145-186
5. S.R.Hencher " Review of Design Report
about the cutting slope at Deamo Primary
School " Personal Discussion, Hong Kong
,2000, pp. 6