

정밀 지표지질조사를 이용한 단층 파쇄대 지역의 사면 안정성 연구

이 수 곤 · 양 홍 석
(서울시립대학교 토목공학과)

A study on rock slope stability in fracture-zone area using a close
geological investigation

Lee, Su Gon · Yang, Hong Suk

ABSTRACT

Recently, rock slopes are required according to development of life quality and growth of urban area. Mountain area's cutting is necessary for effective land use and satisfying land demand.

Especially, Gneiss area's geology structure is very disturbed and fractured by bend and fault effect. Slope stability analysis is difficult matter because of this disturbed geology structure.

So, this paper has been showed the method of a close geological investigation and rock slope stability analysis in fracture-zone area.

Key Words : geology structure, fault, Slope stability analysis, field investigation

I. 서론

일반적으로 변성암인 편마암 지역은 변성작용에 의한 습곡과 단층작용의 영향으로 지질구조가 대체적으로 교란되어 있다. 또한, 대규모 단층대가 존재하고 있으며 그 단층 파쇄대 주위로 파생되는 크고 작은 단층들로 인하여 다른 지반구조를 가진 사면보다 풍화 및 파쇄가 불규칙하게 분포하기 때문에 사면의 안정성 분석에 어려움이 있다. 본 연구는 이동~용인간 도로공사 절취사면의 좌,우측 사면에 대한 사면안정성 분석 사례연구로서 단층 파쇄대 지역에서 서로 다른 지반특성을 가진 좌,우측 사면에 대하여 정밀 지표지질조사를 통하여 각 종 불연속면과 지반공학특성을 파악 하고 기 조사된 자료와 실내시험 및 현장시험자료를 바탕으로 각종 해석프로 그램을 이용하여 해석한 후 사면의 안정 성을 분석하였다.

II. 지반조사

2.1 지질특성

본 지역의 지질은 선캠브리아기의 변성암계인 편마암류와 편암류 및 이를 관입한 암맥들로 대별되는데 선캠브리아기의 변성암체가 거의 전역을 차지한다. 선캠브리아기의 변성암체는 높은 변성도를 야기한 광역변성작용을 받은 퇴적기원의 변성암류로 형성되어 있으며 수차의 동력변성작용으로 지질구조가 심히 교란되어 있다. 편암체가 편마암의 상부에 분포한다. 본역 선캠브리아기의 변성암체의 지질구조는 여러 단계에 걸쳐 습곡 및 단층작용에 의해 심히 교란되어 있으며 이에 마그마 기원 물질의 첨가 또는 교대작용이 동력변성작용 도 중 또는 끝난 후에도 계속되어 절리가 매우 많은 암반을 형성하게 되었다. 지질구조는 시대를 달리한 여러 단계에 걸쳐 습곡과 단층작용을 몇 번 씩 받았으며 이에 따라 모든 변성암체는 교란된 상태에 있다. 그 후 이러한 교란작용에

규장화 작용마저 첨가되어 기존의 모든 선구조는 상당히 모호해져 전반적인 지질구조는 매우 복잡한 양상을 띠게 되었다. 본 지역에선 암체의 연장발달과 엇리 또는 편리구조의 방향이 반드시 일치하지 않는다.

● 단층 : 용인 시를 지나는 남북방향의 대 수직 단층인 용인단층은 50km 이상의 연장선을 갖는다. 이는 흑운모 편마암, 규장편마암 그리고 우백색 편암을 단절하는데 용인시 남쪽 무네미 고개에서 단층선에 따른 파쇄대가 분포한다.

● 습곡 : 석영운모편암 지대에서 $N5^{\circ} \sim 15^{\circ} E$ 의 습곡축을 갖는 향사구조로 축부를 따라 흑운모 편암 또는 편마암체가 협재된다.

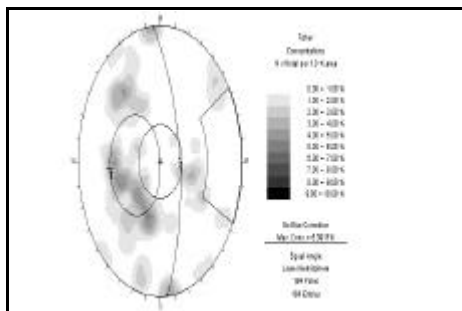


<fig 2.1> 본 연구지역의 지질도

2.2 정밀 지표지질조사를 통한 단층 파쇄 대 지역의 지반공학특성파악

1) 좌측사면

본 지역의 절리 특성은 매우 불규칙하게 나타나고 있으며 대부분 3 ~ 10m의 연장성을 가지는 절리와 연장성이 1 ~ 3m의 짧은 절리들이 분포하고 있다. 이러한 절리들은 본 지역에 대규모로 분포하는 용인단층에 의해 파쇄가 심하며 매우 교란되어 있다. 편리방향 및 용인단층 방향의 절리들이 본 사면의 주 절리이나 연장성은 짧은 편이다. 본 지역에 수 십 km의 연장성인 대규모 용인단층이 관통하며 그에 파생되는 크고 작은 단층들이 발달하는데 단층의 연장성은 20m 이상으로 매우 긴 편이며 단층틈새가 비교적 많이 벌어져 있는데 그 틈새는 약 1 ~ 1.5cm 정도의 충진물(단층점토, clayey silt, 작은 암석알갱이 등이 충진됨)이 있어 불연속면의 전단강도에도 취약한 영향을 주고 있다. 본 사면의 우측부에서 발생하는 단층 파쇄대 지역에는 3 ~ 4개의 교차되는 단층과 절리의 교선으로 인하여 켜기 파괴와 평면파괴가 여러 곳에서 발생된다.

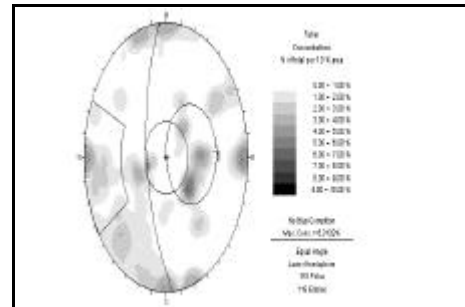


<fig 2.2> 좌측사면의 불연속면 분포 특성

2) 우측사면

본 지역은 변성암인 편마암 지역으로 편리구조가 발달해 있으나 용인단층의 영향으로 교란이 매우 심하여 정확한 방향성은 발견되지 않는다. 본 절리는 연장성이 1 ~ 2m 정도로 매우 짧은 편이며 이 절리들이 본 사면의 주 절리이다. 이 절리들로 인하여 평면파괴 및 켜기파괴가 발생하며, 또한 본 경사된 절리들을 끊어주는 수직 절리들이 곳곳에 발달하고 있어서 대체적으로 암반이 붕괴될 위험한 상태이다. 또한 수 십 km의 연장성인 대규모 용인단층이 관통하며 그에 파생되는 크고 작은 소규모 단층들이 발달하는데 일반적으로

단층의 연장성은 20m 이상으로 매우 긴 편이며 틈새가 비교적 많이 벌어져 있는데 그 틈새는 약 1 ~ 1.5cm 정도의 충진물(단층 점토, clayey silt, 작은 암석알갱이 등이 충진 됨)이 있어 불연속면의 전단강도에도 취약한 영향을 주고 있다.



<fig 2.3> 우측사면의 불연속면 발달 특성

2.3 단층파쇄대의 풍화특성 파악

1) 좌측사면

본 지역은 단층 파쇄대로서 많은 단층이 발달하며 또한 많은 암맥들도 관입되어 있어서 풍화가 불규칙한 편이다.

전체적인 암반의 풍화특성은 상부 지표면에서 4 ~ 7m 정도로 풍화토층이 분포하며 그 하부에는 풍화암층이 약 10 ~ 20m 정도 분포한다. 그 하부에는 연암질이지만 파쇄가 심한 모암인 편마암과 이 모암을 부분적으로 관입한 두께가 1m ~ 5m 정도의 연암질 산성 암맥들이 서로 혼재하여 나타나는 복잡한 지반이다.

암맥의 경사방향은 사면의 발달 방향과 수직방향으로 70~80° 정도 분포하고 있어서 암맥은 사면에 부분적으로 분포한다.

그러므로 본 좌측사면의 하부지반은 전체적으로 볼 때 파쇄가 심한 암반이다. 이와 같이 좌측사면은 전체적으로 취약하므로 우기시 대규모 원형파괴의 가능성도 상존한다.

2) 우측사면

본 지역은 상부에서 하부로 점이적인 풍화상태를 보이고 있으며 상부 지표면에서 3 ~ 5m 정도로 풍화토층이 분포하

며 그 하부에는 풍화암층이 7 ~ 10m 의 두께로 분포한다. 이와 같이 현장탄성과 탐사에 의한 암반선 추정결과는 그 하부에는 연암이 대부분이나 단층 파쇄대 주변에는 풍화암이 부분적으로 분포한다(단층 파쇄대에는 파쇄가 심한 연암과 풍화암이 혼재).

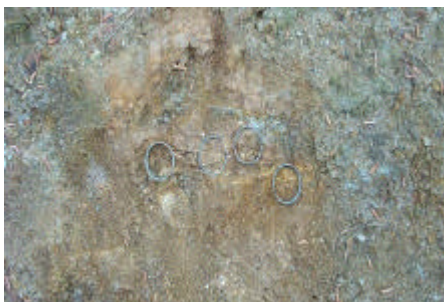
III. 실내시험을 통한 토질 및 암석의 강도특성

토질 및 암석의 강도 특성을 파악하기 위하여 실내에서 토질전단시험, 풍화암 전단시험, 점하중 시험, 절리면 전단시험, 기본 물성시험 등을 실시하였다.

3.1 토질 물성 및 토질/풍화암 전단 시험

토질의 물성치와 토질/풍화암의 전단 강도 정수를 파악하기 위하여 현장에서 시료를 채취하여 실내에서 시험을 실시하였다. 그러나 풍화암을 일반적인 실내 암석 실험으로 강도정수를 구하기에는 강도가 약하고 부서지기 쉬워 Core 형태의 시료를 제작하는 데에는 어려움이 있다. 따라서 본 시험에서는 이 풍화암으로 분류되는 재료를 토질의 직접전단시험에 맞추어 점착력과 마찰각을 구하도록 하였다.

시료는 조사지역에서 행해졌으며 3 개 지역에서 각각 10 개씩 직접 전단링으로 채취하였다(시료 채취 위치는 그림 4.1 참조). 시료의 채취방법은 사면의 하부에 존재하는 점토의 표면을 어느 정도 제거한 이후 Sliding 의 방향을 고려하여 같은 방향으로 실내에서 시험할 수 있도록 채취하였다.



<fig 3.1> 토질전단시험 시료 채취 전경

SAMPLE NO.	DEPTH(m)	CLASSIFICATION	Wn(%)	Gs	LL	PI	USCS
1		Silty sand	19.5	2.65	31.5	8.2	SM

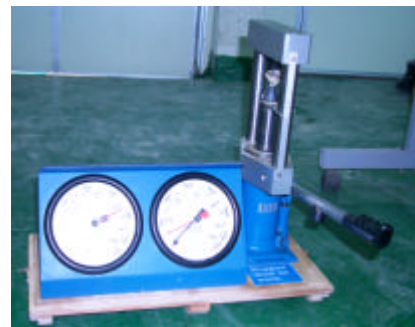
<Table 3.1> 토질 물성시험 결과

위 치	구 분	점착력 C(t/m ²)	내부마찰각 φ(°)
좌측사면	좌측부	0.17	26.4
	중간부	0.21	27.5
우측사면	중간부	0.15	26.7

<Table 3.2> 토질/풍화암 직접전단 시험결과

3.2 점하중 강도 시험

실내시험에서는 편마암이 가지는 편리구조에 따른 강도특성을 분석하기 위하여 점하중 강도시험을 수행하여 편리방향에 평행한 경우와 수직인 경우 2 가지의 강도특성을 분석하였다. 분석한 결과 편리구조에 수직과 수평으로 점하중 강도시험을 실시한 결과 수평일 때의 강도가 적게 나왔으며 이러한 특징들을 해석시 적용하였다.



<fig 3.2> 점하중 강도 시험 전경

위 치	암석종류	편마구조	점하중강도 Is(50), (kg/cm ²)	환산 일축압축강도 (kg/cm ²)
좌우측 사면	편마암	수직	72.2	11733.5
		수평	48.5	1163.0
	편암	수직	69.2	1660.80
		수평	20.3	487.2
	풍화된	수직	21.3	553.9

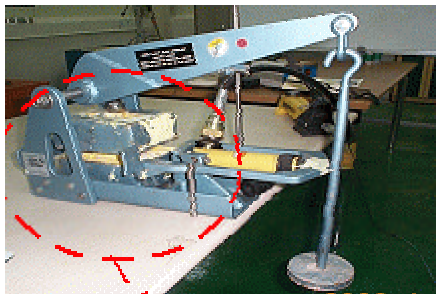
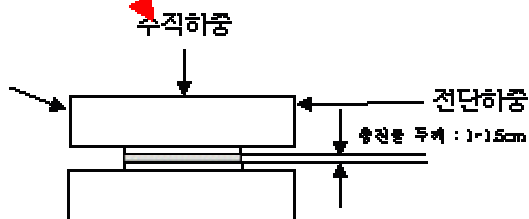
	편마암	수평	15.1	362.4
	산성암맥	-	19.9	477.6

<Table 3.3> 점하중강도 시험결과

3.3 절리면 전단강도 시험

암석의 절리면 전단 시험에서는 본 사면에서 빈번하게 나타나는 불연속면 사이로 충전 물질이 끼여 저 있으므로 절리면 전단시험을 수행하여 충전물이 끼여져 있는 경우와 충전물 이 없는 경우를 분석하여 불연속면의 전단특성을 분석한 결과 충전물이 있는 경우에 점착력은 충전물이 없을 때보다 약 $1.5(t/m^2)$ 가 작게 측정 되었으며 내부 마찰각은 약 10° 정도 낮게 측정되었다.

또한 본 사면에 나타나는 수많은 단층들을 고려하여 절리면에 산화철이 coated 되어 있는 편마암과 slicken-sided 편마암, 신선한 편마암을 나누어 채취하였으며 이러한 전단강도특성을 불연속면의 지반강도정수로 산정하여 한계 평형 해석과 수치해석(UDEC)에 적용시켰다.



<fig 3.3> 충전물을 포함한 불연속면의 전단강도 특성을 분석하기 위한 전단시험 전경

구 분		충진물 유무	최대강도 및 잔류강도	점착력 C (t/m^2)	내부 마찰각 $\phi(^{\circ})$
산화철이 착색된	sample-1	○	peak	1.5	23.97
			residual	-	-

			15.1	362.4
			residual	1.1 28.42
편마암 Slicken sided 편마암	sample- 2	× ○	peak	2.8 30.87
			residual	- -
		×	peak	7.6 25.75
			residual	4.4 25.33
산화철이 착색되고 변질된 편마암	sample- 3	○	peak	0.8 18.88
			residual	- -
			peak	4.9 26.06
			residual	0 23.71

<Table 3.4> 암석 절리면 전단 시험 결과

IV. 현장시험 및 조사

4.1 불연속면 강도 시험 및 형상 측정

본 연구 지역의 좌,우측 사면에서 각각 2 개씩 불연속면을 선정하여 슈미트 해머 타격에 의하여 JCS 를 측정하고 프로파일게이지에 의하여 JRC 를 측정하였다. 본 사면의 특성상 단층이 많고 편리구조가 발달하므로 본 사면에 가장 대표적인 절리군을 선정하여 현장시험을 수행하였다.

4.1.1 불연속면 강도 시험

좌우측 사면에서 슈미트 해머를 이용하여 불연속면 강도를 측정한 결과 모암인 편마암이 15-25 정도의 풍화암의 강도를 나타낸다. 그 사이로 40-45 정도의 연암이상의 산성암맥과 기반암이 교호하여 나타나고 풍화가 심한 산성암맥은 풍화암 정도로 판단된다.



<fig 4.1> 슈미트 해머를 이용한 불연속면 강도 측정 전경

4.1.2 불연속면 형상 측정

좌우측 사면에서 가장 대표적인 것으로 판단되는 세 개의 불연속면에서 프로파일 게이지를 사용하여 불연속면의 형상을 측정한 결과 JRC 의 값은 약 2~4 정도 인 것으로 판단된다.



<fig 4.2> 프로파일 게이지를 이용한 불연속면의 형상 측정 전경

시료 번호	JRC	절리면 형상
좌측-1	3.46	
좌측-2	2.43	
우측-1	3.98	

<Table 4.1> 프로파일 게이지에 의한 조사사면의 불연속면의 형상 측정결과

4.2 암반분류(RMR)를 통한 지반강도정수 산정

RMR 시스템은 Bieniawski(1973)가 제안하였으며 Lauffer(1958)의 무지보 유지시간 분류법이나 Wickham 등(1972)의 RSR 을 기초로 개발되었다. RSR 은 특히 정량적이고 여러 가지 변수들에 가중치를 두어 종합화한 것으로 이후의 여러 가지 분류에 크게 영향을 미쳤다.

RMR 의 항목은 1) 무결암 강도(15 점), 2) 코어 압질 지수 즉 RQD (20 점), 3) 평균 절리 간격(20 점), 4) 절리 상태(30 점), 5) 지하수 상태(15 점) 등이며 이들 항목의 점수를 합한 것을 기초 RMR 이라 한다.

RMR 에 따른 강도정수	RMR 점수	점착력 C(t/m ²)	내부마찰각 φ(°)
------------------	-----------	-----------------------------	---------------

구 분				
좌측	단면 1	풍화암	33	10 ~ 20
		연암이상	58	20 ~ 30
	단면 2	풍화암	33	10 ~ 20
		연암이상	42	20 ~ 30
우측	단면 1	풍화암	32	10 ~ 20
		파쇄가 심한 연암	35	10 ~ 20

<Table 4.2> RMR 분류 결과

4.3 Hoek & Brown 파괴기준식에 의한 암반의 강도정수 산정

Hoek 및 Hoek et al.(1995)은 서로 다른 지질조건에 대한 암반 강도의 감쇠지수를 추정하기 위하여 GSI 를 소개하였는데, 이 GSI 라는 변수는 절리를 포함하고 있는 암반의 강도는, 무결암 시편 자체의 물성치뿐만 아니라 무결암 시편들이 미끄러지거나 회전될 수 있는 자유도에도 영향을 받는다는 개념에서 출발하였다. 따라서 현장 조사의 결과로 얻은 GSI 값과 무결암의 강도, 그리고 암석의 종류에 따른 m_i 값을 적용하여 암반의 강도 정수를 얻는 방법이다.

구 분		GSI에 따른 강도정수	GSI	m_i	σ_{ci} C(MPa)	점착력 C(t/m ²)	내부마찰각 φ(°)
좌측	단면 1	풍화암	28	25	36.2	178.0	27.76
		연암이상	53	25	82.5	395	40.85
	단면 2	풍화암	28	25	36.2	178.0	27.76
		연암이상	37	25	82.5	293.0	36.58
우측	단면 1	풍화암	27	25	36.2	175.0	27.50
		파쇄가 심한 연암	30	25	36.2	184.0	28.29

<Table 4.3> Hoek & Brown 파괴기준식 해석 결과

V. 지반강도 정수 산정

본 사면의 지반강도정수 산정은 풍화 잔류토층의 경우에는 토질/풍화암 전단 시험에 의한 수치로 해석하였으며 암반에서는 RMR 분류와 Hoek & Brown 파괴기준식 해석결과의 비교분석과 지반조사 자료를 참고하여 가장 본 사면에 적합한 물성치를 산정하였다. 불연속면의 강도 정수의 산정은 암석 절리면

전단시험과 Barton 의 경험식을 사용하였다. 각 종 시험과 조사 결과의 분석을 통하여 얻은 지반강도 정수는 다음과 같다.

구분			강도정수	단위중량 $\gamma_s(t/m^3)$	점착력 $C(t/m^2)$	내부 마찰각 $\phi(^{\circ})$
우측	단면 1	풍화잔류토	1.6	0.17	26.4	
		풍화암	2.0	4.0~6.0	28~30	
		연암이상	2.4	15~20	30~33	
	단면 2	풍화잔류토	1.6	0.21	27.5	
		풍화암	2.0	4.0~6.0	28~30	
		연암이상	2.4	15~20	30~33	
좌측	단면 1	풍화잔류토	1.6	0.15	26.7	
		풍화암	2.0	4.0~6.0	28~30	
		파쇄가 심한 연암	2.4	6.0~8.0	28~30	

<Table 5.1> 지반강도 정수 산정 결과

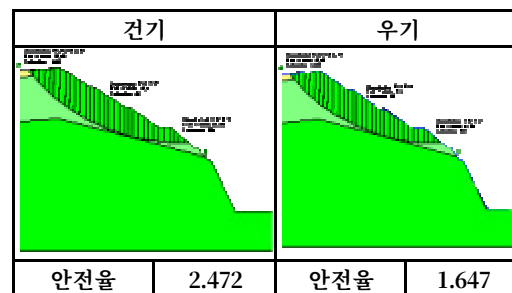
VI. 사면안정성 분석결과

본 사면의 좌 우측에 대한 사면 프로그램 해석은 건기시와 우기시를 나누어 해석하였는데 본 사면에서는 지하수의 유출이 많으므로 우기시 만수위로 고려하여 해석하였다. 원형파괴 및 직선적인 평면파괴 및 켜기파괴를 검토한 결과 원사면(구배 완화전 사면)에서는 우기시 모든 해석프로그램에서 위험한 것으로 나타났으며 구배완화(1:1) 후에는 안전한 것으로 나타났으나 국부적인 켜기 파괴 구간(좌측사면)에서는 록볼트의 보강이 필요한 것으로 나타났다.

6.1 원형적인 파괴형태로 사면이 붕괴될 가능성을 검토

원형파괴 해석은 한계평형 해석 프로그램인 SLOPE/W 와 연속체 사면의 수치해석프로그램인 FLAC 을 사용하여 해석하였다. SLOPE/W 해석결과 우측 사면에서는 안전율이 건기 시 대체적으로 안전측으로 분석되었으나 우기시에서는 풍화잔류 토층에서만 부분적으로 위험한 것으로 분석되었다. 좌측사면에서는 건기 시에서는 대체적으로 안전측으로 분석 되었으나 우기 시에서는

하부의 파쇄가 심한 연암층이 존재하므로 전체적으로 위험한 것으로 분석되었다. 구배완화 (1:1)후 해석에서는 좌측 사면과 우측사면 모두 건기 시와 우기시 안전율이 안전 측으로 판단되었다. FLAC 해석결과 우기시 좌측사면과 우측사면에 구배완화 전에서는 불평형력이 수렴되지 않으며 사면전반에 걸쳐 소성영역이 발생 하였으나 구배 완화 (1:1)후에서는 불평 형력이 수렴하였으며 사면의 안정성에 영향을 미치는 소성영역이 발달하지 않아 비교적 안전측으로 판단되었다.



<fig 6.1> 원형파괴 해석 예(SLOPE/W)

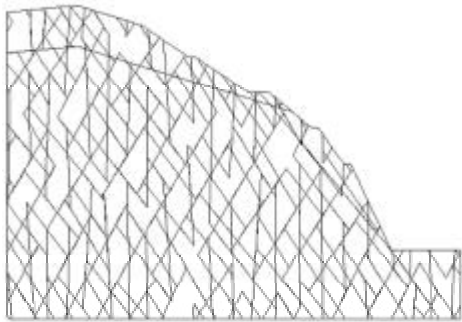
zone	파괴형태	구배완화전 안전율		1:1 구배완화후 안전율	
		건기	우기	건기	우기
좌측	풍화잔류토층	1.805	0.888	2.499	1.285
	풍화암층	2.472	1.647	2.665	1.919
	파쇄가 심한 연암층	2.691	2.013	3.043	2.282
좌측	풍화잔류토층	1.251	0.488	1.556	1.306
	풍화암층	2.802	2.06	3.579	2.842
	파쇄가 심한 암층	2.803	2.326	3.093	2.358
우측	풍화잔류토층	0.975	0.281	1.218	1.201
	풍화암층	2.525	1.855	3.163	2.445
	파쇄가 심한 연암층	3.212	2.534	3.572	3.854

<Table 6.1> 원형파괴 해석 결과

6.2 직선적인 파괴형태로 사면이 붕괴될 가능성을 검토

직선적인 파괴해석에서는 평면파괴를 고려한 한계 평형식을 사용하였으며 평면 파괴 해석은 수 계산으로 켜기파괴 해석 은 SWEDGE 프로그램을 사용하여

해석 하였다. 평사 투영 해석에 의해서 판단 한 결과로서 평면파괴 및 켜기파괴 전도 파괴의 구간을 나누어 각 단면과 위험 불연속면군을 분석한 후 해석을 실시하였다. 평면파괴와 켜기파괴의 가능성이 있는 불연속면군들이 많이 분포하였으며, 용인단층에 의한 전도 파괴의 가능성이 있는 불연속면군도 부분적으로 분포하였다. UDEC 에 의한 직선적인 파괴 해석에서 좌측사면과 우측사면은 구배 완화 전 해석에서 우기 시 불평형력이 수렴되지 않고 소성 영역이 사면전반에 발생되어 위험측인 것으로 분석되었으나, 구배 완화후 (1:1)에서는 불평형력이 모두 수렴되었으며 사면의 안정성에 영향을 미치는 소성 영역도 발달하지 않아 대체로 안전측으로 분석되었다.



<fig 6.2> 직선적인 파괴 해석 예(UDEC)

구분			분석결과	최대변위	face 면의 최대변위
좌 측	단면 1	구배완화전	건기	1.136E-03	1.136E-03
			우기	4.860E-02	1.937E-02
	구배완화후	1:1	건기	4.744E-04	4.744E-04
			우기	1.757E-02	3.668E-03
	단면 2	구배완화전	건기	1.569E-02	1.569E-02
			우기	2.318E-01	2.318E-01
우 측	단면 1	구배완화후	1:1	3.668E-03	3.668E-03
			우기	2.835E-02	2.835E-02
	구배완화전	구배완화후	건기	2.039E-02	2.039E-02
			우기	6.313E-02	6.313E-02
	단면 2	1:1	건기	3.201E-03	3.201E-03
			우기	1.790E-02	1.790E-02

<Table 6.2> 직선적인 파괴 해석 결과 2

위치	기준 단면	사면안정 대책	구배완화 후 해석결과			
			Slope/w	Flac	평면파괴	켜기파괴
좌측사면	단면 1	구배 완화	○	○	○	위험암괴가 제거됨
	단면 2	구배 완화	○	○	○	위험암괴가 제거됨
우측사면	단면 1	구배 완화	○	○	○	위험암괴가 제거됨

※ ○: 구배완화 후 각 해석 프로그램 분석시 안전한 결과치

×: 구배완화 후 각 해석 프로그램 분석시 불안정한 결과치

<Table 6.3> 해석 프로그램 결과 비교 분석

VI. 결 론

본 연구지역의 좌측사면은 불연속면에 의한 직선적인 파괴보다는 풍화특성에 의한 원형파괴의 가능성이 높은 것으로 나타났으며 직선적인 파괴는 국부적으로 나타난다. 우측사면은 사면상부에서만 약간 원형 파괴 가능성이 있고, 사면 전체적으로는 불연속면들에 의한 직선파괴 가능성이 높은 편이다. 이에 대한 보강방안으로는 1:1 구배 완화와 국부적인 켜기파괴를 방지하기 위한 록볼트 보강방안이 안정성, 경제적인 측면, 현장 여건 등을 고려해 볼 때 가장 적절한 보강방안으로 분석되었다.

이와 같이 같은 지역에서 나타나는 사면이라고 하더라도 단층 파쇄대 지역에 서는 서로 다른 지반특성을 나타내므로 사면 안정성 분석시 이러한 부분들을 면밀히 검토해야 한다. 또한 단층 파쇄대 지역에서는 단층을 따라 발생하는 각종 풍화 및 지하수특성과 단층면에 존재 하는 여러 가지 충전물(단층점토, clayey silt, 작은 암석알갱이 등이 충전됨)들이 사면의 안정성에 큰 영향을 미치기 때문에 지표지질조사를 통해서 충분히 조사하고 현장의 여건을 충분히 고려한 현장시험 및 실내시험을 통하여 지표지질조사와 비교, 분석 하여 적절한 보강방안을 제시 함으로서 단층 파쇄대

지역에서 발생할 수 있는 여러 가지 파괴현상들을 미연에 방지할 수 있으리라 판단된다.

Reference

1. 김용필 외 2인 (1997). 지반공학 시
험법 및 응용 pp 37 50, pp 283
310
2. 이수곤. 1993. “화강암과 편마암 절취
사면의 안정성연구”. 한국지반공학 회
사면안정위원회 학술발표회 제 2 권.
pp.167~189
3. 이수곤, 1994. “암석과 불연속면의 분
류 및 공학적 특성” 토목시공 고등기
술 강좌(seriesIII), 대한토목학회, pp.
253~338
4. 한국암반공학회, 한국지구물리탐사학
회, 한국자원연구소 (1999) . 건설기술
자를 위한 지반조사 및 시험기술. pp
474.
5. Bieniawski. Z.T. 1984, " Rock mech
anics design in mining and
tunneling". A. A. Balkema pp.272
6. S. G. Lee. (1987). *Weathering and
geotechnical characterization of
Korean granites*. PhD thesis,
Imperial College, University of
London.
7. K. H. Head (1981). Manual of soil
laboratory testing vol.2. second
edition. pp509 580, vol.1.pp159
234.

