

영월지역의 석회암반사면의 안정성연구

이 수 곤
손 경 철

서울시립대학교 토목공학과
서울시립대학교 토목공학과

1. 서론

우리 나라에는 전국이 산악지대로 되어 있으며 특히 강원도 지방은 산악지가 특히 발달한 곳이다. 이곳 강원도 지방은 여러 지방도로 및 고속도로가 계속적으로 건설되고 있으며 지형조건상 터널이 많이 건설되고 있다. 하지만 지형조건상 어려움이 많이 따르고 있는 것이 현실이다. 이제까지 많은 여러 가지 사례들을 통하여 알 수 있듯이 터널내 붕괴사고 만큼 터널 갱구부 또는 도로 사면 부에서도 크고 작은 붕괴사고가 많이 일어나는 것을 알 수 있었다. 이는 전체적인 공사기간지연과 아울러 이후 추가적인 막대한 비용의 손실을 가져온다. 이러한 붕괴사고는 여러 가지 이유가 있겠지만 가장 큰 이유는 공사예정지에 대한 사전에 충분한 파악이 않은 것과 체계적이며 알맞은 조사작업의 종류선택이 미흡하기 때문일 것이다. 또한 설계시 물성결정에 있어서 기존의 자료를 단순히 그대로 활용하거나 충분한 고려를 하지 않기 때문일 것이다. 이에 강원도 영월읍에 공사중인 터널을 한 예로써 석회암사면 안정성연구부분중에서 해석단면결정과 물성결정과정에 대해서 연구해보고자 하였다.

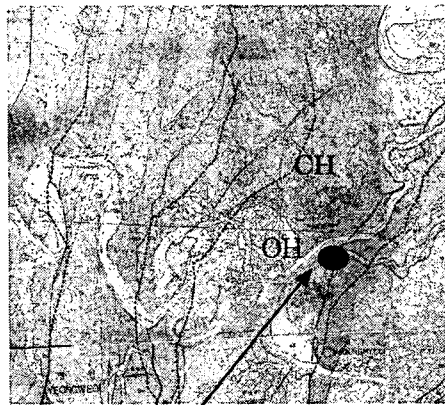
2.지반조사

2.1 조사위치 및 지형 지질분석

경위도 : 북위 37° 11' 04" 동경 128° 29' 13"

행정구역 : 강원도 영월군 영월읍영월-덕포간 도로확장공사의 서쪽지점에 있는 봉래터널의 종점부사면이다.

[그림1] 본지역의 지질도



본조사지역

-시대미상의 영흥층이 넓게 분포함
-암회색의 층리를 가진 돌로마이트질 석회암과 이질석회암이 존재한다.

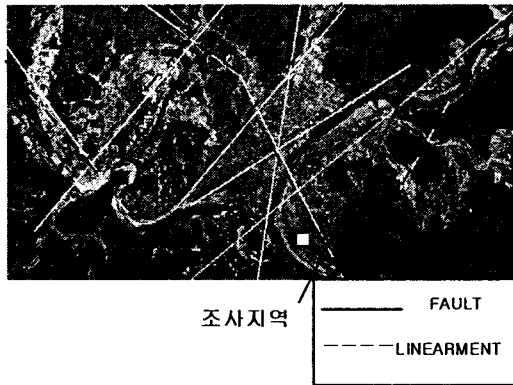
2.2 분석방법

- 1) 기존지질도에 표시된 대규모 단층군들과 본 조사지역에 영향을 미치는지 알아본다.
- 2) 항공사진을 분석을 통하여 본지역의 지질구조가 본지역에 어떻게 영향을 미치고 있는지를 조사하여 본다.
- 3) 본지역의 수계도 분석연구를 통하여 본지역의 수계가 본 연구지역에 어떤 영향을 미치고 있는지를 알아보았다.

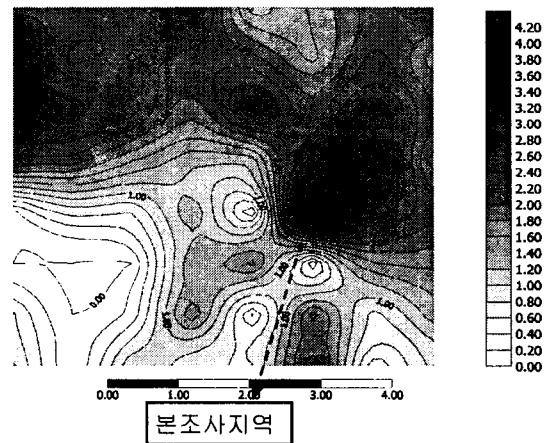
2.3 분석결과

- 1) 지질도에 의한 분석결과: 본 지역전체에 크고 작은 단층들이 존재하고 있으나 이 지역을 관통하거나 직접적인 영향을 주고 있지는 못하다.
- 2) 항공사진판독에 의한 분석결과: 본 지역주변을 지나는 단층이 크게 존재하는 것이 보이나 현장조사시 면밀한 관찰을 통해 단층에 의한 위험성이 적음을 알수 있었다.

[그림2]항공사진분석



[그림3]본지역의 수계분석결과



- 3) 수계분석결과: 수계가 집중되고 있는 부분이 본연구지역과 거의 일치하며 이미 본연구지역은 우기시 붕괴된 바가 있다. 이에 우기시 대비 철저한 설계가 필요하다.

2.4 암반구성성분 분석



1) 암석별 성분분석방법

슈미트해머강도기준으로 분류, 제작된 박편시료를 편광현미경 (polarizing microscope, LEICA DMRX) 하에서 구성광물, 조직, 구조 등을 감정하고 point counter를 이용한 모드분석 (modal analysis)을 통하여 구성광물의 조성비를 산출하였다. 아울러 편광현미경에 부착된 디지털 카메라를 이용하여 직교니콜 또는 개방니콜하에서 박편시료의 현미경상을 50배율 또는 100배율로 촬영하였다.



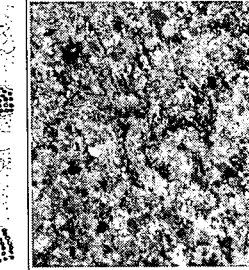
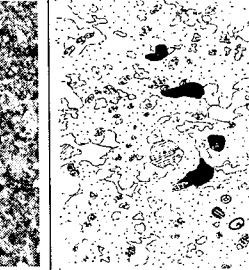
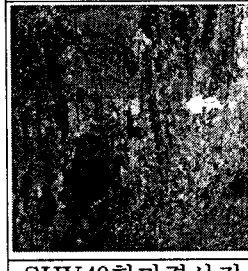


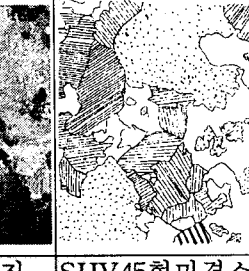
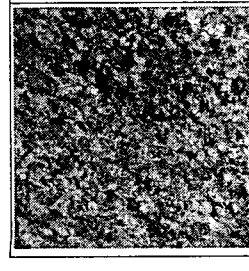
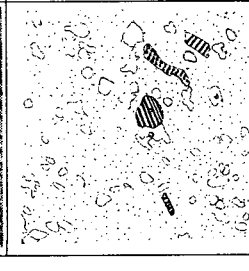
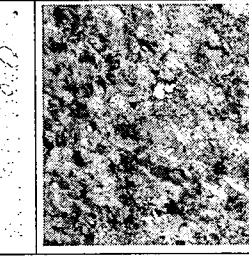
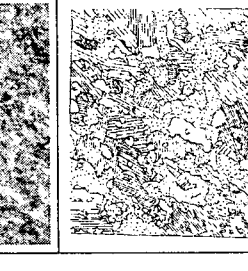
그리고 박편시료의 스케치관찰과 성분분석을 수행하였다.

$Qz =$  Quartz , $Pl =$  plagioclase , $V =$ void

$MC =$ \therefore micritic calcite , $C =$  calcite , $M =$  mica

$OP =$  opaque minerals , $Cl =$  clay mineral

[표1] 본연구지역을 구성하고있는 암석성분분석(*SHV=슈미트헤머강도수치임)

SHV15현미경사진	SHV15현미경스케치	SHV20현미경사진	SHV20현미경스케치
암석의 유관적인 특징	-육안관찰: 회록색. 철산화물포함. 풍화심함. 석영세맥. 뚜렷한조직은 없다. -현미경관찰: 층리배열, 등립, 미립질(입도약0.01mm)	암석의 유관적인 특징	-육안관찰: 황록색. lamination 발달. 석영세맥 발달. -현미경관찰: 일부 lamination을 절단하는 방향으로 석영백발달을 보인다.
			
SHV30현미경사진	SHV30현미경스케치	SHV30현미경사진	SHV30현미경스케치
암석의 유관적인 특징	-육안관찰: 회색-유백색 파쇄대(약선대)발달. 각역 암화된 세맥다수관입. 방해석백, 석영맥다수관입-맥경계부를 따라 철산화물이 산출 조립질방해석 벽면이 휘어져 있다.(bended cleavage planes)-구조운동이 수반된관입현상으로 사료됨.	암석의 유관적인 특징	-육안관찰: 담회색~회색 방해석맥다수 관입 -현미경관찰: 미립질 방해석주구성. 맥상은 중립~조립질이다. 석영과 방해석이 공생하여 파동소광을 보여준다.
			
SHV40현미경사진	SHV40현미경스케치	SHV45현미경사진	SHV45현미경스케치
암석의 유관적인 특징	-육안관찰: 황록색과 암회색 공존. 치밀건고 lamination 발달. 약선대관입 -현미경관찰: 미립질정향배열 lamination 관찰	암석의 유관적인 특징	-육안관찰: 암회색을 띠나 SHV-40인 암석보다 약간 밝다. -현미경관찰: 입도가 SHV-40인 암석보다 조립질이다.
			

본 사면을 구성하는 대부분의 암석은 석회암이며 강도별로 다소간 상이한 광물성분을 구성하고 있다. 슈미트헤머 강도로 약하게 분류된 암석들은 점토광물들과 불투명광물등 산화와 풍화에 약한 광물성분들을 많이 포함하고 있는 것이 관찰되었으며 이에 반해 강도가 높고 치밀한 암석일수록 불순물의 함량이 상당히 적은 것이 관찰되었다. 본 현미경실험으로 비록 미시적이고 국부적이긴 하나 접하고 있는 암석의 구성성분을 확실히 알고 암석의 자세한 관찰은 전체적인 판단에 앞서 연구지역의 이해에 초석일 것이다.

[표2] 강도별로 관찰한 암석성분분석결과

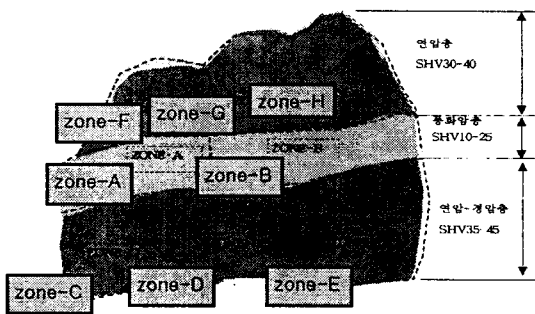
SHV-강도별	SHV-15	SHV-20	SHV-30	SHV-35	SHV-40	SHV-45
구성광물						
Quartz	2.1	0.4	< 0.1	1.2	0.7	0.6
Feldspar	-	-	< 0.1	-	-	-
Muscovite	2.7	3.6	-	-	-	-
Biotite	0.1	-	-	-	3.4	-
Cacite	90.9	93.3	98.3	98.4	92.6	97.7
Rutile	-	-	-	-	-	-
Limonite	2.3	0.7	1.2	-	0.5	-
Opague minerals	1.4	0.2	0.4	0.3	2.8	1.7
Clay mineral	0.5	1.8	0.2	< 0.1	< 0.1	< 0.1

3. 평사투영망에 의한 안정성분석

3.1 전체사면전경 및 세부조사를 위한 구역의 세분화

전체사면의 규모가 너무 크기 때문에 몇 개의 지역별로 나누어 조사를 실시하였으며 본사면 전체의 400 여지점이상의 슈미트헤머 강도 측정과 암벽등반을 동반한 세부 절리 및 관찰연구를 통하여 크게 3개의 층으로 나눌 수가 있었으며 순차적인 풍화단면이 아니고 중간에 연약층이 형성된 특이한 구조임을 조사를 통해 알수 있었다.

[그림4] 세부조사를 위한 구역의 세분화



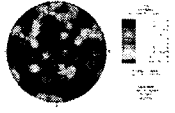
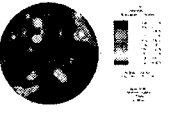

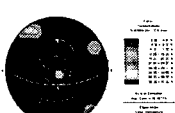

[그림5] 연구지역의 전체 사진전경



3.2 전체사면 구간별 평사투영망에 의한 해석결과

[표3] 본지역의 구간별 평사투영망해석 및 절리관찰결과

zone-A	· 전반적으로 층리가 발달하고 있지만 다소간 불규칙적인 절리의 형태를 보여주고 있으며 평사투영망해석결과에서는 큰 위험절리가 존재하지는 않는다. 하지만 N35E/45SE 절리와 N10W/10SE 절리의 썩기파괴 가능성은 고려해보아야 할 것이다.	
zone-B	· 전반적으로 층리가 조밀하게 엷층에 따라 존재하고 있으며 전도파괴와 평면파괴위험절리가 존재하며 아울러 썩기파괴가능성도 있는 것으로 판단된다.	

zone-C	·전도파괴위험절리들이 다수 존재하고,평면파괴위험절리들도 같이 존재하고 있으며 절리들의 풍화와 파쇄가 심하고 절리면의 마찰각이 작아 주의를 요해야 할 것이다.	
zone-D	·SITE-C보다 전도파괴의 가능성이 적게 나타났으면 평면파괴위험은 큰 것으로 나타났으며 썩기파괴경도를 한 결과 썩ZONE-D-7,10부분이 썩기 파괴를 고려해야 한다고 본다. 실제 소규모로 썩기 형태의 암편들이 떨어져 있는 곳이 발견되었다.	
zone-E	·전도파괴와 평면파괴의 위험이 다소간 적은 것으로 나타났다. 또한 하부에 연장성이 20m이상의 수평절 리가 존재하고 있다.그리고 ZONE-E-E-11,13,14부분에 각각 연장성이 20m이상의 절리들이 관찰된다.	
zone-F	·N60W/10N의 염층에 따른 층리가 존재하고 있으며 그간격은 20-30cm정도로 추정되며 두방향의 우세한 절리 방향이 있는데 N70E/80-90SE와 N30W/80SW이다. 이중 N30W/80SW는 터널방향과 비슷한 주향이다. 그리고 F지역 하부 또는 파괴지점상부에 연장성이 길고 절리틈새가 수 cm되는 연장성이 약 10m이상되는 절리(N59E/90)가 존재하며 전도나 인장파괴에 다소간 영향을 끼칠것으로 예상된다.	
zone-G-H	·ZONE-B의 상부지역으로써 다른 지역과 마찬가지로 북쪽방향의 층리가 존재하나 사면 하부의 40-50°와 달리 10°정도로 각도가 줄어들어 있다.N60E/40SE의 연장성이 20m정도 되는 긴절 리가 하부에 존재하며 평면파괴의 가능성을 보이거나 실제 큰 위험은 가지고 있지 않은 듯하다.NS60/50E방향의 절리와N40W/80SW의 두절리가 썩기파괴가능성이 있어 썩기파괴경도를 수행하였으나 안전한 결론을 얻었다.	

4. 설계시 필요한 암반구분선 결정과 설계정수 산출

4.1 RMR을 이용한 설계정수 산출

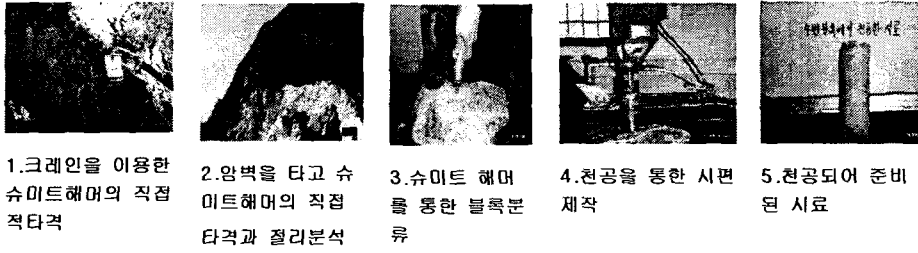
- 1) 본 지역의 갱구부 A,B 부분은 사면의 붕괴지점에 해당하며 풍화암지대로 RMR등급으로는 IV등급에 해당하며 추정되는 암반강도정수는 점착력 $C=100-200(KPa)$,마찰각 $\phi=15-25^\circ$ 정도이다.
- 2) 본지역의 갱구부 C,D,E지역은 사면의 하부지점에 해당하며 연암이상지대로 RMR등급으로는 II에 해당하며 추정되는 암반강도정수는 점착력 $C=300-400(KPa)$,마찰각 $\phi=35-45^\circ$ 정도이다.
- 3) 본지역의 갱구부 F,G,H지역은 사면의 상부지점에 해당하며 연암이상지대로 RMR등급으로는 II에 해당하며 추정되는 암반강도정수는 점착력 $C=300-400(KPa)$, 마찰각 $\phi=35-45^\circ$ 정도이다. 하지만 하부 지역에 비하여 다소간 낮은 값을 가진다고 볼수 있다.

4.2 직접조사자료의 활용과 실내실험을 통한 암반분류 및 설계정수 산출

1) 실험을 위한 준비

본 조사에서 직접적으로 사면전반부에 밀착하여 슈미트해머를 타격하였다. 이 자료의 보다 직접적이고 적극적인 활용을 위하여 기록을 현장에서 슈미트해머로 타격하여 분류하여 가져오고 그것을 다시 실험실에서 수십회 타격한 후 이를 평균하여 강도별로 분류한후 SHV(슈미트해머수치)별로 각종 실험을 수행하였다.

[그림 6] 실험준비과정



1. 크레인을 이용한 슈미트해머의 직접 타격
 2. 암벽을 타고 슈미트해머의 직접 타격과 절리분석
 3. 슈미트 해머를 통한 블록분류
 4. 천공을 통한 시편 제작
 5. 천공되어 준비된 시료

2) 설계정수를 산출을 위한 실험실시

[표4] 설계 정수산정을 위해 실시한 실험과 강도정수

시험종류	시험결과치	시험결과치 의 이용
일축압축강도시험	압축강도, 탄성계수, 포아송비	암석의 역학적특성, 암반분류
삼축압축강도시험	점착력(C), 내부마찰각(ϕ)	현저암반의 변형파괴특성
암석절리면 전단강도시험	점착력, 마찰계수	암석절리면의 거동특성
토질전단시험	점착력, 마찰계수	토질전단거동특성
암석-토질 경계면전단시험	점착력, 마찰계수	암석과 토질사이의 전단거동특성
풍화인내도 시험	풍화인내특성	풍화에 의한 암석의 인내도특성연구

5. 최종 설계정수 산출

5.1 각 실험에서 구한 암석강도정수

설계시 필요한 암반에 C, ϕ 값 및 단위중량값을 구하기 위하여 다양한 실험을 통하여 아래 [표5]와 같이 구하였다.

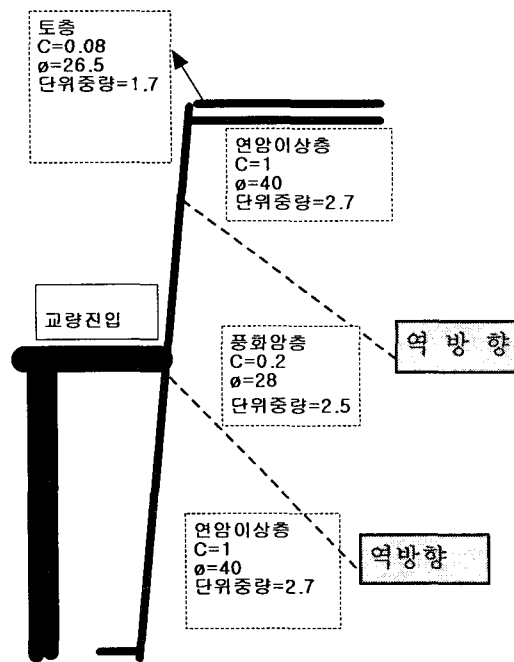
[표5] 각종실험을 통해 산출된 강도정수

결정 방법	RMR에 의한 방법			암석삼축실험을 통한 Hoek-Brown기준식			토질전단실험			경계면전단실험			암석절리면실험		
	상부 1-3m	풍화암층	연암이상층	상부 -3m	풍화암층	연암이상층	상부 1-3m	풍화암층	연암이상층	상부 -3m	풍화암층	연암이상층	상부 -3m	풍화암층	연암이상층
단위중량 (t/m ³)	-	-	-	-	2.47-2.59	2.66-2.77	1.7	1.83	-	-	-	-	-	-	-
점착력 C (kgf/cm ²)	-	1-2	3-4	-2	5	26.8	0.08	0.2	-	-	0.06	-	-	23	2.8
마찰각 ϕ°	-	15-25	35-45	-	42	56	26.5	28	-	-	24	-	-	21	34

5.2 각 실험과 조사에서 얻어진 최종적인 결론

각종실험들을 통하여 얻은 값들과 사전조사작업 및 절리 조사작업들과 관련하여 암반구분선 및 각 층별물성을 다음[그림7]와 [표6]과 같이 결정하였다.

[그림 7] 절리 분석과 각종실험에 의한 최종사면모식도



[표6] 최종적으로 결정된 층별 물성결정

층별	최종물성	단위중량	점착력 C (kgf/cm ²)	마찰각 phi°	최종 물성결정의 판단
site-F,G의 상부 1-2m토층		1.7	0.08	26.5	상부1-2m의 토질 실험 반영
site-F,G부분인 연암이상층(2~3m-30~40m)		2.7	1	40	RMR과 연암이상의 시료(SHV30이상) 실험 값과 기존자료에서 이용하여 선택
site-A,B부분인 풍화암층(30~40m-50~60m)		2.5	0.2	28	토질전단실험과 RMR 수치를 비교하여 낮은 값으로 선택
site-C,D,E부분인 연암이상층(50~60m-80~90m)		2.7	1	40	RMR과 연암이상의 시료(SHV30이상) 실험 값과 기존자료를 이용하여 선택

6. 결론 및 고찰

대규모 절취암반사면을 접할 때 항상 크고 작은 문제들을 만나곤 한다. 대규모사면에 있어서 붕괴 후 아무리 잘 조사하고 설계 시공한다 하더라도 위험성이 크다. 본 연구지역은 터널의 갱구부로서 터널연결부인 교량공사와 같이 진행되어 갱구부안정화에 어려움이 생겼다고 이미 교량이 거의 완성된 시점에서 갱구부를 다른 곳으로 설계를 변경하는 것은 거의 불가능하다. 이에 사전에 철저한 노선결정이 필요하다고 본다. 특히 본 지역의 사면처럼 수직고가 100m이상의 무한사면이며 국부적으로 매우 다른 지질특성을 가지고 있으면서 수계의 영향을 많이 받을 때는 보다 확실한 예비조사와 분석이 필요하다고 판단되며 보다 적절한 해석단면의 결정 및 물성결정이 필요하다. 이에 본 연구에서는 최대한 정확한 데이터를 반영시키고자 다양한 실험과 여러 가지의 시도로 설계정수를 도출하였다. 하지만 이 또한 많은 주관적인 판단에 의거한 판단이 될 수밖에 없다는 것을 알수 있었다. 그렇지만 많은 실험과 각종실험을 통하여 각 실험의 데이터를 상호 보완시키며 최대한 신뢰성을 가지도록 노력하였다. 앞으로 특히 산악지형터널이며 대개 사면의 수직고가 높으며 본 연구지역처럼 석회퇴적암지대에서의 더욱더 국부적인 변화, 변동에 대한 관찰에 중점을 두어야 하며 퇴적암반의 특성인 습곡, 단층형성등에 의한 지질적 변화등이 심하게 달라질수 있기 때문에 가능한 많은 데이터의 획득을 통하여 종합적이고 확실성있는 사전 설계를 해야 할 것이다.

7. 참고문헌

1. 한국암반공학회, 한국지구물리탐사학회, 한국자원연구소 "건설기술자를 위한 지반조사 및 시험기술" pp.5~80, pp.483~505
2. 한국전력기술주식회사 "영월수력지점 타당성조사 및 세부지질조사 보고서"
3. E.Hoek and E.T Brown "Underground excavation"

4. Kerr, Paul F. "Optical mineralogy"
5. 한국광업진흥공사"경북공석재 재질분석실험"