

# 석회암터널 갱구부 안정화를 위한 조사 및 연구

서울시립대학교 암반공학연구소

이수곤(1), Su-Gon Lee, 손경철(2), Kyoung-chul Son

(1) 서울시립대학교 도시과학대학 토목공학과 부교수, Associate Professor, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Seoul

(2) 서울시립대학교 토목공학과 석사과정, Master Course, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Seoul

## 1. 서론

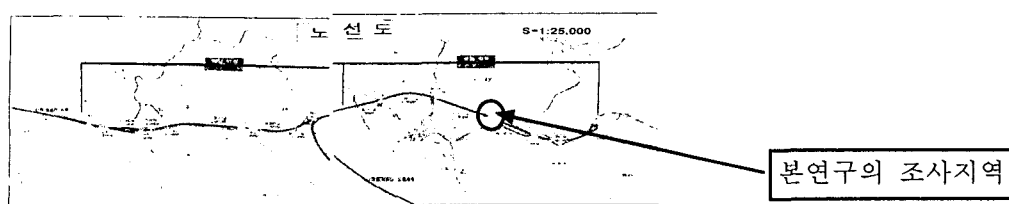
우리나라에는 주로 산악지대가 많으며 특히 강원도 지방은 산악지가 발달한 곳이다. 현재 강원도 지방에서는 지방도로 및 고속도로가 계속적이며 빠른 속도로 건설되고 있으며 지형조건상 터널이 많이 건설되고 있는 실정이다. 이제까지 경험에서 알 수 있듯이 붕괴사고는 터널내 막장 면보다는 갱구부 또는 도로사면부에서 많이 발생하고 있다. 이는 전체적인 공기지연을 가져올 뿐만 아니라 이후 추가적인 막대한 비용의 손실을 가져온다. 이러한 붕괴사고의 원인은 여러 가지가 있겠지만 가장 큰 이유는 공사예정지에 대해서 사전에 충분한 정보를 파악하지 못한 것과 지반특성에 맞는 조사작업의 종류선택이 미흡하기 때문일 것이다. 또한 안정성평가 및 설계를 위한 물성결정에 있어서 신중하고 적절한 준비가 부족하여 발생한다고 볼 수 있을 것이다. 이에 강원도 영월에 공사 중인 석회암으로 이루어진 터널갱구부 절취사면의 연구를 통하여 지반조사의 중요성을 다시 한번 고찰하며 물성결정과정에서의 신뢰성확보에 최대한 접근해보고자 한다.

## 2. 지반조사

### 2.1 조사위치 및 지형 지질분석

경위도 : 북위 37° 11' 04" 동경 128° 29' 13"

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



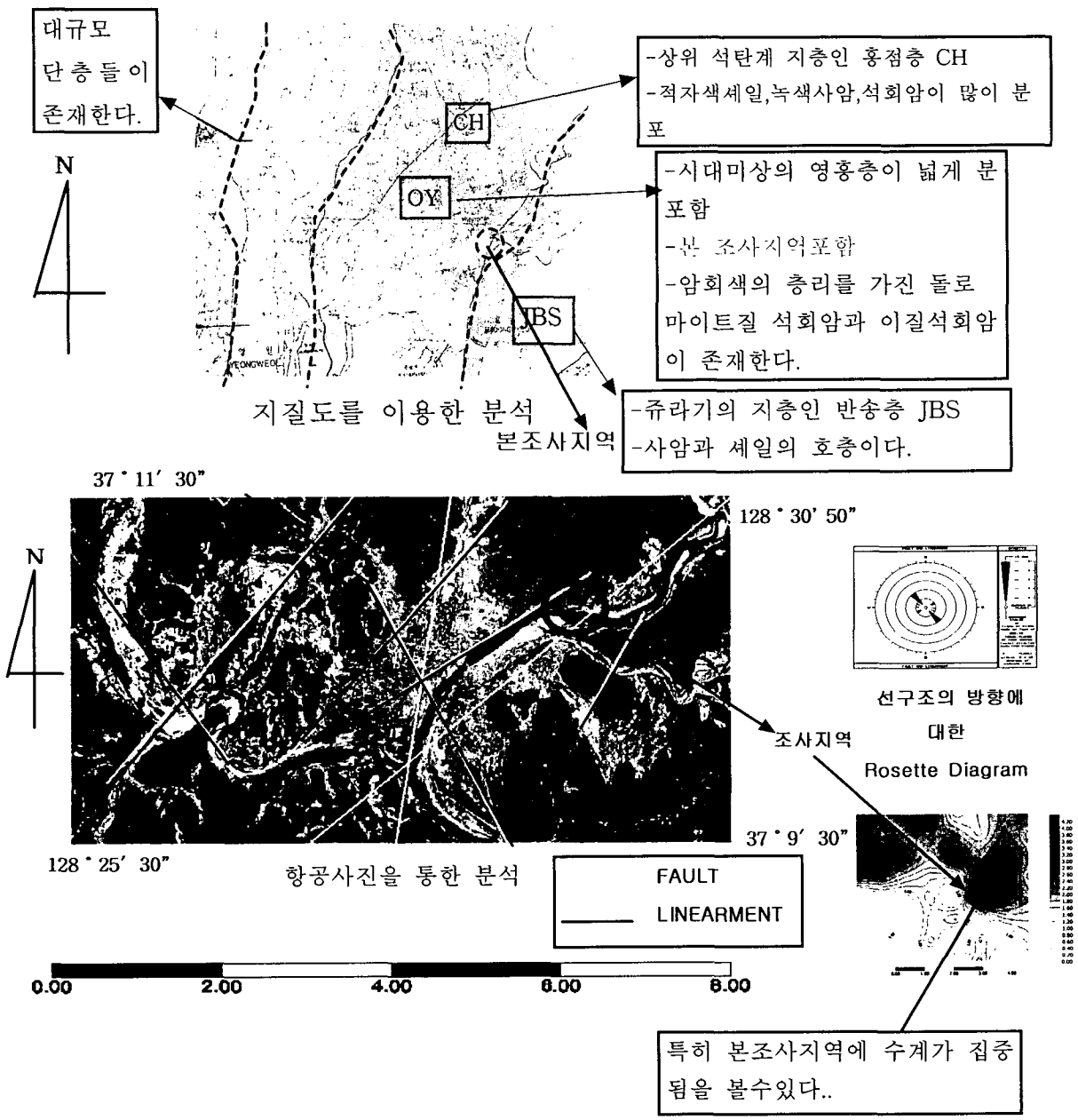
### 2.2 기존지질도의 활용과 항공사진 및 수계도 분석

대규모 단층 균들과 본 조사연구지역과의 관계를 규명하기 위하여 우선 본 지역지질도를 통하여 분석하였다.

또한 항공사진분석을 통하여 보다 면밀한 지질적 상태를 고찰하였으며 이 지역의 수계도 분석을 통하여 본 갱구부가 본 지역 수계에 어떤 영향을 받고 있는지를 알아보았다.

### 2.3 분석결과

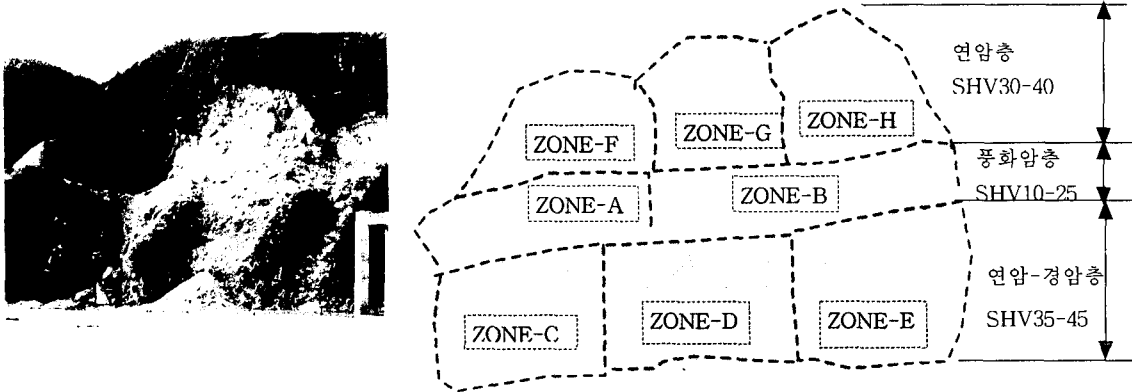
- 지질도에 의한 분석결과: 본 지역전체에 크고 작은 단층들이 존재하고 있으나 이 지역을 관통하지 않으며 직접적인 영향을 주고 있지는 못하다.
- 항공사진판독에 의한 분석결과: 본 지역주변을 지나는 단층이 크게 존재하는 것으로 보이나 현장을 면밀하게 관찰한 결과 단층에 의한 대규모 붕괴의 위험성은 크게 없다.
- 수계분석결과: 수계가 이 지역에 집중되고 있으며 또한 이미 우기시 붕괴된 바가 있다. 이에 우기시 대비 철저한 설계가 필요하다.



## 2.4 평사투영망에 의한 안정성분석

### 2.4.1 전체사면전경 및 암반선구분을 위한 모식도

전체사면의 규모가 너무 크기 때문에 나누어 조사를 실시하였다.



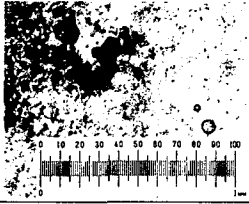
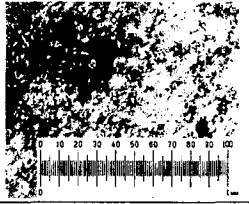
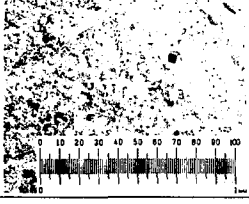
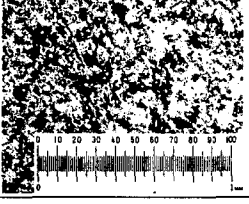
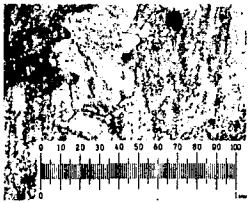
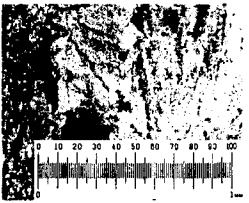
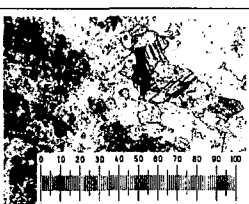
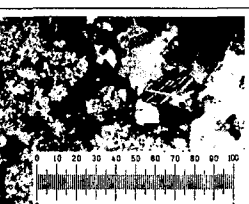
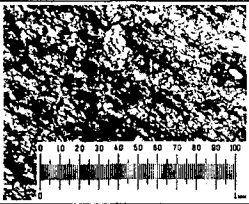
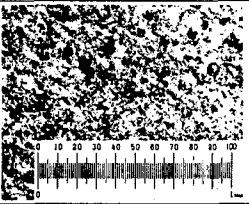
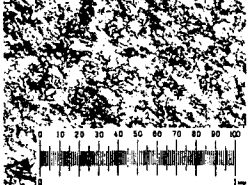
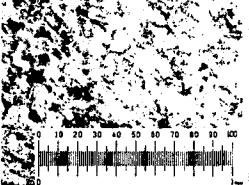
### 2.4.2 전체사면 구간별 평사투영망에 의한 해석결과

구간	분석결과	평사투영망해석
zone-A	<ul style="list-style-type: none"> <li>전반적으로 층리가 발달하고 있지만 다소간 불규칙적인 절리의 형태를 보여주고 있다.</li> <li>평사투영망해석결과에서는 큰 위험절리가 존재하지는 않는다. 하지만 N35E/45SE 절리와 N10W/10SE절리의 썩기 파괴가능성은 고려해보아야 할 것이다.</li> </ul>	
zone-B	<ul style="list-style-type: none"> <li>전반적으로 층리가 조밀하게 엮층에 따라 존재하고 있다.</li> <li>전도파괴와 평면파괴위험절리가 존재하며 아울러 썩기 파괴가능성도 있는 것으로 판단된다. 위험지역으로 판단됨.</li> </ul>	
zone-C	<ul style="list-style-type: none"> <li>전도파괴위험절리들이 다수 존재하고, 평면파괴위험절리들도 같이 존재하고 있다. 그리고 절리들의 풍화와 파쇄가 심하고 절리면의 마찰각이 작아 주의를 요해야 할 것이다.</li> </ul>	
zone-D	<ul style="list-style-type: none"> <li>SITE-C보다 전도파괴의 가능성이 적게 나타났으면 평면파괴위험은 큰 것으로 나타났다.</li> <li>썩기 파괴검토를 한 결과 썩ZONE-D-7,10부분이 썩기 파괴를 고려해야 한다고 본다. 실제 소규모로 썩기 형태의 암편들이 떨어져 있는 곳이 발견되었다.</li> </ul>	
zone-E	<ul style="list-style-type: none"> <li>전도파괴와 평면파괴의 위험이 다소간 적은 것으로 나타났다.</li> <li>하부에 연장성이 20m이상의 수평절리가 존재하고 있다. ZONE-E-11,13,14부분에 각각 연장성이 20m이상의 절리들이 관찰된다.</li> </ul>	
zone-F	<ul style="list-style-type: none"> <li>N60W/10N의 엮층에 따른 층리가 존재하고 있으며 그간격은 20-30cm정도로 추정된다.</li> <li>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.</li> </ul>	
zone-G -H	<ul style="list-style-type: none"> <li>ZONE-B의 상부지역으로써 다른 지역과 마찬가지로 북쪽방향의 층리가 존재하나 사면 하부의 40-50° 와 달리 10° 정도로 각도가 줄어들어 있다.</li> <li>N60E/40SE의 연장성이 20m정도 되는 긴절리가 하부에 존재하며 평면파괴의 가능성을 보이나 실제 큰 위험은 가지고 있지 않은 듯하다.</li> <li>NS60/50E방향의 절리와N40W/80SW의 두절리가 썩기파괴가능성이 있어 썩기파괴검토를 수행하였으나 안전한 결론을 얻었다.</li> </ul>	

### 3. 본지역을 이루고 있는 암석들의 강도별 현미경관찰분석

#### 3.1 현미경관찰사진 및 암석코아 특징

본지역의 암석들을 본지역에서 직접 슈미트해머로 타격하여 수집한후 이를 슈미트해머강도별로 분류하여 현미경관찰을 하였다.

관찰 내용 강도별	개방니콜하 100X	교차니콜하100X	암석코아의 특징
SHV-15			-육안관찰: 회록색. 철산화물포함.풍화심함.석영세맥 뚜렷한조직은 없다. -현미경관찰:층리배열 등립,미립질(입도약0.01mm)
SHV-20 ~25			-육안관찰:황록색.lamination발달. 석영세맥발달 -현미경관찰:일부 lamination을 절단하는 방향으로 석영백발달을 보인다.
SHV-30			-육안관찰: 회색-유백색 파쇄대(약선대)발달. 각역암화된 세맥다수관입. 방해석백,석영맥다수관입. -맥경계부를 따라 철산화물이 산출 조립질방해석 벽계면이 휘어져 있다.(bended cleavage planes)-구조운동이 수반된관입현상으로 사료됨.
SHV-35			-육안관찰:담회색~회색 방해석맥다수 관입 -현미경관찰:미립질 방해석주구성.맥상은 중립~조립질이다. 석영과 방해석이 공생하여 파동소광을 보여준다.
SHV-40			-육안관찰:황록색과 암회색공존.치밀건고 lamination 발달.약선대관입 -현미경관찰:미립질정향배열 lamination 관찰
SHV-45 이상			-육안관찰:암회색을 띄나 SHV-40인 암석보다 약간 밝다. -현미경관찰:입도가 SHV-40인 암석보다 조립질이다.

### 3.2 암석별 성분분석

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

SHV-강도별 구성광물	SHV-15	SHV-20	SHV-25	SHV-30	SHV-35	SHV-40
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

본 사면을 구성하는 대부분의 암석은 석회암으로써 주구성성분은 방해석이다. 슈미트해머 강도로 약하게 분류된 (SHV-15~20) 암석들은 점토광물들을 많이 함유하고 있으며 불투명광물등 산화와 풍화에 약한 광물성분들을 많이 포함하고 있는 것이 특징이다. 이에 반에 강도가 높고 치밀한 암석인 SHV-30이상인 암석은 불순물의 함량이 상당히 적으며 점토화 광물이 적은 것으로 관찰되었다. 본 현미경실험은 비록 미시적이고 국부적인 점이 있으나 본 지역의 구성암석의 성분에 대한 이해는 암반의 전체적인 성분을 이해하는 데에 도움이 될 수 있을 것이다.

## 4. 지반강도정수 산출

### 4.1 RMR을 이용한 설계정수 산출

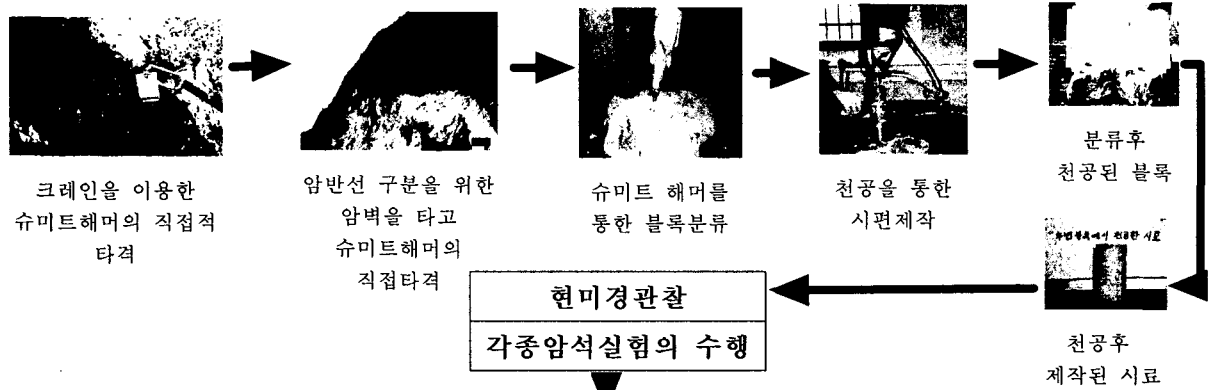
- ▶ 본 지역의 갱구부 A, B부분은 사면의 붕괴지점에 해당하며 풍화암지대로 RMR등급으로는 IV등급에 해당하며 추정되는 암반강도정수는 점착력 C=100-200(KPa), 마찰각  $\phi=15-25^\circ$  정도이다.
- ▶ 본 지역의 갱구부 C, D, E지역은 사면의 하부지점에 해당하며 연암이상지대로 RMR등급으로는 II에 해당하며 추정되는 암반강도정수는 점착력 C=300-400(KPa), 마찰각  $\phi=35-45^\circ$  정도이다.
- ▶ 본 지역의 갱구부 F, G, H지역은 사면의 상부지점에 해당하며 연암이상지대로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

위치	강도 점수	RQD 점수	불연속면의 간격점수	불연속면의 상태점수	지하 수	총점	점수에 의한 등급분류	암반등급에 의한 물성
터널갱구부A	7	8	10	10	4	39	IV	C=100-200(KPa), $\phi=15-25^\circ$
터널갱구부B	7	8	10	10	4	39	IV	C=100-200(KPa), $\phi=15-25^\circ$
터널갱구부C	12	13	10	20	7	62	II	C=300-400(KPa), $\phi=35-45^\circ$
터널갱구부D	12	13	10	20	7	62	II	C=300-400(KPa), $\phi=35-45^\circ$
터널갱구부E	12	13	10	20	7	62	II	C=300-400(KPa), $\phi=35-45^\circ$
터널갱구부F	12	13	10	20	7	62	II	C=300-400(KPa), $\phi=35-45^\circ$
터널갱구부G	12	13	10	20	7	62	II	C=300-400(KPa), $\phi=35-45^\circ$
터널갱구부H	12	13	10	20	7	62	II	C=300-400(KPa), $\phi=35-45^\circ$

## 4.2 실내실험을 통한 설계정수 산출

### 4.2.1 실험과정 및 각 실험의 의의

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



시험종류	시험 결과치	시험결과의 이용
일축압축강도시험	압축강도, 탄성계수, 포아송비	암석의 역학적특성, 암반분류
삼축압축강도시험	점착력(C), 내부마찰각( $\psi$ )	현지암반의 변형과괴특성
암석절리면 전단강도시험	점착력, 마찰계수	암석절리면의 거동특성
토질전단시험	점착력, 마찰계수	토질전단거동특성
암석-토질경계면전단시험	점착력, 마찰계수	암석과 토질사이의 전단거동특성
풍화인내도시험	풍화인내특성	풍화에 의한 암석의 인내도특성연구

### 4.2.2 각 실험에서 구한 암석강도정수

설계시 필요한 암반에 C,  $\phi$  값 및 단위중량값을 구하기 위한 다양한 실험실시한후 각 실험에 따른 강도정수를 산출하여 비교 정리하였다.

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

### 4.2.3 종합적인 설계정수 산출

각종실험들을 통하여 얻은 값들과 사전조사작업 및 절리 조사작업들과 연관하여 암반구분선별 물성치를 결정하였다. 본 지역이 붕괴된 이력이 있으며 풍화진행속도가 빠르며 특이한 풍화된 교호 층이 존재하기 때문에 안전 측의 결론 쪽으로 방향을 정했다.

암층별	최종물성	단위중량	점착력 (kgf/cm <sup>2</sup> )	C	마찰각 $\varphi^\circ$	비고
site-F, G의 상부1-2m토층		1.7	0.08		26.5	상부1-2m의 토질전단실험 반영
site-F, G부분인 연암이상층 (Depth: 2~3m-30~40m)		2.7	1		40	RMR과 연암이상의 시료(SHV30 이상) 실험값과 기존자료에서 이용하여 선택
site-A, B부분인 풍화암층 (Depth: 30~40m-50~60m)		2.5	0.2		28	토질전단실험과 RMR수치를 비교하여 낮은 값으로 선택
site-C, D, E부분인 연암이상층 (Depth: 50~60m-80~90m)		2.7	1		40	RMR과 연암이상의 시료(SHV30 이상) 실험값과 기존자료를 이용하여 선택

## 5. 결론

대규모 절취암반사면을 접할 때 항상 크고 작은 문제들을 만나곤 한다. 일부분의 소규모 붕괴에서부터 대규모의 붕괴까지 여러 가지 사고가 일어난다. 대규모사면에 있어서 붕괴 후 아무리 잘 조사하고 설계 시공한다 하더라도 위험성이 크다. 본 연구지역과 같은 터널의 갱구부의 경우는 다른 공사들과 같이 진행되어 갱구부 공사가 진행중 일 때는 이미 교량 및 터널의 공기가 상당히 진행되어 갱구부 안정화가 어렵다고 갱구부를 다른 곳으로 돌릴 수 는 없는 것이다. 즉 갱구부의 안정화공사의 어려움으로 인해 뒤늦게 노선을 바꾼다는 것은 시공사와 발주처 모두에게 크나큰 금전적인 타격이 될 것이다. 특히 본 지역의 사면은 수직고가 100m이상의 무한사면이며 국부적으로 매우 다른 지질특성을 가지고 있으며 여러 차례 붕괴를 거듭하고 있는 지역이다. 이에 보다 철저한 조사와 시공, 설계가 본 연구지역에 요구되는 바이다. 본 연구에서 본 지반을 세분화조사를 통하여 보다 철저한 현지 상황을 파악하고자 노력하였으며 설계에 최대한 정확한 데이터를 반영시키고자 다양한 실험과 여러 가지의 시도로써 설계정수를 도출하였다. 마지막으로 본 연구를 수행하면서 다소 아쉬움이 있는 것은 지표지질조사 및 각종지반탐사로 사전에 충분한 사전조사를 도모하여 미리 적절한 노선을 결정했다면 더욱 안전하고 신속한 공사를 수행할 수 있었을 것이다. 앞으로 본 연구지역처럼 산악지형의 대규모사면이면서 화학적 풍화진행이 급격하며, 퇴적층사이의 풍화작용으로 퇴적층사이에 점토화된 층리가 존재하는 등 불안정한 석회퇴적암지대에서는 가능한 많은 데이터의 획득을 통하여 종합적이고 확실성 있는 사전 설계를 해야 할 것이다.

## 6.참고문헌

- 한국암반공학회, 한국지구물리탐사학회, 한국자원연구소 “건설기술자를 위한 지반조사 및 시험기술”
- 한국전력기술주식회사 “영월수력지점 타당성조사 및 세부지질조사 보고서” 1988.10
- 대한광업진흥공사 “경북공석재 재질분석실험” 1991.10.
- E.Hoek and E.T Brown “Underground excavation” 1980
- Kerr, Paul F. “Optical mineralogy” 1959
- Richard E.Goodman “Introduction to Rock mechanics” 1980