

## 운모편암 분포지인 OO 터널 종점부에서 절토사면의 안전성 분석 연구

이병주\* · 선우춘

한국지질자원연구원 지구환경연구본부

### Analysis of Slope Stability at the End of OO Tunnel being Distributed by Mica Schist

Byung-Joo Lee\* and Sunwoo Choon

Geologic Environment Div., Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

퇴적암인 셰일이나 이암이 광역변성작용을 받아 형성된 운모편암들이 분포하는 지역에서 도로나 철도 등의 건설 시 발생하는 사면은 이들 암석들이 가지는 층리나 엽리 혹은 절리와 같은 불연속면들의 발달 방향과 도로나 철도의 진행 방향의 조건에 따라 자주 사면의 붕괴 등에 의한 시공 상 어려움이 발생하고 있다. 운모편암은 변성작용 과정에서나 변형작용 과정을 거치면서 형성된 엽리 및 벽계면들이 사면에 영향을 미친다. 일반적으로 운모편암 중에는 팽창성광물인 스�멕타이트, 비미블라이트, 몬모리로나이트 등이 함유 되어 사면이 형성된 후 지표에 노출되면서 공기 중의 수분과 반응하여 사면의 안정성에 불리하게 작용한다. 경부 고속철도 건설 시 수원부근의 운모 편암 지대에서 터널 시공 중 터널의 종점부 사면에서 붕괴가 일어난 곳의 지반 조건 및 붕괴 원인을 분석하였다. 이곳은 1-5 cm의 절리 간격을 가지며 역단층과 주향이동단층 등이 발달한다. 이로 인해 사면이 심히 파쇄 되어 있으며 시추 코어에서도 전 구간의 RQD가 0-20%값을 가진다.

**주요어 :** 운모편암, 파열상, 팽창성 광물, 사면안정

To be design the slope, the area distributed the mica schist which was metamorphosed by shale or mudstone must carefully consider the stability. Mica schist is another unstable rock for slope by schistosity, cleavage, axial plane of a fold etc. In general mica schist contains the swelling clay minerals such as smectite, vermiculite and montmorillonite. These minerals make the slope unstable. At OO tunnel construction area for the rail way of the Kyungbu high speed train, the slope of mica schist is very unstable by the distribution phenomena of the discontinuous plane such as joints which are 1-5 cm spacing and thrust and strike-slip fault. By the drilling core of this area, most RQD have 0-20%.

**Key words :** mica schist, fissility, swelling clay minerals, slope stability, discontinuous plane

## 서 론

한반도에는 약 60%가 퇴적암 내지 변성퇴적암이 분포하며 이들 퇴적기원의 변성암석 내에는 운모 편암들이 반드시 존재 한다. 그러나 이들 운모편암이 분포하는 지역에서의 절취사면은 안정성면에서 항상 위험이 따르고 있음은 이미 알려진 사실이다 (박형동, 2002; 이병주, 2002).

본 논문은 운모편암의 암석학적특성 및 지질공학적 특성을 분석하고, 경기편마암 복합체내 운모편암이 분포

하는 경부고속철도 OO구간 건설 시 절취사면의 붕괴가 일어난 곳에서 운모편암과 이 지역에 발달하는 단층들의 영향으로 기인한 지반의 역학적 특성을 규명하여 사면 안정에 어떠한 영향을 미치는 지를 조사 분석한 것이다.

## 운모편암의 암석학적-지질공학적 특성

운모편암은 변성작용 및 변형작용 시 형성된 엽리, 습곡 축면, 파랑벽계(crenulation cleavage) 등과 같은 면구조와

\*Corresponding author: bjlee@kigam.re.kr

광물배열선구조, 습곡축 등의 선구조들이 불연속면을 만들어 공학적으로 불리한 현상을 만든다. 또한 이들 두 암석들은 풍화 시나 특히 단층작용에 의해 단층대 주변에서는 단층점토를 형성하며, 이들 암석들에서 사면을 시공하면 사면 형성 후 지표에 노출되어 풍화작용을 받을 경우 공학적 성질이 급격히 변하여 (Fig. 1), 강도 저하, 내구성 저하 현상 및 토사와 유사한 거동을 보이는 등 토목공사 시 다른 암종에 비해 치명적인 지질공학적 특성을 가지고 있다.

셰일 및 편암의 일반적인 물리적 특성을 보면 셰일은 비중이 2.3 내지 2.7이며 공극률은 2.9에서 55.0까지 매우 그 폭이 넓으며 흡수율은 0.2 에서 6.1까지이다. 운모 편암도 셰일과 유사하나 비중이 조금 높은 정도이다 (Table 1). 이들 두 암석의 압축강도는 Table 1에서는 650 kg/cm<sup>2</sup> 에서 1,850 kg/cm<sup>2</sup> 으로 표시되어 있으나 실제 사면에서 채취한 시료는 250 kg/cm<sup>2</sup> 이하로 매우 낮은 값을 가진다.

**팽창성 점토광물과 운모편암**

셰일이나 운모편암들의 공학적 특성이 급격히 변하는 또 다른 원인은 이들 암석 내에 점토광물을 포함하거나 풍화 작용이나 단층작용 시 형성되는 현상이다. 점토입자로 주 구성되는 점토광물 (Clay Mineral)은 광물의 결정구조가

SiO<sub>4</sub> 사면체와 Al-팔면체가 규칙적으로 배열하는 층상규 산염광물에 속하며, 사면체와 팔면체의 배열방식에 따라 1:1형 점토광물과 2:1형 점토광물로 크게 구분한다.

SiO<sub>4</sub> 사면체 1개와 양이온-팔면체 1개가 규칙적으로 교호 반복되는 구조를 보이는 광물을 1:1형 점토광물로, SiO<sub>4</sub> 사면체 2개와 양이온-팔면체 1개가 규칙적으로 반복되는 2:1형 점토광물로 크게 나누어 진다. 또한 양이온 팔면체를 구성하는 양이온이 차지하는 자리는 3자리가 있으며 양이온이 Al, Fe<sup>3+</sup>와 같은 3가 양이온으로 채워진 경우는, 배위수를 충족하기 위하여 2자리만이 채워지는 이팔면체형 점토광물이 되며, Mg, Fe<sup>2+</sup> 와 같은 2가 양이온은 3자리가 채워지는 삼팔면체형 점토광물로 구분된다.

점토광물은 사면체와 팔면체를 채우는 양이온의 이온 교환이 초래된다. 이는 사면체를 채우는 Si<sup>4+</sup>이온이 Al<sup>3+</sup>, Fe<sup>3+</sup>같은 저가의 양이온으로 치환이 일어나거나 팔면체를 채우는 Al<sup>3+</sup>가 Fe<sup>2+</sup>나 Mg<sup>2+</sup>와 같은 저가의 양이온에 의해 동형치환이 일어날 때 생기는 충전하 결손에 의해 점토광물의 표면은 음 전하를 띤다. 따라서 점토광물은 이러한 결손된 음전하만큼의 전하를 중화시키기 위해 양이온들은 층간에 흡착됨으로서 중화하게 된다. 이러한 고유한 양이온을 흡착할 수 있는 양이온교환능력을 가지고 있다. 점토광물은 대체로 4 μm 이하의 결정으로 구성되고 있고 층간을 가지고 있기 때문에 표면적이 크다. 스멕타이트(smectite)와 같은 점토광물은 층간 결합력이 약해 다른 이온이나 물분자가 이 층간을 자유롭게 교환될수 있어 팽윤성(swelling)이나 팽창성 (expansion)이 매우 높다. 스멕타이트(smectite)와 같은 점토광물은 물을 첨가하면 콜로이드 성질을 가진다. 대부분의 점토광물은 친수성(hydrophilic)을 띠므로 물에 분산이 잘된다. 스멕

**Table 1.** Physical property of the shale and mica schist.

암종	비중	공극률 (%)	흡수율 (%)	압축강도(kg/cm <sup>2</sup> ) (건조시료)
셰일	2.3~2.7	2.9~55.0	0.2~6.1	650~1,100
운모편암	2.6~2.8	0.4~10.0	0.1~0.8	1,010~1,850



**Fig. 1.** Quickly weathered slope surface after excavation. (a): Shale at Pasir coal main in Indonesia (b): Shale in Hongjeom Formation at Donghae high-way.

타이트(smectite)와 같은 점토광물은 중간 양이온이 유기물과 치환이 잘 일어나 유기점토제조에 이용된다. 탈수작용(dehydration)과 수화작용(hydration)이 잘 일어난다. 양이온교환능이 크고 표면적이 크기 때문에 증감속을 비롯한 화학물의 흡착력이 높다.

일반적으로 세일이나 운모편암의 사면에서 관찰되는 점토광물 중 가장 흔한 것은 일라이트(illite), 카오리나이트(kaolinite) 이나 이들은 팽창상이 없어 사면팽창에는 영향을 주지 않는다. 그러나 2:1형 팽창성 2:1형 점토광물인 스멕타이트(smectite), 버미큘라이트(vermiculite), 몬모릴로라이트(montmorillonite) 등이 사면의 팽창에 영향을 주어 이들 점토광물의 함유를 잘 조사하여야 한다. 스멕타이트(smectite)는 한반도에서는 제3기 분지가 분포하는 포항분지 울산분지 등의 이암의 분포지에서 흔히 함유되며, 버미큘라이트(vermiculite)는 운모편암의 풍화시나 단층점토에서 비교적 잘 함유되어 있다.

**경부고속철 OO구간 사면의 특성**

세일이나 운모편암이 분포하는 지역 중에서 실제로 경부고속철 건설 시 운모편암이 분포하는 지역에서의 절토사면에서 발생한 문제점의 예를 알아본다. 이 지역의 암반의 상태가 매우 불량한 것은 이미 인지되어 송라 터널 종점부의 보강에 대한 조사가 실시된 바 있다.

**절토부의 지질**

이 지역의 편암류는 한반도 서해안 즉 충남 보령시 일대에서 북북동 방향으로 화성군을 거쳐 경기도 안양시

일대까지 연속되어 분포하며, 이 편암류는 화강편마암 및 주라기의 화강암에 의해 곳곳에서 관입 당하기도 한다. 이 편암류는 백운모편암, 흑운모-견운모편암, 석영-견운모편암, 석영-장석질편암 등으로 이루어져 있으며 규암과 석회암이 협재 함이 특징이다. 본 조사 구역에서도 운모편암 및 석영-견운모 편암이 우세하게 분포하며 간혹 규암을 협재 하기도 한다. 편암류의 엽리는 몇 차례의 중북변형작용에 의해 매우 교란되어 있으며, 습곡 및 드러스트의 발달이 관찰된다. 대부분의 편암류는 퇴적기원의 암석으로, 미약한 변성분화(metamorphic segregation) 작용을 받았지만, 일부 편암류는 화강암질 물질의 유입에 의한 부분적인 호상구조가 나타나기도 한다. 또한 일부 석영-장석질 편암의 경우 화강암질 관입체가 강한 구조적 운동을 받아 형성된 것으로 생각 된다. 이 운모편암은 엽리가 발달하며 풍화에 매우 약한 특징을 가진다 (Fig. 2).

**절토부의 지질구조**

이 지역의 운모편암은 오랜 지질 시대를 거치면서 수차례의 습곡 및 단층 작용을 받아 매우 복잡한 지질구조를 가진다. 그러나 본 연구 지역에 나타난 현상은 고기에 형성된 습곡작용들은 후에 이 지역에 강력히 작용한 단층과쇄작용에 의해 그 현상들의 관찰이 또렷하지 않으며 후기의 쇄성변형작용(brittle deformation)의 산물들만이 뚜렷이 발달된다. 이 조사구간은 Fig. 3에서 보여주는 바와 같이 북북동 방향의 우수향 주향이동 단층과 북북서에서 서북서 방향의 저각의 역단층 즉 스티스트가 발달한다. 이와 같은 지질구조의 특성과 관련하여 조사지역의 사면에 대한 엽리, 절리 및 단층에 대한 특성을 차례로 고찰한다.

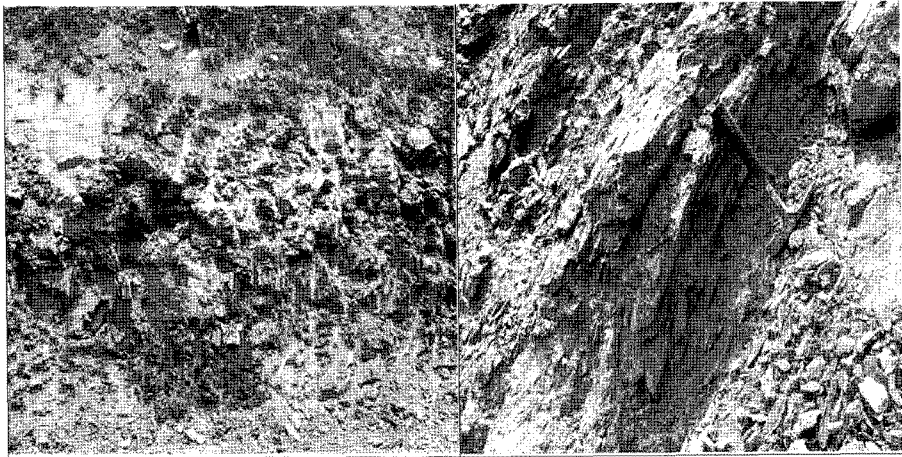


Fig. 2. Photo outcrop showing the well developed schistosity and weathering.

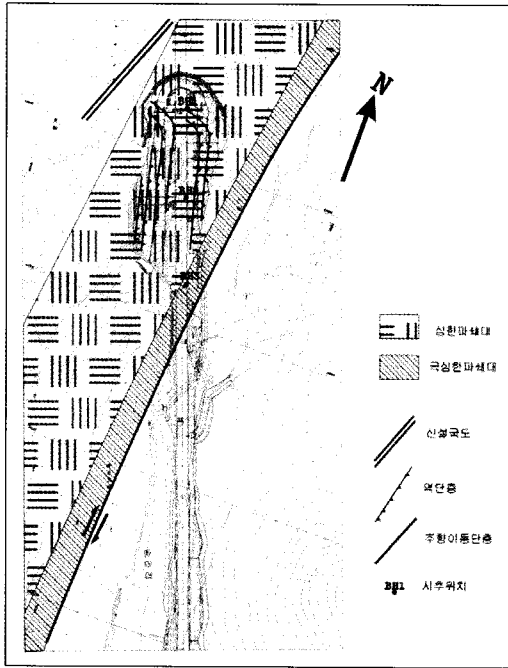


Fig. 3. Fracturing grade and fault distribution map of the survey area.

**엽리** : 연구 지역의 사면은 Fig. 4에서 보여주는 바와 같이 전체적으로 파쇄 영역에 속하여 엽리가 비교적 교란되어 있으며(Fig. 4), 극심하게 파쇄된 지역은 단층의 끌림에 의해 곳에 따라서는 습곡형태를 보이기도 한다(Fig. 4). 이들 엽리들은 다음에 기술할 단층 및 절리들과 함께 불연속면을 이루어 불안정한 암반 사면을 형성하고 있다. 엽리면들의 발달 방향은 북북동에서 남남서 방향의 주향을 가지고 발달하며 경사는 대개 30도에서 40도 정도로 동쪽으로 경사진다. 이들 엽리면들은 2개의 그룹으로



Fig. 5. Eastern slope developing the thrust fault at the end of the tunnel.

나누어지는데 북북서방향의 주향에 30-40도 북동경하는 그룹과, 북북동방향의 주향에 30-40도 남동경하는 그룹으로 나뉘어 진다 (Table 2).

**단층** : 본 조사구역은 Fig. 3에서 나타난 바와 같이 북북동 방향으로 발달하는 단층대가 지나는 곳으로 매우 파쇄가 심한 곳이다. 이 북북동 방향의 단층은 우수향의 주향이동성 단층으로 이 지역을 포함하여 한반도 중서부에 잘 발달하는 단층들이다. 이들 북북동 방향의 단층 뿐 아니라 엽리와 거의 평행한 역단층이 이 지역에서 특징적으로 발달하여 파쇄 정도를 더욱 심화시키고 있다. Fig. 5은 터널 종점부 동측과 서측 사면에서 발달하는 역단층과 그 주위의 파쇄대 사진이다. 이들 주향이동단층과 역단층들이 이 지역의 암반을 심하게 파쇄 시키고 있다.

**불연속면의 현황 및 암반평가**

불연속면들에 대한 조사는 암반의 평가를 위해 현장 조사로 이루어졌다. 암반역학에서 불연속면은 암반에서

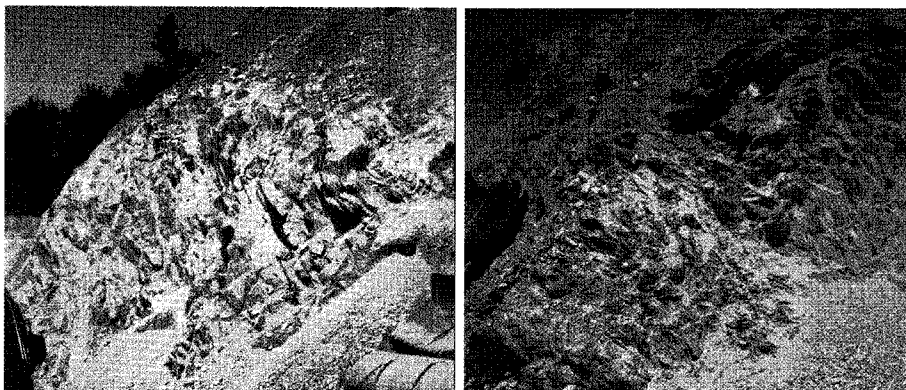
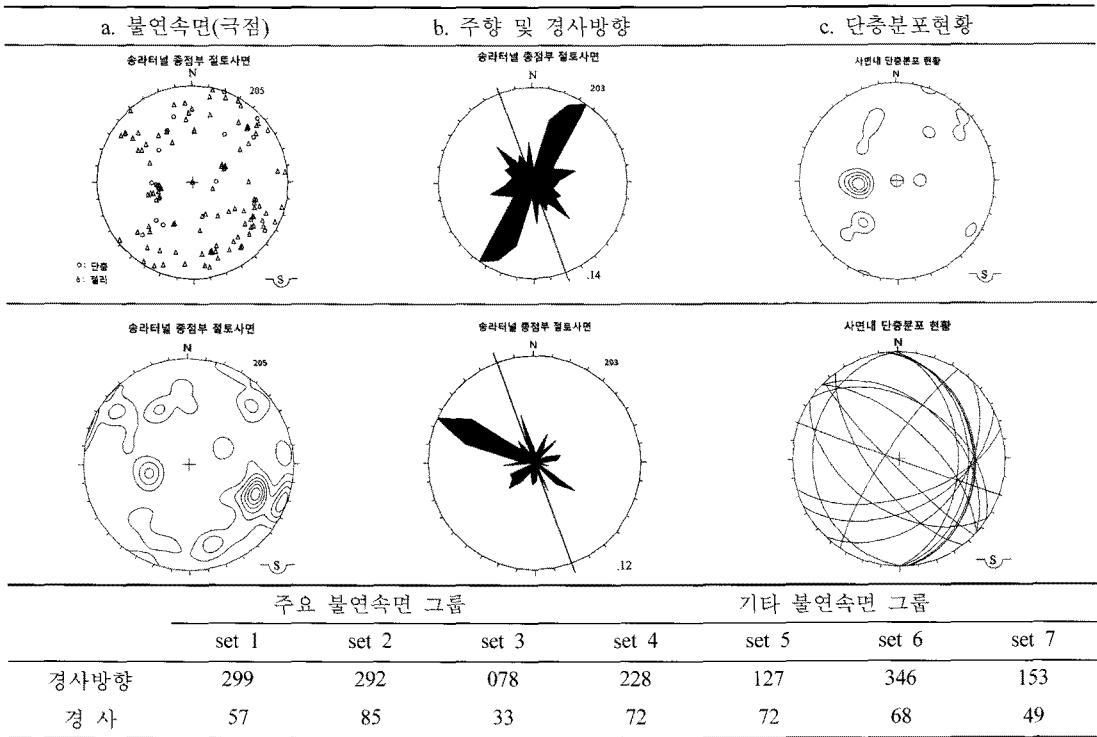


Fig. 4. Slope showing the distorted and sheared schistosity by faulting.

Table 2. Orientation of the discontinuities at the end of OO tunnel.



나타나는 모든 연약면을 총괄적으로 나타내며, 크기면에서 작은 단면에서 큰 단층까지 다양하다. 불연속면이 반드시 분리면은 아니지만, 실제로 대부분 분리면이고 매우 작은 인장강도를 갖거나 인장강도가 없다. 암반의 공학적 거동에 영향을 주는 불연속면의 중요한 요소들은 방향성, 간격, 연속성, 거칠기, 벽면강도, 간극, 충전물, 누수, 불연속면의 수, 암괴의 크기 등이 있다. 그러나 본 보고서에서는 사면의 안전성과 관련하여 방향성을 중심으로 분석을 실시하였다. 불연속면의 특성중 가장 중요한 요소들 중의 하나인 방향성은 공간에서의 불연속면의 분포경향을 나타내는 것이다. 암반구조물과 관계가 있는 불연속면의 방향성은 불안정한 조건이나 과대한 변형이 일어날 수 있는 가능성을 지배하며, 사면굴착에서 있어서는 불연속면의 방향성은 불연속면을 따라 일어날 수 있는 사면파괴원인이 되는 불안정의 가능성을 지닐 수 있다. 또한 불연속면들 상호간의 방향들은 사면암반에 나타나는 각각의 암괴의 형태와 크기도 결정하게 된다.

대체로 OO터널 종점부 절토사면 지역에서 발달하는 불연속면들은 Table 2. a와 b에서 보여주는 바와 같이 3개 set의 주요 불연속면군과 기타 4 set의 불연속면군이 발달하고 있다. 전체적으로 불연속면의 주향이 사면과 사교

(50~60°와 20~30°)하는 불연속면이 가장 두드러지게 발달하고 있고 사면의 안정성과 문제가 되는 사면과 평행한 불연속면들도 분포하고 있다(Table 2(b)). 가장 현저하게 발달하고 있는 3개 set의 불연속면들의 방향성을 살펴보면 첫번째 불연속면군은 경사방향/경사가 299°/57°로 북동방향의 주향에 남동쪽으로 경사지며, 두 번째 불연속면군은 292°/85°로 대략 북동 방향의 주향을 가지고 수직에 가까운 경사를 보이며, 세 번째 불연속면군은 078°/33°로써 북북서방향의 주향을 가지며 경사가 33°정도로써 동쪽으로 경사지기 때문에 사면조사 지역에서 안정성면에서 사면에 가장 불리하게 작용하는 불연속면 그룹이다.

상기의 단층작용에 의해 이 조사지역에는 절리가 많이 발달하는데 이들 절리들은 단층대 부근에서는 그 간격이 1~5 cm정도로 매우 조밀한 간격등급을 나타내고 그 외 지역에서는 10~20 cm 정도로 조밀한 간격 등급을 나타내고 있다. 불연속면의 연속성도 파쇄대 부근에서는 1 m 내로 매우 낮은 연속성을 보이지만, 단층에 의해 교란되지 않는 편리나 절리는 10m 전후로 보통에서 높은 연속성을 나타내고 있다. 불연속면의 거칠기는 단층면이나 엽리를 따라 slickenside가 발달하고 있어 불연속면의 전단강도 면에서 상당히 불리하게 작용될 수 있다.

**RQD 값** : OO터널 종점부 사면지역내 3개소(STA 34K+590, 34K+480, 34K+730, 그림 4)에서 시추된 3개의 시추공에서 회수된 암석코아)를 중심으로 현지조사를 참조하여 RMR에 의한 암반평가를 실시하였고 그 결과는 Table 3과 같다. Table 3은 시추공별 그리고 심도별 RQD 값을 표시한 것이고 그림 2.2.2는 시추공별 시추코아의 상태를 나타내는 사진이다. 시추공별로 BH-1공의 RQD 값이 최소 0%, 최대 72% 그리고 평균 32%를 나타내며, BH-2공의 RQD 값은 18%~100%까지 변화하며 평균 56%로 가장 높은 값을 보이고 있다. 반면에 BH-3공은 0%에서 53%까지의 값을 보이며 평균 값 이 13%로 가장 낮은 값을

나타낸다. Deere(1988)가 제안한 RQD값과 암질과의 관계에 의하면 시추공 BH-1은 매우 불량한 암질이고, BH-2는 불량 그리고 BH-3는 보통으로써 이 지역 사면 암반의 암질이 매우불량에서 보통까지의 등급을 나타내고 있다 (Table 4).

Fig. 6은 OO터널구간과 터널종점부 사면지역에서 설계 단계에서 지금까지 시추자료를 토대로 위치별로 RQD 값을 도식한 것으로 전체적으로 대략 34K+620지역 30%를 제외하고는 0에서 25%값으로 조사지역이 매우 불량한 암반임을 나타내고 있음을 볼 수 있다.

**RMR에 의한 암반평가** : 시추코아 조사를 중심으로 하는 암반분류에서는 불연속면 상태를 나타내는 연속성, 간극, 거칠기, 충전물 및 풍화정도의 5개 요소 중 하나인 불연속면의 연속성은 시추코아에서는 알 수 없는 요소로서 현장 사면에서 관찰 할 수 있는 불연속면의 연속성 3~10m를 근거로 결정하였고 또한 지하수와 관련된 요소는 시추조사에 의해 측정된 지하수위를 기준으로 하여 지하수위 밑에 위치함으로써 젖음으로 간주하여 RMR 값을 구하였다.

Table 5는 3개의 시추공별로 지표로부터의 심도별

**Table 3.** RQD values at each bore hole.

BH-1 (34K+480)	
최소 값	0%
최대 값	72%
평균 값	32%

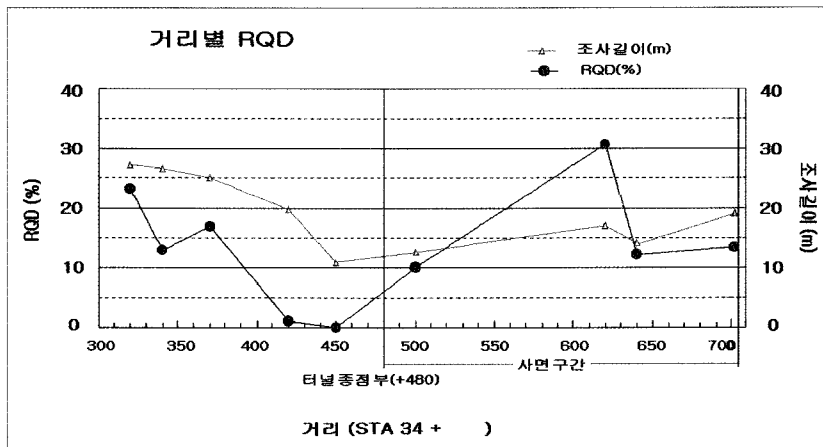
BH-2 (34K+590)	
최소 값	18%
최대 값	100%
평균 값	56%

BH-3 (34K+730)	
최소 값	0%
최대 값	53%
평균 값	13%

**Table 4.** Relationship between RQD values and rock quality.

R.Q.D. (%)	암 질	
0~25	매우 불량	(very poor)
25~50	불량	(poor)
50~75	보통	(fair)
75~90	양호	(good)
90~100	매우 양호	(excellent)



**Fig. 6.** Changing of the RQD values from inside to outside of the tunnel.

**Table 5.** RMR values of each bore hole at the end of OO tunnel.

시추공	시추심도 (m)	압축강도	RQD			간격	지하수	불연속면상태	RMR 값	가중치	평균값	등급
BH-1 34K+480	0.7~7.7	4	4.8	3	5	7	15	34		39.8 IV, 불량		
	7.7~12.2	7	42	8	8	7	12	42				
	12.2~14.7	4	30	8	5	7	7	31				
	14.7~19.5	7	48	8	8	7	17	47				
	19.5~25.0	7	44	8	8	7	13	43				
BH-2 34K+590	1.6~5.3	7	23	3	8	7	15	40		48.7 III, 보통		
	5.3~10.7	7	48	8	8	7	16	46				
	10.7~12.2	7	28	8	8	7	9	39				
	12.2~19.2	7	70	13	8	7	16	51				
	19.2~30.0	7	65	13	10	7	16	53				
BH-3 34K+730	6.1~13.2	4	0	3	5	7	13	32		34.0 IV, 불량		
	13.2~17.5	7	36	8	8	7	13	43				
	17.5~21.2	2	4	3	5	7	4	21				
	21.2~25.0	7	21	3	8	7	15	40				

RMR의 기본 요소에 대한 값과 요소들의 값을 합한 기본 RMR의 값과 암반등급을 나타낸 것이다. 시추공 BH-1의 평균 RMR 값은 약 40이고, 시추공 BH-3은 평균 RMR 값이 40이하로 두 시추공 모두 IV 등급으로 불량암반을 나타낸다. 반면에 시추공 BH-2는 평균 RMR 값이 약 49로 III 등급인 보통 암반임을 나타내고 있다.

시추공 모든 전체 심도에 대한 총 평균 RMR 값은 약 42의 값을 갖는다. 따라서 기본 RMR의 값으로부터 추정식에 의해 내부마찰각을 계산하면 현지 암반의 내부마찰각이 26°가 된다. 이 값은 실험실에서 구한 절리면의 내부마찰각 28.4~32.6보다는 낮은 값을 갖는다. 평사투영에 의한 안정성 해석에서는 안정성을 고려하여 내부마찰각 26°를 사용한다.

현장의 측정된 접하중강도 등의 현지시험에 의한 암반의 강도에 따르면 암석의 강도등급은 연암~풍화암의 등급을 나타낸다. 따라서 심도구간별 RMR 값 중에서 연암의 강도를 갖는 구간(Table 5 중에서 압축강도 값이 4인 구간)만의 RMR 값을 취하여 평균 RMR 값을 구하면 32의 값을 갖는다. 실제로 사면에서의 안정성문제는 이와 같은 가장 낮은 값을 갖는 암반의 물성에 의해 크게 좌우되기 때문에 이와 같은 낮은 값으로 해석을 실시하는 것이 타당할 수 있다.

점이 자주 발생한다. 일반적으로 운모편암의 경우는 변성 작용 및 변형작용을 겪으면서, 엽리면, 벽개면(cleavage), 습곡축면, 절리면, 단층면 등의 면구조들과 광물신장선 구조, 습곡축, 단층조선 등의 선구조들이 발달하여 이들 불연속면 및 선구조들이 사면의 안정성에 영향을 미친다. 셰일이나 운모편암이 분포하는 사면에서는 스멕타이트(smectite), 버미큘라이트(vermiculite)나 몬토릴로라이트(montmorillonite) 등의 점토광물을 함유하며, 이들이 지하수나 강우 시 빗물이 스며들어 팽창하면서 사면을 불안정하게 하는 요인으로 작용하기도 한다.

실지로 운모 편암으로 구성된 OO터널의 경우, 단층작용에 의해 절리가 많이 발달하는데 이들 절리들은 단층대 부근에서는 그 간격이 1~5 cm 정도로 매우 조밀한 간격 등급을 나타내고 그 외 지역에서는 10~20 cm 정도로 조밀한 간격 등급을 나타내고 있다. 불연속면의 연속성도 파쇄대 부근에서는 1m내로 매우 낮은 연속성을 보이지만, 단층에 의해 교란되지 않는 편리나 절리는 10m 전후로 보통에서 높은 연속성을 나타내고 있다. 불연속면의 거칠기는 단층면이나 엽리를 따라 단층조선이 발달하고 있어 불연속면의 전단강도면에서 상당히 불리하게 작용될 수 있다. 시추 자료에 의한 암반평가에서도 연구지역의 사면은 RQD 값이 0-20%값으로 매우 불량한 암반임을 알 수 있다.

**결 론**

사면이나 터널 시공 시 셰일이나 이암들이 변성작용을 받아 형성된 운모편암들이 분포하는 지역에서는 늘 문제

**사 사**

이 연구는 한국지질자원연구원 기본사업의 하나인 “금경사지 및 휴폐광지역의 재해예방기술개발” (09-3411)

사업의 일환으로 수행되었으며, 본 논문을 심사하여 주신  
익명의 심사위원님들께 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

- 박형동, 2002, 이암과 세일의 지질공학적 특성, 한국지반  
공학회 암반역학위원회 학술세미나 논문집, 20-30.  
이병주, 2002, 한반도의 제3기 분지와 포항분지 내 지질  
구조 연구, 한국지반공학회 암반역학위원회 학술세미나  
논문집, 3-17.  
Deere, D.U. and Deere, D.W., 1988, The rock quality  
designation (RQD) index in practice. In Rock clas-  
sification systems for engineering purpose, (ed, L.  
Kirkaldie), ASTM Special Publication 984, 91-101,  
Philadelphia: Am. Soc. Test. Mat.

### 이병주

한국지질자원연구원 지구환경연구본부  
305-350 대전시유성구 과학로 92  
Tel: 042-868-3042  
Fax: 042-868-3114  
E-mail: bjlee@kigam.re.kr

### 선우춘

한국지질자원연구원 지구환경연구본부  
305-350 대전시유성구 과학로 92  
Tel: 042-868-3235  
Fax: 042-868-3411  
E-mail: sunwoo@kigam.re.kr

---

2009년 7월 10일 원고접수, 2009년 9월 16일 게재승인