

## 천매암 터널 단층물질의 암석·광물학적 및 역학적 특성

이경미<sup>1</sup> · 이성호<sup>1</sup> · 서용석<sup>1\*</sup> · 김창용<sup>2</sup> · 김광염<sup>2</sup>

<sup>1</sup>충북대학교 지구환경과학과, <sup>2</sup>한국건설기술연구원 국토지반연구부

### Petro-mineralogical and Mechanical Property of Fault Material in Phyllitic Rock Tunnel

Kyoung-Mi Lee<sup>1</sup>, Sung-Ho Lee<sup>1</sup>, Yong-Seok Seo<sup>1\*</sup>, Chang-Yong Kim<sup>2</sup>, and Kwang-Yoem Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Earth & Environmental Sciences, Chungbuk National University

<sup>2</sup>Korea Institute of Construction Technology, Dept. Geotechnical Engineering Research

암반에 발달하고 있는 단층이나 절리와 같은 불연속면뿐만 아니라 점토의 함량비, 팽창성 점토물질의 협제, 배수특성(drainage) 등은 암반의 붕괴여부를 결정하는 중요한 인자들이다. 특히 점토광물의 성분은 강우에 의한 암반붕괴를 예측할 수 있는 중요한 지표가 될 수 있다. 최근 사면이나 터널의 설계에서도 그 중요성이 점차 증가하는 추세이다. 본 연구는 니질천매암과 사질천매암이 호층을 이루고 있는 OO 터널의 선진시추코어(horizontal boring core)를 이용하여 단층발달에 따른 광물성분의 변화 및 이들이 불연속면의 역학성에 미치는 영향을 파악하고, 암석 구성물질과 파생된 점토광물을 비교하여 암반의 불안정성을 추정하기 위해 수행되었다. 연구방법은 시추코어 중에서 단층의 영향을 받은 구간과 비교적 신선한 구간에서 시료를 채취하여 박편을 제작하여 관찰하였고, 점토광물의 성분 및 함량을 분석하였다. 그리고 야외조사와 실내 시험으로 단층물질의 강도정수를 구하였다.

**주요어** : 천매암, 단층, 점토광물, 시추코어

Content, swelling, concentration, drainage of clay are critical factors that could control rock failures as well as discontinuous geological structures like faults and joints. Especially, the proportional components of clay minerals can be one of few direct indicators to a rock failure caused well by rainfall. Criticality of the role of clay mineral contents gets bigger in the slope and tunnel design. This study, using a horizontal boring core of pelitic/psammitic phyllite from the OO tunnel construction site, aims to investigate mineral composition changes related to fault distribution and their mechanical effects to the activity of these discontinuous layers (i.e., clay-filled fault layers), and eventually to define correlation among rock compositions, weathering products and rock instabilities. Field survey and lab tests were carried out for the composition and strength index of fault clay minerals within the core samples and microscopic analysis of fresh and weathered rock samples.

**Key words** : phyllite, fault, clay mineral, boring core

## 서론

암반의 불안정성은 크게 지질구조적인 요인과 암반 자체의 요인, 외부요인에 의해 영향을 받는다. 지질구조적 요인은 단층, 절리, 층리, 엽리 등의 불연속면 제반특성을 포함하며, 암반자체 요인은 암중, 강도, 풍화등급 등을 들 수 있다. 외부요인은 강우 또는 용수, 굴착 등

을 포함하는데 이들 각 인자는 상호 유기적인 관계로 이루어져 있다. 즉, 지질구조의 발달양상은 암반의 강도 및 풍화진행에 영향을 미치고, 지하시는 긴 시간동안 지질구조의 역학적 변화에 영향을 미치며, 집중강우나 인공굴착 등은 단기간 암반의 강도와 풍화에 영향을 줄 수 있다.

지질구조적인 요인 중 단층이나 절리의 발달, 점토의 함량비, 팽창성 점토물질의 협제, 배수특성 등은 대규모

\*Corresponding author: ysseo@cbu.ac.kr

암반의 붕락을 발생시킬 수 있는 중요한 인자이며, 이들 에 대한 평가는 매우 중요하다. 특히 기반암의 풍화로 형성되거나 모암내 발달하고 있는 점토광물 성분은 추 후 강우에 의한 암반붕괴를 예측할 수 있는 중요한 지 표가 될 수 있다. 최근 사면이나 터널의 설계에서도 구 성물질의 중요성이 점차 증가되고 있으며, 이창섭 등 (2007)이 암반의 풍화특성을 암석·광물학적으로 해석 한 바 있다. 단층물질에 관한 연구는 대부분 점토광물학 적 특성으로 접근하였는데, 단층점토는 주로 스멕타이트 와 일라이트, 카올리나이트로 구성된다(이석훈 외, 2000). 스멕타이트의 경우 대부분 몬모릴로나이트로 구성되지만 일라이트로 전이되기도 한다. 단층활동시 구성광물은 분쇄되어 생성되기 보다는 활동 직후 발생하는 저온의 열수변질로 형성된 이차광물로서 산출한다(추창호와 장 태우, 1999).

저변성을 받은 슬레이트, 천매암, 단층 및 화강암관입 주변의 암반은 풍화에 의한 영향을 받기 쉬우며 매년 집중강우에 의해 붕괴된 사례를 자주 볼 수 있다. 본 연구는 니질천매암과 사질천매암이 호층을 이루고 있는 OO 터널의 선진시추를 통해 획득된 코어를 이용하여 단 층발달에 따른 광물성분의 변화를 관찰하고 이들이 불 연속면에 끼치는 영향을 파악하는 것이 목적이며, 암석 구성물질과 파쇄된 점토광물을 비교하여 암반의 불안정 성을 추정하는 것이 목적이다. 단층물질의 강도정수는 실내 시험을 통해서 구했으며, 점토광물의 성분 및 함량 은 성분분석을 통해서 분류하였다. 또한 시추코어에서 단층의 영향을 받은 구간과 비교적 신선한 구간에서 시

료를 채취하여 박편을 제작하여 관찰하였다.

### 연구지역의 지질공학적 특성

연구지역을 구성하는 기반암은 주변의 화강암 관입에 의해 영향을 받아 저변성 또는 열변성된 사질암 (psammite), 사질천매암, 이질암, 결정질 석회암 등이 협 재되어 있는 캄브리아기 운교리층에 해당한다(미원도폭, 1980). 터널의 선진시추 결과로 회수된 코어는 주상도로 나타내면 Fig. 1과 같으며, 연구지역의 기반암은 주로 사질 내지 이질천매암으로 구성되어 있음을 알 수 있다 (Fig. 2).

선진시추는 굴착 전 막장전방의 지질조건을 사전에 파악하기 위한 목적으로 수행하며, 막장면에 대해 수평 방향으로 총 102.4 m 연장으로 실시하였다. 회수된 코어 의 정밀조사 결과, 기반암에 발달하고 있는 불연속면은 엽리면을 포함하여 4방향의 절리군이 확인되었다. 제1 절리군은 45°-50°의 경사각을 가지며, 절리면이 철산화 물로 피복되어 있고 44-100 mm의 간격으로 발달하고 있다. 제2절리군은 70° 내외의 고각을 이루며, 100-300 mm 절리간격을 갖는다. 제3절리군은 엽리면으로 35° 정 도의 경사각을 갖는다. 제4절리군은 랜덤절리로서 암질 의 변화나 단층의 발달에 영향받지 경사도를 달리한다. 암편상에서 풍화도는 보통풍화-약간풍화상태를 보이나 단층대에서는 완전풍화상태를 보여준다.

기반암의 암석학적 및 광물학적 특성과 역학적 특성 을 파악하기 위해 획득된 시추코어를 신선암(Fresh rock),

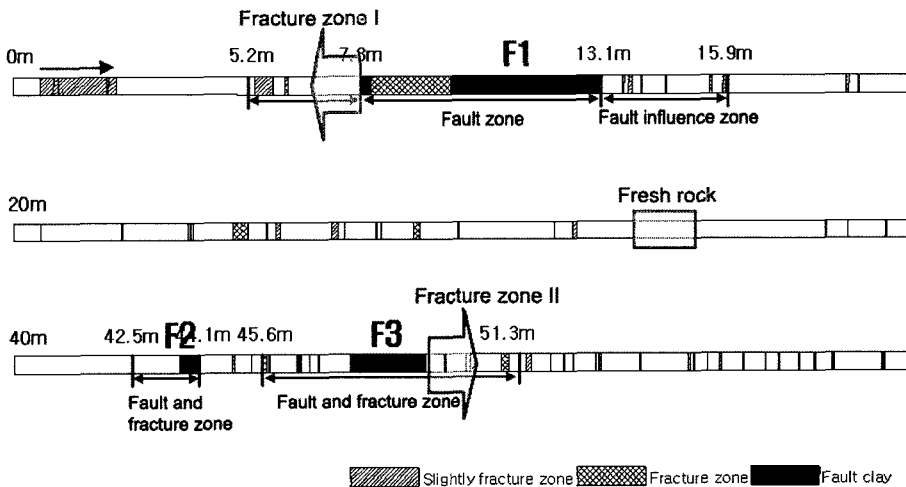


Fig. 1. Geological logging map from horizontal boring.

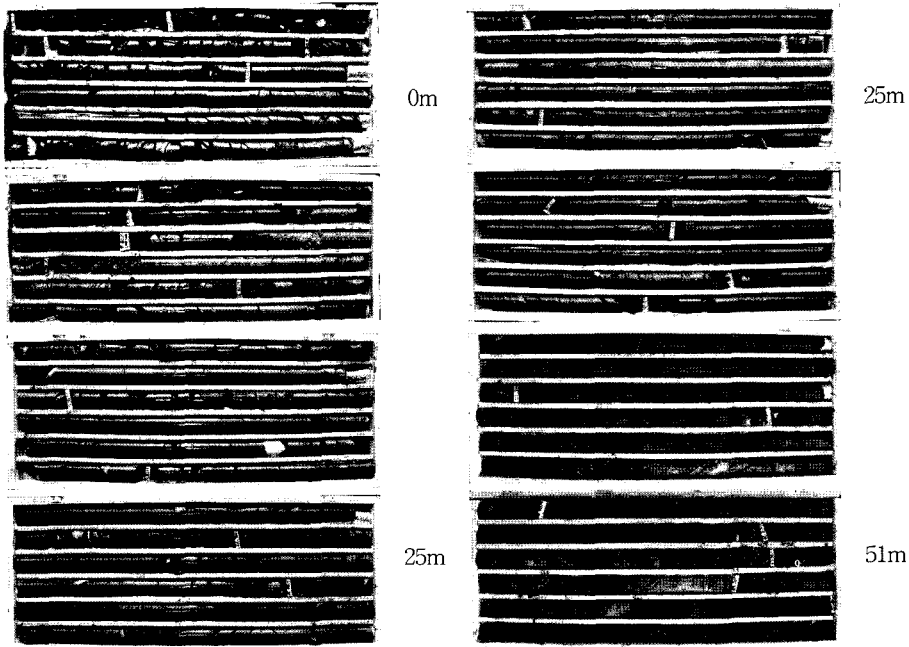


Fig. 2. Photographs of boring core.

단층영향권(Fracture zone), 단층점토(Fault clay)로 분류하였다. 먼저 사질성분이 우세하고 절리나 크랙의 발달이 거의 없으며, 연장성이 1m 이상 되는 장주상의 코어가 산출하는 구간을 신선암으로 설정하였다. 단층영향권은 단층 파쇄대에 인접하여 설정하였는데, 이들은 기반암의 절리와는 달리 특정한 방향성을 가지지 않는 크랙이 형성되어 있다. 단층점토 구간은 3지점에서 산출되는데, 각 단층을 F1 단층, F2 단층, F3 단층으로 기재하였다. F1 단층은 규모가 가장 크고 주변암의 파쇄가 가장 심하다. F2 단층과 F3 단층은 육안상으로 볼 때 단단해 보이지만 손으로 누르면 쉽게 부서지는 특징을 가지며, 직경 1cm 이하의 단층각력과 점토로 구성되어 있다.

### 분석결과 및 고찰

#### 단층대와 인접한 암석의 암석·광물학적 특성

박편분석은 단층파쇄구간의 발달이 단층에 의한 영향인지 또는 기원암의 압력에 의한 것인지를 파악하기 위해 실시하였다. 시료는 Fig. 1에서 단층의 영향을 받은 것으로 추정되는 Fracture zone I과 Fracture zone II의 4지점, 신선하고 연장성이 좋은 Fresh rock의 1지점에서

채취하였고, 각각의 암석은 엽리면에 거의 수직인 방향과 평행한 방향으로 구분하여 박편을 제작하였다. 엽리면에 평행하게 제작된 박편에 비해 수직으로 제작된 박편이 광물의 특징이나 구조적인 배열을 잘 보여주고 있어서 주로 이들을 대상으로 관찰하였다.

#### 신선암(Fresh Rock)

박편은 단층의 영향을 받지 않은 신선한 코어암편에서 채취한 시료로 제작하였다. 박편상에서 관찰되는 광물은 주로 석영, 장석, 흑운모, 백운모 등이며, 운모류는 일부 녹니석화되어 나타난다(Fig. 3). 불투명광물은 주로 흑연이다(Fig. 4). 현미경사진에서 뚜렷이 나타나는 파랑 벽개(crenulation cleavage)는 외력에 의해 형성되는데, 이는 최근에 발달한 단층에 영향받은 것이 아니라 암반이 다층의 지구조적 활동을 겪어서 형성된 것으로 사료된다.

#### Fracture Zone I(시추코아 sta. 7.0~7.8m 구간)

박편 시료는 단층(F1)의 영향을 받고 있다고 추정되는 지점에서 규칙적으로 쪼개지는 코어암편에 대해 10cm의 간격으로 각 2개씩 채취하여 절리면에 평행한 방향과 엽리면에 거의 수직인 방향으로 4개의 박편을 제작하였다. 이들 중 광물의 발달양상을 관찰하기 쉬운

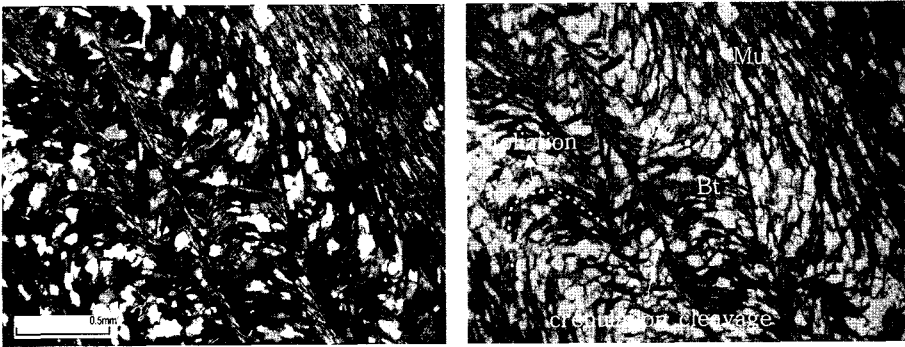


Fig. 3. Photomicrograph of thin section of fresh phyllite(  $\times 10$ ). Qtz: quartz, Mu: muscovite, Bt: biotite

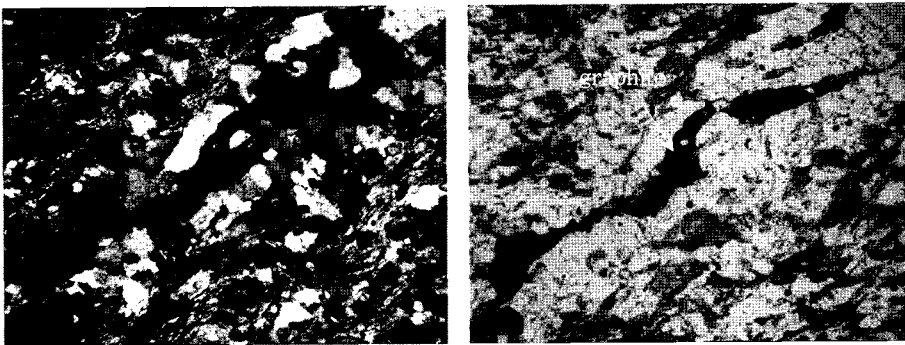


Fig. 4. Photomicrograph of opaque mineral in fresh phyllite.

박편을 선택하여 현미경상에서 관찰하고 사진촬영을 하였다. 박편에서 광물성분은 신선한 암석과 비교할 때, 흑운모의 함량비가 백운모 함량비에 비해 상당히 떨어지는 것을 관찰할 수 있으며, 녹니석의 함량이 증가하였음을 관찰할 수 있다(Fig. 5). 석영입자는 신선한 암석에 비해 입자의 크기가 다소 작아졌으나 이는 기원암의 성

분에 기인하는 것으로 생각된다. 석영과 유색광물의 차이가 적고, 파동소광(wavy extinction)이 미약하게 나타나는데, 파동소광은 단층의 영향으로 나타나는 현상으로 발생 깊이, 온도, 작용응력의 정도에 따라 달라진다(Raymond, 1995). 이는 또한 최근의 단층에 크게 영향을 받으며, 심한 변형 또는 변성작용이 발생하면 없어지

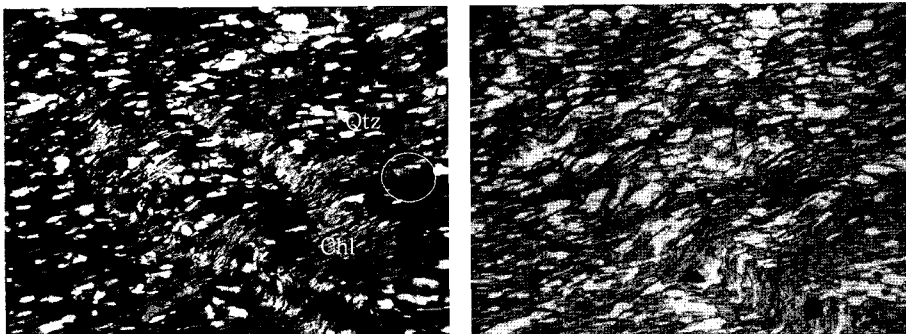
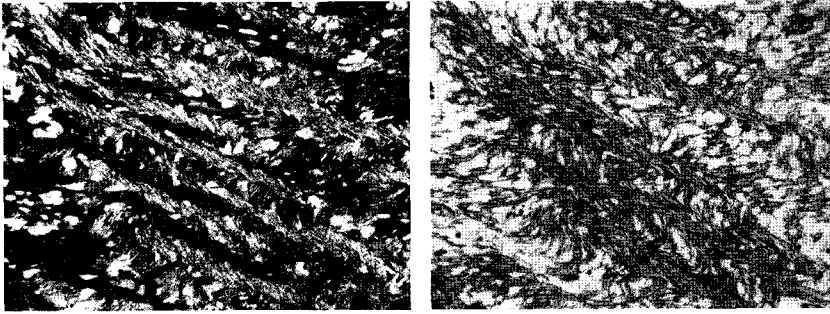
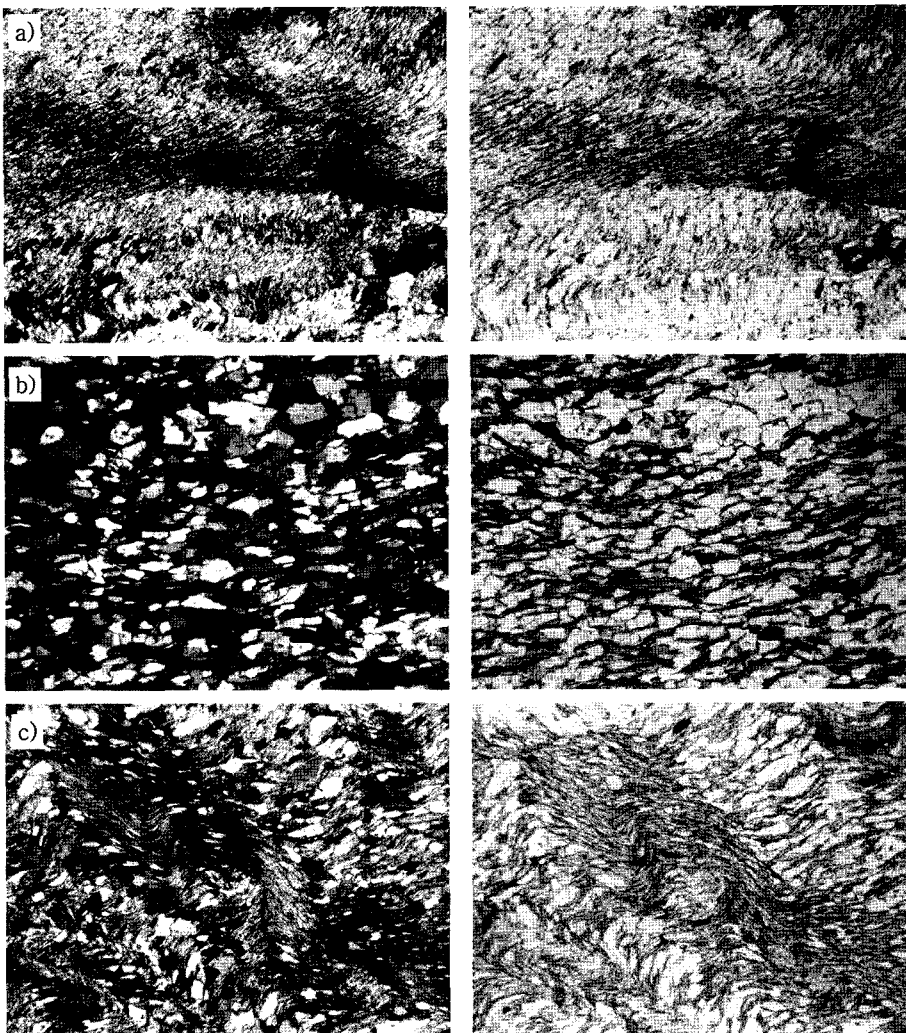


Fig. 5. Photomicrograph of thin section of phyllite effected by fault I(  $\times 10$ ). A circle shows slightly wavy extinction in quartz grain. Biotite was partially altered into chlorite. Qtz: quartz, Chl: chlorite.



**Fig. 6.** Photomicrograph of thin section of phyllite effected by fault I. The proportion of content increase in colorless mineral. A grain size is smaller than fresh phyllite.



**Fig. 7.** Photomicrograph of thin section of phyllite effected by fault II(  $\times 10$ ). Muscovite has dominant content than that of quartz. a) Micas had altered partially chlorite and contained a lot of graphite. b) Quartz and biotite shows slightly crenulation. c) The boundary between quartz zone and muscovite zone. Muscovite zone shows relatively sharp crenulation.

기도 한다(정원석 외, 2002). 파랑벽개는 색을 달리하여 나타나는데 이는 지하수에 의한 변질의 영향으로 생각된다. 흑운모의 비율도 신선암에 비해 증가하였고, 부분적으로 집중된 것을 관찰할 수 있다(Fig. 6).

#### Fracture Zone II(시추코어 sta. 47~49 m 구간)

시료는 시추코어 상에서 두 번째로 규모가 큰 단층(F3)의 영향권을 선택하였고, 조밀한 간격으로 쪼개지는 규칙절리에 대해 절리면에 평행한 방향과 엇리면에 거의 수직인 방향으로 각 2개씩 4개의 박편을 제작하였다.

박편에서 관찰되는 뚜렷한 특징은 광물성분의 변화보다는 흑운모와 백운모가 분대되는 현상이다(Fig. 7). 즉, 흑운모의 비율이 높은 부분은 파랑벽개의 발달이 미약하고, 백운모의 비율이 높은 부분에서 파랑벽개가 잘 발달하는 특징을 보여준다. 또한 흑연이 다수 나타나는데, 흑연이 산출되는 부분에서 파랑벽개가 심해지는 경향이 있다(Fig. 8). 흑연은 상대적으로 연성으로 거동하기 때문에 석영을 포함하고 있는 부분에 비해 변형작용의 영향을 많이 받은 것으로 보인다. 박편상에서 전체적으로 석영의 양이 감소되어 나타나며, 백운모의 양이 증가된

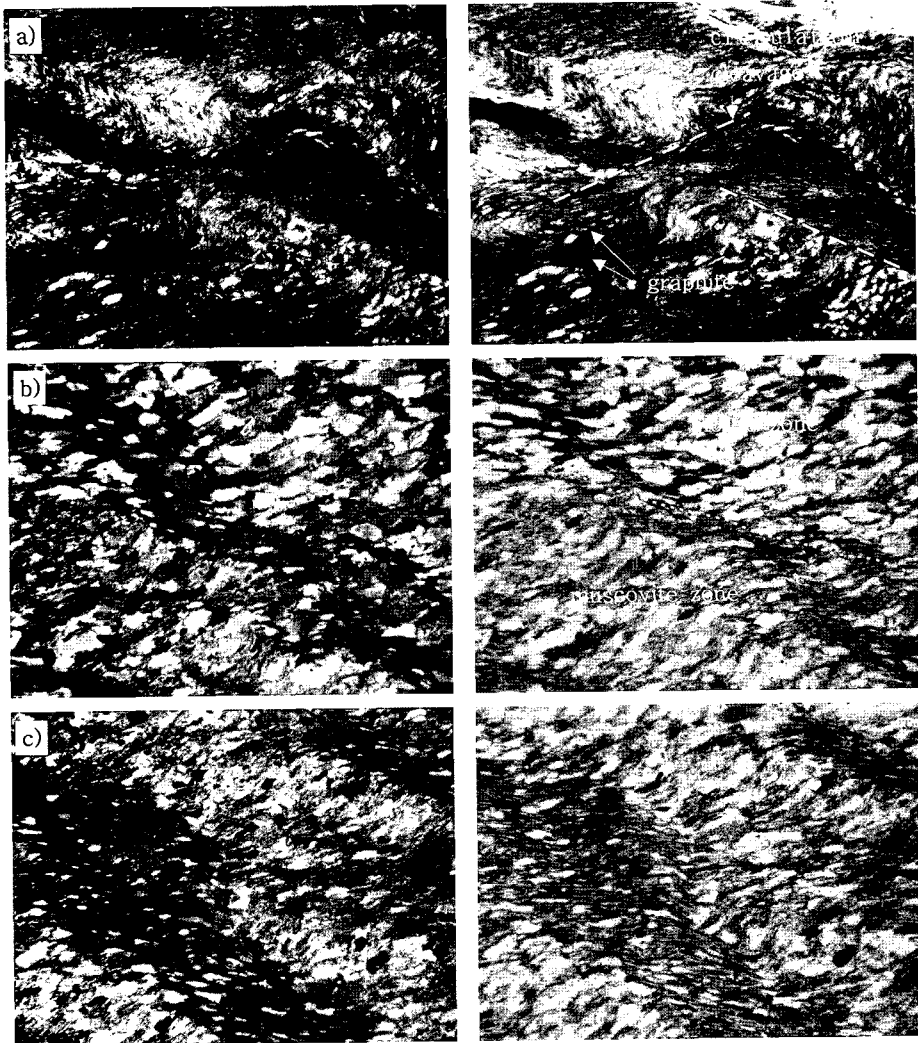


Fig. 8. Photomicrograph of thin section of phyllite effected by fault II ( $\times 10$ ). Grain size is very small and much graphite has contained. a) Micas which was originated coal shale had affected multiplex deformation. b) The boundary between biotite zone and muscovite zone. c) graphite shows ductile crenulation.

것으로 나타나는데, 이는 원암의 암상의 차이로 생각된다.

박편관찰 결과, 단층영향권에 있는 시추코어 암편들은 조밀한 간격으로 쪼개지는 특징과 지하수에 의한 일부 변질현상이 관찰된다. 이는 이질 기원암의 저변성작용과 약대를 통과하는 지하수에 의한 것으로써 주변의 화강암 관입이나 단층발달로 인한 물리적인 현상으로 생각된다. 박편 내에서 광물 성분상의 변화는 거의 관찰되지 않으며, 암석 내에 발달하고 있는 엽리와 파랑벽개 발달은 최근 단층보다는 과거 옥천대를 관통하는 대규모 구조조활동의 영향으로 생각된다.

**점토광물학적 특성**

점토광물 분석은 암석이나 단층점토 내에 포함되어 있는 점토물질이 비배수성 또는 팽창성 점토물질을 포함하는지의 여부를 파악하고, 단층의 영향을 받게 될 경우 물질의 변화가 발생하는지와 특정광물의 집중여부를 알고자 분석하였다. 먼저 단층 점토물질이 포함된 F1지점, F1과 인접하여 단층의 영향을 받은 것으로 추정되는 Fracture zone, 신선암 구간을 선정하여 시료를 채취하여 분말상태로 분쇄하였다(Fig. 9).

이들 시료는 대전에 위치하고 있는 한국기초과학지원 연구원에 의뢰하여 XRD 분석과 주사전자현미경(SEM) 사진촬영을 실시하였다. XRD 장비의 기기명은 고온 X-선 회절분석기(High Temperature X-ray Diffractometer) 이고 모델명은 D8 Advance이다. 주사전자현미경 장비는 LEO사에서 제작한 Leo 1455VP 모델명의 환경주사 전자현미경(Environmental Scanning Electron Microscope)으로 전자빔이 시료에 입사할 때 방출되는 이차전자(Secondary Electron; SE)를 주로 이용하며,  $\mu\text{m}$ 이하의

입자의 형상이나 표면구조를 관찰하는데 널리 사용되고 있다. 또한 저진공 상태에서도 시료의 관찰이 가능한 장점이 있다. 주사전자현미경사진은 시료에 포함되어 있는 점토광물의 특징을 잘 구별할 수 있도록 여러 지점에서 촬영을 하였다.

신선암과 단층영향권의 암석은 점토물질이 아닌 암석을 분말상태로 분쇄한 것이므로 단층점토 물질에 비해 점토의 함량이 상대적으로 적다는 점을 감안해야 한다. 분석은 단층대로 진행될수록 특정 광물의 함량 증가나 새로운 광물의 생성 파악이 목적이므로 이에 맞춰 분석하는 것을 원칙으로 하였다.

**신선암(Fresh Rock)**

신선한 암석에서 관찰되는 광물은 주로 석영과 운모류, 녹니석 등이며, 사장석과 흑연도 관찰된다(Fig. 10). 석영은 상대적으로 매우 높은 함량을 보이는데, 이는 사질암 기원의 천매암에서 채취하였기 때문인 것으로 생각된다. 주 구성광물 외 산출되는 점토광물은 판상(platy) 또는 불규칙한 결정형의 일라이트와 운모이다(Fig. 11). Fig. 11에서 이들의 결정형태는 Grim과 Guven (1978)의 기재에 의해 반자형라멜라(subhedral lamella) 형태로 구분할 수 있으며, 점토광물의 층간의 간격이 매우 조밀하고 평탄한 특징을 보여준다.

**Fracture zone**

단층의 영향을 받는 것으로 추정되는 구간에서 채취한 시료의 주요 구성광물은 석영, 백운모, 녹니석이며, 사장석과 흑연을 일부 포함하고 있다. 이들 시료는 신선한 암석과 비교해볼 때, 운모류의 함량이 석영의 함량에

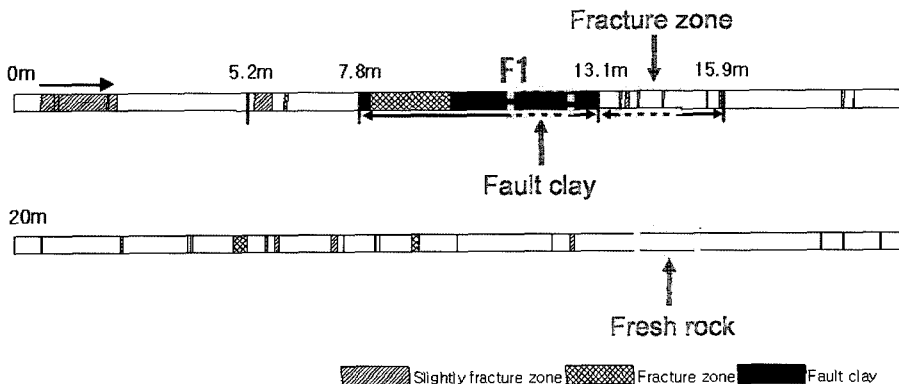


Fig. 9. Sampling points for clay mineral analysis.

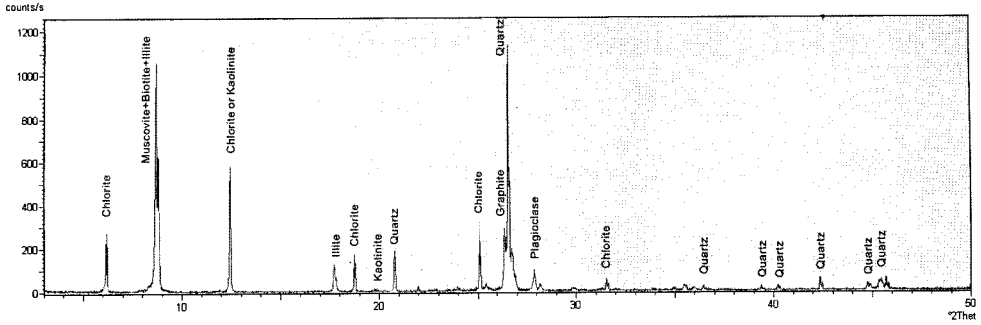


Fig. 10. X-ray diffraction patterns of clay minerals in fresh rock.

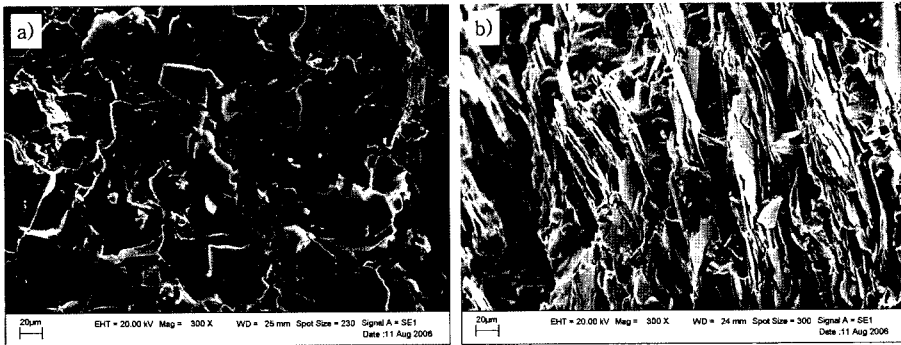


Fig. 11. Scanning electron micrographs of fresh phyllite. a) The shapes of clay minerals show subhedral lamella. b) The interlayer spacing is very tight and platy.

비해 상대적으로 높은 것으로 관찰되었다(Fig. 12). 전자 현미경 사진에서 관찰되는 점토광물은 주로 스�멕타이트이며, 카올리나이트도 일부 관찰된다. 풍화가 진행될수록 Al 성분이 농축되고, Mg 성분이 증가하는 경향이 있는데, K 성분의 함량이 거의 없으면 카올린 광물이 되기 쉽고, K 성분이 소량으로 존재하면 스�멕타이트가 되기 쉽다. 특히 신선암에 비해 장석의 함량이 줄어든 이유는 풍화가 진행되어 점토 광물로 변질되었기 때문

임을 알 수 있다. Fig. 13의 b)에서 사각기둥모양의 물질은 지하수 유입으로 인한 침전물일 가능성이 크다.

Fault Clay

단층점토는 시추코어 내에 협재되어 있는 단층점토 중 규모가 가장 큰 10~13 m 구간의 F1 지점에서 시료를 채취하였다. 단층점토는 건조상태에서 외형상 일정 크기의 균기가 있는 것으로 보이나, 손으로 누르면 쉽게

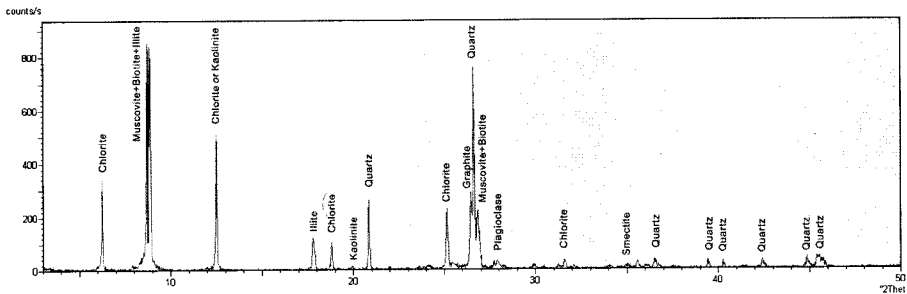
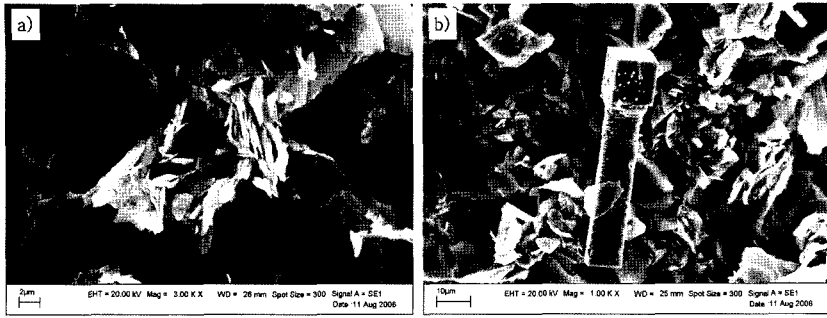


Fig. 12. X-ray diffraction patterns of clay minerals in phyllite effected by fault.





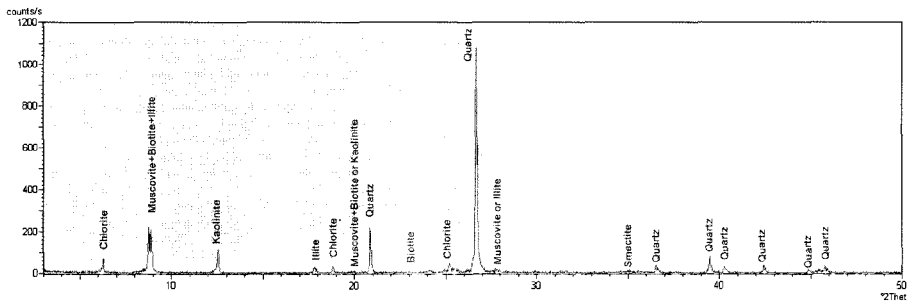
**Fig. 13.** Scanning electron micrographs of phyllite effected by fault. a) Smectite and kaolinite altered plagioclase. b) A square pillar was precipitated from groundwater.

부서지는 정도의 강도를 가진다. XRD 분석 결과 점토 물질을 구성하고 있는 광물은 주로 석영과 운모류, 녹니석 등으로 나타났으며, 장석은 거의 나타나지 않는 것을 볼 수 있다(Fig. 14). 전자현미경 상에서 보여지는 특징은 신선암과 단층영향권 암석에 비해 점토광물의 입자 크기가 작아지고 구형화된 점을 들 수 있다(Fig. 15). 이는 단층작용으로 인한 점토형성 시기가 상대적으로 짧았음을 시사한다. 점토광물은 주로 카올린 광물이 우세

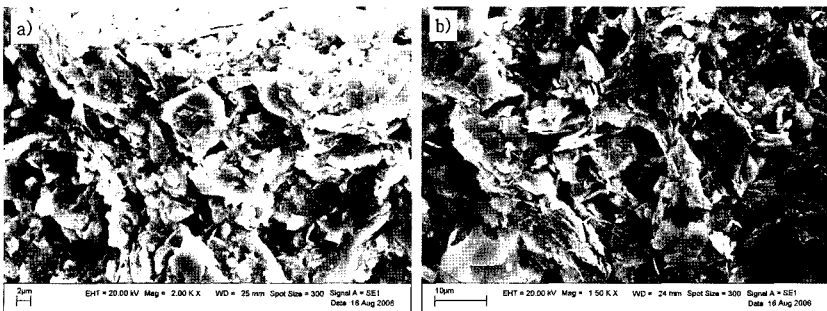
한데, 이는 단층작용 후 지하수 유입이 활발해지고 포타슘(K)이 다시 생성된 탓으로 생각된다. 즉, 스�멕타이트가 용해되어 성분의 침전이 일어난 경우로 판단된다.

**단층물질의 역학 특성**

회수된 시추코어는 F1, F2, F3의 단층 3매를 포함하고 있으며, 단층대의 폭은 각각 5.3m, 1.6m, 4.7m로 조사되었다(Fig. 1). 단층점토 시료는 가능한 각 단층마다



**Fig. 14.** X-ray diffraction patterns of clay minerals in fault gouge.



**Fig. 15.** Scanning electron micrographs of fault gouge. a) The grain size decreased in kaolinite assemblages. b) The shapes of clay minerals show a spherical shape.

채취하였으며, 역학적 특성을 조사하기 위하여 직접전단 시험을 실시하였다. 시료의 길이, 폭, 높이는 각각 5.97 cm, 5.97 cm, 2.00 cm이며, 면적은 35.64 cm<sup>2</sup>, 부피는 71.28 cm<sup>3</sup>의 동일한 크기의 시료로 성형하여 실험을 실시하였다. 또한 수직 하중을 일정하게 유지하여 3회의 실험을 실시하였으며, 각각의 수직 하중값은 1.57 t/m<sup>2</sup>, 4.37 t/m<sup>2</sup>, 7.18 t/m<sup>2</sup> 으로 나타났다. 점착력(c)과 내부마찰각(φ)은 Mohr-coulomb 파괴 포락선을 사용하여 구하였다.

F1 단층점토

F1 단층점토의 직접전단시험 결과는 Fig. 16과 같고, 전단응력과 수평변위(Fig. 16(a)) 및 수직변위와 수평변위(Fig. 16(b))의 관계로 나타내었다. 측정된 데이터를

Mohr-Coulomb 파괴 포락선으로 나타내면 Fig. 16(c)와 같고, F1 단층점토의 점착력(c)은 0.70 t/m<sup>2</sup>, 내부마찰각(φ)은 34.6° 계산되었다.

F2 단층점토

Fig. 17(a)와 Fig. 17(b)는 F2 단층점토의 직접전단시험 결과를 그래프로 나타낸 것이다. F2 단층점토의 전단특성을 Mohr-Coulomb 파괴 포락선으로 나타내면, 점착력(c)은 0.72 t/m<sup>2</sup>, 내부마찰각(φ)은 35.1° 산정된다(Fig. 17(c)).

F3 단층점토

F3 단층점토의 직접전단시험 결과는 Fig. 18(a) 및

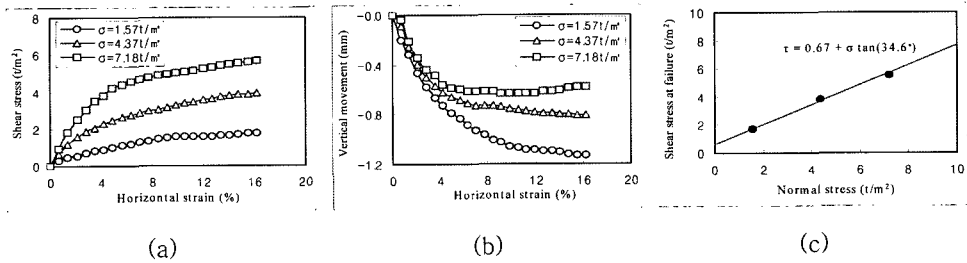


Fig. 16. Horizontal strain vs. shear stress(a) and vertical movement(b), shear strength properties (c) of F1 fault gouge.

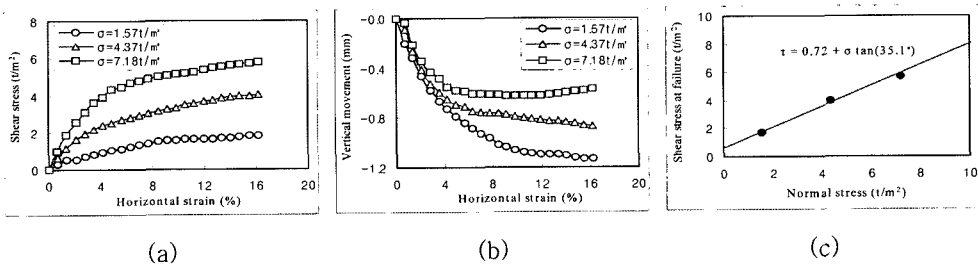


Fig. 17. Horizontal strain vs. shear stress(a) and vertical movement(b), shear strength properties (c) of F2 fault gouge.

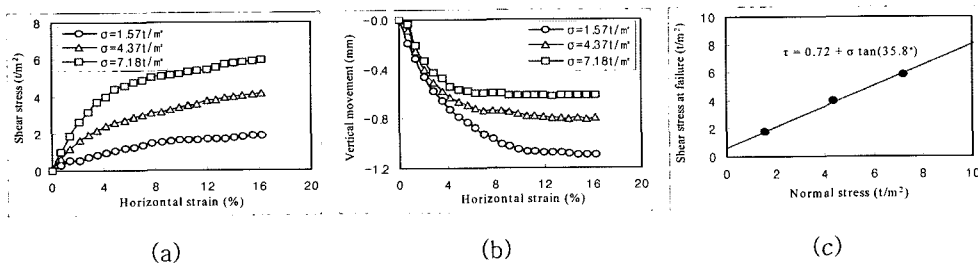


Fig. 18. Horizontal strain vs. shear stress(a) and vertical movement(b), shear strength properties (c) of F3 fault gouge.

Fig. 18(b)와 같다. 측정된 데이터를 Mohr-Coulomb 파괴 포락선으로 나타내면, F3 단층점토의 점착력( $c$ )은  $0.72 \text{ t/m}^2$ , 내부마찰각( $\phi$ )은  $35.8^\circ$  산정된다(Fig. 18(c)).

OO 터널의 시추공에서 획득된 F1, F2, F3 단층대의 단층점토는 점착력( $c$ )과 내부마찰각( $\phi$ )의 평균은 각각  $0.70 \text{ t/m}^2$ 과  $35.2^\circ$ 이다.

## 결 론

본 연구는 천매암 기반의 OO 터널에서 회수된 시추코어를 이용하여 단층발달에 따른 광물성분의 변화를 관찰하고 구성물질과 파생된 점토광물을 분석하여 암반의 불안정성을 추정하는 것을 목적으로 하였고, 아울러 조밀한 간격으로 규칙적인 분리현상을 보이는 파쇄구간의 발달과 단층 및 구성물질과의 관련성을 알아보았다. 이를 위해 현장조사와 실내실험을 병행하였다. 실내실험에는 단층 점토물질의 전단강도 산정, 점토광물의 성분분석, 박편관찰이 포함된다. 이를 요약하면 다음과 같다.

1) 박편관찰결과, 신선암에서는 흑연이 관찰되는 특징을 보이며, 최근 단층발달에 의한 광물 성분상의 변화는 거의 없는 것으로 관찰되었다. 단층대 인접구간에서는 석영의 파동소광(wavy extinction)이 미약하게 나타나는 것으로 보아 최근 단층에 영향을 받은 것으로 생각된다.

2) 점토광물 분석결과, 신선암에서 단층구간으로 갈수록 장석의 함량이 줄고 카올린 광물이나 스멕타이트의 함량이 다소 증가하는 경향을 보인다. 특히 스멕타이트는 팽창성 점토광물로서 암반의 불안정성을 유발하는 인자가 될 수 있다. 전자현미경사진 분석결과 단층구간으로 갈수록 광물입자의 크기가 줄고, 구형화되는 특징을 보이는데, 이는 단층작용으로 인한 점토형성 시기가 상대적으로 짧았음을 보여준다. 또한 단층구간으로 갈수록 지하수 유입에 영향을 받는 것으로 나타났다.

3) 단층점토 시료의 전단시험 결과 규모가 가장 큰 F1 단층의 점착력( $c$ )과 내부마찰각( $\phi$ )이 각각  $0.70 \text{ t/m}^2$ 과  $34.6^\circ$  산정되었다. 이는 터널 주변의 기반암에서 비교적 보통 풍화를 받은 암반의 점착력( $c$ )과 내부마찰각( $\phi$ )이 각각  $34.8 \text{ t/m}^2$ 과  $38^\circ$  조사된 것과 비교해 볼 때, 단층 점토물질의 전단강도가 상대적으로 낮은 것을 확인할 수 있다.

4) 획득된 시추코어상에서 단층에 인접한 파쇄구간의 암편들이 조밀한 간격으로 분리되는 특징은 니질기원 변성암에 인근 화강암의 관입 또는 단층발달로 인해 생긴 물리적인 현상으로써 약대를 통과하는 지하수 작용이 더

해진 것으로 생각된다.

## 사 사

본 연구는 건설교통부의 2005년 건설핵심기술연구개발사업인 "IT 및 신소재를 활용한 급속 안정화 터널시공기술개발(과제번호 : C105A1020001-05A0502-00240)" 연구사업의 일환으로 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- 미원지질도폭, 1980, 한국지질자원연구원  
 이석훈, 정창식, 손병국, 임창복, 2000, 울산단층대 신기 단층 비지의 광물학적 특성 및 생성환경, 한국암석학회, 한국광물학회 2000년도 공동학술발표회 논문집.  
 이창섭, 조태진, 이상배, 원경식, 2007, 제주도 한라산 조면암의 풍화특성에 관한 연구, 대한지질공학회, 17(2), 235-251.  
 정원석, 이승준, 나기창, 2002, 석영의 파동소광 강도를 이용한 청산화강암의 변형의 정량화  
 추창호, 장태우, 1999, 동래단층 비지(gouge)내 점토광물의 특징과 형성환경, 한국광물학회, 한국암석학회 1999년도 공동학술발표회 논문집.  
 Grim, R. E. and Guven, N., 1978, Bentonites: Geology, Mineralogy, Properties and Uses. Elsevier scientific publishing company, 256p.  
 Raymond, L. A., 1995, Petrology, Wm. C. Brown Publishers, 472-495.

2007년 9월 1일 원고접수, 2007년 9월 14일 게재승인

### 이경미

충북대학교 지구환경과학과

361-763, 충북 청주시 흥덕구 성봉로 410(개신동)

Tel: 043-261-2765

Fax: 043-273-9645

E-mail: kmlee924@hanmail.net

### 이성호

충북대학교 지구환경과학과

361-763, 충북 청주시 흥덕구 성봉로 410(개신동)

Tel: 043-261-2765

Fax: 043-273-9645

E-mail: jesessung@hanmail.net

**서용석**

충북대학교 지구환경과학과  
361-763, 충북 청주시 흥덕구 성봉로 410(개신동)  
Tel: 043-261-2765  
Fax: 043-273-9645  
E-mail: yssseo@cbu.ac.kr

**김창용**

한국건설기술연구원 국토지반연구부  
411-712, 경기도 고양시 일산서구 대화동 2311  
Tel: 031-910-0224  
Fax: 031-910-0211  
E-mail: cykim@kict.re.kr

**김광엽**

한국건설기술연구원 국토지반연구부  
411-712, 경기도 고양시 일산서구 대화동 2311  
Tel: 031-910-0225  
Fax: 031-910-0211  
E-mail: kimky@kict.re.kr