

# 동래단층 비지(gouge)내 점토광물의 특징과 형성환경

## Characteristics of clay minerals in the fault gouges of the Dongrae Fault, and their implications for fault activity

추창오<sup>1</sup>, 장태우<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국자원연구소 지하수환경연구단(chooco@kis.kigam.re.kr),

<sup>2</sup>경북대학교 자연대 지질학과

### 1. 서 론

양산단층대(Yangsan Fault System)는 양산, 동래, 모량, 입실, 일광, 울산 단층 등으로 구성되는데, 주로 NNE의 방향성을 가지면서 발달하는 대단층이다. 단층대의 환경지질학적 중요성은 근래에 한반도에 빈발하는 지진과 이것의 발생 메카니즘의 해석에 있어서 특히 강조되고 있다. 더욱이 양산단층대 인근에 월성, 고리, 울진의 원전이 가동중이며 향후에도 더 건설될 예정이어서, 양산단층대를 둘러싼 활성단층의 논쟁은 큰 주목을 받고 있다. 이러한 관점에서 최근의 여러 연구들은 단층의 운동 시기와 고환경 해석에 주안점을 두고 있다. 그 중에서도 단층대 중심부에서 발달하는 단층비지(fault gouges)를 이용한 미구조 해석과 이들의 구성광물의 연대측정을 통하여 단층의 주요 활동시기를 유추하는 것은 단층해석에 있어 매우 유용한 정보를 제공한다(장태우와 추창오, 1998a; 1998b). Table 1은 단층비지를 이용한 단층의 연대측정과, 일라이트나 I/S혼합층상광물을 이용하여 이들의 전이과정의 시기를 해석한 기존의 주요 연구들을 요약한 것이다. 단층의 연대측정은 단층비지의 광물을 대상으로 K-Ar 연대측정, 피션트랙 분석, 열발광법, 전자스핀 공명법 등이 널리 적용되고 있다. 그러나 단층점토나 분쇄물은 주로 점토광물과 같은 미세광물로 구성되기 때문에 정확한 광물학적 해석이 없이는 단층의 활동기에 지배적이었던 물리화학적 고환경을 유추하는데 한계가 있다.

동래단층은 양산단층대에 속하며 NNE방향으로 약 150 km 정도로 연장성을 갖는 주요 대단층 중의 하나이다. 본 연구의 목적은 동래단층대의 단층비지내에 형성되어 있는 점토광물의 특징을 통하여 단층의 주요 활동기에 지배적이었던 물리화학적 조건을 추정하고, K를 함유한 구성광물의 연대측정을 통하여 이 단층운동의 주 활동시기를 해석하는데 있다.

### 2. 연구 및 실험방법

본 연구지역은 부산시-경주 외동읍에 이르는 동래단층 구간중 울산시 청량면과 웅촌면 덕하리 양산시 동면, 웅상읍, 부산시 금정구 선동 일대이다. 채취한 단층비지를 대상으로 우선 전체시료에 포함되어 있는 광물감정을 하였으며, 점토광물은 따로 분리하여 보다 정확한 분석을 실시하였다. 점토광물의 경우 bulk sample,

powdered sample, preferred-oriented sample, EG-treated samples을 제작하여

Table 1. Summary of some researches on faults gouges (upper) and clay minerals (bottom) using K-Ar dating methods.

| Researchers                  | Works   | Remarks              |
|------------------------------|---|----------------------|
| Lyons and Snellenburg (1971) | Dating faults using illitic fault gouges                  | Fault gouges         |
| Hoffman et al. (1976)        | Thrusting in Montana                                      |                      |
| Tanaka et al. (1995)         | Timing of the cataclastic deformation                     |                      |
| Hurley et al. (1960)         | Age measurements for glauconite                           | Common clay minerals |
| Burley and Flisch (1989)     | I/S illitization and authigenic illite precipitation      |                      |
| Mattews et al. (1994)        | Authigenic illitic clay minerals in sandstones and shales |                      |
| Velde and Renac (1996)       | Smectite to illite conversion                             |                      |
| Clauer et al. (1997)         | Illite fundamental particles from I/S                     |                      |

XRD로써 정확한 광물종의 감정과 구조적 특성을 해석하였다. 또한 연마편을 제작하여 편광현미경과 Backscattered Electron Image(BSE)로써 미구조 해석을 하였으며, SEM과 EPMA를 이용하여 단층비지의 조직관찰과 각 광물에 대한 화학분석을 실시하였다. K를 함유하는 점토광물은 2  $\mu\text{m}$  이하로 분리하여 K-Ar 연대측정을 실시하였다.

### 3. 결 과

단층비지는 주로 스멕타이트, 일라이트, 제올라이트, 석영으로 구성되며, 소량의 황철석, K-장석, 카올리나이트, 인회석 등을 수반한다. SEM과 XRD 결과에 따르면 일라이트는 1Md형으로서 등립질로 나타난다. 스멕타이트는 주로 montmorillonite로 구성되지만, SEM/EDS 결과에 따르면 I/S도 소량으로 존재한다. 제올라이트는 mordenite와 heulandite로 산출하는데, mordenite는 filiform의 다발형태로서 스멕타이트의 말단부를 독특하게 부분적으로 교대를 하며, heulandite는 자형의 결정으로서 맥상으로 나타난다. K-장석은 극소량 산출되는데, heulandite vein의 가장자리에서 다각형의 결정형을 나타내는 것으로 보아 이들은 성인적으로 밀접히 관련됨을 지시한다. 특히 제올라이트는 단층비지물을 구성하는 광물들 가운데서 후기단계에서 형성된 안정한 광물상인 것으로 보인다. 단층비지를 구성하는 광물들은 단층활동에 의해 생성된 단순한 분쇄물 상태가 아니라, 주요 단층활동기 직후에 일어났던 저온의 열수변질 작용의 결과로 형성된 이차광물임을 지시한다.

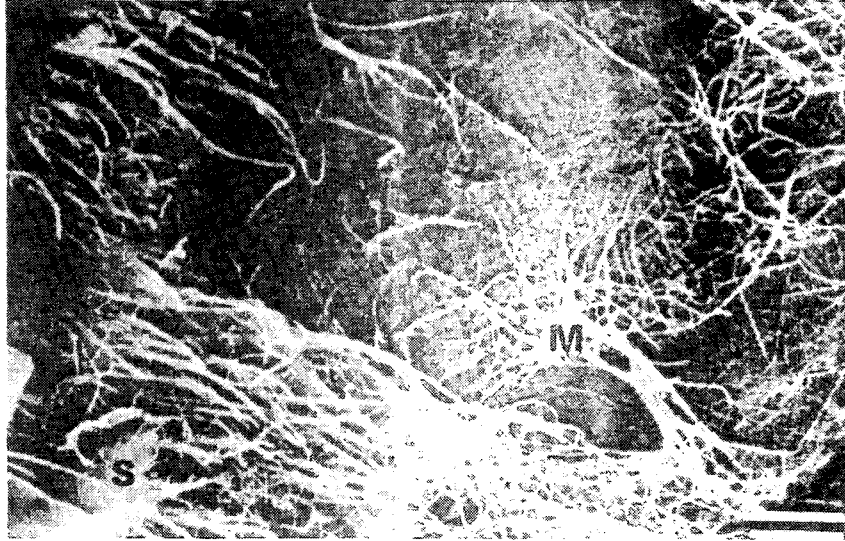


Figure 1. SEM image of filiform mordenite (M) growing on smectite (S) in sample 15Msd. Scale: 2  $\mu\text{m}$ .

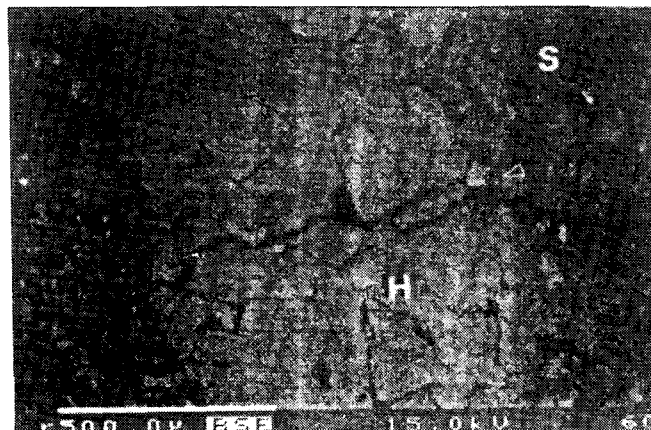


Figure 2. BSE image of heulandite (H) veinlets, smectite (S) matrix, and authigenic K-feldspar (arrowed) in the Gokcheonri sample. Scale : 500  $\mu\text{m}$ .

#### 4. 결론 및 토의

K-Ar 연대측정 결과에 따르면 동래단층의 단층비지는 40.3~57.5 Ma를 보인다. 점토광물과 제올라이트의 상안정을 고려하면 이들은 100~250  $^{\circ}\text{C}$  범위에서 주로 형성된 것으로 볼 수 있다. 주요 광물들의 특징과 산상을 종합해 볼 때, 동래단층대의 단층점토는 단층활동에 의한 파쇄물들이 단층작용과 관련된 일련의 열수변질작용을 겪어서 형성된 것이다. 각 채취지점에 따라서 단층비지가 다양한 광물조성을 보이는 것은 각 단층비지의 물리화학적인 형성환경이 상이할 뿐만 아니라, 주변의 모암의 종류, 분쇄정도, 비지물의 투수성 등과 같은 변수도 중요함을 의미한다.

한편, 최근에는 K-Ar법보다는 오차가 상대적으로 적은 Ar-Ar법이 점차 일반화되고 있는 추세인데, 보다 광범위한 단층비지의 분석과 아울러 단층비지를 구성하는 미세광물에 대한 심도있는 광물학적 연구가 이루어진다면, 단층의 주요 활동기에 지배적이었던 고환경을 보다 구체적으로 해석할 수 있을 것으로 보인다.

## 5. 참고문헌

- 장태우, 추창오 (1998 a) 동래단층지역 단층비지의 생성과정과 K-Ar 연령. 지질공학회지 8, 175-188.
- 장태우, 추창오 (1998 b) 양산단층대의 단층작용 과정과 단층비지의 K-Ar 연령. 지구과학회지 20, 25-37.
- Burley, S. D. and Flisch, M. (1989) K-Ar chronology and the origin of illite in the Piper and Tartan Fields, Outer Moray Firth, U. K. North Sea. Clay Miner. 24, 285-315.
- Clauer, N., Srodon, J., Francu, J., and Sucha, V. (1997) K-Ar dating of illite fundamental particles separated from illite-smectite. Clay Miner. 32, 181-196.
- Hoffman, J., Hower, J., and Aronson, J. L. (1976) Radiometric dating of time of thrusting in the disturbed belt of Montana. Geology, 4, 16-20.
- Hurley, P. M., Cormier, R. F., Hower, J., Fairbairn, H. W., and Pinson, W. K. (1960) Reliability of glauconite for age measurements by K-Ar and Rb-Sr methods. AAPG Bull. 44, 1793-1808.
- Lyons, J. B. and Snellenburg, J. (1971) Dating faults. Geol. Soc. Am. Bull. 82, 1749-1752.
- Mattews, J. C., Velde, B., and Johansen, H. (1994) Significance of K-Ar ages of authigenic illitic clay minerals in sandstones and shales from the North Sea. Clay Miner. 29, 379-389.
- Tanaka, H., Uehara, N., and Itaya, T. (1995) Timing of the cataclastic deformation along the Akahashi Tectonic Line, central Japan. Contrib. Miner. Petrol. 120, 150-158.
- Velde, B. and Renac, C. (1996) Smectite to illite conversion and K-Ar ages. Clay Miner. 31, 25-32.