

양산단층대 단층비지의 광물학적 특성연구

이석훈¹, 정창식¹, 박찬수², 정기영³, 임창복⁴

¹한국기초과학지원연구원 중앙분석기기부(shlee@kbsi.re.kr), ²한국기초과학지원연구원 서울분소,

³안동대학교 지구환경과학과, ⁴한국원자력안전기술원 방사선공학연구실

1. 서론

한국 남동부 지역에서 NNE-SSW의 주향을 보이며 발달하고 있는 양산단층은 남쪽으로는 낙동강 하구에서 북쪽으로는 평해 지역까지 연장되어 있다. 최근 양산단층의 활동시기에 대한 관심이 집중되면서 단층비지에 포함된 점토광물을 이용하여 K-Ar 및 Rb-Sr연대측정을 실시해오고 있으나 기반암의 종류와 측정방법에 따라 비교적 다양한 연대가 발표되고 있다. 장태우와 추창오(1999)는 퇴적암을 기반암으로 하는 단층비지에서 79~95Ma, 화강암이 기반암인 시료는 50~59Ma, 화산암 기반암 시료에서 37Ma의 K-Ar 연대를 얻었으며, Choo and Chang (2000)은 동래단층 비지에서 40~58Ma K-Ar의 결과를 나타냈고, 정창식 외(2002)는 퇴적암 기원의 11개 단층비지에서 0.2 μ m 이하의 입자를 대상으로 20-64Ma의 K-Ar 연령측정결과를 얻었다. 이처럼 같은 단층대에서 다양한 연대를 나타내는 것은 분석에 이용하는 K 함유 점토광물인 일라이트와 I/S혼합층상광물이 단층활동 시에 형성된 자생광물과 기반암 기원의 일라이트가 혼입되었을 가능성을 시사한다. 입자크기에 따른 K-Ar 연대의 차이를 나타낸 연구결과(문희수, 2000; Ben et al., 2001; 조규한 외, 2001)에서 보는 바와 같이 단층비지를 구성하는 점토광물에는 단층활동 시에 생성된 자생 일라이트와 기반암에서 유입된 일라이트가 공존하고 있을 개연성이 항상 있다. 따라서 보다 정확한 단층활동시기의 연대측정과 고환경에 대한 해석을 위해서는 단층비지의 구성점토광물에 대한 정밀한 연구가 선행되어야 한다.

양산단층대의 평해단층 노두는 선캠브리아기 기반암에서 발달하고 있으며, 영덕(자부터), 보경사, 유계리, 벽계, 가천 및 조일단층은 경상누층군의 퇴적암과 응회암에 발달해 있다. 모량단층대 배내골 단층노두는 안산암을 기반암으로 하며, 울산단층대의 신계리 및 활성리 단층노두는 백악기 불국사화강암을 기반암으로 한다. 이 연구의 목적은 단층의 주요 활동시기에 지배적이었던 물리화학적인 환경 및 측정연대를 보다 정확하게 해석하고자 XRD, SEM, EPMA, TEM등을 통해 각 지역의 단층비지에 대한 광물학적 특성을 규명하는데 있다.

2. 시료채취 및 실험방법

단층비지의 시료채취는 양산단층대를 따라 북쪽에서 남쪽으로 가면서 평해, 자부터(영덕), 보경사, 유계리, 벽계, 가천 및 조일단층 노두, 모량단층대의 배내골단층 노두와 울산단층대의 신계리 및 활성리단층 노두를 대상으로 하였다. 각 노두의 비지대(gouge zone)의 폭은 수십 cm에서 수 m에 이르나 시료는 가능한 비지대의 중심에서 채취하였다. 채취한 단층비지 시료는 구성광물의 조성과 점토광물을 동정하기 위해 자연상태에서 건조시켜 15 μ m 이하로 분말화하여 부정방위 시료로 X-선 회절분석을 실시하였다. 점토광물의 특성을 규명하고자 5-2 μ m, 2-0.2 μ m 및 <0.2 μ m 세 등급으로 입자크기를 분리하였다. 각 시료의 입자분리는 Stokes 법칙에 의해 원심분리기를 사용하였으며, 0.2 μ m 이하의 입자는 초고속 원심분리기를 이용하여 회수하였다. 분리된 점토광물은 부정방위 시료를 만들어 점토광물의 조성과

일라이트의 다형을 결정하였고, 박편용 유리위에 정방위 시료를 만들어 X-선 분석을 실시하여 점토광물의 동정과 일라이트의 결정도 지수(IC)를 구하였다. 또한 점토광물에 대한 정확한 감정을 위해 각각에 대하여 가열실험 및 에틸렌글리콜 (ethylene glycol)로 증발, 흡착 실험을 병행하였다. 자연시료를 대상으로 주사전자현미경(SEM) 관찰을 실시하여 광물상호간의 관계 규명하였다. 비지시료에 저밀도 수지(Cadofix)를 침투시켜 고화한 후 연마편을 제작하여 후방산란전자영상(BSI)을 통해 미구조를 해석했으며, 전자현미분석기(EPMA)로 점토광물의 화학분석을 시도하였다. 입자 크기별로 분리한 시료들에 대하여 K-Ar분석 및 Rb-Sr분석을 통해 연대측정을 실시하였으며, 구성광물의 특성에 따라 연대측정결과를 해석하고자 하였다.

3. 결과

각 단층비지의 부정방위 시료에 대한 X-선 분석결과 주요 모암 기원 광물로 석영과 장석이 동정되었으며, 점토광물로는 스멕타이트, 일라이트, 캐올리나이트 및 녹니석이 확인되었다. 대부분의 비지시료에서 스멕타이트의 산출이 뚜렷하며, 특히 배내골, 신계리 및 활성리 단층비지에선 석영과 장석이 거의 남아있지 않으며 스멕타이트의 함량이 높다. 일라이트와 캐올리나이트는 모든 시료에서 관찰되지만 지역에 따라 산출양상이 다르다. 일라이트는 양산단층의 최북단인 평해단층비지와 최남단인 가천단층비지에서 비교적 풍부하게 산출된다. 이에 비해 캐올리나이트는 경주를 중심으로 북쪽에 위치한 단층비지에서 뚜렷한 산출양상을 보이나 경주 남쪽의 단층비지에서는 산출이 미약하다.

0.2 μm 이하의 정방위 시료에 대한 X-선 회절분석결과는 점토광물의 조성 및 산출양상을 보다 뚜렷하게 나타내준다(그림 1). 모암기원의 석영과 장석의 전혀 인지되지 않는다. 영덕단층비지(CYS-2C)에선 스멕타이트의 산출이 매우 미약한 반면에 일라이트와 캐올리나이트의 발달이 현저하다. 가천단층비지 중 O111GC-6에서 특징적으로 녹니석이 관찰된다. 각 시료에서 일라이트의 결정도지수는 0.6~0.8(2θ)로 높아 생성기원이 속성작용의 범위에 해당한다. 0.2 μm 이하의 정방위 시료에 대한 X-선 회절분석으로 일라이트의 다형은 비교적 저온에서 안정한 1Md가 대부분이며, 1M의 다형이 확인되기도 한다. 점토광물의 d(060) 회절선이 1.49~1.50Å의 범위에서 나타나고 있어 모든 점토광물이 이팔면체구조를 하고 있으나 X-선 회절분석으로 I/S의 존재는 확인되지 않았다. 스멕타이트에 대한 전자현미분석결과 소량의 K이 확인되는 것으로 보아 제한적이긴 하지만 I/S가 존재하는 것으로 보인다.

주사전자현미경 관찰에 의하면 일라이트의 발달이 미약한 울산단층대의 스멕타이트의 flakes 끝이 둥글고 깨끗한데 비해 양산단층대의 스멕타이트 flakes의 가장자리는 날카롭거나 여러 갈래로 갈라져 가는 실 모양으로 변질되고 있는 것이 관찰되며, 지역에 따라 스멕타이트의 flakes 주변에서 섬유다발 형태의 일라이트가 발달하기도 한다(그림 2). 이러한 양상의 일라이트에 대한 에너지분광분석결과 소량의 Mg와 Fe를 포함하고 있다.

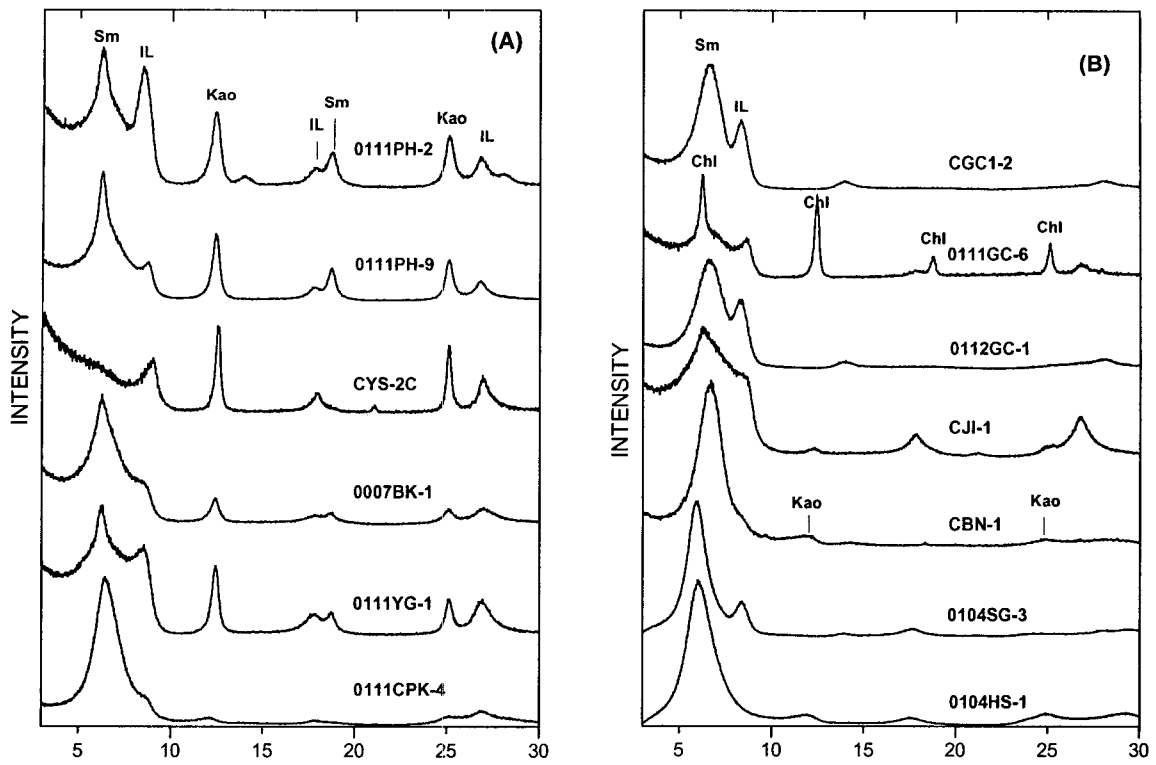


Fig. 1. X-ray diffraction patterns of the $<0.2\mu\text{m}$ fractions (preferred orientation) from the fault gouge samples.

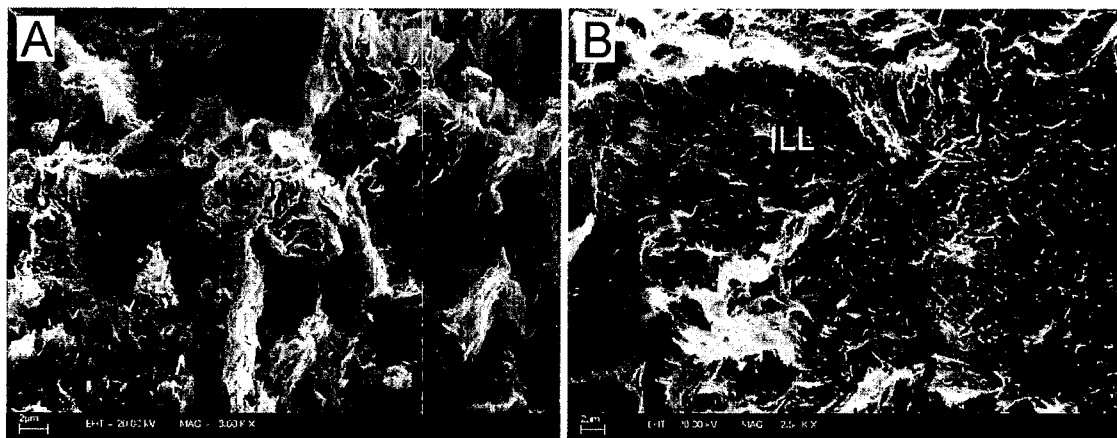


Fig. 2. Scanning electron micrographs of the smectite (SM) and illite (ILL) from fault gouges of Yangsan fault zone.

4. 토의 및 결론

양산단층대 단층비지의 점토광물은 스멕타이트, 일라이트 및 캐올리나이트로 구성되어 있으며 모두 이팔면체 구조를 하고있어 스멕타이트로부터 일라이트로의 전이성이 있다. 전 단층비지에서 지배적으로 산출되는 스멕타이트는 Ca-몬모릴로나이트이며, 일부에서 일라이트와의 혼합층상구조를 가지고 있다. 가장자리가 매우 불규칙한 산출양상을 보인다. 일라이트는 양산단층대의 모든 비지시료에서 관찰되며, 결정도 지수가 0.6~0.8(2 θ)로 비교적 크고, 다형은 1Md가 우세하다. 자생 일라이트는 열수변질작용으로 스멕타이트로부터 전이되었고, 소량의 Fe와 Mg을 팔면체구조에 함유하고 있으며, 가는 섬유다발 형태의 산출양상을 보인다. 이러한 일라이트의 특징은 이 지역의 단층작용이 비교적 저온에서 장시간에 걸쳐 진행되었음을 시사한다. 일라이트이 형서에 필요한 K은 정장석에서 기원한 것으로보이며, 화산암 기반암의 단층비지에선 원암 기원의 운모광물 유입에 대한 증거는 남아있지 않다. 캐올리나이트는 경주 북쪽의 단층비지에서 현저한 산출양상을 보이나, 남쪽에선 인지가 어려울 정도로 미약하다. 따라서 상대적으로 북쪽의 단층비지 노두가 상대적으로 빨리 지표면에 노출되었음을 의미하며, 생성 깊이가 남쪽 단층비지보다 얕았다기보다는 지형적인 특징이 반영된 것으로 보인다.

5. 참고문헌

- 문희수 (2000) 단층비지의 점토광물학적 연구와 K-Ar 일라이트 연대측정, 신기지가변형 연구자문 보고서, 214-233.
- 장태우, 추창오 (1999) 양산단층대의 단층작용 과정과 단층비지의 K-Ar 연령, 지구과학회지, 20, 25-37.
- 정창식, 이광식, 최만식, 김정민, 한정희, 이석훈, 박찬수, 김현철, 홍덕균, 최정현, 김하영, 이설희, 임소현, 김명진, 김동연, 정기영 (2002) 신기단층 및 지층대 대한 절대연대 측정 연구. 한국원자력안전기술원, pp73.
- 조규환, 다카기 히데오, 이와무라 야키라, 이와지 도타, 장태우, 손승완, 이타야 테츠마루, 오카다 도시노리 (2001) 자원환경지질, 34, 583-593.
- Ben A. van der P., Chris M.H., Peter J.V., David R.P. and Michael C.C. (2001) The dating of shallow faults in the Earth's crust, Nature, 412, 172-175.
- Choo, C.O. and Chang, T.W. (2000) characteristics of clay minerals in gouges of the Dongrae fault, southeastern Korea, and implication for fault activity, Clay and Clay Minerals, 48, 204-212.