

# 양산단층대의 단층비지 내 점토광물을 이용한 단층의 활동시기 결정

성기훈<sup>1)</sup> · 문희수<sup>1)</sup> · 강일모<sup>1)</sup> · 송운구<sup>1)</sup> · 조동룡<sup>2)</sup>

## 1. 서 론

한반도 남동부 경상분지 지역에는 원자력발전소 등 산업시설이 밀집되어 있다. 최근 이들의 안정성과 관련하여 양산단층계(梁山斷層系)에 해당되는 단층들의 단층운동에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. IAEA (International Atomic Energy Association) 규정상 1만년전부터 현재까지의 기간(Holocene)동안에 움직인 단층을 활성단층이라 말한다. 또한, 5만년전부터 현재까지 1회 이상 움직였거나, 50만년전부터 현재 사이에 2회 이상 활동한 흔적이 있을 경우, 이를 활성가능단층(capable fault)이라고 정의하고 있다. 이처럼 이 지역에서 나타나는 단층들에 대한 정확한 운동시기를 규명함으로써 이들 지역의 산업시설에 대한 안정성 평가에 중요한 연구자료를 제공할 수 있다. 최근 국내에서도 신기각변형연구의 일환으로 양산단층계 및 해안단구에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 특히 단층대에서 나타나는 단층파쇄 맥암 및 단층비지를 대상으로 K-Ar 측정법, <sup>14</sup>C AMS 측정법, ESR 및 OSR 측정법을 통한 연대측정이 이루어졌다.

Lyons *et al.* (1971)이 K-Ar 측정법을 이용하여 단층의 최후 운동시기를 결정한 이래로 이 방법을 이용한 단층의 운동시기결정에 대한 연구가 활발히 진행되었다(Kralik *et al.*, 1987; Hamilton *et al.*, 1989; Mossmann, 1991; Tanaka *et al.*, 1995). 이 방법은 단층활동 당시 생성된 K-함유 점토광물의 K-Ar 연대측정을 통해 단층의 활동시기를 알아내는 것이다. 그러나, 실제로 단층비지 내에서 나타나는 K-함유 광물의 경우 모암물질로부터 유래된 쇄설성 광물들도 포함되어 있기 때문에 정확한 단층의 활동시기를 유추하기 위해서는 단층비지에 대한 충분한 광물학적 연구가 필요하다. 이에 Pevear (1992)는 단층비지에 대한 X-선 회절분석을 통해 자생 및 쇄설성 일라이트의 비율을 구하고, 이에 따른 K-Ar 연대를 도출하여 단층에 대한 모델 연대를 산출하는 일라이트 연령분석법(Illite Age Analysis: Pevear, 1992; Pevear *et al.*, 1997)을 제안하였다.

이에 본 연구에서는 양산단층 단층비지를 이용하여 다양한 입도에 따른 광물학적 특성을 파악하고 이들의 K-Ar 연령측정을 통해 단층의 활동시기를 결정하고, 더 나아가 국내 단층비지에 대한 일라이트 연령측정법의 적용가능성 및 일라이트 연령측정법의 문제점 등을 검토하며, 기존에 연구된 단층연령자료들과의 비교분석을 통해 단층활동시기에 대한 새로운 해석법을 제안하고자 한다.

## 2. 연구방법

양산단층대에 속하는 자부터단층에서 채취된 단층비지 시료를 다양한 입도 (<0.1 $\mu$ m, 0.1-0.2 $\mu$ m, 0.2-0.5 $\mu$ m 및 0.5-2 $\mu$ m)로 분리하여 X-선 회절분석을 실시하였다. NEWMOD<sup>®</sup> 프로그램을 통해 X-선 회절도를 분석하여 시료 내의 쇄설성 일라이트 함량을 산출하였으며, 입도별로 K-Ar 연령을 측정하였다. 일라이트 연령분석법(IAA)에 따라 산출된 쇄설성 일라이트 함량과 K-Ar 연령을 도출한 후, 이들을 회귀분석하여 단층의 모델연령을 산출하였다.

## 3. 결 과

양산단층대에 속하는 자부터단층에서 채취된 단층비지는 주로 석영, 장석 및 탄산염광물 등으로 구

성되며 일부 시료에서는 적철석과 애나테제가 나타나기도 한다. 점토광물로는 일라이트, 카올리나이트, 그리고 일라이트/스멕타이트 혼합층광물이 관찰된다. 대부분의 시료에서 카올리나이트와 일라이트는 입도의 감소에 따라 그 양이 감소하며 일라이트/스멕타이트 혼합층광물은 반대 양상을 나타낸다.

단층비지 K-Ar 연령측정의 주요 대상이 되는 일라이트는 모든 시료의 점토입도에서 우세하게 나타나며, 이들의 다구조형은  $1M/1M_0$ 형으로  $2M_1$ 형 일라이트는 관찰되지 않는다. 또한 일라이트/스멕타이트 혼합층광물의 경우 팽창성, 즉 스멕타이트의 함량이 최소 50% 이상인 R=0 질서도만이 관찰된다. NEWMOD<sup>®</sup>를 이용한 회절도 모델링을 통해 시료 내에서 일라이트 및 일라이트/스멕타이트 혼합층광물의 비율을 측정된 결과, 시료 내의 자생 일라이트 비율은 대부분 10% 이하로 측정되며, 최대 15%를 넘지 못한다.

#### 4. 토 의

자부터시료에 대한 연령측정결과 약 32-115 Ma로 다양한 값을 나타내지만 입도에 따른 경향성은 뚜렷하지 않다. 이들 연령과 쇄설성 일라이트 비율을 일라이트 연령분석법에 적용한 결과 단층의 활동 시기를 나타내는 y축 절편이 음의 연령을 지시한다 (Figure 1). 이와 같이 무의미한 모델연대를 나타내는 것은 시료 내의 자생 일라이트의 비율이 실제보다 낮게 측정된 결과로, 일라이트 연령분석법의 기본 가정에서 그 원인을 찾을 수 있다.  $2M_1$  다구조형 R=3 질서도의 일라이트를 쇄설성 성분으로 간주하는 일라이트 연령분석법에 반해, 본 연구시료에서는  $2M_1$  다구조형 일라이트가 관찰되지 않는다. 따라서 시료 내의 자생 및 쇄설성 성분의 구분이 명확하지 않은 경우, 단층비지에 대한 일라이트 연령 분석법의 적용에 많은 제약이 따른다. 또한 자생 일라이트가 비교적 최근에 생성된 것임을 고려해 볼 때, 이들의 낮은 결정도로 인해 X-선 회절분석 시 많은 오차를 나타낼 수 있다.

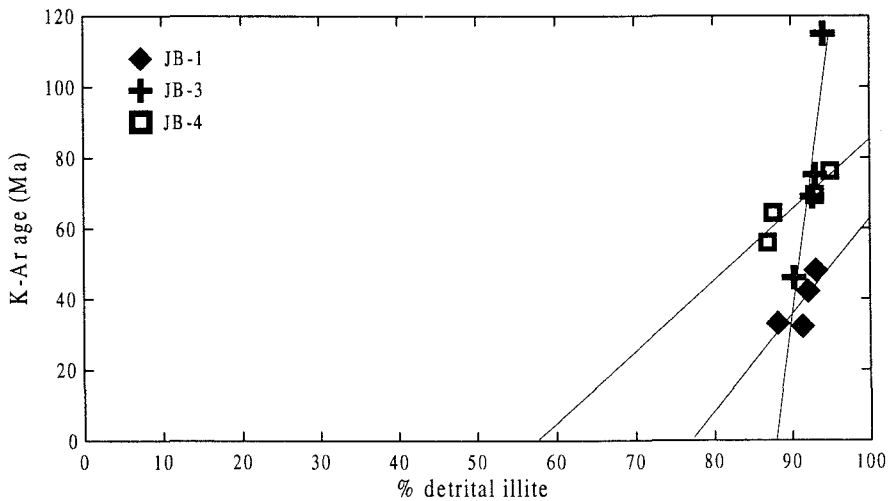


Figure 1. Illite Age Analysis Plot for fault gouges.

이와 같은 문제점을 극복하기 위해 평균기초입자크기 (mean thickness of illite fundamental particle)를 응용한 새로운 단층연령 해석방법을 제안하고자 한다. 평균기초입자크기는 시료 내의 기초 입자들의 분포와 I/S의 생성 및 진화를 반영하고 있다. K-Ar 연령과 가장 밀접한 연관을 갖는 K 이

온이 일라이트 결정 내로 고착되는 최소 기초입자크기는 2이다. 따라서, 시료의 평균기초입자크기에 대해 K-Ar 연령을 도출하여 회귀분석할 경우, 평균기초입자크기가 2에서 일라이트 내에 K 이온이 고착된 모델연령을 나타내게 된다 (Figure 2). 또한 이 모델연령은 단층대 내에서 최후기에 일어난 지질학적 현상을 반영할 것이다.

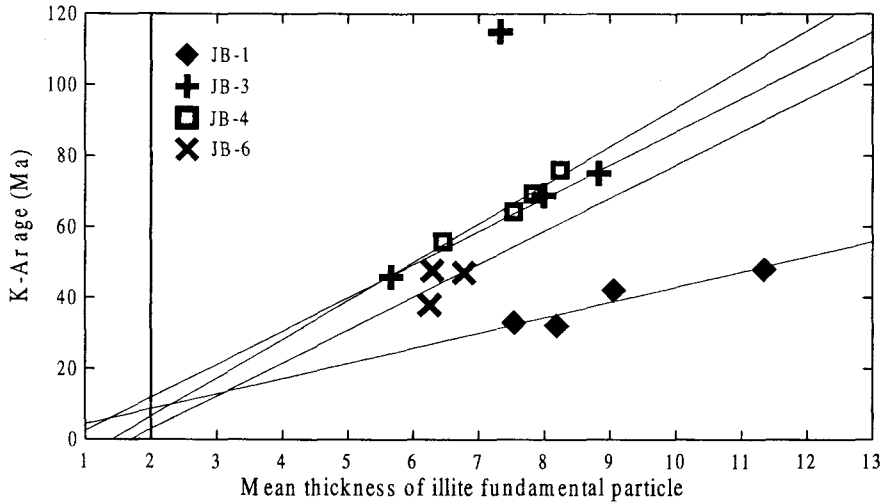


Figure 2. calculation of model age using mean thickness of illite fundamental particle

이 방법은 자생/쇄설성의 구분이 명확하지 않은 경우에도 단층활동과 관련된 지질현상의 시기를 해석할 수 있으며, K 처리 후 수화물을 제거한 시료를 이용하므로 X-선 회절분석 시 많은 오차를 나타내는 팽창성광물의 영향을 최소화할 수 있다. 따라서 이 방법을 이용하면 기존 방법에 비해 단층에 대한 보다 의미있는 정보를 제공할 것으로 판단된다.

주요어 : 단층비지, 일라이트, 스펙타이트, 일라이트/스펙타이트 혼합층광물, 기초입자, 평균기초입자크기, K-Ar 연령, 양산단층, 단층활동시기, 일라이트 연령분석법

- 1) 연세대학교 지구시스템학과
- 2) 한국지질자원연구원