

# 한반도 동남부 제3기분지에 발달하는 단층비지대의 미구조 및 지구화학적 특성

이승엽\* · 장태우

(경북대학교 지질학과)

본 연구지역은 행정구역상 경상북도 경주시 양북면 장항리, 범곡리, 어일리 및 양남면 효동리 일대로 동경 129°18'~129°29', 북위 35°43'~35°48'에 해당된다(Fig. 1). 연구지역이 포함되는 한반도 동남부 지역은 그동안 많은 연구가 선행되어 온 곳으로서, 1924년 다데이와의 연구를 시작으로 층서학적 연구 및 고생물학적인 연구가 많이 수행되어 왔다. 단층비지(fault gouge)에 대한 연구로, 국내에서는 제4기단층 비지대에 대해 연대측정과 미구조 관찰의 측면에서 연구되어 왔으며, 이를 통해 단층작용과 관련한 열수변질시기를 규정할 수 있고 미구조 관찰로 단층의 생성메커니즘을 추정하기도 하였다.(장태우와 추창오, 1998; 경제북 외., 1999; 장태우와 추창오, 1999; 김진영, 1999; Choo and Chang, 2000; 손승완, 2001).

본 연구는 제3기분지의 경계 단층과 제3기분지 내 제3기 지층을 절단하고 있는 단층을 대상으로 하였다. 각 단층들은 산출되는 마을의 지명을 따서 각각 노루목 단층(이하 E-1), 우풍이 단층(E-2), 범곡 단층(E-3), 상범 단층(E-4), 상공 단층(E-5) 및 한량골 단층(E-6)으로 명명하였다. 각 단층들에 대한 야외지질조사를 수행하여 단층의 각력대(breccia zone) 및 비지대(gouge zone)의 산출상태를 구명하고 단층대의 시료를 채취하여 실내분석 연구를 중점적으로 수행하였다. 이들 각각의 단층노출지점에 수반되어 발달하는 단층비지의 현미경적 미구조와 전자현미분석(EPMA)을 통하여 단층의 생성메커니즘을 연구하는 한편, 단층비지 시료의 X선 회절 분석(XRD)과 단층대 암석들의 X선 전암분석(XRF)을 통하여 단층비지대의 구성광물 및 단층대의 지구화학적 변화를 구명하며, 또한 단층비지의 K-Ar 절대 연령을 측정함으로써 단층운동과 관련한 열수변질작용의 시기를 밝히고자 하였다.

편광 현미경 관찰을 통한 미구조 분석의 결과, 장석류의 변질작용이 우세하게 관찰되고 점토광물로 구성된 기질과 비유동성 원소들의 집적을 확인할 수 있다. 단층비지대내에서 우세하게 발달하는 기질의 엽리 및 점토 엽리는 최후기에 발생한 단층작용의 결과로 여겨지며 이전에 발생했던 단층작용의 결과들이 함께 나타나는 것을 보아 최소한 2회 이상의 단층 작용이 발생하였음을 알 수 있다. 단층비지대의 변형작용기구는 초기에는 과쇄작용으로 단층암들의 세립화 작용이 있었고 그 이후에 유체의 이동 경로 및 공극이 증가함으로 인해 열수가 유입됨으로써 유체도움 변질작용이 가세하게 되었다. 그 결과로 단층핵부에 단층비지대가 생성되었다. 그 이후에도 지속적인 변질작용과 단층작용에 의해 점토엽리의 재배열 및 기질 성분의 반상쇄편화 작용이 발달한다.

단층비지의 XRD 분석 결과, 석영, 장석 및 점토광물이 주 구성광물이며, 점토광물로는 스�멕타이트가 가장 우세하고 그 밖에 일라이트와 녹니석 및 카올리나이트가 소량으로 나타난다. 일라이트의 다형은 저온성인 1Md가 우세하고 2M<sub>1</sub>형도 소량으로 인지된다. 단층운동과 관련한 열수변질의 시기는 양산단층과 동래 단층의 후기 활동시기(38.2Ma)에 최초로 변질작용이 시작되어 올리고

세 중기(29.6Ma~29.2Ma)와 올리고세 후기(25.6Ma~25.4Ma)에 각각 반복하여 변질작용을 받았다.

전자현미분석 결과, 현미경 관찰 결과와 같이 장석류의 변질작용을 볼 수 있었고 인산염광물과 철산화물 및 황화물 등을 인지할 수 있다. 이들은 단층작용에 의해 파쇄되고, 분쇄된 입자의 경계부를 따라서 상이한 성분으로 변화한 양상을 보여 준다. 특히 E-6 단층의 경우에는 황 성분을 함유한 물질이 단열을 따라 주입됨으로써 이들을 포함한 열수가 단층대내에 영향을 미쳤음을 시사한다.

단층대에 대한 전암분석 결과, 원암에서 단층핵부로 갈수록  $\text{Na}_2\text{O}$ 의 감소를 보이는 양상이 뚜렷하고  $\text{SiO}_2$ 와  $\text{Al}_2\text{O}_3$ 의 감소 경향도 볼 수 있다. 이는 장석류의 변질작용과 실리카의 용해에 기인한 것으로 사료된다. 한편, 상대적으로 이동성이 낮은 원소(immobile elements)들이 단층핵부에 이들을 포함하는 산화물 및 점토광물의 형태로 집적되게 되므로 Mg와 Fe의 증가 양상을 보여준다. 단층비지대에서의 지구화학적 성분 변화 및 광물상의 변화를 통해 체적감소율을 계산하여 보면 원암에 대해 최소 7%에서 최대 36%의 체적 감소가 있었으며, 유체-암석간의 비는  $10^3 \sim 10^5$ 에 이르는 것으로 나타났다. 단층비지대내에 기질의 함량이 높을수록 단층 변형작용과 열수변질작용을 많이 받았음을 알 수 있다.

**주요어:** 단층비지, 열수변질작용, 유체-암석간의 비, K-Ar 절대 연령

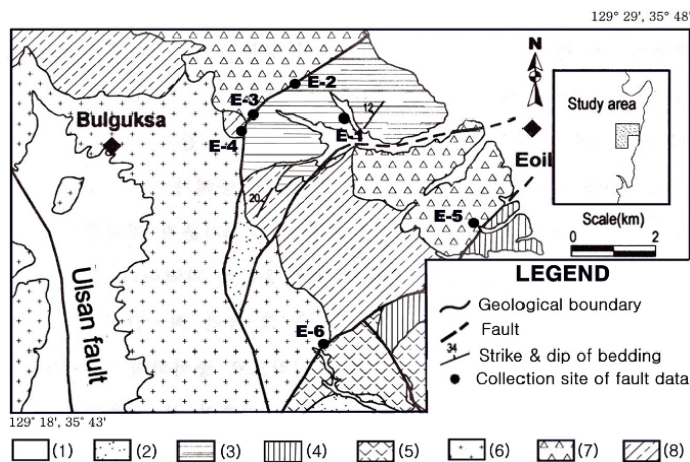


Fig. 1. Geological map of the study area. (1): Alluvium, (2): Neulbat conglomerate, (3): Yongdongri Formation, (4): Nodongri conglomerate, (5): Hyodongri volcanic rocks, (6): Bulguksa intrusive rocks, (7): Yuchon Group, (8): Hayang Group.