

경상분지 동남부 제4기단층 비지대의 지구화학적 연구

손승완¹⁾ · 장태우¹⁾

1. 서론

경상분지 동남부는 NNE 주향의 밀양단층, 모량단층, 양산단층, 동래단층등이 평행하게 분포하는데 특이하게 울산단층만이 NNW-주향이고, 이 단층은 동래단층과 양산단층과 접해 있으며 양산단층과는 경주지역에서 만나면서 종지되는 양상을 나타낸다. 한반도 동남부에서 발견된 제4기 단층은 양산단층대를 따라서 월평 제1단층, 월평 제2단층, 연봉, 상천, 신화단층 및 유계단층 등이 있으며, 울산단층대에 말방, 입실, 원원사, 이화, 개곡 및 갈곡단층 등이다. 그리고 울산-포항간 해안 지역에서는 읍천 및 수렴단층이 발견되었다.

본 연구의 대상은 원원사단층(Ww), 입실단층(Ip), 개곡단층(Gg), 감산사단층(Gan), 마동단층(Md), 왕산단층(Ws)과 상천단층(Sc), 신평단층(Sk)이며 각각 울산단층이나 양산단층과 평행 또는 아평행하고, 대부분 주위의 기반암들이 제4기 미고결 퇴적층을 올라타고 있는 역단층이다. 단층 주위 기반암은 불국사 화강암과 유천준근의 안산암질암으로 이루어져 있다. 본 연구에서는 제4기 단층의 단층비지와 주위 모암의 XRF, XRD, EPMA 분석을 통해 단층 운동과 관련된 광물화학적 변화를 구명하기 위함이다.

2. 연구방법 및 결과

1) XRD분석 및 결과

단층비지의 XRD분석은 주 구성 광물과 비지의 상태에 따라 점토광물의 함량이 얼마인지를 알기 위함이다. XRD분석은 우선 시료를 상온에서 충분히 건조한 후 강옥 몰타르에 곱게 갈아서 분석하였다. 단층비지의 XRD분석 결과는 Table 1과 같다.

Table 1. X-ray diffraction data of fault gouges at southeastern Korean Peninsula.

Sample No.	Host rock	mineral assemblage	Color
Sc	Quaternary layer/ Bulguksa granite	quartz>feldspar>kaolinite	orange
		quartz>smectite>feldspar	grey
Ww	Quaternary layer/ Bulguksa granite	feldspar>quartz>smectite	reddish brown
Ip	Bulguksa granite/ Yuchon Group	calcite>quartz>smectite>feldspar	brown
		quartz>feldspar>smectite	greenish grey
LGg(F1)	Quaternary layer	quartz>chlorite>smectite>feldspar	light brown
LGg(F2)	Quaternary layer/ Intermediate dyke	quartz>smectite>chlorite>feldspar	greenish grey
UGg	Quaternary layer/ Bulguksa granite	quartz>feldspar>smectite	reddish brown
Gsan	Quaternary layer/ Bulguksa granite	quartz>feldspar>smectite	light brown
Md	Quaternary layer/ Bulguksa granite	quartz>feldspar>smectite	reddish brown
Ws	Quaternary layer/ Yuchon Group	quartz>feldspar>smectite>chlorite	brown
Sk	Quaternary layer/ Yuchon Group	quartz>smectite>feldspar	greenish grey

단층비지의 전암 XRD 결과는 주광물은 석영과 장석이고 비지의 상태에 따라 석영, 장석과 점토광물의 함량이 차이가 난다. 암편을 많이 함유하는 비지는 석영과 장석의 intensity가 3000-5000 CPS로 높게 나타나고, 점토를 많이 함유하는 비지는 석영과 장석의 intensity가 1000-2000 CPS이고 점토광물의 함량이 높다. 주로 산출되는 점토광물은 스멕타이트이며, 특히 입실 갈색비지에서는 방해석이 주광물이고, 원원사에서는 장석이 주광물로 나타난다.

단층비지에서 나타나는 점토광물 즉 스멕타이트, 클로라이트와 카올린나이트의 특징과 산출환경에 대해서는 단층비지의 점토광물만을 채취하여 정방시료 분석결과가 있어야 해석이 가능하다. 우선 여기서 해석 할 수 있는 것은 스멕타이트는 혼합층상구조가 전혀 없는 순수한 단일광물종의 스멕타이트이고, (060) 회절선의 값은 평균 1.50 Å로서 이판면체구조를 가짐을 알 수 있다. 이 같은 산출 상태로 볼 때 풍화작용기원 또는 퇴적암이나 화성암의 모암 자체로부터 유래된 것은 아닌 것으로 생각된다. 저온 환경에서 생성된 스멕타이트로 볼 수 있다.

2) XRF분석 및 결과

단층비지대를 중심으로 해서 크게 신선한 모암, 접촉부 모암, 비지대에서 각각 시료를 채취하여 XRF를 이용하여 주원소 분석을 하였다. 접촉부 모암과 비지 시료는 미고결 상태이므로 완전히 건조한 후 유기물 등 다른 이물질은 완전히 제거한다.

XRF 분석결과 입실단층의 접촉부 안산암과 갈색 비지, 왕산단층의 접촉부 회색 안산암에서 방해석이 나타난다. TiO_2 , MgO , P_2O_5 , Fe_2O_3 , MnO , H_2O 는 주위 모암에 비해 비지대에서 증가하고, SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , K_2O , CO_2 , CaO 는 특별한 경향이 없다. TiO_2 , MgO , P_2O_5 , Fe_2O_3 , MnO 는 주위 모암들 보다 비지대에서 증가하는 것은 이들이 immobile한 원소이기 때문에 단층운동과 동시기적 또는 후기에 유체의 영향으로 비지대에 집적되어 나타난 것으로 볼 수 있다(Goddard and Evans, 1995). H_2O 가 비지대에서 증가하는 것은 비지대에 점토광물이 많이 포함되어 있기 때문이다. 입실단층 접촉부 안산암에서는 MgO 의 함량이 높게 나타나는데 이는 입실단층 접촉부 안산암에서는 Mg 를 다량으로 포함하는 방해석이 산출되기 때문이다. SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , K_2O 는 분석치로 보아서는 비지대에서 감소하거나 증가하는 양상이 뚜렷하지는 않다. 하지만 다른 지화학적인 연구에서 보면 immobile한 원소에 대해서 SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , K_2O 가 접촉부 모암이나 비지대에서 전체적으로 감소하는 것으로 알려져 있다(Goddard and Evans 1995).

3) EPMA분석 및 결과

EPMA 분석은 XRD와 XRF 분석에서 방해석이 나타나는 왕산단층과 입실단층을 방해석이 산출되지 않는 상천단층의 비지와 비교하기 위해 단층의 비지, 접촉부모암, 신선한 모암을 각각 박편제작하여 분석하였다. EPMA 분석결과는 다음과 같다.

왕산단층 : 왕산단층비지대의 접촉부 회색 안산암에서만 황철석과 방해석이 나타난다. 방해석의 결정형태 즉 방해석 결정내의 황철석과 다른 광물 결정들이 들어 있는 것과 맥상으로 나타나는 것으로 보아 열수 변질에 의해 생성된 것이다. 비지대에서는 방해석이 관찰 되지 않았다. 하지만 XRF결과 비지대의 CO_2 함량이 주위의 모암보다 높다. 이것으로 보아 비지대 내에서도 소량이나마 방해석이 존재하는 것으로 생각된다. BEI 이미지로 보면 방해석의 결정은 화학적인 변질작용은 받았으나 기계적으로 파쇄된 흔적이 보이지 않기 때문에 방해석이 생성된 후 단층 작용은 일어나지 않았음을 알 수 있다 (Fig. 1).

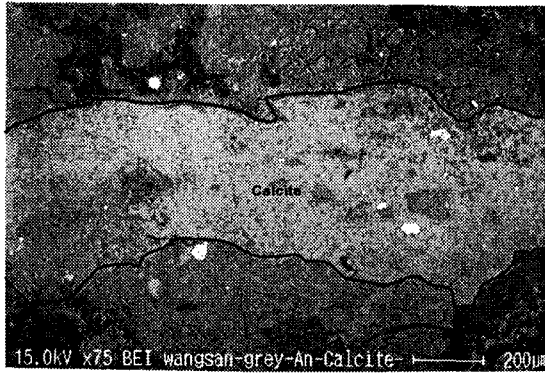


Fig. 1. Back-scattered electron image(BEI) of Calcite and flow structure from grey andesitic rock of the Wangsan fault. Note that white parts are pyrite.

입실단층 : 입실단층 비지대 접촉부 안산암에서의 탄산염광물은 맥상의 산상을 보이며 유체에 의해서 생성된 것으로 생각되고, 황화광물이 나타나는 것으로 보아 탄산염광물을 생성시킨 유체가 열수임을 뒷받침 해준다. 단층비지에서도 방해석이 맥상으로 존재하고 엽리방향으로 성장한 것을 관찰할 수 있다(Fig. 2). 입실단층은 다중변형작용의 산물이며 탄산염광물이나 황화광물이 생성되기 이전에 이미 단층작용이 있었고, 비지대도 이미 생성되어 있었다고 볼 수 있다. 탄산염광물이 엽리방향으로 성장한 것을 보면 단층작용과 동시기적 또는 직후에 탄산염광물과 황화광물이 생성되었고, 탄산염광물이 기계적인 파쇄가 심하므로 탄산염광물이 생성된 후에도 단층작용이 있었다는 것을 알 수 있다.

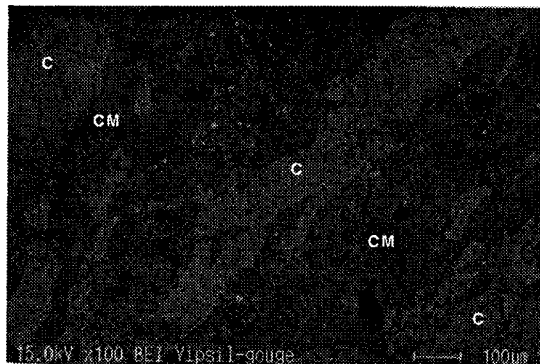


Fig. 2. Back-scattered electron image(BEI) of the Ipsil fault gouge. Note that C : calcites and CM : clay minerals. White parts are hematite.

상천단층 : 상천단층에서 가장 큰 특징은 회색 비지대에서 YPO₄가 엽리방향으로 대상분포를 하는 것이다(Fig. 3). 접촉부 화강암에서는 이런 희토류원소들이 관찰되지 않기 때문에 주위 모암에서 유래된 것은 아니다. 따라서 이런 희토류원소의 기원은 열수작용에 의해 생성되었다고 볼 수 있다. 엽리방향으로 대상분포 하는 희토류원소는 단층운동과 동시기적으로 생성된 것으로 볼 수 있다. 대상분포하는 희토류원소들이 생성된 후 기계적인 파쇄를 받은 흔적이 없다. 따라서 열수변질에 의해 대상분포하는 희토류원소가 생성되고 난 후는 단층작용이 일어나지 않았음을 의미한다.

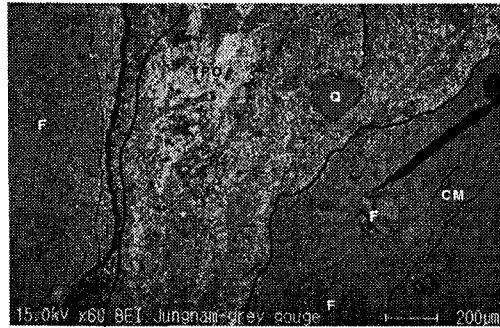


Fig. 3. Back-scattered electron image(BEI) of the Sangchon fault gouge. Note that Q : quartzs, F : feldspars and CM : clay minerals. The zonation of YPO_4 subparallel foliation

3. 토의 및 결론

제4기단층 비지대의 화학분석 결과 미고결 단층비지대에서도 고결 단층암에서 나타나는 체적변화나 성분변화가 일어났음을 알 수 있다. 하지만 체적변화와 성분변화가 어느 정도 일어났는지를 정량화할 수가 없다. 이는 제4기 단층이 미고결인 상태로 지표에 노출되어 있고 지표 가까이에서 단층운동이 일어났기 때문에 단층작용 이후에 풍화작용에 의해서 체적변화나 성분변화가 일어날 수 있기 때문이다. 또 단층비지대는 대부분이 일회성보다는 다중변형작용에 의해 생성되었기 때문에 이런 광물학적인 변화 양상이 제4기에만 일어났다고는 볼 수 없다. EPMA 분석을 한 상천, 입실, 왕산단층은 광물학적인 변화양상과 단층운동과의 선후관계를 알 수 있었고, 이런 광물학적인 변화 이후 단층운동의 유무를 판단할 수 있었다.

1) 경북대학교 지질학과