

양산 물금-유계리간 양산단층 분절

최성자¹⁾ · 박준범²⁾ · 최위찬¹⁾ · 류충렬¹⁾ · 최범영¹⁾ · 임창복³⁾ · 정창식⁴⁾

1. 분절기준

지진학계에서는 양산단층의 전 구간(195km)을 3~4조(組)의 분절단위(segment)로 나눈 바 있으나, 지질학적으로는 보고된 적이 없으므로, 구조지질학측면에서의 분절개념을 적용시켜 양산단층대를 추적하였다. 이 분절개념은 ① 단위(單位)단층의 연장이 끝나거나, ② 다른 단층에 의해 절단되었거나, ③ 단층이 분기되었을 경우를 단층의 분절단위로 정하였다. 분절단위의 길이는 축척별로 개념이 다르나, 여기서는 현장에서 관찰 가능한 노두규모를 기준으로 하고, Digital Fracture Mapping을 위해 수치지형도의 축척은 1:5천으로 하였다.

2. 신기단층운동 전후의 화성활동 시기

양산단층이 통과하는 경주 북부지역에는 화강암, 화산암(현무암, 안산암, 터파이트 등)이 분포한다. 백악기 흑운모화강암의 알칼리장석에 대한 K-Ar 연령은 61.5Ma(김상중, 1997)로 팔레오세이나, 냉각온도를 고려한다면 백악기말의 화강암으로 분류된다. 연일과 포항지역에서 집괴암질 석영반암과 규장암, 석영조면암으로 기재된 암류는 많은 연구자(Shibata *et al.*, 1979; Lee *et al.*, 1992; 진명식 등, 1988; 윤성효, 1988; Yun *et al.*, 1995)들이 산성 응회암류 혹은 터파이트(tuffite)로 분류하고 있다. 이들은 에오세 중기(42~50 Ma, K-Ar)동안 경주를 중심으로 북부에서는 양산단층 동쪽, 남부에서는 울산단층 동쪽 지역에서 광범위한 산성 화산활동의 산물로 분포한다. 이 지역의 화산암류는 경상분지 내에 분포하는 백악기말~팔레오세 동안의 유천층군 화산암류와는 구분되어야 한다.

경주 이남지역의 백악기 퇴적암을 관입한 불국사화강암도 과거에는 백악기로 보았으나, Lee (1980) 등에 의해 일부는 제3기의 화강암으로 기재되었다. 울산 지역의 나정리화강섬록암, 척과리화강섬록암, 가대리화강암의 K-Ar 연령(Reedman *et al.*, 1989; Lee *et al.*, 1997; Lee and Ueda, 1997)은 백악기 말~팔레오세를 시사한다. 경주 알칼리화강암(Choo *et al.*, 1982; 이종익 등, 1997; Kim and Kim, 1997)과 울산화강암(Chwae *et al.*, 1998)은 에오세중기(50 Ma)로 기재되었다. 경주 알칼리화강암은 판의 충돌이나 섭입과 관련이 없는 A-tectonic(A-type)으로 알려진 바 있다(Lee, 1995; 이미정 외, 1995; 고정선 외, 1996).

이와 더불어 유사한 기간 동안 심성암류의 화성활동으로서, 경주-감포 일원의 덕동, 호암, 대본 화강암류 (40~50 Ma; 김근수 등, 1995), 경주 남산 지역의 알칼리 화강암 및 흑운모 화강암류가 관입한 것으로 분류된다.

주요어: 분절, 화성활동, 양산단층, 양산단층 중부, 남부, 좌수향주향이동, 우수향 주향이동

1) 한국지질자원연구원 (sichoi@kigam.re.kr)

2) FED(미국동공병단)

3) 한국원자력안전기술원

4) 한국기초과학지원연구원

각섬석흑운모화강섬록암은 대구층과 접하는 동쪽 경계부에서 다량의 주변암을 포획하고 있으며 (윤성효 와 황인호, 1990; 이미정 등, 1995; 고정선 등, 1996), 팔레오세~에오세 동안 분출된 것으로 보이는 응회암류에 의해 피복되고 있음이 기재되었다 (윤성효와 황인호, 1990). 그러나 에오세의 산성 화산암류와 심성암류의 선후 관계는 야외에서 산상으로 판단되어야 한다.

3. 단층분절

제4기 단층 통과지역은 내륙지역에 분포하는 하안단구 변위까지도 있으므로, 단층추적과 단구변위를 동시에 조사하였다. 단층 분절화 대상지역은 양산단층이 통과하고 있는 경주 이북~유계리 남단, 경주 이남~언양 북단까지이며 오천단층과 왕산단층도 포함하였다.

가. 왕산단층

왕산단층 주변지역은 제3기에 분출한 안산암과 안산암질 응회암이 분포한다. 백악기의 퇴적암과 부정합~단층접촉하는 2개의 제3기 소 퇴적분지가 있으며, 오천단층의 서쪽에는 화강반암이 관입하고 있다. 왕산단층은 NS/60°E이며 역단층성의 단층으로 수직 변위는 18.5m이다. 왕산단층의 북쪽연장은 N38°W/35°SW의 단층에 의하여 절단되고, 남쪽에서는 N32°W/45°NE의 역단층에 의하여 절단된다. 따라서 왕산단층의 분절단위는 410m 정도로 본다.

① 덕동호 소분지 : 경주 이남의 덕동호 부근에는 제3기 퇴적분지가 백악기의 퇴적암을 기반암으로 하여 북북서 방향으로 발달하고 있다. 이 분지는 N35°W 단층에 의하여 규제되며 하부에 역질층이, 상부에 이암층이 분포한다. 최상부에는 제3기로 보이는 화산쇄설층이 분포한다. 이 분지의 장축은 최대 8km, 단축은 최대 3.5km로 계단상의 형태를 보인다.

② 화랑골 소분지 : 왕산 단층의 서남쪽에도 제3기 퇴적분지가 발달하고 있으며, 이 분지의 경계부는 일부 노두에서 백악기의 퇴적암과 제3기 안산암과 부정합 관계를 보이고 있다. 이 분지는 N18°W 주향을 보이고 있으며 장축은 4.6km이다. 왕산단층은 북동주향의 오천단층보다는 소 퇴적분지를 형성시킨 북북서단층과 관련한 단층으로 해석된다.

나. 오천단층

N45°E의 주향의 오천단층은 영일만의 동해해수욕장-오천-용산-오어사-원태로 이어지나, 원태를 지나면서 N17°E의 주향을 보이며 음달말 쪽으로 연장된다. 즉, 오천단층은 남서쪽에서 남쪽으로 휘어져 연장된다. 원태까지의 오천 단층은 4회에 걸쳐 분절 현상을 보이며 최대 분절 길이는 2.7km이다.

다. 경주이북의 단층분절 양상

양산단층대는 수십 m의 단층 파쇄대를 형성하고 있으며 Y-, R-, P-진단단층들의 혼합체로 발달하고 있어서 실제 주단층의 주향을 노두에서 파악하기는 어렵다. 경주 북천 이북지역에서부터 유계단층 인접 남단까지 양산단층의 총 연장길이는 40.86km에 달한다. 광역적 개념의 단층분절은 8조이며, 최대 분절길이는 10km, 최소 분절은 2.9km, 평균 분절길이는 6.5~7km 이다. 유계리에서 단구리까지는 분절단위의 배열양상이 right stepping을 보이거나 단구리에서 경주까지는 left stepping을 한다. 주위의 암석연령과 비교해볼 때, right stepping은 양산단층이 팔레오세~에오세 기간에 우수향 운동을 하였음을 시사한다. 경주 이북과 안강사이에서 양산단층 분절은 left stepping을 보여주며 좌수향 주향이동 운동감각을 보인다. Left stepping은 양산단층의 KT~팔레오세 기간동안의 운동감각이며 right stepping은 후기인 팔레오세~에오세의 운동으로 보인다. 단구리 북쪽에서는 후기 우수향주향이동운동이 강하게 일어난 반면, 경주 부근에서는 후기의 우수향운동보다는 좌수향주향이동운동이 더 크게 일어났던 관계로 전기운동 흔적이 지워지지 않은 것으로 본다. 유계~단구리지역에는 Anorogenic 기원의 에오세말 화강암

이 암주상으로 관입하고 있는 반면, 경주남쪽~안강까지는 알카리화강암이 분포하지 않는다. 이와 같은 사실은 양산 단층이 경주이북에서 크게 두 구역으로 나누어지는 것으로 해석된다.

라. 경주이남 단층분절 양상

경주 이남에서 언양까지 22.3km에 달하는 양산단층의 주 단층대는 1번 고속도로를 따라 발달하므로 단층노두는 절삭되었다. 양산단층 서쪽에는 주 단층의 Y-, R-전단단층이 여러 조 발달하고 있으며 이들의 길이는 최대 9km, 최소 2km 이다. 양산단층의 동쪽에는 Y-전단혼적은 발달하지 않으며 P-, R-전단단층이 3조 발달한다. 양산단층이 분절되는 위치는 안심리, 월산리, 봉계리, 활천리, 미호리~전읍리 등이며, 특히 35번 국도와 경부 고속국도 구간에는 하안단구가 잘 발달하고, 단구변위의 단층징후가 관찰된다.

양산단층을 기준으로 하안단구들의 높이는 동쪽이 약간 더 높게 나타난다. 즉 저위면에서 고위면으로 갈수록 단층선을 따라 형성된 저단층애는 변위량이 동쪽으로 증가한다. 양산단층의 재활동시기는 저위면 형성 후 까지 있었던 것으로 분석되나, 그 이후의 변위혼적은 확실하지 않다.

내남-월산1리-두서 동쪽으로 발달하고 있는 양산단층의 Y-전단단층은 N15°E/80°SE 방향을 보인다. 단층을 따라서 관입한 중성암맥은 단층의 재활동 영향으로 파쇄되었다. 안심리~양지리에 발달하는 또 하나의 Y-전단단층은 N10°E 주향을 보이며 두꺼운 단층파쇄대와 엽리상파쇄암(foliated cataclasite)이 형성되어 있고 산성응회암질암을 절단한다. 이 단층은 북안저수지에서 N17°E/55°SE의 방향성을 가진다. 1m 폭의 단층 파쇄대(cataclastic zone)에서 보이는 파쇄엽리는 역단층성이다.

통도사에서 언양까지 7.8km에 달하는 양산단층은 수조로 분지되며 최대 분절은 4km, 최소 분절은 1.6km이다. 이 지역에서 분절은 소규모 암맥의 관입을 수반하고 있다.

라. 울산광역시 울주군 삼남면 상천리와 가천리 일원의 제4기 단층특성

중생대 백악기의 퇴적암과 화강암의 경계부 근처에 양산단층의 단층파쇄대가 고각도로 발달하며, 기반암과 제4기 하성사력층 사이에 제4기 단층이 2조 관찰된다. 이들은 가천 제1단층과 제2단층으로써 양산단층 중 한 분절단위가 제4기에 재활동한 것이며, 북북동주향에 고각의 동쪽경사, 단층조선은 10°±의 북쪽경사를 보인다. 전단띠(R-shear band), 단층가우지의 S/C복합엽리 사교양상, 제4기 역들의 배열양상, 쇄설암편 주위에서 관찰되는 엽리편향(deflection) 등으로 보아 우수향주향이동단층이다.

가천단층~양산단층 사이에서 퇴적층의 저각도 경사는 주단층대 쪽으로 가면서 급경사~수직의 양상을 보인다. 이는 주단층대를 따른 좌수향주향이동성 운동에 의한 단층끌림의 결과이므로, 주단층대에 발달하는 우수향주향이동운동보다 이전 시기에 일어난 운동이다.

제4기의 역단층운동과 좌향의 주향이동성 운동은 지진에 의한 응력장(Jun, 1991; 최위찬 외, 1998)으로 고려되며, 양산단층대내의 제4기 단층은 주단층대와 부단층대를 따라 2조 이상 분포하는 것으로 분석된다.

4. 토 론

조사결과 양산단층의 중~남부에서 광역적 단위로 구역간이 서로 다른 특성을 지니고 있음이 나타났다. 중부는 양산단층을 따라서 관입 또는 분출한 암석들의 시기가 남부보다 젊으며, 단층운동방향 또한 중부는 우수향주향이동성이나 남부는 좌수향이 우세하고, 분절단위의 평균길이도 중부보다 남부가 더 긴 양상을 보인다. 이는 지진학계에서 제시한 바 있는 광역적 분절단위와 어떤 관련성이 있는 것으로 여겨지며, 향후 규명을 요한다.