

울산단층 인접 동쪽의 단층분절

최성자¹⁾ · 최위찬¹⁾ · 류충렬¹⁾ · 최범영¹⁾ · 임창복²⁾ · 정창식³⁾

1. 분절기준

이 분절개념은 제4기 단층조사에 고려되는 사항으로써, ① 단위(單位)단층의 연장이 끝나거나, ② 다른 단층에 의해 절단되었거나, ③ 단층이 분기되었을 경우를 단층의 분절단위로 정하였다. 분절단위의 길이는 축척별로 개념이 다르나, 현장에서 관찰 가능한 노두규모를 기준으로 하였다.

2. 울산단층운동 전후의 화성활동 시기

조사 지역내에 존재하는 외동지역의 화강암 (Chwae et al., 1998)은 에오세중기(K-Ar; 48 Ma)로 기재되었다. 이와 더불어 유사한 기간 동안 심성암류의 화성활동으로서, 경주-감포 일원의 덕동, 호암, 대본 화강암류 (40~50 Ma; 김근수 등, 1995), 경주 알칼리화강암 및 흑운모 화강암류가 관입한 것으로 분류된다. 이는 불국사 화성활동의 최후기인 백악기말~팔레오세와 구분된다. 에오세의 산성 화산암류와 심성암류의 선후 관계는 아직 확실하지 않으나 화산암류와 퇴적암류는 화강암을 피복한 것으로 관찰된다.

3. 울산단층 동쪽의 제4기 단층분절 양상

울산단층은 과거로부터 경주~울산간에 발달되어있는 넓은 계곡을 통과하는 것으로 알려져 왔으나, 양산단층과는 달리 야외에서의 증거가 없으므로, 최근에는 이에 대한 규명을 위하여 학·연을 중심으로 물리탐사와 트렌치조사가 진행되고 있다. 울산단층 동쪽 인접의 산록에는 선상지들이 형성되어 있다. 이들은 산록부에서는 주로 거력~역층으로 구성되고 평야지대에서는 주로 사력층이나 사질이 우세하다. 이 산록을 따라서 제4기 단층들이 여러 곳에서 관찰되는 관계로, 이에 대한 단층대 여부 및 단층의 분절단위에 대한 길이가 관심의 대상이다. 분절화 대상지역은 울산단층대의 인접 동쪽에 위치하고 있는 불국사~차일까지이다. 제4기 단층 통과지역은 산록을 따라 분포하는 하안단구 변위까지도 있으므로, 단층추적과 단구 변위 여부를 동시에 조사하였다. 제4기 단층들의 전반적인 특성은 대부분 남북계열의 주향과 동쪽경사를 갖는 노두규모의 역단층성이며, 기반암은 화강암, 제4기층은 화강암에서 기원한 퇴적물로 구성되었다. 단층 상하반간의 접촉관계는 화강암과 제4기층이 대부분이나, duplex형태에서는 제4기층간의 접촉도 가지고 있다. 여태껏 기재된 제4기 단층들을 위치별로 약술하였다.

수성지(마동) 제1~3단층: 경주시 마동에서 알려진 수성지(마동) 제1단층, 제2단층, 제3단층

주요어: 울산단층, 4기단층, 남북주향, left stepping, right stepping, 주향이동단층, 역단층, 전단단층, pocket

1) 한국지질자원연구원(sichoi@kigam.re.kr)

2) 한국원자력안전기술원

3) 한국기초과학지원연구원

은 서로 수백~100m 정도 떨어져 있는 제4기 역단층이다. 각 단층간의 주향 연장성이 아직 모호하고 수평적 거리를 유지하고 있으므로 제1~3단층으로 구분하여 기재되었다. 수직변위는 수십cm 내외이다.

탑골단층: 경주 불국사 입구 코오롱호텔 뒤편 탑골의 계곡에 있는 제4기 역단층이다. 이 단층은 4조의 제4기 단층이 duplex를 이루고 있다. 단층의 변위는 수십cm, 단층조선은 $125^{\circ}/20^{\circ}$ 이다. 적갈색의 단층비지대는 1~2 cm의 두께를 보인다.

진티단층: 경주시 진현동 불국사 동남쪽의 진티마을 부근에 위치한다. 파쇄대가 발달되어 있다.

신계리단층: 외동읍 신계리 북쪽마을의 동쪽 계곡에 분포한다. 단층비지와 단층각력은 약 1 m 내외의 폭을 보이며, 압쇄엽리가 함께 발달한다. 단층조선은 동-서 방향에 동쪽으로 25° 기울어져있다.

괘릉 단층: 감산사 동쪽 산록과 댐공사장간의 계곡에 있으며, 주변 퇴적층의 기질이 granite wash로 다량 구성되어 있다. 동서방향의 단층에 의한 쇄설성 퇴적작용이 수반되었을 것이라는 의견이 있으나 확실하지 않다.

소동지(활성리) 단층:외동읍 활성리 동쪽 계곡에 위치하는 제4기 역단층이다. 여러 조의 단층들이 duplex를 이룬다. 단층조선은 동서와 남북의 두 방향이다. 동서압축에 의한 역단층성 운동이 먼저 형성, 주향이동성 단층운동이 후속(?)된 것으로 보인다. 1~10cm 두께의 단층비지와 전단띠(shear band, R-shear)로 보아 우수향주향이동성 감각이나 좌수향을 보이는 부분도 관찰된다.

말방단층: 말방리 저수지 물가에 위치하므로, 물이 완전히 빠진 상태에서 관찰하여보면, 단층상반의 하부는 화강암, 상부는 산록퇴적층이며, 단층하반은 산록퇴적층으로만 구성되어있음이 나타난다. 남북방향의 주향과 동쪽경사를 보이는 말방단층은 duplex를 보이는 역단층이며, 연장을 추적하기 위한 물리탐사, 트렌치, 시추조사 등이 시도된 바 있다.

개곡 제1-6 단층: 수년전부터 최근까지 외동읍 개곡리 일원에서는 노두규모로 모두 6조의 제4기 역단층이 북동에서 남서쪽의 분포로 기재되었다. 개곡리 마을의 주차장과 동쪽 산록의 댐공사장 부근에서 관찰된다. 개곡 제1단층은 남-북방향의 주향에 동으로 75° 경사하며, 단층조선은 주향에 거의 수평과 수직하는 두 방향을 가진다. 파쇄엽리면에서 보이는 운동감각은 좌수향이 우세하다. 개곡 제2단층은 2조 이상이며, 남-북 방향의 주향에 서쪽으로 80° 경사를 보인다. 3cm 정도의 단층비지대를 포함하며, 동쪽 상반이 상승한 좌수향 이동성이다. 개곡 제3단층은 $N30^{\circ}E/65^{\circ}SE$ 의 방향을 보인다. 개곡 제4단층은 $N30^{\circ}\sim 45^{\circ}NW/38^{\circ}\sim 48^{\circ}NE$ 를 보이며, 단층조선은 $142^{\circ}/17^{\circ}$ 와 $70^{\circ}/08^{\circ}$ 이다. 좌수향과 역단층성 운동이 모두 관찰된다. 개곡 제5단층은 개곡리의 옥정암 동쪽에 있으며, 개곡 제2단층과의 연장 여부는 확실하지 않다. $N18^{\circ}E/57^{\circ}SE$ 의방향성을 보이며 5cm 정도의 단층비지대가 관찰된다. 단층조선은 $80^{\circ}E$, 추정 변위는 4 m 정도이다. 개곡 제6단층은 개곡리 공장지대 북서단의 산록에 있으며, 개곡 제1단층과의 연장 여부가 확인되지 않았다. 이 단층은 $N05^{\circ}E/75^{\circ}W$ 이며, 단층조선은 $10^{\circ}N$ 이다. 수cm의 단층비지대와 수십cm의 전단파쇄대를 보인다.

개곡리 제4기 단층들은 주향이동성과 역단층성을 복합적으로 가지고 있으며, 각 단층에서 duplex 양상을 보이기도 한다. 또한 수백 m 정도의 간격으로 위치를 달리하는 다수의 단층으로써, 남서에서 북동쪽으로 단속적 분포양상을 보인다. 이는 개곡리 단층들이 하나의 단층으로 연결될 것이라는 개념과는 다른 right stepping의 특성으로 분석된다.

입실단층: 외동읍 입실에서 효동리로 가는 지방도로변에 있으며, 과거의 산사태로 인해 형성

된 절벽에 노출되어 있다. 남북주향과 고각도의 동쪽경사를 가지며, 주향이동과 역단층성 운동감각을 보인다. 단층상반은 하부에 안산암, 상부에 제4기 퇴적층이며, 단층하반은 하부에 화강암, 상부에 제4기 퇴적층이 놓인다. 수직낙차는 7m이다.

외동단층: 입실단층보다 서쪽에 위치하며, 남북주향과 고각도의 동쪽경사를 갖는 기반암 주단층이다. 제4기 단층활동의 흔적은 확실하지 않으며, 입실단층은 이 단층에서 분기된 단층이다.

원원사 -모화 (2-5) 단층: 원원사단층은 노출된 단층면이 거의 평탄한 관계로 서쪽을 향한 저각도의 역단층인지, 혹은 정단층에서 야기된 미끄러짐 현상인지에 관하여 논란이 있었던 역단층으로써, 연장은 남북방향으로 추적되나 확실하지 않다. 모화 제2-5단층은 대체로 남북주향에 동쪽경사를 가지며, 단구변위가 인지되고, 역단층성과 duplex의 특성을 유지한다. 이들 역시 단속적 분포를 하므로, 동일 단층선 상에 놓이는 것으로는 볼 수 없다.

이화단층: 남북주향과 동쪽경사 방향을 보이는 주향이동성 및 정단층이나, 사방공사로 인해 현재는 관찰할 수 없다.

차일 단층: 모래입자로 구성된 사질층이 중앙부의 단층에 의해 절단되었으며, 주변에는 역질층이 놓인다. 최상부에는 흑갈색의 이질층이 얇게 놓이는데, 이 층은 하부는 점이적이나 상부는 뚜렷한 층의 경계를 가지므로 노두의 왼쪽이 상부임을 지시한다.

4. 결론 및 토론

① 울산단층의 동쪽인접 산록을 따라서 제4기 단층들이 다수 분포한다. 이들은 대부분 남북주향과 동쪽경사를 갖는 저~중각도 경사의 역단층이나 주향이동운동도 수반한다.

② 이 단층들은 광역적으로 보아 마동-불국사 관광단지, 진현동 진티-신계리-패룡 감산사, 패룡 감산사-활성리-말방리, 개곡리, 원원사-모화5리, 차일로 구분되며, 이들은 광역적으로 left stepping의 양상을 보이며 분절된다. 개곡리 제1~6단층의 경우, 4조 이상의 right stepping을 보이는 분절단위로 구성되었을 것으로 해석된다.

③ 이 지역에서 기반암 주단층은 외동읍 입실 동쪽의 외동단층이며, 분기된 기반암단층은 입실단층과 중산단층이다. 이들은 기반암 단층에서 보여주는 분절단위이다. 기반암 단층들은 남북~북북동 주향과 고각도의 동쪽경사를 유지하며 주향이동성이 강하고 역단층운동도 수반한다.

④ 이 지역에서 주향이동성 단층운동이 강하게 먼저 형성되었으며, 서쪽을 향한 역단층운동은 나중에 일어난 것으로 해석된다.

⑤ 고각도 경사의 기반암 단층과 저~중각도 경사의 제4기 단층들이 지하에서 서로 만나는지의 여부는 아직 확실하지 않으나, 만약에 서로 만날 경우에는 제4기 단층운동은 주향이동성 기반암 단층운동에서 수반된 전단단층운동 결과, 서쪽에만 형성된 꽃구조의 일환으로 볼 수 있다.

⑥ 울산단층의 통과 또는 존재여부를 규명하기 위해 물리탐사(손호웅, 1999; 김기영 외, 2000, 미발간)와 트렌치조사(한국전력기술/KOPEC, 미발간)가 진행중이나, 의견을 종합해보면, 울산단층은 과거의 예측대로 존재하기 보다는 수조의 전단단층들이 형성한 pocket 양상으로 추정된다.

⑦ 연일구조선(손 문 외, 1999a, 1999b, 2000, 2002)과 울산단층 동쪽 산록의 기반암 단층의 우·좌수향 주향이동 운동간의 관련성, 시기 및 제4기 단층운동과의 관련여부는 아직 확실하지 않으며, 정량적인 단층연장 추적이 선행된 후에 논의되어야 한다.