

언양 신흥마을 트렌치노두에서 양산단층대 남부의 단층운동사 연구: 신흥단층

강지훈^{1*}, 류충렬²

¹ 국립안동대학교 지구환경과학과(jhkang@andong.ac.kr)

² 한국지질자원연구원 지질기반정보연구부

1. 서론

한반도 동남부 지역에는 지형 및 지구조적으로 연장성이 확실히 인지되는 북북동 방향의 양산단층대와 북북서 방향의 울산단층대가 발달하고 있다. 양산단층대의 발달과 운동에 관한 연구는 지금까지 다수의 연구자에 의해 논의된 바가 있으며(김종열, 1993; 최위찬 외, 1998; 장천중과 장태우, 1998), 최근에는 지진 활동과 관련된 활성단층의 조사가 양산단층대와 울산단층대 그리고 동해안 일대에서 활발하게 진행되고 있다. 그 결과, 양산단층대 남부인 언양과 통도사 사이의 여러 곳에서 지진과 관련된 제4기 단층들이 알려져 이들의 단층운동에 관한 여러 연구가 있었다(최위찬 외, 1998; 이봉주 외, 1999; 경제복, 1999). 이 논문에서는 양산단층대의 남부인 울산시 울주군 언양읍 신흥마을 입구의 트렌치 노두에서 새로이 관찰된 양산단층대의 기반암 단층(신흥단층)과 제4기 단층(제4기 신흥단층)의 구조적 특성을 기재하고 이들 특성으로부터 언양 신흥마을에서 양산단층대 남부의 단층운동을 고찰하고자 한다.

2. 일반지질

우리나라 동남부의 양산단층대가 통과하는 울산시 울주군 언양읍 일대의 지질은 주로 백악기 초 하양층군 퇴적암류와 이를 분출 및 관입한 유천층군의 화산암류 그리고 이들을 관입한 백악기 말 이후의 불국사 화강암류 등으로 구성되어 있고, 이들을 부정합으로 피복하는 제4기 퇴적층은 주로 양산단층곡(분)의 산록과 저지대의 평지에 넓게 분포한다.

울산시 울주군 언양읍 신흥마을 입구의 북서-남동 방향 트렌치 노두에는 양산단층대의 주 단층과 제4기 단층이 관찰된다. 주 단층의 남동부(트렌치 노두의 남동부)에는 층서적으로 최하부인 주로 퇴적암류로 구성된 울산층이 분포한다. 주 단층의 북서부에 해당하는 트렌치 노두의 북서부에는 퇴적암류와 화산암류가 단층접촉으로 반복되어 산출한다. 하양층군 퇴적암류는 주로 사암과 셰일로 구성되어 있으며, 층리의 발달이 뚜렷하다. 언양 일대 퇴적암류의 층리는 일반적으로 서측으로 완만한 경사를 보이나, 트렌치 노두 퇴적암류의 층리는 일반적으로 동-서 방향의 급경사를 보인다. 유천층군의 화산암류는 주로 안산암질암으로 구성되어 있다. 주로 자색 내지 암녹색을 띠며, 화산각력을 포함하는 치밀한 기질내에 장식 반정이 발달한다. 언양 일대 화산암류는 고지대에서는 화강암체의 상위에 놓이는 양상을 보인다. 양산단층곡의 저지대에서는 서측의 불국사 화강암류와 동측의 하양층군 퇴적암류 사이에 주로 분포하나, 트렌치 노두에서 불국사 화강암류는 관찰되지 않는다. 기반암인 퇴적암류와 화산암류를 부정합으로 피복하는 신흥마을 일대 제4기 퇴적층은 크게 세 개의 층(Q1층, Q2층, Q3층)으로 구분된다. 최하부의 하성 사력층인 Q1층은 기질이 주로 장경 1cm 이내의 사력으로 구성되어 있으며, 역은 주로 장경이 10cm 내외이며 최대 50cm에 이르는 분급이 불량한 아각상으로 되어 있다. 안산암력과 퇴적암력, 화강암력 그리고 암맥 기원의 역들로 주로 구

성된 Q1층은 중앙부에서 약 1m 내외의 두께를 보이고 측방으로 가면서 침멸하는 폭 약 10m 내외의 소하도 층진상을 보인다. 이 역층의 직상부에는 암자색 뿔층이 최대 두께 30cm 내외로 측방 연속성이 없이 국지적으로 발달한다. 이들 하도 층진상 역층과 암자색 뿔층의 상위에는 원마도가 높은 5-15cm 크기의 안산암과 화강암의 역들로 주로 구성된 역층(Q2층)이 발달하고, 이들을 부정합으로 덮는 암회갈색의 역질 뿔층(Q3층)은 약 40-50cm의 두께로 발달한다.

3. 단층운동사

신흥마을 입구 트렌치 노두단면에서는 양산단층대의 형성과 관련된 적어도 4회의 단층 작용이 인지된다.

첫 번째 단층작용(D1)은 저각으로 경사하는 퇴적암류의 층리(S0)를 고각화시키는 주향-이동 단층운동으로 인지된다(류충렬 외, 2002). 연양 일대 퇴적암류의 층리는 일반적으로 서측으로 저각 경사하나, 양산단층대의 주 단층 주변부에서는 고각으로 경사하는 양상을 보인다. 특히, 양산단층대의 주 단층이 통과하는 신흥마을 트렌치 노두 단면에서는 거의 수직에 가까운 퇴적층이 발달하고, 주 단층 가까이에서는 고각의 주 단층면과 층리면에 평행한 습곡측면을 갖는 준 수평적인 등사습곡이 관찰된다.

두 번째 단층작용(D2)은 D1 단층작용에 의해 고각화된 층리(S0-1)를 단층면으로 하는 주향-이동 단층운동으로 인지된다. D2 단층운동에 의해서는 거의 수직에 가까운 우세한 단층엽리(S0-2 복합엽리)와 거의 수평에 가까운 우세한 단층조선이 형성된다. D2 단층운동은 양산단층대에서 주요 단층암(단층각력, 단층비지, 단층점토)의 주요 형성 요인이 된다. D2 단층작용에 의해 형성된 신흥마을의 주 단층대는 발달 규모로 보아 남측의 양달마을과 가천천상의 고속도로 근처의 주 단층대(류충렬 외, 2002)로 연장될 것으로 보이며, 이들 단층대는 준 수평적인 단층조선과 준 수직적인 단층엽리 그리고 우수 주향 이동성 단층운동감각이 우세하게 나타남을 공통된 특징으로 한다.

세 번째 단층작용(D3)은 북북동 방향의 기존 주향-이동 단층면(S0-2 복합엽리)을 단층면으로 하여 재활성하는 경사-이동 단층운동 내지 기존의 주향-이동 단층면을 절단 내지 끌림 습곡시키는 주로 (동)북동 주향에 남동 내지 북서 방향으로 저각 경사하는 경사-이동 단층운동으로 인지된다. 기존 단층면의 어긋난 양상 및 단층 끌림 상태 등으로부터는 D3 역이동 단층운동감각이 결정된다. 주요 특징적인 구조요소로서는 주향 방향의 단층조선을 중첩하는 경사 방향의 단층조선, 주요 단층암(단층각력, 단층비지, 단층점토)에 발달하는 S-C 구조 엽리, 비탈과 평탄 기하(ramp and flat geometry)의 단층면, 단층운동에 수반된 비대칭 및 끌림 습곡과 붕괴구조 등이 있다. S0-2 복합엽리의 전체적인 방향성은 양산단층대의 주 단층 방향인 북북동 방향이 가장 우세하게 나타나고, 다음으로 D3 단층면과 유사한 북동 내지 동북동 방향이 우세하게 나타난다. 주로 북북동 주향에 고각으로 경사하는 S0-2 복합엽리는 D3 비대칭 및 드래그 습곡작용과 붕괴작용에 의해 북동 내지 동북동 주향으로 부분적인 방향성 변화와 경사각의 저각화 및 경사 방향의 다양화가 인지된다. 이는, D3 단층작용은 양산단층대 주 단층면의 분산된 방향성과 밀접한 관련성 있음을 시사한다.

네 번째 단층작용(D4)은 기반암인 퇴적암류와 화산암류를 부정합으로 덮는 제4기 퇴적층을 변형시키는 경사-역이동 단층운동으로 인지된다. 변위는 수 cm - 수 십 cm 이내의 소규모로 나타난다. 제4기 경사-역이동 단층의 단층면은 기반암의 경사-역이동 단층면의 연장선상에 놓이고, 이들 단층은 북서-남동 방향의 동일한 압축응력에 의해 형성되었다. 이는 제

4기 경사-역이동 단층은 기반암 단층이 동일한 응력체제하에서 재활동하면서 형성되었다는 기존 연구 결과와 일치한다(최위찬 외, 1998; 과학기술부, 2003). 주요 특징적인 구조요소로서는 제4기 퇴적층내에 발달하는 준 연성으로 변형된 S-C 구조 엮리가 있다.

4. 결론

(1) 양산단층대 남부인 울산시 울주군 언양읍 신흥마을 입구의 트렌치 노두 단면에서는 신흥단층 형성과 관련된 적어도 4회의 단층운동 [적어도 2회의 주향-이동 단층운동(D1, D2)과 이후 적어도 2회의 경사-역이동 단층운동(D3, D4)]이 인지된다.

(2) 신흥단층 형성과 관련된 주향-이동 단층운동의 주요 특성은 저각 층리면의 고각화작용, 주향 방향의 단층조선, 주요 단층암(단층각력, 단층비지, 단층점토)의 형성 등이 있다. 경사-역이동 단층운동의 주요 특성은 주향 방향의 단층조선을 증첩하는 경사 방향의 단층조선, 비대칭 및 끌림 습곡작용과 붕괴작용에 의한 주향-이동 단층면의 방향성 변화(북 내지 북동에서 북동 내지 동북동으로 주향 변화, 경사각의 저각화, 경사 방향의 다양화), 평탄-비탈 기하의 단층면 형성, 주요 단층암 및 제4기 퇴적층에 S-C 구조 엮리 형성 등이 있다.

(3) 신흥단층 형성과 관련된 제4기 경사-역이동 단층(D4)의 단층면은 기반암의 경사-역이동 단층(D3)면의 연장선상에 놓이고, 이들 단층은 동일한 북서-남동 방향의 압축응력에 의해 형성되었다.

5. 참고문헌

- 경제북, 이기화, 岡田篤正, 渡辺満久, 鈴木康弘, 竹村恵二, 1999, 양산단층대 남부 상천리 일대의 트렌치조사에 의한 단층특성 규명. 한국지구과학회지, 20, 101-110.
- 과학기술부, 2003, 지진안전성 평가기반 기술개발 최종보고서. Kins/GR-255, 1, 1433p.
- 김중열, 1993, 양산단층의 단층계와 파쇄대. 한국지구과학회지, 14, 281-299.
- 류충렬, 최위찬, 최성자, 2002, 울산광역시 상천리와 가천리 일원의 지질구조와 제4기 단층의 발달 특성. 대한지질공학회 2002년도 학술발표회(부경대학교) 논문집, 193-200.
- 이봉주, 류충렬, 최위찬, 1999, 경주시 양남면 일대의 제4기 단층. 지질학회지, 35, 1-14.
- 장천중, 장태우, 1998, 고응력 분석을 통한 양산단층의 구조운동사. 지질공학, 8, 35-49.
- 최위찬, 류충렬, 기원서, 이봉주, 이병주, 황재하, 박기화, 최영섭, 최성자, 최범영, 조등룡, 김복철, 송교영, 채병곤, 김원영, 김중열, 이상규, 조성준, 황세호, 황학수, 김유성, 현혜자, 박인화, 이희일, 이동영, 이창범, 김주용, 양동윤, 박덕원, 신성천, 김유숙, 김인준, 류장한, 진명식, 전명순, 지현철, 전정수, 신인철, 강익범, 신현모, 권무창, 오수정, 김상곤, 임무수, 김순길, 정항영, 1998, 양산단층을 고려한 설계기준지진의 재평가 최종보고서. 한국자원연구소, 한국전력공사, 1694p.