

울산광역시 울주군 삼남면 상천리와 가천리 일원의 지질구조와 제4기단층의 발달 특성

류 충 렬(Chung-Ryul Ryoo)

한국지질자원연구원

최 위 찬(Ueechan Chwae)

한국지질자원연구원

최 성 자(Sung-Ja Choi)

한국지질자원연구원

요약

울산광역시 울주군 삼남면 가천리와 상천리 일원에 발달하는 양산단층대 중남부의 발달 특성과 제4기단층을 기재한다. 이 지역에는 중생대 백악기의 퇴적암과 화강암의 경계부 근처에 양산단층대의 주단층대와 부단층대로 확인되는 대규모의 단층파쇄대가 북북동-서남서 내지 남-북의 주향에 거의 수직으로 발달하고 있다. 단층조선은 수평에 가까우며 단층대내의 구조에 의하면, 주로 우향의 주향이동운동이 우세하다. 한편, 상천리와 가천리에는 이들 기반암과 제4기의 하성 사력층의 경계부 부근에서 제4기단층이 2조 발달하고 있다. 이들은 가천 제1단층과 가천 제2단층으로 기존의 양산단층대 일부가 제4기에 재활동한 것으로, 북북동 방향의 주향에 동측으로 고각의 경사를 보인다. 단층조선은 거의 수평이며, 제4기 역들이 단층꺾림에 의해 배열된 상태나 단층엽리내의 구조에 의하면 우향의 주향이동성운동이 우세하다.

주요어 : 울산 삼남면, 양산단층대, 우향의 주향이동단층, 제4기 단층, 가천 제1단층, 가천 제2단층

서론

유라시아 대륙 동단부에서의 우향의 전단에 의한, 울산단층대를 주 단층(master fault)으로 하는 대규모 말꼬리 구조('경주 말꼬리 구조')의 일부분으로 제시(Ryoo, 1997)된 양산단층대는 부산에서 평해에 이르는 육상거리 약 170-200 km에 달하는 대단층(김종열, 1988; 최위찬 외, 1998, 2000; 장천중, 2001)으로 주운동에 대한 논의가 있어왔지만, 구체적인 운동증거에 대한 논의는 드물다. 양산단층대의 남부인 울산 울주군 삼남면 가천리와 상천리에서 이 단층의 주운동의 중요한 증거를 제시하는 직접적인 야외 증거들이 잘 나타나고 있다(Ryoo, 1997). 한편, 양산단층의 운동시기와 관련하여 많은 논의가 있어왔지만, 근년에 이 단층이 제4기 동안에도 운동한 증거가 알려지게 되었다(전명순 외, 1992; Okada et al., 1994; 최위찬 외, 1998, 2000; 조동룡 외, 1999; 류충렬 외, 1999; 이봉주 외, 1999; 경재복 외,

1999; Ryoo et al., 2000). 이 논문에서는 양산단층의 주단층운동의 양상과 함께 상천리와 가천리 일원에 발달하는 제4기단층에 대해 그 특성을 논의하고자 한다.

양산단층대의 지질과 기반암단층

양산단층대가 지나는 울주군 삼남면 일대의 지질은 백악기 경상누층군의 퇴적암과 이들을 분출 및 관입한 유천층군의 화산암류와 백악기 말 이후의 화강암류와 암맥 등으로 대별되며, 이들 모두를 부정합으로 피복하는 제4기 퇴적층이 산록과 저지대의 평지에 넓게 분포한다(Fig. 1).

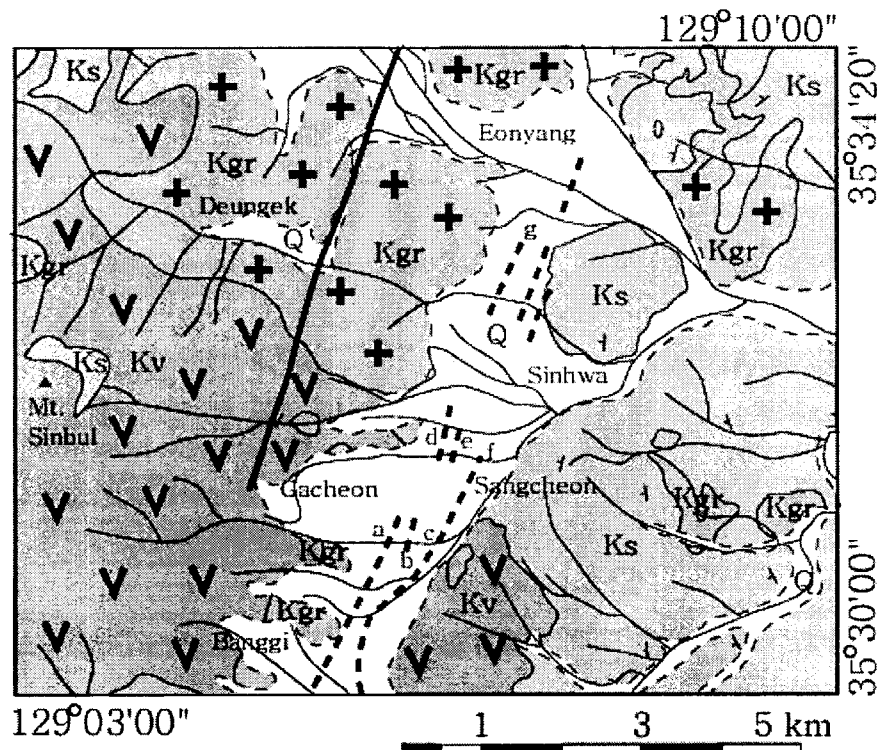


Fig. 1. Geological map around Samnam-myeon, Ulju-gun, Ulsan (southern part of the Ulsan Fault Zone). Ks=Cretaceous sedimentary rocks, Kv=Cretaceous volcanic rocks, Kgr=Late Cretaceous granitic rocks, Q=Quaternary sediments.

울산광역시 울주군 삼남면 상천리 경부고속도로 가천교 근처의 주단층대가 암맥들에 의해 관입된 백악기 퇴적암층내에 폭 약 20m 이상으로, 남-북 방향의 주향에 거의 수직하는 경사를 보이며 발달하고 있다. 단층대 중앙부의 비지대와 그 부근에서는 연성 내지 준연성의 변형을 수반하는 쇠성구조들이 잘 발달하고 있다(Fig. 4). 이들 구조들에는 운동감각을 지시하는 전단면(P-, Y-, R-과 R'-전단면들)과 단층염리면이 뚜렷이 발달하고 있으며, 거의 수평인 단층조선과 함께 우향의 주향이동운동을 지시한다(Fig. 4). 그러나 이 단층운동에 앞서,

좌향의 주향이동성운동이 존재했음이 퇴적암층의 자세변화로 파악되는 대규모의 단층끌림 양상으로 추정되며, 동시에 주 운동에 후속된 북서-남동의 압축응력에 의한 좌향의 주향이동성운동의 존재도 고려되고 있다(류충렬 외, 1997).

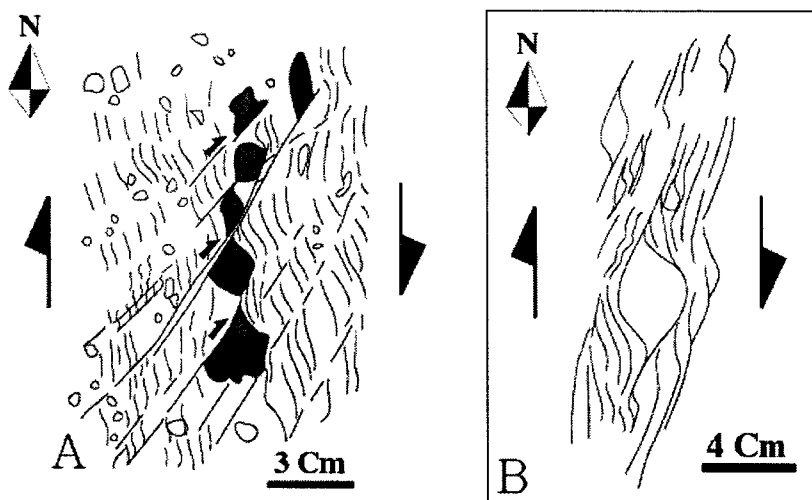


Fig. 4. Sheared structures in the main Yangsan Fault Zone, indicating dextral movements. Site 'b' in Fig. 1.

한편, 양달마을 고속도로 근처의 노두(류충렬과 김인수, 1997)도 그 발달 규모로 보아, 양산단층대의 주단층대로 해석된다. 제4기단층운동의 존재를 추정하여, 상천 제2단층으로 알려진 바 있다(이봉주 외, 1999). 주로 북북동 방향의 주향에 거의 수평인 단층조선을 보이며, 운동감각은 우향의 주향이동운동이 가장 우세하다(Fig. 3). 보다 북쪽인 신화리의 고속도로 새 톨게이트에서도 유사한 양상을 보인다(Fig. 3)

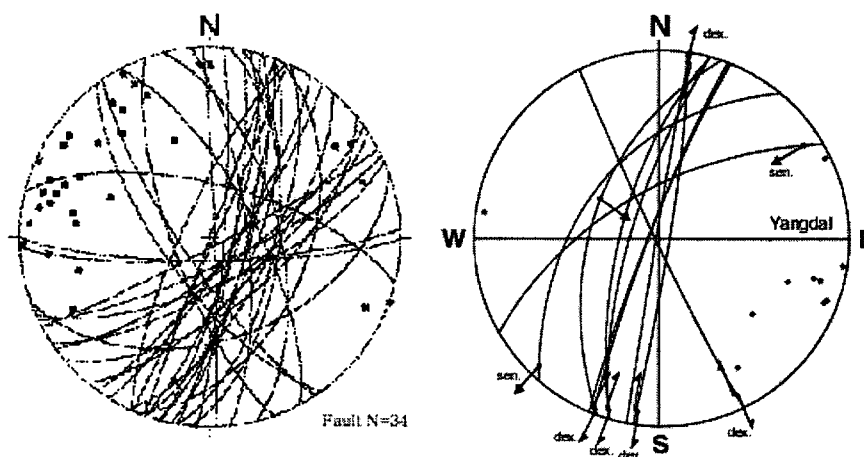


Fig. 3. Orientation of fault planes in the main Yangsan Fault Zone around new tollgate in Sinwha-ri (left, site 'g' in Fig. 1.), and in Yangdal (right, site 'e' in Fig. 1.) where indicate mainly dextral strike-slip movements.

양산단층대의 부단층대

부단층대가 주단층대의 동, 서쪽에 걸쳐 폭 약 수백 m에 달하는 단층 파쇄대내에 발달하고 있다. 가천 제1단층으로 알려진 제4기 단층이 발달(최위찬 외, 1999, 2000)하는 부단층대는 주단층대에서 서쪽으로 약 350m, 가천 제2단층은 동쪽으로 약 500m 지점에 위치한다(Fig. 1). 이들 부단층대는 주단층대와는 달리 그 파쇄된 규모가 상대적으로 작다.

가천 제1단층 부근의 경우, 약 10 m 이상의 폭에 달하는 심한 파쇄대가 잘 발달하고 있다. 이 단층대의 일반적인 주향은 N25° E 이며, 경사는 75° E를 보인다(Fig. 5). 단층대를 이루는 단층비지의 폭은 약 20~30 cm 내외이다. 우세한 단층조선은 거의 수평이며, 전단된 양상에 의하면 우향의 주향이동이 우세하나 동에서 서측으로 밀어붙인 역단층성운동이 후속되었음을 보이고 있다. 이 단층을 경계로 서측은 화강암이 동측은 주로 퇴적암과 이를 관입한 산성암맥이 파쇄대 부근에서 관입하여 함께 변형을 받은 상태를 보이고 있다(Fig. 5). 이 부근의 퇴적층의 층리는 거의 수평에 가깝다.

가천 제2단층 부근의 부단층대는 서측으로 제4기 퇴적층이 분포하고, 동측은 백악기 퇴적암이 심하게 변형을 받은 상태를 보이고 있다(Figs. 1 and 5). 이 단층대는 약 20~30 cm 내외의 단층비지대를 포함하는 폭 약 수 m 이내인 심한 파쇄대가 잘 발달하고 있다(Fig. 5). 이 단층대의 일반적인 주향은 N35° E 이며, 경사는 거의 수직이며, 단층대내의 단층엽리와 각력 주변의 비대칭적 엽리의 발달 등으로 보아 주로 우향이동이 우세한 전단을 받았다.

단층 주변 퇴적층들의 변형

가천 제2단층과 주단층대 사이에서 드물게 관찰되는 퇴적층의 층리는 거의 수평이나 저각도의 경사를 보이거나, 주단층대의 동쪽으로 가면서 심하게 경사하는 양상을 보인다. 특히 주단층대와 가천 제2단층의 사이에서는 거의 수직에 가까운 퇴적층들이 발달하고 있다. 이들은 주단층대를 따른 좌향의 주향이동성 운동에 의한 단층끌림의 결과로 해석되고 있어, 주단층대나 부단층대에서 우세하게 발달하는 우향의 주향이동과는 달리 보다 이른 시기에 일어난 운동의 존재를 추정하게 한다.

한편 부단층대의 북측 연장부로 보이는 상천리 신북마을의 서측 하상에서는 부단층대와 함께 심하게 습곡과 동시에 단층화된 퇴적층이 관찰된다(Fig. 2).

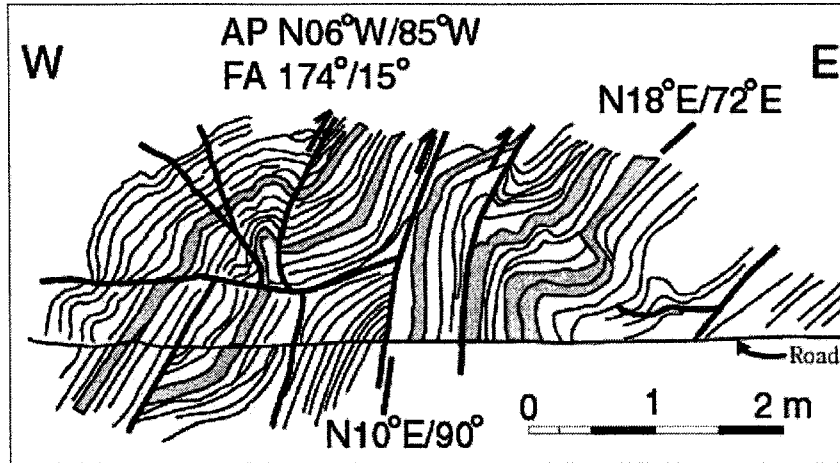
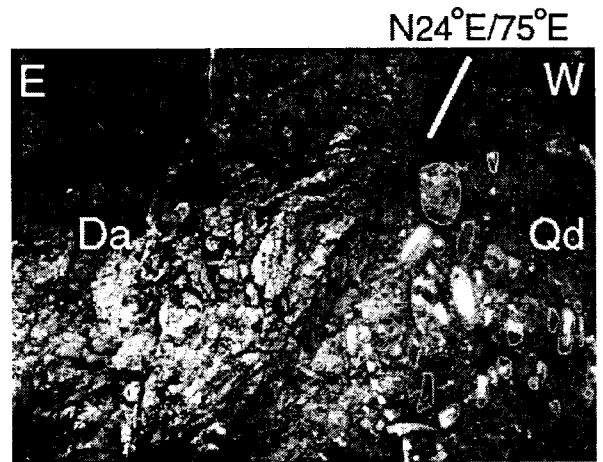


Fig. 2. Sketch of deformed cretaceous sedimentary rock in Sinbok, Sangcheon-ri, Ulsan. AP=axial plane, FA=axis of fold. Site 'f' in Fig. 1.

양산단층대의 제4기 단층

가천 제1단층은 울산시 울주군 삼남면 상천리의 경부고속도로 가천교 서측 약 350m 지점인 상천천의 한 지류 하상(Fig. 1)에서 관찰되는 제4기 단층으로 동측의 퇴적암을 관입한 파쇄가 심한 산성암맥과 제4기의 미고결이며 분급이 불량한 하성 역층 사이에 발달하고 있다(Fig. 5). 이 단층의 주향은 N25° E이고, 경사는 75° E이다. 수직단면에서는 단층대 부근으로 가면서 제4기의 역층이 단층꺾림에 의해 향사형을 이루고 있어 역단층성 운동의 존재를 지시한다(Fig. 5). 그러나 하천 바닥에서는 역들의 장축이 주단층면과 30° 이내의 각도로 배열되어 있다. 이러한 단층꺾림과 역층내에 발달하는 전단에 의한 엮리구조의 양상 그리고 거의 수평인 단층조선에 의하면, 약간의 역단층운동 성분을 수반하는 주로 우향의 주향이동 운동의 존재를 지시한다.

가천 제2단층은 고속도로 가천교에서 동측으로 약 500m 지점의 하상에 발달한다. 이 단층의 주향은 N35° E이고, 경사는 수직이다. 단층의 동측은 단층대를 이루는 백악기 퇴적암이 서측에는 제4기의 분급이 불량한 미고결 하성 역층이다(Fig. 5). 하상 바닥에서 나타나는 단층엮리 등의 구조에 의하면 우향의 주향이동을 지시한다. 주로 우향의 주향이동성운동에 관련하여 동측이 서측에 비해 상승한 양상을 보임을 알 수 있다.



Reorientation of gravel
by dragging



General long axis of gravel
making about <30 degree
with main fault plane

Fig. 5. Outcrop of the Gacheon 1 Fault. Site 'a' in Fig. 1. Da=acidic dyke, Qd=Quaternary deposits.

토론과 결론

남-북의 주향과 동으로의 고각도의 경사, 그리고 동측이 서측의 하반 상위로 이동한 역단층 운동을 포함하는 주로 우향의 주향이동운동을 보임을 미루어 가천 제1단층과 가천 제2단층도 부근에서 발견된 상천 제1단층이나 월평단층과 비슷한 계열의 제4기단층으로 유사한 지구조운동의 산물임이 명확하다. 또한 수 cm 이상 달하는 두꺼운 단층비지대의 존재로 미루어 이 단층 역시 기존의 단층이 제4기 동안 재활성한 것으로 판단된다.

주단층대는 물론 부단층대와 제4기단층들 모두 남-북 내지는 북북동의 방향을 보이며 동으로 고각의 경사를 보인다. 양산단층대의 파쇄대에서는 거의 수평인 단층조선을 보이며, 우향의 주향이동운동이 가장 우세하다. 그러나 퇴적층의 단층끝림된 양상은 이 주 운동이전의 좌향의 주향이동성운동을 지시하며, 주운동 이후에 좌향의 주향이동을 다시 겪은 것으로 해석된다. 제4기 단층인 가천 제1단층에서는 북으로 20° 침강하고, 주로 우향의 주향이동을 보인다. 이에 후속된 역단층운동과 좌향의 주향이동성 운동의 존재가 지진에 의한 응력장(Jun, 1991; 최위찬 외, 1998)으로 추정된다. 양산단층대내의 제4기 단층선은 주로 주단층대와 부단층대를 따라 적어도 2조 이상 발달하는 것으로 판단된다.

참고문헌

- 경재복, 이기화, 오카다, 와타나베, 스즈키, 다케무라, 1999, 양산단층대 남부 상천리 일대의 트랜치조사에 대한 단층 특성 규명. 한국지구과학회지, 20, 101-110.
- 김종열, 1988, 양산단층의 산상 및 운동사에 관한 연구, 부산대학교 대학원 박사학위논문, 97 p.
- 류충렬, 김근수, 이준동, 1997, 양산시 동부 일원의 파쇄구조 : 양산단층대 좌향이동의 증거. 대한자원환경지질학회 제30차 학술발표회 발표논문요약집, 19.
- 류충렬, 김인수, 1997, 양산통도사 일원의 파쇄구조 : 양산단층대 우향이동의 증거. 대한자원환경지질학회 제30차 학술발표회 발표논문요약집, 18.
- 류충렬, 조동룡, 최위찬, 이봉주, 최성자, 이영준, 1999, 양산단층대 북부 청하 일원의 파쇄대 발달 특성. 대한지질공학회 1999년도 학술발표회 논문집, 83-91.
- 이봉주, 최성자, 최위찬, 류충렬, 1999, 양산 월평지역의 제4기 단층운동 특성. 지질학회지, 35, 3, 179-188.
- 장천중, 2001, 양산단층의 구조적 특성과 진화. 경북대학교 이학박사학위논문, 259.
- 장천중, 장대우, 1998, 고응력 분석을 통한 양산단층의 구조운동사. 지질공학, 8, 1, 35-49.
- 전명순, 정승환, 지현철, 전정수, 신인철, 1992, 지진연구, 한국자원연구소 연구보고서 KR-92-1G-3, 1-53.

- 조등룡, 이봉주, 류충렬, 최위찬, 1999, 원격탐사기법을 이용한 양산단층대 북부 청하지역의 제4기단층연구. 1999년도 대한원격탐사학회 춘계 학술대회 논문집, 31-36.
- 최위찬 외 45인, 1998, 양산단층을 고려한 설계기준지진의 재평가 최종보고서. 한국자원연구소, 한국전력공사, 1694 p.
- 최위찬, 최성자, 이봉주, 이영준, 류충렬, 송미주, 2000, 신기지가각변형연구. 한국자원연구소 N2-01-02-A-01, 과학기술부, 1-147.
- Jun, M. S., 1991, Body-wave analysis for shallow intraplate earthquakes on the Korean Peninsula and Yellow Sea. *Tectonophysics*, 192, 345-357.
- Lee H.-K., Schwarczb, H. P., 2000, ESR dating of the subsidiary faults in the Yangsan fault system, Korea. *Quaternary Science Reviews*, 5-9, 20, 999-1003.
- Okada, A., Watanabe, M., Sato, H., Jun, M. S., Jo, W. R., Kim, S. K., Jeon, J. S., Chi, H. C. and Oike, K., 1994, Active fault topography and trench survey in the central part of the Yangsan fault, Southeast Korea, *Jour. Geogr. Japan*, 103, 111-126.
- Ryoo, C.-R., 1997, Fault system in the southeastern Korea : 'Kyongju' horsetail structure as a new synthetic interpretation. In Lee, Y. I. and Kim, J. H., eds., 1997, *Tectonic Evolution of Eastern Asian Continent: Geol. Soc. Korea 50th Anniv. Int'l Symp.*, p. 22-27.
- Ryoo, C.-R., Lee, B. J., Chwae, U., 2000, Quaternary fault and its remote sensing image in the southeastern Korea. CCOP(Coordinating Committee for Costal and Offshore Geoscience Programmes in East and Southeast Asia) Technical Bulletin, Vol. 29, 5-28.