

## 언양 신흥단층의 기하학적 · 운동학적 특성으로부터 해석된 경상분지 양산단층대 남부의 단층운동사

강지훈<sup>1,\*</sup> · 류충렬<sup>2</sup>

<sup>1</sup>안동대학교 지구환경과학과, <sup>2</sup>한국지질자원연구원 광물자원연구본부

### The movement history of the southern part of the Yangsan Fault Zone interpreted from the geometric and kinematic characteristics of the Sinheung Fault, Eonyang, Gyeongsang Basin, Korea

Ji-Hoon Kang<sup>1,\*</sup> and Chung-Ryul Ryoo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Earth and Environmental Sciences, Andong National University,  
Andong, Gyeongsangbuk-do 760-749, Korea

<sup>2</sup>Mineral Resources Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources,  
Daejeon 305-350, Korea

**요약:** 울산시 울주군 언양읍 북부 신흥마을 입구에 북서-남동 방향으로 트렌치된 단면에서 양산단층대의 주 단층과 제4기 단층이 관찰되었다. 본 논문은 신흥마을 입구의 트렌치 단면에서 조사된 양산단층대의 기반암 단층(신흥단층)과 제4기 단층(제4기 신흥단층)의 기하학적 · 운동학적 특성연구로부터 양산단층대 남부의 단층 운동사를 해석하였다. 신흥마을 입구 트렌치 단면에서는 단층접촉으로 반복되어 산출하는 백악기 하양층군의 퇴적암류와 유천층군의 화산암류 그리고 이들 기반암류를 부정합으로 피복하는 제4기 퇴적층 등이 산출하고, 본 연구결과 양산단층대의 형성과 관련된 적어도 2회의 주향-이동 단층운동 (D1, D2)과 이후 적어도 2회의 역-이동 단층운동(D3, D4)이 인지된다. (1) D1 단층운동: 양산단층대의 주 단층을 향하여 퇴적암류의 층리를 고각화시키는 좌수 주향-이동 단층운동. (2) D2 단층운동: 고각화된 층리를 단층면으로 하는 우수 주향-이동 단층운동. 주요 특징적인 구조요소로서는 북북동 방향의 준 수평적인 우세한 단층조선과 준 수직적인 우세한 단층엽리 등이 있다. 양산단층대의 주요 단층암류는 D2 단층운동에 의해 형성되었다. (3) D3 단층운동: (동)북동 주향에 (남)남동 내지 (북)북서 방향으로 중각 경사하는 단층면을 갖는 공역성 역-이동 단층운동. 주요 특징적인 구조요소로서는 주향 방향의 단층조선을 중첩하는 경사 방향의 단층조선, D2 단층비지에 발달하는 S-C 구조 엽리, 비탈과 평탄 기하의 단층면, 단층운동에 수반된 비대칭 및 끌림 습곡과 붕괴구조 등이 있다. 양산단층대 주 단층면의 방향성은 주로 D3 단층운동에 의해 분산되었다. (4) D4 단층운동: 제4기 퇴적층내에 S-C 구조 엽리의 발달과 함께 제4기 퇴적층을 수 cm 변위시키는 제4기 역-이동 단층운동. 양산단층대의 다른 제4기 단층과 같이 D4 단층면은 기반암의 D3 역-이동 단층면의 연장선상에 놓이고, 이들 단층은 동일한 (북)북서-(남)남동 방향의 압축응력에 의해 형성되었다.

**핵심어:** 신흥마을(언양), 트렌치 단면, 양산단층대의 운동사, 제4기 단층

**Abstract:** The main fault of Yangsan Fault Zone (YFZ) and Quaternary fault were found in a trench section with NW-SE direction at an entrance of the Sinheung village in the northern Eonyang, Ulsan, Korea. We interpreted the movement history of the southern part of the YFZ from the geometric and kinematic characteristics of basement rock's fault of the YFZ (Sinheung Fault) and Quaternary fault (Quaternary Sinheung Fault) investigated at the trench section. The trench outcrop consists mainly of Cretaceous sedimentary rocks of Hayang Group and volcanic rocks of Yucheon Group which lie in fault

\*Corresponding author  
Tel: 82-54-820-5474  
E-mail: jhkang@andong.ac.kr

contact and Quaternary deposits which unconformably overlie these basement rocks. This study suggests that the movement history of the southern part of the YFZ can be explained at least by two different strike-slip movements, named as D1 and D2 events, and then two different dip-slip movements, named as D3 and D4 events. (1) D1 event: a sinistral strike-slip movement which caused the bedding of sedimentary rocks to be high-angled toward the main fault of the YFZ. (2) D2 event: a dextral strike-slip movement slipped along the high-angled beddings as fault surfaces. The main characteristic structural elements are predominant sub-horizontal slickenlines and sub-vertical fault foliations which show a NNE trend. The event formed the main fault rocks of the YFZ. (3) D3 event: a conjugate reverse-slip movement slipped along fault surfaces which trend (E)NE and moderately dip (S)SE or (N)NW. The slickenlines, which plunge in the dip direction of fault surfaces, overprint the previous sub-horizontal slickenlines. The fault is characterized by S-C fabrics superimposed on the D2 fault gouges, fault surfaces showing ramp and flat geometry, asymmetric and drag folds and collapse structures accompanied with it. The event dispersed the orientation of the main fault surface of the YFZ. (4) D4 event: a Quaternary reverse-slip movement showing a displacement of several centimeters with S-C fabrics on the Quaternary deposits. The D4 fault surfaces are developed along the extensions of the D3 fault surfaces of basement rocks, like the other Quaternary faults within the YFZ. This indicates that these faults were formed under the same compression of (N)NW-(S)SE direction.

**Key words:** Sinheung village (Eonyang), trench section, movement history of Yangsan Fault Zone, Quaternary fault

## 서 론

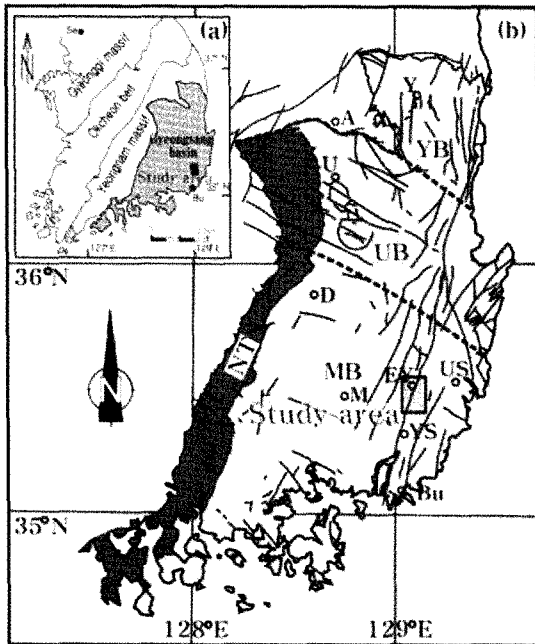
한반도 동남부 경상분지에는 지형 및 지구조적으로 연장성이 확실히 인지되는 북북동 방향의 양산단층대와 북북서 방향의 울산단층대가 발달하고 있다(Fig. 1). 부산에서 평해까지 연장되는 육상거리가 약 200 km에 달하는 양산단층대의 발달과 운동성 그리고 분절에 관한 연구는 지금까지 다수의 연구자에 의해 논의된 바가 있으며(김중열, 1988, 1993; 류충렬과 김인수, 1997; 류충렬 외, 1997; Ryoo, 1997; 최위찬 외, 1998, 2000; 장천중과 장태우, 1998; 장천중, 2001; 최성자 외, 2002), 최근 수년 동안에는 지진 활동과 관련된 활성단층의 조사가 양산단층대와 울산단층대 그리고 동해안 일대에서 활발하게 진행된 바가 있다. 그 결과, 양산단층대 남부인 언양과 양산통도사 사이의 여러 곳에서 지진과 관련된 제4기 단층들이 알려져 이들의 단층운동에 관한 여러 연구가 있었다(전명순 외, 1992; Okada *et al.*, 1994; Kyung *et al.*, 1996; 최위찬 외, 1998, 2000; 이봉주 외, 1998, 1999; 이회권, 1998; Lee *et al.*, 1999; 경재복 외, 1999a, 1999b; Lee and Schwarcz, 2000; Ryoo *et al.*, 2000; 류충렬 외, 2002; 류충렬 외 2006)(Fig. 2). 이 논문에서는 양산단층대의 남부인 울산시 울주군 언양읍 신흥마을 입구의 트렌치 단면에서 새로이 관찰된 양산단층대의 기반암 단층(신흥단층)과 제4기 단층(제4기 신흥단층)의 기하학적·운동학적

특성을 기재하고 이들 특성으로부터 언양 신흥마을에서 양산단층대 남부의 단층운동을 고찰하고자 한다.

## 지형 및 지질

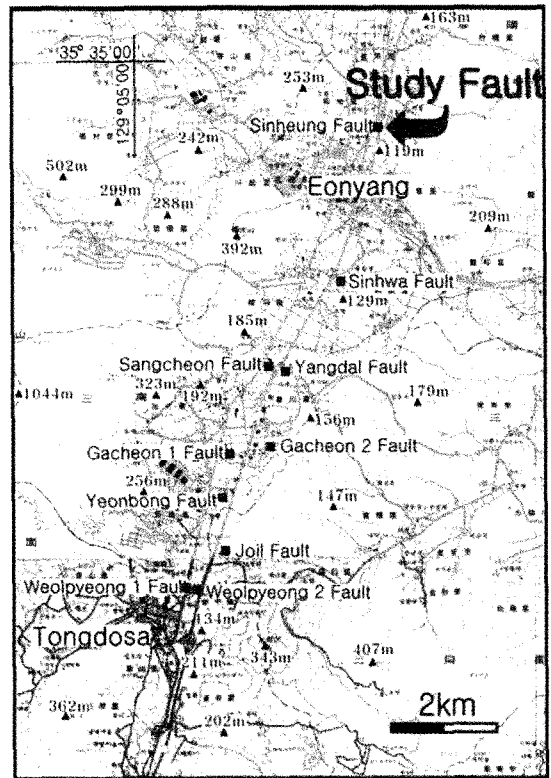
양산단층대의 남부 지역인 언양-양산 통도사 일대의 주변 지형은 단층대의 양측부는 고지대를 보이고 중앙부는 양산단층대에 평행한 북북동-남남서 방향의 단층곡을 이루고 있으며, 단층곡을 이루는 저지대를 따라서는 몇몇의 제4기 단층들이 확인된다(Fig. 2). 양산단층대의 양측부 지형은 단층곡을 중심으로 하여 서측부는 고지대와 급사면을 이루고 동측부는 저지대와 완사면을 이루는 서고동저의 고도 분포를 보이고, 양산단층대 중심부의 일부 하안단구들은 단층곡을 중심으로 동쪽이 상승하여 있고 하안 단구면이 동쪽으로 경사하는 특징적인 지형 분포를 보인다(류충렬 외, 2006)(Fig. 2).

양산단층대가 통과하는 울산시 울주군 언양-양산 통도사 일대의 지질은 주로 백악기 초 하양층군의 퇴적암류(대양동층)와 이를 관입 및 분출한 유천층군의 화산암류(주산 안산암질암과 규장반암), 이들을 관입한 백악기 말의 불국사 화성암류(언양 흑운모 화강암과 규장암)와 제3기 화강암, 그리고 이들을 부정합으로 피복하는 제4기 퇴적층 등으로 구성되어 있다(Fig. 3). 하양층군의 퇴적암류인 대양동층은 양산단층대의 동측부에 주로 분포한다(Fig. 3). 층서적으로 최하부



**Fig. 1.** (a) Index map showing the tectonic locality of study area. (b) Tectonic map showing the subbasin divisions, the distribution of fault systems, and the locality of study area in the Gyeongsang Basin [adapted from Choi *et al.* (1995)]. NT: Nakdong Trough, MB: Milyang Block, UB: Uiseong Block, YB: Yeongyang Block, A: Andong, Bu: Busan, D: Daegu, UY: Eonyang, J: Jinju, M: Milyang, Se: Seoul, U: Uiseong, US: Ulsan, Y: Yeongyang, YS: Yangsan.

층에 해당하고 하양층군의 최상부층인 진동층에 대비된다. 이들은 주로 녹회색 내지 암회색 사암과 암회색 내지 흑색 셰일로 구성되어 있고 실트암과 역암을 부분적으로 협재한다. 층리는 일반적으로 서쪽으로 경사하며 양산단층대의 주변 지역에서 북동, 남북, 북서 등의 주향에 5°-20° 범위의 완만한 경사를 보이나 양산단층대의 근접 지역에서는 주 단층대의 방향성과 동일한 북북동 주향에 25°-35° 범위의 보다 급한 경사를 보인다(이윤중과 이인기, 1962; 이민성과 강필중, 1964)(Fig. 3). 유천층군 화산암류인 주산 안산암질암은 양산단층대의 서측부와 동측부에 광범위하게 분포하고 단층곡의 북부에 소규모 분포한다(Fig. 3). 본 암석은 주로 자색 내지 암녹색을 띠고 화산각력의 치밀한 기질내에 장석 반정을 포함한다. 규장반암은 양산단층대의 동측부에 소규모 분산되어 발달한다(Fig. 3). 불국사 화성암류는 양산단층대의 서측부와 동측부에 광범위하게 분포하는 언양 흑운모 화강암과 양산



**Fig. 2.** Topographical map (1/50,000) showing the localities of study fault and previous Quaternary faults found in Eonyang-Tongdosa area, Yangsan Fault Zone.

단층대의 동측부에서 소규모로 분산되어 산출하는 규장암으로 주로 구성되어 있다(Fig. 3). 언양 흑운모 화강암은 주로 유백색 내지 담회색 또는 담회색을 띠고 조립 내지 중립질을 보이며 유색광물의 함양은 매우 적다. 제3기 화강암은 이 지역의 남부 양산단층대의 서측부에 분포하고, 상기된 모든 암상들을 부정합으로 피복하고 주로 선상지 퇴적물로 구성된 제4기 퇴적층은 양산단층곡의 산록과 지지대의 평지에 넓게 분포한다(Fig. 3).

### 신홍마을 트렌치 단면

울산시 울주군 언양읍 신홍마을 트랜치 위치에는 양산단층대의 주 단층대가 통과한다. 지질도상에서는 트랜치 지점의 북부에 유천층군의 주산 안산암질암이 소규모로 분포하고, 트랜치 지점의 서부와 동부에는 각각 불국사 화성암류인 언양 흑운모 화강암과 하양

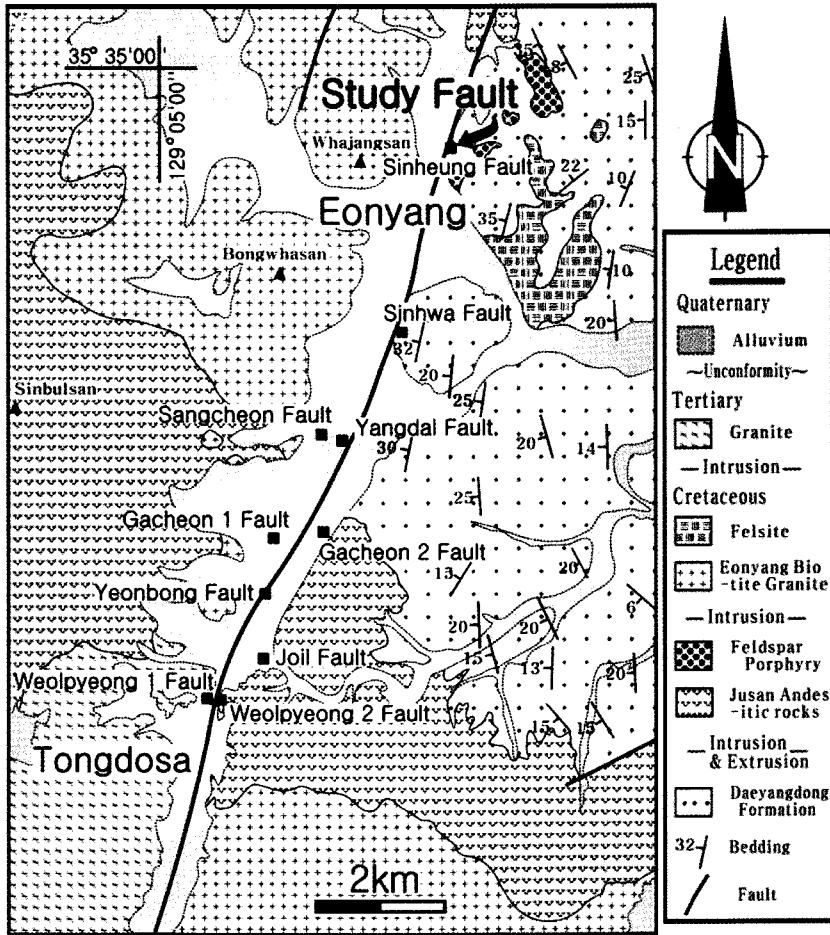


Fig. 3. Geological map of Eonyang-Tongdosa area, Yangsan Fault Zone [modified from Lee and Kang (1964) and Lee and Lee (1972)].

층군의 대양동층이 광범위하게 분포한다(Fig. 3).

신흥마을 입구에서 북서-남동 방향으로 굴착된 약 60 m 연장의 트렌치 단면상에서는 양산단층대의 주 단층(신흥단층)과 제4기 단층(제4기 신흥단층)이 관찰된다(Fig. 4). 트렌치 단면의 남동부와 중앙부에는 층서적으로 최하부인 주로 퇴적암류로 구성된 대양동층이 분포하고, 트렌치 단면의 북서부에는 하양층군의 퇴적암류와 유천층군의 화산암류가 단층접촉으로 반복되어 산출하며, 불국사 화산암류는 트렌치 단면에서 관찰되지 않는다. 트렌치 단면에서 하양층군 퇴적암류는 주로 사암과 셰일로 구성되어 있다. 퇴적암류의 층리는 완만한 경사를 보이는 주변 지역과 달리 일반적으로 북북동 방향의 급경사를 보인다. 유천층군의 화산암류는 주로 안산암질암으로 구성되어 있다. 기반암인

퇴적암류와 화산암류를 부정합으로 피복하는 제4기 퇴적층은 크게 세 개의 층(Q1층, Q2층, Q3층)으로 구분된다(류충렬 외, 2006). 최하부의 하성 사력층인 Q1층은 기질이 주로 장경 1 cm 이내의 사력으로 구성되어 있으며, 역은 주로 장경이 10 cm 내외이며 최대 50 cm에 이르는 분급이 불량한 아각상으로 나타나고 주로 안산암력, 퇴적암력, 화강암력 그리고 암맥 기원의 역들로 구성되어 있다. Q1 역층의 직상부에는 암자색 빨층이 최대 두께 30 cm 내외로 측방 연속성이 없이 국지적으로 발달한다. 이들 하도 충진상 역층과 암자색 빨층의 상위에는 원마도가 높은 5-15 cm 크기의 안산암과 화강암의 역들로 주로 구성된 역층인 Q2층이 발달하고, 이들을 부정합으로 덮는 암회갈색의 역질 빨층인 Q3층은 약 40-50 cm의 두께로 발달한다.

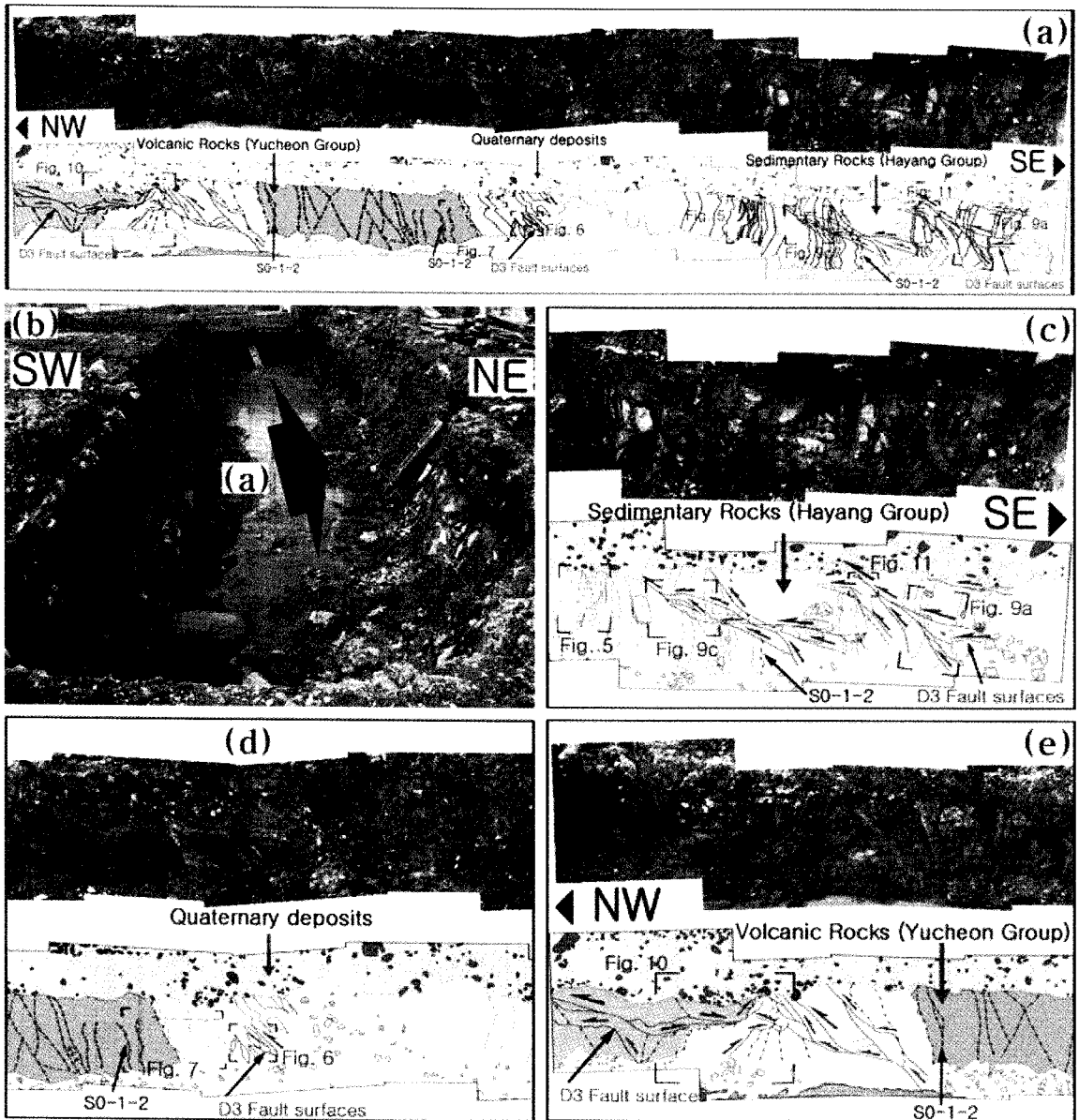


Fig. 4. Panoramic photographs and structural sketches of study outcrop which was trenched at an entrance of the Sinheung village in the northern Eonyang, Ulsan. (a) Whole view. (b) Photograph of trench outcrop. Enlarged (c) southeastern, (d) central, and (e) northwestern parts of the panoramic photograph. Locations of detailed studies are indicated.

### 신홍단층의 단층운동사

신홍마을 입구 트렌치 단면에서는 양산단층대의 형성과 관련된 적어도 2회의 주향-이동 단층운동과 그 이후에 발생한 적어도 2회의 경사-이동 단층운동 등

적어도 4회의 단층운동이 인지된다. 여기서는 이들 단층운동을 그 상대적인 발생순서에 따라 편의상 D1, D2, D3 그리고 D4 등으로 표현하여 이들 단층운동의 기하학적 · 운동학적 특성을 기재하였다.

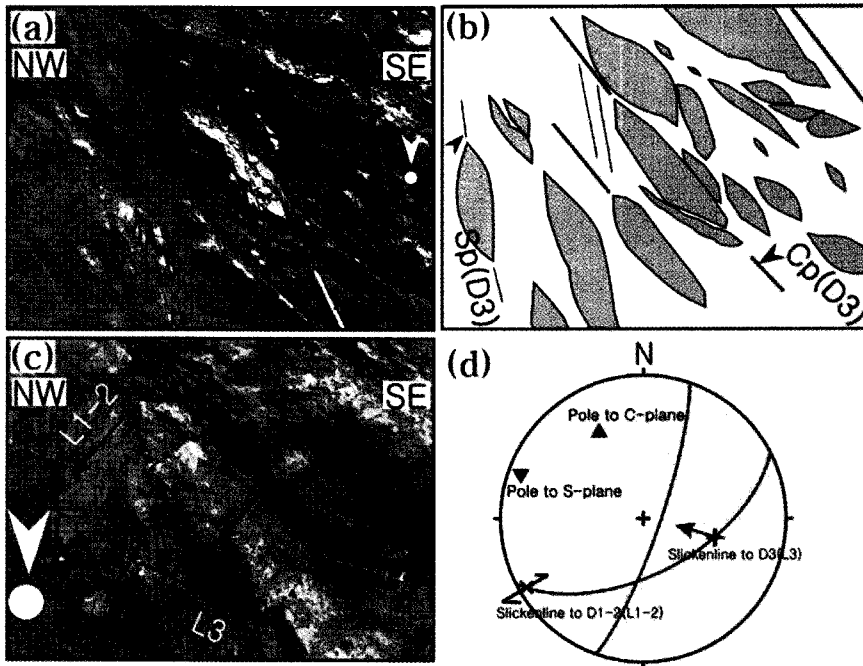


**Fig. 5.** Outcrop photographs of D1 isoclinal fold exposed in the southeastern part of trench outcrop (see Fig. 4). Its axial plane (Fap) dips high angle and is parallel to D1 and D2 fault surfaces.

주향-이동 단층운동

첫 번째 D1 단층운동은 저각으로 경사하는 퇴적암류의 층리(S0)를 고각화시키는 주향-이동 단층운동으로 인지된다. 언양-통도사 일대 대양동층 퇴적암류의 층리는 일반적으로 서쪽으로 경사하며, 양산단층대의 주 단층대 근접 지역으로 갈수록 퇴적암류의 층리는 주 단층대의 방향과 동일한 북북동 주향에 보다 고각으로 경사하는 방향성을 보인다(Fig. 3). 특히, 양산단층대의 주 단층대가 통과하는 신흥마을 입구의 트렌치 단면에서는 거의 수직에 가까운 퇴적암류의 층리가 발달하고(Fig. 4), 주 단층대의 부근에서는 고각의 주 단층면과 층리면에 평행한 습곡축면(S0-1)을 갖는 준 수평적인 등사습곡이 관찰된다(Figs. 4, 5).

두 번째 D2 단층운동은 D1 단층운동에 의해 고각화된 S0-1 복합층리를 단층면으로 하는 주향-이동 단층운동으로 인지된다. D2 단층운동에 의해서는 거의 수직에 가까운 우세한 단층엽리(S0-1-2 복합엽리)와 거의 수평에 가까운 우세한 단층조선이 형성되었다(Figs. 4, 6, 7). S0-1-2 복합 엽리면상에는 D2 단층의 운동감각



**Fig. 6.** (a-c) Outcrop photographs and sketches of D1, D2 and D3 structural elements exposed in the central part of trench outcrop (see Fig. 4), and (d) stereogram representing their orientation. (a, b) S-C fabrics of D3 phase superimposed on fault rocks of D2 phase (Sp: S-plane, Cp: C-plane). It indicates a reverse-slip movement of D3 fault. (c) Dip-direction slickenline (L3) of D3 phase which overprinted sub-horizontal slickenline (L1-2) of D1 and D2 phases.

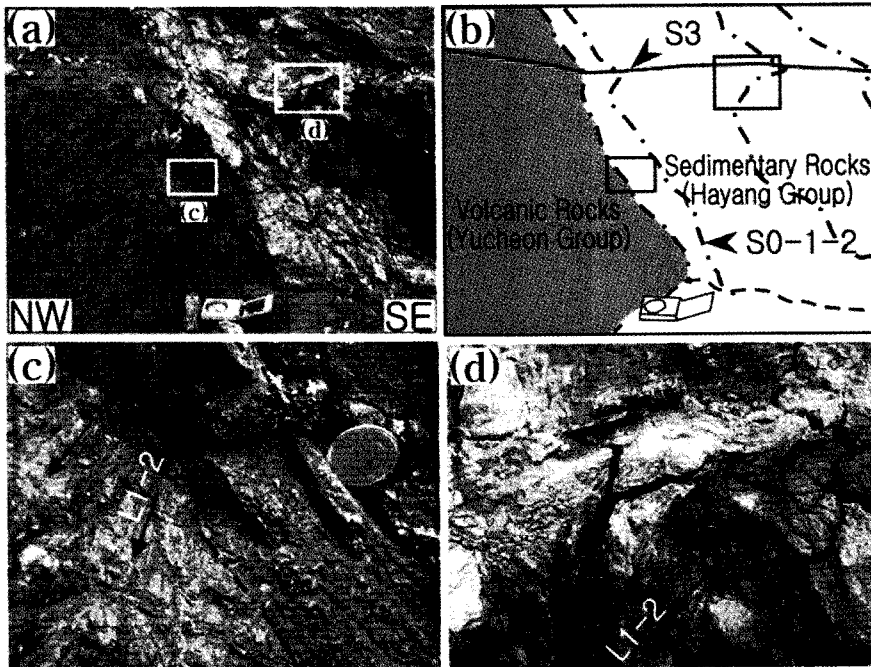


Fig. 7. Outcrop photographs and sketches of D3 collapse structure exposed in the central part of trench outcrop (see Fig. 4). Orientations of L1-2 slickenline and S0-1-2 composite surface were partly changed by the D3 collapse structure.

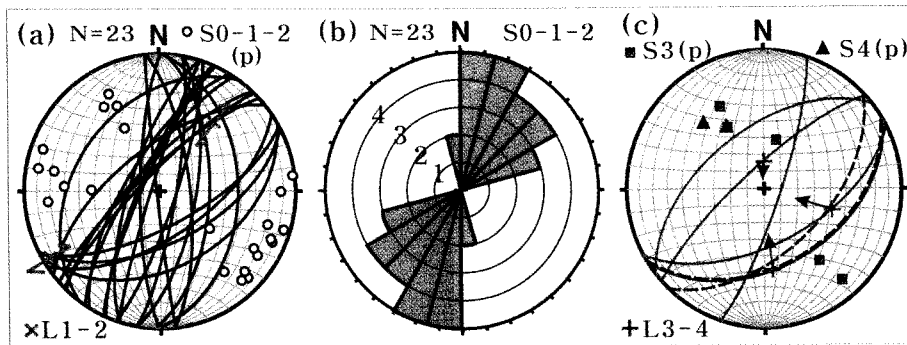


Fig. 8. (a, c) Stereograms (lower-hemisphere equal-area projection, p: pole) and (b) rose diagram showing the orientations of major structural elements measured in the trench outcrop [(a, b) fault surfaces (S0-1-2) of strike-slip faults of D1 and D2 phases and their slickenlines (L1-2) with predominant movement senses, and (c) fault surfaces (S3 and S4) of dip-slip faults of D3 and D4 phases and their slickenlines (L3-4) with predominant movement senses].

이 우수 주향 이동성이었음을 지시하는 계단상 구조가 종종 관찰된다(Figs. 6c, 7c). S0-1-2 복합염리의 전체적인 방향성은 양산단층대의 주 단층대의 방향인 북북동 주향에 고각으로 경사하는 것이 가장 우세하게 나타나고, 다음으로 북동 내지 동북동 주향에 중각으로 경사하는 것이 우세하게 나타난다(Fig. 8). D2 단층운동은 신흥마을 트랜치 단면에서 주요 단층암류(단층각력, 단층비지, 단층점토)의 주 형성 요인으로 인지된다.

### 경사-이동 단층운동

세 번째 D3 단층운동은 기존의 주향-이동 단층면(S0-1-2 복합염리)을 단층면으로 하여 재활성하거나 기존의 주향-이동 단층면을 절단 내지 끌림 습곡시키는 경사-이동 단층운동으로 인지된다(Figs. 4, 9). 주요 특징적인 구조요소로서는 주향 방향의 단층조선을 중첩하는 경사 방향의 단층조선(Figs. 4, 6), 단층각

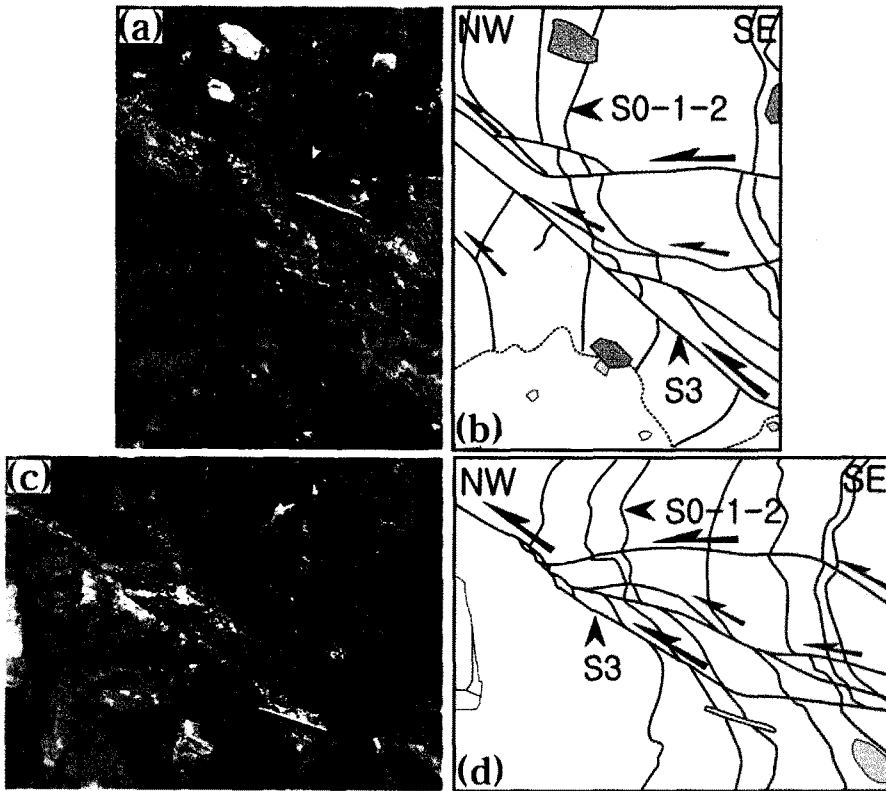


Fig. 9. Outcrop photographs and sketches of D3 normal drag fold exposed in the southeastern part of trench outcrop (see Fig. 4). Movement sense of the D3 drag fold, which cut and dragged the S0-1-2 composite surfaces, indicates a reverse-slip. S3: D3 fault surface.

력, 단층비지, 단층점도 등 주로 D2 단층운동에 의해 형성된 주요 단층암류에 중첩하여 발달하는 S-C 구조 엮리(Figs. 4, 6), 단층운동에 수반된 붕괴구조와 비대칭 내지 끌림 습곡(Figs. 4, 7, 10), 그리고 비탈과 평탄 기하(ramp and flat geometry)를 갖는 공역성 단층면(Figs. 4, 10) 등으로 인지된다. 공역성 단층면의 자세는 주로 (동)북동 주향에 남동 내지 북서 방향으로 저각 경사를 보인다(Fig. 8). 이들 주요 특징적인 구조요소와 공역성 단층면의 자세로부터 (북)북서-(남)남동 방향의 압축응력에 의해 형성된 D3 단층의 공역성 역-이동 운동감각이 결정된다.

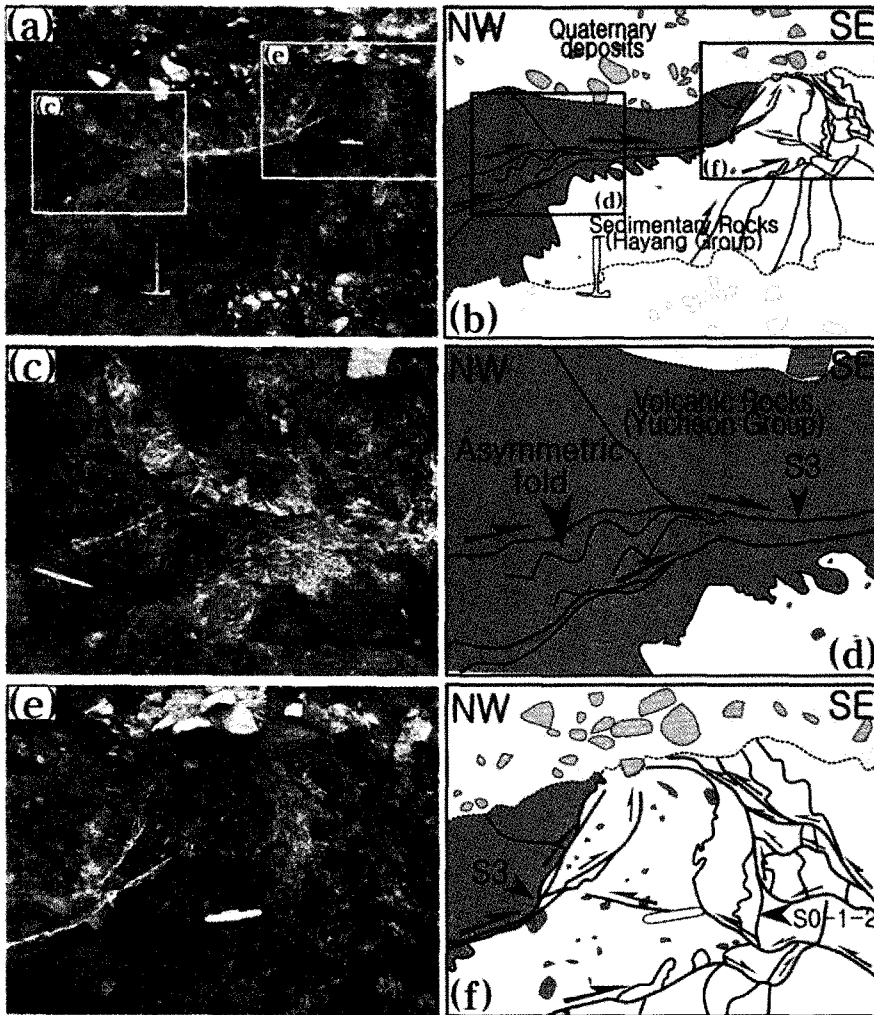
네 번째 D4 단층운동은 기반암인 퇴적암류와 화산암류를 부정합으로 덮는 제4기 Q1 사력층을 변형시키는 경사-이동 단층운동으로 인지된다(Figs. 4, 11). D4 단층의 단층면은 D3 기반암의 역-이동 단층면의 연장선상에 놓이고, D4 단층은 제4기 퇴적층을 수 cm 변위시킨다. 이들 변위감각과 제4기 퇴적층내에

발달하는 S-C 구조 엮리의 형태감각으로부터 D4 단층의 역-이동성 운동감각이 결정되고, D4 단층은 D3 기반암 단층과 동일한 (북)북서-(남)남동 방향의 압축응력에 의해 형성되었음을 알 수 있다.

## 고찰

한반도의 동남부지역 양산단층대의 남부에 해당하는 울산시 울주군 언양-통도사 일대에는 양산단층대의 주 단층대와 제4기 단층들의 몇몇 노두가 보고된 바가 있다(Figs. 1, 2, 3). 신흥마을 입구의 트렌치 단면에서 지금까지 기재된 신흥단층의 주요 운동사는 주로 북북동-남남서 방향의 주향-이동 단층운동과 그 이후에 발생한 (북)북서-(남)남동 방향의 역-이동 단층운동 등으로 요약된다. 신흥단층의 특징적인 구조요소와 함께 이러한 기하학적·운동학적 특성들이 남측의 양달마을(류충렬과 김인수, 1997, 류충렬 외,



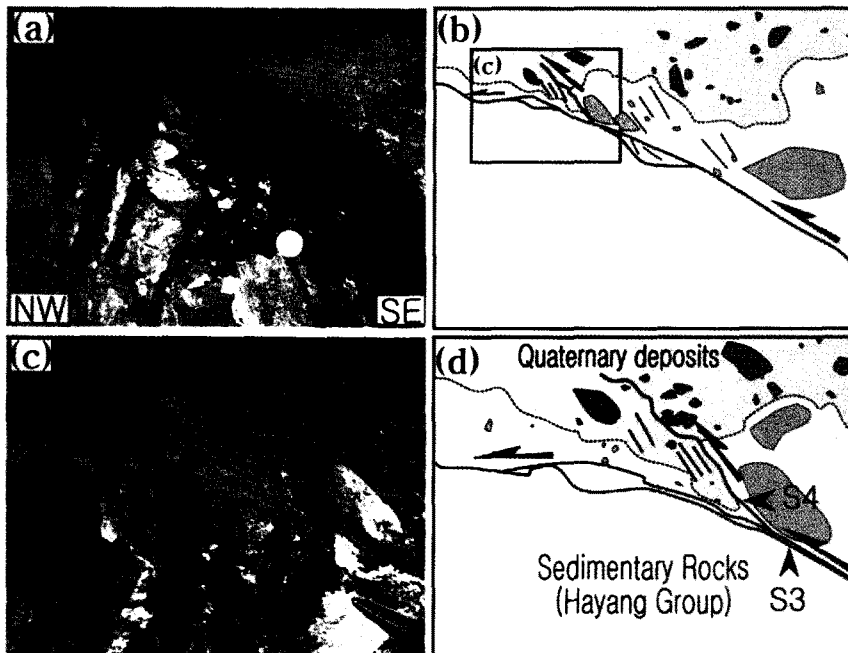


**Fig. 10.** Outcrop photographs and sketches of (a, b, e, f) D3 conjugate reverse-slip fault exposed in the northwestern part of trench outcrop (see Fig. 4) and (a-d) D3 asymmetric fold accompanied with it.

2002)과 가천천(류충렬 외, 2002)상의 고속도로 근처의 주 단층대에서 공통적으로 우세하게 관찰됨을 고려해 볼 때, 이번에 조사된 언양 북부 신흥마을 입구의 트렌치 단면에서 관찰되는 신홍단층은 남측의 양산단층대 주 단층대와 제4기 단층들의 북측 연장에 해당될 것으로 고찰된다.

신흥마을 입구의 트렌치 단면에서 D2 우수 주향-이동 단층운동은 준 수평적인 우세한 단층조선과 준 수직적인 우세한 단층엽리와 함께 주요 단층암류를 형성시키는 주 단층운동으로 인지되고, 이러한 D2 단층운동은 양산단층대의 주 단층대에서 우세하게 나타나는 주 단층운동에 대비될 것으로 판단된다. 또한,

언양-통도사 일대에 분포하는 대양동층 퇴적암류의 층리는 양산단층대의 주 단층대 근접 지역으로 갈수록 주 단층대의 방향과 동일한 북북동 주향에 보다 고각으로 경사하는 방향성을 보이고, 신흥마을 입구의 트렌치 단면에서 D2 단층은 거의 수직에 가까운 대양동층 퇴적암류의 층리를 단층면으로 하여 활동한다 (Figs. 3, 4). 류충렬 외(2002)는 양산단층대의 주 단층대와 그 주변 지역에 분포하는 퇴적암류 층리의 자세변화로 파악되는 대규모의 단층끌림 양상으로부터 주 단층대를 따라 발생한 좌수 주향-이동 단층운동을 제안한 바 있으며, 이러한 좌수 주향-이동 단층운동은 주 단층대에서 우세하게 발달하는 우수 주향-이동 단



**Fig. 11.** Outcrop photographs and sketches of D3 and D4 reverse-slip faults exposed in the southeastern part of trench outcrop (see Fig. 4). D4 Quaternary fault shows a displacement of several centimeters and forms S-C fabrics on the Quaternary deposits which unconformably overlie the basement rocks, and its fault surface (S4) is developed on an extension of the D3 basement rocks' fault surface (S3).

층운동보다 이른 시기에 일어난 운동으로 추정된 바가 있다. 이는, 퇴적암류의 층리 고각화와 고각의 주 단층면에 평행한 등사습곡(Figs. 4, 5)의 형성과 관련된 D1 구조운동은 양산단층대의 주 단층운동 이전에 발생한 좌수-이동 단층운동(류충렬 외, 1997)과 밀접한 관련성이 있음을 의미한다.

신흥마을 입구에서 북서-남동 방향으로 굴착된 약 60 m 연장의 트렌치 단면에서 관찰되는 주 단층엽리는 주로 양산단층대의 주 단층대의 방향인 북북동 주향에 고각으로 경사하고 있으며, D3 공역성 역-이동 단층운동에 의해 북동 내지 동북동 방향으로 부분적인 방향성 변화와 경사각의 저각화 및 경사 방향의 다양화가 인지된다(Figs. 4, 8). 이는, D3 단층운동은 양산단층대의 주 단층운동 이후에 발생한 북서-남동의 압축응력의 존재(류충렬 외, 1997)와 밀접한 관련성이 있으며, 양산단층대의 주 단층대 단층엽리의 방향성을 분산시키는 주 요인으로 인지된다.

신흥마을 입구 트렌치 노두단면에서 관찰된 제4기 신흥단층은 양산단층대 남부에서 이미 알려진 제4기 단층들(최위찬 외, 1998, 2000; 이봉주 외, 1998,

1999; 경제복 외, 1999b; Ryoo *et al.*, 2000; 류충렬 외, 2002)의 연장선상에 놓여 있다(Figs. 2, 3). 신흥마을 입구 제4기 역-이동 단층의 단층면은 기반암의 역-이동 단층면의 연장선상에 놓이고 이들 단층의 기하학적·운동학적 특성은 이들 단층이 동일한 (북)북서-(남)남동 방향의 압축응력에 의해 형성되었음을 시사하고, 양산단층대 일대의 제4기 단층들이 제4기 동안에 기반암 단층의 재활동에 의해 형성되었다는 기존 연구 결과와도 일치한다(최위찬 외, 1998, 2000; Ryoo *et al.*, 2000; 경제복과 장태우, 2001). 한편, 현재의 지진 초동 연구로부터 밝혀진 한반도와 주변 해역(Xu *et al.*, 1989; Jun, 1991) 그리고 한반도 동남부 지역(지현철 외, 1995)에서의 동서 압축 최대 주응력방향을 고려해 볼때, 본 연구결과는 제4기 동안에는 동서 방향의 압축성 지구조운동과 함께 (북)북서-(남)남동 방향의 압축운동이 반복되었을 가능성을 강하게 시사한다. 또한, 본 연구결과를 통해 양산단층대의 남부에 해당하는 언양-통도사 일대는 신기 지구조운동을 연구하는 중요한 지역임이 다시 확인되었다.

결 론

참고문헌

양산단층대의 남부인 울산시 울주군 언양읍 신흥마을 입구의 트렌치 단면에서 관찰된 양산단층대의 기반암 단층과 제4기 단층의 기하학적·운동학적 특성으로부터 양산단층대 남부의 단층운동사와 이들 단층의 주요 특성을 고찰해 본 결과 다음과 같이 요약된다.

(1) 이번에 조사된 신흥단층은 이미 보고된 남측의 양산단층대 주 단층대의 북측 연장부에 해당하고, 양산단층대의 남부인 언양-통도사 일대는 신기 지구조 운동을 연구하는 중심지역임이 확인된다.

(2) 신흥마을 입구의 트렌치 노두 단면에서는 적어도 2회의 북북동-남남서 방향의 주향-이동 단층운동(D1 좌수향, D2 우수향)과 그 이후에 발생한 적어도 2회의 (북)북서-(남)남동 방향의 경사-이동 단층운동(D3 기반암 단층, D4 제4기 단층)이 인지된다.

(3) D1 좌수 주향-이동 단층운동에 의해서는 저각으로 경사하는 층리면이 고각화되고 주 단층면에 평행한 고각의 습곡측면을 갖는 등사습곡이 형성되었으며, D2 우수 주향-이동 단층운동에 의해서는 주향 방향의 단층조선과 양산단층대의 주요 단층암류(단층각력, 단층비지, 단층점토)가 형성되었다.

(4) D3 기반암 단층운동의 주요 특성은 주향 방향의 단층조선을 중첩하는 경사 방향의 단층조선 형성, 비대칭 및 끌림 습곡작용과 붕괴작용에 의한 주향-이동 단층면의 방향성 변화(북북동에서 북동 내지 동북동으로 주향 변화, 경사각의 저각화, 경사 방향의 다양화), 평탄-비탈 기하의 단층면 형성, 주요 단층암류에 중첩되는 S-C 구조 엮리의 형성 등이 있다.

(5) 제4기 퇴적층내에 S-C 구조 엮리를 발달시키고 제4기 퇴적층을 수 cm 변위시키는 D4 단층의 단층면은 D3 단층면의 연장선상에 놓이고, 이들 단층은 동일한 (북)북서-(남)남동 방향의 압축응력에 의해 형성되었다.

사 사

트렌치 단면 조사시 여러 가지 유익한 의견을 제시하고 뜻깊은 토의를 해 주신 부산대학교 손문 교수에게 깊은 사의를 표합니다. 또한, 심사과정에서 세심하고 건설적인 비평을 주신 강원대학교 이회권 교수님과 부경대학교 김영석 교수에게 감사드립니다.

경재복, 이기화, 岡田篤正, 1999a, 양산단층의 고지진학적 연구-변위지형 분석 및 트렌치 조사-. 지구물리, 2, 155-168.

경재복, 이기화, 岡田篤正, 渡辺滿久, 鈴木康弘, 竹村惠二, 1999b, 양산단층대 남부 상천리 일대의 트렌치조사에 의한 단층특성 규명. 한국지구과학회지, 20, 101-110.

김종열, 1988, 양산단층의 산상 및 운동사에 관한 연구. 부산대학교 대학원 박사학위논문, 97 p.

김종열, 1993, 양산단층의 단층계와 파쇄대. 한국지구과학회지, 14, 281-299.

류충렬, 김인수, 1997, 양산통도사 일원의 파쇄구조: 양산단층대 우향이동의 증거. 대한자원환경지질학회 제30차 학술발표회 발표논문 요약집, 18.

류충렬, 김근수, 이준동, 1997, 양산시 동부 일원의 파쇄구조: 양산단층대 좌향이동의 증거. 대한자원환경지질학회 제30차 학술발표회 발표논문 요약집, 19.

류충렬, 최위찬, 최성자, 2002, 울산광역시 상천리와 가천리 일원의 지질구조와 제4기 단층의 발달 특성. 대한지질학회 2002년도 학술발표회 논문집, 193-200.

류충렬, 강지훈, 손문, 최성자, 최위찬, 2006, 언양 북부 양산단층대내 제4기 신흥단층의 지질구조. 한국지질자원연구원 논문집, 10, 3-17.

이민성, 강필중, 1964, 한국지질도(1:50,000) 양산도폭 및 설명서. 국립지질조사소, 24 p.

이봉주, 류충렬, 최위찬, 1998, 한국의 제4기 단층. 대한지질학회 제53회 학술발표회 초록집, 49.

이봉주, 류충렬, 최위찬, 1999, 경주시 양남면 일대의 제4기 단층. 지질학회지, 35, 1-14.

이윤종, 이인기, 1972, 한국지질도(1:50,000) 언양도폭 및 설명서. 국립지질조사소, 22 p.

이회권, 1998, 단층 활동시기 결정. 양산단층을 고려한 설계기준지진의 재평가 최종보고서, 한국자원연구소, 한국전력공사, 555-671.

장천중, 장태우, 1998, 고응력 분석을 통한 양산단층의 구조운동사. 지질공학, 8, 35-49.

장천중, 2001, 양산단층의 구조적 특성과 진화. 경북대학교 대학원 이학박사학위논문, 259 p.

지현철, 전명순, 전정수, 신인철, 1995, 경상분지에서의 지진연구(II). 한국자원연구소 연구보고서, KR-95(C)-5.

전명순, 정승환, 지현철, 전정수, 신인철, 1992, 지진연구, 한국자원연구소 연구보고서, KR-92-1G-3, 1-53.

최성자, 박준범, 최위찬, 류충렬, 최범영, 임창복, 2002, 양산-물금 유계리간 양산단층 분절. 2002년도 춘계 공동 학술발표회 논문집, 한국자원공학회·대한지질학회, 274-276.

최위찬, 김구봉, 홍승호, 이병주, 황재하, 박기화, 황상기, 최범영, 송교영, 전명식, 1995, 한국지질도 1:1,000,000. 한국자원연구소, 성지문화사.

최위찬, 류충렬, 기원서, 이봉주, 이병주, 황재하, 박기화, 최

- 영섭, 최성자, 최범영, 조동룡, 김복철, 송교영, 채병근, 김원영, 김중렬, 이상규, 조성준, 황세호, 황학수, 김유성, 현해자, 박인화, 이희일, 이동영, 이창범, 김주용, 양동윤, 박덕원, 신성천, 김유숙, 김인준, 류장한, 진명식, 전명순, 지현철, 전정수, 신인철, 강익범, 신현모, 권무창, 오수정, 김상근, 임무수, 김순길, 정항영, 1998, 양산단층을 고려한 설계기준지진의 재평가 최종보고서. 한국자원연구소, 한국전력공사, 1694 p.
- 최위찬, 최성자, 조동룡, 이영준, 류충렬, 고인세, 신현모, 송미주, 이진한, 권성택, 이희권, 최광선, 2000, 신기지각변형연구(Neotectonics). 지진재해대응기술개발사업, 한국자원연구소, 과학기술부, N2-01-02-A-01, 536 p.
- Jun, M.S., 1991, Body-wave analysis for shallow intraplate earthquakes on the Korean Peninsula and Yellow Sea. *Tectonophysics*, 192, 345-357.
- Kyung, J.B., Oh, K.S. and Oike, K., 1996, Paleoseismological approach in the southeastern part of the Korean Peninsula. 1996 Symposium on Seismology in East Asia Proceedings, Korea Institute of Geology, Mining and Materials, 38-47.
- Lee, B.J., Ryoo, C.-R. Cho, D.-L., Choi, S.-J. and Chwae, U., 1999, Quaternary crustal deformation in the southeastern part of the Korean Peninsula. *Gondwana Research*, 2, 578-582.
- Lee H.-K., Schwarcz, 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. Geo. Japan*, 103, 111-126.
- Ryoo, C.-R., 1997, Faults 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: short papers for the International Symposium in the Occasion of the 50th Anniversary of the Geological Society of Korea, 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 Coastal and offshore Geoscience Programmes in East and Southeast Asia) Technical Bulletin, 29, 5-28.
- Xu, J.R., Zhao, Z.X., Oike, K. and Ishikawa, Y., 1989, Regional characteristics of shallow earthquakes in and around China. *Proc. Japan-China (Taipei) Joint Seminar on Natural Hazard Mitigation*, Kyoto, Japan, 41-49.

---

2009년 1월 8일 접수

2009년 1월 12일 심사개시

2009년 1월 20일 채택