

# 경주시 마동 탐골에 발달하는 제4기 단층(탐골단층)의 구조적 특성

류 충 열(Chung-Ryul Ryoo)

한국지질자원연구원

손 문(Moon Son)

부산대학교 지질학과

이 융 희(Yung Hee Lee)

부산대학교 지질학과

최 성 자(Sung-Ja Choi)

한국지질자원연구원

## 요약

울산단층대 동변인 경북 경주시 마동 탐골 부근에 발달하는 제4기단층을 기재한다. 이 단층(이후 탐골단층)은 제3기초의 화강암과 제4기의 하성 사력층의 경계부 부근에서 여러 조의 단층들이 단층대를 이루며, 북북서 내지 남-북의 주향에 동측으로  $20^{\circ} \sim 45^{\circ}$  의 경사를 보인다. 이 단층대는 서측으로부터 제4기 사력층 내의 역단층 3조와 제4기층을 화강암과 이를 부정합으로 덮는 제4기층이 올라탄 역단층 1조로 구별되며, 복합적인 역단층성 단층대의 양상을 보인다. 단층조선은 남동 방향( $125^{\circ}$ )으로  $20^{\circ}$  침강한다. 이는 남동-북서 압축에 기인한 역단층성운동에 의해 생성된 것으로 보인다. 이 단층대는 불국사 일원에서 이미 알려진, 보다 서편에 발달하는 북서-남동 방향의 제4기단층선과는 다른 또 하나의 제4기단층선으로 확인된다.

**주요어** : 울산단층대, 경주 마동 탐골, 탐골단층, 제4기단층대

## 서론

울산에서 경주 북부로 이어지는 울산단층대(류충열 외, 1996, 2001; Ryoo, 1997; 최위찬 외, 1998; Ryoo et al., 2000)의 동변에는 약 20여 개소의 노두에서 제4기단층이 알려져 보고된 바 있다. 이들 제4기의 단층운동에 관해서 구조지질학적인 연구(류충열 외, 1996, 1997, 2001a, b, c; 최위찬 외, 1998, 2000; Son and Ryoo, 1999; Ryoo et al., 2000; 장태우, 2001; 손문 외, 2001; 이융희

외, 2002)를 비롯하여, 지형학적이거나(吳建煥, 1977; Okada et al., 1995, 1999; Kyung et al., 1995; 황상일, 1998; 岡田篤正 外, 1998) 지구물리학적인(송무영과 경제복, 1996; 최위찬 외, 1998) 연구 그리고 단층활동이나 이와 관련된 퇴적물의 연대측정을 위한 지구화학적인 연구(최위찬 외, 1997, 1998, 2000; Lee, 1998; Lee and Schwarczb, 2000)도 수행되고 있다.

이 논문에서는 울산단층대의 북동변인 경주시 마동 탑골에서 새로이 관찰된 제4기단층에 대해 기재하고 이 단층의 생성과 관련된 지구조운동을 검토하였다. 이 단층은 편의상 발견된 지역인 마동의 탑골이라는 마을 이름을 따 탑골단층이라 한다(Fig. 1).

### 탑골단층 부근의 지질과 지질구조

탑골단층은 경상북도 경주시 마동 탑골 마을 삼층석탑으로부터 북동쪽으로 약 400 m 지점의 하상에서 관찰되는 제4기단층으로 제4기층 내에서만이 아니라 기반암인 화강암과의 접촉부에서 제4기단층대가 확인되었다(Fig. 1). 제4기단층은 크게 보아 남서측의 제4기 사력층내에 3조, 제4기의 역층과 기반암인 화강암과의 경계부에서 1조 등 총 4조의 제4기단층이 하나의 단층대를 이루며 발달하고 있는 특징을 보인다(Figs. 2 and 3). 이들을 기반암인 화강암과 제4기층 사이의 단층, 그리고 제4기층내의 단층으로 구분하여 기재하면 다음과 같다.

### 화강암과 제4기층 사이의 단층

화강암과 제4기층 사이의 단층은 하천의 북쪽 사면에서는 노두의 발달 상태가 불량하여, 하천 남쪽 사면에서만 관찰되었다. 동측의 제3기초 화강암과 이를 부정합으로 덮는 역층과 사층이 서측의 제4기의 미고결 퇴적층을 올라타고 있다(Fig. 2). 제4기층은 역층과 사층의 호층대 그리고 상부의 사층으로 구분된다. 역층은 하부에서 상부로 가면서 4조의 층을 이루고 있으며, 원마도가 불량한 주로 20cm 이내의 역들로 구성된다. 이들간에는 10-20cm 폭의 사층이 발달하고 있다. 이 단층의 주향은 N04W° 이고 동측으로 42° 경사하며, 제4기층내에서 상부로 가면서 보다 저각도의 소

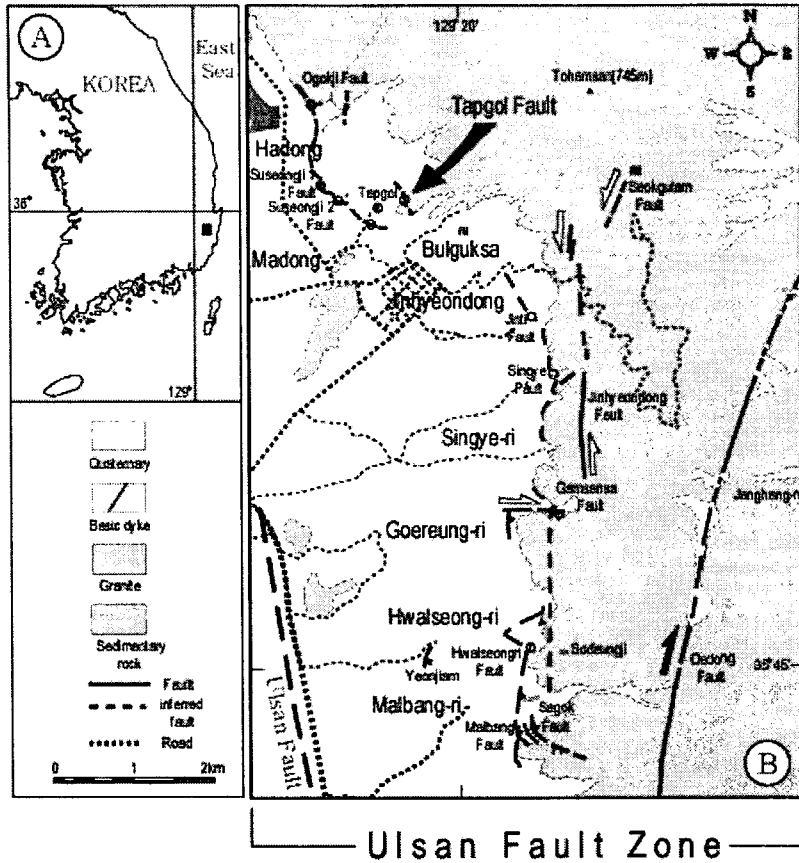


Fig. 1. Geological map and Quaternary faults in the northeastern part of the Ulsan Fault Zone. Note that curved fault line reflect the low angle of fault plane and geomorphological features. Modified from Ryoo et al. (2001c).

단층으로 분기하는 양상을 보인다. 단층의 변위는 기반암간에는 약 90cm의 dip separation을 보이나, 제4기층간의 대비에 의하면 약 80cm의 dip separation을 보인다. 분기된 단층에서의 변위는 주 단층에서 보다는 미약하여 수 cm 정도이다. 상반과 하반에서 역층과 사층 그리고 일부 역들이 드러난 양상은 역단층운동의 존재를 지시한다(Fig. 2a). 전단된 부분 내에는 'S'형의 엽리면들도 상부가 서측으로 이동한 역단층성 운동을 나타낸다. 역층 상위의 사층까지도 단층으로 잘리고 있으므로, 단층의 형성 연대는 젊을 것으로 판단된다.

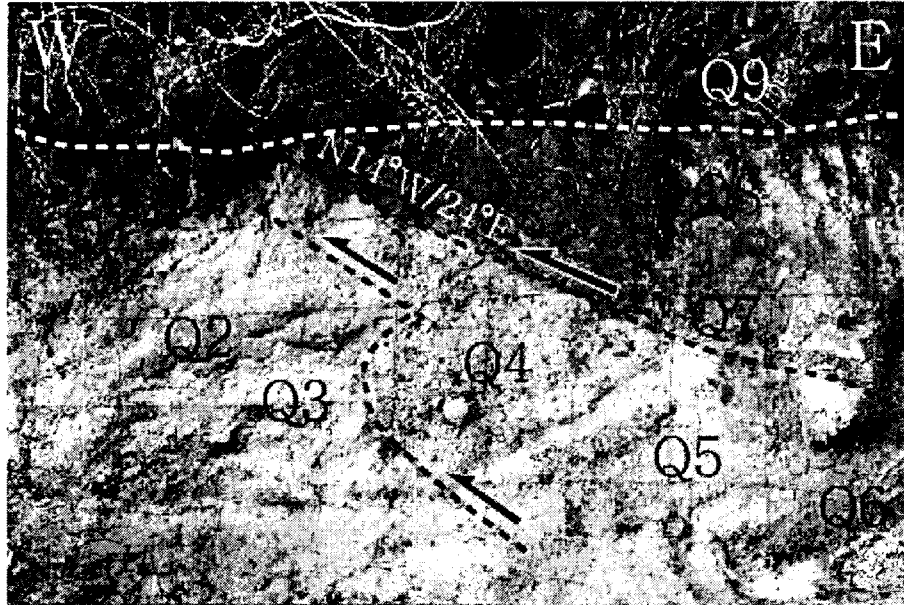


Fig. 2. Northern section of the Tapgol Fault, Tapgol, Madong, Gyeongju. Quaternary fault developed within unconsolidated layer(Q1-Q9).

### 제4기층내의 단층

사력질의 기질과 주로 20 cm 이내의 화강암력으로 구성되는 제4기의 하성역층 내에 크게 보아 3조의 제4기단층이 발달하고 있다(Fig. 3a). 제4기층내의 주단층면으로 판단되는, 가장 서측에 위치하는 단층면의 경우 하천의 북측 사면에서는 주향이 N14° W~N15° E 이며 동으로 24° 경사한다. 단층대를 이루는 단층비지의 폭은 약 2~3 cm 내외이다. 단층면 주위의 사력들에서 전단에 의해 형성되어진 엽리면들이 미약하게 발달하고 있다. 이들 엽리의 비대칭적인 양상은 동쪽의 상반이 서측으로 이동한 역단층성 운동을 지시한다(Fig. 3). 단층조선은 125° /20° 의 방향성을 보인다. 이 주단층면의 하반에서는 드래그에 의해 형성된 향사(하반 향사)와 소규모의 단층들이 주단층면에 평행하게 발달하고 있다(Fig. 3). 이들 5개조의 소단층들의 dip separation은 최소 수 cm에서 최대 수 십 cm이다. 주단층면의 하반 내에서만 총 48 cm의 dip separation을 보인다(Fig. 3b). 주단층면 상반의 역층을 구상하는 역들은 하반과 마찬가지로 풍화된 정도가 심하고 아각상 내지 아원상의 원마도를 보인다. 그리고 역들의 장축이 전단에 의해 단층면에 평행하게 배열된 양상을

보인다. 두께 약 30 cm 내외의 이 역층의 상위에는 역을 드물게 포함하는 갈색의 사층이 발달하고 있다. 역들의 원마도는 각상을 이루며 매우 신선한 것이 특징적이다. 따라서 하부의 역층과 상위의 사층 사이는 부정합 관계(?)일 것으로 판단된다(Fig. 3b).

하천의 남측 사면에서는 단층면의 주향은 북측의 단면과 비슷하나(N12° E), 경사는 북측 단면에서 보다 급한 편으로 36° E를 보인다. 단층의 상반에서는 배사로 하반에서는 향사로 드래그되어 역단층운동의 존재를 지시하고 있다(Fig. 3a).

주단층면 상반에 주단층면과 거의 평행하게 분기한 소규모의 단층이 발달하고 있다. 이 단층면을 따라 적갈색의 단층비지대가 폭 약 1~2 cm를 이루고 있으며, 상부로의 연속성은 좋지 못하고 침멸하는 양상을 보인다. 이 단층면의 주향은 N25° E이며 경사는 36° SE이다. 이 단층의 상반과 하반에서는 공통적으로 역층들이 드래그된 양상이 나타나며, 이들은 역단층운동을 지시하고 있다(Fig. 3a).

이 주단층의 동측으로는 사력층을 자르는 또 다른 단층면이 발달하고 있으며, 단층면의 주향은 NS에 동쪽으로 27° 경사하고 있다. 역단층운동을 지시하는 역들의 드래그 양상이 상반과 하반에서 잘 나타나고 있다. 상, 하반의 사층을 대비하면 dip separation은 1 m 이내일 것으로 판단된다(Fig. 3a).

기반암인 화강암과 제4기층이 접하는 경계부 부근의 제4기층 내에도 단층이 발달하고 있다(Fig. 2). 상반의 상부 역층이 드래그되는 양상을 보이며, 그 하위의 사층을 하반의 것과 대비하면 dip separation은 1.5 m 내외이다. 이 단층의 주향과 경사는 하부의 것은 N10° E/30° E이나 상부의 것은 N27° E/40° E이다(Fig. 2). 이 단층은 하부에서 상부로 가며 2조로 분기하는 동시에 갈색의 사층으로 들어가면서 그 연장의 추적이 어려워지므로 침멸하는 것으로 판단된다. 이 사층은 북측 사면에서 단층 상반의 상위 사층과 같이 각진 역을 드물게 포함하며, 역들이 매우 신선한 것으로 보아 하부의 층을 부정합(?)으로 덮고 있는 것으로 판단된다. 이들 사층 상위에는 최후기인 기질 지지의 하성 역층이 부정합으로 덮고 있다. 역들은 주로 화강암력으로 구성되며, 분급이 불량하나 원마도는 대체로 양호한 편이다. 이들이 단층운동을 받은 흔적은 발견된 바 없다.

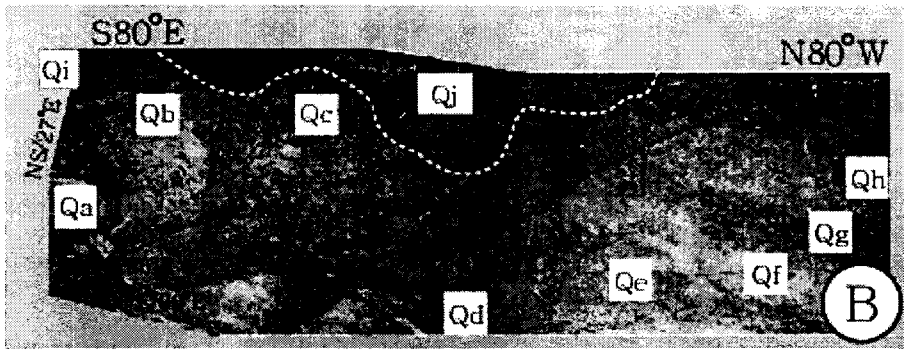
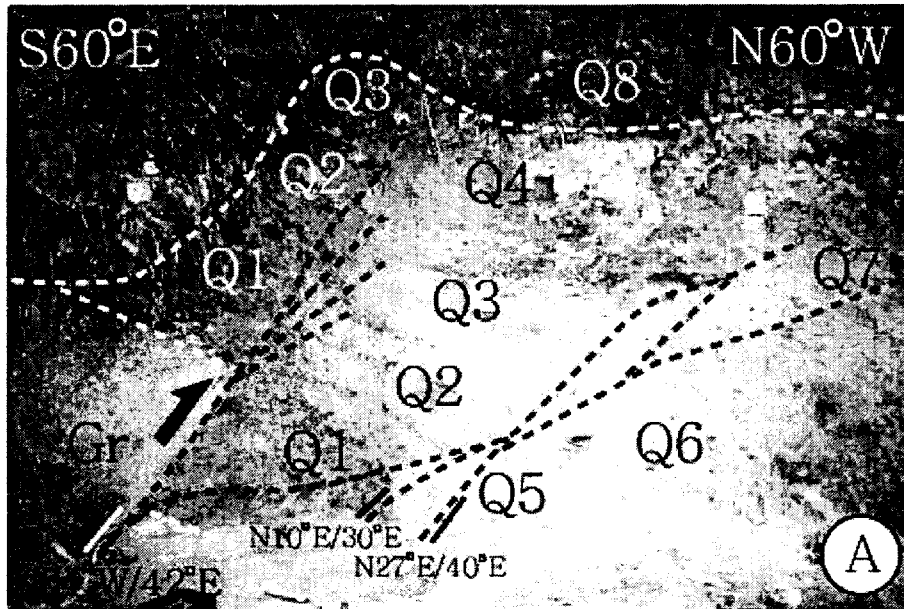


Fig. 3. Southern section of the Tapgol Fault, Tapgol, Madong, Gyeongju. Quaternary fault developed between granite and Quaternary layer(A), and developed within unconsolidated layer(B). Q1-Q8 and Qa-Qj=Quaternary layer. Gr=early Tertiary granite.

## 토론과 결론

탑골단층은 남측 사면의 경우, 기반암과 제4기의 미고결 하성 사력층 사이에 1조, 제4기의 미고결 퇴적층내에 5조, 발달하고 있다. 즉, 제4기 단층대를 이루며, 이들 단층들은 아마도 주향이동성

운동과도 관련된 압축성 꽃구조로 해석된다. 북측 사면의 경우는 미고결 퇴적층에서 주단층면과 이에 수반되어 하반이 드래그되면서 생성된 소규모의 단층들이 발달하고 있다. 탐골단층은 울산단층대의 동변에서 이미 알려진 제4기단층들과 유사한 구조적 특성을 가진다. 먼저 단층의 주향방향이 울산단층대의 일반적 방향성인 북북서-남남동 내지는 남-북 방향과 거의 평행하다. 그리고 울산단층대 동변의 제4기단층들의 경사방향이 대부분 동측인 점과도 잘 일치하는  $20^{\circ} \sim 45^{\circ}$  의 저각도인 동시에 동측의 기반암이 서측의 제4기층의 상위에 놓이는 즉, 상반이 동에서 서로 움직인, 좌향의 주향이동 성분을 포함하는, 역단층성 운동을 보임도 유사하다. 그러나 기존의 제4기단층들에서 종합적으로 분석되는 주로 동-서 방향의 단층조선과는 다소 차이를 보이는 북서-남동 방향의 단층조선( $125^{\circ} / 20^{\circ}$ )의 발달로 미루어 제4기 동안 북서-남동 방향의 압축응력의 존재를 지시한다. 이러한 북서-남동 방향의 압축응력은 현재의 지진의 초동 연구에 의해 밝혀진 한반도와 주변해역(Jun, 1991) 그리고 한반도 동남부 지역(지현철 외, 1995)에서의 최대압축 주응력 방향인 동북동-서남서 방향과는 차이를 보인다.

항공사진과 인공위성영상에 의하면 이 단층과 관련성이 의심되는 지형적 특징의 일반적인 북측 연장이 덕동호 남동단의 시부거리 부근으로, 남쪽 연장은 진현동 진티마을이나 외동읍 신계리 공증곡을 지나는 것으로 판독된다. 결론적으로, 탐골단층을 지나는 단층선은 이 보다 서측에서 이미 알려진 불국사일원에서의 제4기단층선과는 또 다른 단층선으로, 이 일대에 2조 이상의 제4기단층선이 형성되어 있는 것으로 판단된다.

## 사사

이 연구는 원자력 중장기연구과제의 세부과제인 “신기단층조사연구”의 제2차년도(2001-2002) 결과입니다.

## 참고문헌

- 류충렬, 경제복, 김인수, 1997, 울산단층대 동측의 신기지구조운동과 지형발달. 대한자원환경지질학회 제30차 학술발표회 발표논문요약집, 14.
- 류충렬, 양경희, 김인수, 이상원, 1996b, 울산단층 주변의 제4기단층. 부산대학교 사대논문집, 33, 311-327.

- 류충렬, 이봉주, 최위찬, 최성자, 논문, 2001a, 울산단층대 동변인 경주시 외동읍 개곡리 일원의 제 4기단층 논의. 제56차 대한지질학회 학술발표회 요약집, 1.
- 류충렬, 최위찬, 최성자, 논문, 2001b, 경주시 외동읍 활성리의 제4기단층. 한국지질자원연구원 논문집, 5, 3, 24-33.
- 류충렬, 최위찬, 최성자, 논문, 2001c, 울산단층대 동변인 경주시 외동읍 신계리와 활성리에서 새로이 알려진 제4기단층의 논의. 제56차 대한지질학회 학술발표회 요약집, 2.
- 논문, 이용희, 김인수, 장태우, 2001, 울산시 북구 농소2동 차일마을 제4기 역단층 (차일단층). 2001년도 대한지질학회 추계공동학술발표회 초록집, 65.
- 이용희, 논문, 류충렬, 김인수, 최위찬, 2002, 울산단층대 동편 경주시 불국동에 출현하는 제 4기단층: 진티단층, 활성리 단층, 개곡단층. 한국지구과학회 춘계학술발표회 요약집, 36.
- 장태우, 2001, 울산단층 동쪽지괴의 제4기 지구조 운동. 지질학회지, 37, 3, 431-444.
- 지현철, 전명순, 전정수, 신인철, 1995, 경상분지에서의 지진연구(II). 한국자원연구소 연구보고서 KR-95(C)-5, 11-24.
- 최위찬, 박필호, 이희권, 1997, 한반도의 활성단층. 대한지질학회·대한자원환경지질학회 제13차 공동학술강연회 '지진! 한반도는 안전한가?', 100-131.
- 최위찬, 류충렬 외 44인, 1998, 양산단층을 고려한 설계기준지진의 재평가 최종보고서. 한국자원연구소, 한국전력공사, 1694 p.
- 황상일, 1998, 경주 하동 주변의 선상지 지형발달과 구조운동. 한국지형학회지, 5, 2, 189-200.
- 吳建煥, 1977, 韓半島南東部海岸の地形發達. 地理學評論, 50, 689-699.
- 岡田篤正, 渡邊滿久, 鈴木康弘, 慶在福, 曹華龍, 金性均, 尾池和夫, 1995, 蔚山斷層系(韓國東南部) 中央部の活斷層地形と斷層路頭. Program of Japan Earth and Planetary Science Joint Meeting, A31-R22.
- 岡田篤正, 渡邊滿久, 鈴木康弘, 慶在福, 曹華龍, 金性均, 尾池和夫, 中村俊夫, 1998, 蔚山斷層系(韓國東南部) 中央部の活斷層地形と斷層路頭. 地學雜誌, 107, 5, 644-658.
- 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., Kim, S. K., Jo, W. R., Okada, A., Watanabe, M., Suzuki, Y. and Oike, K., 1995, Fault outcrops and geomorphic criteria of the occurrence of the great earthquake in the



central part of the Ulsan Fault (Korea), Proceedings of 50th Symposium, Geol. Soc. Korea, 99.

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.

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.

Son, M., Ryoo, C.-R. 1999, Quaternary faults in the northeastern part of the Ulsan Fault Zone, Korea. *Proceedings Korea-Japan / Japan-Korea Geomorphological Conference*, 17-18, August, 1999, Chonju, Korea, 145-146.