

제4기 토함분지

최성자^{1*} · 홍덕균² · 최위찬¹ · 김명진² · 이석규³ · Andrew S. Murray⁴

¹한국지질자원연구원 지질기반정보연구부 지질도 · 지구조연구실, ²강원대학교 물리학과, ³두우건설엔지니어링

⁴Department of Earth Sciences, Aarhus University, DK-4000 Roskilde, Denmark

Quaternary Toham Basin

Sung-Ja Choi^{1*}, Dukgeun Hong², Ueechan Chwae¹, Myungjin Kim², Seog-kyu Lee³
and Andrew S. Murray⁴

¹Geological Mapping Group, Geology & Geoinformation Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea

²Department of Physics, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

³Doowoo Construction Engineering Consultant

⁴Nordic Laboratory for Luminescence Dating, Department of Earth Sciences Aarhus University, DK-4000 Roskilde, Denmark

A steadily consolidated conglomerate formation (CCF) is developed thickly around Tabjeong-ri and Janghang-ri to the east of Tohamsan, Gyeongju City. The CCF has been regarded to a basal conglomerate, Cheonbug Conglomerate, of the Yonil Group by Tateiwa (1924). Son *et al.* (2000) correlated the CCF to the Songjeon Formation, which occupies the southwestern block of Tertiary Waup Basin. However, the Songjeon Formation stratigraphically does not face to the extension of the CCF. OSL (Optically Stimulated Luminescence) data on the reddish brown to bluish gray psammitic layers, which are intercalated in the CCF, yielded to 85~92 ka. Therefore, the age of CCF constrains to the last interglacial stage (MIS 5c-5e) rather than the Early Miocene Cheonbug Conglomerate. The Late Pleistocene Tohamsan Formation (TF) is newly named to the CCF and is subdivided to megabreccias and boulders. A rectangular basin, in which the TF is accumulated, is bounded by Oedong and Yonil faults (segments of Yonil Tectonic Line) and is given a name of Toham Basin. Neotectonically, Pliocene EW-transpression gave an effect of the top-up-to-the-west reverse faulting and the accompanied normal fault movement during the last interglacial age (ca. 100 ka). The basin is graben type, in which basin fills are composed of collapsed colluvial deposits, TF.

Key words : Cheonbug Conglomerate, OSL (Optically Stimulated Luminescence), 85~92ka, Tohamsan Formation, Toham Basin

활성단층 연구가 시작된 이래로 제4기 퇴적층에 대한 관심이 높아지게 되었으며 단구 지형에 퇴적된 미고결 퇴적물에 대하여 많은 자료가 축적되어 있으나, 지금까지 고결된 제4기 지층에 대한 자료는 보고 된 바 없다. 토함산 동쪽의 탐정리와 장항리에는 단단하게 고화되어 있는 역층이 두껍게 발달하고 있다. 이 층을 조양도폭(Tateiwa, 1924)에서는 연일층군의 기저역암인 천북역암으로 보았으며, 손문 등(2000)은 제3기 퇴적분지인 와읍분지 남서부 지괴를 구성하고 있는 송전층에 대비한 바 있으나, 이 퇴적층의 분포를 추적하여 보면 제4기의 미고결 역질층과 정면으로 대치되고 있다. 이 역질층에 협재되어 있는 적갈색 내지 청회색의 사질층에 대한 OSL 연대 측정결과 85~92 ka의 연대가 산출되었으므로 신제3기 전기 마이오세의 천북역암이 아닌 제4기 최후기 간빙기(MIS 5c~5e)로 확인되었다. 이 역질층을 토함산층으로 명명하였으며 거각력질 층준과 역질 층준으로 분류된다. 이 층은 연일구조선의 분절단층인 외동단층과 연일단층에 의하여 규제되는 북북동방향의 장방형 퇴적분지 내에서 발달하고 있으며, 이 분지를 토함분지라 정하였다. 플라이오세부터 가해진 동서압축력에 의한 서향 역단층 운동은 최후기 간빙기 동안인 약 10만 년 전 까지 계속되었으며, 서향압축에 수반된 정단층이 동쪽으로 일어나 붕적층이 퇴적되어 토함분지가 형성되었다.

주요어 : 천북역암, OSL, 85~92 ka, 토함산층, 토함분지

*Corresponding author: sjchoi@kigam.re.kr

1. 서 론

본 연구는 경주-감포(慶州-甘浦)간 국도 2 건설공사 대안구간 지역에 대한 지질조사의 일환으로 수행한 결과이다. 이 지역은 왜정(倭政)시대의 1/50,000 조양도폭 지질조사(Tateiwa, 1924) 이후 미조사 구역이었으며, 인접지역의 1/25,000 지질도로 어일(魚日)도폭(최위찬 등, 1988)이 있는 정도이다. 1995년부터는 이 지역의 활성 단층을 대상으로 학·연 전문가가 다수 참여한 다중접근의 국책과제가 시도된 바 있다.

우리나라에서 제4기 지층은 활성단층연구를 시작하면서 관심을 끌게 되었으며, 하안단구나 해안단구 지형상에 퇴적된 미고결 퇴적층이 가장 잘 알려져 있다. 이와 같은 단구 퇴적층들도 과거에는 최후기 3기의 것으로 보았으나, 최근 연대 측정 기술의 발달로 OSL과 ^{14}C 에 의하여 제4기 퇴적층으로 재 규명되고 있으며, 한반도 동남해안과 울산단층 주변의 미고결 퇴적층들도 제4기의 후기 플라이스토세의 것으로 판명되고 있다.

토함산 동쪽의 탐정리와 장항리 주변에는 고화된 역질층이 분포하고 있으며, 이 역층을 조양도폭(Tateiwa, 1924)에서는 제3기의 천북역암으로, 손문 등(2000)에 의해서는 송전층으로 분류된 바 있다. 특히, 손문 등(2000)과 Son *et al.*(2000)은 경주-감포 일원의 제3기 퇴적분지를 어일분지와 와읍분지로 명명하였으며, 이들 분지에 대한 상세 지질도와 구조도를 보고하였다. 본 역은 손문 등(2000)의 와읍분지 남서부 지괴에 해당되고 있으며, 이 분지를 구성하고 있는 역암을 천북역암에 대비되는 송전층으로 정의한 바 있다. 이 층의 기질은 고화되어 제3기의 역질암층으로 여겨져 왔으나, 홀로세층에서도 방해석 물질의 침전으로 인하여 기질이 고결된 상태로 출현하는 경우를 감안해 보면, 고결 정도로 제3기로 단정 짓기에는 의심의 여지가 있으며 뿐만 아니라, 이 층의 분포도 능선에서 중턱까지 한정되어 있다. 따라서 제4기 층으로 의심되는 이 층에 대한 정량적인 연대결정으로 추측된 층서를 규명할 수 있을 것으로 본다.

또한 와읍분지의 남서부 지괴를 규제하고 있는 연일(延日)구조선(손문 등, 2002)이 토함산-토함목장 인근을 통과하는 것으로 알려져 있으나, 디지털 정밀단열조사(digital fracture mapping)를 실시한 결과, 주요단층들이 와동읍~경주 보문단지 동쪽 지역 사이에서 중첩계단(step-over)상으로 수조의 분절단층으로 이격되어 발달하고 있음이 밝혀졌다.

본 논문의 목적은 OSL(Optically Stimulated Lu-

minescence)에 의한 소위 와읍분지 남서부 지괴에 분포하고 있는 천북역암층의 층서적 의미와 제4기 퇴적 분지의 지구조적 해석이다.

2. 지구조적 위치 및 지구조사

연구지역 부근에서 연일구조선(Son *et al.*, 1997)은 단열추적조사 결과, 수조의 분절 단층으로 구성되어 있다. 분절된 연일구조선은 연일단층, 외동단층(류충렬 명명, 미발표) 북단부와 탐정단층(Fig. 3) 등으로 분류하였다. 분절된 연일구조선과 관련된 토함분지 형성과정을 지구조사적으로 분류해 보면 다음과 같다.

- 고(古)제3기(세부 구조분할구 형성): 연구지역의 지구조적 위치는 연일분지에 속한다. 에오세에 북북동의 양산(梁山)단층과 북북서의 울산(蔚山)단층이 서로 교차하여 형성된 경주 이동(以東)을 제3기분지 분할구조구(Kim, 1972)로 보고, 이를 연일분지로 설정한 바 있다(김옥준 등, 1980) (Fig. 1).

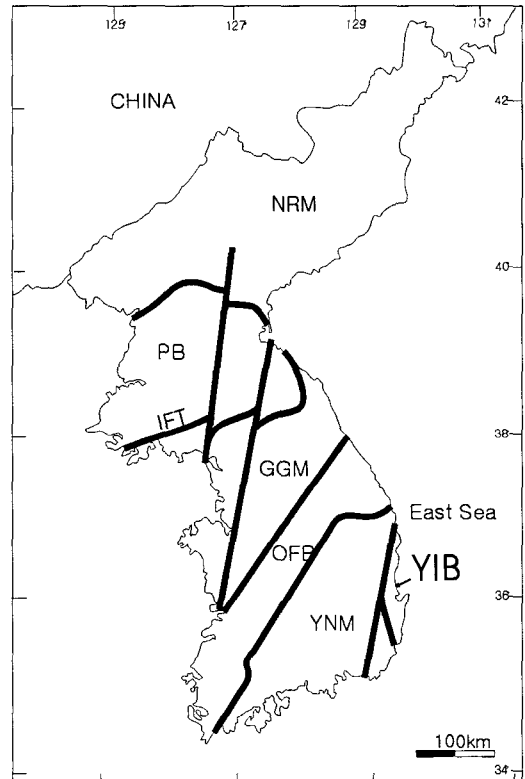


Fig. 1. Tectonic division of Korean Peninsula (Chwae, 1998). (NRM : Nangrim Massif, PB : Pyeongnam Basin, GGM : Gyeonggi Massif, IFT : Imjingang Fault, OFB : Ogcheon Fold Belt, YNM : Yeongnam Massif, YIB : Yonil Subbasin)

양산단층 인접지역에 분포하는 하양층군의 층리변화 양상과 습곡축적을 관찰해보면, 층리의 경사방향은 모두 북서 혹은 남동으로 수렴되며, 습곡축적은 북동 주향을 유지하고 있다. 이는 북북동 주향의 양산단층이 좌수향 주향이동운동을 하는 동안에 수반된 것으로 해석된다. 이와 같은 양상은 양산단층의 운동 영향이 가장 심한 중심부(예: 가천지역)로 가면서, 우수향을 지시하는 파쇄엽리(cataclastic foliation)에 의해 절단되어 지는 정도가 점차적으로 심해지며, 중심부에서는 우수향의 파쇄엽리만 관찰된다. 이는 양산단층이 에오세의 우수향 운동 이전에 좌수향 운동을 겪었음을 의미한다(Fig. 2-①). 울산단층의 형성은 양산단층의 좌수향 운동에 수반된 전단단층 운동에 기인하였던 것으로 본다. 에오세동안에 양산단층의 우수향 주향운동에 수반하여 연일분지 내에 오천단층, 죽전단층, 어일단층 등과 같은 북북동방향의 단층들이 형성되었다(Fig. 2-②).

- 신(新)제3기 (연일변동 전기, 동해확장): 마이오세 전기인 20Ma에 들어와서는 동해의 당겨열림(Pull-Apart)이 시작되었으며, 이로 인해 제3기 분지내의 지괴들이 시계방향으로 30~50° 수평 회전되었다(한중환 등, 1987; 김인수와 강희철, 1989). 이 시기에 북북동방향의 단층들은 정단층운동을 수반하였다. 지구구조적으로는 경주 이북의 양산단층과 연일 구조선(혹은 단층) 이동에서 시계 방향의 회전운동이 발생하였으므로, 회전 지괴의 서쪽 경계 부근인 연일구조선과 울산단층에서는 시계방향 운동의 영향으로 좌수향 운동을 갖게 되었다. 또한 울산단층 인접 동쪽 수 km 이내에서는 북북동 방향의 좌향 계단형의 전단단층들이 형성되기 시작하였다(Fig. 2-③). 이 단층들은 광역적으로 연일구조선(손문 등, 2002)에 해당된다. 울산단층을 따라서 소규모의 제3기분지가 분포하고 있음을 물리탐사와 시추에 의하여 확인되고 있으므로, 이 제3기 지괴들의 서쪽 경계는 울산단층과 경주 이북의 양산단층 이동(以東)으로 국한된다고 할 수 있으며, 동쪽 경계는 동해 대륙붕의 후포단층(박근필 등, 1981; Yun and Chough, 1993)으로 본다. 동해확장이 시작되고, 북북동 방향의 좌향 계단상의 전단단층이 형성되는 초기단계의 시기를 연일변동(김옥준 등, 1980)의 전기로 구분하고자 한다. 울산단층으로부터 동쪽으로 약 6 km 정도 떨어져 있어 보이는 ‘연일구조선’(김인수 등, 1998; 손문 등, 2002)은 시계방향으로 수평 회전한 지괴의 서쪽 한계이며, 이 경계선은 중첩계단상의 분절단층들과, 이들을 상호 연결 하는 소규모 전단단열 주향에 따라 규제된다(Fig. 2-③).

- 연일변동 후기: 17~16.5 Ma 동안에는 연일구조선 운동과 함께 연일층군이 퇴적되기 시작하였다(Yun *et al.*, 1997; 손문 등, 2002). 이 동안의 지괴회전운동과 함께 고응력은 북동-남서방향으로 편향되었으며(손문 등, 2000), 분절된 연일구조선은 모두 남동쪽의 인장력으로 인한 정단층운동을 수반하였다. 회전운동에 의한 북북동방향의 단층이 정단층 운동을 하는 활발한 시기 및 종결 시기 까지를 연일변동 후기로 구분하였다. 이 시기동안, 연구지역의 인접 남동쪽을 통과하고 있는 어일단층, 죽전단층, 오천단층 등의 북동단층 이동(以東) 블록도 역시 정단층 운동을 수반한다(Fig. 2-④). 정단층 운동으로 인하여 경상북도 양남면과 양북면 등지의 제3기 퇴적분지 층서대비가 복잡한 양상을 보인다.

15 Ma (Fig. 2-⑤)부터는 일본열도 남서부의 충돌(김인수, 1992)로 인한 북서-남동 횡압력이 지각확장을 종결시키고 지괴들을 융기시켰다(Son *et al.*, 2000).

- 서향압축기, 토함분지: 5~3.5 Ma 이후 동안(문태현 등, 2000)에는 일본열도를 통과하여 감쇄된 태평양판의 서향 섭입분력과 상대적으로 강한 필리핀판의 북서향 섭입 분력이 합해져, 결과적으로 본 역에는 서향 압축력에 의한 역(층상)단층 발달로 울산단층~연일구조선 사이에 동편이 높은 지형을 형성하고 제4기 서향 역(逆)단층군을 형성시켰다. 한반도 지진원에 대한 단층면해(focal mechanism)를 분석한 압축력은 동서에 가까운 동북동-서남서(전명순 등, 1999a; 1999b)이며, 경주지역도 같은 것으로 해석된다. 아울러 GPS 벡터 관측망 자료도 동서 압축력과 20~30°의 관계를 갖는 110° 방향을 보이므로(박필호 등, 2001), 서향 압축력은 현재까지 계속되고 있다.

최후기 간빙기 동안의 10만 년 전에는 서향 압축에 수반한 정단층이 동쪽으로 일어나 봉적퇴적층으로 구성된 토함분지가 형성되었다(Fig. 2-⑥). 이는 횡압력에 의한 역(층상)단층의 일생(life)에서 일련의 역(층상)단층 운동에 의한 체적 누적 결과, 야기되는 정단층 운동이다. 임의의 역(층상)단층 운동의 영향권 지역을 기준으로 하여 전위부(foreland) 부분과 후배지(hinterland) 부분에서 발생하는 현상으로써, 본 역의 경우는 후배지(hinterland)에 해당된다고 본다.

3. 토함분지의 기반암과 토함산층

본 역에는 하부로부터 중생대 백악기 유천층군에 속하는 유문암질 터파이트(rhyolitic tuffite), 응회암 및 응회질 퇴적암과 제3기의 불국사화강암, 응회암, 산성

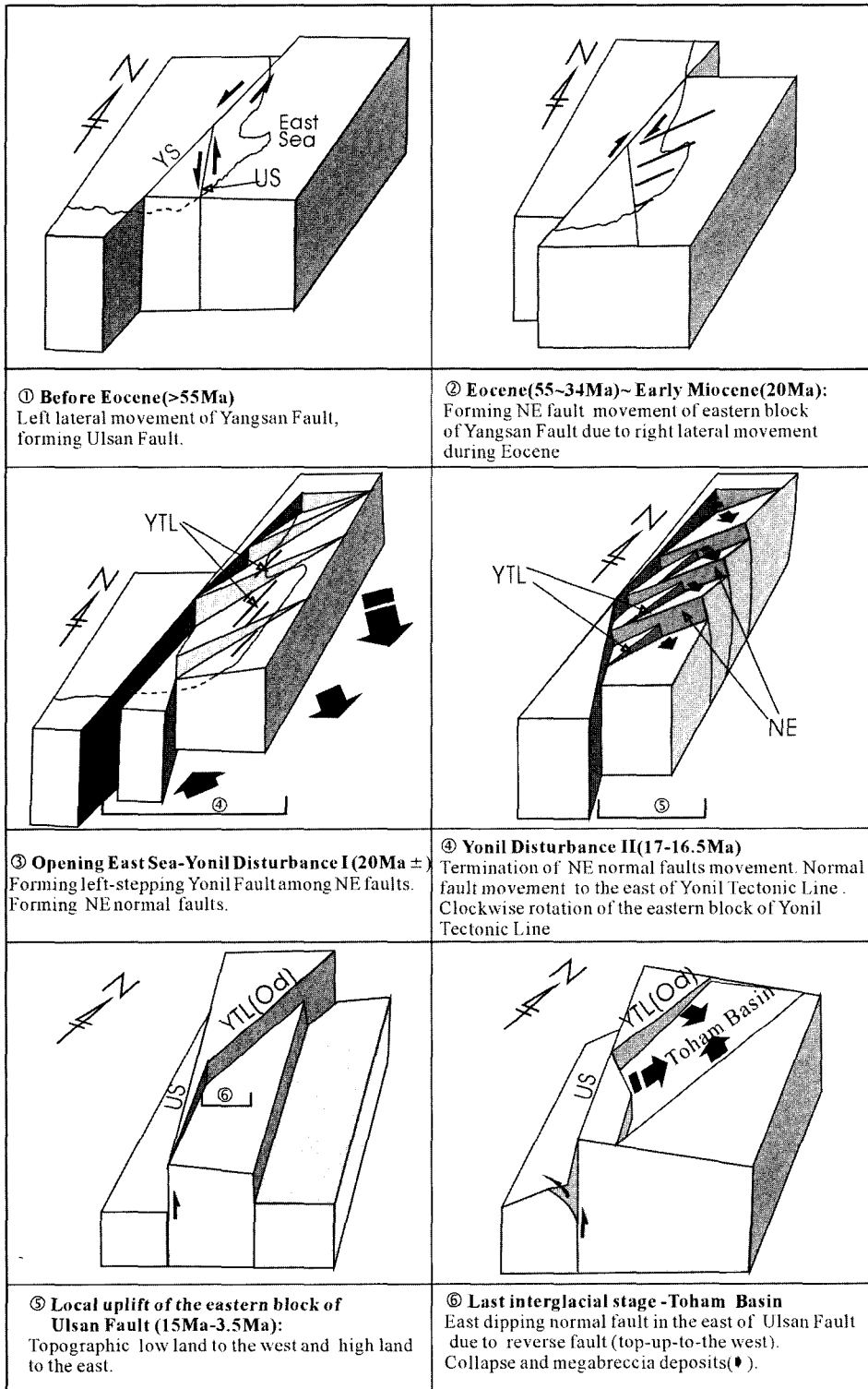


Fig. 2. Tectonic history of Toham Basin. YS : Yangsan Fault, US : Ulsan Fault, YTL : Yonil Tectonic Line, Od (Oedong Fault), NE : NE fault.

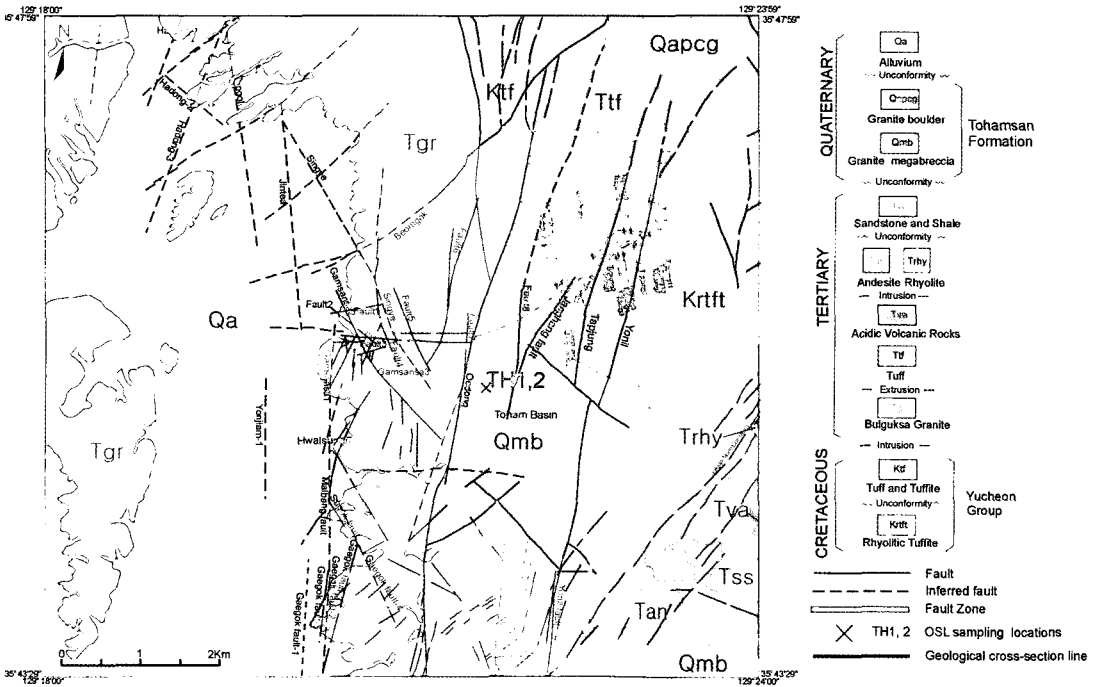


Fig. 3. Detailed geological and fracture map around Toham Mountain.

화산암, 안산암과 유문암, 사암 및 셰일과 제4기 후기의 봉적층인 토함산 세립 화강암질 거력층과 층적층의 순서로 분포하고 있다(Fig. 3).

본 역의 지질계통은 Table 1과 같다.

Table 1. Stratigraphic sequence of the study area

제4기	층적층	유천층군
	~~부정합~~ 토함산층 ~~부정합~~	
제3기	사암 및 셰일	유천층군
	~~부정합~~ 불국사화강암 화산암류	
백악기	--관입-- 응회암 및 응회질퇴적암 유문암질 터파이트	유천층군

유문암질 터파이트는 지금까지 학계에서 경상분지 하양층군에 속하는 사암으로 알려져 있으나, 어일도폭(최위찬 등, 1988)에서는 화산암 기원인 응회질퇴적암으로 기재한 바 있다. 박준범 등(2004)는 이 암석의 성분이 SiO₂, 64.5~72 wt%, Na₂O+K₂O, 5.5~6.9 wt%로서, 테사이트질~유문암질에 해당하나, 주로 유

문암 영역에 속하며 암석화학적으로 경상누층군의 신동층과 하양층군의 이암류와는 전혀 다른 경향을 보이고 있음을 제시했다. 따라서 이 암석은 전형적인 경상누층군의 퇴적층이 아닌 화산분출물이 퇴적된 응회암류로 분류하는 것이 타당함을 입증하고 있다. 그러므로 경주-감포 일원에서 하양층군의 퇴적암으로 분류되었던 일부와 범곡리 화산암류 일부가 유문암질 터파이트에 해당된다(Fig. 3).

토함산층(吐含山層)은 거각력으로 구성된 층과 거력으로 구성된 두 층준으로 분대되나 이들의 선후 관계는 확실치 않다. 다만 분지 북쪽으로 가면서 역의 원마도가 각형에서 원형으로 변화하고 있어 각력질층에서 역질층으로 점이적 분포를 한다. 그러나 두 층준에서 모두 역의 장경은 수m 급이고 퇴적 분지의 중심으로 가면서 역의 크기가 감소되어 평균 5cm 내외의 직경을 보인다. 역과 기질의 성분은 주로 세립질 화강암류(Fig. 4)이나, 산록 아래로 내려오면서 장석 반정을 갖는 안산암력들도 포함하고 있다. 거각력질 층준에는 적갈색 내지 청회색의 사질층과 이질층을 협재한다. 본 층은 조양도폭(Tateiwa, 1924)에서 천북역암으로 분류된 바 있으며, 손문 등(2000)에 의하여 와읍분지의 최상부층인 송전층에 대비하였다. 그리고 본 층의 형성 기원이 제3기 마이오세 단층의 200 m 낙차에 의한 것

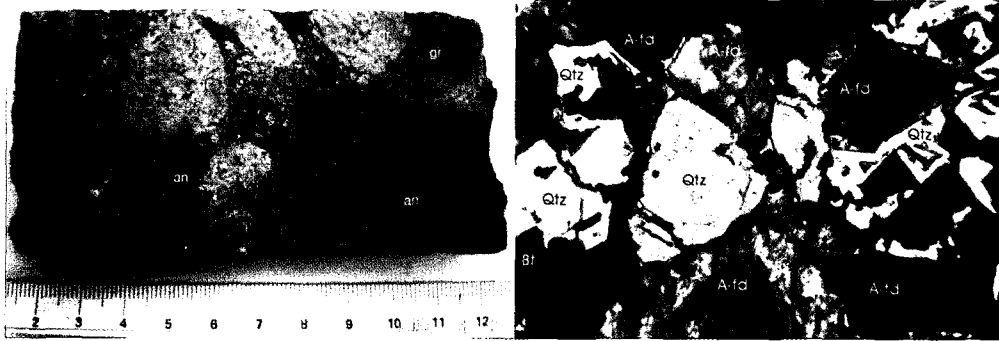


Fig. 4. Photograph of megabreccia (left) and photomicrograph (right) of fine-grained granite pebble in megabreccia of Tohamsan Formation (rectangular length of photomicrograph: 3mm).

이라고 하였다.

그러나 이 거력질층은 야외 산출상태로 보아 기저역암이 아니고, 산능선에서 동쪽 산록을 따라 매우 짧은 기간에 퇴적된 봉적퇴적층이다. 이를 단지 기질이 견고하다고 전기 마이오세의 기저층으로 알려져 있는 천북역암에 대비할 경우, 천북역암의 표식지인 포함지역의 연일분지에서는 천북역암 상위에 670m(엄상호 등, 1964)정도의 마이오세 퇴적층이 쌓여 있으나, 경주 동남쪽에서는 지구조적 규모인 1km 정도의 융기(隆起) 현상이 일어나 상부 퇴적층이 모두 침식, 삭박되어 있어야 하는 지질구조적 규제 조건이 뒤따라야 한다. 이렇게 되기 위해서는 포함지역과 그 이남 지역 사이에 대단층(大斷層)이 있어야 하며, 오천단층이 그 경계가 될 수 있으나 아직 불확실하다.

또한 이 거력질층을 산 정상에서부터 산 아래 평탄면으로 추적해보면 미고결된 제4기 역질층의 층준과 정면으로 대치하고 있다. 또한 미고결 상태의 제4기 역질층은 고화된 것을 제외하고 나면 고결된 거력질층과 동일한 특성을 보이고 있다. 거력질층은 방해석의 침전으로 인해 이미 기질의 고결이 완료된 상태이어서 매우 단단함을 유지하고 있음이 특징적이다. 그 증거로 시추 코어의 회수율이 양호함을 들 수 있다. 그러나

단단하게 고화되어 있는 역질암을 물속에 12시간 이상 방치하여 보면 토양층과 동일한 양상을 보인다. 따라서 방해석에 의하여 고결은 되었으나 광물입자간의 다짐작용이나 압력용해작용이 매우 미약한 상태를 알 수 있다.

3.1. 연대측정

토함산 동쪽에 위치하고 있는 거력질 퇴적층은 산능선에서 산록을 따라 매우 짧은 기간에 퇴적된 봉적퇴적층으로 해석되었으며, 전기 마이오세의 기저층인 천북역암으로 믿기에는 전술한 바와 같이 기하학적으로 무리가 있다. 따라서 토함산 동쪽 능선의 20m 층후를 보이고 있는 거력질층 노두에 협재된 사질층준의 하부(TH-1)와 상부(TH-2)에서 각각 채취하여(Fig. 5), 국제적으로 잘 알려진 덴마크 리소(RISO) 실험실에 OSL 연대측정을 의뢰하였다. 그 결과, 토함산 거력질층은 85~92 ka의 연대가 산출되었으며, 전기 마이오세의 천북역암이 아닌 최후기 간빙기(MIS 5c~5e)로 확인되었다(Table 2).

3.2. 층서학적 의미

금번에 새롭게 밝혀진 연일구조선 분절단위 사이에서

Table 2. The results of the age determination using OSL (RISO Natl. Lab., DMK).

Sample	Equivalent dose (Gy)	Gamma dose rate (mGy/yr)	Beta dose rate (mGy/yr)	Cosmic dose rate (mGy/yr)	Total dose rate corrected (mGy/yr)	Age (kyrs, BP, 1 σ SE)
TH-1	364±26	1.69±0.04	3.43±0.08	0.15±0.01	3.94±0.07	92.3±6.8
TH-2	305±6	1.58±0.03	3.01±0.07	0.10±0.01	3.56±0.06	85.7±2.2

1) Total dose rate is corrected for water content using formula of Zimmerman (Zimmerman 1971), and for beta dose attenuation through the grains etched conc. HF(48%)(Aitken,1985) and cosmic ray contribution was considered as 0.10 mGy/yr and 0.15 mGy/yr(Prescott and Stephan,1982).

2) The preheating condition is 240°C/10 sec and cut-off heating condition is 160°C/0 sec.



Fig. 5. Outcrop of Tohaman megabreccia and OSL sampling sites.

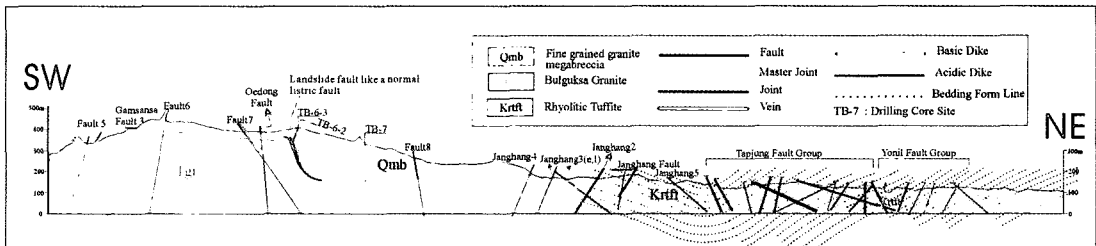


Fig. 6. Geologic cross-section showing the Toham Basin (Qmb).

형성된 제4기 퇴적층을 퇴적시킨 분지를 ‘토함분지’라고 명명한다. 토함분지는 경주 이남 지역에 북북동-남남서 방향의 장방형 제4기 퇴적분지로 분지의 기저는 불국사화강암으로 구성되어 있으며 북동쪽이 열린 지구형 분지이다(Fig. 2-⑥과 Fig. 6). 토함분지를 구성하는 거각력(巨角礫, Megabreccia)질 퇴적층의 OSL 연대가 약 9만 년 전으로 규명되었으므로, 이 붕적 퇴적층의 두께를 고려한 시기는 제4기 최후기 간빙기(12만5천년 전~8만 년 전)를 지시한다. 따라서 토함산 이남부터 울산 북부까지 간헐적으로 분포하는 붕적 퇴적층의 시기는 유사할 것으로 해석되며, 마이오세의 기저역암인 천북역암의 분포 한계는 경주 이북으로 규제되어야 하고, 외읍분지의 남서쪽 경계도 재고되어야 한다고 본다. 토함분지의 제4기 거력층은 불국사 화강암을 피복하고 있으며, 외동단층의 북단부로부터 동쪽으로 약

250 m 떨어진 곳에서 200m의 최대 층후를 보인다(Fig. 7). 토함산 능선의 동쪽으로 가면서 점차 고도가 감소하고 층후도 함께 얇아진다. 또한 외동단층 주변에는 수직과 수평으로의 연장성이 짧은 이 단층의 수반단층이 여러 조가 발달하고 있으며, 약 폭 200 m 내외의 단층 파쇄대가 형성되어 있다. 시추결과에서도 외동단층의 북단부에 수반되어 발달되어진 점완단층(listric fault) 2-3조(Fig.6, Fig. 7: TB-6-2, 6-3)가 확인되었으며, 이 단층을 따라 10~40 m 내외의 두께를 갖는 단층파쇄대와 10 m 내외의 두께를 갖는 단층 점토층이 형성되어 있다. 그러므로 토함분지는 연일구조선의 분절단층으로 고려된 외동단층의 북단부 또는 수반단층과 연일단층에 의하여 형성된 퇴적분지이며, 단층 절벽의 산사면을 따라 들서령이 퇴적된 붕적퇴적층으로 정의한다.

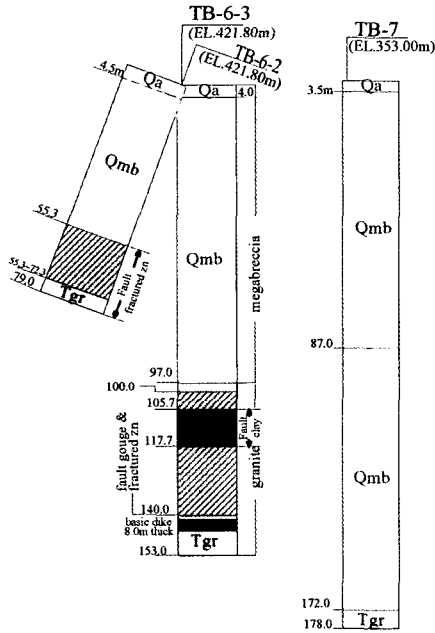


Fig. 7. Columnar section of drilling cores within megabreccia unit (see Fig. 6). Hatch part; blind normal fault. Tg r :Bulguksa Granite, Qmb : Tohamsan Formation.

4. 결 론

1. 와읍분지의 남서부 지괴를 구성하고 있는 송전층의 일부와 조양도폭의 천북역암은 OSL 연대가 85~92 ka인 제4기 퇴적층으로 규명되었다. 따라서 제3기의 천북역암은 경주 이북에 국한되어 분포하며, 이 지역의 퇴적층은 토함산층으로 명명한다.
2. 토함산층은 연일구조선의 분절단층인 외동단층의 북단부 또는 인접 수반단층과 연일단층에 의하여 규제되는 북북동 방향의 장방형인 제4기 토함분지 내에 형성되어 있으며, 세립 화강암질 거력과 기질로 구성되어 있다.
3. 5~3.5 Ma 이후(문태현 등, 2000)의 동서 압축력에 의한 서향 충상단층 발달로 울산단층-연일구조선 동편이 용기되었으며, 최후 간빙기(MIS 5c~5e)의 서향 압축에 수반한 정단층운동이 동쪽으로 일어나 제4기 퇴적분지인 토함분지가 형성되었다.

사 사

이 연구는 두우건설엔지니어링의 용역사업(2003년)으로 수행되었으며, 박편 사진과 감정을 도와준 이윤

수 박사와, 많은 조언과 꼼꼼한 지적을 해주신 두 분의 심사위원에게 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

김인수 (1992) 새로운 동해의 성인모델과 양산단층계의 주향이동운동. 지질학회지, 28권, p. 84-109.
 김인수, 강희철 (1989) 어일분지 일대에 분포하는 제3기층에 대한 고자기학적 연구. 지질학회지, 25권, p. 273-293.
 김인수, 손문, 정현정, 이준동, 김정진, 백인성 (1998) 경주-울산 일원에 대한 지역지질 특성 연구: 울산 단층 주변 화강암류의 잔류 자기와 대자율. 자원환경지질학회지, 31권, p. 31-43.
 김옥준, 정봉일, 엄상호, 장기홍, 박봉순, 강필중 (1980) 한반도의 지진지체구조 분석에 관한 연구. 과학기술처, p. 101-112.
 문태현, 손문, 장태우, 김인수 (2000) 한반도 동남부 제3기 분지지역에서의 고응력장 복원. 한국지구과학회지, 21권, p. 230-249.
 박근필, 신원철, 김중수, 조규장, 김철민, 박관순 (1981) 동해 심부지질 및 광물자원 조사연구(강릉-포항간). 한국자원연구소 조사연구보고, 10호, p. 149-161.
 박준범, 진은영, 박성현, 최성자 (2004) 소위 터파이트(Tuffite)의 암석학적 특징. 자원환경학회지, 37권, p. 347-354.
 박필호, 안용원, 임형철, 박종욱, 조정호, 최위찬 (2001) 남한 지역의 GPS 지각속도와 예비적 해석. 대한지질학회, 대한자원환경지질학회, 한국석유지질학회, 한국암석학회 제56차 추계공동학술발표회 초록집, p. 33.
 손문, 김인수, 이동호, 이준동, 김진섭, 백인성 (2000) 울산단층일원에 대한 지역지질특성연구: 제3기 마이오세 와읍분지의 지질구조와 대자율비등방성(AMS). 지질학회지, 36권, p. 195-216.
 손문, 정혜윤, 김인수 (2002) 한반도 남동부 연일구조선 남부 일원의 지질과 지질구조. 지질학회지, 38권, p. 175-197.
 엄상호, 이동우, 박봉순 (1964) 포항 지질도폭설명서 및 지질도(1:50,000). 국립지질조사소, 21 p.
 전명순, 전정수, 제일영 (1999a) 한반도 및 주변지역에서 발생한 지진의 지진발생 메카니즘 분석. 대한지질학회, 한국석유지질학회, 한국암석학회 제54차 추계공동학술발표회 초록집, 5-6, p. 28.
 전명순, 전정수, 제일영 (1999b) 한반도 지진의 메카니즘 특성. 한국지진공학회 학술발표회 논문집, 3권, p. 58-63.
 최위찬, 황재하, 윤옥, 김동학 (1988) 어일 지질도폭 보고서 및 지질도(1:25,000), 한국동력자원연구소, 42p.
 한중환, 광영훈, 손진담, 손병국 (1987) 한국 동남부 지역 제3기 퇴적분지의 지체구조 발달 및 퇴적환경 연구(II). 연구보고서 KR-86-2-(B)-4, 한국동력자원연구소, 109p.
 Aitken, M.J. (1985) Thermoluminescence dating. Academic Press, London, p. 256-259.
 Chwae, U. (1998) Does the Imjingang Fold Belt cross the mid-Korean Peninsula along the demilitarized zone(DMZ) as an extension of the Sulu Belt, China? Journal of Earth & Planetary Sciences, Nagoya University, v. 45, p. 41-73.
 Kim, O.J. (1972) Precambrian geology and structure of

- central region of South Korea. Jour. Korean Inst. Mining Geol., v. 5, p. 231-240.
- Prescott, J.R. and Stephan, L.G. (1982) Contribution of cosmic radiation to environmental dose. PACT 8, p. 205-213.
- Son, M., Seo, H.-J., Jung, H.-J. and Kim, I.-S. (1997) Extension direction and tectonic boundaries of the Miocene basins, southeast Korea. In: Lee, Y.I. and Kim, J.H. (eds.), Tectonic Evolution of Eastern Asian Continent. Short papers for the International Symposium on the occasion of the 50th Anniversary of the Geological Society of Korea, p. 104-109.
- Son, M., Seo, H.-J. and Kim, I.-S. (2000) Geological structures and evolution of the Miocene Eoil Basin, southeastern Korea. Geosciences Journal, v. 4, p. 73-88.
- Tateiwa, I. (1924) 1 : 50,000 Geological atlas of Chosen, No. 2, Ennichi, Kuryucho and Choyo sheets. Geological Survey of Chosen (In Japanese)
- Yun, H., Yi, S. and Byun, H. (1997) Tertiary system of Korea. Journal of Paleontological Society of Korea, Special Publication, v. 3, p. 1-30.
- Yun, S.H. and Chough, S.K. (1993) Evolution of Neogene sedimentary basins in the eastern continental margin of Korea. Korean Jour. Petrol., v. 1, p. 15-27.
- Zimmerman, J. (1971) The radiation-induced increase of thermoluminescence sensitivity of fired quartz. Journal of Physics C: Solid State Physics, v. 4, p. 3277-3291.
-
- 2004년 3월 9일 원고접수, 2004년 8월 10일 게재승인.