Short Note

Tracking of the Moryang Fault and It's Characteristics

Sung-Ja Choi*, Chung-Ryul Ryoo, Jin-Hyuck Choi

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), Daejeon 34132, Korea

*Corresponding author : sjchoi@kigam.re.kr

ARTICLE INFORMATION

Manuscript received 28 May 2021

Received in revised form 25 June 2021

Manuscript accepted 25 June 2021

Available online 28 June 2021

DOI : <http://dx.doi.org/10.9719/EEG.2021.54.3.389>

Research Highlights

- The Moryang fault expressed in a v-shaped valley shows the attitude of NNE-NE strike with high angle NW dip.
- The fault is characteristic of sinistral reverse and strike-slip fault movement sense in bedrocks while dextral reverse fault movement in unconsolidated sediments.

ABSTRACT

Moryang Fault is geomorphologically observed as a linear fault valley from Angang through Moryang, Duckhyun and Wondong to Gimhae, and contacts with Yangsan Fault, being obliquely away to the east, at Angang district. The fault valley appears a V-shape feature with a width from 100 to 300 m, and has fragmental zones of the fault along the valley on a small scale. Nine fault-outcrop localities were found along the nine-kilometers valley between Daehyun-ri, Gyeongju, and Baenaemi-gogae, Yangdong-ri, Ulsan. The fault strikes the North-North-East to the Northeast and dips to the Northwest with high angles, and reveals it had been undergone predominantly sinistral reverse fault movement sense, left-lateral and right-lateral strike-slip sense in bedrocks. However, after unconsolidated sediments, there was the top-up-to-the-east dextral reverse fault movement.

Keywords : Moryang Fault, V-shaped valley, strike-slip, top-up-to-the-east, dextral reverse

Citation: Choi, S.-J., Ryoo, C.-R., Choi, J.-H. (2021) Tracking of the Moryang Fault and It's Characteristics. Korea Economic and Environmental Geology, v.54, p.389-397, doi:10.9719/EEG.2021.54.3.389.

단보

모량단층의 분포와 특성

최성자* · 류충렬 · 최진혁

한국지질자원연구원 국토지질연구본부 활성지구조연구단

*책임저자 : sjchoi@kigam.re.kr

요 약

모량단층은 안강-모량-덕현-원동-김해를 잇는 선상의 단층곡으로부터 인지되며, 동측에 발달하는 양산단층과 안강 인근에서 만난다. 단층곡은 100-300 m 폭의 V자 형태를 보이며, 단층곡을 따라 수 m 내외의 폭을 가지는 소규모 단층파쇄대가 발달한다. 약 9 km에 달하는 경주시 대현리-울산 양동리 배내미고개 구간에서 9개 지점의 단층노두들이 확인되었으며, 단층은 주로 북북동 내지 북동 주향과 고각의 북서 경사를 가진다. 기반암내에서 단층은 좌향 이동성분을 갖는 역단층운동, 좌수향과 우수향주향이동단층운동이 관찰되었으며, 미고결퇴적층이 형성된 이후에는 단층의 서측이 동쪽으로 상승하는 우향이동성분의 역단층 운동을 하였다.

주요어 : 모량단층, V-형 협곡, 주향이동, 서측지괴 동향 상승, 우향성 역단층

1. 서 언

한반도 동남부에는 양산단층을 중심으로 동쪽에는 울산단층, 동래단층, 일광단층이 발달하고, 서쪽에는 모량단층, 밀양단층, 자인단층 등이 분포한다. 북북서 주향을 보이는 울산단층을 제외한 동남부의 단층들은 양산단층과 평행하거나 아평행한 북북동 내지 북동 주향이며, 통상적으로 양산단층계라 불린다(Fig. 1a). 양산단층은 양산단층계의 단층들 중에서 가장 규모가 크고 연장성이 양호하다. 육상에서 약 200 km 길이를 보이는 양산단층을 따라서는 제4기 단층운동이 기록된 노두들이 잘 알려져 있다. 반면 일광단층을 제외한 다른 단층들에서는 지금까지 제4기 단층운동을 지시하는 노두들이 거의 알려져 있지 않다. 일광단층이 통과하는 도야지점에서 단층운동에 의한 미고결퇴적층의 변위가 관찰된 바 있으며, 기반암내 단층의 단층비지로부터 얻어진 ESR(Electron Spin Resonance) 연대측정 결과들은 일광단층이 제4기 동안 재활동하였음을 지시한다(Lee and Yang, 2005). 모량단층의 경우, 미고결퇴적층과 백악기 화산암이 고각의 단층으로 경계 하고 있음이 구두 발표된 바 있다(Choi *et al.*, 2000).

현재까지 보고된 모량단층에 대한 연구는 단층대 주변의 절리에 관한 연구(Choi and Chang, 1999)와 단층대의 지질공학특성 연구(Bang and Woo, 2000)등이 있을 뿐이다. 경주지진 발생 이후, 모량단층이 중대규모 지진을 유발하였을 가능성이 제기된 바 있음에도 불구하고 모량

단층은 관심 밖의 단층으로 지금까지 구체적인 연구가 전무하다. 단층의 특성을 이해하기 위한 가장 기본적인 자료는 야외조사로부터 얻어지는 정보이지만, 지금까지 야외조사 자료를 토대로 한 모량단층의 특성이 구체적으로 언급된 바 없다. 모량단층은 모량도폭(Kim and Jin, 1971)에서 처음 알려졌다으며 이후 연양도폭(Lee and Lee, 1972), 밀양도폭(Kim and Hwang, 1988), 김(금)해도폭(Lee and Kim, 1964)에서 모량단층의 존재를 확인하였다. 각각의 도폭에서 기술한 모량단층은 다음과 같다. 모량도폭에서는 단층선을 따라 전단단열대가 발달하고 단층 외연부에서 중앙부로 가면서 단층의 주향은 북동에서 북서 방향으로 변하고 경사 역시 남동에서 남서로 바뀌며 서쪽이 북쪽으로 향해 하강한 단층으로 생각하였다(Kim and Jin, 1971). 연양도폭에서는 덕현리에서 이천리로 가면서 소규모의 전단단열대가 발견될 뿐 단층 정보는 확인되지 않았다(Lee and Lee, 1972). 밀양도폭에서도 직접적인 단층노두 증거보다는 지질분포의 어긋남을 근거로 모량단층을 추정하였다(Kim and Hwang, 1987). 김해도폭에서는 모량단층이 4조의 북북동 단층들 중 하나일 뿐이며, 수직 단층이라고 기술하였다(Lee and Kim, 1964). 상기와 같이 여러 도폭에서 모량단층이 김해에서 모량까지 연장되는 단층으로 보고하고 있으나 이들에 대한 구체적인 단층정보는 제공된 바 없다.

2016년 9월 12일 규모 5.8 경주지진 당시, 모량단층 주변 민가에서 재산상의 피해가 발생하였고, 양산단층과 모

Fig. 1. (a) A lineament of Moryang Fault(white arrows) on the Google Satellite Map (b) Simplified regional geological map around the Moryang Fault (modified after Chwae *et al.*, 1995). (c) Airborne-derived LiDAR image of the survey area. Bullet numbers and arrows are fault outcrop locations, and a white quadrangle is a drilling location. (d) A photograph of a drilling core sample (e) Close-view of a fault rock produced at drilling depth 6.8–7m.

량단층이 지진원 단층으로서의 가능성이 제기되었으며, 특히 여진의 깊이를 고려하였을 때 모량단층과 연계성이

있음이 보고된 바 있다(Jeon *et al.*, 2017). 양산단층 인접 서측에 위치하는 모량단층도 미래 중대규모 지진을 일으킬 가능성이 있으므로 지진 피해 대비를 위한 기본적인 모량단층 특성 정보가 필요하다. 본 단보는 울산광역시 울주군 상북면 양동리 배내고개와 경주시 산내면 대현리 사이의 구간에서 야외조사를 통해 취득한 모량단층의 단층정보를 제공하고, 모량단층의 특성에 대하여 논의하고자 한다.

2. 지질개요

모량단층은 김해에서부터 안강을 잇는 약 70-90 km 길이의 연속적인 선상구조를 보이는 단층곡으로부터 인지되며, 단층곡 폭은 100 m-300 m 내외로 양산단층(400 m-1 km)에 비해 매우 좁다(Fig. 1a). 단층곡은 대체적으로 N10°-30°E 주향을 보이고 있으며, 단층곡의 선상구조는 김해에서 소호리까지는 뚜렷한 반면 소호리 이북에서 안강까지 선상구조가 분절되어 있어 뚜렷하지 않다. 선상구조의 주향은 김해에서 경상남도 양산시 원동면 선리까지 N30°E 경향을 보이거나 선리 이북에서는 N20°E 이다(Fig. 1a). 또한 단층을 경계로 동측과 서측에 서로 다른 암상이 분포하고 이를 통해 모량단층이 우수향 주향이동운동을 겪었음을 알 수 있다. 김해도폭과 모량도폭 지질도에서 측정된 수평변위는 1.1 km-0.8 km 이다.

모량단층은 김해에서 모량까지 후기 백악기의 화산암과 화강암을 통과하고, 모량 이북에서는 환상구조의 백악기 화산암체인 소위 채약산 화산암과 백악기의 퇴적암인 대구층과 건천리층을 통과한다(Fig. 1b). 모량단층 주변에는 후기 백악기 화산암이 가장 넓게 분포하고 있으며, 화산암을 관입한 것으로 보이는 중립질 내지 세립질 화강암(Fig. 2a)이 발달하고 있다. 또한 절리 또는 소단층을 따라 페그마타이트질 세맥과 염기성 암맥들이 관입하고 있다(Fig. 2b). 모량단층은 지형학적으로 가파른 단층곡을 형성하고 있어 미고결 퇴적층이 두껍게 발달하지 않으나, 덕현리-궁근정리 일원에 약 4-8 m의 두께의 미고결퇴적층이 발달되어 있다. 고도 675 m에 해당하는 울산광역시 울주군 상북면 양동리(배내미 고개 정상부)에는 5 m 이상의 층후를 보이는 미고결 퇴적층이 백악기 화산암을 피복한다(Fig. 2c & d). 이곳의 미고결 퇴적층은 원마도와 분급이 매우 불량하고 점토 기질로 구성된 산록 봉적층이다. 이 퇴적층은 기질 색으로 상-하부가 뚜렷하게 구별되어 퇴적 당시 기후 환경이 서로 달랐음을 지시하며, 이는 두 지층의 퇴적 시기가 서로 달랐음을 의미한다. 두 지층간 경계는 완만한 서쪽 경사를 보인다(Fig. 2c).

Fig. 2. Outcrop photographs; (a) Medium-grained granite, (b) Basic dikes intruded into granit body (c) Unconsolidated sediments are distinguished into two beds by matrix colors. Arrows indicate the boundary of two beds. (d) The matrix-supported texture of the unconsolidated sediments.

3. 단층 분포와 특성

경상남도 양산시 원동면 원리에서 울산광역시 울주군 상북면 소호리까지는 선상구조가 뚜렷하지만 이에 반해 단층 노두들은 선상구조상에 드물게 노출되어 있으며 단층대 폭도 대부분 수 m 내외이다. 과거, 이 구간에서 단층 노두는 원동면 선리에서 10-20 cm 두께를 갖는 단층 비지가 보고 된 것이 전부이다(Choi and Chang, 1999). 본 연구에서는 배내미고개에서 대현리 사이 약 9 km 구간을 따라 10개 이상의 지점에서 단층노두를 발견하였다(Fig. 1c). 이들 중 노두의 위치가 서로 가깝거나 충분한 증거가 없는 노두들을 제외한 9개의 단층노두만 기술하였다. 또한 모량단층의 연장을 확인하기 위하여 모량단층의 선상구조 상에서 시추를 수행하였다. 시추는 울산광역시 울주군 상북면 덕현리의 덕현리 삼거리 북쪽($35^{\circ}37'7.36''N/129^{\circ}2'56.54''E$)에서 실시하였으며 이를 통해 지표로부터 약 7.8 m-8 m 심도에서 단층암을 확인하였다(Fig. 1d & e).

3.1. 기반암 단층

9개 지점의 단층 노두 중 8개 지점이 기반암내에서 발견되었고 1개지점은 미고결퇴적층을 끊고 있다. 이 논문에서 기재하고 있는 대부분의 노두들은 개발에 의하여 유실되었다. 노두 위치의 좌표들은 모두 WGS84 좌표계의 위경도이다.

지점-1($35^{\circ}38'52.54''N/129^{\circ}03'55.69''E$) : 단층노두는 경주시 산내면 대현리(Fig. 1c-1)에 신축한 펜션 옆 계곡에 발달하고 있다. 이곳은 조립질의 연양화강암체가 분포하고 있으며 계곡을 따라서 단층 파쇄대와 1 m 층 후의 염기성 암맥이 관입하고 있다. 단층 파쇄대내에서 보여주는 단층의 주향과 경사는 $N5-10^{\circ}E/80^{\circ}NW$ 이며 단층 파쇄대의 폭은 약 6 m로 수십 cm의 단층각력대를 여러조 포함하고 있다(Fig. 3a & b). 단층대 상부에는 미고결 역층이 퇴적되어 있으나 단층에 의한 변형은 없다.

지점-2($35^{\circ}37'24.20''N/129^{\circ}03'8.87''E$) : 울산광역시 울주군 상북면 덕현리에는 세 곳의 단층 노두가 관찰된다. 지점-2는 (구)덕현삼거리로부터 북동쪽으로 약 800 m

Fig. 3. Fault photographs of site-1~3; (a) Fault damage zone and breccia, (b) Fault breccia, (c) Major fault zone 1.4 m wide consisting of a crushed intermediate dike and fault gouge, (d) E-W minor fault showing left-lateral strike-slip motion, (e) Cataclasite foliation and granite relics indicate a reverse fault motion, (f) A fault breccia shows a right-lateral strike-slip fault movement. gg; fault gouge, Gr; granite.

떨어져 있으며(Fig. 1c-2) 이곳은 지형적으로 낮은 구릉지의 고개로서 갑자기 좁아지는 북동-남서 방향의 협곡이며 단층대 폭도 매우 좁다. 이곳의 단층 노두는 노출면적이 크지 않지만 화강암 파쇄대로 구성되어 있으며 단층은 N10°E의 주향을 보인다.

지점-3(35°37'0.99"N/129°02'49.14"E) : 단층노두는 울산광역시 울주군 덕현리의 (구)덕현삼거리(Fig. 1c-3) 하천변에 노출되어 있었다. 이곳도 연양화강암 분포지역으로 화강암 대부분은 괴상체로서 절리들의 발달 간격이 큰 곳이다. 하천변에 노출된 주단층대는 화강암을 관입하고 있는 중성암맥에 발달하고 있으며 주단층대의 폭은 약 1.4 m이다. 단층대 중심부인 암맥은 파쇄대를 형성하

고(Fig. 3c) 암맥의 동측과 서측 경계부에 각각 폭 20 cm-30 cm 내외의 단층 비지가 발달한다. 단층의 주향은 N38°E/80°NW이며 하상에서는 북동 단층을 자르고 있는 소단층(N78°E/78°SE)이 관찰된다(Fig. 3d). 북동 단층내에서 각력 주변의 엽리들 배열양상은 서쪽 지괴가 동쪽으로 상승한 역단층성 운동을 지시하고 있으며(Fig. 3e), 이 노두의 연장부인 하천 바닥 노두의 단층 각력은 우수향 주향이동 운동을 지시한다(Fig. 3f). 그러나 북동단층과 함께 발달하고 있는 소단층인 동서 단층은 좌수향이 동성분을 보인다(Fig. 3d). 정향시료의 주단층대 단층암에서 관찰한 S/C 복합엽리는 서측지괴가 남동쪽으로 이동한 역단층 운동과 좌향이동 운동이 복합된 사교이동단

Fig. 4. Fault photographs of site-4~7; (a) outcrop of Site-4 shows a fault along the boundary between volcanic rock and intermediate dike. (b) Close-view of an intermediate dike, Red arrow: fault plane and fault line, (c) Basic dike(arrows) ~ 2 m thick trending N28°E, (d) Fault breccia and feldspar veins. Feldspar veins shows left-lateral fault sense, (e) Fault breccia in the center and gauge at the edges. Id; intermediated dike, Vol; volcanic rock, fl; feldspar, gg; fault gauge.

층임을 보고하였다(Chwae *et al.*, 2000). 이단층 노두는 현재 하천 사방공사에 의하여 덮혀 있다.

지점-4(35°36'34.12"N/129°02'25.82"E) : 이지점의 행정구역도 울산광역시 울주군 덕현리이며 지점-3의 (구) 덕현삼거리에서 남쪽으로 약 1.1 km 떨어진 살티마을 내에 위치한다(Fig. 1c-4). 이 지점의 단층은 유문암질의 화산암내에 발달하고 있는 것이 상기 단층들과 다르며 단층을 따라 1 m 폭으로 중성 암맥이 관입하고 있다(Fig. 4a & b). 단층은 N30°E/47°NW의 태위를 보이며, 유문암질 화산암과 중성 암맥과의 경계부에 단층 비지가 발달하고 암맥은 파쇄 되어있고 그 폭은 15-20 cm 이다. 이 단층의 파쇄엽리에서는 우향 운동을 보이고, 단층면상의 단층조선은 030°/65°로 정단층 운동감각 보인다(Fig. 4b).

지점-5(35°35'53.49"N/129°02'6.14"E) : 지점-5의 행정구역도 울산광역시 상북면 덕현리에 해당되며 지점-4로부터 남쪽으로 1.3 km 떨어져 있으며 석남로에 가깝다(Fig. 1c-5). 이지점에는 N20°E/80°NW 방향의 절리군과 함께 폭 2 m의 염기성 암맥이 N28°E 방향으로 관입하고 있다(Fig. 4c).

지점-6(35°35'47.17"N/129°02'3.79"E) : 이지점의 단층 노두도 지점-5와 같은 행정구역에 속하며 지점-5로부터 직선거리로 남쪽에 320 m 떨어져 있는 청수골 입구에 위치한 하상노두이다(Fig. 1c-6). 단층은 화강암을 끊고 있으며 약 20 m 폭의 단층 파쇄대를 형성하고 있다(Fig. 4d). 단층의 주향은 N08°E/74°NW와 N86°E/81°NW 등 두 방향이 관찰된다. 또한 이 단층 주변의 소규모 절

Fig. 5. Fault photographs of site-8 and -9 ; (a) Fault damage zone trending N15°E in granite, (b) Fault gouge 15 cm wide and fault breccia(br) 20 cm wide, (c) close-view of the fault zone; Quaternary unconsolidated sediments and volcanics on the east and the west block, respectively, (d) Horizontal fault striation on the fault plane of unconsolidated sediment, (e) Fault striation plunge 45° S on the fault plane of unconsolidated sediments. Gr; granite, gg; fault gouge, Q; unconsolidated sediments, Vol : volcanic rock, L; fault lineation.

리와 장석맥은 좌수향주향이동을 지시한다.

지점-7(35°35'44.04"N/129°01'57.35"E) : 지점-7의 위치는 배내골 입구 삼거리(옛지명은 석리 삼거리)의 동측 사면(Fig. 1c-7)으로 행정구역의 주소지는 지점-5와 동일하다. 이곳도 연양화강암이 분포하고 있는 곳으로 2 m 폭의 단층대가 N10°E/85°NW 자세로 발달하며 단층대는 단층 중심부의 단층각력대와 단층 경계부의 단층비지로 구성된다(Fig. 4e).

지점-8(35°35'38.42"N/129°01'58.64"E) : 지점-7로부터 남쪽으로 약 150 m 떨어져 있는 곳으로 행정구역

의 주소지는 지점-5와 동일하다. 이지점은 청수골 계곡의 하천이 사행하는 곳으로 하천 바닥에 단층노두가 발달하고 있다(Fig. 1c-8). 이곳은 화산암체와 화강암체의 경계 인접지역으로 단층은 화강암내에 발달하고 있어 화강암은 심하게 파쇄되어 있으며 이 파쇄대의 주방향은 N15°E이다(Fig. 5a). 단층파쇄대 내에서 우수향 주향이동운동이 관찰된다.

3.2. 미고결퇴적층 단층

지점-9(35°34'50.17"N/129°1'37.84"E) : 지점-9는 배

내미고개 정상부에 위치하고 있다. 행정구역명으로는 울산광역시 울주군 상북면 양동리이며 살티마을 단층 노두 지점-4로부터 약 3.6 km 남쪽에 떨어져 있다(Fig. 1c-9). 이곳은 지형적으로 모량단층이 통과하는 지점 중 가장 고도가 높은 곳으로 김해에서 소호리까지의 모량단층곡을 남과 북으로 나눌 수 있는 분수령이다. 이 지점에서는 미고결퇴적층이 두껍게 퇴적되어 있으며 이 미고결퇴적층은 기반암인 화산암과 단층을 경계로 서로 직접하고 있다(Fig. 5b). 기질지지역층인 미고결퇴적층은 단층 동측에 위치하고, 백악기 화산암은 단층 서측에 놓이고 있으며 미고결퇴적층의 층후에 의하여 수직낙차는 최소 수 m 이상으로 생각할 수 있다. 단층은 약 15 cm 폭의 단층비지와 약 20 cm 폭의 각력대로 구성되어 있다(Fig. 5b & c). 단층면의 주향과 경사는 $N14^{\circ}\text{--}18^{\circ}\text{E}/78^{\circ}\text{NW}\text{--}90^{\circ}$ 인 고각의 단층으로 단층조선은 $220^{\circ}/10^{\circ}$ 인 주향이동성과 $200^{\circ}/45^{\circ}$ 인 경사이동성 등의 운동성분을 보이고 있어 주향이동성분의 단층과 우향이동성 역단층운동을 한 것으로 생각된다(Fig. 5d & e).

4. 토의 및 결론

이번 조사 연구를 통해 여러 도폭에서 언급되어 왔던 모량단층의 특징인 전단단열대의 소규모 폭, 우수향주향이동성분의 단층운동, 고각의 단층 경사 등은 재확인되었다. 그러나 본 연구에서는 앞선 조사 결과 이외에도 여러가지 모량단층 특성을 획득하였다. 선상구조만으로 알려져 있는 모량단층을 배내미고개에서 대현리 사이 약 9 km 구간에서 단층 노두를 통해 확인하였으며, 각각의 노두에서 얻어진 단층특성을 정리하여 보면 다음과 같다. 1)모량단층의 주향과 경사는 $N5\text{--}38^{\circ}\text{E}/47\text{--}85^{\circ}\text{NW}$ 의 범위를 보이나 대부분 $N10\text{--}20^{\circ}\text{E}/80^{\circ}\text{NW}$ 에 속한다. 또한 단층면에서는 수평이동성분과 경사이동성분의 단층조선이 관찰된다. 2)기반암 내 단층에서 좌향 이동성분을 갖는 역단층운동, 좌수향과 우수향주향이동단층운동이 관찰되었으며, 3)미고결퇴적층이 형성된 이후, 모량단층은 우향의 역단층 운동을 하였다.

모량단층과 양산단층의 지형적 특징, 단층 연장 길이, 그리고 단층대 폭 등을 서로 비교해 보면 모량단층은 양산단층보다 규모가 작은 단층이다. 양산단층은 주로 백악기 퇴적암을 통과하고 있는 반면 모량단층은 백악기 퇴적암을 덮고 있는 후기 백악기 화산암을 관통한다. 단층의 길이도 양산단층은 약 200 km 인 것에 비해 모량단층은 70–90 km로 매우 짧다. 또한 양산단층곡은 최대 수 km 폭으로 넓게 발달하고 있는 반면 모량단층곡은 V자형 협곡으로 그 폭이 최대 수백 m이다. 단층곡 폭과

비례하여, 단층대 폭도 양산단층은 수백 m에 달하는 반면, 모량단층 파쇄대 폭은 수 m이고 최대 50 m 내외이다.

모량단층과 양산단층의 주향은 서로 아평행한 북동 방향이나 단층의 경사 방향은 양산단층이 동쪽인 반면 모량단층은 서쪽이다. 모량단층의 방향성은 일반적으로 북북동-북동 방향의 주향과 북서 방향의 경사($N5\text{--}38^{\circ}\text{E}/47\text{--}85^{\circ}\text{NW}$)를 보이며 대부분 경사각은 고각이다. 또한 북동 방향의 모량단층을 따라서 암맥들이 관입하고 있고, 동서 방향의 단층들을 수반하고 있으며 이들은 북동방향의 단층을 자르고 있다. 양산단층은 후기 백악기부터 현재까지 좌수향과 우수향운동이 서로 교호하며 일어났으며 최후기에는 우수향주향이동운동과 함께 동측지괴가 서쪽으로 상승한 역단층으로 알려져 있다(Chang and Chang, 1998; Cheon *et al.*, 2017; Cheon *et al.*, 2019). 모량단층도 양산단층과 유사하게 좌수향과 우수향주향이동성 운동감각을 보이지만, 최후기 운동으로 생각되는 지점-9에서는 우향의 역단층운동으로 단층 하반인 서측지괴가 동쪽으로 상승하였다. 향후 모량단층의 시대별 운동 특성을 규명하여 양산단층과의 기하학적 상관관계 확립뿐 아니라, 양산단층계의 일광, 동래, 밀양, 그리고 자인 단층에 대한 심도 있는 연구와 이들 통한 한반도 남동부의 지구조 운동사 규명이 필요하다.

Acknowledgment

본 연구의 야외조사에 많은 도움을 주신 한국지질자원 연구원의 이봉주회원과 한국환경정책평가연구원의 이영준회원에게 감사드립니다. 이 논문은 한국지질자원 연구원의 과학기술정보통신부 주요사업 “판내부 활성지구조 특성연구 및 단층분절모델개발”(과제코드 GP2020-014/21-3116) 과 국민안전처의 국가개발연구사업인 “한반도 단층구조선의 조사 및 평가기술개발”(과제코드NP2017-037/21-9501) 일환으로 수행되었습니다. 논문에 대한 많은 유익한 조언으로 논문 내용을 한층 더 발전시켜주신 익명의 심사자분들께 감사드립니다.

References

- Bang, K.M. and Woo, S.W. (2000) An Engineering geological study of Moryang Fault for tunnel design. The Journal of Engineering Geology, v.10, p.237-245.
- Chang, C.J. and Chang, T.W. (1998) Movement history of the Yangsan Fault based on Paleostress analysis. The Journal of Engineering Geology, v.8, p.35-49.
- Cheon, Y., Ha, S., Lee, S., Cho, H. and Son, M. (2017) Deformation features and history of the Yangsan Fault Zone in the Eonyang-

- Gyeongju area, SE Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, v.53, p.95-114.
- Cheon, Y., Cho, H., Ha, S., Kang, H-C., Kim, J-S. and Son, M. (2019) Tectonically controlled multiple stages of deformation along the Yangsan Fault zone, SE Korea, since Late Cretaceous. *Journal of Asian Earth Sciences*, v.170, p.188-207. doi: 10.1016/j.jseas.2018.11.003.
- Choi, H.W. and Chang, T.W. (1999) Properties and fractal analysis of joints around the Moryang Fault. *The Journal of Engineering Geology*, v.9, p.119-134.
- Choi, S-J. (2000) Some segments of the middle part of the Moryang Fault. Annual meeting of the Korean Society of Economic and Environmental Geology, Extended Abstract, p.105-106.
- Chwae, U.C., Hong, S.H., Lee, B.J., Hwang, J.H., Park, K.H., Hwang, S.K., Choi, P.Y., Song, K.Y. and Jin, M.S. (1995) Geological map of Korea, 1:1,000,000. Korea Institute of Geology, Mining, and Materials, Daejeon, Korea.
- Chwae, U., Choi, S.-J., Cho, D.R., Lee, Y.J., Ryoo, C.-R., Ko, I.S., Shin, H.M., Song, M.J., Ree J-H., Kwon, S-T, Lee, H-K. and Choi, K-S. (2000) Neotectonics. Korea Institute of Geology, Mining and Materials(KIGAM), Ministry of Science and Technology, N2-01-02-A-01, 589p.
- Jeon, Y.-S., Park, E.H. and Lee, D. (2017) 9.12 Report on earthquake Response. Korea Meteorological Administration, 0-001416-01, 139p.
- Kim, K.B. and Hwang, S.K. (1988) Geological report of the Mirang sheet(scale 1:50,000). Korea Institute of Energy and Resources, 26p.
- Kim, N.J., Kwon, Y.I. and Jin, M.S. (1971) Explanatory text of the Geological map of Moryang Sheet(scale 1:50,000). Geological Survey of Korea, 19p.
- Lee, H.Y. and Kim, S.W. (1964) Explanatory text of the Geological map of Kumhae Sheet(scale 1:50,000). Geological Survey of Korea, 28p.
- Lee, H-K. and Yang, J-S. (2005) ESR dating of the Ilkwang fault. *Journal of the Geological Society of Korea*, v.41, p.369-384.
- Lee, Y.J. and Lee I.K. (1972) Explanatory text of the Geological map of Eon Yang Sheet(scale 1:50,000). Geological Survey of Korea, 22p.