

## 한탄강 세계지질공원 제4기 백의리층의 퇴적환경 해석 및 역 기원지 추정

유지희 · 최형욱 · 문진아 · 정대교 · 김희정<sup>‡</sup>  
강원대학교 지질학과

### Analysis of the origin of gravels and sedimentary environment in the Quaternary Baeguiri Formation, Hantangang River Geopark

Ji-Hee Yu · Hyeong-Wook Choi · Jinah Moon · Daekyo Cheong · Heejung Kim<sup>‡</sup>

*Department of Geology, Kangwon National University, Chuncheon 24341, Republic of Korea*

#### 요 약

한탄강 세계지질공원 일대에 분포하는 신생대 제4기 백의리층은 미고결퇴적층으로, 고생대 데본기 미산층을 경사부정합으로 덮고 있으며, 그 상부는 신생대 제4기 현무암에 의해 피복되어 있다. 백의리층은 현무암에 의해 피복되기 전의 고한탄강 지형을 반영하고 있어 노두의 위치에 따라 퇴적구조가 다르게 나타나는 특징을 보인다. 따라서 이번 연구에서는 현무암에 피복된 백의리층의 조사를 통해 백의리층 형성 당시의 과거 퇴적환경을 추정하는 것에 목적을 두었다. 연구를 위해 고문리, 은대리, 장진교, 백의교, 한탄강댐 총 5개의 노두를 선정하였다. 연구결과 역으로 구성된 백의리층 이외에도 점토 및 세립질~중립질의 모래로 구성된 백의리층 등 다양한 유형의 퇴적층이 발견되었다. 이는 백의리층의 각 노두별로 사태, 사태로 인한 퇴적물 구름의 형성, 하도 형태의 변화 등에 의하여 형성된 것으로 추정된다. 대부분의 역의 경우 노두에서 20 km 이내에 위치한 기반암과 각각 대비 가능하였으며, 각 노두의 조사결과를 종합하여 백의리층의 퇴적환경을 하성환경으로 해석할 수 있었다.

**주요어:** 미고결퇴적층, 한탄강, 하성퇴적환경, 백의리층, 신생대 제4기

**ABSTRACT:** The Quaternary Baeguiri Formation, distributed in the UNESCO Hantangang River Global Geopark, is a formation characterized by unconsolidated sediments. This formation overlies the Devonian Misan Formation marked by an angular unconformity, and is underlain by the Quaternary basalt. The Baeguiri Formation reflects the paleo-topography of the Hantan River before the emplacement of basalt, showing different sedimentary structures depending on the location. This study attempts to identify the sedimentary environment of the Baeguiri Formation by investigating the exposures overlain by basalt. Five sites, including Gomunri (G), Eundaeri (E), Jangjingyo (J), Baeguigyo (B), and Hantangang Dam (HD), were selected. Various types of sedimentary layers were observed, including a layer composed of clay and fine-coarse grain sand, in addition to layers composed of gravel in the Baeguiri Formation. These layers are proposed to have been formed by slumping, the formation of sedimentary dunes by the slumping, and the change in the shape of the channel. Most of the gravels were comparable with bedrock within 20 km, and the sedimentary environment of the Baeguiri Formation could be interpreted as a fluvial environment by synthesizing the survey results of each site.

**Key words:** unconsolidated sediments, Hantangang-River, fluvial environment, Baeguiri Formation, Quaternary

<sup>‡</sup>Corresponding author: +82-33-250-8550, E-mail: [hydroqueen@kangwon.ac.kr](mailto:hydroqueen@kangwon.ac.kr)

## 1. 서론

한탄강 유네스코 세계지질공원은 국내에서는 최초로 강을 중심으로 형성된 지질공원으로, 철원 북쪽의 북한 지역에 위치하는 오리산과 680고지에서 발원한 현무암이 고한탄강 일대를 흐르면서 형성된 지형을 중심으로 분포하고 있다(Won, 1983; Won *et al.*, 1990; Lee and Lee, 2002; Lee *et al.*, 2004). 연천, 철원, 포천을 아우르는 한탄강 유역은 제4기 화산활동에 의해 형성된 용암대지를 중심으로 현재와 같은 모습이 되었다. 미고결 신생대 후기 퇴적층이 단단한 현무암 하부에 분포하는 양상은 국내 내륙에서는 한탄강 일대에서 밖에 나타나지 않는 매우 특이한 현상으로 지질 교육적 가치를 인정받아 한탄강 유네스코세계지질공원의 지질명소로 등록되었으며, 2020년 유네스코의 인증을 받아 세계지질공원으로 등재되기 이전부터 지금까지 한탄강 일대에 대하여 많은 선행연구가 진행되었다. 대표적으로 한탄강 일대를 피복한 두꺼운 현무암질 용암은 한번에 피복된 것이 아닌 여러 차례에 걸쳐 한탄강 일대를 덮었을 것으로 보고된 바 있으며(Lee *et al.*, 2020), 한탄강 일대 현무암에 대하여 머신러닝을 활용한 화산지반 표면변형 시물레이션 연구(Fadhillah *et al.*, 2022), 시물레이션을 이용한 화산분출 추정연구(Hakim *et al.*, 2022), K-Ar 연대측정을 통한 전곡지역 제4기 현무암 연대측정(Ryu *et al.*, 2011),  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  연대측정을 통한 현무암 연대측정(Kim *et al.*, 2014) 등 다양한 연구들이 이루어졌다. 화성암석학적 연구 이외에도 국내에는 한탄강에서만 서식하는 물거미의 수생태연구가 보고된 바 있다(Lee *et al.*, 2016; Moon *et al.*, 2022). 선행연구를 통해 제시된 현무암 연대측정 결과, Yi (1989)는 한탄강변 현무암괴에서의 K-Ar 연대측정을 통해  $2.9 \pm 0.3$  Ma를 제시하였고, Seong (2007)은 방사성 우주기원 동위원소  $^{10}\text{Be}$ 와  $^{26}\text{Al}$ 을 통한 연대측정 결과 전곡일대를 덮은 최초의 현무암 연령을 약 48만년 전으로 제시한 바 있다.

백의리층은 위에서 제시된 제4기 현무암의 분출 이전에 퇴적된 것으로 추정되며(Lee and Lee, 2013), 과거 고한탄강 하안에 퇴적된 하천 퇴적층으로 추정되었다(Won *et al.*, 1987; Lee and Choe, 2003). Lee *et al.* (1983)은 한탄강 유역의 용암대지를 형성한 현무암의 직하부에 존재하는 얇은 제4기 미고결

하성퇴적층을 ‘백의리층’이라고 명명하였으며, Kee *et al.* (2008)은 이 퇴적층은 역과 모래 등으로 구성되어 있고 역들은 대체로 원마도가 양호하며 일부는 각형을 이룬다고 보고하였다. Cheong *et al.* (2021)은 백의리층을 현무암질 용암이 덮으면서 현재 한탄강의 유로가 과거 한탄강의 유로와는 달라지는 등의 하도 형태와 유수의 방향에 변화가 있었던 것으로 추정하였다. Lee *et al.* (2001c)은 한탄강 일대의 신생대 제4기의 용암류가 흐른 뒤 지류의 하곡을 메워 용암대를 형성하면서 현무암층 위에 고호소층이 퇴적되었다고 주장한 바 있으며, 제4기 현무암 사이에 퇴적된 세립질의 퇴적층을 백의리층이라고 봐야 할 것인가에 대해 이의를 제기한 바 있다.

백의리층은 하성환경에서 퇴적된 역층으로 대표된다. 하지만 이번 논문 작성을 위해 야외지질조사를 실시한 결과 역으로 구성된 층 이외에도 사질과 이질의 퇴적물로 구성되어 있는 층 등 다양한 유형이 발견되었으며, 각각 발견되는 노두의 위치에 따라 퇴적구조와 조직 등이 다르게 나타나는 특징을 확인하였다.

최근 한탄강 일대의 현무암 연대와 관련된 연구는 다양하게 진행되고 있으나, 백의리층에 대한 상세한 연구는 아직 부족한 상태이며, 용암이 피복하기 이전의 한탄강 일대 퇴적환경 복원을 위해서는 백의리층에 대한 더 많은 연구가 필요하다. 이번 연구에서는 고한탄강을 통해 퇴적된 제4기 미고결퇴적층의 각 노두 사이의 특징을 비교하여 역의 기원지를 파악하고 과거 퇴적 당시 퇴적기작을 해석하여 이를 바탕으로 퇴적환경을 추정하고자 하였다.

## 2. 지질개요

연구지역인 경기도 연천군 일대는 지체구조적으로 경기육괴와 임진강대가 서로 접하는 경계부에 위치하고 있으며(Kee *et al.*, 2008), 한탄강이 북동동남서서 방향으로 흘러 임진강과 합류하고 있다(Kim *et al.*, 2004). 고원생대 장락층군, 고생대 연천층군, 중생대 김포층군, 철원층군 등 다양한 암상이 나타나며(그림 1), 추가령 구조곡에 해당하여 전곡단층, 동두천단층 등의 단층대가 존재한다(Lee *et al.*, 2001b; Kee *et al.*, 2008). 한탄강 일대의 용암류는 추가령 구조곡의 주 방향(Lee *et al.*, 2001a; Lee and Kim,

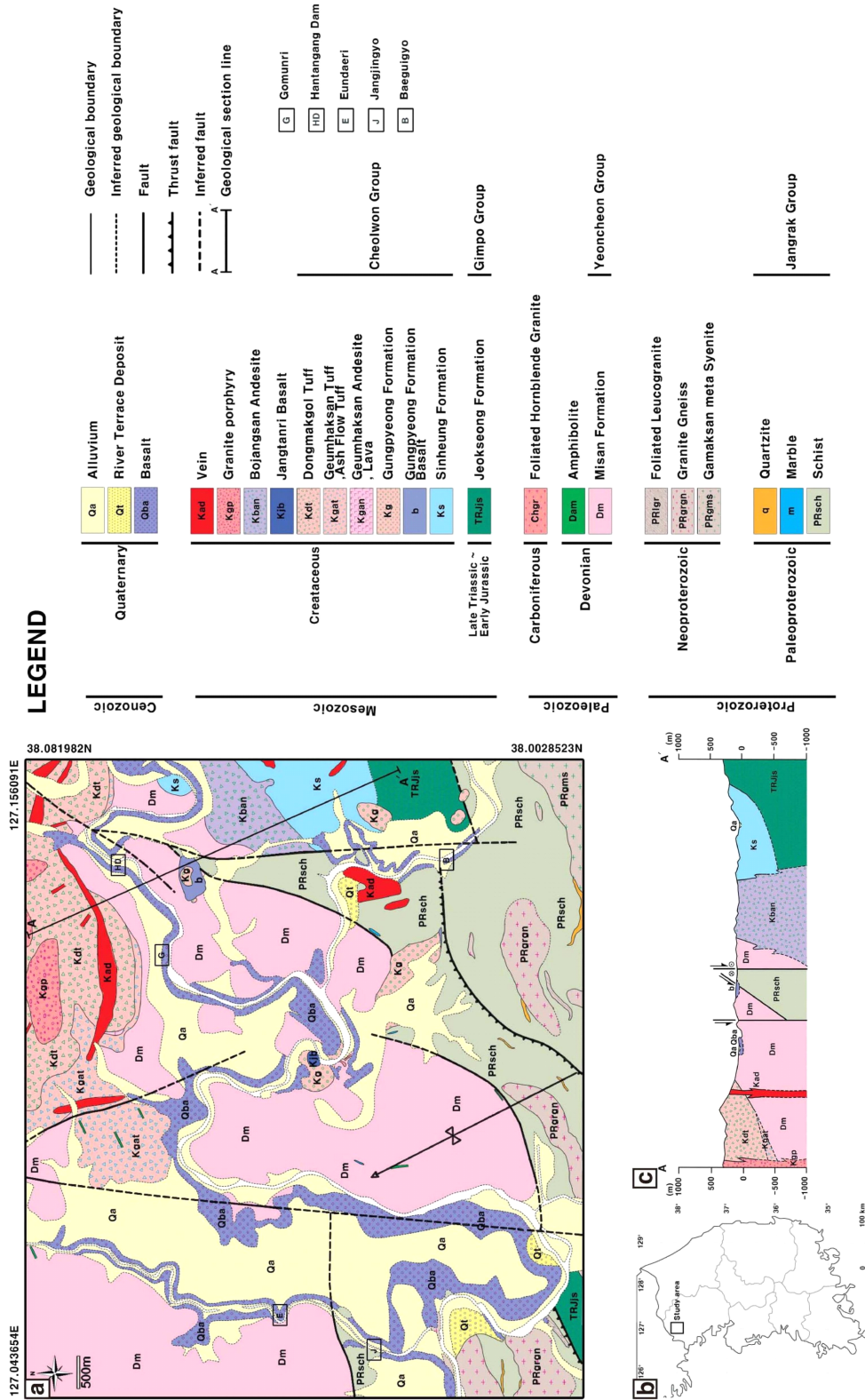


Fig. 1. Location and geological map of study area. (a) Geological map of the study area. (b) Location of study areas in the mid Korean Peninsula. (c) A-A' cross section (modified from Kee *et al.*, 2008).

2002)에 따라 열하분출의 형태로 흘러내려 임진강까지 닿은 것으로 보고되었다(Won, 1983).

연구지역 일대의 지질은 선캄브리아시대 경기변성암복합체에 속하는 화강편마암과 편암 그리고 고생대 중기의 연천층군 편마암류가 협재되어 있고(Lee *et al.*, 2007; Lee and Lee, 2013), 선캄브리아시대 경기변성암 복합체 사이로 추가령 열곡이 지나고 있다(Lee *et al.*, 2004).

연천군 일대의 백의리층은 고생대 데본기 연천층군 미산층 상부에 경사부정합으로 놓여있으며, 백의리층의 상부에는 신생대 제4기 현무암이 피복하고 있다(Kee *et al.*, 2008).

### 3. 연구지역 및 연구방법

이번 논문의 연구지역은 행정구역상 경기도 연천군 연천읍 고문리, 전곡읍 은대리, 청산면 백의리, 연천읍 부곡리 일대이며 좌표상으로 북위 38° 01' 43" ~ 38° 03' 58", 동경 127° 02' 59" ~ 127° 08' 19"이다(그림 1). 연구대상인 백의리층 노두는 G(고문리), E(은대리), J(장진교), B(백의교), HD(한탄강댐)으로 총 5개로서, 조사 노두는 선행연구를 참고하여 직접 탐사를 통해 선별하였다.

백의리층의 각 노두에서는 역과 기질의 입도, 조직을 기록하였으며, 클리노컴퍼스를 이용하여 역의 장축 및 인편(imbrication)구조 등의 선구조를 측정하였고, 노두 사진촬영 및 스케치 그리고 주상도를 작성하였다. 백의리층에 포함된 역들의 암상을 조사하기 위해 역 시료를 채취하였으며, 기질의 성분과 입도분석을 위해 기질 시료를 채취하였다. 또한, 각 노두별 특성을 관찰하기 위해 노두별로 80×80 cm<sup>2</sup>의 구역을 설정하여 4 cm 이상인 역의 크기, 원마도, 구형도, 성분 등을 기록하였으며 총 504개의 역을 세부조사 및 샘플링 하였다. 역의 크기는 노출된 역의 장축의 길이를 측정하였고, 구형도는 장축/단축의 비를 이용하여 1:1에 가까운 경우 높음(high), 2:1보다 큰 경우는 낮음(low)으로 작은 경우 중간(middle)으로 기재하였다. 퇴적상 분류는 모든 조사지역에서 실시하였으며, 퇴적상 조합의 경우 다른 노두에 비해 다양한 상조합이 관찰된 J 노두에 대하여 중점적으로 기재하였다.

야외조사에서 채취한 역을 이용하여 박편 및 슬

랩(slab)을 제작하였고, 이를 이용하여 암석을 분류하고 야외조사에서 육안으로 관찰하지 못했던 암석학적 특징을 관찰하였다. 관찰한 역의 특징과 지질도를 이용하여 백의리층 내 역의 기원지를 추정하였다. 또한, 채취한 기질을 sieve를 이용하여 2 mm를 기준으로 나누었으며, 2 mm 이상의 입자들은 성분 조사를 위해 박편을 제작 및 관찰하였고, 2 mm 이하의 입자들은 입도분석을 위해 30% 과산화수소수와 30% 염산을 이용한 전처리 과정을 거쳐 강원대학교 공동실험실습관에 있는 입도분석기(Mastersizer 3000, malvern instrument Ltd.)를 이용하여 입도분석을 실시하였다. 이후 Folk and Ward의 방법을 참고하여 입도분석 결과를 도시하고 해석하였다.

### 4. 결과 및 토의

#### 4.1 G 노두(고문리)

G 노두의 규모는 너비 39 m, 높이 1 m이며, 횡적으로 총 8개의 세부 site로 나누어 조사하였다(그림 2a, 5a, 5b). 모두 역지 역암층으로 구성되며 역들의 주요 조성은 화강암, 편마암, 편암, 응회암, 조립질 사암, 규암, 이암, 각섬암의 다양한 암상으로 구성되어 있다. Folk and Ward (1957)가 제시한 원마도와 구형도 기준표에 따라 암상별로 원마도를 분류한 결과 응회암은 각형에 속했으며 화강암은 아원형, 편마암류와 각섬암은 각형과 아원형, 이암과 조립질 사암은 원형으로 구성되는 것으로 나타났다. 기존 연구 결과 백의리층은 원마도가 양호한 미고결 사력층으로 조사된 바 있으며(Lee and Choe, 2003), G 노두에서 측정한 역들의 원마도는 원형이 가장 우세한 것으로 나타났으며, 각형이 뒤를 이었다(그림 3a). 구형도는 낮음이 매우 우세하게 나타나는 경향을 보였으며, 역의 평균 장축 길이는 7.78 cm로 조사되었다(그림 3a).

G 노두는 하부에서 상부로 갈수록 구간별로 인편 구조와 정향배열이 뚜렷하게 나타나는 경향성을 보인다. 이는 1차적으로 가장 하부에 역이 쌓인 후 유수가 감소하면서 모래가 운반되어 기질로 채웠고, 그 이후 다시 유속이 증가하면서 역이 채우고 기질이 쌓이는 방식이 반복되어 형성되었기 때문에 인편 구조와 정향배열이 구간별로 뚜렷하게 나타난다고 추정되며, 이는 유속이 지속적으로 변하는 환경이었



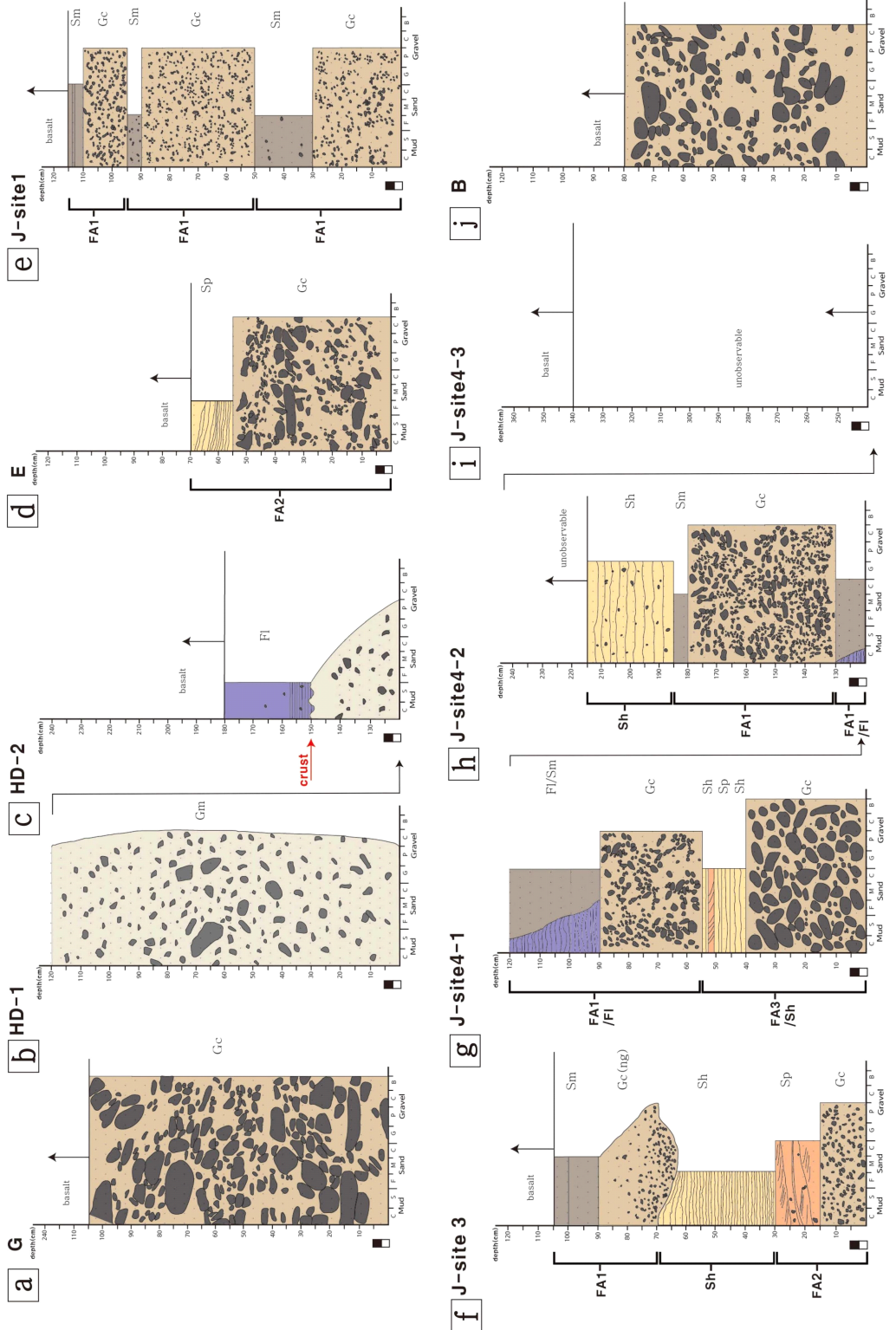


Fig. 2. Geological column of each outcrop. (a) Outcrop G. (b, c) Outcrop HD. (d) Outcrop E. (e) Outcrop J-site 1. (f) Outcrop J-site 3. (g~i) Outcrop J-site 4. (j) Outcrop B.

음을 지시한다. G 노두 기질의 입도분석 결과 조립질 모래 크기의 입자가 최빈값을 보였으며, 양성왜도 분포를 보였다(그림 4a). 따라서 하성퇴적환경 중 하천의 중앙부에서 퇴적된 것으로 추정하였다. G 노두의 주요한 특징으로는 노두의 동에서 서쪽으로 이동하며 노두의 동쪽 30 m 이후 지점으로 갈수록 역의 원마도와 분급이 나빠진다는 점이다(그림 5a). 이는 하성퇴적환경에서 하천의 중앙부에서 원마도가 좋은 역층의 퇴적이 일어나는 동안 근처에서 사태가 일어나 각력암층을 혼재시키며 퇴적된 것으로 추정된다. 이로 인해 노두의 서쪽부터 급격하게 각력암이 우세하게 분포하게 된 것으로 해석된다.

4.2 HD 노두(한탄강 댐)

HD 노두의 규모는 너비 약 5.5 m, 높이 약 1.8 m 이다(그림 2c, 2d, 5d). 하부에서는 기질지지 역암층의 구조를 보이며 상부로 갈수록 역의 크기와 함량, 기질의 입도가 감소하고 150 cm 구역을 전후로 연장성을 보이는 붉은 색의 크리스트(crust)가 나타난

다(그림 2c, 2d, 5c, 5d, 5e). 크리스트의 상부에는 주로 실트와 점토로 이루어진 엽층리를 보이는 세립질 퇴적층이 나타난다.

역들의 주요 암상은 안구상 편마암과 조립질 사암, 화강암, 퇴적기원 변성암으로 구성되며 안구상 편마암은 아원형, 조립질 사암은 아각형, 화강암은 아각형~각형, 퇴적기원 변성암은 아원형과 아각형을 보인다. HD 노두에서 측정된 역들의 원마도는 각형이 매우 우세하였으며, 구형도는 낮음이 우세하게 나타나는 경향을 보였고, 역의 평균 크기는 약 6.92 cm로 측정되었다(그림 3b). 크기별 원마도 분석 결과 역시 평균 크기 이상과 이하 모두 각형~아각형이 우세하게 나타나는 경향성을 보였다.

HD의 기질 입도분석 결과 하부 기질지지 역층(45 cm 구간), 상부 기질지지 역층(130 cm~40 cm 구간), 크리스트 위 세립질 퇴적층(150 cm~180 cm 구간)의 세 그래프의 피크점이 비슷하게 나타났으며, 세 그래프 모두 양성왜도 형태를 보였다. 하부에서 상부로 갈수록 세립질 모래에 해당하는 입자의 비율

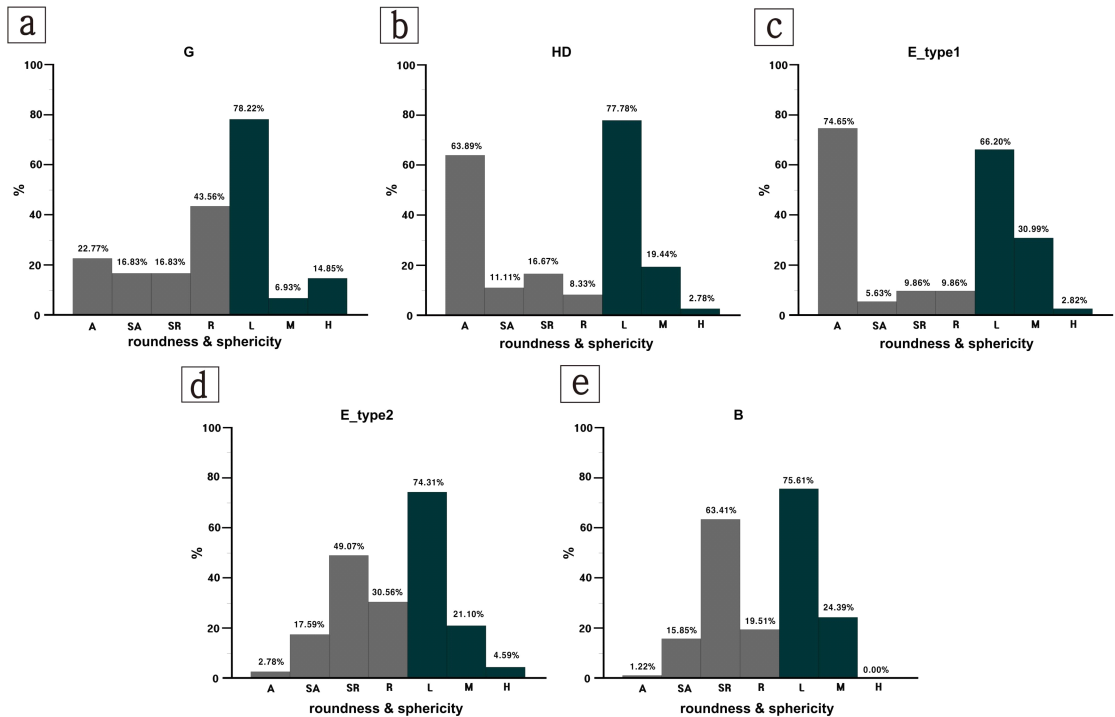


Fig. 3. Roundness and sphericity of each outcrop. The gray and black colors represent roundness and sphericity, respectively. A=Angular, SA=Subangular, SR=Subrounded, R=Rounded, L=Low, M=Middle, H=High (a) Outcrop G. (b) Outcrop HD. (c) Outcrop E-type1. (d) Outcrop E-type 2. (e) Outcrop B.

이 줄어들고 실트와 점토에 해당하는 입자의 비율이 증가하는 경향을 보인다(그림 4b). HD 노두의 주된 특징으로 150 cm 부근의 크리스트 이전까지를 육안으로 관찰했을 때, 기질지 역층 내에서 층리와 같은 뚜렷한 층의 경계가 관찰되지 않았다. 또한, 기질지 역층의 하부에서 상부로 가까워질수록 역의 크기와 개수가 감소하고, 기질의 실트와 점토의 비율이 증가하는 특성을 보인다. 이는 크리스트의 하부에 있는 층이 급격하게 무너지는 사태에 의해서 퇴적되었으며 이후, 서서히 유속이 줄어드는 환경이었음을 지시한다. 종합적으로 HD 노두는 근처에서 일어난 사태에 의하여 급격하게 퇴적되면서 기질지 역층이 퇴적되었고(Lee, 2015), 사태로 인한 급격한

퇴적물의 공급으로 인해 하도가 막히며 범람원이 형성되었을 것으로 해석된다. 범람 이후 잔잔한 환경에서 실리카와 같은 성분들이 침전된 후 수위가 강하면서 공기 중에 노출되어 산화철이 교질물을 형성하며 딱딱한 크리스트를 형성하였고, 이후 퇴적층의 상부까지 물이 잔잔하게 차 있는 저에너지 환경에서 층리를 보이는 세립질 퇴적층이 형성된 것으로 추정된다.

4.3 E 노두(은대리)

E 노두의 규모는 너비 43 m, 높이 0.9 m이다. 형적으로 총 7개의 세부 site로 나누어 조사를 실시하였으며, E 노두에서는 각력이 우세하게 나타나는 특

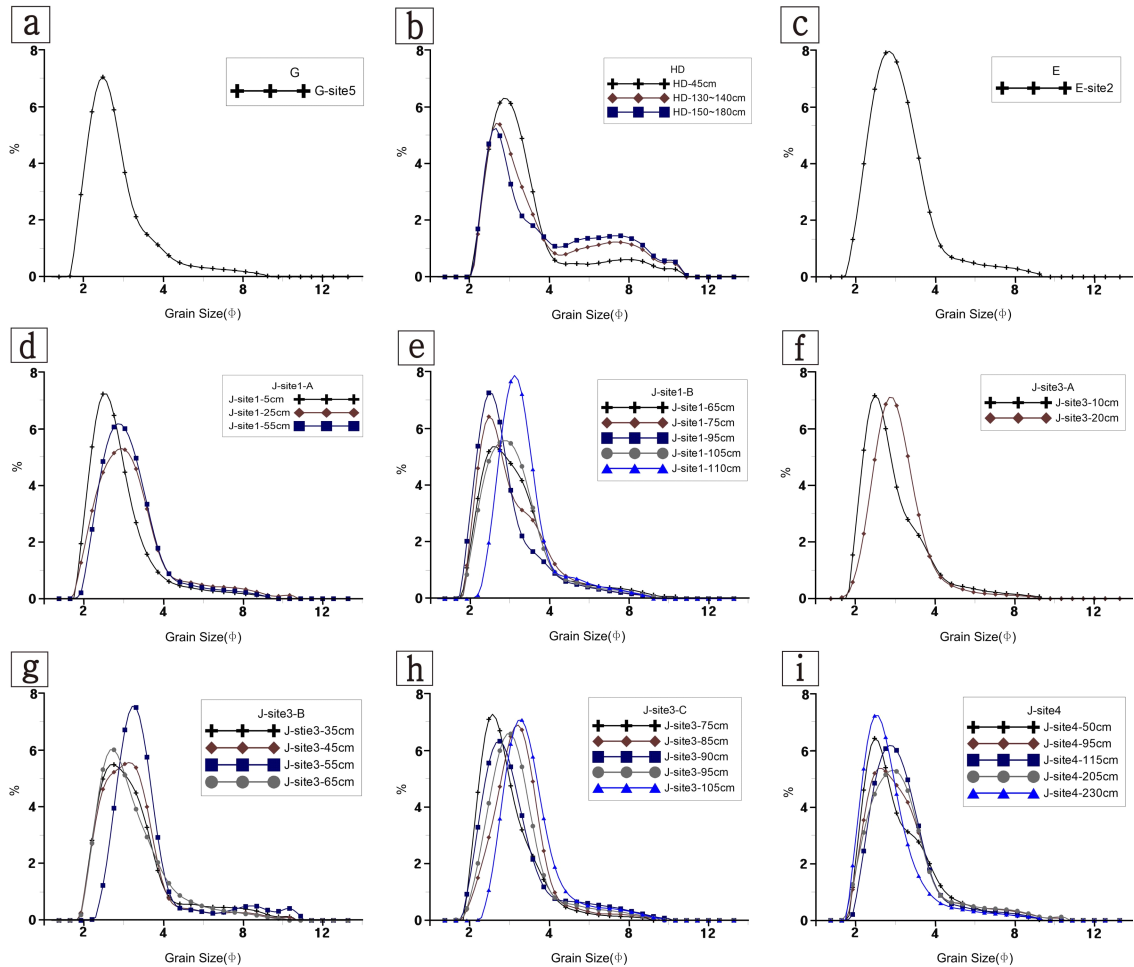


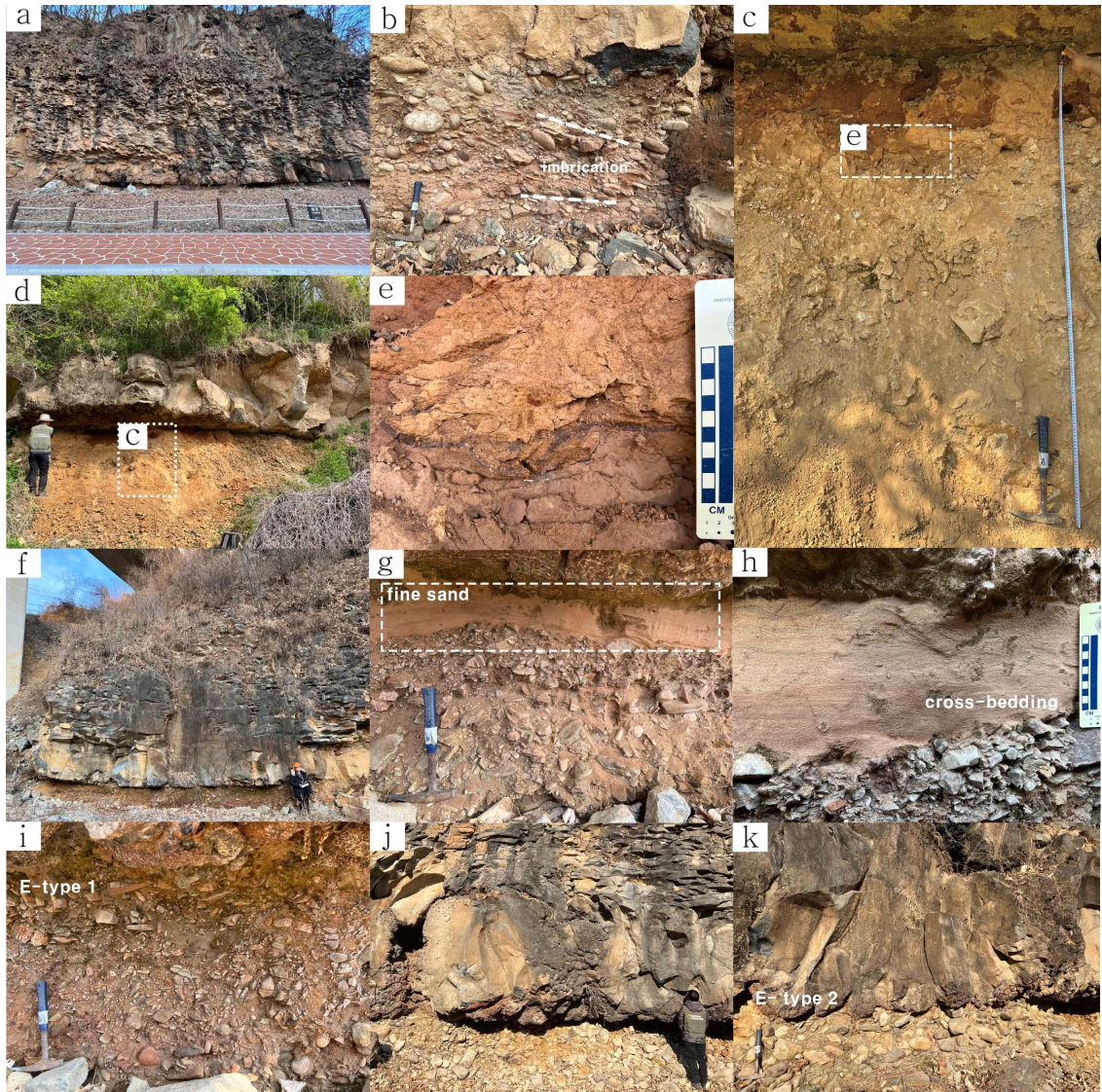
Fig. 4. Result of grain size analysis of each outcrop. (a) Outcrop G. (b) Outcrop HD. (c) Outcrop E. (d, e) Outcrop J-site 1. (f ~ h) Outcrop J-site 3. (i) Outcrop J-site 4.



징과 원형-아원형의 역이 우세하게 발달하여 있는 특징을 토대로 노두를 2가지 Type으로 분류하였다. 노두의 북서쪽으로부터 15 m까지 각력암이 우세하게 나타나는 구간을 Type-1으로(그림 2b, 5f, 5g, 5h, 5i), 원형-아원형이 우세하게 나타나는 16 m~40 m까지를 Type-2로 분류하였다(그림 5j, 5k). 두 타입 모두 역지 역암의 조직을 갖는다. 역들의 주요 암

상은 화강암, 사암, 편암, 운모편암, 역암, 석영맥 기원암, 변성 흑운모화강암으로 구성되어 있으며, Type-1의 각력암층의 역들은 주로 편암과 사암으로 구성되어 있다.

Type-1의 역의 세부조사 결과 원마도는 각형이 매우 우세하였으며, 구형도는 낮음이 매우 우세하게 나타나는 경향을 보였고, 역의 평균 크기는 6.95 cm



**Fig. 5.** Photographs of each outcrop. (a) Outcrop G. (b) Clast-supported conglomerate with imbrication structure of outcrop G. (c) Matrix-supported conglomerate of outcrop HD. (d) Outcrop HD. (e) Crust of outcrop HD. (f) Outcrop E-type 1. (g) Outcrop E-type 1. Fine sand layer above Clast-supported conglomerate. (h) Fine sand with cross-bedding of outcrop E-type 1. (i) Clast-supported conglomerate of outcrop E-type 1. (j) Outcrop E-type 2. (k) Outcrop E-type 2.

로 나타났다(그림 3c). Type-2의 원마도는 아원형이 매우 우세하였고 원형이 그 뒤를 이었으며, 구형도는 낮음이 우세하였고, 역의 평균 크기는 9.36 cm로 측정되었다(그림 3d).

Type-2에서는 인편구조가 잘 나타났으며, 인편구조 측정 결과 N86° W/29° SW로 측정되었다. 이를 통해 퇴적 당시 고수류의 방향은 NW에서 SE 방향이었을 것으로 추정되며(그림 5k), 사층리로 유추한 고수류의 방향과 동일하다. Type-1에 대한 기질의 입도분석 결과 중립질 모래의 입도를 보이는 입자가 최빈값을 보였으며 양성왜도 분포를 보였다(그림 4c). E의 주된 특징으로 Type-1의 각력암층 위로 사층리가 발달된 세립질 퇴적층이 약 15 cm 두께로 5 m의 측방연장성을 가지고 관찰된다(그림 5g, 5h). 이는 Type-2의 크고 원마도가 좋은 역이 하천의 중앙부에서 퇴적된 이후 하도의 가장자리 부근에서 사태가 발생하여 각력암이 혼재되는 Type-1을 형성하였기 때문으로 추정된다(그림 5i, 5k). 사태에 의한 퇴적물의 공급으로 인해 하천 내에서 interdune 또는 interbar와 같은 환경이 형성되었고, 이로 인해 두 퇴적물 구릉 사이 잔잔한 환경이 조성되면서 두 구릉 사이의 공간에 세립질 퇴적물을 퇴적시킨 것으로 해석된다.

#### 4.4 J 노두(장진교)

J 노두의 규모는 너비 약 18 m, 높이 약 3.4 m로, 다른 노두에 비하여 층후가 두껍다. 노두 내에서 백의리층은 전체적으로 기반암과 현무암의 사이에 끼어있는 모습을 보이며, 이는 백의리층 퇴적 후 제4기 현무암이 덮으면서 현무암의 무게에 의하여 눌러 그 아래의 퇴적층이 불룩한 모양을 이루게 된 것으로 해석된다(그림 6d). J 노두에서는 다른 노두와 다르게 역지지 역층, 과상의 모래층, 수평층리를 보이는 모래층. 수평층리를 보이는 실트~점토층 등 다양한 유형의 퇴적층이 나타난다. J-site 1, 3, 4로 나누어 기재하였으며 이들은 모두 수평적으로 대비된다. 그 중에서도 특징이 가장 잘 드러나는 J-site 4에 대하여 중점적으로 기재하였다.

##### 4.4.1 J-site 1

J-site 1은 역지지 역층(Gc)과 과상의 모래층(Sm)이 교호하며 나타나는 특징을 보인다(그림 2c, 6e).

이는 하도 내에서 역지지 역층이 퇴적된 이후 모래가 재퇴적되는 환경이 반복적으로 나타난 것으로 추정된다. 역지지 역층의 역의 최대 크기는 2~4 cm이고, 낮음~중간의 구형도를 보이며, 원마도는 각형~아각형이 우세하다. 역지지 역층의 기질의 경우 주로 중립질~조립질 모래의 입도를 보인다. J-site 1의 기질 박편 관찰 결과, 입자의 구성광물로 석영이 우세하고, 흑운모, 장석 순으로 우세하게 나타나며, 편리구조를 보이는 암편이 다량 관찰되었다. 기질의 입도분석 결과 역지지 역층에서 모래층으로 갈 때 입도가 감소하는 모습을 보였으며, 같은 층 내에서는 상부로 갈수록 침도가 높아지는 경향성을 확인하였다(그림 4d, 4e).

##### 4.4.2 J-site 3

J-site 3은 역지지 역층(Gc), 사층리를 보이는 모래층(Sp), 수평층리를 보이는 모래층(Sh), 과상의 모래층(Sm)으로 구성되어 있다(그림 2f, 6f). 최하부의 역지지 역층의 역의 최대크기는 2~4 cm이고 각형~아원형으로 다양한 형태를 보인다. 역들의 구형도는 낮음~중간, 기질은 중립질~조립질 모래로 구성되어 있다. J-site 3 기질의 박편 관찰 결과 구성광물은 석영이 우세하며, 백운모와 장석은 소량을 차지하였고, J-site 1과 마찬가지로 편리구조를 보이는 암편이 다량 관찰되었다. 기질의 입도분석 결과 역지지 역층에서 모래층으로 갈 때 입도가 감소하는 모습을 보였으며, 모래층 내에서는 입도가 감소한 후 증가하는 경향성이 확인되었다(그림 4f, 4g, 4h).

J-site 3은 하도 내에서 역지지 역층이 퇴적된 이후 곧은 하도에서 사행하도로 변하는 등의 하도의 변화로 인해 사구 또는 포인트바가 형성되었으며, 이후 하도 내의 수심이 깊은 곳에서 세립질의 모래층이 퇴적되고 이후 유속의 변화로 역지지 역층이 쌓인 이후 모래가 재퇴적된 것으로 추정된다.

##### 4.4.3 J-site 4

J-site 4는 역지지 역층(Gc), 수평층리를 보이는 모래층(Sh), 과상의 모래층(Sm), 수평층리를 보이는 점토층(Fl)으로 구성된다(그림 2g, 2h, 2i, 6g). 최하부의 역지지 역층의 경우 역의 최대 크기는 27 cm이며, 역들의 원마도는 원형~아원형으로 구성되며, 구형도는 낮음이 우세하다. 이 역지지 역층내 역들의

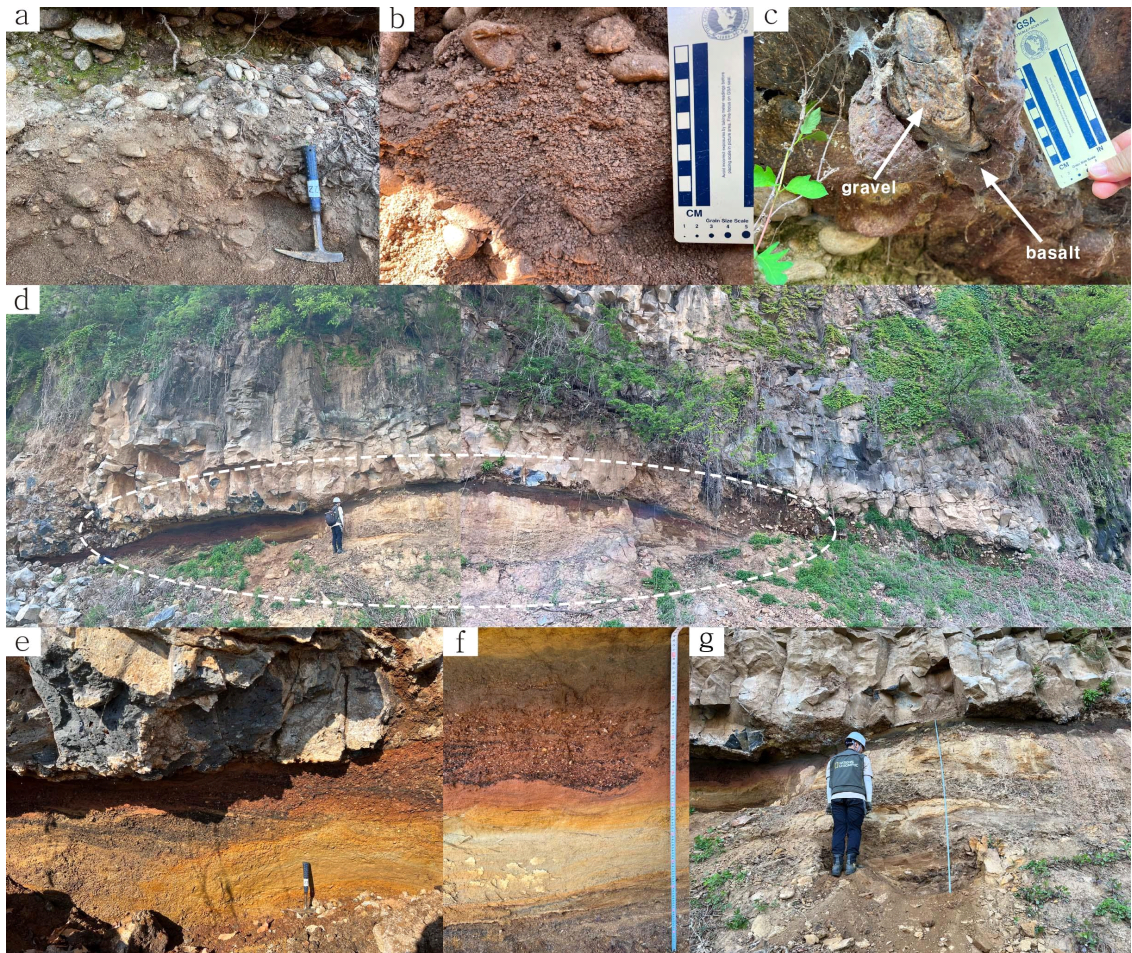


주요 암상은 퇴적 기원 변성암과 이암으로 구성되어 있으며 각각 원형과 아원형으로 관찰되었다. 주상도의 40~55 cm 구간의 수평층리를 보이는 모래층은 중립질~조립질 모래의 입도를 보인다(그림 2g). 55~90 cm 구간의 역지 역층의 역의 크기는 2 cm 내외로 구성되며, 그 기질은 중립질~조립질 모래의 입도를 보인다(그림 2g). 90~130 cm 구간은 괴상의 모래층과 층리를 보이는 세립질층이 핀치아웃(pincho out)의 형태로 나타나며, 모래층의 경우 중립질~조립질 모래, 세립질층의 경우 실트~세립질 모래의 입도를 보였다(그림 2g, 2h). 130~180 cm 구간은 다시 역지 역층이 나타나며, 역의 최대크기는 8 cm 이고, 기질은 세립질~중립질 모래의 입도를 보였다

(그림 2h). 180~185 cm는 괴상의 모래층이 나타나며, 185 cm 이상의 구간부터는 소량의 잔자갈(granule)~큰자갈(cobble)을 포함한 역과 층리를 갖는 모래층이 나타난다(그림 2h).

J-site 4의 기질 입도분석 결과 대부분의 지점에서 양성왜도를 보이는 유니모달(unimodal)의 형태로 나타났다. 95 cm 지점과 205 cm 지점의 입도분석 결과의 피크점과 비율이 유사하게 나타났으며, 50 cm 지점의 모래층은 침도가 매우 높은 특성을 보였고, 230 cm 지점은 205 cm 지점에 비해 입도가 감소한 모습을 보였다(그림 4i).

J-site 4는 최하부의 역지 역층 바로 위를 기점으로 퇴적물의 입도양상이 중립질~조립질의 모래



**Fig. 6.** Photographs of each outcrop. (a) Outcrop B. (b) Matrix of outcrop B. (c) Captured gravel in lava. (d) Outcrop J. The J site is observed convexly between the underlying Misan Formation and the overlying basalt. (e) Outcrop J-site 1. (f) Outcrop J-site 3. (g) Outcrop J-site 4.



로 변화하였으며, 최하부 역지 역층은 수평적 관계에 있는 J-site 1, 3에는 관찰되지 않는 특성이기 때문에 최하부의 역지 역층의 퇴적 이후 하도의 형태가 직류하도에서 곡류하도로 변화하였던 것으로 추정된다. 또한, 상부유권(upper flow regime) 조건에서 수평층리를 보이는 모래층이 퇴적되었으며, 유속의 증가로 인해 역지 역층과 모래층이 퇴적된 것으로 추정된다. 이후에 하도 내에 장애가 발생하여, 하도의 깊은 구역에서 뜬짐의 퇴적에 의해 점토층이 퇴적되었으며 이후에는 유속의 변화로 인해 다양한 퇴적작용이 반복된 것으로 보인다.

**4.4.4 J노두 전체해석**

J 노두는 입도분석 결과 전체적으로 양성왜도를 보이며, 이는 전형적인 하성퇴적환경 퇴적층으로 해석된다. 초기에는 E 노두 Type-2, G 노두와 같은 큰 자갈~왕자갈로 이루어진 역지 역층이 퇴적되었으나, 유속이 약해진 이후, 모래층과 증자갈(pebble) 크기의 역을 포함한 역지 역층이 반복적으로 나타난다. 최하부의 역지 역층이 퇴적될 때와 상부의 모래층과 역지 역층이 퇴적될 때의 유속은 완전히 달랐던 것으로 추정되며, 이는 노두 규모에서 직류하도에서 곡류하도로 바뀌는 하도 형태에 변화가 있었기 때문으로 추정하였다(그림 7).

**4.5 B 노두(백의교)**

B 노두의 규모는 너비 약 1.7 m, 높이 약 0.8 m 으

로 역지 역층의 구조를 보인다(그림 2j, 6a). B 노두 역의 암상은 화강암이 우세하며, 화강암의 원마도가 원형, 아원형, 아각형까지 다양한 원마도를 보인다. 역의 세부조사 결과 원마도는 아원형이 매우 우세한 경향을 보였으며, 구형도는 낮음이 매우 우세한 경향을 보였고, 역의 평균 크기는 약 7.19 cm로 측정되었다(그림 3e). 크기별 원마도 분석 결과 평균 크기 이상과 이하 모두 원형~아원형이 우세하게 나타나며, 평균 크기 이하에서 각형~아각형의 비율이 평균 크기 이상보다 높은 경향을 보인다. 기질의 입도는 최소 1 mm~최대 6 mm로 조립질 모래에서 증자갈에 해당한다(그림 6b). 이는 고한탄강에 의해 퇴적된 다른 G, HD, E, J 노두 퇴적층과는 달리 B 노두를 퇴적시킨 영평천의 고수류의 세기가 강했기 때문으로 추정된다.

B 노두에서는 현무암 클링커 사이에 역이 포획되어 있는 구조가 관찰되었다(그림 6c). 이는 현무암질 용암이 피복할 당시 백의리층에 있는 역의 일부가 현무암에 의해 뜬져 올라가면서 형성된 것으로 해석된다.

**4.6 퇴적상 분류 및 상호합**

각 노두별로 대표적인 구간을 선정하여 암상과 퇴적구조, 조직 등을 기재하고 이러한 특징들을 기준으로 퇴적상을 분류하여 총 7개의 퇴적상으로 구분하였다(표 1). 또한, 퇴적상 분류 결과를 바탕으로 반복적인 산출 정도 및 분포를 고려하여 3개의 퇴적

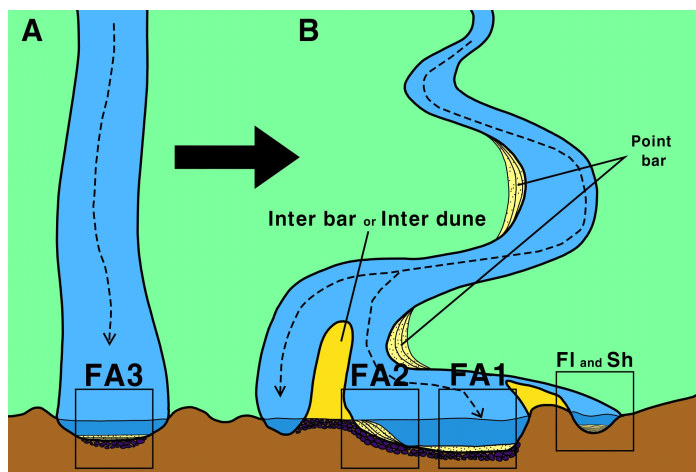


Fig. 7. Schematic depositional model of outcrop J.

**Table 1.** Description and interpretation of facies in the Baeguiri Formation (G, HD, E, J, B outcrops).

Facies code	Description	Interpretation
Gc	Clast-supported Conglomerate	Deposition in the channel by strong current and elimination of matrix
Gc (ng)	Clast-supported Conglomerate with normal grading	Rapid deposition in the channel by strong current
Gm	Matrix-supported Conglomerate	Sediment gravity deposition by slide
Sm	Massive Sandstone	Re-deposition of sand sediments
Sp	Planar-tabular cross stratification Sandstone	Dune, point bar
Sh	Horizontally bedded sandstone	Classification by grain size 1) Deposition in upper flow regime environment (Coarse sandstone) 2) Deposition in weak current environment (Fine grain sandstone)
Fl	Laminated silt~clay	Deposition suspended load in weak current environment

**Table 2.** Facies association of E and J outcrops in the Baeguiri Formation.

Facies association	Unit	Characteristics
FA1	Sm/Gc	Massive sandstone of up to 40 cm above clast-supported conglomerate. no sharp boundary
FA2	Sp/Gc	Cross stratification sandstone above clast-supported conglomerate. sharp boundary
FA3	Sh/Gc	Horizontally bedded sandstone above clast-supported conglomerate. no sharp boundary

상조함으로 나타내었다(표 2).

퇴적상 분류 결과 역지 지 역층(Gc)은 대부분의 노두에서 관찰된다. 빠른 유속에 의한 하도 내에서의 퇴적 및 기질의 탈락에 의해 형성된 것으로 추정되며 G, E, J, B 노두의 최하부에서 산출된다. 기질 지지 역층(Gm)은 슬라이드(slide)에 의한 사태에 의해 급격하게 퇴적되면서 형성된 것으로 추정되며 HD 노두에서만 산출된다. 또한, 해발 고도가 30 m~33 m 내외인 다른 노두들에 비하여 71 m라는 높은 고도에서 산출된다. 상향세립의 역지 지 역층(Gc(ng))은 강한 수류의해 하도 내에서 퇴적된 것으로 추정되며 J-site 3의 상부에서 산출된다. 모래층의 경우 층리의 유무와 층리의 종류에 따라 코드를 구분하였다. 괴상의 모래층(Sm)은 주로 J 노두에서 산출되며 내부에 소량의 역을 포함하고 있다. 사층리를 보이는 모래층(Sp)은 J-site 3과 4의 하부에서 산출되며, E에서 15 cm 두께에 5 m의 연장성을 보였다. 수평 층리를 보이는 모래층(Sh)은 J-site 3과 4에서 산출

되었다. 점토의 경우 수평층리를 보이는 실트 ~ 점토층(Fl)이 관찰되었으며, HD의 최상부와 J-site 4에서 산출되었다. 이는 유속이 느린 정체된 환경에서 뜬짐의 퇴적으로 인해 형성된 것으로 추정된다.

퇴적상 분류 결과를 바탕으로 FA 1, FA 2, FA 3의 층 3개의 상조함으로 구분하였다. FA 1은 역지 지 역층(Gc)과 괴상의 모래층(Sm)으로 구성된다. 이는 J 노두에서 관찰되며, 주로 J-site 1에서 역지 지 역층(Gc)과 괴상의 모래층(Sm)이 반복적으로 교호하며 나타나는 경향을 보인다. 이는 역지 지 역층이 쌓일 당시에는 상대적으로 강한 수류에 의해서 역지 지 역층이 퇴적된 이후 유속이 감소하면서 괴상의 모래층이 형성된 것으로 추정된다. FA 2는 역지 지 역층(Gc)과 그 상부에 사층리를 보이는 모래층(Sp)이 연속적으로 발달되어 있으며, 두 층 사이의 경계가 뚜렷하지 않다. 이는 E와 J-site 3 노두의 하부에서 관찰되며 역지 지 역층의 형성 이후 사구의 형성과 같은 하도 내 환경의 변화로 인해 하도가 막히면서 수

류가 약해지거나 다소 정온한 환경에서 퇴적된 것으로 추정된다. FA 3는 역지 지 역층(Gc)과 그 상부에 수평층리를 보이는 모래층(Sh)으로 구성되어 있으며, 층의 경계가 뚜렷하지 않다. FA 3는 J 노두에서만 관찰되며 FA 3의 상부에 다시 FA 1이 반복되는 경향을 보인다. 이는 FA 3가 형성된 이후 반복적인 유속의 변화가 있었던 것으로 추정된다.

#### 4.7 하천의 기원별 역의 기원지 추정

고한탄강 기원으로 추정되는 G, HD, E, J 노두의 역 기원지를 분석한 암상을 지질도(그림 1) 및 고수류의 방향과 대비시켜 추정하였으며, 암석의 원마도 정보를 종합적으로 판단한 결과 다음과 같은 해석을 도출했다. 화강암은 원마도가 아원형~아각형으로 다양하게 산출되었으며 고수류의 방향을 토대로 추정한 결과 노두의 상류부근에 위치한 북동쪽으로 15 km 이내의 중생대 백악기 명성산화강암 기원으로 추정된다. 응회암은 조사지역의 북쪽으로 주변 3~8 km 이내에 넓게 분포하고 있는 중생대 백악기 동막골응회암 기원, 편암은 한탄강의 상류부근인 북동쪽으로 약 10 km 지점의 고원생대 장락층군 편암기원, 각섬암은 북동쪽으로 12 km 이내의 신원생대 고남산 각섬암에서 기원한 것으로 추정된다. 현무암의 경우 근처 6 km 이내의 동막골응회암 속 화산암편으로 포함되어 있던 중생대 현무암이 백의리층의 퇴적 당시 하천을 통해 유입된 것으로 추정된다. 변성 흑운모 화강암은 북동쪽으로 25 km 이내의 중생대 주라기 흑운모 화강암 기원, 운모편암은 원마도가 아각형~각형이 우세하기 때문에 인근에서 기원한 것으로 추정되며 이는 북쪽으로 15 km 이내의 고생대 데본기 연천층군 미산층 운모편암에서 기원한 것으로 추정된다.

영평천 기원으로 추정되는 B 노두의 역의 기원지는 다음과 같다. 화강암은 동쪽으로 8 km 떨어진 중생대 백악기 명성산화강암 기원, 화강편마암은 동쪽으로 13~15 km 이내의 선캄브리아시대 경기변성암 복합체편마암의 대표암상인 화강편마암에서 기원한 것으로 추정된다.

### 5. 결론

이번 연구에서는 경기도 연천군 일대에 위치하고

있는 신생대 최후기 백의리층의 야외지질조사 결과를 토대로 총 5개의 노두에 대하여 역의 원마도와 구형도, 입도, 퇴적구조, 역의 암상, 기원지 등의 특성을 비교하였다. 모두 제4기에 퇴적된 미고결 하성 퇴적층이라는 공통분모 아래 같은 백의리층으로 명명되고 있으나, 각 노두별로 나타나는 상이한 특징들을 토대로 사태, 범람원, 하도 형태의 변화 등 다양한 퇴적환경과 퇴적작용에 의하여 퇴적된 것으로 해석하였다.

1) G 노두는 고한탄강에 의해 원마도가 좋은 역이 퇴적되었으며, 근처에서 발생한 사태에 의해 각력암이 혼재된 것으로 해석된다.

2) HD 노두는 사태에 의하여 기질지 역층이 퇴적된 이후, 사태에 의한 퇴적물의 급격한 공급으로 인해 정체된 하천환경이 조성되어 세립질 퇴적물이 퇴적되었으며, 상부의 퇴적물이 공기 중으로 드러나면서 산화철에 의해 크리스트가 형성된 것으로 해석된다.

3) E 노두는 Type-2가 퇴적된 후, 사태의 발생으로 인하여 각력암이 혼재되는 Type-1을 형성하였으며 사태에 의한 퇴적물의 유입으로 인해 interdune 또는 interbar와 같은 퇴적물 구릉이 형성되었고, 그 퇴적물 구릉 사이에서 잔잔한 환경이 조성되어 세립질 퇴적물이 침전된 것으로 해석된다.

4) J 노두는 곧은 하도에서 큰자갈에서 왕자갈 크기의 역을 가지는 역층을 퇴적시킨 이후 사행하도환경으로 변해 사층리, 수평층리, 모래층, 역지 지 역층 등 다양한 퇴적구조를 형성한 것으로 해석된다(그림 7).

5) B 노두는 고한탄강에서 퇴적된 다른 노두들과는 달리 영평천에 의해서 퇴적되었다. 다른 노두와 대비해 보면, 조립질 모래에서 역질의 큰 크기의 기질로 구성되며, 제4기 현무암 사이에 포획된 역이 발견되는 등의 특징을 갖는다.

백의리층은 현무암에 의해 피복되기 전의 고한탄강 지형을 반영하고 있어 노두의 위치에 따라 퇴적구조가 다르게 나타나는 특징을 보인다. 따라서 각 노두별 다양한 퇴적작용 및 퇴적환경을 비교해봄으로써 고한탄강의 퇴적학적 특성을 추정해볼 수 있다는 점에서 의의가 있다. 또한, 한탄강 일대를 피복한 현무암에 대한 연구는 활발하게 이루어지고 있는 것과는 달리 백의리층에 대한 상세한 연구는 부족한

실정어기에 백의리층에 대한 더 많은 연구가 이루어질 필요가 있다.

## 감사의 글

이 연구는 2021년 경기도청 한탄강지질공원 학술용역과제와 2023년도 정부 재원의 한국연구재단 ((No.2019R111A2A01057002, No.2019R1A6A1A03033167)의 지원으로 수행되었습니다.

## REFERENCES

- Cheong, D., Lee, G.C., Ahn, H. and Shin, S., 2021, Sedimentary texture and provenance of gravels in the late Quaternary Baeguri Formation along Chatancheon Tributary, Yeoncheon. Annual Conference of the Geological Society of Korea (Abstracts), Jeju, October 26-29, 174 p.
- Fadhillah, M.F., Hakim, W.L., Park, S.J., Kim, D.W., Park, Y.C., Kim, C.H. and Lee, C.W., 2022, Surface deformation simulation for InSAR detection using a machine learning approach on the hantangang river volcanic field: A case study on the orisan mountain. *Frontiers in Environmental Science*, 10, <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.968120>.
- Folk, R.L. and Ward, W.C., 1957, Brazos River bar: a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3-26.
- Hakim, W.L., Ramayanti, S., Park, S.J., Ko, B.Y., Cheong, D.K. and Lee, C.W., 2022, Estimating the Pre-Historical Volcanic Eruption in the Hantangang River Volcanic Field: Experimental and Simulation Study. *Remote Sensing*, 14, 894.
- Kee, W.S., Lim, S.B., Kim, H., Kim, B.C., Hwang, S.K., Song, K.Y. and Kihm, Y.H., 2008, Geological report of the Yeoncheon Sheet scale 1:50,000. *Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources*, 83 p (in Korean with English abstract).
- Kim, B.C., Hwang, J.H., Lee, Y.S., Lee, G.H. and Nahm, W.H., 2004, Paleomagnetic and Soil Chemical Studies on the Quaternary Paleosol Around the Hantan River. *Economic and Environmental Geology*, 37, 325-334 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.M., Choi, J.H., Jeon, S.I., Park, U.J. and Nam, S.S., 2014, <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar Age Determination for the Quaternary Basaltic Rocks in jeongok Area. *The Journal of The Petrological Society of Korea*, 23, 385-391 (in Korean with English abstract).
- Lee, D.S., Ryu, K.J. and Kim, G.H., 1983, Geotectonic Interpretation of Choogaryong Rift Valley, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 19, 19-38 (in Korean with English abstract).
- Lee, M.B. and Choe, H.S., 2003, Stratigraphical Analysis on the Sedimentary Materials of Yulri, Cheolwon in the Chugaryeong Rift Valley, Central Korea. *Journal of the Korean Geomorphological Association*, 10, 1-10 (in Korean with English abstract).
- Lee, M.B. and Kim, N.S., 2002, Analysis of tectonic lineament using Hough transformation and hillshading relief in Chugaryeong rift valley, central Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 38, 457-469 (in Korean with English abstract).
- Lee, M.B., Kim, N.S., Yang, C.S. and Han, U., 2001a, Fractal dimension analysis on the orientation of lineament characteristics of drainage pattern in the Chugaryeong Rift Valley, Central Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 37, 597-609 (in Korean with English abstract).
- Lee, M.B. and Lee, G.L., 2002, Geomorphology and Stratigraphy of Dokseodang River Terrace in the Chugaryeong Rift Valley, Central Korea. *Journal of the Korean Geomorphological Association*, 9, 83-93 (in Korean with English abstract).
- Lee, M.B. and Lee, G.R., 2013, Stratigraphic Analysis on Paleofluvial Outcrop under Jeongok Basalt Layer in the Chugaryeong Rift Valley, Central Korea. *Journal of the Korean Geomorphological Association*, 20, 55-63 (in Korean with English abstract).
- Lee, M.B., Lee, G.R. and Kim, N.S., 2004, Drainage Derangement and Revision by the Formation of Cheolwon-Pyeonggang Lava Plateau in Chugaryeong Rift Valley, Central Korea. *Journal of the Korean Geographical Society*, 39, 833-844 (in Korean with English abstract).
- Lee, M.B., Lee, G.R. and Kim, N.S., 2007, The Origin of Paleo-Lacustrine Deposits at Yeoncheon in Chugaryeong Rift Valley, Central Korea. *Journal of the Korean Geographical Society*, 42, 15-26 (in Korean with English abstract).
- Lee, M.B., Lee, G.R., Yoon, S.O. and Han, J.Y., 2001b, Geomorphic Evidences of Tectonic Activity of Daegwangri Fault Zone in Chugaryeong Rift Valley, Central Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 37, 257-268 (in Korean with English abstract).
- Lee, M.B., Lee, G.R., Yoon, S.O., Hwang, S.I. and Choe, H.S., 2001c, Geomorphostratigraphic Analysis of Confluent Alluvial Fan in Yeoncheon Fault Zone of Chugaryeong Rift Valley, Central Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 37, 345-364 (in Korean with English abstract).
- Lee, M.B., Lee, S.Y., Kim, L.S. and Cha, M.H., 2016, A Study on the Ecological and Geomorphological Environment of the Water Spider (*Argyroneta aquatica*) Habitat on the Jeongok Lava Plateau in Yeoncheon, Central Korea. *Journal of the Korean Geomorphological Association*,

- 23, 85-99 (in Korean with English abstract).
- Lee, M.B., Seong, Y.B. and Lee, G.R., 2020, Formative Age and Process on Basalt of Lava Plateau in the Cheolwon and Yeoncheon Areas, Central Korea. *Journal of the Korean Geomorphological Association*, 27, 41-51 (in Korean with English abstract).
- Lee, Y.I., 2015, *Sedimentary Geology*. Sigma Press, Seoul, 644 p (in Korean).
- Moon, J.A., Kim, H.J. and Ryu, H.S., 2022, Hydroecology of *Argyroneta aquatica*'s Habitat in Hantangang River Geopark, South Korea. *Sustainability*, 14, 4988.
- Ryu, S., Oka, M., Yagi, K., Sakuyama, T. and Itaya, T., 2011, K-Ar ages of the Quaternary basalts in the Jeongok area, the central part of Korean Peninsula. *Geosciences Journal*, 15, 1-8.
- Seong, Y.B., 2007, Burial age dating of geomorphic event using multiple cosmogenic radioactive nuclides: a case study on the first flow of Jeongok basalt over Baekuri Formation. *Journal of the Korean Geomorphological Association*, 14, 101-107 (in Korean with English abstract).
- Won, C.K., 1983, A study on the quaternary volcanism in the Korean peninsula: in the Choogaryong rift valley. *Journal of the Geological Society of Korea*, 19, 159-168 (in Korean with English abstract).
- Won, C.K., Kim, Y.K. and Lee, M.W., 1990, The study on the Geochemistry of Choogaryong Alkali Basalt. *Journal of the Geological Society of Korea*, 26, 70-81 (in Korean with English abstract).
- Won, C.K., Lee, M.G. and Lee, J.G., 1987, Topography Development and Volcanic Activities in the Chugaryeong Rift Valley. Ph.D. thesis, Kangwon National University, Gangwon, 11-45 p.
- Yi, S.B., 1989, A Study on the Paleolith in Northeast Asia. Seoul National University, Seoul, 282 p (in Korean).

---

Received : March 17, 2023  
 Revised : April 21, 2023  
 Accepted : April 21, 2023