



## 진주지역의 진주층에 발달한 함화석층: 산상과 고환경 및 층서적 의미

백인성<sup>1,\*</sup> · 김현주<sup>1</sup> · 김성영<sup>2</sup> · 이정은<sup>1</sup> · 소윤환<sup>1</sup> · 이호일<sup>3</sup>

<sup>1</sup>부경대학교 지구환경과학과

<sup>2</sup>서울대학교 지구환경과학부

<sup>3</sup>한국지질자원연구원

### 요 약

진주시 집현 지역의 진주층 하부와 정촌 지역의 진주층 상부에 발달한 함화석층을 대상으로 퇴적특성과 고환경을 분석하였으며, 이를 바탕으로 기보고된 진주층의 전반적인 퇴적특성 및 화석산출 특성 등과 연계하여 이들 화석층이 가지는 층서적 의미를 해석하였다. 복족류패각화석층과 식물화석층이 나타나는 집현 지역의 함화석층은 하천이 수반된 이질평원과 천호저 기원의 퇴적층으로 해석된다. 집현 지역의 화석층들은 전반적으로 건조한 기후가 우세했던 진주층 하위 하산동층의 퇴적이 끝나고 진주층의 퇴적시기로 넘어오면서 경상분지 내 호수의 확장을 가져 온 습윤기후의 우세한 발달이 시작된 결과로 해석된다. 정촌 지역의 함화석층은 전반적으로 곤충화석층이 반복적으로 발달한 가운데에 염지개와 개형충화석층이 간헐적으로 나타난다. 정촌 지역 화석층의 형성에는 호저로 유입된 저탁류가 전반적으로 영향을 미친 것으로 해석되며, 퇴적과정에는 건조 기후가 발달하는 가운데에 호수환경은 일정기간 지속적으로 유지된 것으로 해석된다. 집현 지역과 정촌 지역 진주층 함화석층의 고환경 특성과 진주층 전반의 층서 특성을 종합적으로 고려할 때, 진주층의 퇴적은 balanced-fill lake 성격의 분지에서 이루어진 것으로 해석된다. 한편 하산동층-진주층-칠곡층 발달과정에서 일어난 경상분지 내 호수의 확장고 축소 기록은 엘비안 초기에 나타나는 온난화-한랭화-온난화의 기록 및 동아시아 지역에서의 건조기후 확장 기록과 연관이 있을 것으로 해석된다.

**주요어:** 진주층, 함화석층, 고환경, 층서, 엘비안

**In Sung Paik, Hyun Joo Kim, Seongyeong Kim, Jeong Eun Lee, Yoon Hwan So and Hoil Lee, 2019, Fossil-bearing deposits in the Jinju Formation at Jinju: Occurrences, paleoenvironments and stratigraphic implications. Journal of the Geological Society of Korea. v. 55, no. 5, p. 513-530**

**ABSTRACT:** Sedimentary features and paleoenvironments of the fossil-bearing deposits in the lower part (Jiphyeon site) and the upper part (Jeongchon site) of the Jinju Formation at Jinju area are examined, and their stratigraphic implications are interpreted in relation with the sedimentary and paleontological occurrences of the Jinju Formation. Gastropod shell and plant fossil deposits occur at Jiphyeon site, and they are interpreted to have been formed on a mudflat to shallow lake associated with channels. The occurrence of the Jiphyeon fossil deposits implies that humid climatic condition inducing lake expansion was initiated in the beginning stage of the Jinju Formation after the deposition of the underlying Hasandong Formation to have been formed under arid condition. At Jeongchon site insect fossil deposits are common and estherid and ostracod fossil deposits occur intermittently. It is interpreted that turbidity flows influenced to the formation of these fossil deposits under persistence of lake environment with development of arid condition during the deposition. Considering the paleoenvironments of the fossil deposits at Jiphyeon and Jeongchon sites and overall stratigraphic occurrences of the Jinju Formation, the Jinju Formation is deemed to have been deposited under balanced-fill lake type basin. The lake expansion and subsequent retreat recorded during the development of the Hasandong-Jinju-Chilgok Formations might have been related to the paleoclimatic changes of warming-cooling-warming and the expansion of arid condition in eastern Asia during the early Albian.

**Key words:** Jinju Formation, fossil-bearing deposits, paleoenvironments, stratigraphy, Albian

\* Corresponding author: +82-51-629-6625, E-mail: paikis@pknu.ac.kr

(In Sung Paik, Hyun Joo Kim, Jeong Eun Lee and Yoon Hwan So, Department of Earth and Environmental Sciences, Pukyong National University, Busan 48153, Republic of Korea; Seongyeong Kim, School of Earth Environmental Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Republic of Korea; Hoil Lee, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 34132, Republic of Korea)

## 1. 서 언

경상누층군은 Koto (1903)에 의해 경상층으로 명명된 이래 Tateiwa (1929), Chang (1975), Choi (1985) 등에 의하여 지층구분의 발전이 이루어졌으며, Um *et al.* (1983)에 의해 경상누층군의 지층별 퇴적특성과 퇴적환경이 포괄적으로 정리되어, 이 자료들이 현재까지 이루어지고 있는 경상누층군 대상 여러 후속 연구의 층서적 바탕이 되었다. 그러나 경상누층군에 대해 근래에 이루어진 여러 퇴적지질학적 연구들을 통해서 기존의 경상누층군 지층들의 층서 및 퇴적 특성과는 다른 기록들이 새로이 제시됨에 따라(Paik *et al.*, 2018) 경상누층군 각 지층의 일반화된 층서 특성의 보완과 이에 대한 새로운 해석이 필요하다.

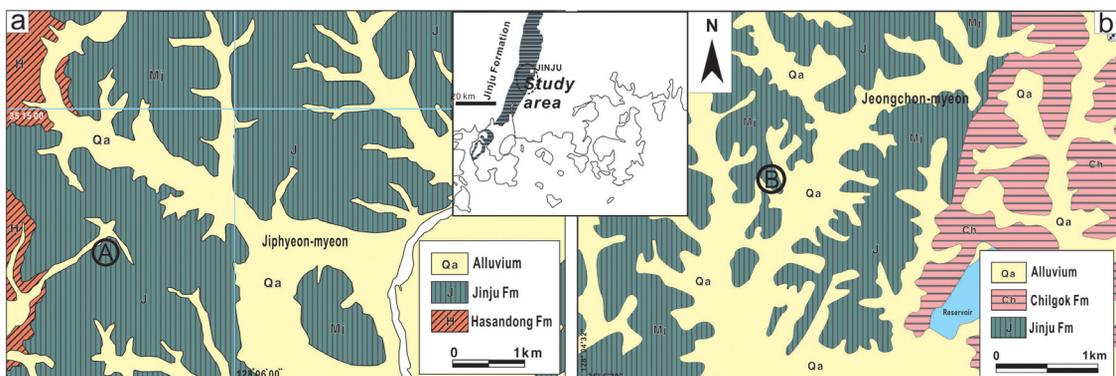
실례로 하성 퇴적층으로 알려진 하산동층의 퇴적 기간 동안에 강우량이 광역적으로 증가하는 상대적으로 습윤한 기후가 일정 기간 발달하여 층적평형상에 소규모의 호수가 지속적으로 발달한 기록(Paik *et al.*, 2011)은 하산동층의 층위(Member) 단위로의 세분이 필요함을 제시한다. 이와 함께 함안층의 상부퇴적층에 함안층의 일반적인 퇴적특성과는 달리 호수 환경의 확장을 지시하는 녹회색층과 암회색층의 산출이 빈번하게 나타나는 기록(So *et al.*, 2007; Kim, H.J. *et al.*, 2018) 또한 함안층 내에서의 암층서 세분이 필

요함을 시사한다.

진주층은 경상누층군의 지층 중 호수 환경의 특성이 가장 뚜렷하게 발달한 퇴적층으로, 퇴적특성의 시공간적인 변화가 매우 다양하게 나타나는 지층이다(Um *et al.*, 1983). 이와 함께 진주층은 경상누층군 지층 중 화석 산출의 다양성이 매우 높은 지층으로(Yang, 1996), 근래 들어 여러 종류 화석들의 새로운 보고가 이어지고 있는 지층이다. 따라서 진주층에 나타나는 함화석층의 발달 특성은 진주층의 층서는 물론, 경상분지의 고생태와 고환경을 보다 입체적으로 이해하는 데에 매우 유용한 정보를 제공할 수 있다.

이와 같은 맥락에서 이 연구에서는 진주시 집현 지역의 진주층 하부퇴적층과 정촌 지역의 진주층 상부 퇴적층(그림 1)에서 새로이 확인된 함화석층을 대상으로 퇴적특성과 고환경을 분석하였으며, 이를 바탕으로 기보고된 진주층의 퇴적특성과 화석산출 특성 등과 연계하여 이 화석층이 가지는 층서적 의미를 해석하였다.

경상분지를 비롯한 한반도 백악기 퇴적분지의 퇴적층에는 기원이 밝혀지지 않은 다양한 특성의 퇴적 기록들이 산재해 있으며, 이들 기록에 대한 이해가 발전적으로 이루어질 때 한반도 백악기의 고환경 특성 및 층서를 보다 입체적으로 파악할 수 있고, 이로써 새로운 차원의 자원탐사와 국토활용이 이루어질



**Fig. 1.** Location and geological maps of study area. a. Jiphyeon site (Kim *et al.*, 1969). b. Jeongchon site (Choi and Yoo, 1969).

수 있을 것이다.

## 2. 지질개관

진주층은 암층서적으로 경상누층군의 하부층군인 신동층군의 최상부 지층으로(Chang, 1975), 의성소분지와 밀양소분지의 서측편에 대체로 북북동-남남서 방향을 가지며 대상으로 분포되어 있다. 진주층은 대구도폭에서 Tateiwa (1929)에 의해 명명되었으며, 진교도폭에서는 구랑리층(Kim and Kang, 1965), 함천도폭(Chang, 1968)과 창녕도폭(Kim and Lee, 1969)에서는 동명층으로 명명되어 있다. 진주층의 지질시대는 Lee, Y.I. *et al.* (2010), Kang and Paik (2013), Lee, T.-H. *et al.* (2018) 등에 의하면 전기알비안(Albian)에 해당된다.

진주층의 하한은 하산동층의 붉은색 이암이 끝나고 흑색 또는 암회색의 퇴적층이 처음으로 나타나는 층준이며, 상한은 칠곡층(밀양소분지) 또는 일직층(의성소분지)의 붉은색 이암층이 처음으로 출현하는 층준 바로 하위의 흑색 내지 암회색 이암 층준이다(Um *et al.*, 1983). 진주층의 층후는 진주지역에서 가장 두껍게 나타나며(1,200 m)(Um *et al.*, 1983), 남측의 사천과 북측의 의성소분지로 갈수록 점차 얇아지는 경향을 보인다(그림 1).

진주층은 전반적으로 붉은색 퇴적층의 협재 없이 회색의 사암과 셰일의 교호가 반복되는 가운데(Um *et al.*, 1983), 일부 지역과 층준에서 스트로마톨라이트와 우이드, 온코이드 등의 탄산염암이 나타난다(Um *et al.*, 1983; Sohn, 1989; Chun, 1992; Lee and Woo, 1996; Lee, 1997; Lee and Kong, 2004; Paik, 2005). 이와 함께 스트로마톨라이트 내에 발달한 증발광물 흔이 보고된 바 있다(Lee, 1997).

진주층의 구성 암석은 지역과 층준에 따라 변화하는데, 대체로 북측으로 갈수록 사암층의 발달 빈도가 증가하는 경향을 보이며, 밀양소분지에서는 상부로 갈수록 세립질 퇴적층이 증가하는 경향을 보인다(Choi *et al.*, 1982; Um *et al.*, 1983; Sohn, 1989; Chun, 1992). 진주지역에서는 상부 층준에 연속성이 좋은 수 cm 내지 20 cm 두께의 판상 응회암층들과 응회질사암들이 나타난다(Um *et al.*, 1983). 한편 진주층의 중부에서 지진기원의 연성퇴적변형구조(Lee *et al.*, 2010)와 쇄설성암맥(Ahn and Paik, 2004) 등이 보고

되었으며, Ha *et al.* (2015)에 의해 진주층 중하부에서 기원미상의 방해석비프구조(calcite beef structure)가 보고되었다. 진주층의 전반적인 퇴적환경은 호성환경으로 해석되었으며(Um *et al.*, 1983; Choi, 1985), 지역적으로 삼각주(의성소분지, Sohn, 1989)와 저굴곡하천(함천지역, Chun, 1992)이 수반하여 발달한 것으로 해석되었다.

진주층은 경상누층군 지층 중 체구화석의 산출이 가장 많은 지층으로, 다양한 종류의 무척추동물화석(개형층, 엽지개, 곤충, 등각류, 거미류, 이매패류, 복족류 등)(Yun and Yang, 2004; Park *et al.*, 2012, 2013, 2019; Selden *et al.*, 2012; Choi and Huh, 2016; Nam and Kim, 2016; Choi *et al.*, 2018)과 척추동물화석(어류와 공룡)의 산출(Sohn, 1989; Lim *et al.*, 2002; Yun and Yang, 2001; Kim *et al.*, 2014)이 보고되었으며, 근래에는 공룡과 익룡, 파충류, 양서류, 포유류 등의 다양한 척추동물발자국과(Kim and Lockley, 2016; Kim *et al.*, 2017, 2018a, 2018b, 2019a, 2019b) 무척추동물생흔화석(Kim *et al.*, 2000, 2005; Paik, 2005; Kim and Kim, 2008; Lee, 2018) 등이 보고되었다. 이와 함께 여러 종류의 겉씨식물 잎화석이 진주층에서 산출한다(Yang, 1996).

## 3. 함화석층

### 3.1 집현 지역의 북쪽류대각화석층과 식물화석층

연구가 이루어진 집현 지역의 진주층 함화석층은 진주시 집현면 기동리 부근의 진주층 하부 퇴적층으로(그림 1a), 이 지역의 퇴적층에서는 연체동물화석, 개형층화석, 곤충화석, 겉씨식물잎화석, 무척추동물의 생흔화석 등이 나타난다. 이 퇴적층은 약 50 m의 두께로서, 전반적으로 회색의 사암과 이질암의 교호층으로 이루어진 가운데 상향세립화하는 경향을 보인다(그림 2). 사암은 함력질조립사암에서 중립사암과 세립사암에 이르기까지 다양한 조직으로 나타나며, 이질암은 셰일, 석회질 실트스톤 내지 이암, 석회질고토양 등으로 이루어져 있으며, 드물게 탄질셰일이 나타난다.

사암층에서는 상향박층화 및 상향세립화가 나타나며, 부분적으로 상향후층화도 나타난다. 함력질 조립사암의 기저에서는 침식경계가 뚜렷이 나타나며, 조립 내지 중립사암층의 일부에서는 대체로 층리에

평행한 방향을 보이는 이암 층내역(intraformational clast)들이 관찰된다. 전반적으로 중립 내지 세립사암 층 내에서는 평행엽층리, 사업층리, 연흔구조 등이 나타나며, 부분적으로 서관구조가 관찰된다. 사암은 전반적으로 보통의 분급과 아원마상의 원마도를 보이고 아장석질을 띠며, 운모편을 함유한다. 사암의 교결물은 대체적으로 방해석이 우세하다. 이질층에서는 견열구조가 흔히 나타나며, 부분적으로 서관구조와 미세점이층리가 관찰된다. 석회질이암층에서는 고토양 기원의 캘크리트 단괴들이 나타나며, 각력화 현상이 부분적으로 관찰된다.

이 퇴적층의 하부와 상부에서 복족류패각화석이며, 상부에서 걸씨식물 잎화석이 집중되어 산출하는 함

화석층의 발달이 확인되었으며, 이들의 산출 특성은 다음과 같다.

### 3.1.1 복족류패각화석층

복족류패각화석층은 하부에서 2매, 상부에서 2매가 확인되었으며, 이 화석층에서 산출되는 복족류화석은 대부분 *Brotiopsis kobayashi*이다. *Brotiopsis* 속은 경상남도 진주-사천 지역의 경상누층군 퇴적층에서 일본인 연구자들(Kobayashi and Suzuki, 1936; Suzuki, 1943)에 의하여 보고되었으며, 이후 Lee *et al.* (1990)에 의하여 *Brotiopsis* 속의 구체적인 산출양상과 각 종의 형질이 계측되고 그 변이량이 제시되었다. *Brotiopsis* 속에는 *Brotiopsis wakinoensis*와 *Brotiopsis*

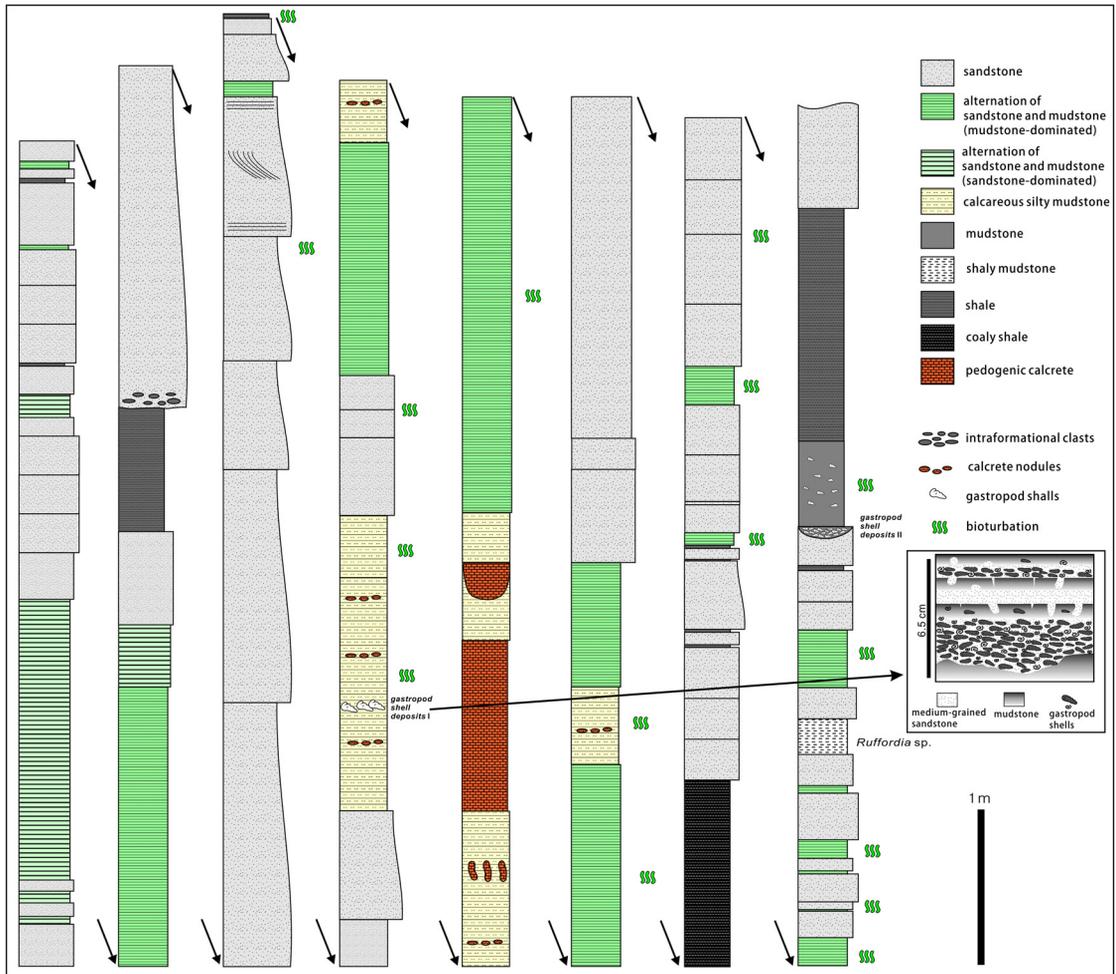


Fig. 2. Stratigraphic sections of the examined deposits at Jiphyeon site. Inset is the detailed section of the gastropod shell deposits I in the lower part.

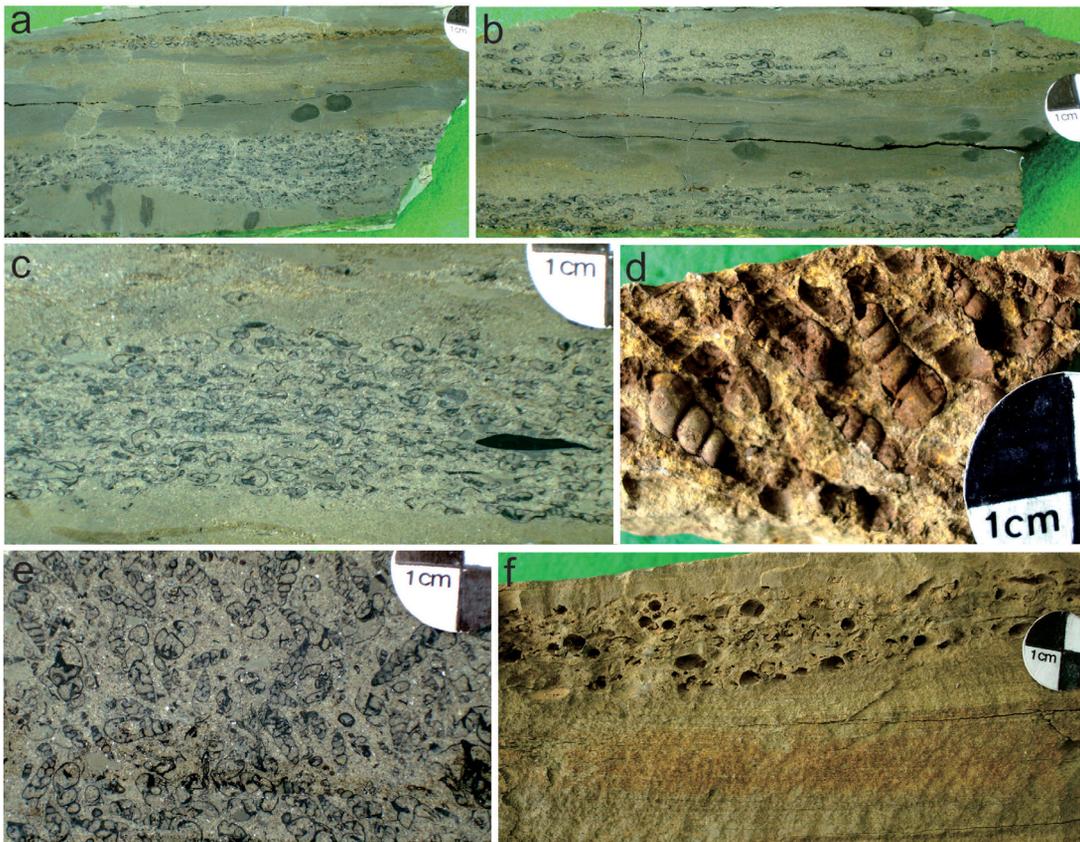
*kobayashi*, 2개종이 있으며, 이 중 연구지역의 퇴적층에서 산출되는 *Brotiopsis kobayashi*는 Suzuki (1943)와 Lee *et al.* (1990)에 의해 경남 진주시 독산리에 분포하는 진주층 하부퇴적층에서 보고되었고, 이 지역에서는 또 다른 복족류화석인 *Thiara* sp.도 함께 산출되는 것으로 보고되었다. 독산리에서 보고된 *Brotiopsis kobayashi* 개체들은 전반적으로 11 mm 내지 15 mm 내외의 각고와 3 내지 8 mm의 최대 각경을 갖는 것으로 보고되었다(Lee *et al.*, 1990).

연구지역에서 산출된 *Brotiopsis kobayashi* 개체들 또한 전반적으로 10 내지 15 mm 내외의 각고와 3 내지 5 mm 내외 최대 각경을 보인다. 이와 함께 연구지역의 화석층에서도 *Brotiopsis kobayashi*와 함께 *Thiara* sp.가 드물게 산출된다. 이는 연구지역의 화석층과 독산리 지역의 화석층이 생층서적으로 서로

대비될 수 있음을 시사한다. 다음은 집현 지역 복족류패각화석층의 산출특성이다.

#### 하부 복족류패각화석층

하부 퇴적층에서 확인된 복족류패각화석층은 연속해서 2매가 발달된 양상을 띠며, 수 mm 내지 최대 2 cm의 두께를 보인다(그림 2). 연구된 노두의 공간적인 분포가 제한적인 관계로 이 복족류패각화석층의 전체적인 공간적 분포를 확인할 수는 없으나, 노출된 범위안에서는 렌즈상의 분포를 나타낸다. 이 복족류패각화석층은 석회질세립사암과 이암의 호염층 또는 석회질이암층 위에 수 mm 내지 1 cm 내외의 기복의 침식경계를 가지며 발달되어 있다(그림 3a, 3b). 이 화석층은 중립사암으로 이루어져 있으며, 복족류패각은 전반적으로 하부에 놓여 있고, 상부에는 패



**Fig. 3.** Occurrences of the gastropod shell deposits I (a-e) and II (f) at Jiphyeon site. a-c. Sectional views showing erosive bases of the shell deposits (a,b), subhorizontal stratification of the shell fragments (a,b,c), and a flat mudstone intraformational clast (c). d,e. Planar views showing a preferred orientation of the shell fragments. f. Shell deposit on planar-laminated fine-grained sandstone with erosive contact, sectional view.

각이 드물게 나타나는 양상을 보인다. 이와 함께 상부에는 층내이암역들이 산재되어 있다(그림 3c). 이 복족류패각을 함유한 중립사암층은 상부로 가면서 이암으로 접이되는 양상을 보이며, 이 이암층 위에는 다시 1 cm 내외 두께의 복족류패각화석층이 발달되어 있다.

상위의 복족류패각화석층은 하위의 화석층과 동일한 조직과 암질로 이루어져 있다. 전반적으로 복족류패각의 장축은 층리에 평행한 방향으로 놓여 있으며, 표면에서 우세한 방향성의 발달을 보인다(그림 3d, 3e). 복족류패각은 결정질 방해석으로 재결정화되어 있으며, 내부는 바탕퇴적물인 중립사암으로 채워져 있다. 이 두 패각화석층 사이에는 국부적으로 패각화석을 포함하지 않는 사암과 이암의 호엽층이 협재되어 있는데, 이 비화석층에서는 직경 1 cm 내외의 서관구조가 발달되어 있으며, 이질층 내에는 1 cm 내외 크기의 캘크리트 단괴가 발달되어 있다. 이와 함께 이 화석층에 협재된 이질층에는 폭 1 mm 내외의 건열구조가 발달되어 있다.

### 상부 복족류패각화석층

상부 퇴적층에서 확인된 복족류패각화석층 또한 하부의 복족류패각화석층과 마찬가지로 연속해서 2매가 발달된 특성은 유사하나, 발달암질에 있어서 차이를 보인다. 상부화석층 중 아래의 것은 평행엽층리가 발달한 세립사암의 상위에 렌즈상(두께 3 cm, 길이 1 m 내외)으로 분포되어 있으며(그림 3f), 석회질의 실트질이암으로 이루어져 있다. 이 층에서 산출되는 복족류패각은 하부의 복족류패각화석층과 마찬가지로 밀집된 상태로 산출한다. 복족류패각의 장축방향 또한 대체적으로 층리에 평행하게 놓여 있으며, 성층면상에서 우세한 방향성이 부분적으로 나타난다. 복족류패각은 결정질방해석으로 재결정화되어 있으며, 패각의 내부가 퇴적물로 채워진 하부복족류패각화석층과는 달리 내부가 전반적으로 모자익상의 방해석 결정으로 채워져 있다. 일부 패각의 내부에서는 하부는 이질퇴적물로, 상부는 방해석 결정으로 채워진 지오펜탈 구조(geopetal fabric)가 관찰된다. 이 렌즈상 화석층의 상위에는 석회질의 이암층이 놓여 있는데, 이 이암층 내에 복족류 패각들이 방향성 없이 산재되어 산출되며, 내부는 하위의 패각과 마찬가지로 방해석 결정으로 채워져 있다.

### 3.1.2 식물화석층

연구대상 퇴적층에서는 탄화된 식물편들이 드물지 않게 관찰된다. 이 중 식물화석이 집단으로 산출되는 화석층은 2매 확인되었다. 식물화석층 중 하나는 연구지역의 중부 정도에 발달된 사암층 사이에 약 1 m 정도의 두께로 발달된 탄질세일층으로서, 이 퇴적층 내에서는 식물줄기편들이 집단으로 산출된다(그림 4a). 그러나 이들 화석들이 대부분 인상이 불명하거나, 탄화 또는 풍화작용에 의해 갈철적으로 산화되어 있어, 감정은 불가능한 상태이다. 두 번째 식물화석층은 연구지역 지층의 상부에 발달되어 있는 약 20 cm 두께의 석회질의 세일질이암층으로, 건열구조가 발달되어 있는 퇴적층이다(그림 4b). 이 퇴적층 내에서는 양치류의 일종인 *Ruffordia* 화석이 집단으로 산출된다. 이 식물화석은 세일질이암층 내의 여러 층준에 반복되어 산출되며, 전반적으로 층리에 평행하게 놓여 있다.

이들 화석층에서 산출된 식물화석은 탄화된 나무 화석과 줄기화석, 산화된 줄기화석, 잎화석 등이며, 광물로 치환된 길이 1 mm 정도의 씨화석이 산출되었다. 감정이 가능한 잎화석의 경우, 산출된 화석의 대부분은 양치류의 일종인 *Ruffordia* sp.이며(그림 4b, 4c, 4d), 매우 드물게 *Cladophlebis* sp.와 *Sphenopteris* sp.가 산출된다. Schizaceae 과에 속하는 *Ruffordia*는 키가 수십 cm 정도의 비교적 작은 양치류로서, 백악기초기의 퇴적층에서 흔히 산출되는 식물화석이다(Deng, 2002; Mohr *et al.*, 2015). 연구지역 퇴적층에서 산출하는 이 *Ruffordia*의 잎화석들은 대체로 잎들이 다발로 붙어 있는 상태로 산출함이 특징이다(그림 4b, 4c, 4d). 이들 *Ruffordia* 잎화석은 풍화작용에 의해 산화된 경우가 일반적이며, 황철석 또는 방해석 등에 의해 치환된 경우도 부분적으로 관찰된다(그림 4e).

*Ruffordia*와 *Cladophlebis*는 신동층군의 퇴적층에서 산출되는 것으로 보고되어 있으며(Yang, 1996), 고흥지역의 백악기 퇴적층에서도 보고된 바 있다(Kenrick *et al.*, 2000).

### 3.1.3 기타 산출 화석

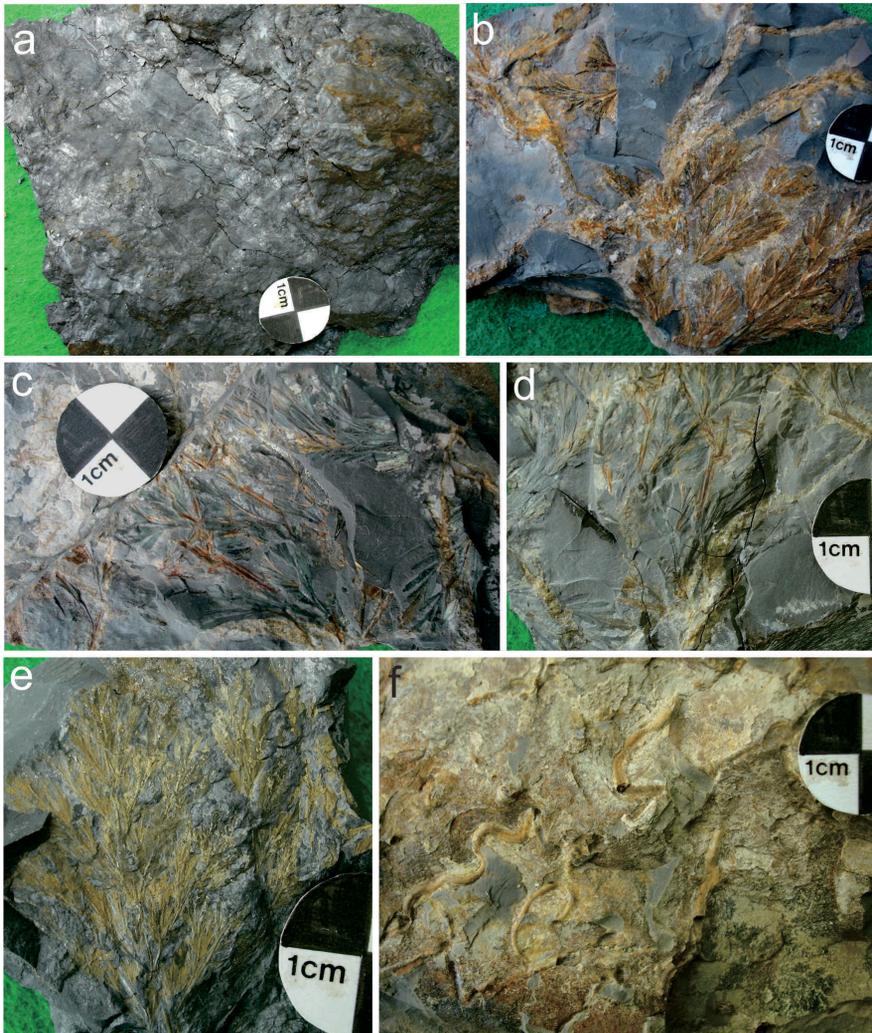
전술한 화석들 이외에 연구지역의 퇴적층에서는 이동 기원의 이매패류 화석(*Plicatuonio* sp.) 1점이 사질퇴적층에서 확인되었으며, 암회색 세일 내에서 보존상태가 불량한 개형충화석이 산출된다. 체구화석

이외에 연구지역 퇴적층에서는 절지동물의 보행흔인 *Diplichnites* isp.와 환형동물에 의한 *Coclichmus* isp. (그림 4f), 직경 1 cm 내외의 서관구조 등의 생흔화석이 드물게 나타난다.

### 3.1.4 고환경

전술한 바와 같이 연구지역의 퇴적층은 침식기저면과 점이층리가 발달한 1 m 이상의 두께를 가지는 함력조립사암층, 수십 cm 두께의 판상 내지 렌즈상의 중립 내지 세립사암층, 세립사암과 실트스톤 및 셰일의 교호층, 석회질이암층, 셰일층, 석회질고토양

층 등으로 이루어져 있다. 이와 같은 암상 구성은 이들 퇴적층이 하도 기원의 퇴적층(함력조립사암층)과 개방수류(unconfined flow) 또는 독터짐퇴적층들(판상 내지 렌즈상의 중립 내지 세립사암층)임을 시사해 준다(Bridge, 2006). 이와 함께 건열구조가 수반된 셰일층과 석회질고토양층은 호수주변부의 이질평원퇴적층으로 해석되며, 석회질이암층은 천호퇴적층으로 해석된다(Paik and Kim, 2006). 한편 이들 퇴적층에 침식기저면과 점이층리를 가지는 개방수류퇴적층이 빈번히 협재해 있음은 퇴적 당시 홍수에 의한 범람이 자주 일어났었음을 시사해 준다.



**Fig. 4.** Occurrences of plant fossil deposits and trace fossils at Jiphyeon site. a. Coaly shale stacked with carbonized stem fragments. b,c,d. Fossil leaves of *Ruffordia* sp. preserved in bunches. e. Pyritized leaves of *Ruffordia* sp. f. Trace fossil *Coclichmus* isp.

연구지역의 퇴적층에서 풍부하게 산출된 *Ruffordia* 속의 양치류는 습윤한 기후에서 서식하는 종류로 알려져 있으며, 중국 북부지역의 백악기 초기 퇴적층에서 산출되는 *Ruffordia geoppertii*는 대부분 석탄층에서 산출된다(Deng, 2002). 연구지역에서 산출되는 *Ruffordia* 속의 양치류 화석은 집단적인 퇴적의 양상을 띠고, 상당부분 잎들이 다발로 붙어 있는 상태로 산출하며, 다른 종류의 식물화석은 거의 수반되지 않는 산출특성을 띤다. 이와 함께 이들 *Ruffordia* 식물화석이 산출되는 퇴적층은 낮은 에너지에서 쌓인 세일층이다. 이러한 연구지역의 *Ruffordia* 산출특성은 이 양치류 화석들이 홍수 시에 멀리서 운반되어 온 것이 아니라, 주변 지역에서 자라던 식물이었음을 시사하여 준다. 이는 이 식물 서식 당시에 연구지역의 기후는 습윤하였음을 시사한다. 이와 같은 습윤한 기후의 발달은 연구지역 중상부에 발달된 탄질세일층에 의해서도 뒷받침된다.

한편 *Ruffordia*가 산출하는 세일질이암층에 건열구조가 발달되어 있음은 퇴적 당시, 호수 주변 지역에 홍수에 의한 범람이 일어난 후에 일정기간의 가뭄이 있었음을 시사한다. 이와 함께 연구지역 퇴적층의 중부에 두껍게 발달한 석회질고토양층은 이 지역의 퇴적기간을 통해 건조기후가 발달하였던 기간이 있었음을 시사한다. 이와 같은 건조기후의 발달기록은 연구지역 하부의 퇴적층에서도 간헐적으로 나타난다. 이와 같은 연구지역 퇴적층 발달특성의 수직적인 변화특성은 퇴적당시의 기후가 건조한 기후의 발달 이후 강우량이 증가하는 습윤한 기후로 바뀌는 변화를 겪었음을 시사한다.

연구지역 복족류패각화석층의 고환경 이해에는 이 화석층에 집중적으로 산출하는 패각 종류인 *Brotiopsis* 속과 유연관계에 있는 현생 *Brotia* 속의 생태 특성이 참고가 될 수 있다. *Brotia* 속은 산지에 발달한 물이 깨끗한 하천, 연못, 호수 등의 다양한 담수 환경에서 서식하며(Köhler and Glaubrecht, 2001), 단일한 하천 환경에서는 대체적으로 생지리적 영역을 다른 종과 공유하지 않는 배타적인 생태적 특성을 지닌다(Davis, 1982). 따라서 연구지역 복족류패각화석층에 *Brotiopsis* 속의 패각만이 집중되어 나타나는 특성은 *Brotiopsis* 속의 서식특성에 기인한 것으로 여겨진다.

한편 이 복족류패각화석층에 침식기저면이 뚜렷이 발달하고 점이층리와 패각들의 평행한 배열 특성

이 나타남은 이들의 화석화과정에 퇴적학적 요인이 영향을 미쳤음을 시사하며(Kidwell, 1991; Anderson and McBride, 1996), 이 화석층에 건열이 수반되어 있음은 이들 패각들의 퇴적이 호수부근에서 이루어졌음을 지시한다. 이와 같은 발달특성으로 미루어, 이 복족류패각들의 화석화과정은 다음과 같이 해석된다. 즉 얇은 호수 내부 또는 이질 평원의 웅덩이에서 서식하던 복족류들이 가뭄 시기에 호수면이 하강하면서 호수가 축소됨에 따라 대기 중에 오랜 시간 노출되어 죽게 된 후, 이어진 우기에 호수 주변에 범람이 이루어지면서 죽은 복족류들의 패각들이 이질평원 내지 사질평원으로 재동되어 퇴적된 것으로 해석된다(Paik *et al.*, 2011).

### 3.2 정촌 지역 곤충화석층

#### 3.2.1 퇴적 특성

이 지역은 1:50,000 지질도(사천)(Choi and Yoo, 1969)에서 진주층의 상부에 해당하는 지역으로(그림 2b). 이 지역의 진주층은 주로 회색 사암, 세일, 암회색 내지 흑색 사암, 세일의 호층과 암회색 이회암 및 이회질 단괴와 인트라클라스트 역암층이 내재되어 있는 것으로 기재되어 있다(Choi and Yoo, 1969).

다량의 곤충화석이 산출된 이 지역 진주층의 퇴적층은 전반적으로 암회색의 세일층이 우세하게 발달한 가운데, 엽층리가 잘 발달된 세립사암 내지 실트질의 이암 및 엽층리가 미약하게 발달된 세립사암 내지 실트질의 이암이 교호되어 발달하며, 이들 퇴적층 사이에 수 cm 두께의 응회질의 중립질 장식사암 및 엽층리가 발달한 응회질 중립사암이 간헐적으로 협재하는 발달양상을 보인다(그림 5).

대체적으로 연구된 퇴적층의 하부에서는 엽층리가 미약하게 발달된 세립사암 내지 실트질의 이암층(그림 6a)이 암회색 세일층(그림 6b) 사이에 반복적으로 발달되어 있으나, 상부로 가면서 이 암상은 사라지고 엽층리가 잘 발달된 세립사암 내지 실트질의 이암층이 암회색 세일층과 교호되는 양상이 주를 이룬다. 암회색 세일은 부분적으로 탄질을 띠며, 박편에서는 미세한 점이층리가 관찰된다. 이와 함께 이들 세일층과 실트질이암층에서는 groove cast, bounce cast, prod cast, brush cast 등의 저면구조(sole mark)가 관찰된다(그림 6c). Groove cast의 경우 폭 1 mm 내외, 길이 20 cm에 달하는 규모를 보이며, 그 외 저

면구조들의 경우 폭 1 내지 2 mm 내외와 수 cm에서 10 cm 이상의 길이로 다양하게 나타난다. 이들 저면 구조들은 전반적으로 서로 간에 평행한 배열을 나타낸다. 한편 암회색의 세일을 포함한 이질 퇴적층 사이에는 층상의 방해석 비프(beef)(Ha *et al.*, 2015)가 간헐적으로 발달되어 있다. 엽층리가 미약하게 발달된 세립사암 내지 실트질 이암은 대체로 1 cm 내외에서 수 cm 두께의 층을 이루며 나타난다. 응회질사암의 경우, 대체로 미세점이층리가 발달되어 있으며(그림 6d), 장식입자들이 부분적으로 방해석으로 치환되어 나타남이 특징이다.

전반적으로 세립질이 우세한 이들 퇴적층 상위에

는 조립 내지 중립의 장식사암이 이질층으로 접이되는 수십 cm 내지 1 m 내외의 두께의 퇴적층이 반복하며 발달되어 있으며(그림 6e), 이 중 이질층에서는 무척추동물의 생흔 및 건열구조가 나타난다. 한편 이들 퇴적층이 전반적으로 쇄설성의 퇴적층인 가운데에, 석회암의 성격을 가지는 펠로이드질의 입자암 내지 팩스톤(peloidal grainstone to packstone)(그림 6f, 6g)이 수 cm 두께로 협재되어 있는 양상 또한 이 퇴적층의 또 다른 발달특성으로, 부분적으로는 와케스톤(wackestone)으로도 나타난다. 이 입자암 내지 팩스톤을 구성하는 석회질입자들(알로켄)은 펠로이드가 주를 이루나, 부분적으로 석회조류편과 탄화목

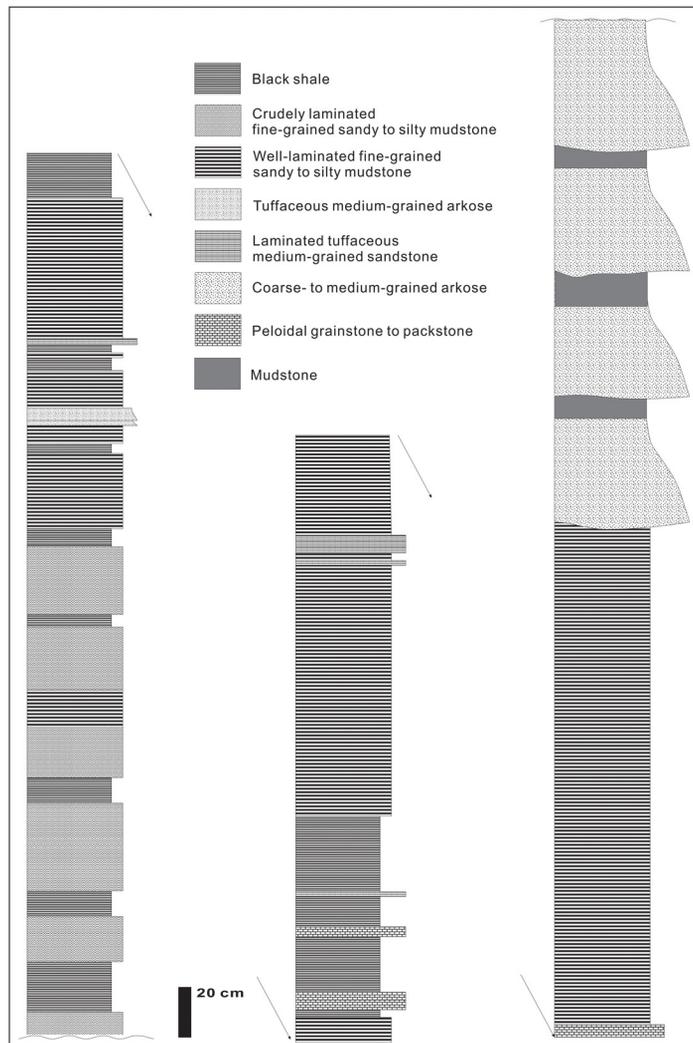
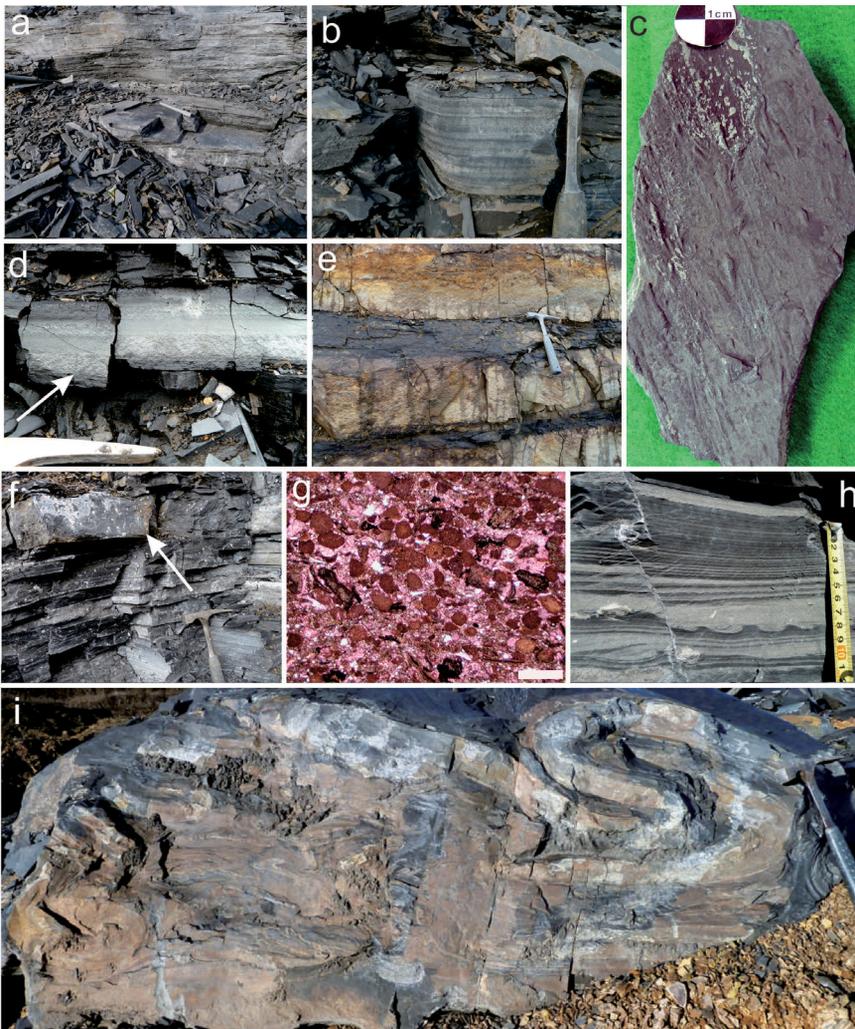


Fig. 5. Stratigraphic sections of the examined deposits at Jeongchon site.

편, 미크라이트질의 인트라클라스트 등이 산재되어 함유되어 있다. 한편 이 석회암층에서 연체동물이나 절족동물의 패각 또는 패각편 등 석회질 패각의 화석은 관찰되지 않는다.

이들 퇴적층으로부터 산출된 전석들 중 일부에서는 이 지역 진주층 퇴적층의 윤회적 발달특성을 나타내는 퇴적기록이 관찰되었다(그림 6h). 즉 상부로 가면서 수 cm 두께의 세립사암-이암 점이층으로부터, 수 cm의 두께를 이루는 수 mm 두께의 엽층으로 이루어

진 세립사암-이암 점이층, 수 cm의 두께를 이루는 1 mm 내의 두께의 엽층으로 이루어진 세립사암 내지 실트암-이암 점이층, 그리고 수 cm 두께의 암회색 세일층으로 전이되는 상향박층화 및 상향세립화의 퇴적층이 수회 반복되어 발달된 양상이 관찰되었다. 상향박층화층의 기저를 이루는 세립사암층과 그 하위에 놓여 있는 세일층 사이에는 수 mm의 기복을 가지는 짐구조가 나타난다(그림 6h). 한편 또 다른 전석들에서는 연성퇴적변형구조가 관찰되었다(그림 6i).



**Fig. 6.** Lithology of the fossil-bearing deposits at Jeongchon site. a. Dark gray shales. b. Laminated fine-grained sandy to silty mudstones. c. Sole marks including groove casts in the shale. d. Tuffaceous medium-grained sandstone (arrow). e. Arkosic sandstone alternated with mudstone. f.g. Outcrop view (f) and thin-section photomicrograph (g) of pelloidal grainstone to packstone (arrow) interbedded in shales. Scale bar is 0.5 mm. h. Repetition of turbidite deposits forming fining-upward profile. Load structures are seen in the base of lower turbidite. i. Soft sediment deformation structures observed in the floating stone of the alternated beds of shale and fine-grained silty mudstone.

### 3.2.2 화석 산출 특성

이 지역의 퇴적층에서 가장 우세하게 발달되어 있는 암회색 세일 및 엽층리가 잘 발달된 세립사암 내지 실트질의 이암층에서는 수서 및 육상 곤충 화석들의 산출이 반복적으로 나타난다. 이들 곤충화석이 집중되어 나타나는 퇴적층에 곤충 이외의 화석이 함께 산출되는 경우는 매우 드물다. 이와 함께 엽지개와 개형충 화석이 간헐적으로 산출하며, 식물편 화석들이 국부적으로 산출한다.

곤충화석의 산출은 크기와 밀집 정도, 화석의 종류 등에 따라 크게 5가지 유형으로 구분된다. 유형 1은 실트질이암 내에 수 cm 길이의 잠자리 유충들이 밀집하여 산출함이 특징으로, 수 mm 길이의 모기류 유충(Yang *et al.*, 2013)들과 식물편들이 부분적으로 나타난다. 잠자리 유충들의 경우 대체적으로 몸의 형태를 유지하고 있으나, 일부에서는 제자리에서 다리 등이 분절되어 보존된 경우도 나타나며, 방향성이 관찰된다. 유형 2는 암회색의 엽층리가 잘 발달한 실트질 이암 내에 수 mm 길이의 모기류 유충들이 집단으로 산출되는 유형으로, 부분적으로 엽지개, 수서 딱정벌레인 *Coptoclava* 속의 유충(Park *et al.*, 2013), 잠자리 유충 등이 함께 산출한다. 이와 함께 분류미상의 딱정벌레와 벌, 육상 곤충의 날개편 등이 드물게 나타난다. 모기류 유충들은 파편에서 완형에 이르기까지 다양한 보존상태를 보이며, 전반적으로 산출되는 개체들에서 일정한 방향성은 관찰되지 않는다.

유형 3은 전술한 유형과 유사한 종류의 화석 구성을 이루는 가운데에 잠자리 유충 기원으로 제시된 *Protovirgularia* 유형의 생흔(Metz, 2003; Kim *et al.*, 2000)으로 의심되는 생흔화석이 부분적으로 수반된 유형으로, 곤충화석들은 대개 파편상으로 산재해 있다. 생흔화석은 전반적으로 이암층의 저면에서 관찰되며, 대체적으로 산포되어 나타난다. 유형 4는 실트질의 세일 내에 엽지개 화석이 집단으로 산출하는 유형이다. 대체로 엽지개 이외의 화석은 거의 수반되지 않는 독립적인 산출경향을 보이나, 일부에서는 곤충화석이나 식물편과 함께 산출된 경우도 드물게 관찰된다. 엽지개 화석은 크기 5 mm 내외에서 11 mm까지 관찰되며 전반적으로 완형을 보이고, 개체들 배열의 방향성은 나타나지 않는다. 유형 5는 흑색 세일 내에 개형충 화석이 집단으로 산출하는 유형으로, 개형충 화석(개체의 크기 1 mm 미만)들 또한 개

형충 이외의 화석은 거의 수반되지 않는 독립적인 산출경향을 보인다.

암회색 세일 및 엽층리가 잘 발달된 세립사암 내지 실트질의 이암층 일부에서는 식물편 화석들이 간헐적으로 산출된다. 이들 식물편 화석들은 크게 두 가지 유형, 즉 폭 1 mm 내외와 길이 수 mm 내지 1 cm 내외 크기의 작은 식물편 부스러기 화석들 및 수 cm의 폭과 수 cm 내지 10 cm 내외의 길이를 가지는 탄화된 식물줄기편 화석들로 구분된다. 이와 함께 수 cm 길이의 침엽수 가지 파편 화석들이 드물게 독립적으로 관찰된다. 식물편 부스러기 화석들의 경우에도 전술한 곤충 등의 소형 절지동물화석들과 마찬가지로 독립적이고 집단적인 산출경향을 보인다. 한편 식물줄기편 화석들은 집단적 산출이 아닌 산재된 산출 특성을 보이나, 이 또한 다른 종류의 화석들은 거의 수반되지 않는 독립적인 산출 경향을 보인다. 식물줄기편 화석에서의 일부에서는 부분적인 황철석화작용이 관찰된다. 위와 같은 연구지역 퇴적층에서의 화석 산출의 요약된 특성은 그림 7과 같다.

### 3.2.3 고환경

연구지역 퇴적층 최상부의 일부 퇴적층에서 건열 구조가 부분적으로 나타나나, 이 지역 퇴적층의 대부분을 차지하는 암회색세일 및 암회색의 실트질 이암에서는 대기 중 노출의 흔적이 전혀 나타나지 않으며, 점이층리를 비롯하여 플루트와 그루브 등의 저면구조가 수반되어 있음은 이들 퇴적층의 형성에 호저로 유입된 저탁류가 전반적으로 영향을 미친 것으로 해석된다. 이와 함께 곤충화석 산출 퇴적층 입도의 세립화에 따라 산출화석의 크기 또한 전반적으로 감소하는 경향과 장축이 발달한 수 cm 길이 곤충 화석들(잠자리 유충 등)의 방향성 배열, 육상 곤충과 식물편들의 수반 등의 특성은 이들 곤충화석들이 제자리 기원이 아닌 저탁류에 의해 호저 환경으로 유입되어 퇴적되었음을 시사해 준다.

연구지역 퇴적층의 전반적인 화석 산출 특성은 진주층의 퇴적 당시 이 지역의 호수에는 한 때 여러 종류의 수서 절지동물들이 번성하였으며, 호수 주변부에는 식생의 발달과 함께 여러 종류의 육상 곤충들이 서식하였음을 시사한다. 잠자리 유충과 *Coptoclava* 화석들의 집단 산출은 호수로의 저탁류 유입에 따른 수서곤충의 집단 폐사의 결과로 해석된다. 잠자리

유충과 *Coptoclava* 화석들의 배타적 산출 특성은 이들의 포식 행위(Soriano *et al.*, 2007)에 따른 생태적 우위의 결과로 해석된다.

암회색셰일 내에서의 엽지개와 개형충 화석들의 배타적 집단산출은 이들의 상대적으로 낮은 생태적 지위에 따라 산소가 부족한 비교적 깊은 수심의 환경에 서식이 제한된 것에 기인한 것으로 해석된다. 즉 비교적 호수 심부에 서식하던 엽지개와 개형충들은 우기 이후에 건기가 이어지면서 호수 내 성층화와 우기 때 유입된 곤충들 사체의 부패 등에 의한 호수 내 무산소 환경 형성의 가속화에 따른 것으로 해석된다. 식물줄기편 화석에서의 부분적인 황철석화 작용은 산소 결핍 환경의 발달을 뒷받침한다.

한편 연구지역 퇴적층에 나타나는 세립사암-이암 점이층의 상향박층화 및 상향세립화의 반복 발달은 퇴적 과정을 통해 저탁류를 유발시키는 홍수가 발생하는 우기 이후에 호수가 마를 정도의 가뭄이 발생하지 않은 상태에서 다시 우기가 도래하는 과정이 반

복되었음을 시사한다. 즉 호수환경이 일정기간 지속적으로 유지되었음을 시사한다. 아울러 이 곤충화석층에 알칼리성 호수 기원의 펠로이드질 입자암 내지 팩스톤 석회암이 나타나는 특성은 건조기후가 발달하였음을 시사하나, 이 또한 호수환경이 유지된 상태에서의 퇴적산물이다. 이와 함께 응회질퇴적층의 협재는 퇴적 당시 기원지에서 화산활동이 간헐적으로 일어났음을 지시해 주며, 연성퇴적변형구조의 발달은 이를 뒷받침한다.

4. 층서적 의미

경상누층군의 진주층은 전반적으로 호수환경의 퇴적층으로, 하도퇴적층, 삼각주퇴적층, 독터짐퇴적층, 개방수류퇴적층, 호수주변부퇴적층 천호퇴적층 등으로 이루어져 있으며, 지역과 층준에 따라 발달 퇴적층과 화석산출의 변화를 보인다(Um *et al.*, 1983; Sohn, 1989; Choi, 1999). 지역에 따른 변화의 경우,

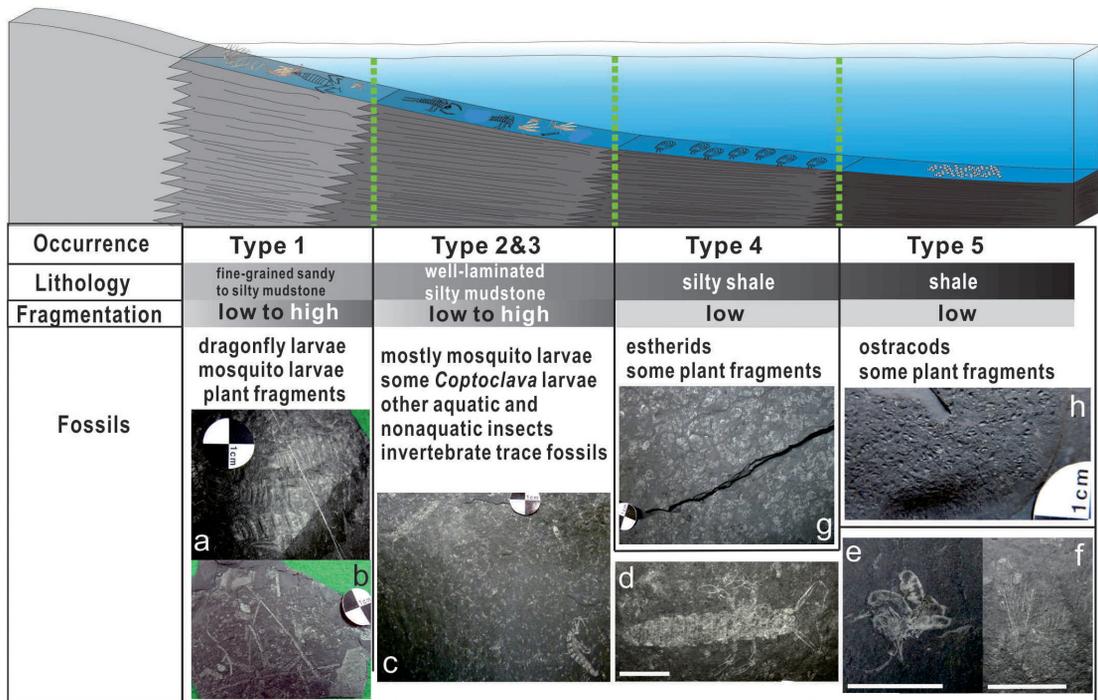


Fig. 7. Summary of the fossil occurrences at Jeongchon site. a. Subparallelly orientated fossils of dragonfly larvae. b. Carbonized plant debris. c. Clustered occurrence of mosquito larvae fossils associated with some fossils of *Coptoclava* larvae. d. A fossil of *Coptoclava* larva. e. A nonaquatic insect fossil (bee ?). f. Fossils of wing fragments of nonaquatic insect. g. Exclusive occurrence of fossils estherids. h. Exclusive occurrence of fossil ostracods. Scale bars are 1 cm.

남부 지역(밀양소분지)의 진주층은 북부지역(의성소 분지)에 비해 층후가 두꺼우며, 북부지역에 비해 세립질이 우세한 경향을 보인다(Choi *et al.*, 1982; Um *et al.*, 1983; Sohn, 1989; Chun, 1992).

이와 관련하여 북부지역 진주층의 퇴적환경은 대체로 저굴곡하천과 삼각주가 발달한 호수환경(Choi *et al.*, 1982; Sohn, 1989; Chun, 1992)으로 해석되었으며, 남부지역 진주층의 퇴적환경은 이질평원의 발달이 일반적인 호수환경(Chun, 1992)으로 해석되었다. 남부지역 진주층 퇴적 당시의 이질평원의 우세한 발달은 북부지역과는 달리 진주 지역의 진주층에서 공룡과 익룡의 발자국이 다량으로 산출함을 물론, 조류, 파충류, 양서류, 포유류 등의 발자국이 다양하게 산출하는 특성(Kim, J.Y. *et al.*, 2012; Kim and Lockley, 2016; Kim, K.S. *et al.*, 2017, 2018a, 2018b, 2019a, 2019b)에 의해 뒷받침된다. 이와 함께 진주 지역의 진주층에서는 다양한 종류의 곤충을 비롯한 절지동물 화석이 다량으로 산출함이 특징이다(Paik, 2005; Selden *et al.*, 2012; Park *et al.*, 2012; 2013; 2019).

한편 층중에 따른 변화의 경우(그림 8), 진주층의 하부층에는 탄질층과 식물화석의 집단 산출이 간헐적으로 나타나는 반면, 상부층에서는 파편상의 산출로 드물게 나타나는 경향을 보인다. 이와 관련하여 호수주변에 형성된 고토양기원의 탄산염암과 증발광물흔이 하부층에서는 나타나지 않으나, 상부층에서는 부분적으로 나타나며(Lee, 1997; Paik, 2005) 상부층으로 가면서 석회암 협재의 빈도도 증가하는 경향을 보인다. 이와 함께 응회질퇴적층의 수반이 하부층에서는 나타나지 않는 반면, 최상부층에서는 드물지 않게 나타난다(Um *et al.*, 1983). 한편 공룡을 비롯한 척추동물의 발자국 또한 하부층에서는 보고되지 않은 반면, 최상부층에서는 흔히 산출한다(Kim

*et al.*, 2017, 2018a, 2018b, 2019a). 이와 같은 층중에 따른 암질과 화석의 산출 특성 변화는 진주층의 하부에서 상부로 퇴적과정을 통해 기후가 점차 건조해졌으며, 상부층 퇴적시기에 화산활동이 점차 수반된 결과로 해석된다(그림 8). 진주층 상부의 퇴적시기에 화산활동의 수반은 상부 퇴적층에 지진기원의 연질퇴적변형구조가 발달한 특성(Ahn and Paik, 2004; Lee, H.I. *et al.*, 2010)과도 관련이 있을 것으로 여겨진다. 이와 같은 퇴적특성을 가지는 진주층 발달 당시의 전반적인 퇴적분지 특성은 Bohacs *et al.* (2000)이 제시한 호수분지 모델 중 습윤 기후와 건조 기후의 중간 형인 balanced-fill lake basin에 해당하는 것으로 해석된다(그림 9).

한편 경상누층군에서 보고된 식물화석은 하상동층 및 진주층이 포함된 신동층군에서 보고된 70여 종이 대부분을 차지하며(Yang, 1996), 하양층군에서는 감정이 어려운 수 종의 파편이 발견될 뿐이다. 이와 같이 경상누층군에 식물화석의 산출이 빈약한 것은 전반적으로 건조한 기후조건 때문에(Paik *et al.*, 2011) 식생의 발달이 제한적이었던 것이 일차적인 원인으로 판단된다. 그러나 부분적으로 밀집된 나무그루터기나 수 m 이상의 길이를 갖는 석화목이나 탄화목 편들이 발견됨은(Paik and Lee, 1994; So *et al.*, 2007; Oh *et al.*, 2011) 지역적으로는 풍부한 식생이 존재했음을 시사해 준다. 그럼에도 불구하고 경상누층군의 퇴적층에 식물화석의 산출이 드문 것은 야생화재의 발생(Paik and Lee, 1994)과 층적평원 상에서의 식생발달 제한 등이 부분적인 요인으로 해석되며, 이와 함께 퇴적이후의 오랜 노출을 통한 토양화작용(Paik and Kim, 1995; Paik, 1998) 역시 식물화석의 보존을 어렵게 한 주요 원인으로 작용했을 것으로 여겨진다.

Fm	Lithology & Sedimentary features									Fossils						Paleoclimate (aridity)	Volcanic activity	
	Texture (sandstone/shale)	Shale fissility	Tuffaceous sediments	Coaly deposits	Palustrine carbonates	Stromatolites	SSDs	Evaporite casts	Calcrete beef Structure	Plants	Vertebrate tracks	Arthropods	Molluscs	Fishes	Invertebrate traces			
Jinju Formation	Upper	■	■	Common	Absent	Occasional	Occasional	Rare	Very rare	Occasional	Very rare	Dinosaurs Pterosaurs Birds Reptiles Amphibians Mammals	Insects Spider Isopods	Absent	Absent	Rare	↑ Increasing upwards	↑ Increasing upwards
	Middle	■	■	Absent	Absent	Rare	Occasional	Common	Absent	Occasional	Occasional	Dinosaurs	Insects Spider	Rare	Rare	Occasional		
	Lower	■ <small>shale dominant</small>	■ <small>sandstone dominant</small>	Absent	Occasional	Absent	Occasional	Absent	Absent	Absent	Common	Absent	Insects	Occasional	Absent	Occasional		

Fig. 8. Summary of the stratigraphic changes of the Jinju Formation in lithology, sedimentary features, fossil occurrences, paleoclimate, and volcanic activity.

이와 같은 맥락에서 진주층의 하부에 해당하는 전술한 집현지역의 퇴적층에서 습윤 기후 기원의 식물 화석이 다량으로 산출함은 전반적으로 건조한 기후가 우세했던 진주층 하위의 하산동층의 퇴적(Paik and Kim, 1995; Paik and Lee, 1998)이 끝나고 진주층의 퇴적시기로 넘어오면서 경상분지 내 호수의 확장을 가져 온 습윤기후의 우세한 발달이 시작되었음을 시사하며, 이로부터 호수 주변에 어느 정도의 식생이 형성된 것으로 해석된다. 이는 하산동층에 지배적으로 발달했던 석회질고토양의 기록이 진주층의 하부 퇴적층에는 매우 제한적으로 나타나는 특성에 의해서도 뒷받침된다.

한편 전술한 집현 지역 퇴적층에서 산출된 복족류 패각화석층은 하산동층에서 보고된 이와 유사한 특성의 복족류패각화석층(Paik *et al.*, 2011)과 층서적 발달 특성에서 같은 의미를 가지는 것으로 해석된다. Paik *et al.* (2011)는 전반적으로 건조 기후가 우세했던 하산동층 퇴적시기의 충적평원 환경에서 일시적인 강우량 증가에 따라 홍수가 발생하고 이후의 대규모 범람이 충적평원에 일어나면서 충적평원의

저지대 지역에 호수환경이 형성되고, 일정 기간 호수의 확장 and 축소가 반복되면서 하산동층 내에 복족류 패각화석층이 발달된 것으로 해석하였다. 이와 같은 하산동층 내의 층서 변화의 기록은 경상누층군 내에 발달한 하산동층(하성평원)-진주층(호수)-칠곡층(충적평원) 간의 층서 변화(Choi, 1985)의 축소판이라 볼 수 있으며, 이와 같은 충적분지에서의 기후변화에 따라 충적퇴적층 내에 호수퇴적층이 협재되는 특성은 호주의 신생대 Lake Eyre 분지의 퇴적층에 잘 기록되어 있다(Nanson *et al.*, 2008). 따라서 진주층 하부에서의 습윤 기후 발달에 의한 식물화석층 및 복족류패각화석층의 등장과 이후 진주층 상부로 가면서 건조기후 발달의 점차적인 증가는 하산동층의 퇴적 기간 중 일어났던 건조기후-습윤기후-건조기후로의 기후변화 양상이 하산동층-진주층-칠곡층의 퇴적과정에 보다 장기적으로 이루어진 결과로 해석된다.

한편 진주층 상부에 전술한 곤충화석층의 발달이 나타남은 진주층 상부의 퇴적시기로 가면서 건조기후가 점차 영향을 미치는 가운데에도 습윤기후의 발달에 의한 호수환경이 일정 부분 유지된 것으로 해

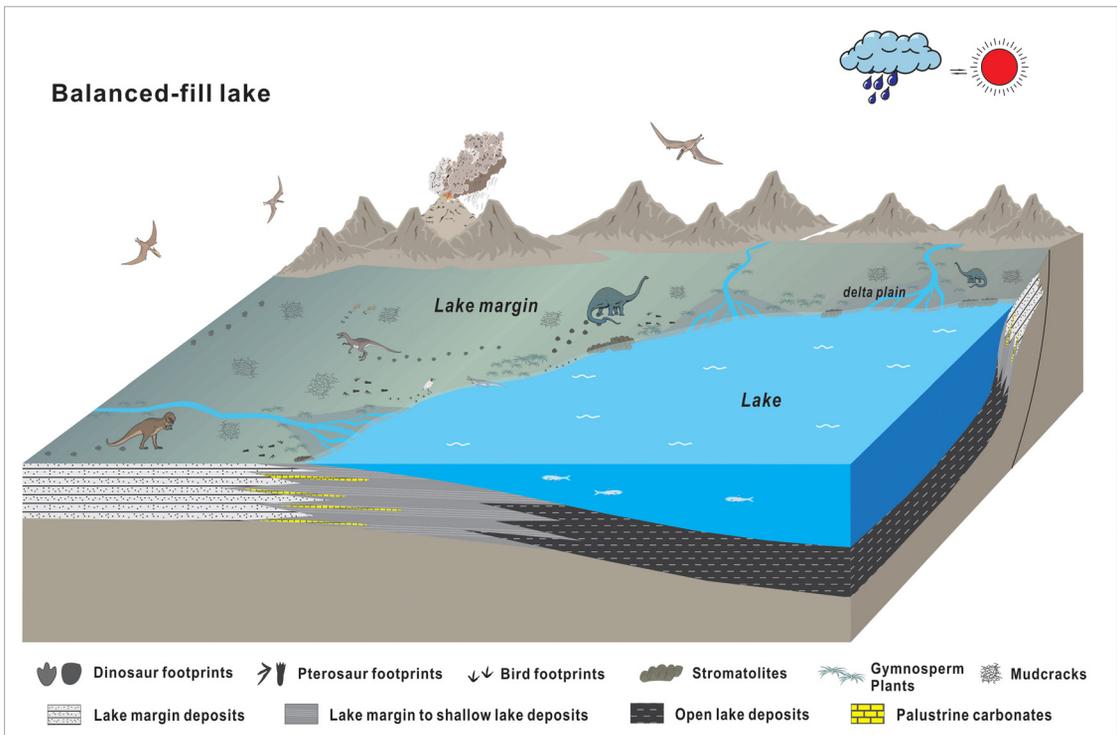


Fig. 9. Schematic diagram of the overall paleoenvironmental reconstruction of the Jinju Formation.

석된다. 그러나 최상부층에서의 이질평원의 확장과 진주층 상위에 놓이는 층적평원 기원의 칠곡층의 발달은 진주층 퇴적 말기에 일어난 화산활동의 증가와 관련하여 퇴적물 공급량의 증가 및 퇴적분지의 건조화 증가에 의해 balanced-fill lake 분지에서 over-filled lake 분지로의 변화에 따른 것으로 해석된다.

이와 같은 진주층 퇴적층의 층서적 변화는 진주층 퇴적시기인 엘비안(Lee, Y.I. *et al.*, 2010; Kang and Paik, 2013) 시기의 광역적 기후변화에도 연관성을 보인다. 즉 엘비안 초기에 나타나는 온난화-한랭화-온난화의 기록(Föllmi, 2012; Botini and Erba, 2018)과 동아시아 지역에서의 건조기후 확장 기록(Chumakov *et al.*, 1995)은 하산동층-진주층-칠곡층 발달과정에서 일어난 경상분지 내 호수의 확장-축소 기록과 관련이 있을 것으로 해석된다. 이와 같은 엘비안 이후의 경상분지의 건조화 경향은 경상누층군의 석회목 산출특성(Oh *et al.*, 2011)과 증발암 산출 특성(Paik *et al.*, 2007)에 의해서도 뒷받침된다.

## 5. 결론

- 1) 집현 지역 진주층 하부에 나타나는 복족류패각 화석층과 식물화석층의 발달은 전반적으로 건조한 기후가 우세했던 진주층 하위 하산동층의 퇴적이 끝나고 진주층의 퇴적시기로 넘어오면서 경상분지 내 호수의 확장을 가져 온 습윤기후의 우세한 발달이 시작된 결과로 해석된다.
- 2) 진주층 하부에서의 습윤 기후 발달에 의한 식물화석층 및 복족류패각화석층의 등장과 이후 진주층 상부로 가면서 건조기후 발달의 점차적인 증가는 하산동층의 퇴적 기간 중 일어났던 건조기후-습윤기후-건조기후로의 기후변화 양상이 하산동층-진주층-칠곡층의 퇴적과정에 보다 장기적으로 이루어진 결과로 해석된다.
- 3) 정촌 지역의 진주층 상부에 발달한 곤충화석층의 형성에는 호저로 유입된 저탁류가 전반적으로 영향을 미친 것으로 해석되며, 퇴적과정에는 건조 기후가 발달하는 가운데 호수환경이 일정기간 지속적으로 유지된 것으로 해석된다.
- 4) 집현 지역과 정촌 지역의 진주층 함화석층 특성과 진주층 전반의 퇴적특성을 종합적으로 고려할 때, 진주층의 퇴적은 balanced-fill lake 성

격의 분지에서 이루어진 것으로 해석된다.

- 5) 하산동층-진주층-칠곡층 발달과정에서 일어난 경상분지 내 호수의 확장과 축소 기록은 엘비안 초기에 나타나는 온난화-한랭화-온난화의 기록 및 동아시아 지역에서의 건조기후 확장 기록과 연관이 있을 것으로 해석된다.

## 감사의 글

이 연구는 한국연구재단 이공학 개인기초연구사업 과제(NRF-2018R1D1A1B07041872)의 지원에 의해 이루어졌으며, 야외자료의 취득에 도움을 준 경남문화재연구원과 경남개발공사에 감사를 드린다. 이 논문의 개선을 위해 세심하고 유익한 도움말을 주신 서울대학교 이용일 명예교수님과 익명의 심사위원장님, 그리고 이번 백악기 특별호의 발간에 많은 수고를 해 주신 임현수 편집위원장님 부위원장님께 깊은 감사를 드리며, 야외조사와 실내 연구에 도움을 준 부경대학교 지구환경과학과 지구고환경연구실의 실험실원에게도 고마움을 전한다.

## REFERENCES

- Ahn, K.-Y. and Paik, I.S., 2004, Occurrences and genesis of unique cracks in the Cretaceous Jinju Formation, Sacheon city, Gyeongsangnam-do, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 40, 93-102 (in Korean with English abstract).
- Anderson, L.C. and McBride, R.A., 1996, Taphonomic and paleoenvironmental evidence of Holocene shell-bed genesis and history on the Northeastern Gulf of Mexico shelf. *Palaios*, 11, 532-549.
- Bohacs, K.M., Carroll, A.R., Neal, J.E. and Mankiewicz, P.J., 2000, Lake-basin type, source potential, and hydrocarbon character: an integrated sequence-stratigraphic geochemical framework. In: Gierlowski-Kordesch, E. and Kelts, K.R. (eds.), *Lake Basins Through Space and Time*. AAPG Studies in Geol. 46, 3-33.
- Botini, C. and Erba, E., 2018, Mid-Cretaceous paleoenvironmental changes in the western Tethys. *Climate of the Past*, 14, 1147-1163.
- Bridge, J., 2006, Fluvial facies models: Recent developments. In: Posamentier, H. and Walker, R.G., (eds.), *Facies Models Revisited*. SEPM Spec. Publication, 84, 85-170.
- Chang, K.H., 1968, Explanatory text of the Geological map of Habcheon sheet (1:50,000). Geological Survey

- of Korea, 21 p.
- Chang, K.H., 1975, Cretaceous stratigraphy of Southeast Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 11, 1-23.
- Chumakov, N.M., Zharkov, M.A., Herman, A.B., Doludenko, M.P., Kalandadze, N.N., Lebedev, E.L., Ponomarenko, A.G. and Rautian, A.S., 1995, Climatic zones in the middle of the Cretaceous Period. *Stratigraphy and Geological correlation*, 3, 3-14.
- Choi, B.D. and Huh, M., 2016, *Mongolocypris kohi* sp. nov.: A new Early Cretaceous non-marine ostracod species from the Jinju Formation, South Korea. *Cretaceous Research*, 57, 239-247.
- Choi, B.D., Wang, Y.-Q. and Huh, M., 2018, Cypridea species (Crustacea, Ostracoda) from the Lower Cretaceous Jinju Formation of the Gyeongsang Basin, South Korea. *Palaeoworld*, 27, 382-391.
- Choi, H.I., 1985, Sedimentology and its implication for stratigraphic classifications of the Cretaceous Gyeongsang Basin. *Journal of the Geological Society of Korea*, 21, 26-37.
- Choi, H.I., 1999, Upper Mesozoic. In: Geological Society of Korea (ed.), *Geology of Korea*. Sigma Press, 233-273 (in Korean).
- Choi, H.I., Son, J.D., Oh, J.H., Choi, Y.J., Yoon, H.S., Cheon, S.S., Yang, M.Y., Kim, S.G., Cho, D.H., Moon, C.B., Min, S.S. and Park, Y.S., 1982, Geological, Geochemical and Geophysical studies on the Gyeongsang Supergroup in the Euseong area. *KIER Bulletin* 28, Korea Institute of Energy and Resources, 50 p (in Korean).
- Choi, Y.K. and Yoo, B.H., 1969, Explanatory text of the Geological map of Sacheon sheet (1:50,000). *Geological Survey of Korea*, 11 p.
- Chun, J.H., 1992, Depositional environments of the Lower Cretaceous Jinju Formation in the Euisung Sub-basin, Gunwi and Daegu areas and Miryang Sub-basin, Jinju area. Thesis of Master's Degree, Pukyong National University, 76 p (in Korean with English abstract).
- Davis, G.M., 1982, Historical and ecological factors in the evolution, adaptive radiation, and biogeography of freshwater mollusks. *American Journal of Zoology*, 22, 375-395.
- Deng, S., 2002, Ecology of the Early Cretaceous ferns of Northeast China. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 119, 93-112.
- Föllmi, K.B., 2012, Early Cretaceous life, climate and anoxia. *Cretaceous Research*, 35, 230-257.
- Ha, S.J., Chae, Y.-U., Jeong, G.Y., Son, M., Yang, K., Paik, I.S. and Lim, H.S., 2015, A preliminary study of calcite beef found in the Cretaceous Jinju Formation, Gyeongsang Basin, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 51, 597-604 (in Korean with English abstract).
- Kang, H.-C. and Paik, I.S., 2013, Review on the geological ages of the formations in the Gyeongsang Basin, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 49, 17-29 (in Korean with English abstract).
- Kenrick, P., You, H.S., Koh, Y.K., Kim, J.Y., Cho, S.H. and Kim, H.G., 2000, Cretaceous plant fossils from the Kohung area, Chonnam, Korea. *Journal of the Paleontological Society of Korea*, 16, 45-56.
- Kidwell, S.M., 1991, The stratigraphy of shell concentrations. In: Allison, P.A. and Briggs, D.E.F. (eds), *Taphonomy: Releasing the Data Locked in the Fossil Record*. Plenum Press, New York, 211-290.
- Kim, H.J., Paik, I.S., Kim, S. and Lee, H., 2018, Sedimentary facies, paleoenvironments, and stratigraphy of the Haman Formation (Early Cretaceous) in Sopo-ri, Haman-gun, Gyeongsangnam-do, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 54, 1-19 (in Korean with English abstract).
- Kim, H.-M., Chang, M.-M., Wu, F. and Kim, Y.-H., 2014, A new ichthyodectiform (Pisces, Teleostei) from the Lower Cretaceous of South Korea and its paleobiogeographic implication. *Cretaceous Research*, 47, 117-130.
- Kim, J.Y., Keighley, D.G., Pickerill, R.K., Hwang, W. and Kim, K.-S., 2005, Trace fossils from marginal lacustrine deposits of the Cretaceous Jinju Formation, southern coast of Korea. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 218, 105-124.
- Kim, J.Y., Kim, K.S. and Pickerill, R.K., 2000, Trace fossil *Protovirgularia* McCoy, 1850 from the Nonmarine Cretaceous Jinju Formation of the Sacheon area, Korea. *Journal of Korean Earth Science Society*, 21, 695-702.
- Kim, J.Y. and Lockley, M., 2016, First report of turtle tracks from the Lower Cretaceous of Korea. *Cretaceous Research*, 64, 1-6.
- Kim, J.Y., Lockley, M.G., Woo, J.O. and Kim, S.H., 2012, Unusual didactyl traces from the Jinju Formation (Early Cretaceous, South Korea) indicate a new ichnospecies of *Dromaeosauripus*. *Ichnos*, 19, 75-83.
- Kim, K.S. and Kim, J.Y., 2008, *Lockeia gigantus* ichnosp. nov. in the Lacustrine deposits of the Early Cretaceous Jinju Formation, Southern Coast of Korea. *Journal of Korean Earth Sciences Society*, 29, 13-28.
- Kim, K.S., Lim, J.D., Lockley, M.G., Xing, L. and Choi, Y., 2017, Korean trackway of a hopping, mammaliform trackmaker is first from the Cretaceous of Asia. *Cretaceous Research*, 74, 188-191.
- Kim, K.S., Lim, J.D., Lockley, M.G., Xing, L., Ha, S.J., Kim, C.B., Paik, I.S., Ahn, J.H. and Mun, S.C., 2018a, First reports of a distinctive theropod track assemblage from the Jinju Formation (Lower Cretaceous) of Korea provides strom correlations with China. *Cretaceous*

- Research, 81, 26-35.
- Kim, K.S., Lim, J.D., Lockley, M.G., Xing, L., Kim, D.H., Piuela, L., Romilio, A., Yoo, J.S., Kim, J.H. and Ahn, J., 2018b, Smallest known raptor tracks suggest micro-raptorine activity in lakeshore setting. *Scientific Reports*, 8, 16908, DOI:10.1038/s41598-018-35289-4.
- Kim, K.S., Lockley, M.G., Lim, J.D. and Kim, D.H., 2019a The oldest known anuran (frog) trackways from the Jinju Formation, Lower Cretaceous, Korea. *Cretaceous Research*, 96, 142-148.
- Kim, K.S., Lockley, M.G., Lim, J.D. and Xing, L., 2019b, Exquisitely-preserved, high-definition skin traces in diminutive theropod tracks from the Cretaceous of Korea. *Scientific Reports*, 9, 2039, doi.org/10.1038/s41598-019-38633-4.
- Kim, K.W. and Lee, Y.J., 1969, Explanatory text of the Geological map of Changryeong sheet (1:50,000). Geological Survey of Korea, 18 p.
- Kim, N.J. and Kang, P.C., 1965, Explanatory text of the Geological map of Chingyo sheet (1:50,000). Geological Survey of Korea, 33 p.
- Kim, O.J., Yun, S. and Gil, Y.J., 1969, Geological map and explanatory text of Jinju sheet (1:50,000). Geological Survey of Korea, 11 p.
- Kobayashi, T. and Suzuki, K., 1936, Non-marine shells of the Naktong-Wakino Series. *Japanese Journal of Geology and Geography*, 13, 243-257.
- Köhler, F. and Glaubrecht, M., 2001, Toward a systematic revision of the southeast asian freshwater gastropod *Brotia* H. adams, 1866 (Cerithioidea: pachychilidae): An account of species from around th south china sea. *Journal of Molluscan Studies*, 67, 281-318.
- Koto, B., 1903, An orographic sketch of Korea. *J. Coll. Sci. Imp. Univ. Tokyo*, 19-1, 1-16.
- Lee, D.-C., 2018, Probable insect cocoon or pupation chamber in a channel-fill sandstone bed of the Lower Cretaceous Jinju Formation, South Korea. *Lethaia*, 51, 433-443.
- Lee, H.I., Paik, I.S. and Chun, J.W., 2010, Soft-sediment deformation structures in the Cretaceous Jinju Formation in the Sacheon area, Korea: occurrences and origin. *Journal of the Geological Society of Korea*, 46, 305-315 (in Korean with English abstract).
- Lee, K.C., 1997, Lacustrine cylindrical stromatolites from the Upper Chinju Formation in the Kunwi Area, Kyongsangbukdo, and paleoenvironment. *Journal of Environmental Science*, 3, 53-71 (in Korean with English abstract).
- Lee, K.C. and Woo, K.S., 1996, Lacustrine stromatolites and diagenetic history of carbonate rocks of Chinju Formation in Kunwi area, Kyongsangbukdo, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 32, 351-365.
- Lee, T.-H., Park, K.-H. and Yi, K., 2018, Nature and evolution of the Cretaceous basins in the eastern margin of Eurasia: A case study of the Gyeongsang Basin, SE Korea. *Journal of Asian Earth Sciences*, 166, 19-31.
- Lee, S.J. and Kong, D.Y., 2004, Rod-shaped stromatolites from the Jinju Formation, Namhae, Gyeongsangnam-do, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 40, 13-26 (in Korean with English abstract).
- Lee, S.S., Yang, S.Y. and Lee, Y.D., 1990, On the *Brotiopsis* spp. (Cretaceous Non-Marine Gastropod) from the Lower Formations of Gyeongsang Supergroup, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 26, 143-153 (in Korean with English abstract).
- Lee, Y.I., Choi, T.J., Lim, H.S. and Orihashi, Y., 2010, Detrital zircon geochronology of the Cretaceous Sindong Group, Southeast Korea: implications for depositional age and Early Cretaceous igneous activity. *Island Arc*, 19, 647-658.
- Lim, J.D., Baek, K.S. and Yang, Y.S., 2002, A new record of a pterosaur from the early Cretaceous of Korea. *Current Sciences*, 82, 1208-1210.
- Metz, R., 2003, Nonmarine Cretaceous *Protovirgularia*: Possible dragonfly larva tracemaker. *Ichnos*, 9, 75-76.
- Mohr, B.A.R., Bernardes-de-Oliveira, M.E.C., Loveridge, R., Pons D., Sucerquia, P.A. and Castro-Fernandes M.C., 2015, *Ruffordia goeppertii* (Schizaeales, Anemiaceae) A common fern from the Lower Cretaceous Crato Formation of northeast Brazil. *Cretaceous research*, 54, 17-26.
- Nam, K.-S. and Kim, J.H., 2016, Reconstruction and Paleoenvironmental implications of dragonfly *Hemeroscopus baissicus* Pritykina, 1977 (Hemeroscopidae) from the Lower Cretaceous Jinju Formation in the Jinju Area, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 52, 105-112 (in Korean with English abstract).
- Nanson, G.C., Price, D.M., Jones, B.G., Maroulis, J.C., Coleman, M., Bowman, H., Cohe, T.J., Pietsch, T.J. and Larsen, J.R., 2008, Alluvial evidence for major climate and flow regime changes during the middle and late Quaternary in eastern central Australia. *Geomorphology*, 101, 109-129.
- Oh, C., Kim, K., Paik, I.S. and Lim, J.D., 2011, Cretaceous conifer woods of Korea: Occurrences and palaeobiological implications. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 164, 67-83.
- Oh, C., Legrand, J., Kim, K., Philippe, M. and Paik, I.S., 2011, Fossil wood diversity gradient and Far-East Asia palaeoclimatology during the Late Triassic -Cretaceous interval. *Journal of Asian Earth Sciences*, 40, 710-721.

- Paik, I.S., 1998, Vertic paleosols from the Sindong Group: occurrences, paleoenvironments, and stratigraphy. *Journal of the Geological Society of Korea*, 34, 58-72 (in Korean with English abstract).
- Paik, I.S., 2005, The oldest record of microbial-caddisfly bioherms from the Early Cretaceous Jinju Formation, Korea: occurrence and palaeoenvironmental implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 218, 301-315.
- Paik, I.S., Huh, M., So, Y.H., Lee, J.E. and Kim, H.J., 2007, Traces of evaporites in Upper Cretaceous lacustrine deposits of Korea: origin and paleoenvironmental implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 30, 93-107.
- Paik, I.S. and Kim, H.J., 2006, Playa lake and sheetflood deposits of the Upper Cretaceous Jindong Formation, Korea: Occurrences and palaeoenvironments. *Sedimentary Geology*, 187, 83-103.
- Paik, I.S., Kim, H.J., Kim, K., Jeong, E.-K., Oh, C., Kim, N.-Y. and Lim, H.S., 2018, Some reports and discussion for the paleoenvironments and stratigraphy of the Gyeongsang Basin. Abstract of 2018 Fall Joint Conference of the Geological Sciences, 161.
- Paik, I.S. and Kim, J.Y., 1995, Calcareous paleosols from the Upper Hasandong Formation in the vicinity of Jinju, Korea: implications in floodplain sedimentation and paleoclimate. *Journal of the Geological Society of Korea*, 31, 482-498 (in Korean with English abstract).
- Paik, I.S., Kim, N.Y. and Kim, H.J., 2011, Shell deposits in the Lower Cretaceous Hasandong Formation from Daesong-ri, Geumnam-myeon, Hadong-gu. - Occurrences, taphonomy, paleoenvironments, and implications in the geological Heritage. *Munhwajae Korean Journal of Cultural Heritage Studies*, 44, 4-29 (in Korean with English abstract).
- Paik, I.S. and Lee, Y.I., 1994, Paleoclimatic records in floodplain lake deposits of the Cretaceous Hasandong Formation in Jinju area, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 30, 410-424 (in Korean with English abstract).
- Paik, I.S. and Lee, Y.I., 1998, Dessiccation cracks in vertic paleosols of the Cretaceous Hasandong Formation, Korea: genesis and palaeoenvironmental implications. *Sedimentary Geology*, 119, 161-179.
- Park, T.Y., Kim, Y.H. and Nam, K.S., 2013, Preliminary research on the aquatic coleopteran, *Coptoclava* from the Early Cretaceous Jinju Formation. *Journal of the Geological Society of Korea*, 49, 617-624 (in Korean with English abstract).
- Park, T.-Y., Nam, K.-S. and Selden, P.A., 2019, A diverse new spider (Araneae) fauna from the Jinju Formation, Cretaceous (Albian) of Korea. *Journal of Systematic Palaeontology*, 17, 1051-1077.
- Park, T.-Y., Wilson, G.D.G., Lee, D.C. and Choi, D.K., 2012, Occurrence of the Isopod *Archaeoniscus coreanensis* New Species from the Lower Cretaceous Jinju Formation, Korea. *Journal of Paleontology*, 86, 626-640.
- Selden, P.A., Nam, K.S., Kim, S.H. and Kim, H.J., 2012, A fossil spider from the Cretaceous of Korea. *Journal of Paleontology*, 86, 1-6.
- So, Y.H., Paik, I.S., Kim, H.J. and Kim, S.J., 2007, Cyclic deposits in the Haman Formation (Cretaceous) of the Gyeongsang Supergroup at Sinsu Island, Sacheon, Korea: occurrence and origin. *Journal of the Geological Society of Korea*, 43, 1-19 (in Korean with English abstract).
- Sohn, J.D., 1989, Sedimentology of the Jinju and Iljik formations of the Cretaceous Gyeongsang Supergroup in the Gunwi area, Gyeongsangbuk-do, Korea. Thesis of Ph.D's Degree, Seoul National University, 110 p (in Korean with English abstract).
- Soriano, C., Ponomarenko, A.G. and Delclòs, X., 2007, Coptocladid beetles (Coleoptera: Adephaga) from the Lower Cretaceous of Spain: A new feeding strategy in beetles. *Paleontology*, 50, 525-536.
- Suzuki, K., 1943, Restudy on the non-marine molluscan fauna of the Rakuto Series in Keisyo-do, Tyosen. *Journal of the Sigenkagaku Kenkyusho*, 1, 189-219.
- Tateiwa, I., 1929, Geological Atlas of Chosen, Waegwan, Daegu, Yeongcheon, Gyeongju, and Joyang sheets. Geol. Survey of Chosen.
- Um, S.H., Choi, H.I., Son, J.D., Oh, J.H., Kwak, Y.H., Shin, S.C. and Yun, H.S., 1983, Geological and geochemical studies on the Gyeongsang Supergroup in the Gyeongsang Basin. *KIER Bulletin*, 36, 124 p (in Korean).
- Yang, S.Y., 1996, Research History for the Geology of Korean Peninsula in Early Stage. Publication Department, Kyungpook National University, 657 p (in Korean).
- Yang, S.Y., Kim, J.Y., Paik, I.S., Yun, C.S., Lee, G.C., Lee, D.C., Lee, Y.G., Lim, J.D., Chun, H.Y. and Huh, M., 2013, Megafossils of Korea. Academy Books, 448 p (in Korean).
- Yun, C.S. and Yang, S.Y., 2001, First discovery of big pterosaur teeth in Korea. *Journal of the Paleontological Society of Korea*, 17, 69-76 (in Korean with English abstract).
- Yun, C.S. and Yang, S.-Y., 2004, Three bivalve fossils from the Dongmyeong Formation of Gisan, Goryeong in Korea. *Journal of the Paleontological Society of Korea*, 20, 173-181 (in Korean with English abstract).

---

Received : July 22, 2019

Revised : August 16, 2019

Accepted : August 20, 2019