

전라남도 신안군 자은도에서 발견된 공룡알 등지 예비연구

조혜민¹ · 정중윤¹ · 김민국² · 김보성³ · 우 연⁴ · 주성영⁵ · 허 민^{2*}

¹전남대학교 지질환경과학과 & 한국공룡연구센터

²전남대학교 지구환경과학부 & 한국공룡연구센터

³목포자연사박물관 연구팀

⁴광주광역시 푸른도시사업소

⁵신안군청 세계유산과

Preliminary study on the dinosaur egg nests from Jaeun Island, Sinan (Shinan)-gun, Jeollanam-do of South Korea

Hyemin Jo¹ · Jongyun Jung¹ · Minguk Kim² · Bo Seong Kim³ · Yeon Woo⁴ · Seong Young Ju⁵ · Min Huh^{2*}

¹Department of Geology & Environmental Sciences & Korea Dinosaur Research Center, Chonnam National University, Gwangju 61186, Republic of Korea

²Faculty of Earth Systems and Environmental Sciences & Korea Dinosaur Research Center, Chonnam National University, Gwangju 61186, Republic of Korea

³Research Team, Mokpo Natural History Museum, Mokpo 58699, Republic of Korea

⁴Geopark Division, Green City Office, Gwangju Metropolitan City, Gwangju 61636, Republic of Korea

⁵World Heritage Division, Shinan-gun Office, Sinan 58827, Republic of Korea

요 약

전라남도 신안군 자은도 북서쪽 지역에서 20여 개의 공룡알이 등지를 이룬 채 발견되었다. 발견된 공룡알들은 최소 4개의 등지를 이루고 있으며, 자은도응회암에 협재 되어 있는 자색 이암층에서 발견되었다. 공룡알의 크기와 형태는 약 10 cm 내외의 장축을 갖는 아구형(subspherical)이며, 하부에서 상부로 갈수록 직경이 줄어드는 형태의 multicanaliculate 숨구멍계를 통해 Faveoololithidae에 속하는 *Propagoolithus* oosp.로 동정하였다. 가장 온전한 형태의 등지는 10개의 알로 구성되어 있으며 그릇형(bowl-shaped) 구조를 보인다. 이와 같은 등지의 형태는 티타노사우루스류에 속하는 용각류 공룡이 뒷발을 이용하여 땅을 파서 형성한 것으로 해석된다. 또한 부화창(hatching window)으로 추측되는 공룡알 상부의 구멍과 알 내부에서 나타나는 알껍데기 파편들은 자은도 공룡알이 부화가 일어난 후 화석화되었을 가능성을 지시한다. 이러한 공룡알 등지 형태 및 껍데기의 분포 양상을 통해 백악기 한반도에 서식하였던 공룡의 종류와 이들의 번식 및 산란에 대한 더 자세한 연구가 필요해 보인다.

주요어: 신안군, 자은도, 공룡알, Faveoololithidae, 티타노사우루스류

ABSTRACT: About twenty dinosaur eggs were found as nests in the northwestern part of Jaeun Island, Sinan (Shinan)-gun, Jeollanam-do of South Korea. The dinosaur eggs, consisting at least four clutches, were discovered at the reddish mudstone intercalated in the Jaeundo Tuff. These dinosaur eggs have subspherical shape with about 10 cm long axis, and they were identified as faveoololithid *Propagoolithus* oosp., based on a multicanaliculate pore canal system that gradually decreases in diameter towards the outer surface of the eggshell. The most well-preserved nest contains ten eggs, displaying a bowl-shaped arrangement. This type of nest suggests that titanosaurid sauropods likely excavated the ground using their hind feet to make these nests. In addition, the big

*Corresponding author: +82-62-530-3455, E-mail: minhuh@jnu.ac.kr

holes in the dinosaur egg's upper part (interpreted as a hatching window) with the eggshell fragments on the bottom inside the eggs suggest that these eggs were fossilized after hatching. They are expected to provide information on the diversity of dinosaurs in Korea during the Cretaceous period and their reproductive behaviors and nesting habits should be studied in more detail.

Key words: Sinan (Shinan)-gun, Jaemun Island, dinosaur eggs, Faveoololithidae, Titanosauria

1. 서론

1972년 경상남도 하동군에서 우리나라 최초의 공룡알이 발견된 이후(Yun and Yang, 1997), 다양한 백악기 퇴적분지 내의 약 15개의 화석지(경상남도 하동군, 고성군, 사천시 신수도, 통영시, 전라남도 보성군, 구례군, 신안군 압해도, 경기도 화성시, 부산시 다대포, 전라북도 부안군 위도 등)에서 공룡알이 보고되었다. 한반도에서 보고된 공룡알은 총 6개의 난과(Dendroolithidae, Dictyoolithidae, Elongatoolithidae, Faveoololithidae, Ovalolithidae, Spheroolithidae)로 분류되고 있다(Yun and Yang, 1997; Lee *et al.*, 2000, 2007; Huh and Zelenitsky, 2002; Huh *et al.*, 2006; Kim, J.Y. *et al.*, 2011b; Kim, N.-H. *et al.*, 2019). 이 중 전라남도 신안군에서는 과거 압해도에서 대형 오비랍토로사우루스류의 둥지로 추정되는 *Macroelongatoolithus xixiaensis* 둥지가 발굴 및 연구된 바 있다(Kim *et al.*, 2011a; Huh *et al.*, 2014). 신안군 자은도의 공룡알은 Faveoololithidae에 속하는 공룡알로 과거 전라남도 보성군 비봉리, 경기도 화성시 고정리, 전라북도 부안군 위도 지역에서 보고된 것들과 같은 종류이다. 자은도의 공룡알은 분계·자은도·비금도·기좌도도폭 지질조사보고서(Choi *et al.*, 2016)에서 공룡알 파편으로 언급되었으나 이에 대한 자세한 기술 및 논의는 없었다. 따라서 이번 연구에서는 신안군 자은도에서 발견된 공룡알의 분류와 새롭게 발견된 둥지의 산출 양상을 기술하고자 한다.

2. 지질 개요

화석이 발견된 전라남도 신안군 자은도는 목포시에서 서북서 방향으로 약 30 km 떨어져 있는 섬으로 암태도와 압해도를 통하여 육지와 연결되어 있다(그림 1a-b). 이 지역의 지질은 육천대 남서쪽 끝에 위치한 후기 백악기 화산암류로 유천층군에 대비된다. 하부로부터 자은도응회암과 사옥도응회암이 위

치하며 암태도화강반암과 여러 차례에 걸친 유문암이 응회암을 관입한 것으로 보인다(Choi *et al.*, 2016, 그림 1c). 이 중 자은도응회암은 응회각력암, 화산력응회암, 응회암 내에 소규모의 응회질퇴적암과 이를 협재하는 쇄설성 퇴적암으로 이루어져 있으며 연대는 84-82 Ma로 과거 공룡과 새 발자국 화석(Hwang *et al.*, 2010), 양서류 발자국 화석(Park *et al.*, 2018)이 보고된 신안군 사옥도와 송도의 사옥도응회암과 대비된다(Choi *et al.*, 2016; Hwang *et al.*, 2019). 연구 대상인 공룡알은 자은도 북서쪽 신돌해수욕장에 위치하는 자은도응회암 내 협재하는 괴상의 쇄설성 퇴적암에서 발견되었다(그림 1d-f). 공룡알이 발견되는 퇴적층은 약 2 m 두께의 담녹색 또는 자색 사질이암층이며 상부로 갈수록 원마도가 좋지 않은 응회질역의 비중이 높아지고 공룡알의 산출 빈도도 줄어든다. 대부분의 공룡알은 사질이암에서 발견되었으나, 1개의 공룡알 둥지 및 공룡알 파편이 응회질역을 포함한 사암층의 경계에서도 확인되었다(그림 1d).

3. 연구 방법

이번 연구대상인 공룡알은 Choi *et al.* (2016)에서 “자색의 이암 내부에는 공룡알 파편 화석이 관찰”로 보고된 바 있다. 이후 전남대학교 한국공룡연구센터에서 현장 조사 중 산재하는 공룡알 파편과 함께, 온전한 형태를 이루고 있는 공룡알 둥지를 확인하였으며 신안군청의 협조하에 수시로 조사 및 연구가 진행되었다. 대부분의 공룡알은 현장에 위치하고 있으며, 전석으로 떨어져 있는 공룡알 1점(KDRC-SJ-DE01)을 수습하여 전남대학교 한국공룡연구센터에 보관 중이다. 노두와 전석에서 발견된 공룡알 파편 일부를 채취하여 연구를 진행하였다. 공룡알 단면의 구조를 확인하고 분류하기 위하여 총 4개의 박편을 제작하였다(KDRC-SJ-DE-t01-t04). 제작된 공룡알 박편은 전남대학교 지구환경과학부의 편광현미경

(Leica DM750P)을 통해 관찰하였다. Shell unit에서 나타나는 초미세구조(ultrastructure)와 내부 및 외부 표면을 관찰하기 위해 백금코팅 후 한국기초과학지원연구원 광주센터의 주사전자현미경(Hitachi SU-70)을 이용하였다. 주사전자현미경은 15.0 kV의 가속 전압(accelerating voltage)에서 Secondary Electron (SE) 모드로 촬영하였다. 그 밖의 공룡알 기재에 관한 용어는 Mikhailov (1991, 1997)을 따른다.

4. 기재

발견된 공룡알은 모두 동일한 종류로 보이며, 노

두에서 21개의 알이 4개의 둥지를 이루고 있고(*in situ*) 각각의 둥지는 3 - 10개의 알로 구성되어 있다 (그림 2a-e). 3개의 공룡알 둥지(EC01-EC03)는 직경 약 10 m 이내의 동일 층준에서 발견되었으며 둥지는 각각 약 1 m (EC01 - EC02)와 5 m (EC02 - EC03) 간격으로 떨어져서 발견된다. 둥지 EC04는 이보다 약 60 cm 상위 층준에서 발견되었다(그림 2A). 해당 노두의 바로 앞에서 1개의 공룡알(KDRC-SJ-DE01)을 포함하고 있는 전석을 확인하였다. 또한, 해당 층준 내에는 둥지와 분리된 공룡알 파편들이 다수 분포하고 있다. 공룡알 둥지를 이루고 있는 퇴적암과 주변을 이루고 있는 퇴적암 내에서 뚜렷한

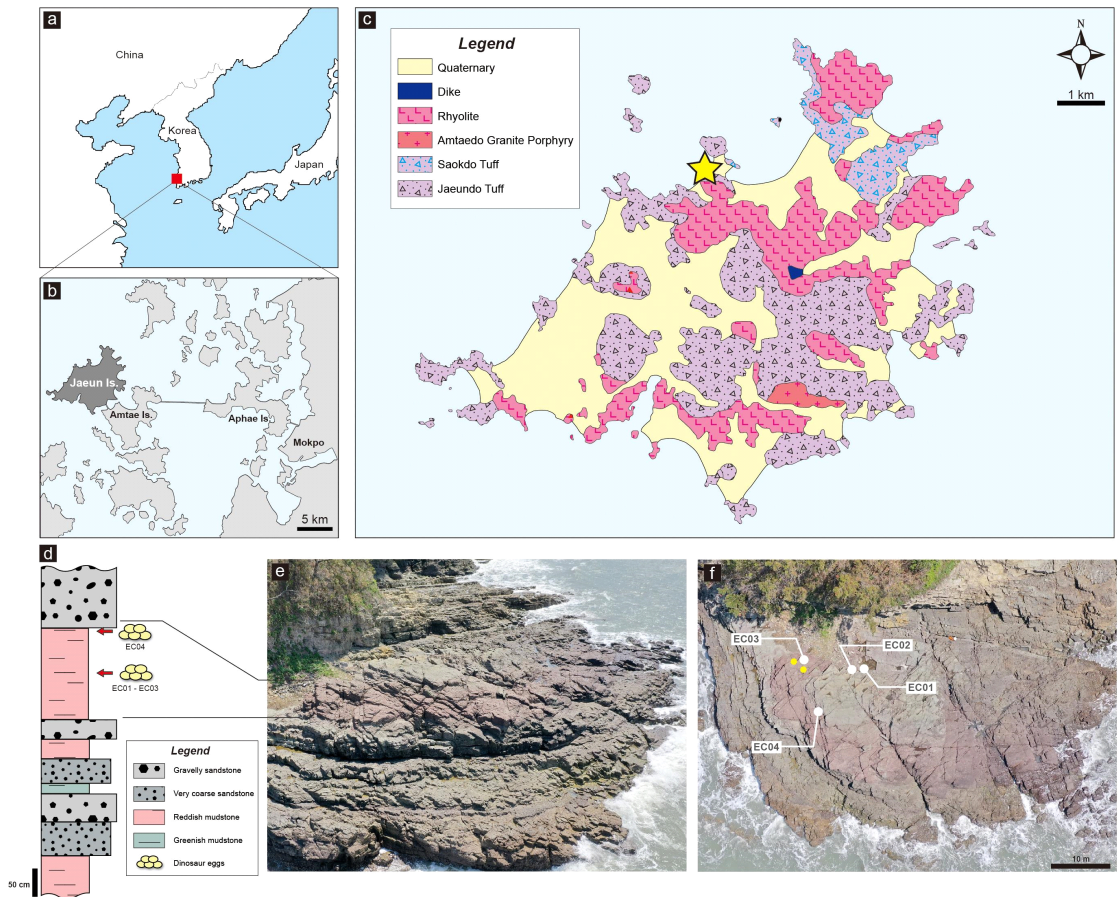


Fig. 1. Location and Geological map of Jaeun Island dinosaur egg fossil site. (a) The geographical location of Sinan (Shinan)-gun in Korea. (b) The geographical location of Jaeun Island, Amtae Island, and Aphae Island in Sinan (Shinan)-gun area. (c) Geological map of Jaeun Island. The yellow asterisk indicates the egg fossil site. (d) Columnar section of the dinosaur egg-bearing deposits intercalated in Jaeundo Tuff in Jaeun Island. (e) Aerial view of the Jaeun Island dinosaur egg-bearing deposits. (f) Aerial view of the Jaeun Island dinosaur egg fossil site with Dinosaur egg clutch locations. The white and yellow dots show the areas of egg clutches and fragment assemblage, respectively.

암상이나 퇴적구조의 차이는 발견되지 않기 때문에 등지의 명확한 경계가 나타나지 않는다. 또한, 등지 EC01을 제외한 나머지 등지들은 산출 상태가 좋지 않거나 일부만 노출되어 있어 정확한 형태와 크기는 파악하기 어렵다.

등지 EC01은 발견된 모든 등지 중 비교적 온전한 형태를 보여주고 있다(그림 2b). 등지의 수직면이 노출된 형태로 발견되었으며, 하부에 겹쳐서 모여

있는 5개의 알과 상부에 선형으로 나열되어 있는 5개의 알로 이루어져 있다(그림 2b). 배열된 공룡알과 파편을 바탕으로 추정되는 등지의 크기는 길이 86 cm, 깊이 41 cm이다. EC01의 경우 서로 다른 배열을 가지는 알의 군집으로 구성되어 있으나, 알 파편의 연속적인 분포, 공룡알의 장축 방향의 일관성, 그리고 두 군집 사이에 뚜렷한 경계 없이 균일한 암상과 퇴적구조를 나타낸다는 점을 바탕으로 단일 등

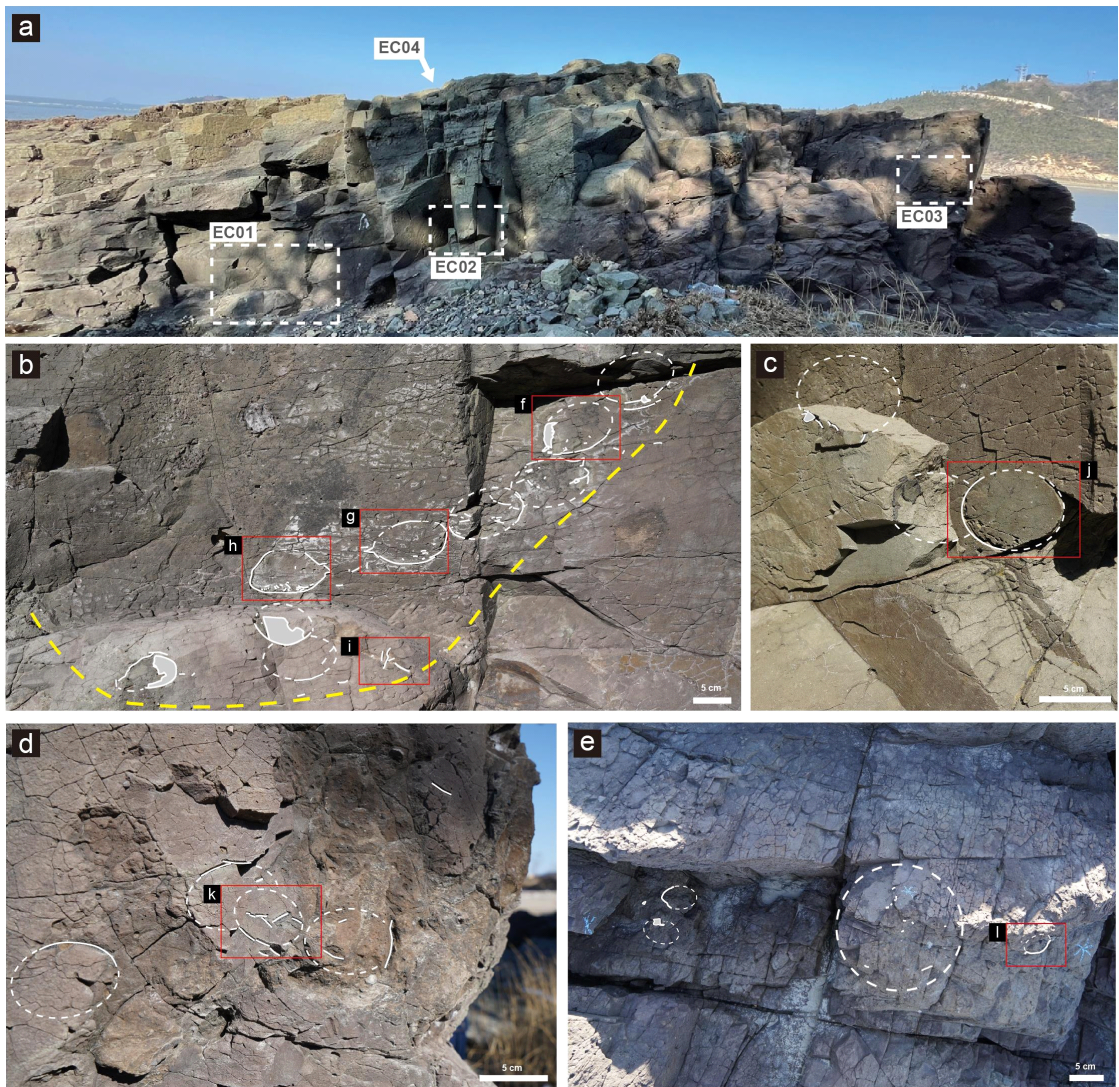


Fig. 2. Photographs of dinosaur egg fossils from Jaeun Island dinosaur egg fossil site. (a) Overall view of the egg site outcrop with clutch locations. (b) Photograph of the clutch EC01 with the drawing of dinosaur eggs. The yellow dotted line indicates the bowl-shaped nest. (c) Photograph of the clutch EC02 with the drawing of dinosaur eggs. (d) Photograph of the clutch EC03 with the drawing of dinosaur eggs. (e) Photograph of the clutch EC04 with the drawing of dinosaur eggs.

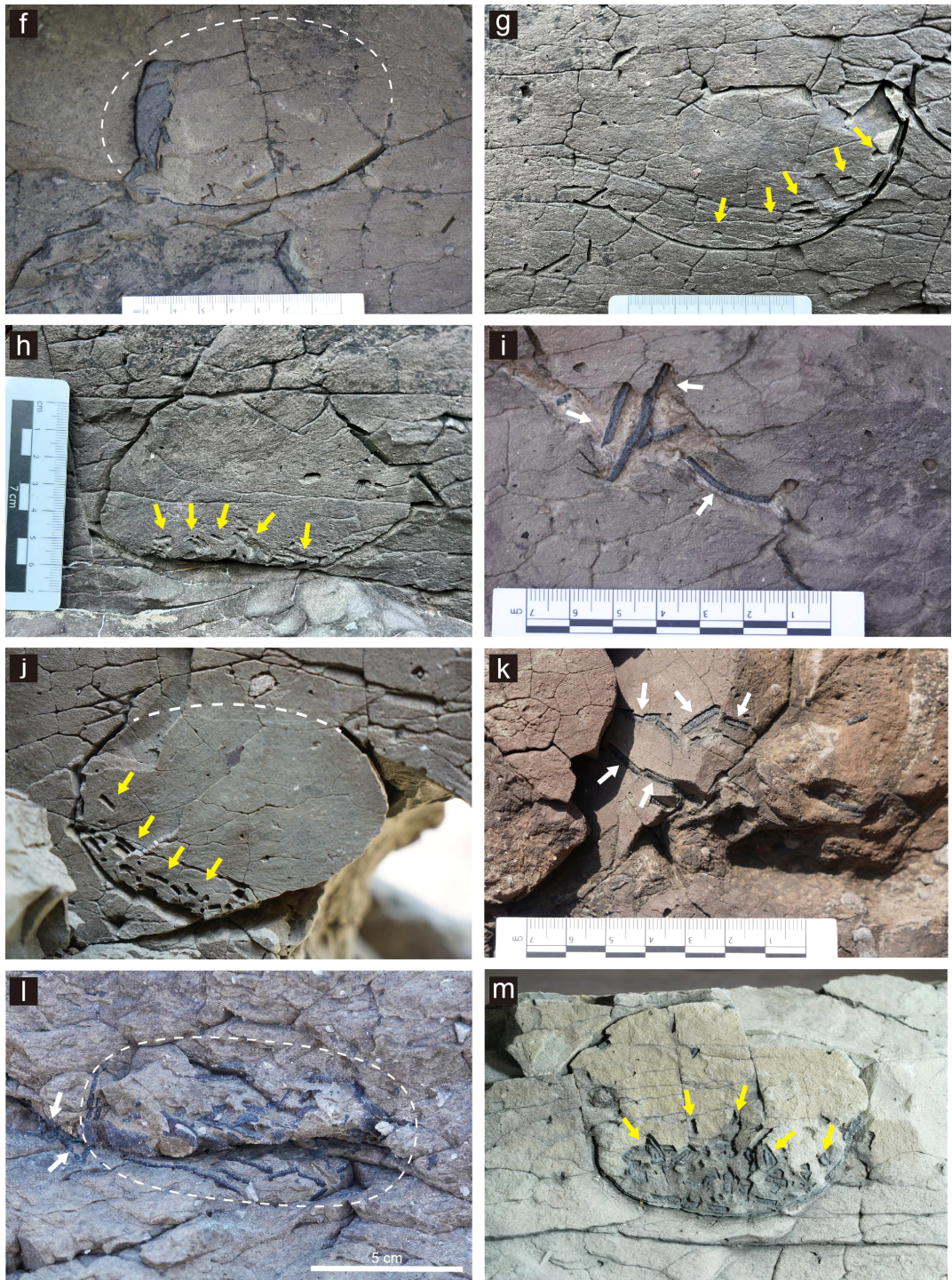


Fig. 2 (continued). (f-i) The dinosaur eggs from the clutch EC01. (j) The dinosaur egg from the clutch EC02. The White dotted line indicates the hatching window. (k) The dinosaur egg from the clutch EC03. The fragments were reported by Choi *et al.* (2016). (l) The dinosaur egg from the clutch EC04. The fragments are superimposed in the egg. (m) The dinosaur egg in *ex-situ* (KDRC-SJ-DE01). The yellow arrows indicate the eggshell fragments in the egg. The white arrows indicate eggshell fragments.

지로 해석하였다.

등지 EC02는 최소 3개의 공룡알로 구성되어 있는데 단면이 매우 잘 나타나는 온전한 형태의 공룡알 1개와 파편이 모여진 형태로 나타나는 2개의 알로 이루어져 있다(그림 2c). EC02 등지는 절리를 따라 노출된 노두에 위치하고 있어 많은 알이 소실된 것으로 보인다. EC02에서 단면이 잘 나타난 공룡알의 경우 작은 파편들이 내부의 하부에 쌓여있고, 상부의 껍질은 나타나지 않은 것을 확인하였다(그림 2j).

등지 EC03은 최소 4개의 알로 구성되어 있으며, 온전한 형태는 나타나지 않고 모든 알이 파편이 모여진 형태로 발견된다(그림 2d). 과거 Choi *et al.* (2016)에서 보고된 공룡알 파편이 이에 해당한다(그림 2k). EC03의 반경 약 1 m 주변에 다수의 공룡알 파편이 발견되나 알의 개수나 등지의 형태를 파악하기는 어렵다.

마지막으로 등지 EC04는 다른 등지보다 상위층에 위치하고 있으며, 다른 등지와는 다르게 기질 내

역의 비율이 더 높다. 온전한 알은 발견되지 않고 층리와 평행한 방향으로 압축을 받아 파편상으로 나타나는 최소 4개의 공룡알로 이루어져 있다(그림 2e). EC04는 다른 등지에 비하여 수직 방향으로 압축된 형태로 발견되며 공룡알이 보존된 퇴적암에서도 층리가 비교적 잘 발달한 형태로 나타난다(그림 2l).

전석으로 발견된 KDRC-SJ-DE01의 경우 1개의 공룡알과 파편들을 포함하고 있다. 전석이 발견된 위치는 EC02와 연관성이 있어 보이지만 명확하지 않다. 공룡알 내부에 불규칙적으로 배열된 작은 파편들이 다수 확인된다(그림 2m).

온전한 형태의 공룡알 크기는 장축 85-117 mm (평균 98 mm), 단축 53-68 mm (평균 58 mm)으로 위아래로 눌린 납작한 아구형의 형태를 보인다. 껍데기의 두께는 평균 1.64 mm이다. 공룡알의 표면은 검은색을 띠며 숨구멍에 의해 만들어진 작은 구멍들이 발달한다. 공룡알의 내부는 외부와 동일한 퇴적물로 충전되어 있으며, 일부는 상부에 큰 깨진 구멍과 함께 내부에 작은 크기의 알껍데기 파편들이 발

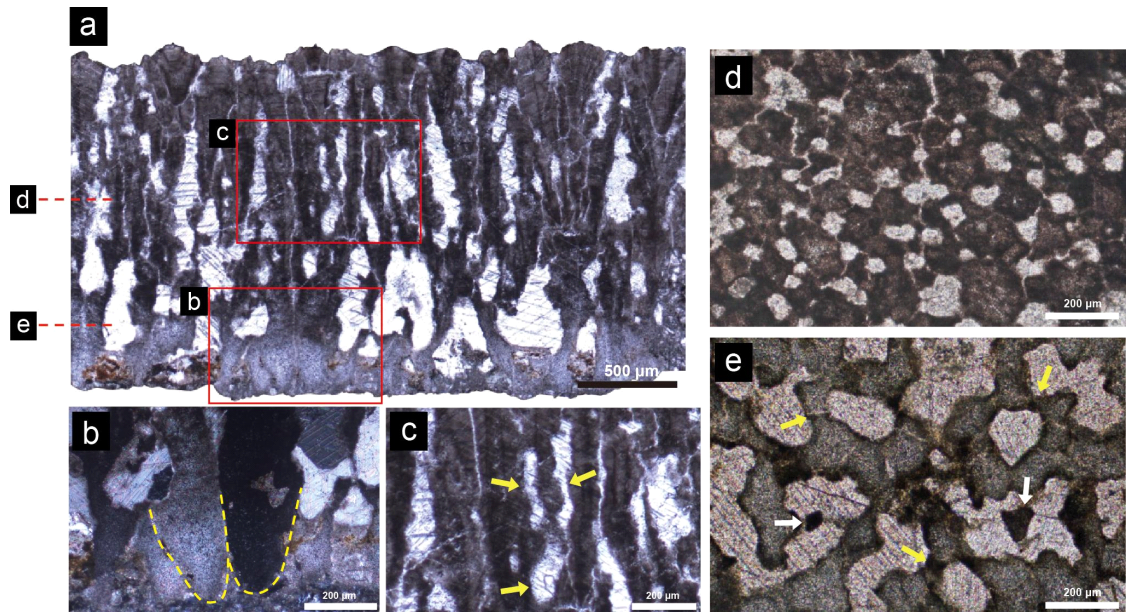


Fig. 3. Thin section images of Faveooloolithidae dinosaur eggs from Jaeyun Island. (a) The radial thin section of the eggshell is composed of a single layer (KDRC-SJ-DE-t01). (b) Enlargement image of the lower part of the shell unit under polarized light. (c) Enlargement image of the pore canals. The yellow arrows indicate the pore canals extended vertically and developed in the shell units, characterized by the filispherulitic morphotype. (d) Tangential thin section of the middle part of the eggshell (KDRC-SJ-DE-t03). The cross-section of the pore canals is round and oval. (e) Tangential thin section of the lower part of the eggshell (KDRC-SJ-DE-t04). Some shell units are observed separately as round shapes (white arrows), while others are connected (yellow arrows).

견된다(그림 2g, 2h, 2j, 2m). 이러한 파편들은 3-8 mm 길이로 주로 알 속의 하부에 위치하고 있다.

공룡알의 수직단면(radial section)을 통해 확인한 미세구조(microstructure)에서는 가느다란 shell unit 이 상부로 갈수록 분기하며 방사형을 띠는 구조를 보인다(그림 3a). 하부의 mammilla layer와 상부의 column layer가 명확하게 구분되지 않는 하나의 층으로 구성되어 있으며, shell unit의 하부는 mammilla 와 유사한 둥근 원뿔(rounded cone) 형태이다(그림 3b).

숨구멍(pore canal)은 하부에서 상부까지 연속적으로 발달하였으며 내부는 방해석으로 채워져 있다. 이러한 숨구멍의 형태는 shell unit 내에서도 수직적으로 나타나거나 서로 연결되는 구조를 이루며 발달한다(그림 3c). 수평 단면(tangential section)에서는 숨구멍 형태와 직경의 변화가 확인된다(그림 3d-e). 하부에서는 shell unit과 숨구멍이 불규칙하게 나타나며 shell unit은 상호 연결되어 있는 형태와 독립적인 형태 모두 나타난다(그림 3e). 상부로 올라갈수록 shell unit은 서로 정교하게 연결되고 숨구멍은 독립적인 형태로 발달한다. 숨구멍은 원형 또는 타원형으로 나타나며 벌집구조(honey-comb)를 이룬다(그림 3d). 숨구멍의 직경은 하부에서 상부로 갈수록 감소하며 형태상 분리되는 경향을 보인다(그림

3c).

주사전자현미경(Scanning Electron Microscope; SEM)을 통해 shell unit 하부에 발달한 방사하는 미세결정구조를 확인하였으며(그림 4a-b), 표면에 발달한 숨구멍과 shell unit의 경계 및 미세한 돌기(node)도 함께 관찰하였다(그림 4c-d). 또한 공룡알의 내부 표면에서는 유기핵(organic core)의 흔적을 확인할 수 있다(그림 4e-f).

5. 토 의

5.1 자은도 공룡알 분류

자은도 공룡알의 shell unit은 전체적으로 방사형을 띠며 하부에 organic core가 존재하는 dinosauroid-spherulitic basic type (Mikhailov, 1991, 1997)으로 분류할 수 있다. 자은도 공룡알에서 나타나는 숨구멍은 원형 또는 타원형의 단면을 보여주며 서로 결합하는 형태로 나타난다는 점에서 multicanaliculate 숨구멍계(pore canal system)로 분류된다(그림 3a, 3d). 원형으로 나타나는 단면은 수직으로 잘 발달한 숨구멍의 단면으로, 타원형으로 나타나는 단면은 숨구멍이 서로 연결되거나 분기할 때 나타나는 형태의 단면으로 추정된다(그림 3d). 또한, 숨구멍이 shell

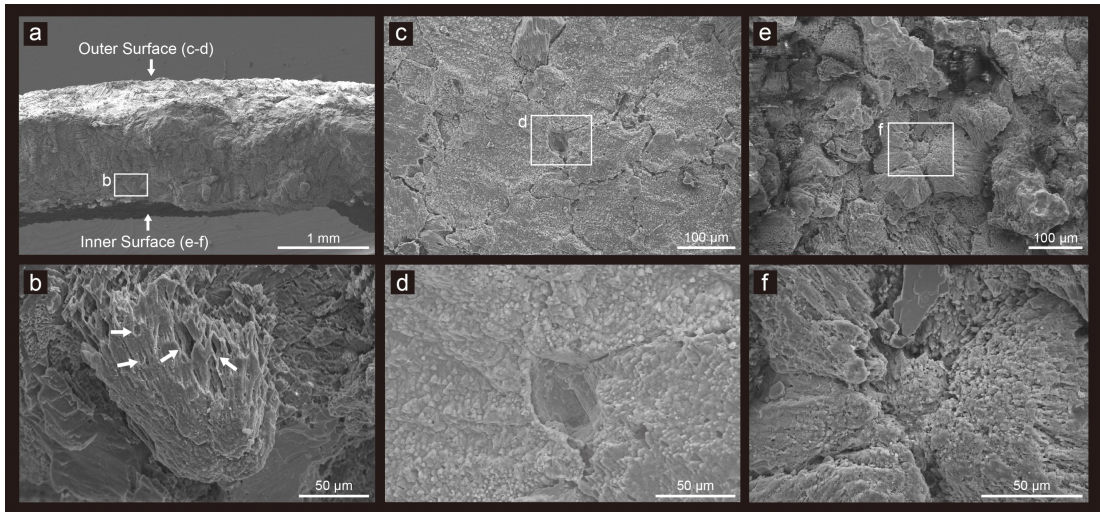


Fig. 4. Scanning Electron Microscope (SEM) images of Faveoololithidae dinosaur eggs from Jaeyun Island. (a) The radial section of the eggshell. (b) The lower part of the shell units resembles the mammilla. (c-d) The outer surface of the eggs. Note that there are developed pore apertures on the surface. (e-f) The inner surface of the eggs. Note that there are developed hollows left by the organic core.

unit의 바깥쪽 뿐만 아니라 내부에서도 수직적으로 발달하는 점과, multicanaliculate 숨구멍계의 특징을 갖는 점을 통해 shell unit의 구조적 형태는 filispherulitic morphotype (Mikhailov, 1991, 1997)으로 분류하였다. 이와 같은 shell unit의 구조와 숨구멍계를 통하여 이번 발견된 자은도 공룡알은 Faveoololithidae에 속하는 것을 확인하였다.

자은도에서 발견된 faveoololithid 공룡알은 부안 위도에서 보고된 *Propagoolithus widoensis* (Kim *et al.*, 2019)와 알껍데기의 하부에서 상부로 갈수록 숨구멍(pore canal)의 직경이 점진적으로 감소하고 shell unit이 분기한다는 점에서 매우 유사하다(그림 3d-e). 하지만 *P. widoensis*는 표면에서 숨구멍의 흔적을 확인하기 어려우며 자은도 공룡알은 뚜렷한 숨구멍의 형태가 관찰되고 미세한 돌기들이 발달하는 점에서 차이를 보인다(그림 4c-d). 다만 이러한 표면구조의 차이가 알껍데기의 특징에서 기원한 것인지, 화석화 과정이나 외부 노출에 의한 풍화의 영향으로 나타난 특징인지에 대해서는 좀 더 자세한 비교가 필요하다. 따라서 이번 연구에서는 자은도 공룡알을 *Propagoolithus oosp.*로 동정하였다.

5.2 자은도 공룡알 등지의 특징

Faveoololithid의 공룡알은 배아 화석과 같이 알을 낳은 종류의 공룡이 직접적으로 알려진 기록은 없다 (Kim *et al.*, 2019). 다만 Kunderát and Cruickshank (2022)는 faveoololithid 공룡알 내부에 대한 컴퓨터 단층촬영(computed tomography; CT) 이미지를 통해 티타노사우루스 배아의 두개골과 유사한 형태의 구조를 보고한 바 있다. 그 밖에, 알화석 인근의 체화석 기록, 티타노사우루스류의 배아가 발견된 megalolithid와 faveoololithid의 등지 형태의 유사성, 알의 크기, 그리고 buried nest를 지시하는 많은 수의 숨구멍이 Faveoololithidae와 용각류의 연관성을 지시한다(Mikhailov, 1991, 1997; Faccio, 1994; Deeming, 2006; Grellet-Tinner and Fiorelli, 2010; Grellet-Tinner *et al.*, 2012; Kim *et al.*, 2019). 자은도응회암에 해당하는 84-82 Ma 시기에는 용각류의 분류군 중 티타노사우루스류(Titanosauria)만이 살아남았고 이들은 전 대륙에 넓게 서식하였던 것으로 보인다(Wilson, 2002; Upchurch *et al.*, 2004; Rogers, 2005; Upchurch and Barrett, 2005; Cerda *et al.*, 2012). 한반도의 용

각류 체화석은 그동안 이빨 화석과 골격 화석으로 보고된 바 있다. 이빨 화석의 경우 하산동층과 진주층에서 총 7개의 이빨이 보고되었는데(Lee *et al.*, 1997; Park *et al.*, 2000; Lim *et al.*, 2001; Yun *et al.*, 2007), Choi and Lee (2017)는 이들 모두 티타노사우루스형류(Titanosauriformes)의 이빨일 것이라고 주장하였다. 골격 화석의 경우 현재는 의문명(*nomen dubium*)인 용각류의 상완골 “*Ultrasaurus tabriensis* (Kim, 1983)”와 “*Pukyongosaurus milleniumi* (Dong *et al.*, 2001)”가 보고된 바 있다. “*Ultrasaurus tabriensis*”의 경우 최초 척골(ulna)로 기재되었지만, 후에 상완골(humerus)로 확인되었다(Lee *et al.*, 1997). 또한, 분류학적 위치를 특정할 수 있는 형태학적 정보가 부족하여 그 분류학적 위치가 불확실하지만(Upchurch *et al.*, 2004; Wilson and Upchurch, 2009), “*Pukyongosaurus milleniumi*”의 경우에는 basal titanosauriform인 것으로 보인다(Upchurch *et al.*, 2004; Mannion *et al.*, 2013; Park, 2016). 이러한 용각류의 고지리학적 분포 및 한반도의 화석기록을 고려할 때, 자은도에서 발견된 faveoololithid는 후기 백악기에 한반도에 서식하였던 티타노사우루스류의 알인 것으로 보인다.

티타노사우루스류는 뒷발로 땅을 파서 알을 낳는 산란 습성을 가진 것으로 해석된다(Sahni, 1994; Mohabey, 2001; Vila *et al.*, 2010b; Hechenleitner *et al.*, 2015). 땅을 파는 행동은 길고 얇은 구멍이 같은 그릇형(bowl-shaped)의 등지를 형성하며, 공룡알은 상부에서 하부까지 선형적으로 나타나며 하부에서는 알이 겹쳐 모여있는 형태로 배열된다. 이러한 형태의 등지는 자은도 EC01 등지에서도 잘 나타난다. EC01 등지 또한 하부에 5개의 알이 서로 겹친 형태로 나타나고 5개의 알이 선형으로 나타나는 전형적인 그릇형(bowl-shaped)의 등지 단면을 보여준다(그림 2b). 자은도에서 발견된 공룡알 등지는 괴상의 사질암 내에서 발견되며 공룡알이 위치하는 등지와 그 주변부에 있어 암상이나 퇴적구조의 차이점은 발견되지 않는다. 이는 buried nest를 만드는 용각류에서 종종 발견되는 특징이다(Vila *et al.*, 2010a, 2010b). 수각류와 같이 등지가 외부로 노출된 경우 등지를 이루고 있는 기질과 상부의 퇴적층 사이에서 명확한 암상의 차이가 발견되곤 한다(Horner, 1987; Varricchio *et al.*, 1999; Hogan and Varricchio, 2023).

다만, 이처럼 암상이나 퇴적상의 변화가 등지의 경계로 인식되기 위해서는 대조적인 퇴적상의 경계에 서만 가능하기 때문에 노출된 등지에서 주로 발견된다(Chiappe *et al.*, 2004). 이와 대조적으로 알을 낳고 바로 덮어버리는 buried nest의 경우 기질과 그위를 덮는 퇴적물 사이에서 대비되는 암상이나 퇴적구조를 확인하기 어렵다(Vila *et al.*, 2010a, 2010b).

공룡알 상부의 큰 구멍은 부화창(hatching window)으로 해석되며(Horner, 1982, 1984; Cousin *et al.*, 1994; Fiorelli *et al.*, 2022; Dhiman *et al.*, 2023), 알 내부에 분포하는 작은 크기의 알껍데기들은 부화 과정에 의해 형성된 것으로 보인다. 이러한 알껍데기들의 분포는 알을 목적으로 하는 포식자의 사냥 등에서도 나타날 가능성도 있다(Fiorelli *et al.*, 2022). 하지만 이러한 포식자의 사냥에 의한 경우는 알이 노출된 환경에서 나타나기 때문에 알의 안팎에 모두 알껍데기가 위치한다는 특징이 있다(Fiorelli *et al.*, 2022). 반면 자은도 공룡알은 주로 내부에 작은 파편들이 발견된다는 점(그림 2g, 2h, 2j, 2m)과 자은도의 등지 형태가 buried nest를 보인다는 점을 고려한다면, 등지 속에서 새끼가 부화하고 나올 때 깨진 알껍데기 파편들이 내부로 들어갔거나 후에 주위 퇴적물이 내부로 들어와 함께 충전된 것으로 보인다. 따라서 공룡알 상부에서 나타나는 큰 구멍과 내부의 작은 알 파편들은 일부 알의 부화를 지시하는 것으로 볼 가능성이 있다.

6. 결론

전라남도 신안군 자은도에서 공룡알이 등지를 이루고 있는 채로 발견되었다. 발견된 공룡알은 아구형(subspherical) 형태와, 상부로 갈수록 숨구멍의 직경이 작아지는 multicanaliculate 숨구멍계, shell unit 내에서도 숨구멍이 수직적으로 잘 발달하는 filispherulitic 특징을 바탕으로 Faveoololithidae에 속하는 *Propagoolithus* oosp.로 동정하였다. 이는 과거 전라북도 부안군 위도에서 발견된 *Propagoolithus widoensis*와는 달리 표면에서 뚜렷한 기공이 관찰되는 차이가 있지만, 이러한 현상이 알의 특성에 의한 것인지 등에 관한 여부는 추가적인 확인이 필요하다. 자은도 공룡알 등지는 용각류가 땅을 파서 그릇형(bowl-shaped)의 등지를 만든 후 알을 낳는 산란 행동을 보여주

며, 후기 백악기 한반도에 서식하였던 티타노사우루스류(Titanosauria)의 등지인 것으로 보인다. 또한, 일부 공룡알에서 확인되는 부화창(hatching window)과 알 내부에 산재하는 작고 균일한 크기의 파편들은 부화 과정에 의해 형성되었을 것으로 해석되며, 일부 알이 성공적으로 부화가 일어난 후에 화석화 과정을 겪은 것으로 생각된다. 향후 한반도에서 발견된 다른 공룡알 화석산지에 대해서도 공룡알의 분류군, 등지의 형태, 공룡알 파편의 분포양상 등에 대한 체계적인 접근을 통하여 한반도에 서식하였던 공룡의 종류 및 이들의 산란 습성에 대한 추가적인 정보를 얻을 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

연구 과정에서 협조해주신 신안군청 관계자들에게 감사드립니다. 현장 조사에 도움을 준 전남대학교 무등산권지질관광사업단 연구원분들과 차범근 연구원(현 FITI시험연구원)에게도 감사를 포함합니다. 아울러 관광현미경 이미지 촬영에 도움을 준 전남대학교 석면환경센터 연구원분들에게 감사의 말씀을 드립니다. 마지막으로 논문의 심사를 통해 건설적인 조언을 주신 익명의 심사위원님들과 편집위원님께 깊은 감사의 마음을 전합니다.

REFERENCES

- Cerda, I.A., Salgado, L. and Powell, J.E., 2012, Extreme postcranial pneumaticity in sauropod dinosaurs from South America. *Paläontologische Zeitschrift*, 86, 441-449.
- Chiappe, L.M., Schmitt, J.G., Jackson, F.D., Garrido, A., Dingus, L. and Grellet-Tinner, G., 2004, Nest Structure for Sauropods: Sedimentary Criteria for Recognition of Dinosaur Nesting Traces. *PALAIOS*, 19, 89-95.
- Choi, S. and Lee, Y.-N., 2017, A review of vertebrate body fossils from the Korean Peninsula and perspectives. *Geosciences Journal*, 21, 867-889.
- Choi, S.-J., Kim, Y.B. and Gihm, Y.-S., 2016, Geological report of the Bungye·Jaundo·Bigumdo·Gijwado sheets (1:50,000). Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 69 p (in Korean with English abstract).
- Cousin, R., Breton, G., Fournier, R., Watté, J. and Carpenter, K., 1994, Dinosaur egg-laying and nesting in France. In: Carpenter, K., Hirsch, K.F. and Horner, J.R. (eds.), *Dinosaur eggs and babies*. Cambridge University Press, New York,

- 37-46.
- Deeming, D.C., 2006, Ultrastructural and functional morphology of eggshells supports the idea that dinosaur eggs were incubated buried in a substrate. *Palaontology*, 49, 171-185.
- Dhiman, H., Verma, V., Singh, L.R., Miglani, V., Jha, D.K., Sanyal, P., Tandon, S.K. and Prasad, G.V.R., 2023, New Late Cretaceous titanosaur sauropod dinosaur egg clutches from lower Narmada valley, India: Palaeobiology and taphonomy. *PLoS ONE*, 18, e0278242.
- Dong, Z., Paik, I.S. and Kim, H.J., 2001, A preliminary report on a sauropod from the Hasandong Formation (Lower Cretaceous), Korea. *Proceedings of the 8th Annual Meeting of the Chinese Society of Vertebrate Paleontology*, Beijing, October 1, 41-53 p.
- Faccio, G., 1994, Dinosaurian eggs from the Upper Cretaceous of Uruguay. In: Carpenter, K., Hirsch, K.F. and Horner, J.R. (eds.), *Dinosaur eggs and babies*. Cambridge University Press, New York, 47-55.
- Fiorelli, L.E., Martinelli, A.G., da Silva, J.I., Hechenleitner, E.M., Soares, M.V.T., Silva Junior, J.C.G., da Silva, J.C., Borges, É.M.R., Ribeiro, L.C.B., Marconato, A., Basilici, G. and da Silva Marinho, T., 2022, First titanosaur dinosaur nesting site from the Late Cretaceous of Brazil. *Scientific Reports*, 12, 5091.
- Grellet-Tinner, G. and Fiorelli, L.E., 2010, A new Argentinean nesting site showing neosauropod dinosaur reproduction in a Cretaceous hydrothermal environment. *Nature Communications*, 1, 32.
- Grellet-Tinner, G., Fiorelli, L.E. and Salvador, R.B., 2012, Water vapor conductance of the Lower Cretaceous dinosaurian eggs from Sanagasta, La Rioja, Argentina: Paleobiological and paleoecological implications for South American faveoolithid and megaloolithid eggs. *PALAIOS*, 27, 35-47.
- Hechenleitner, E.M., Grellet-Tinner, G. and Fiorelli, L.E., 2015, What do giant titanosaur dinosaurs and modern Australasian megapodes have in common?. *PeerJ*, 3, e1341.
- Hogan, J.D. and Varricchio, D.J., 2023, Chthonic severance: dinosaur eggs of the Mesozoic, the significance of partially buried eggs and contact incubation precursors. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 378, 20220144.
- Horner, J.R., 1982, Evidence of colonial nesting and 'site fidelity' among ornithischian dinosaurs. *Nature*, 297, 675-676.
- Horner, J.R., 1984, The Nesting Behavior of Dinosaurs. *Scientific American*, 250, 130-137.
- Horner, J.R., 1987, Ecologic and behavioral implications derived from a dinosaur nesting site. In: Czerkas, S. and Olson, E. (eds.), *Dinosaurs past and present*. Natural History Museum of Los Angeles County, Los Angeles, 51-63.
- Huh, M., Kim, B.S., Woo, Y., Simon, D.J., Paik, I.S. and Kim, H.J., 2014, First record of a complete giant theropod egg clutch from Upper Cretaceous deposits, South Korea. *Historical Biology*, 26, 218-228.
- Huh, M., Paik, I.S., Park, J., Hwang, K.-G., Lee, Y.I., Yang, S.Y., Lim, J.D., Lee, Y.U., Cheong, D.K., Seo, S.J., Park, K.H. and Moon, K.H., 2006, Occurrence of dinosaur eggs in South Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*. *Journal of the Geological Society of Korea*, 42, 523-547 (in Korean with English abstract).
- Huh, M. and Zelenitsky, D.K., 2002, Rich dinosaur nesting site from the Cretaceous of Bosung County, Chullanam-do Province, South Korea. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 22, 716-718.
- Hwang, K.-G., Sul, J.K., Huh, M., Paik, I.S., Lockley, M., Kim, H.J. and Kim, B.-H., 2010, New fossil site from Cretaceous formation at Saok island, Sinan-gun, Jeollanam-do. *Journal of the Geological Society of Korea*, 46, 511-520 (in Korean with English abstract).
- Hwang, S.K., Kim, S.W., Kee, W.-S. and Kim, J.J., 2019, U-Pb zircon ages and division of the Cretaceous volcanic arc in the Korean Peninsula: Spatiotemporal evolution of the arc volcanism. *Journal of the Geological Society of Korea*, 55, 595-619 (in Korean with English abstract).
- Kim, B.S., Huh, M., Moon, K.H. and Jang, S.J., 2011a, Excavation and preparation of a theropod nest from Aphae-do in Jeollanam-do province, South Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 47, 205-211 (in Korean with English abstract).
- Kim, H.M., 1983, Cretaceous Dinosaurs from Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 19, 115-126 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.Y., Yang, S.Y., Choi, H.I., Seo, S.J. and Kim, K.S., 2011b, Dinosaur eggs from the Cretaceous Goseong Formation of Tongyeong City, southern coast of Korea. *Journal of Paleontological Society of Korea*, 27, 13-26.
- Kim, N.-H., Choi, S., Kim, S. and Lee, Y.-N., 2019, A new faveoolithid oogenus from the Wido Volcanics (Upper Cretaceous), South Korea and a new insight into the oofamily Faveoolithidae. *Cretaceous Research*, 100, 145-163.
- Kundrát, M. and Cruickshank, A.R.I., 2022, New information on multispherulitic dinosaur eggs: Faveoolithidae and Dendroolithidae. *Historical Biology*, 34, 1072-1084.
- Lee, Y.-N., Jeong, K.S., Chang, S.K., Choi, M.Y. and Choi, J.I., 2000, The Preliminary Research on the Dinosaur Eggs and Nests found in the reclaimed area south to the Siwha Lake, Gyeonggi Province, Korea. *Journal of Paleontological Society of Korea*, 16, 27-36 (in Korean with English abstract).
- Lee, Y.-N., Kim, B.C., Lee, Y.S. and Kee, W.-S., 2007, New

- dinosaur egg site found in the Namyang Basin, Hwaseong City, Gyeonggi Province. *Journal of Paleontological Society of Korea*, 23, 15-26 (in Korean with English abstract).
- Lee, Y.-N., Yang, S.-Y. and Park, E.-J., 1997, Sauropod dinosaur remains from the Gyeongsang Supergroup, Korea. *Paleontological Society of Korea, Special Publication*, 2, 103-114.
- Lim, J.D., Martin, L.D. and Baek, K.S., 2001, The first discovery of a brachiosaurid from the Asian continent. *Naturwissenschaften*, 88, 82-84.
- Mannion, P.D., Upchurch, P., Barnes, R.N. and Mateus, O., 2013, Osteology of the Late Jurassic Portuguese sauropod dinosaur *Lusotitan atalaiensis* (Macronaria) and the evolutionary history of basal titanosauriforms. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 168, 98-206.
- Mikhailov, K.E., 1991, Classification of fossil eggshells of amniotic vertebrates. *Acta Palaeontologica Polonica*, 36.
- Mikhailov, K.E., 1997, Fossil and recent eggshell in amniotic vertebrates: fine structure, comparative morphology and classification. *The Palaeontological Association, London*, 1-80 p.
- Mohabey, D.M., 2001, Indian Dinosaur Eggs: A Review. *Journal of the Geological Society of India*, 58, 479-508.
- Park, E.J., Yang, S.Y. and Currie, P.J., 2000, Early Cretaceous dinosaur teeth of Korea. *Paleontological Society of Korea, Special Publication*, 4, 85-98.
- Park, J.-Y., 2016, Comments on the validity of the taxonomic status of "*Pukyongosaurus*" (Dinosauria: Sauropoda). *Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum*, 15, 27-32.
- Park, W.M., Lockley, M.G., Kim, J.Y. and Kim, K.S., 2018, Anuran (frog) trackways from the Cretaceous of Korea. *Cretaceous Research*, 86, 135-148.
- Rogers, K.C., 2005, Titanosauria: A Phylogenetic Overview. In: Kristina Curry, R. and Jeffrey, W. (eds.), *The Sauropods: Evolution and Paleobiology*. University of California Press, Berkeley, 50-103.
- Sahni, A., 1994, Upper Cretaceous dinosaur eggs and nesting sites from the Deccan volcano-sedimentary province of peninsular India. In: Carpenter, K., Hirsch, K.F. and Horner, J.R. (eds.), *Dinosaur eggs and babies*. Cambridge University Press, New York, 204-226.
- Upchurch, P. and Barrett, P.M., 2005, Phylogenetic and Taxic Perspectives on Sauropod Diversity. In: Rogers, K.C. (ed.), *The Sauropods: Evolution and Paleobiology*. University of California Press, Oakland, 104-124.
- Upchurch, P., Barrett, P.M. and Dodson, P., 2004, Sauropoda. In: Weishampel, D.B., Dodson, P. and Osmólska, H. (eds.), *The Dinosauria*. Second Edition, University of California Press, 259-322.
- Varricchio, D.J., Jackson, F. and Trueman, C.N., 1999, A nesting trace with eggs for the Cretaceous theropod dinosaur *Troodon formosus*. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 19, 91-100.
- Vila, B., Galobart, À., Oms, O., Poza, B. and Bravo, A.M., 2010a, Assessing the nesting strategies of Late Cretaceous titanosaurs: 3-D clutch geometry from a new megaloolithid egg site. *Lethaia*, 43, 197-208.
- Vila, B., Jackson, F.D., Fortuny, J., Sellés, A.G. and Galobart, À., 2010b, 3-D Modelling of Megaloolithid Clutches: Insights about Nest Construction and Dinosaur Behaviour. *PLoS ONE*, 5, e10362.
- Wilson, J.A., 2002, Sauropod dinosaur phylogeny: critique and cladistic analysis. *Zoological Journal of the Linnean Society*, 136, 215-275.
- Wilson, J.A. and Upchurch, P., 2009, Redescription and reassessment of the phylogenetic affinities of *euhelopus zdanskyi* (Dinosauria: Sauropoda) from the early cretaceous of China. *Journal of Systematic Palaeontology*, 7, 199-239.
- Yun, C.S., Baek, K.S. and Jeong, Y.H., 2007, Cretaceous reptilian teeth from the Gyeongsang Basin. *Journal of Paleontological Society of Korea*, 23, 27-47 (in Korean with English abstract).
- Yun, C.S. and Yang, S.Y., 1997, Dinosaur eggshells from the Hasandong Formation, Gyeongsang Supergroup, Korea. *Journal of Paleontological Society of Korea*, 13, 21-36 (in Korean with English abstract).

Received : June 23, 2023

Revised : July 25, 2023

Accepted : August 7, 2023