

<Short Note>

전남 신안 압해도 수각류 동지 화석 구제 발굴 조사 및 복원

김보성^{1,*} · 허민² · 문기현² · 장성재²¹목포자연사박물관²전남대학교 지구환경과학부 & 전남대학교 한국공룡연구센터

Bo Seong Kim, Min Huh, Ki Hyun Moon and Sung Jae Jang, 2011, Excavation and preparation of a theropod nest from Aphae-do in Jeollanam-do province, South Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*. v. 47, no. 2, p. 205-211

(Bo Seong Kim, Mokpo Natural History Museum, 9-28, Yonghae-dong, Mokpo, Jeonllanam-do, 530-839, Korea; Min Huh, Ki Hyun Moon and Sung Jae Jang, Korea Dinosaur Research Center & Chonnam National University, 77 Yongbong-ro, Buk-gu, Gwangju 500-757, Korea)

1. 서론

남한에 분포하는 백악기 퇴적층 가운데 경남 하동군 수문리 지역의 하산동층, 전남 보성군비봉리의 선소역암, 경기도 화성시의 시화층과 남양분지, 경남 고성군의 고성층, 경남 사천시 신수도의 함안층, 부산시의 다대포층, 전남 구례군 금내리층 등 8개 지역의 지층에서 공룡알과 동지 화석의 산출이 보고된 바 있다(윤철수와 양승영, 1997; 허민 외, 1999, 2006; 박준 외, 2007; 이용남 외, 2007; Huh and Zelenitsky, 2002; Paik and Huh, 2005). 이 논문은 한반도 서남해안 백악기 지층에서 새로이 발견된 세계적 규모의 수각류 공룡알 동지 화석의 고생물 및 고생태학적 연구의 바탕자료를 제공하기 위한 이 화석의 산상에 대한 일차적인 보고에 목적이 있다.

2009년 9월 목포자연사박물관과 전남대학교 한국공룡연구센터의 공동으로 목포시와 신안군 압해도를 연결하는 압해대교 건설현장의 산사면 절개지에 대한 야외조사 과정에서 표면장식이 뚜렷한 수각류로 추정되는 타원형 공룡알 화석 1점의 일부분과 측면에 겹겹이 쌓인 형태의 껍질 파편 20여점이 새로이 발견되었으며, 이는 서남해안 지역에 분포하는 백악기 퇴적층에서의 첫 번째 공룡알 화석 발견이었다. 발견 당시 토지 소유자가 식당 건축을 위한 토목 공사를 진행 중이었으며 공사 범위가 화석이 노출된

퇴적층을 포함하고 있어 구제 발굴 조사를 긴급히 실시하지 않을 경우 화석의 심각한 훼손이 우려되는 상황이었다. 이로 인해 긴급 구제 발굴 조사가 2009년 10월 ~ 11월(1차), 2010년 6월 ~ 7월(2차)에 걸쳐 나누어 실시되었다. 현장 구제 발굴 조사 후, 노두와 분리된 화석이 내재된 암석은 목포자연사박물관으로 이동하여 정밀 복원 및 보존처리 작업이 2009년 12월부터 현재까지 연구와 함께 지속적으로 진행되고 있다.

이 연구는 2009년 9월부터 1년 4개월여 정도 진행된 현장발굴조사 및 보존처리, 정밀복원작업에 의해 부분 노출되어 있던 매장 화석의 전체 형태가 드러난 동지 화석의 형태와 종류, 껍질의 미세구조 및 표면장식, 산란지 고환경 등 일련의 기초 연구 내용으로 구성된다.

발굴 조사 연구 지역은 행정구역상 전라남도 신안군 압해면 신장리 167번지 일원이며 화석 발견 위치는 압해도에 속한 섬 중 신장리에 속하는 내태도를 관통하면서 놓이게 된 압해대교의 절개지이고 좌표상 위도 34° 49'49.5", 경도 126° 22'15.5"에 위치한다 (그림 1).

2. 지질개요

신안군 일대 육성 퇴적층은 지질학적으로 해남분

* Corresponding author: +82-61-270-8318, E-mail: i791@korea.kr

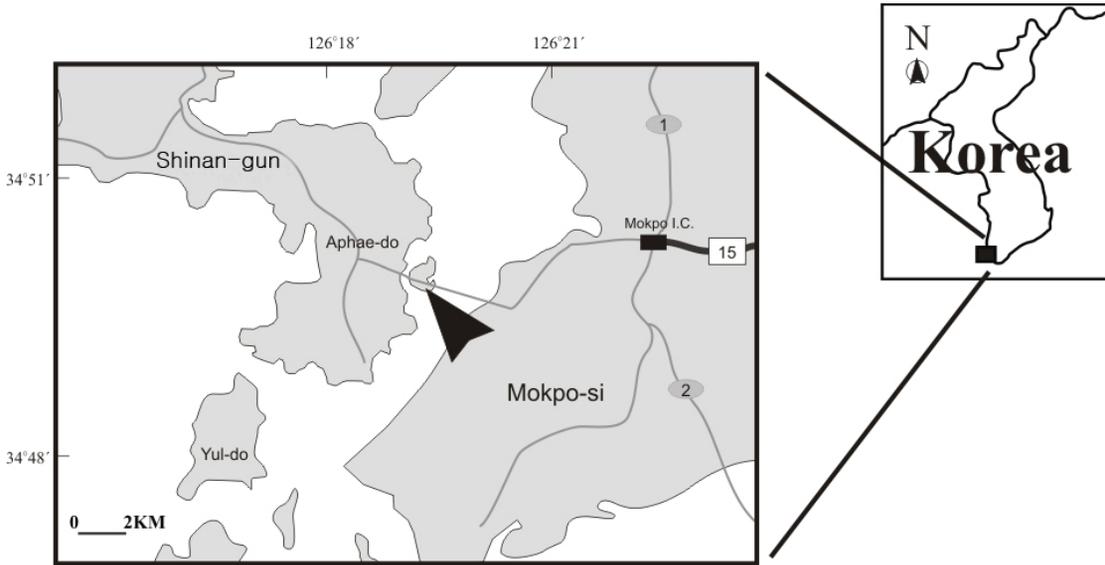


Fig. 1. Location map of the study area. The arrow indicates the location of the Aphae-do dinosaur egg clutch dig site.

지의 퇴적층과 연관성이 높을 것으로 추정되며, 이와 함께 이 지역 일대의 퇴적층은 우리나라 백악기 육성 분지의 발달특성을 이해하는 데에 새로운 열쇠를 가지고 있는 퇴적층으로 여겨진다. 조사지역 일대의 지질은 최하부로부터 쥐라기 흑운모화강암, 사암과 이암, 유문암 및 유문암질 응회암으로 구성되어 있으며 육천층군이 유문암 및 유문암질 응회암 사이에 나타난다(최범영 외, 2002). 화석이 발견된 지역은 목포·여수 도폭 지질보고서(최범영 외, 2002)에서 유문암 및 유문암질 응회암으로 분류되어 있으나, 압해대교 건설 공사로 인해 노두가 드러나면서 유문암 및 유문암질 응회암의 하부층인 사암 및 이암층의 분포지로 확인 되었다(그림 2). 타원형의 공룡알 화석은 둥지 형태가 추정되는 형태로 붉은색 이암층에서 산출되며 이 이암층에는 역암이 렌즈상으로 협재 되어 있다. 한편, 화석이 포함된 층에서는 고토양 기원의 캘크리트가 관찰된다.

3. 발굴조사내용

구제 발굴 조사는 2회에 걸쳐 실시되었으며 발견 화석은 압해대교 건설 과정 중 사용된 화약의 충격으로 인해 발생한 파손 부위 등이 오랜 기간 대기 노출로 인해 진행된 풍화와 훼손이 급격히 진행되고 있어

부스러져 흩어진 껍질 파편과 흙을 함께 현장에서 임시 고정하고 실내에서 손쉽게 재조립할 수 있도록 PB4417(Pre-Prep Field Consolidant)과 화석과 암석 표면을 침투하여 내부 조직 강도를 강화하기 위한 PB4418(Specialty adhesive and filler)를 사용한 후 절리 등 유실 부위에 접합제(paleo poxy)를 충전하여 긴급 보존처리를 실시하였다(Paleobond, 2010). 공룡알 화석은 퇴적층 최하단 도로와 인접한 지층에 배태되어 있었으며, 퇴적층 층후는 약 15 m 정도였다. 퇴적층이 수직으로 노출되어 있던 관계로 최하부층에 내재된 공룡알 등지의 크기를 알아내고 전체 알 등지를 퇴적층으로부터 분리·발굴 해 내기 위하여 일차적으로 공룡알의 산출 규모를 예측하고 화석 주변부에 대한 상, 하, 측면, 후면의 암석을 제거하고 화석이 포함된 암체를 노두에서 분리하였다. 1차 구제 발굴 조사는 2009년 10월부터 11월까지 진행되었으며, 2차 구제 발굴 조사는 2010년 6월부터 7월까지 진행되었다. 중장비로 이동하기 전에 운반 과정 중에 발생할 수 있는 파손과 충격을 최소화하기 위하여 화석이 내재된 암석덩어리에 석고 재킷 작업 후 중장비를 이용하여 운반을 실시하였다. 1, 2차 구제 발굴 조사에서 분리된 화석은 크레인 등 중장비를 동원하여 목포자연사박물관 정밀 복원 처리장으로 옮겨와 2009년 12월부터 현재까지 보존 처리 및 정밀 복원 작업

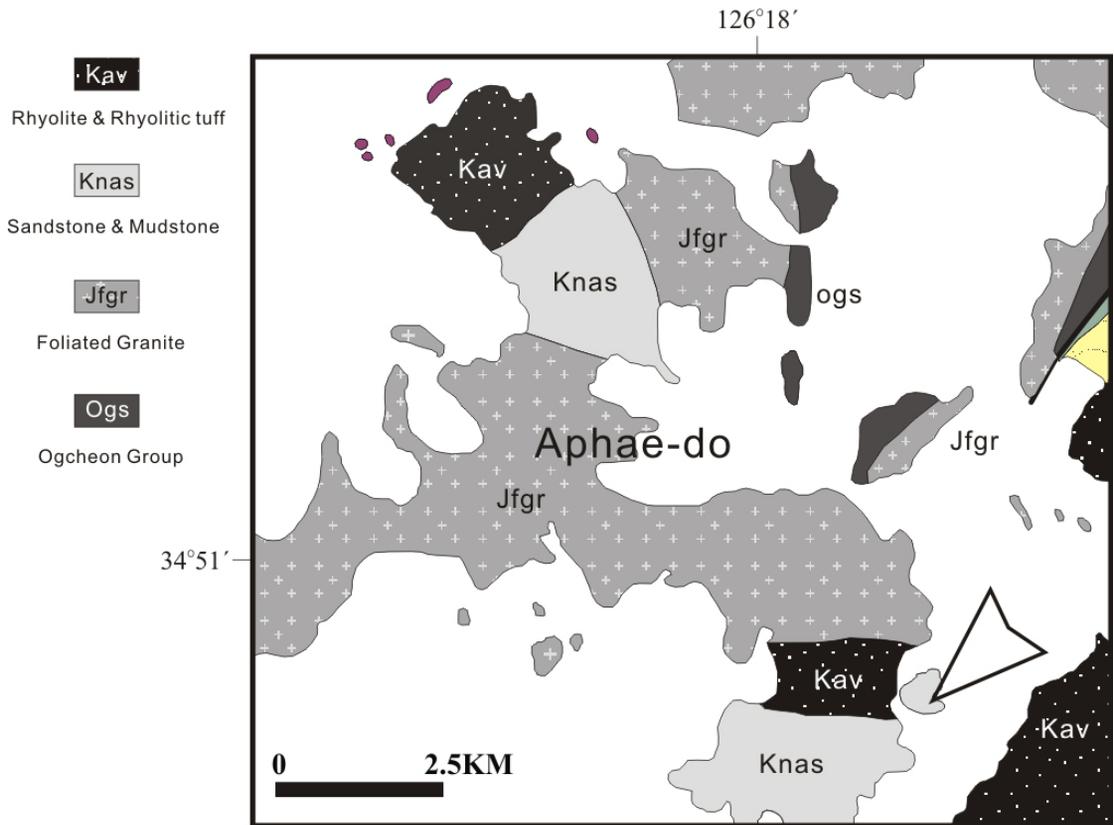


Fig. 2. Geological map of the Aphae-do (Shinan-gun, South Korea) and its adjacent area (Dinosaur egg clutch dig site marked by arrow)(Adapted from Choi *et al.*, 2002).

을 진행하였다. 보존 처리 및 정밀 복원 작업은 화석을 피복하고 있는 암석 제거, 상부압력 제거에 따라 발생하는 균열 보수, 1차 발굴과 2차 발굴 화석 덩어리 결합, 표면장식 복원 등에 대한 작업이 진행되어 세계적 규모의 수각류 공룡알 등지 화석이 복원되었으며 추가적인 보존 처리와 복원 작업이 현재 진행되고 있다(그림 3).

4. 공룡알 등지 화석

긴급 보존 처리 및 정밀 복원 작업 결과 타원형의 공룡알 19개가 드러났고 세계적 규모의 대형 공룡알 등지 하나가 복원되었다. 알등지의 전체적인 형태는 위에서 바라 볼 경우, 원형의 형태를 보인다. 각 공룡알 개체는 알등지를 원으로 가정할 경우 중심점을 향해 원형을 이루고 있으며 등지에 놓여 있는 알들은 한 어미에서 낳은 공룡알들로 여겨진다. 알 개체 크기

범위는 직경 385 ~ 430 mm, 등지 직경은 최대 2.3 m에 이르며 풍화로 인한 유실 부분을 고려한다면 등지 직경은 이 보다 컸을 것으로 추측된다(그림 4).

복원과정에 의해 전체적인 공룡알의 형태가 노출된 주요 공룡알껍질의 두께와 공룡알의 크기는 형태가 온전치 못한 개체를 제외하고 전체의 형태가 드러난 일부만을 기재 하였다(표 1). 공룡알들의 장축의 평균 길이는 411.6 mm이며, 단축의 평균길이는 155.8 mm로 측정되었다. 알껍질의 두께는 최소두께가 약 1.53 mm, 최고두께가 약 2.86 mm이며, 평균두께는 약 2.195 mm이다(표 1). 공룡알 화석 껍질의 미세 수직구조를 통해 알껍질 단면 분류표(Hirsch, 1994)에 의하여 구분하면 알껍질의 mammillary layer와 continuous layer (표면장식의 돌기 부분을 포함)에 뚜렷한 경계가 있으며, mammillary layer가 전체 박편두께의 약 1/5, continuous layer가 전체 박편의 약 4/5를 차지한다. Mammillary layer는 base 부분

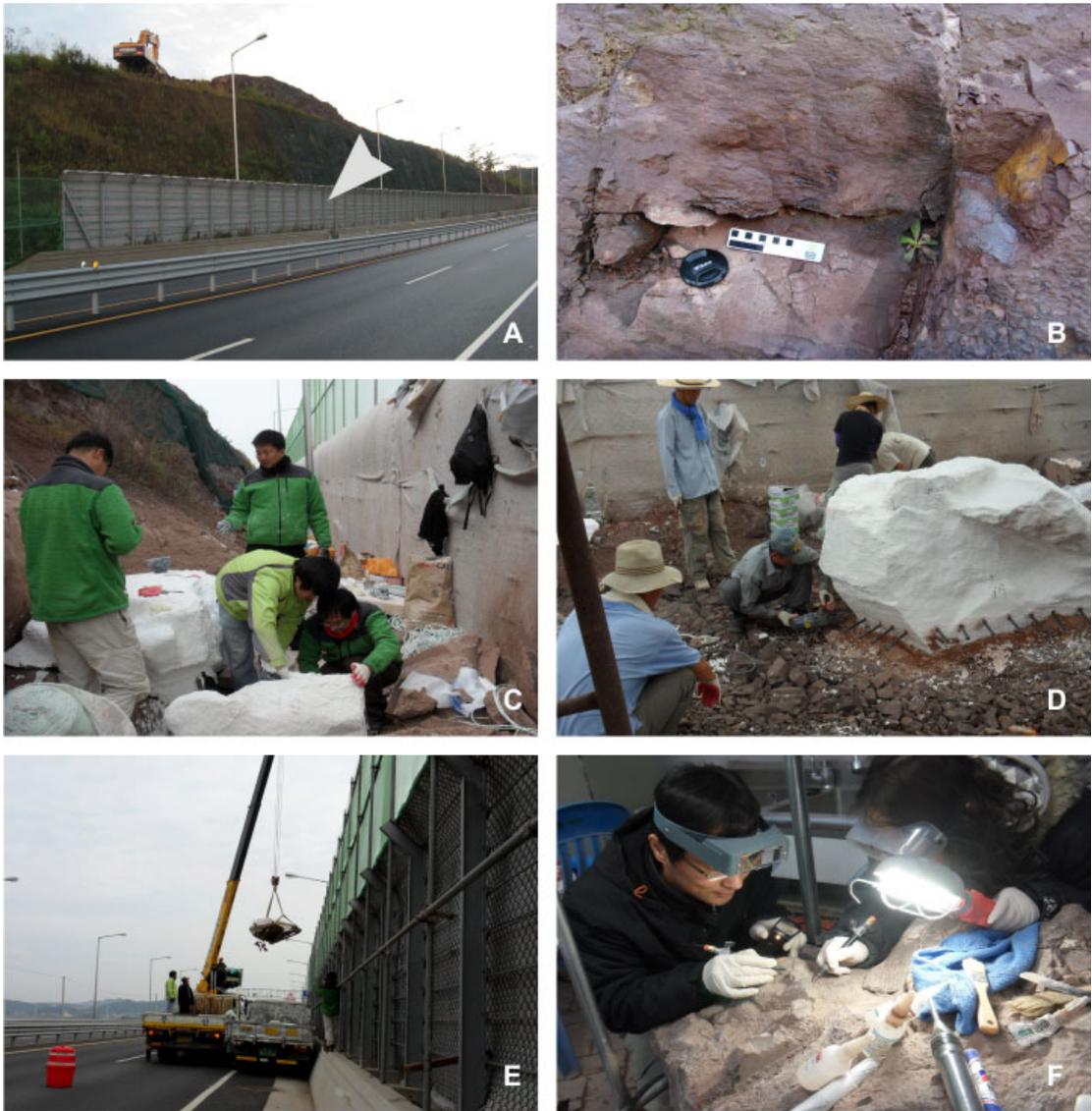


Fig. 3. Photographs of dinosaur egg clutch excavation process in Aphae-do dinosaur egg clutch dig site. (A) Discovered dinosaur egg clutch in outcrop (B) Dinosaur egg clutch before excavation (C-E) Excavation (C), conservation (D), Transportation (E) and Preparation (F) process for the egg clutch.

이 둥글며 고르지 않은 형태와 배열을 가지고 있고, 방사성 패턴을 보이는 결정질과 함께 organic core를 관찰할 수 있다. Continuous layer는 좌우로 연장성이 좋은 다결정질의 층상 구조를 가지며 표면장식이나 mammillary layer의 형태에 따라 완만한 곡선을 나타낸다. 기공은 continuous layer의 상부에서 굵고 짧게 발달되어 있으며 간혹 groove를 이루는 것도 있다. 이러한 관찰을 기초로 공룡알 껍질 단면의 미

세구조는 Ornithoid type의 Ratite structure morphotype에 속하는 것으로 여겨지며 이는 조류나 육식공룡인 수각류 알에서 관찰할 수 있는 구조이다 (Hirsch, 1996). 이와 함께 공룡알 껍질 내에서 빈번하게 관찰할 수 있는 균열은 기공의 홈을 따라 연결되어 있으며 이는 외부나 내부에서 균일한 충격을 받은 것을 암시하는 것으로, 부화나 부화 이전의 외부 충격에 의한 파손을 시사한다(그림 5). 전체적으로 표

Table 1. Thickness of eggshells and size of eggs attributed to a Theropoda egg clutch from Aphae-do, South Korea.

Sample (Temporary specimen number)	Thickness of eggshell (mm)			Size of egg (mm)	
	Lowest of Thickness	Highest of Thickness	Average of Thickness	Longitudina of Axis	Width of egg
DINOSAUR EGG_1	1.59	2.20	2.00	420	155
DINOSAUR EGG_5	2.10	2.85	2.62	430	145
DINOSAUR EGG_6	1.68	2.48	2.18	420	150
DINOSAUR EGG_7	1.53	2.57	2.05	420	165
DINOSAUR EGG_9	1.63	2.86	2.24	395	165
DINOSAUR EGG_19	1.85	2.30	2.08	385	155



Fig. 4. Photograph of large-sized theropod egg clutch stored in Mokpo Natural History Museum after preparation. Abbreviation: DE; Dinosaur Egg.

면장식은 알의 돌기가 가지를 치는 형태로 linear-
ituberculate ornamentation에서 파생된 형태로 서
로 만나거나 갈라져 나무 가지 모양의 ramotubercu-
late ornamentation의 형태를 보인다. 이는 특히, 알
의 중앙부에서 뚜렷하게 관찰되는 특징을 보이고 있

으며(Mikhailov, 1991; 그림 5), 알의 장축에 평행하
나 그 길이가 길지 못하고 무늬는 도드라지며 표면장식
의 간격은 좁다. 원형의 흑 모양은 알의 표면에 산발적
으로 분포하며 타원형 알의 양쪽 끝에 분포한다. 이러한
특징들로 보아 이 알둥지는 Elongatoolithidae에 속하

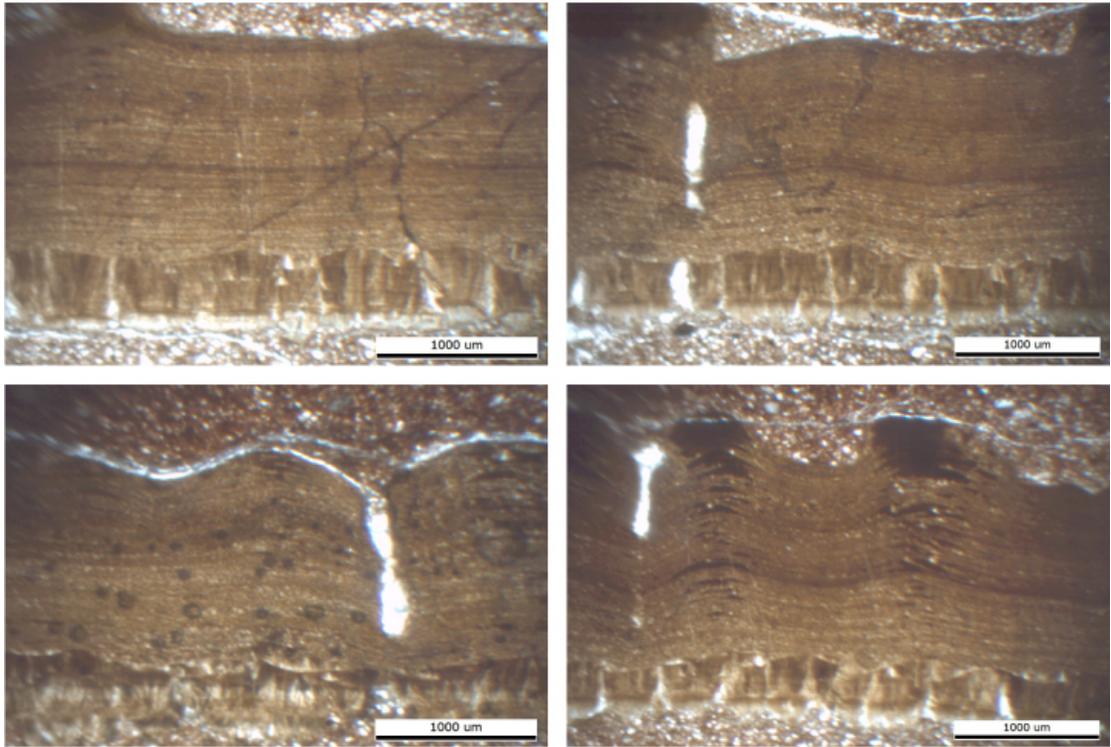


Fig. 5. Photograph of microstructure of eggshells from Aphae-do dinosaur egg clutch dig site.

는 수각류 공룡알로 확인되었다(Zhao, 1975). 동지 화석에 포함된 공룡알의 산출 상태를 살펴보면 두개의 알 화석이 쌍을 이루며 배치되어 있는 특징을 볼 수 있는데 이는 아마도 알들이 난관에서 둘이 동시에 배출되는 경우의 점액분비로 인해 달라붙어 있는 결과에 기인한 것으로 보인다(Mikhailov *et al.*, 1994).

서남해안 지역에 분포하는 백악기 지층으로부터 최초로 발견된 공룡알 화석은 발굴·복원 과정을 거쳐 매장 화석의 전체 윤곽이 드러난 국내 유일의 수각류 공룡알 동지 화석으로 산출규모 및 보존상태의 측면에서 국제적인 수준이라 할 수 있으며 자연사적 가치가 매우 뛰어나 청소년 등 일반인을 대상으로 한 자연사 교육 자료로서의 전시기치와 활용이 매우 높을 것으로 판단된다.

향후 지속적인 조사와 연구를 바탕으로 당시 이 지역에 생존했던 수각류 공룡의 부화습성이나 산란지 환경 등의 생태학적 연구뿐만 아니라 과거 중생대 시기 하나의 대륙으로 연결되어 있던 중국 산둥지방의 수각류 동지 화석과 비교연구를 통하여 한반도 백악

기 수각류 공룡화석과의 연결고리를 밝혀내는 등 학술적으로 중요한 실마리를 제공할 것으로 기대된다.

사 사

공사로 인해 파괴되어 한반도에서 흔적 없이 사라질 순간에 놓인 공룡알 동지 화석을 원할하고 신속하게 발굴·복원 할 수 있도록 예산 등 물심양면으로 지원을 아끼지 않으신 목포시 정종득 시장님과 함윤식 목포자연사박물관 관장, 김용희 책임관, 김만수 연구담당 이하 박물관 직원, 문화재청 관계자 분들께 깊은 감사를 드립니다. 아울러 발굴을 위해 조연과 격려를 아끼지 않으신 한국교원대학교 김정률 교수님, 문화재청 임중덕 학예연구관님, 부경대 백인성 교수님과 김현주 박사에게도 감사를 드리며 현장 발굴에 참여한 조용진 학예연구사, 손현덕 학예연구사, 전남대학교 한국공룡연구센터 광세건 연구원 및 학생들에게 특별한 감사를 드립니다. 특히 흑한의 날씨는 물론 폭염 속에서도 묵묵히 발굴과 정밀 복원 작업에 최

선을 다해 준 발굴조사단과 정경탁, 신향아, 김정모님의 피땀 어린 노고에 깊은 감사를 드린다. 본 구제 발굴 조사, 정밀 복원 처리 및 기초 연구는 목포자연사박물관(목포시) 사업비로 수행되었다. 이 연구는 한국연구재단 특정기초연구과제(KOSEF R01-2008-000-20056-0)의 부분적 지원에 의해 수행되었다.

참고문헌

박준, 허민, 백인성, 황구근, 양승영, 임종덕, 서승조, Shen Jing, 2007, 남한의 공룡알화석: 산출 현황과 고생물학적 의미. 제23차 한국고생물학회 정기총회 및 학술발표회(초록), 강원대학교, 10월 25-26일, 166 p.

윤철수, 백광석, 정형석, 2004, 경남 사천시 신수도에서 발견된 공룡알 화석. 고생물학회지, 20, 31-37.

윤철수, 양승영, 1997, 경상누층군 하산동층의 공룡알화석. 고생물학회지, 13, 21-36.

이용남, 김복철, 이윤수, 기원서, 2007, 경기도 화성시 남양분지에서 발견된 새로운 공룡알 화석산지. 고생물학회지, 23, 15-26.

최범영, 최현일, 황재하, 기원서, 고희재, 김유봉, 이병주, 송교영, 김정찬, 최영섭, 2002, 목포 · 여수도폭지질보고서(1:250,000). 한국지질자원연구원, 45 p.

허민, 백인성, 박준, 황구근, 이용일, 양승영, 임종덕, 이영엽, 정대교, 서승조, 박계현, 문기현, 2006, 남한의 공룡알 화석 산출 현황. 지질학회지, 42, 523-547.

허민, 백인성, 이용일, 김해경, 1999, 전남 보성에서 발견된 공룡알화석과 공룡알등지. 지질학회지, 35, 229-232.

Hirsch, K. F., 1996, Parataxonomic classification of fossil

chelonian and gecko eggs. Journal of Vertebrate Paleontology, 16, 752-762.

Huh, M. and Zelenitsky, D. K., 2002, A rich nesting site from the Cretaceous of Bosung County, Chullanam-do Province, South Korea. Journal of Vertebrate Paleontology, 22, 716-718.

Mikhailov, K. E., 1991, Classification of fossil eggshells of amniotic vertebrates. Acta Paleontologica Polonica, 36, 193-238.

Mikhailov, K. E., Sabath, K. and Kurzanov, S., 1994, Eggs and nests from the Cretaceous of Mongolia. In Carpenter, K., Hirsch, K. F. and Horner, J. R. (eds.), Dinosaur Eggs and Babies. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 88-115.

Paik, I. S. and Huh, M., 2005, Paleoenvironments and preservation of dinosaur egg-bearing deposits in South Korea. Annual meeting of Geological Society of America, Abstract 138.

Paleobond, 2010, <http://www.paleobond.com/Instructions.html>

Zhao, Z. K., 1975, The microstructure of the dinosaurian eggshells of Nanxiong Basin, Guangdong, and the problems in dinosaur egg classification. Vertebrata Palasiatica, 13, 105-117.

투 고 일 : 2011년 3월 11일
 심 사 일 : 2011년 3월 13일
 심사완료일 : 2011년 4월 30일