



Article

## 경기도 안산시 하부 백악기 탄도층에서 산출된 신조반류 지골 화석

이상윤<sup>1</sup>, 이용남<sup>2,\*</sup>, 정승호<sup>3</sup>

<sup>1</sup>서울대학교 지구과학교육과

<sup>2</sup>서울대학교 지구환경과학부

<sup>3</sup>국립문화재연구원 자연문화재연구실

### A neornithischian phalanx from the Lower Cretaceous Tando beds of Ansan-si, Gyeonggi-do, South Korea

Sang-Yoon Lee<sup>1</sup>, Yuong-Nam Lee<sup>2,\*</sup>, Seung-Ho Jung<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Department of Earth Science Education, Seoul National University, Seoul 08826, Republic of Korea

<sup>2</sup>School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Republic of Korea

<sup>3</sup>Natural Heritage Division, National Research Institute of Cultural Heritage, Daejeon 35204, Republic of Korea

Received: March 12, 2024 / Revised: April 16, 2024 / Accepted: April 28, 2024

\*Corresponding author: +82-2-880-6737 / E-mail: ynlee@snu.ac.kr

**요약:** 2021년 안산시 단원구 선감동 탄도항 북쪽 해안에 노출된 탄도분지의 탄도층(Tando beds)에서 조반류 공룡의 두번째 발가락 첫마디뼈가 발견됐다. 전기 백악기 아시아 공룡들의 지골들과 크기와 형태 비교를 통해 이 화석을 한반도에서 처음 발견되는 원시 신조반류, Jeholosauridae에 속한 것으로 분류했다. 이 화석은 탄도분지에 신각룡류인 코리아케라톱스, 원시 신조반류, 조각류 공룡이 함께 존재하고 있었다는 것을 지시한다.

**주요어:** 신조반류, 지골, Jeholosauridae, 탄도분지, 알바절

**ABSTRACT:** A single pedal phalanx (II-1) was discovered in the Tando beds (Albian) of the Tando Basin, the coastal outcrop north of Tando harbor, Seongam-dong, Danwon-gu, Ansan City, in 2021. By comparing its size and morphology to the phalanges of Early Cretaceous Asian dinosaurs, it was determined to belong to basal neornithischians, most similar to Jeholosauridae. This fossil indicates that neoceratopsian *Koreaceratops*, basal neornithischians, and ornithopod dinosaurs coexisted in the Albian time.

**Key words:** Neornithischian, phalanx, Jeholosauridae, Tando Basin, Albian

## 1. 서론

공룡 지골인 표본 NHCG 10971(Natural Heritage Center Geology)은 2021년 2월 10일, 일반인 2명(이준호, 고시덕)이 경기도 안산시 단원구 선감동의 북쪽 해안에 분포하는 탄도층(Tando beds) 조간대에 드러난 노두(37°11'43"N, 126°28'35"E)에서 발견하여 안산시에 매장문화재 신고를 하였고 2021년 3월 15일 서울대학교와 천연기념물센터가 공동으로 발굴하였다(그림 1). 탄도분지는 남양만과 대부도를 연결하는 탄도, 불도 및 주변 작은 섬들에 노출되어 있는 작은 분지다(Park *et al.*, 2000). 탄도분지 내에서는 2001년 탄도 채석장에서 발견된 6개의 조각류 공룡발자국과 2008년 탄도제방의 전석에서 신각룡류(neoceratopsian)인 코리아케라톱스 화성엔시스(*Koreaceratops hwaseongensis*)가 발견되었다(Choe *et al.*, 2001; Lee *et al.*, 2011).

분지는 서쪽에서 동쪽으로 가며 지층의 형성시대가 젊어지고 탄도층의 두께는 약 1.5 km로 추정된다(Kwon *et al.*, 2013). 화석이 발견된 지점은 탄도 남서쪽 해안 조간대에 드러난 자색 이암에 협재된 회색(풍화면은 암갈색) 역암층이다(그림 2). 이 자색 이암과 여기에 협재된 비조직상 역암은 층적평원 퇴적층으로 해석된 바 있다(Kwon *et al.*, 2013, FA I). 코리아케라톱스는 자색 이암의 전석에서 발견된 바 있다(Lee *et al.*, 2011). 역암층에서 발견된 지골 이외에 다른 뼈는 발견되지 않았고 비조직상 역암 내의 퇴적암

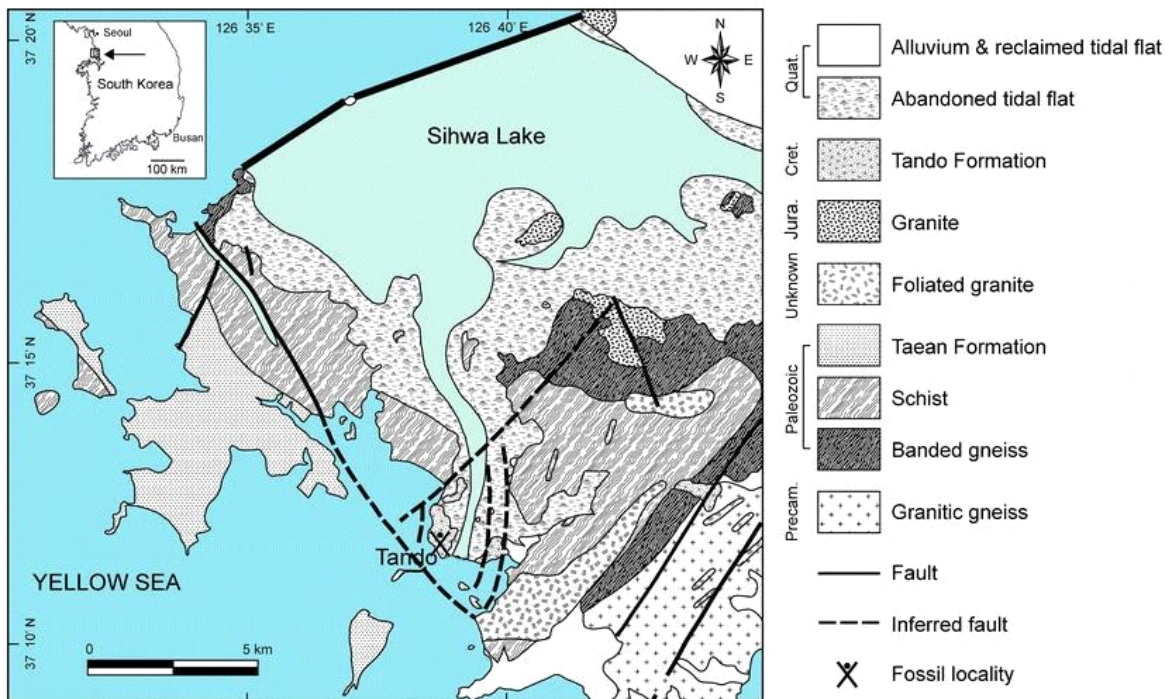
편은 분지층적물이 재퇴적된 것으로 해석되기 때문에 이 지골은 운반되어 묻힌 것으로 추정된다(그림 3; Kwon *et al.*, 2013). 조각류 발자국이 발견된 탄도채석장은 탄도분지의 가장 최상부층으로 호수퇴적층의 역질사암과 이암에서 발견되었다(Choe *et al.*, 2001).

탄도층의 연대를 밝히기 위해 화분포자 화석의 추출을 시도하였으나 화분포자가 보존이 불량하게 산출되어 실패하였다(Yi *et al.*, 2004). 이후 SHRIMP 저어콘 U-Pb 및 K-Ar 광물 연대측정 값은 각각 112 Ma와 103 Ma로 전기 백악기(Albian)를 지시한다(Kee *et al.*, 2010).

표본 NHCG 10971은 코리아케라톱스처럼 탄도층의 가장 하부층에서 발견되었기 때문에 코리아케라톱스와의 연관성에 주목받았다. 유감스럽게 단 한 개의 지골만 발견되어 종수준의 자세한 동정은 불가능하지만 지골의 크기와 형태를 토대로 가능한 범위의 분류를 시도하였다. 따라서 이 연구의 목적은 탄도층에서 새롭게 발견된 공룡 지골을 동정하고 이 화석이 가지는 고생물학적 의미를 밝히는 데 있다.

## 2. 연구방법

NHCG 10971의 관찰과 측정은 직접적인 관찰과 버니어 캘리퍼스를 이용하였다. 지골 한 개의 식별을 위해 표본을 모든 공룡의 지골과 비교하는 것은 무리이므로 본 표본이



**Fig. 1.** Regional geologic map of the Tando Basin showing the locality in which NHCG 10971 was found (modified after Lee *et al.*, 1999; Lee *et al.*, 2011) using Clip Studio Paint PRO Version 1.11.10.



산출된 전기 백악기의 공룡들로 한정해 비교하였다. 또한, 육상동물인 공룡은 각 대륙의 고유종인 경우가 많아 유럽이나 곤드와나의 공룡보다는 아시아의 공룡들과의 연관성이 깊을 것이기 때문에 아시아의 공룡들로 한정하였다(Russell, 1993). 전기 백악기 아시아에 알려진 모든 공룡 중 크기나 일반적인 특징이 전혀 해당되지 않는 그룹들, 즉 용각류, 검룡류, 곡룡류 등은 제외하고 지골이 보존된 종들만 내용과 사진, 그림자료를 이용해 비교하였다. 또한, NHCG 10971은 너비에 대해 길이가 2배 정도이기 때문에 중족골(metatarsal) 일 가능성이 없으므로 대부분의 그룹에서 이는 배제하였다.

### 3. 기재

NHCG 10971은 날개로 분리된 한마디의 지골이다(그림 4). 지골의 길이는 총 32.06 mm로 비대칭적이며 골간은



Fig. 2. Outcrop of the Tando beds exposed on the southwestern coast of Tando Island.



Fig. 3. NHCG 10971 on the grey conglomerate bed when it was found on February 10, 2021.

곧게 발달한다. 내외측 방향의 폭은 근위 부분에서 최대 16.88 mm, 원위부분에서 최대 16.02 mm로 지골의 길이는 내외측 방향의 폭에 2배 정도다. 배복 방향의 표본 높이는 근위부분에서 최대 14.77 mm이고 원위부분에서 최대 12.65 mm로 지골은 배복 방향 높이에 비해 내외측 방향의 폭이 더 길다. 지골의 배면(dorsal)과 복면(ventral), 내측(medial)과 외측(lateral)은 모두 오목하며 복면이 배면에 비해, 외측이 내측에 비해 더 오목해 전체적으로 잘록하다. 또한 외측의 경사가 내측에 비해 더 완만하다.

근위쪽 관절면(articular surface)은 삼각형(subtriangular)이며 원근(proximodistal) 방향으로 오목하고 사상돌기(sagittal ridge)에 의해 분리되어 있지 않다. 이는 표본이 내외측으로 나뉘어지지 않은 중족골(metatarsal)의 원위측 관절면에 결합하여 첫 번째 마디를 이루는 지골임을 지시한다. 원위 방향 관절면은 경첩관절(ginglymoid)이며 내측 관절구(condyle)의 크기가 다른 쪽에 비해 커 비대칭적이다. 측부인대와(collateral ligament pit)는 양쪽 모두 활차환(trochlear ring)의 중앙부에서 조금 근위에 위치하며 관절구의 크기가 작은 쪽의 깊이는 측부인대와가 잘 발달되어 있는 반대쪽에 비해 2배 이상 얇게 발달되어 있다(그림 5).

### 4. 다른 종들과의 비교

#### 4.1. 수각류

수각류의 중수골(metacarpal)은 digit I을 제외하고 너비에 대해 길이가 길며, *Coelophysis bauri*와 *Megapnosaurus rhodesiensis*의 중수골들은 이웃하는 다른 중수골들과의 결합을 위해 골간(shaft)의 한쪽, 혹은 양쪽면이 편평하다(Madsen, 1976; Barta *et al.*, 2018). NHCG 10971의 경우 너비에 대하여 길이가 약 2배 정도로 중수골 I을 제외한 대

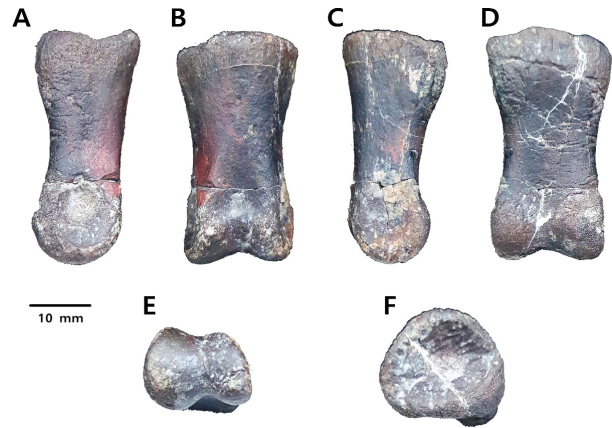
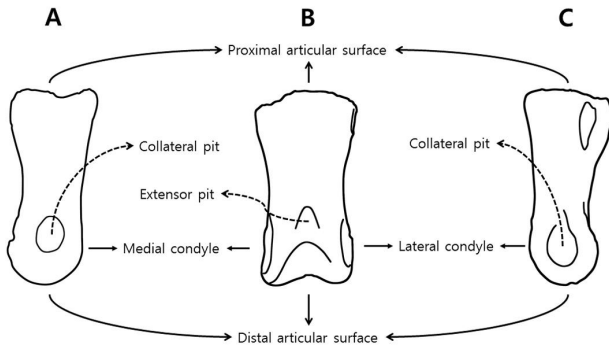
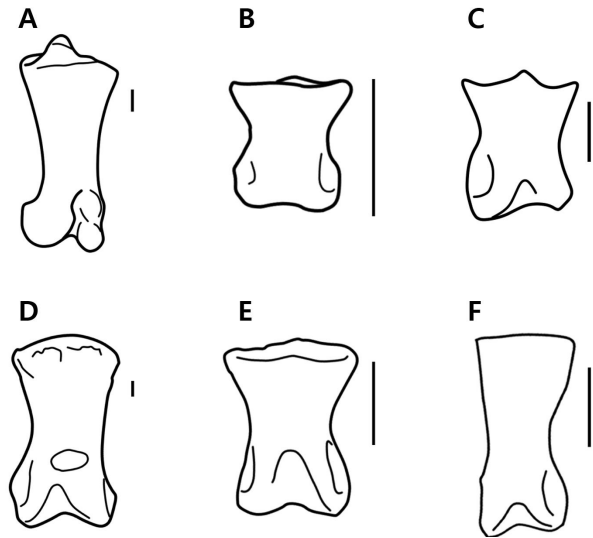


Fig. 4. NHCG 10971. (A) in medial; (B) dorsal; (C) lateral; (D) ventral; (E) distal; (F) proximal views. Illustrated using Clip Studio Paint PRO Version 1.11.10.

부분의 수각류 중수골들에 비해 짧으며 골간의 면이 다른 뼈와 결합할 수 있을 정도로 편평하지 않다. 중수골 I은 다른 중수골들에 비해 너비에 대해 길이가 짧으나 많은 경우 내측 관절구에 비해 외측 관절구가 더 원위측으로 확장되어 있어 매우 비대칭적이므로 비대칭성이 크지 않은 NHCG 10971과 구분된다(Madsen, 1976, figs. 43-45; Barta *et al.*, 2018). 또한 수각류의 손가락(manual phalanges)은 많은 종에서 너비에 비해 길이가 길어 얇고 긴 형태를 갖는 경우가 많아 NHCG 10971과 구분된다(Madsen, 1976 plate 43.



**Fig. 5.** Illustration of NHCG 10971 with anatomical terms used in this study. (A) in medial; (B) dorsal; (C) lateral views. Illustrated using Clip Studio Paint PRO Version 1.11.10.



**Fig. 6.** Illustration of left manual and pedal II-1 phalanges of various dinosaurs in dorsal views. (A, D) *Allosaurus fragilis* (UUVP 6000); (B) *Auroraceratops rugosus* (GSGM GJ <09>05); (C) *Orodromeus makelai* (PU 23442); (E) *Auroraceratops rugosus* (GSGM GJ <07> 9-39); (F) *Jeholosaurus shangyuanensis* (IVPP V15939). Scale bar: one cm. Outlined from Madsen (1976) for A and D, Morschhauser *et al.* (2018) for B and E, Scheetz (1999) for C, Han *et al.* (2012) for F. Illustrated using Clip Studio Paint PRO Version 1.11.10.

44, 45; Hattori *et al.*, 2021 figs. 47, 48). 모든 수각류에서 보편적으로 측부인대와는 손가락에서 배면에 가깝게 발달해 있으므로 배면과 복면의 중앙부에 측부인대와가 위치해 있는 NHCG 10971은 수각류의 손가락과 다르다(그림 6A; Currie and Chen, 2001).

대부분의 수각류 발가락(pedal phalanges)은 지골의 높이에 비해 폭이 좁은 반면 조각류는 수각류에 비해 지골의 폭이 높이에 비해 넓다. 이 특징은 대형 조각류일수록 더 강하게 나타난다(Farlow *et al.*, 2022). NHCG 10971은 근위측은 높이에 비해 폭이 약 1.27배, 원위측은 약 1.14배로 넓어 수각류의 발가락보다 위아래로 납작한 형태를 가지고 있다. 따라서 NHCG 10971은 수각류에 속하지 않는다(그림 6D).

#### 4.2. 각룡류

각룡류의 첫번째 중수골은 다른 공룡들과 마찬가지로 외측 관절구가 내측에 비해 더 원위 방향으로 확장되어 있어 첫번째 발가락이 내측을 향하며 네번째와 다섯번째 중수골의 경우 골간에 비해 원위측 관절면이 확장되어 있지 않고 작아 NHCG 10971과 구분된다(Morschhauser *et al.*, 2018). *Yinlong downsi*와 *Auroraceratops rugosus*의 두번째와 세번째 중수골은 원위측 관절구가 잘 분리되어 있지 않으며 *Auroraceratops*의 경우 외측 digit으로 갈수록 이러한 현상이 심해지는 경향성을 보인다(Han *et al.*, 2018; Morschhauser *et al.*, 2018). 또한 각룡류의 중수골은 근위측 관절면이 내외측으로 강하게 확장되어 벌어짐이 관찰되며 *Auroraceratops*의 근위측 관절면은 모든 중수골에서 볼록하다(Morschhauser *et al.*, 2018). 이렇게 내외측으로 확장된 근위측 관절면은 *Yinlong*에서 다른 중수골들과 느슨하게 결합한다(Han *et al.*, 2018). NHCG 10971은 양쪽 관절구가 잘 분리되어 있으며 골간의 경우 수축이 약하게 관찰된다. *Auroraceratops*의 두번째와 세번째 중수골은 근위측과 원위측에 비해 골간이 약 2배나 가늘다. 또한, NHCG 10971은 근위측 관절면이 골간에 비해 확장되었으나 관절면이 오목해 *Auroraceratops*나 *Yinlong*에서 관찰되는 강한 벌어짐은 없다. 따라서 NHCG 10971은 각룡류의 중수골에 해당한다고 보기 어렵다.

각룡류의 손가락은 *Yinlong*, *Psittacosaurus*, *Auroraceratops* 등 각룡류에게서 모두 형태적으로 비슷하게 나타나며 공통적으로 손톱을 제외하고 너비와 길이가 비슷하며, *Auroraceratops*의 경우 가장 근위측 앞발가락뼈의 너비에 비해 길이가 근위측에서는 평균 약 1.09배, 원위측에서는 약 1.3배이다(Averianov *et al.*, 2006; Han *et al.*, 2018; Morschhauser *et al.*, 2018). 이는 손가락의 너비에 비해 길이가 더 긴 *Heterodontosaurus*나 *Hypsilophodon*과 같은

원시 조각류와 대조적인 특징이다(Han *et al.*, 2018). 또한, *Auroraceratops*의 측부인대와 발가락에서 내측과 외측에 각각 존재하는 것과 달리 손가락에서는 배면에만 존재한다(Morschhauser *et al.*, 2018). NHCG 10971은 너비에 비해 길이가 길고 측부인대와 배면에 가깝다고 볼 수 없으므로 각룡류의 손가락에 해당한다고 보기 어렵다(그림 6B).

각룡류의 발가락의 경우 *Yinlong*과 *Auroraceratops* 모두 지골의 높이가 너비에 비해 짧아 지골의 높이와 너비가 비교적 비슷한 원시 신조반류(basal neornithischia)들과 대조된다(Han *et al.*, 2018). NHCG 10971은 지골의 높이에 비해 너비가 약 1.1~1.3배로, 높이에 비해 너비가 1.4~2.29배인 *Yinlong*을 포함 대부분 각룡류에 비해 높이와 너비가 비슷하다. *Auroraceratops*의 중족골과 결합하는 지골을 제외한 모든 발가락의 근위측 관절면은 앞쪽 관절면과의 결합을 위해 사상돌기에 의해 내측과 외측으로 나뉘어져 있다. 이는 근위측 관절면이 나뉘어 있지 않은 NHCG 10971과 대조되는 특징이다. Phalanx I-1은 다른 지골과 달리 신근와(extensor pit)가 강하게 발달하고 다른 지골들에 비해 전체적으로 길고 얇지만 원위측 관절구의 중간부가 원위쪽 끝에 비해 너비가 더 길어 NHCG 10971과 다르다. Phalanx III-1은 배면에서 봤을 때 양쪽 원위측 관절구의 크기가 비슷해 대칭적이어서 한쪽의 관절구의 크기가 비대칭적으로 큰 NHCG 10971과 구분된다. Phalanx IV-1은 근위측 관절면이 지골의 골간에 대해 비스듬히 기울어져 있어 NHCG 10971과 다르다. Phalanx II-1이 NHCG 10971과 형태적으로 가장 유사하나 지골의 너비에 대한 길이가 약 1.81배로 너비에 대해 길이가 약 2배인 NHCG 10971보다 짧아 전체적인 비율이 다르고 골간의 면이 근위측으로 갈수록 밖으로 벌어지는 형태를 띠는 점에서 구분된다(Morschhauser *et al.*, 2018). 따라서 NHCG 10971이 각룡류에 속한다고 보기 어렵다(그림 6E).

### 4.3. 조각류

Ankylopollexian과 heterodontosaurid의 경우 중수골의 근위부분이 다른 중수골들과 결합하여 사각형 구조를 이루기 때문에 NHCG 10971과 구분된다(Butler *et al.*, 2008).

이들을 제외한 다른 조각류들의 첫번째 중수골은 다수의 다른 공룡들과 마찬가지로 외측 관절구가 내측에 비해 원위 방향으로 더 확장되어 있어 강한 비대칭성을 보여 NHCG 10971과 다르다. 두번째와 세번째 중수골은 형태적으로 서로 비슷하고 *Haya griva*, 일부 원시 수각류와 원시 조반류 *Heterodontosaurus tucki*의 경우 중수골의 근위측 배면에 extensor digitorum longus가 들어갈 깊은 골이 존재한다(Barta *et al.*, 2018; Barta and Norell, 2021). *Hypsilo-*

*phodon foxii*의 원위측 관절면에는 배측 과간홈(dorsal intercondylar groove)이 없으며 다른 홈들은 잘 발달되지 않은 반면 *Haya*의 경우 잘 발달된 측부인대를 갖고 있으며 *Heterodontosaurus*에 비해 약한 신근와를 갖고 있다(Galton, 1974). NHCG 10971은 배면에 어떠한 골도 나타나지 않아 조각류 공룡의 중수골은 아니다.

*Orodromeus*와 *Hypsilophodon*, *Haya*의 앞발가락은 형태적으로 서로 비슷하며 모두 지골의 너비에 대해 길이가 짧다. *Orodromeus*의 경우 너비에 대해 길이가 약 1.13~1.57배로 짧으며 분화된 조각류에 속하는 *Camptosaurus* 또한 너비에 비해 길이가 더 짧아 너비에 비해 길이가 약 2배 정도 긴 NHCG 10971과 구분된다(Scheetz, 1999; Carpenter and Wilson, 2008; Makovicky *et al.*, 2011; Han *et al.*, 2018).

Iguanodontia와 같은 좀더 진화된 대형 조각류의 발가락은 진화된 각룡류와 마찬가지로 지골의 너비에 비해 높이가 낮고 너비에 대해 길이가 짧아 NHCG 10971과는 형태적으로 구분된다(Farlow *et al.*, 2022). Dryosaurids와 Elasmaria에 속하는 공룡들의 경우 예외적으로 발가락의 너비에 대한 높이와 너비에 대한 지골의 길이가 모두 원시 신조반류와 비슷하나 서식 지역이 크게 달라 NHCG 10971이 속한다고 보기 어렵다(그림 6F).

NHCG 10971과 같이 너비에 비해 길이가 긴 형태, 잘 발달된 측부인대와, 안장형태로 잘 발달된 원위측 관절면은 대부분의 원시 조각류들에게서 관찰되는 특징으로 앞발이 일부 변형된 basal ankylopollexian들의 발가락에서도 비슷하게 관찰된다. 이러한 특징을 지닌 것은 digitigrade의 발가락이다. 더 진화된 조각류들의 발가락 구조는 더 변형되어 너비에 대해 길이와 높이가 짧으며 측부인대와 내외측으로 나뉘어진 관절면이 관찰되지 않는다(Moreno *et al.*, 2007). 따라서 NHCG 10971은 진화된 조각류의 발가락에 속하지 않는다.

원시 신조각류(basal neornithischia)의 발가락 형태(pedal morphology)는 수각류와 유사하며 공룡의 원시형질(pleisiomorphy)로 여겨진다. 분화된 조각류나 각룡류 등을 제외한 많은 원시 신조각류의 발가락뼈는 대부분 비슷한 형태를 띠며 너비보다 긴 길이, 잘 발달된 측부인대와, 다른 지골과의 결합을 위한 사상돌기(sagittal ridge)에 의해 분리된 근위측 관절면과 양쪽 관절구(condyle)로 나뉜 원위측 관절면에 의해 잘 발달된 경첩관절(ginglymoid) 등의 특징을 공유한다. 이와 같은 형질들은 더 분화된 조각류들에게서는 변형되어 너비에 대해 길이와 높이가 짧으며 측부인대와 내외측으로 나뉘어져 발달된 경첩관절이 관찰되지 않는다(Moreno *et al.*, 2007).

원시 신조반류의 중족골과 결합하는 지골을 제외한 발

가락들의 근위측 관절면은 앞쪽 지골의 원위측 관절면과의 결합을 위해 내측과 외측 둘로 나뉘어져 있다. 따라서 NHCG 10971은 이러한 특징이 없기 때문에 중족골과 결합하는 첫번째 지골에 속한다. NHCG 10971은 지골의 높이에 비해 너비가 약 1.1~1.3배 정도로 각각 약 0.93~1.3배, 1.36배인 *Haya*, *Jeholosaurus*와 유사하며 너비에 비해 길이는 약 2배로 각각 약 2.28, 2.3~3.09, 2.22배인 *Haya*, *Jeholosaurus*, *Changchunsaurus*와 지골의 전체적인 비율과 형태가 유사하다(Butler *et al.*, 2011; Han *et al.*, 2012, 2018, 그림 6F).

이러한 원시 신조반류의 Phalanx I-1은 각룡류와 마찬가지로 원위측 관절구의 원위쪽 끝의 너비가 측부인대와 있는 관절구의 중간부의 너비보다 짧아 NHCG 10971과 구분된다. Phalanx III-1 또한 대부분의 다른 공룡들과 같이 원위측 관절구의 양쪽 크기가 거의 비슷해 양쪽 관절구의 크기가 비대칭적인 NHCG 10971과 다르다. *Gideonmantellia*와 Galve rhabdodontid(MDS-VG 210, 232)의 지골은 모두 phalanx II-1을 근위방향에서 보았을 때 외측은 곧은 형태를 띠고 내측은 둥근 형태를 띠는 반면 phalanx IV-1의 경우 반대로 내측이 곧고 외측이 둥근 형태를 띤다. 원위 방향에서 digit II의 경우 내측 관절구가 배복방향으로 더 확장되어 있는 반면, digit IV에서는 내측 관절구가 내외측으로 확장되어 있으며 관절면이 편평하게 복면을 향한다(Dieudonné *et al.*, 2016). NHCG 10971은 근위방향에서 외측 골단면은 곧고 내측은 둥근 형태를 띠며 외측 관절구에 비해 내측 관절구가 배복측으로 확장되어 있다. 또한, 대부분 공룡들의 digit II-1의 외측 골단면 아래쪽에는 내외측으로 편평한 작은 골이 형성되어 있으며, NHCG 10971에서도 같은 특징을 확인할 수 있다(Han *et al.*, 2012, fig. 12; Dieudonné *et al.*, 2016, fig. 10). 따라서 NHCG 10971은 형태적으로 jeholosaurid 공룡의 원쪽 두번째 발가락의 첫번째 지골에 속할 가능성이 가장 높다.

## 5. 토 의

만약 NHCG 10971이 jeholosaurid의 발가락이 맞다면 이는 한반도에 jeholosaurid 공룡이 살았을 가능성이 높다는 것을 지시한다. Jeholosaurid 공룡에는 *Haya*, *Jeholosaurus*, *Changchunsaurus*가 속해있으며(Herne *et al.*, 2019) 이들 공룡들은 모두 몽골과 중국에서만 발견되었기 때문에 한반도에서 jeholosaurid의 발가락 발견은 의미가 있다. 전남 보성군 상부 백악기 지층인 선소역암층에서 산출된 *Koreanosaurus boseongensis*는 Jeholosauridae와 sister group인 Thescelosauridae에 속해 있다(Huh *et al.*, 2011; Herne *et al.*, 2019). 하부 백악기 탄도분지에서 산출된 NHCG 10971

은 우리나라 백악기 시기에 최소한 두 종류 이상의 원시 신조반류 공룡들이 살았다는 것을 의미하며 중국, 몽골의 jeholosaurids와 계통발생학적으로 또한 고지리적으로도 관계가 있음을 암시한다. 또한 코리아케라톱스, 조각류 발자국과 함께 원시 신조반류의 존재는 탄도분지 내에 초식공룡의 다양성이 매우 높았음을 지시한다.

NHCG 10971의 형태학적 특징은 내측의 관절구가 외측의 관절구에 비해 크다는 점이다. *Orodromeus*와 Galve rhabdodontid, *Allosaurus fragilis*는 NHCG 10971과 같이 내측 관절구가 외측 관절구에 비해 더 크게 나타나지만, *Jeholosaurus*, *Changchunsaurus*는 반대로 나타난다(Madsen, 1976; Scheetz, 1999, fig. 31; Butler *et al.*, 2011, fig. 8; Han *et al.*, 2012, fig. 12; Dieudonné *et al.*, 2016). 지골의 비대칭성은 배측으로의 움직임이 제한되고 대칭적인 지골에 비해 신전(extension)은 약화되나 굴곡(flexion)은 더 강하게 일어날 수 있다. 특히 비대칭 걸음걸이나, 굴파기에 특화된 다리 움직임을 가진 경우 강하게 나타나는 것으로도 알려져 있다(Moreno *et al.*, 2007). 이는 NHCG 10971이 다른 jeholosaurid와 다른 자세(posture)나 보행방식(locomotory behavior)를 가졌음을 지시할 수도 있다. 그러나, 비대칭 걸음걸이의 경우 digit III의 관절면의 경첩관절의 발달 정도에 따라 다르게 해석될 수도 있기 때문에(Moreno *et al.*, 2007) 같은 개체의 다른 지골에 대한 정보나 공룡 발가락의 비대칭성과 걸음걸이 행동에 대한 연구가 진행되지 않는 이상 NHCG 10971의 걸음 행동에 대한 추론은 불확실하다.

## 6. 결론

NHCG 10971은 근위측 관절면(articular surface)이 사상돌기에 의해 분리되어 있지 않고 원위측 관절구가 약하게 비대칭적이라는 점에서 jeholosaurid와 가장 유사한 원시 신조반류(basal neornithischia) 공룡의 두 번째 발가락의 첫 번째 마디를 이루는 지골로 동정했다. 코리아케라톱스와 연계성을 확인한 바 전기 백악기에 존재했던 각룡류의 지골은 높이가 너비에 비해 짧지만 그 비율이 NHCG 10971과 다르고, 관절면이 강하게 벌어져 있어 각룡류의 지골은 아닌 것으로 확인되었다. 내측과 외측의 원위측 관절구와 측부인대의 크기 차이는 다른 jeholosaurid들과 반대로 나타나 자세나 보행방식의 차이를 지시할 수 있다. 만약 이 화석이 jeholosaurid에 속한다면 지금까지 몽골과 중국에서만 발견되었던 jeholosaurid가 한반도에도 서식했음을 의미한다.

## 감사의 글

화석을 발견하고 신고한 이준호, 고시덕에게 감사한다.



발견신고와 행정처리에 도움을 준 안산시청 공무원 김민지와 화성시청 공무원 김도권에게도 감사를 표한다. 본 원고를 꼼꼼히 검토하여 원고의 질을 높이는데 도움을 준 익명의 편집위원과 심사위원께 감사한다. 본 연구는 교육부 보호연구지원사업(2022R111A2060919)의 지원을 받아 수행되었다.

## REFERENCES

- Averianov, A.O., Voronkevich, A.V., Leshchinskiy, S. and Fayngertz, A., 2006, A Ceratopsian dinosaur *Psittacosaurus sibiricus* from the Early Cretaceous of West Siberia, Russia and its phylogenetic relationships. *Journal of Systematic Palaeontology*, 4, 359-395, <https://doi.org/10.1017/s1477201906001933>.
- Barta, D.J., Nesbitt, S.J. and Norell, M.A., 2018, The evolution of the manus of early theropod dinosaurs is characterized by high inter- and intraspecific variation. *Journal of Anatomy*, 232, 80-104, <https://doi.org/10.1111/joa.12719>.
- Barta, D.J. and Norell, M.A., 2021, The Osteology of *Haya griva* (Dinosauria: Ornithischia) from the Late Cretaceous of Mongolia. *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 445, 1-112, <https://doi.org/10.1206/0003-0090.445.1.1>.
- Butler, R.J., Liyong, J., Jun, C. and Godefroit, P., 2011, The postcranial osteology and phylogenetic position of the small ornithischian dinosaur *Changchunsaurus parvus* from the Quantou Formation (Cretaceous: Aptian-Cenomanian) of Jilin Province, north-eastern China. *Palaeontology*, 54, 667-683, <https://doi.org/10.1111/j.1475-4983.2011.01046.x>.
- Butler, R.J., Upchurch, P. and Norman, D., 2008, The phylogeny of the ornithischian dinosaurs. *Journal of Systematic Palaeontology*, 6, 1-40, <https://doi.org/10.1017/s1477201907002271>.
- Carpenter, K. and Wilson, Y., 2008, A New species of *Camptosaurus* (Ornithopoda: Dinosauria) from the Morrison Formation (Upper Jurassic) of Dinosaur National Monument, Utah, and a biomechanical analysis of its forelimb. *Annals of Carnegie Museum*, 76, 227-263.
- Choe, M.Y., Jo, H.R., Lee, J.I., Hur, S.D. and Jeong, K.S., 2001, Investigations on the geology and substrate remains in the abandoned tidal flats (Daebu Island area) of Sihwa Lake. *Ansan City* (in Korean).
- Currie, P.J. and Chen, P., 2001, Anatomy of *Sinosauropteryx prima* from Liaoning, northeastern China. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 38, 1705-1727, <https://doi.org/10.1139/e01-050>.
- Dieudonné, P., Tortosa, T., Fernández-Baldor, F.T., Canudo, J.I. and Díaz-Martínez, I., 2016, An unexpected early rhabdodontid from Europe (Lower Cretaceous of Salas de los Infantes, Burgos Province, Spain) and a re-examination of basal iguanodontian relationships. *PLOS ONE*, 11, e0156251, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156251>.
- Farlow, J.O., Lallensack, J.N., Müller, R.T. and Hyatt, J.A., 2022, Pedal skeletal proportions of bipedal and potentially bipedal dinosaurs and other archosaurs: interpreting the makers of early Mesozoic footprints. *Bulletin of the Peabody Museum of Natural History*, 63, 33-90, <https://doi.org/10.3374/014.063.0201>.
- Galton, P.M., 1974, The ornithischian dinosaur *Hypsilophodon* from the Wealden of the Isle of Wight. *Bulletin of the British Museum, Natural History. Geology*, 25, 1-152, <https://doi.org/10.5962/p.313819>.
- Han, F., Barrett, P.M., Butler, R.J. and Xu, X., 2012, Postcranial anatomy of *Jeholosaurus shangyuanensis* (Dinosauria, Ornithischia) from the Lower Cretaceous Yixian Formation of China. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 32, 1370-1395, <https://doi.org/10.1080/02724634.2012.694385>.
- Han, F., Forster, C.S., Xu, X. and Clark, J.M., 2018, Postcranial anatomy of *Yinlong downsii* (Dinosauria: Ceratopsia) from the Upper Jurassic Shishugou Formation of China and the phylogeny of basal ornithischians. *Journal of Systematic Palaeontology*, 16, 1159-1187, <https://doi.org/10.1080/14772019.2017.1369185>.
- Hattori, S., Kawabe, S., Imai, T., Shibata, M., Miyata, K., Xu, X. and Azuma, Y., 2021, Osteology of *Fukuivenator paradoxus*: a bizarre maniraptoran theropod from the Early Cretaceous of Fukui, Japan. *Memoir Fukui Prefectural Museum*, 20, 1-82.
- Herne, M.C., Nair, J.P., Evans, A.R. and Tait, A.R., 2019, New small-bodied ornithopods (Dinosauria, Neornithischia) from the Early Cretaceous Wonthaggi Formation (Strzelecki Group) of the Australian-Antarctic rift system, with revision of *Qantassaurus intrepidus* Rich and Vickers-Rich, 1999. *Journal of Paleontology*, 93, 543-584, <https://doi.org/10.1017/jpa.2018.95>.
- Huh, M., Lee, D., Kim, J., Lim, J. and Godefroit, P., 2011, A new basal ornithopod dinosaur from the Upper Cretaceous of South Korea. *Neues Jahrbuch Für Geologie Und Paläontologie*, 259, 1-24, <https://doi.org/10.1127/0077-7749/2010/0102>.
- Kee, W.S., Koh, H.J., Kim, S.W., Kim, B.C., Kim, Y.B., Kim, Y.H., Kim, H.C., Park, S.I., Song, K.Y., Lee, S.R., Lee, Y.S., Lee, Y.N., Lee, H.J., Jeon, H.Y., Cho, D.L., Choi, B.Y., Choi, S.J., Chwae, W.C. and Hwang, J.H., 2010, Tectonic evolution of upper crustal units in the mid-western part of the Korean peninsula. *Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources*, 242 p (in Korean with English abstract).
- Kwon, C., Choi, S., Lee, Y., Chwae, U., Kee, W. and Kim, B., 2013, Depositional environment and basin development of the Cretaceous Tando Basin, mid-west Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 49, 47-71 (in Korean with English abstract), <https://doi.org/10.14770/jgsk.2013.49.1.47>.
- Lee, B.-J., Lee, S.R. and Cho, D.-L., 1999, Explanatory text of the Geological Map of Daebudo Sheet (Scale 1:50,000). *Korea Institute of Geology Mining and Materials, Taejon* (in Korean with English abstract), <https://doi.org/10.22747/data.20231117.5280>.
- Lee, Y.-N., Ryan, M.J. and Kobayashi, Y., 2011, The first ceratopsian dinosaur from South Korea. *Naturwissenschaften*, 98, 39-49, <https://doi.org/10.1007/s00114-010-0739-y>.
- Madsen, J., 1976, *Allosaurus fragilis*: a revised osteology. *Utah Geological Survey eBooks*, <https://doi.org/10.34191/b-109>.
- Makovicky, P.J., Kilbourne, B.M., Sadleir, R.W. and Norell, M.A., 2011, A new basal ornithopod (Dinosauria, Ornithischia) from the Late Cretaceous of Mongolia. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 31, 626-640, <https://doi.org/10.1080/02724634.2011.557114>.
- Moreno, K., Carrano, M.T. and Snyder, R.A., 2007, Morphological changes in pedal phalanges through ornithopod dinosaur evolu-

- tion: a biomechanical approach. *Journal of Morphology*, 268, 50-63, <https://doi.org/10.1002/jmor.10498>.
- Morschhauser, E.M., You, H., Li, D. and Dodson, P., 2018, Postcranial morphology of the basal neoceratopsian (Ornithischia: Ceratopsia) *Auroraceratops rugosus* from the Early Cretaceous (Aptian-Albian) of northwestern Gansu Province, China. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 38(sup1), 75-116, <https://doi.org/10.1080/02724634.2018.1524383>.
- Park, S.-D., Chung, G.-S., Jeong, J.-G., Kim, W.-S., Lee, D.-W. and Song, M.-Y., 2000, Structure and physical property of the crust of mid-west Korea: analysis of sedimentary basins in the Namyang and Tando areas, Kyeonggi Province, Korea. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 21, 563-582 (in Korean with English abstract).
- Russell, D.A., 1993, The role of central Asia in dinosaurian biogeography. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 30, 2002-2012.
- Scheetz, R.D., 1999, Osteology of *Orodromeus makelai* and the phylogeny of basal ornithomimid dinosaurs. Montana State University.
- Yi, S., Lee, Y.-N. and Lee, S.-J., 2004, Palynofacies of the Cretaceous sediments in the Tando Basin, West Korea: thermal maturation and its geological implications. *Journal of the Geological Society of Korea*, 40, 431-439 (in Korean with English abstract).