

몽골 남서부 고비사막 힐멘자프 후기 백악기 바룬고웃층에서 산출된 바가케라톱스의 두후골격

김빛나라¹ · 윤혜수¹ · 이웅남^{2,*}

¹충남대학교 지질환경과학과

²서울대학교 지구환경과학부

요 약

2007년 몽골 남서쪽 고비사막 힐멘자프(Hermin Tsav)지역 후기 백악기 바룬고웃층(Baruungoyot Formation)에서 발견된 바가케라톱스(*Bagaceratops*) 각룡류 공룡의 두후골격을 기재한다. 이 연구는 바가케라톱스 두후골격에 대한 첫 번째 기재라는 점에서 중요하다. 자매종인 프로토케라톱스와의 차이점은 두개골에서 두드러지지만 쇄골의 형태와 위치를 제외하고 두후골격은 서로 매우 유사하다. 이러한 두후골격의 유사성은 천골의 숫자와 형태, 미추의 높은 신경돌기, 쇄골의 존재, 관절와와 수직으로 위치한 납작한 견갑골, 매끄러운 아치형의 오웬골, 작은 주상돌기, 뒷발보다 짧은 앞발, 대퇴골의 커다란 fourth trochanter, 경골보다 짧은 대퇴골 등에서 나타난다. 그러나 짧은 막대형의 프로토케라톱스의 쇄골이 견갑골과 오웬골에 걸쳐 위치하는 것과 달리 바가케라톱스의 쇄골은 오웬골 앞쪽에 휘어져 발달한다. 프로토케라톱스와 비슷한 체형과 옆으로 납작하고 높은 꼬리를 가진 바가케라톱스는 바람에 의해 발달한 사구 사이의 연못과 습지 주변에 주로 서식하였으며 프로토케라톱스과의 특징적인 꼬리는 이러한 수성환경에 적응하기 위한 구조일 수도 있다.

주요어: 후두개골, 바가케라톱스, 힐멘잡, 바룬고웃층, 몽골

Bitnara Kim, Hyesu Yun and Yuong-Nam Lee, 2019, The postcranial skeleton of *Bagaceratops* (Ornithischia: Neoceratopsia) from the Baruungoyot Formation (Upper Cretaceous) in Hermin Tsav of southwestern Gobi, Mongolia. *Journal of the Geological Society of Korea*. v. 55, no. 2, p. 179-190

ABSTRACT: Here we describe a postcranial skeleton of *Bagaceratops* (Ceratopsia) which was found in the Baruungoyot Formation (Upper Cretaceous) in Hermin Tsav of southwestern Gobi Desert, Mongolia in 2007. It is important in terms of the first report on the postcranial skeleton of *Bagaceratops*. Although the cranial differences stand out between *Bagaceratops* and its sister taxon *Protoceratops*, two genera are very similar to each other in the postcranial skeleton except for the shape and position of clavicles. Their similarity appears in the number and shape of a sacrum, tall neural spines of caudals, the presence of clavicles, a flat scapular blade almost perpendicular to glenoid, coracoids with a smooth and arcuate anterior portion, a small olecranon process, manus much smaller than pes, a large and pendant femoral fourth trochanter, and the tibia longer than the femur. While short and rod-like clavicles of *Protoceratops* are articulated with both scapula and coracoid, however, they are curved distally in front of the coracoid in *Bagaceratops*. *Bagaceratops* with a laterally flat and high tail like *Protoceratops* mainly lived in interdune ponds and other freshwater wetlands, and the high neural spines of the caudal vertebrate of protoceratopsids may be an adaptative feature for living in aquatic environments.

Key words: Postcranial skeleton, *Bagaceratops*, Hermin Tsav, Baruungoyot Formation, Mongolia

(Bitnara Kim and Hyesu Yun, Department of Geological Sciences, Chungnam National University, Daejeon 34134, Republic of Korea; Yuong-Nam Lee, School of Earth Environmental Sciences, Seoul National University Seoul 08826, Republic of Korea)

1. 서 론

바가케라톱스(*Bagaceratops*)는 1970년대 “폴란드-몽

골 고생물학 탐사(Polish-Mongolian Palaeontological Expeditions)”에 의해 몽골의 상부 백악기 지층인 바룬고웃층(Baruungoyot Formation)에서 몇 개의 두

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

개골이 발견되어 처음 연구되었다(Maryańska and Osmólska, 1975). 바가케라톱스는 작은(*Baga*) 뿔을 가진 얼굴(*ceratops*)이란 뜻을 가진 각룡류(Ceratopsia) 공룡으로 현재까지 몽골 남고비사막 남서쪽 힐멘자프(Hermin Tsav) 지역에서만 발견되고 있다(그림 1). 바가케라톱스 이외에도 폴란드 탐사대는 준성체(juvenile)의 각룡류를 발견하여 *Protoceratops kozlowskii*로 명명하였지만(Maryańska and Osmólska, 1975) 이들은 *Breviceratops kozlowskii*로 재명명되었고(Kurzanov, 1990), 그 후 또다시 바가케라톱스의 후행이명(junior synonym)으로 처리되었다(Sereno, 2000). 2003년 같은 층에서 새로운 각룡류인 *Platyceratops tatarinovi*가 기재되었지만(Alifanov, 2003) 이 종 역시 바가케라톱스의 후행이명으로 간주되었다(Makovicky and Norell, 2006). 이외에 2008년 같은 층에서 발견된 어린 개체의 두개골이 *Gobiceratops minutus*로 명명되었다(Alifanov, 2008). 따라서 현재까지 힐멘자프 지역의 바룬고웃층에서는 *Bagaceratops rozhdest-*

*venskyi*와 *Gobiceratops minutus* 두 종의 각룡류가 알려져 있다. 계통발생학적으로 바가케라톱스는 프로토케라톱스와 함께 프로토케라톱스족(Protoceratopsidae)에 속한다(Farke et al., 2014; Han et al., 2015). 프로토케라톱스족은 원시 각룡류(basal ceratopsians)보다는 진화되었지만 가장 진화된 각룡류상목(Ceratopsioidea)의 자매군(sister clade)인 Coronosauria에 속해있다.

바가케라톱스의 두개골에 대한 연구는 비교적 상세히 연구되어 있고(Maryańska and Osmólska, 1975; Osmólska, 1986), 준성체와 함께 이들 두개골의 개체발생학(ontogeny) 연구도 수행된 바 있다(Kurzanov, 1990; Sereno, 2000). 하지만 바가케라톱스의 두후골격(postcranial skeleton) 화석은 매우 드물며 천추(sacrum)와 미추(caudal vertebrae) 일부분, 좌골과 치골(pubis) 일부분, 대퇴골 일부분이 발견되었지만 자세한 기재는 이루어지지 않았다(Maryańska and Osmólska, 1975; Alifanov, 2003). 2000년 일본-몽골 고생물공동탐사에서 힐멘자프의 바룬고웃층

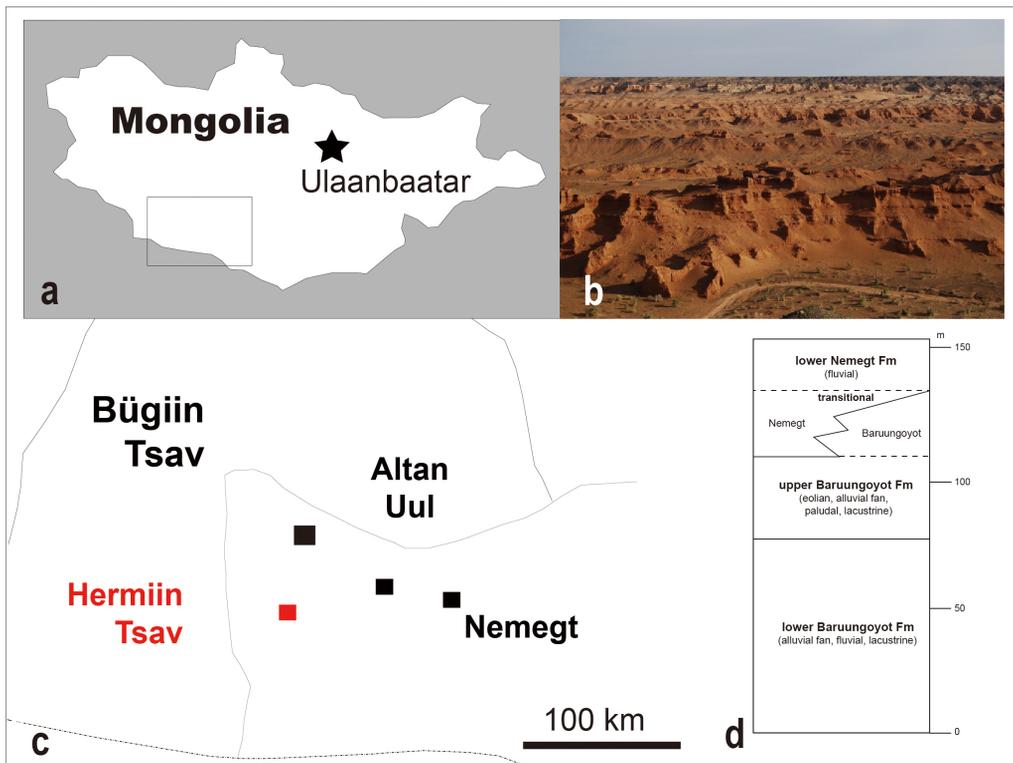


Fig. 1. Map showing the occurrence of KID196 in Hermin Tsav, the southwestern Gobi of Mongolia. (a) Southwestern Gobi area. (b) Photo of Hermin Tsav. (c) Main Cretaceous basins in the southwestern Gobi. (d) Stratigraphic summary of Hermin Tsav section (modified from Eberth, 2018).

에서 거의 완전한 전체 골격(MPC-D 100/535)이 발견되었지만 이 표본의 연구는 아직 수행되지 않고 있다(Saneyoshi *et al.*, 2011, fig. 3).

2007년 “한국-몽골 국제공룡탐사”를 통해 힐멘자프 바른고웃층 중간 층준에 발달한 사암 전석에서 두 개골 일부와 두후골격이 연결되어 보존된 바가케라톱스 표본이 발견되어 수집되었다(필드표본번호: KID196). 그러므로 본 연구는 그동안 알려지지 않았던 바가케라톱스의 두후골격에 대한 최초의 보고이며 그동안 두개골의 특징만으로 해석되었던 프로토케라톱스와 바가케라톱스의 자매관계(sister relationship)를 검증할 수 있는 자료를 제공할 수 있을 뿐 아니라 더 나아가 전체적인 각룡류의 계통발생학적 분석(phylogenetic analysis)에 중요한 자료로 이용될 수 있다는 점에서 매우 중요하다.

2. 힐멘자프의 지질

표본번호 KID196 화석은 제2차 한국-몽골 국제공룡탐사 중 2007년 9월 10일 탐사대원이었던 한국 지질자원연구원의 송교영 박사에게 의해 힐멘자프 바른고웃 중간 층준에서 침식에 의해 떨어져 나온 밝은 적색 사암에서 발견되었다(43°29.636'N, 99°49.677'E) (그림 2). 뼈를 포함하고 있는 사암 블록 2개는 2007년에 수집된 다른 화석들과 함께 2008년 7월에 화성시로 운송되어 처리 과정을 거쳤다. 힐멘자프는 남서부 고비사막의 주요 후기 백악기 분지로 알려져 있으며, 특히 네메겟분지(Nemegt Basin), 부긴자프(Bügiin Tsav), 알탄울(Altan Uul) 등 다른 지역들에 비해 상대적으로 하부 지층들이 잘 드러난 곳으로 알려져 있다(그림 1c; Eberth, 2018). 힐멘자프의 최상부 지층은 하부 네메겟층이 분포하지만 최상부의 바른고웃층과는 네메겟분지처럼 서로 지교(interfingering)되어 있다(그림 1d). 힐멘자프의 주 구성원인 바른고웃층은 그 두께가 135 m에 이른다. 하지만 바른고웃층의 최하부 층준이 노출되지 않았기 때문에 바른고웃층의 전체 두께는 모르는 상태이다. 힐멘자프의 지형구조상 네메겟층은 산맥의 정상 부분에, 바른고웃층은 산맥 중하부에 분포한다. 바른고웃층은 주로 적색 사암층과 이암층이 교호하며 나타나는데 풍성기원의 규모가 큰 사층리가 잘 발달해 있고, 사구 사이에 측면으로 불연속적인 호수기원의 이암이 소규모로 퇴적되

어 있다. 또, 사구 사이의 하도(channel) 안에 염류피각(calcrete)의 잔해가 산발적으로 채퇴되어 있다. 이러한 특징으로 보아 바른고웃층이 퇴적될 당시 환경은 사층리가 발달할 정도로 바람이 많이 불었으며, 바람에 의해 쌓인 사구 사이의 웅덩이에 물이 고여서 이암이 퇴적되고, 국지적으로 사구 사이에 하도가 발달해 물이 흐르다 물이 건조되어 다시 채퇴되는 과정에서 염류피각의 잔해가 생긴 것으로 보인다(Eberth *et al.*, 2009). 반면 네메겟층은 바른고웃층과는 반대로 위로는 가벼운 퇴적물들이 쌓이고, 아래로는 무거운 퇴적물이 쌓인 전형적인 포인트바(point-bar)와 범람원 퇴적 환경이다(Jerzykiewicz, 2000). 두 층은 야외에서 지층의 색깔로 쉽게 구별되는데 상부의 네메겟층은 주로 회색과 갈색을 띠는 반면 하부의 바른고웃층은 매우 뚜렷한 적색을 띤다. 흥미롭게도 힐멘자프 지역에서 두 지층에서 발견되는 화석군은 서로 매우 상이한데, 바른고웃층에서는 주로 크기가 1 m를 넘지 않는 작은 양서류, 도마뱀, 포

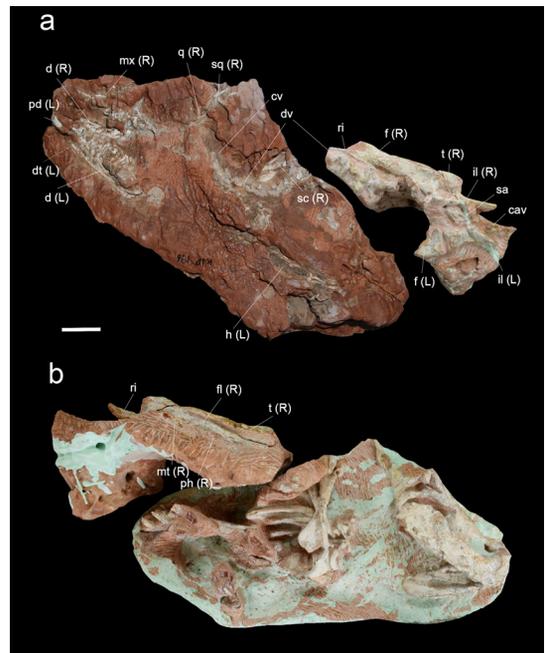


Fig. 2. Specimen KID196. (a) Left medial view. (b) Right lateral view. Abbreviations: R, right; L, left; cav, caudal vertebrae; cv, cervical vertebrae; d, dentary; dt, dentary teeth; dv, dorsal vertebrae; f, femur; fl, fibula; il, ilium; mt, metatarsals; mx, maxilla; pd, predentary; ph, phalanges; q, quadrate; ri, rib; sa, sacral vertebrae; sc, scapula; sq, squamosal; ti, tibia. Scale bar equals 5 cm.

유류, 새 화석들이 중간 크기의 공룡 화석들과 함께 발견되는 반면, 상부 네메깃층에서는 *Tarbosaurus*, *Therizinosaurus*, *Tarchia* 같은 대형 공룡들이 주로 발견된다(Weishampel *et al.*, 2004).

바룬고웃층의 정확한 지질시대는 학자들 간에 의견이 다르다. 일반적으로 바룬고웃층의 지질시대는 Santonian과 Campanian시기의 후기 백악기로 해석하지만(Shuvalov and Nikolaeva, 1985; Shuvalov, 2000), ?middle Campanian (Gradziński *et al.*, 1977) 혹은 Middle to Late Campanian (Jerzykiewicz, 2000)으로 해석하는 학자들도 있다. 특히 Kielan-Jaworowska (1970)는 바얀작과 다른 지역의 포유류의 화석에 근거해 바룬고웃층이 Coniacian-Santonian인 작톡타층(Djadokhta Formation)의 시대보다 오래된 것으로 해석하였다. 그러나 바룬고웃층에서 산출되는 연체동물과 갑각류, 거북 화석들은 Santonian보다 오래된 시대를 지시하지 않는다(Shuvalov, 2000). 또한 층의 상부와 중간부에 있는 현무암으로부터 얻은 K-Ar의 동위원소 절대연대는 80~78 Ma (Campanian)을 지시한다(Shuvalov, 2000).

3. KID196의 등장

표본 KID196은 비교적 완전한 하악골(mandible)을 포함한 상부가 훼손된 두개골(cranium)과 불완전한 두후골격으로 구성되어 있다(그림 3). 표본은 전체적으로 우측 부분이 비스듬하게 눌러 보존되어 있으며, 손실된 부분으로 보아 퇴적물에 묻히기 전 상당 기간 풍화와 침식에 의해 파손이 심했던 것으로 추정된다. 뼈의 표면에는 어떠한 교흔(bite mark)도 관찰되지 않아 포식에 의한 훼손은 없었던 것으로 추정된다. 각룡류의 특징상 크기가 큰 두개골(skull) 부분은 상대적으로 보존이 양호한 편이지만 크기가 작은 뼈들로 구성된 두후골격들은 변형과 유실, 훼손이 심한 상태이다.

두개골은 왼쪽 머리뼈 전체와 오른쪽 머리뼈의 상반부(문골?, 전상악골 상부, 비골, 상악골 상부, 누골, 후안와골, 두정골, 인골 상부)가 손실되었지만 좌우 하악골이 보존되어 있다. 따라서 인골(squamosal), 방형골(quadrate), 방형협골(quadratojugal), 협골(jugal), 상악골(maxilla), 전상악골(premaxilla)의 하단부가 보존되어 있다. 협골의 jugal horn은 아랫부분이 깨

져 안쪽(medial)으로 밀려들어가 있다. 하악골은 외형상 약간의 변형을 동반해 파손되었지만 각골(angular), 상각골(surangular), 치골(dentary), 전치골(prementary)이 거의 완전한 상태로 보존되어 있다.

두후골격은 왼쪽보다는 오른쪽 부분이 더 많이 보존되어 있으며 확인 가능한 뼈는 경추(cervical vertebrae), 배추(dorsal vertebrae), 선추(sacrum), 미추(caudal vertebrae), 쇄골(clavicle), 흉골(sternum), 늑골(dorsal rib), 견갑골(scapula), 오웬골(coracoid), 상완골(humerus), 척골(ulna)과 요골(radius), 장골(metacarpal)과 지골(phalanges), 장골(ilium)과 좌골(ischium), 대퇴골(femur), 경골(tibia)과 비골(fibula), 척골(metatarsal)과 지골(phalange), 골화된 건(腱)(ossified tendon) 등이다.

힐멘자프에서 보고된 각룡류는 현재 *Bagaceratops rozhdestvenskyi*와 *Gobiceratops minutus* 두 종만 알려져 있다. 두 종의 가장 뚜렷한 고유파생형질(autapomorphy)은 비공(naris)과 전안와창(antorbital fenestra) 사이에 부수적인 전안와창(accessory antorbital fenestra)이 존재한다는 것이다(Maryańska and Osmólska, 1975; Alifanov, 2008; Farke *et al.*, 2014). 유감스럽게도 KID196 표본에서 이 부분이 보존되지 않아 확인할 수 없다. 고비케라톱스의 완전모식표본(PIN 3142/299)은 3.5 cm 길이의 어린 개체 두개골이다(Alifanov, 2008). KID196 표본에서 비교 가능한 고비케라톱스의 특징 중 매우 높고 넓은 후두부(occipital region),

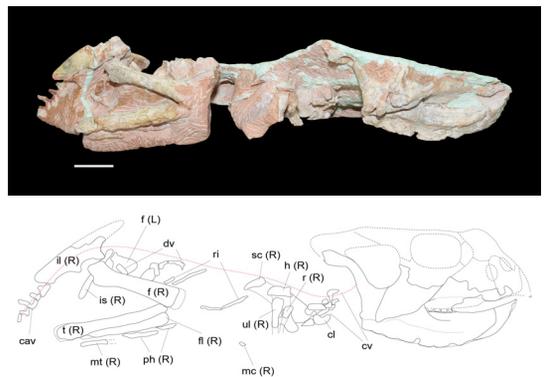


Fig. 3. A lateral view of KID196. Abbreviations: R, right; L, left; cav, caudal vertebrae; cl, clavicle; cv, cervical vertebrae; dv, dorsal vertebrae; f, femur; fl, fibula; h, humerus; il, ilium; is, ischium; mc, metacarpals; mt, metatarsals; ph, phalanges; r, radius; ri, rib; sc, scapula; ti, tibia; ul, ulna. Scale bar equals 5 cm.

매우 크게 발달한 안와(orbit) 아래 위치한 전안와창, 각골돌기(angular process)가 없는 치골(dentary) 등은 KID196에서 나타나지 않는다. 따라서 KID196은 고비케라톱스가 아니다. 바가케라톱스의 하악골의 특징은 “하악골이 낮고 하부 가장자리가 일직선(mandible shallow with straight ventral margin)”인 것인데(Maryańska and Osmólska, 1975) 이러한 특징이 KID196 표본에서 관찰된다(그림 3). 나머지 두개골 특징은 보존이 불량해 확인하기는 어렵지만 KID196에 보존된 두개골의 전반적인 형태와 각 뼈의 비율은 바가케라톱스와 잘 일치한다. 따라서 KID196은 *Bagaceratops rozhdestvenskyi*로 동정한다. 보존된 두개골의 전체 길이는 270 mm (인골의 끝에서 전치골까지)이며, 높이는 120 mm (상각골에서 인골까지)이고, 아래턱 하부의 최대폭은 90 mm (보존된 좌우 아래턱뼈 사이의 최대 길이)이다. 두개

골 모두 좌우 형태가 완전하게 보존되어 있지 않기 때문에 두개골의 폭은 측정할 수 없다. 보존된 두후골격의 전체 길이는 약 500 mm 정도로 추정되는데 유실된 꼬리의 길이까지 포함하면 700 mm 정도가 되어 전체 크기는 약 1 m 정도이다. 이 크기는 바가케라톱스의 성체와 비슷한 크기이기 때문에 KID196은 성체로 판단된다(Tereschenko, 2008).

4. 바가케라톱스 두후골격의 기재

4.1 경추(頸椎, Cervical Vertebrae)

경추의 추체(centrum)와 신경궁(neural arch)은 대부분이 훼손되어 경추의 형태를 확인하기 어렵지만 불완전한 경추 늑골 2개와 늑골 파편들(7개)이 손상된 채 보존되어 있다(그림 4).

4.2 배추(背椎, Dorsal Vertebrae)

등척추는 전체적으로 오른쪽 대퇴골 위, 장골 앞쪽으로 거의 일렬로 위치하고 있다(그림 5a). 추체를



Fig. 4. The anterior part of the postcranial of KID196. Abbreviations: R, right; L, left; cl, clavicle; cv, cervical vertebrae; co, coracoid; cof, coracoid foramen; dp, deltopectoral crest; fl, fibula; h, humerus; mc, metacarpals; ot, ossified tendon; ph, phalanges; r, radius; ri, rib; sc, scapula; st, sternal plate; ti, tibia; ul, ulna.

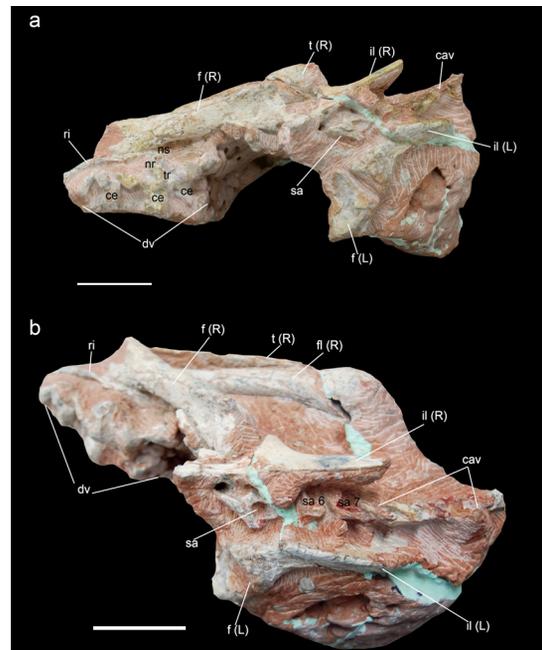


Fig. 5. The posterior part of the postcranial of KID196. (a) Left lateral view. (b) Dorsal view. Abbreviations: R, right; L, left; cav, caudal vertebrae; ce, centrum; dv, dorsal vertebrae; f, femur; fl, fibula; il, ilium; nr, neural arch; ns, neural spine; ri, rib; sa, sacral vertebrae; t, tibia; tr, transverse process. Scale bars equal 5 cm.

제외한 신경궁과 신경돌기(neural spine) 대부분이 훼손되어 있는 상태이다. 원통형의 추체는 3개가 보존되어 있는데 두 번째 추체가 비교적 온전한 형태로 남아있다. 이 척추는 신경궁 앞쪽으로 전관절돌기(prezygapophysis)가 돌출되어 있고, 위로는 신경돌기가 발달한다. 전관절돌기는 짧게 일부만 보존되어 있지만, 과거 바가케라톱스의 전관절돌기가 납작한 형태로 접합되는지 돌기상태로 접합되는지 알려지지 않았기 때문에 이 표본을 통해 바가케라톱스가 프로토케라톱스처럼 관절돌기가 돌출된 형태로 등척추가 연결되었다는 것을 알 수 있다. 신경돌기는 신경궁과 연결되는 끝부분만 보존되어 전체 크기를 가늠하기 어렵다. 신경궁 측면으로 좌우로 돌출된 횡돌기관절부(diapophysis)가 발달한다.

4.3 선추(仙椎, Sacrum)

선추는 장골 사이에 위치하고 있는 융합된 척추 뼈이다. 선추의 수는 원시 신각룡류(basal neoceratopsian)에서는 5~7개인데, 원시적인 *Psittacosaurus*와 *Archaeoceratops*는 5개, *Leptoceratops*는 6개, *Montanoceratops*와 *Protoceratops*는 7개, 그리고 진화된 각룡류에서는 8개 이상의 선추가 발달한다(You and Dodson, 2004). 본 표본에서 보존된 선추는 5개로 앞쪽 부분은 장골과 함께 손실되어 있다. 앞쪽 선추가 보존되지 않아 전체 선추의 개수는 추정적이지만 장골의 위치로 보아 원래 7개가 존재했을 것으로 판단된다(그림 5b). 보존된 선추도 신경돌기 상부가 손상되어 있지만 양쪽 장골에 연결되는 횡돌기(transverse process)는 보존되어 있다. 신경돌기는 꼬리뼈 쪽으로 갈수록 점차 후관절돌기(postzygapophysis)가 낮아지는 형태를 보이고 있다. 얇고 긴 막대 형태의 골화된 힘줄이 다섯 번째 선추 신경돌기에서 관찰된다.

4.4 미추(尾椎, Caudal Vertebrae)

본 표본에선 가장 앞쪽 미추 4개만이 보존되어 있어 전체 미추의 숫자는 알 수 없다(그림 5b). 마지막 선추와 첫 번째 미추는 추체의 융합과 신경돌기로 구분된다. 신경돌기는 선추에선 길고 바로 서있는데 반해 미추에선 살짝 뒤쪽으로 기울어져 있다. 미추의 신경돌기는 추체의 높이에 비해 *Montanoceratops*와 *Protoceratops*에서는 2배 더 긴 반면 *Bagaceratops*는 *Koreaceratops*처럼 약 3배 더 길다(Tereschenko,

2008, fig. 3; Lee *et al.*, 2011). 이러한 높은 신경돌기는 각룡류에서는 나타나지 않는 특징이다. 혈관궁은 보존되지 않아 형태를 알 수 없다.

4.5 쇄골(鎖骨, Clavicle)

쇄골의 오른쪽 부분이 오른쪽 오혜골 앞에 가깝게 위치하여 발견되었다(그림 4). 쇄골의 형태는 초승달 모양으로 아래(distal)부분으로 갈수록 두께가 얇아지며 휘어지는 형태를 가진다. 쇄골은 원시 각룡류인 *Montanoceratops*, *Leptoceratops*, *Protoceratops*에서 발견된다(Chinnery and Weishampel, 1998). *Montanoceratops*의 쇄골은 두께가 일정하며 *Protoceratops*처럼 견갑골과 오혜골 사이에 위치한다. 반면에 바가케라톱스의 쇄골은 *Leptoceratops*처럼 오혜골만 접촉하고 있다(Sternberg, 1951). 하지만 *Leptoceratops*의 쇄골은 장화같은 형태라 바가케라톱스와는 구별된다.

4.6 흉골(胸骨, Sternum)

부분적으로 보존된 오른쪽 흉골은 두께가 얇고 단엽(reniform)모양의 형태이며 오혜골로 이어지는 테두리가 일부 손상되어 오혜골 뒤쪽으로 휘어져 위치한다(그림 4). 이 뼈 10 mm 옆쪽으로는 손상된 왼쪽 흉골 조각이 위치한다.

4.7 늑골(肋骨, Rib)

늑골은 오른쪽 견갑골 옆으로 5개가 조금씩 크기의 차이를 보이며 분포한다(그림 4; 표 1). 첫 번째 늑골은 견갑골 밑에 위치하며 다른 늑골들보다 늑골의 휘어짐 정도가 크고 넓적한 막대 형태에서 점점 끝으로 갈수록 폭이 좁아지는 형태를 가진다. 이러한 특징은 상대적으로 목에 가까운 등척추의 늑골임을 지시한다. 두 번째 늑골은 두께가 가장 굵고 거의 직선으로 역시 끝으로 갈수록 폭이 약간 좁아지는 형태를 띠고 있다. 늑골의 휘어짐으로 보아 중간 등척추의 늑골로 추정된다. 이외 다른 늑골들도 크기의 차이만 있을 뿐 늑골의 기저부(proximal portion)는 관찰할 수 없고 중간 자루(shaft)만 보존되어 있다.

4.8 견갑골(肩胛骨, Scapula)

견갑골은 어깨뼈를 이루는 뼈로 오혜골(coracoid)과 함께 흉대(胸帶, pectoral girdle)를 형성하는데, 보존된 뼈는 전체적으로 편평하고 긴 판상형태의 견

Table 1. Measurements of postcranial skeleton in KID196 (in mm). Abbreviations: e, estimated; L, left; R, right; +, minimum length.

Element	L/R	Length	Height	Element	L/R	Length	Height
Dorsal vertebrae		40+	20e	Metacarpal II	R	6+	8
Sacral vertebrae		950+			L	20+	5
Caudal vertebrae		105+		Metacarpal III	R	7+	7
Clavicle	R	25	10		L	30+	5
Sternum	R	50+	40+	Metacarpal IV	L	12+	7
	L	15+	20+	Phalange 1-1	L	2+	5
Rib 1	R	70+	10	Phalange 2-1	R	8+	7
Rib 2	R	95+	10	Phalange 2-2	R	8+	5
Rib 3	R	60+	10	Phalange 4-1	L	12	8
Rib 4	R	50+	5	Ilium	R	115+	35
Rib 5	R	70+	5		L	90+	40e
Scapula	R	115+	35e	Femur	R	150e	30
Coracoid	R	40+	50		L	40+	30
Humerus	R	125+	30e	Tibia	R	155+	35+
	L	85+	20+		L	55+	23+
Ulna	R	40+	30	Fibula	R	120+	13
	L	20+	15		L	22+	10e
Radius	R	15+	15+	Metatarsal #?	R	40+	6
Metacarpal I	L	10+	7	Phalange #?	R	45+	6

갑골판(scapular blade)과 오혜골을 만나기 위해 확장되어 있는 견갑골체(scapular body)로 구성된다(그림 4). 본 화석에서는 견갑골체의 테두리 바깥쪽의 견봉돌기(acromion process) 부분이 손상되어 온전한 형태는 알 수 없지만, 견갑골체에서 견갑골판으로 이어지는 큰 굴곡이 나타남으로 견봉돌기가 존재했음을 알 수 있다. 견갑골은 원시 각룡류에게서는 다소 납작한 형태를 띠지만 각룡류에서는 휘어져 있다. 바가케라톱스도 납작한 형태이며 다른 각룡류처럼 견갑골판은 관절와(關節窩, glenoid)에 수직으로 위치한다.

4.9 오혜골(烏喙骨, Coracoid)

견갑골과 융합되어 있는 오른쪽 오혜골은 표면이 매끄럽고 아치형을 이루며 바깥 표면에는 오혜골 구멍(coracoid foramen)이 존재한다(그림 4). 상완골 골두(humeral head)가 접합하는 관절와는 오혜골과 견갑골 사이 경계에 있는데, 특이하게 오혜골 능선(ridge) 사이에 두 개의 구멍(fossa)이 존재한다.

4.10 상완골(上腕骨, Humerus)

상완골은 왼쪽과 오른쪽 모두 보존되었으나, 왼쪽 상완골은 5번째 늑골 아래에 중간 자루만 일부 보존되었다. 반면 오른쪽 상완골은 오른쪽 견갑골 위에 비스듬히 위치해 있으며 일부 풍화되어 손상되어 있지만 상부와 하부 골단이 비교적 온전히 보존되어 있다(그림 4). 삼각돌기(deltpectoral crest)는 상완골 골두부터 아래쪽으로 45° 휘어져 발달하고 전체 상완골 길이의 30~40% 정도를 차지한다. 전체 상완골의 길이는 125 mm 이상(표 1)이다. 상완골 기저부는 반구형이며 가운데 상완골두가 약하게 발달한다. 상완골 아래 끝부분은 척골과 요골이 접촉하는 부분인 척골구(ulnar condyle)와 요골구(radial condyle)가 발달하는데, 본 표본에서는 요골구 일부만 보존되어 있다.

4.11 척골(尺骨, Ulna)과 요골(撓骨, Radius)

오른쪽 척골은 상박골과 만나는 기저부 일부만 보존되어 있다. 척골은 요골보다 위 골단 부분의 폭

이 더 두껍다. 주두돌기(olecranon process)는 요골에 가려져 정확한 형태를 관찰할 수 없지만 각룡류 처럼 크게 돌출된 상태는 아닌 것으로 파악된다(그림 4). 오른쪽 요골 역시 위 골단 일부만 보존되어 있다. 왼쪽 척골은 장골(carpals)과 접촉하는 아랫부분 일부만 보존되어 있고 나머지 부분은 모두 손실되었다.

4.12 장골(掌骨, Metacarpals)과 지골(指骨, Phalanges)

첫 번째 늑골 위쪽으로 오른쪽 장골(metacarpal) II와 III의 아래 부분이 2개의 오른쪽 지골(phalanges)과 함께 불완전한 형태로 보존되었다(그림 4). 왼쪽 상완골 아래쪽으로 역시 훼손이 심한 3개의 왼쪽 장골과 지골들이 분포한다. 장골의 단면은 타원형이다. 이들 뼈들은 형태를 파악하기 어렵지만 중간 자루의 단면 두께로 추정해보면 앞발(manus)은 뒷발(pes)에 비해 크기가 훨씬 작은 편으로 이는 원시 각룡류의 특징이다.

4.13 장골(腸骨, Ilium)

장골은 앞부분이 일부 손상이 있지만, 좌우 양쪽 모두 보존되어 있다(그림 5b, 6). 왼쪽 장골은 뒷부분(postacetabular ala)과 좌골병(ischial peduncle)을 포함한 관골구(acetabulum) 뒤쪽 일부만 남아있다. 오른쪽 장골은 앞부분(preacetabular ala)의 위쪽 일부만 손상되었지만 preacetabular fossa와 연결되는 치골병(pubic peduncle)과 뒤쪽 좌골병 사

이에 대퇴골두(femoral head)가 끼워지는 관골구까지 온전히 보존되어 있다. 장골 뒷부분은 뒤쪽으로 좁아지는 형태이며 밑 부분에는 brevis fossa가 발달한다.

4.14 좌골(坐骨, Ischium)

장골과 접촉하는 부분인 좌골의 윗부분은 모두 손실되었고, 오른쪽 좌골의 아랫부분만이 기다란 원통 모양의 파편 형태로 보존되어 있다.

4.15 대퇴골(大腿骨, Femur)

거의 완전한 형태의 오른쪽 대퇴골과 윗부분(proximal)만 남겨진 왼쪽 대퇴골이 보존되었다(그림 6). 대퇴골의 골단부는 훼손되어 정확한 형태를 알 수 없지만 윗부분에 대전자(greater trochanter)가 발달하는 것을 볼 수 있으며 소전자(lesser trochanter)의 존재는 불확실하다. 비록 마모되어 fourth trochanter는 작게 보이지만 원래 형태는 다른 원시 각룡류처럼 크게 발달한 것으로 파악된다(You *et al.*, 2010). 각룡류의 fourth trochanter는 *Triceratops*와 *Centrosaurus*에서만 보고되었는데 그 크기도 크게 축소되어 있다(Makovicky and Norell, 2006; Makovicky, 2010). 각룡류의 fourth trochanter는 진화하면서 크기가 줄어든다고 알려져 있다(You *et al.*, 2007). 대퇴골의 아랫부분에는 원래 내측구(medial condyle)와 외측구(lateral condyle)가 발달해야 하나 이 부분이 훼손되어 확인 불가능하다. 원시 각룡류에서 대퇴골은 경골(tibia)보다 짧은 반면 각룡류에서는 대퇴골이 경골보다 길다. 이는 각룡류의 진화경향으로 머리가 커져 완전한 사족보행으로 진화하면서 빠른 걸음걸이보다는 무게를 지탱하는 쪽으로 신체 계획이 변형된 결과이다(Lee *et al.*, 2011). 바가케라톱스도 대퇴골이 경골보다 짧아 전형적인 원시 각룡류의 특징을 가졌음을 보여준다.

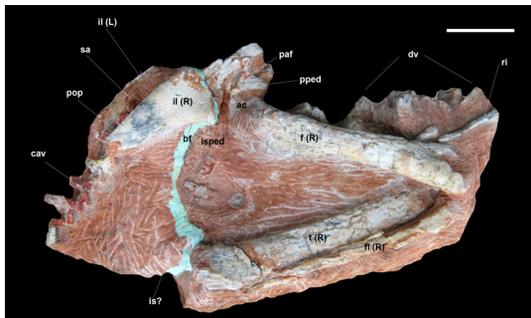


Fig. 6. The pelvic girdle and hind limbs of KID196 in right lateral view. Abbreviations: R, right; L, left; ac, acetabulum; bvf, brevis fossa; cav, caudal vertebrae; dv, dorsal vertebrae; f, femur; fl, fibula; il, ilium; is?, ischium?; isp, ischial peduncle; ri, rib; paf, preacetabular fossa; pped, pubic peduncle; poa, postacetabular ala; sa, sacrum; ti, tibia. Scale bar equals 5 cm.

4.16 경골(脛骨, Tibia)과 비골(腓骨, Fibula)

왼쪽 경골과 비골은 파편 형태로 일부분만 보존되었고 오른쪽 경골과 비골은 오른쪽 대퇴골과 연결되어 보존되었다(그림 6). 이들 뼈도 골단부가 훼손되어 있지만 전체적인 길이는 측정 가능하다. 경골의 윗부분에서는 불완전한 경골돌기(cnemial crest)도 관찰된다. 모든 각룡류 공룡들은 비골이 경골에

비해 훨씬 가늘다. 오른쪽 비골의 윗부분 일부가 보존되어 있다.

4.17 척골(蹠骨, Metatarsals)과 지골(趾骨, Phalanges)

왼쪽 지골은 파편적으로 나타나고 오른쪽 척골과 지골은 보존이 불량하지만 상대적인 위치로 그 존재가 확인된다(그림 4). 척골은 경골 아래 평행하게 놓여 발목이 접혀 화석화된 것을 알 수 있다. 지골은 두 개의 마디가 보존되었고, 발톱은 보존되지 않았다.

4.18 골화된 건(腱)(Ossified tendons)

늑골 옆으로 두 개의 골화된 힘줄(ossified tendon)이 관찰된다(그림 4). 골화된 힘줄은 배추 사이에 격자무늬 형태로 나타나는데, 배추돌기를 서로 연결하여 더 확고하게 지지하는 역할을 한다. 골화된 힘줄은 *Psittacosaurus*를 포함해 여러 각룡류에서 나타난다(Zhou *et al.*, 2010).

5. 토 의

KID196 표본을 통해 과거에 알려져 있지 않았던

바가케라톱스 두후골격의 새로운 정보가 확인되었으며 그 특징들은 다음과 같다. 선추는 위에서 내려다보았을 때 직사각형 또는 모래시계 모양이고, 미추의 신경돌기는 길고 쪽 뺨어있으며, 쇄골이 존재하고, 견갑골은 판상이며, 견갑골판은 관절와에 수직으로 위치한다. 오혜골은 매끄럽고 아치형이며, 작은 주상돌기가 발달하고 앞발은 뒷발에 비해 훨씬 작다(표 1). 대퇴골의 fourth trochanter는 크고 확장되어 있고, 경골에 비해 대퇴골의 길이가 더 짧다. 발은 길고 가늘며, 짧은 척골과 상대적으로 긴 지골을 갖고 있다.

바가케라톱스에서 쇄골이 발견된 것은 최초이기 때문에 의미가 있다. 각룡류 쇄골은 일반적으로 길이가 짧고 막대 모양이며 바깥면이 볼록하고, 안쪽면은 오목한 형태로 전체적으로 초승달 모양처럼 휘어져 있다. 위쪽은 아래에 비해 뾰족한 편이고 두께는 앞쪽보다 뒤쪽이 두껍고 아래는 넓고 주름이 발달하며 앞보다 뒤가 얇다(Brown and Schlaikjer, 1942). 쇄골이 발견된 각룡류는 *Psittacosaurus*와 *Protoceratops*, *Leptoceratops*, 그리고 *Montanoceratops*이다. *Psittacosaurus*의 쇄골은 짧고 끈 모양으로 오혜골의 가장자리에 길

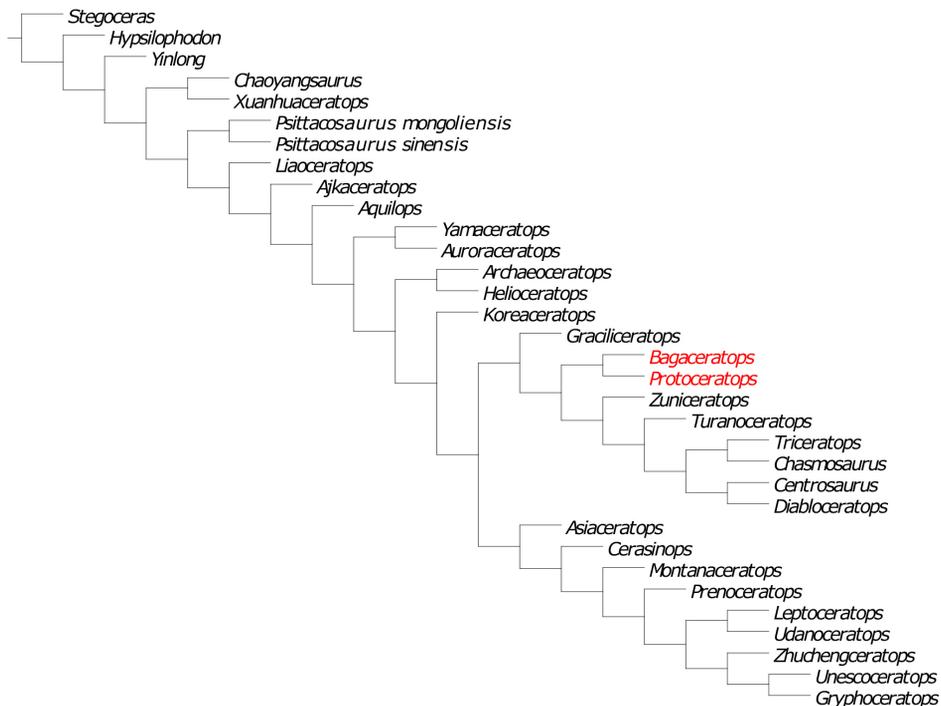


Fig. 7. Most parsimonious tree, recovering *Ajkaceratops* as a basal neoceratopsian.

게 누워있는 형태이고(Osborn, 1924; Sereno, 2000), *Protoceratops*의 쇄골은 짧고 막대형으로 견갑골과 오혜골의 앞쪽에 위치한다(Brown and Schlaikjer, 1940). *Leptoceratops*는 위의 종류와는 달리 부츠모양으로 오혜골의 가장자리 앞쪽으로 길게 누워 위치하며(Brown and Schlaikjer, 1942; Sternberg, 1951) *Montanoceratops*의 쇄골은 가늘고 납작한 S자 형태로 두께가 일정하다(Chinnery and Weishampel, 1998). 바가케라톱스의 쇄골은 아래쪽으로 휘어져 있으며 오혜골 앞에 위치하여 독특하다.

바가케라톱스의 두후골격에 대한 새로운 정보를 포함하였을 때 기존의 각룡류 공룡들의 계통발생학적 관계에 영향을 미치는지를 확인하기 위하여 가장 최근 논문의 자료 행렬(data matrix)(Farke *et al.*, 2014)에 대입하였다. 새롭게 추가된 13개의 형질들은 다음과 같다(113:1, 114:2, 115:0, 116:1, 119:1, 120:1, 121:1, 122:0, 123:0, 125:0, 130:0, 131:0, 132:0). 그 결과 288 step을 가진 총 4개의 최적계통수(most parsimonious tree)가 산출되었으며 이 결과는 기존의 분기도와 동일하게 나타났다(그림 7; Farke *et al.*, 2014, figs. S1, S2). 즉, 바가케라톱스와 프로토케라톱스의 두후골격은 매우 비슷하며 이들의 전신골격을 비교하였을 때도 계통발생학적으로 자매관계임을 입증한다.

바가케라톱스의 두후골격에 대한 정보가 확보됨에 따라 바가케라톱스의 생태를 파악하기 위해 같은 자매종인 프로토케라톱스와 비교하였다. 바가케라톱스가 산출된 지층인 바룬고웃층과 프로토케라톱스가 산출된 작톡타층은 모두 바람이 많이 불어 사구가 형성되고, 사구 사이에 하도가 발달하면서 큰 연못이 발달한 환경이었다(Jerzykiewicz, 2000). 두

개골에서 큰 차이를 보이지만 프로토케라톱스와 바가케라톱스의 두후골격은 매우 유사하다. 비록 바가케라톱스의 몸길이가 1 m로 프로토케라톱스(1.8 m)에 비해 작은 편이지만 두 종 모두 미추에 높은 신경돌기가 발달하며, 따라서 유사한 형태의 높고 납작한 꼬리를 가졌을 것이라 예상할 수 있다(그림 8; Tereschenko, 2008, fig. 3). 그러므로 이 두 종은 유사한 환경에서 유사한 생활습성을 가졌을 것이라 유추할 수 있다. 프로토케라톱스를 포함하여 코리아케라톱스의 높고 납작한 꼬리는 수영에 적합한 구조로 해석되었으며(Bailey, 1997; Lee *et al.*, 2011; Tereschenko and Singer, 2013), 이는 포식자인 *Shamosuchus* 악어들이 풍부한 서식지에서 생존하기 위한 특징으로 해석되기도 하였다(Alifanov, 2008).

6. 결론

KID196 표본은 *Bagaceratops rozhdestvenskyi*로 동정되었다. 처음으로 바가케라톱스의 두후골격을 기재한 결과, 바가케라톱스의 두후골격의 특징은 다른 원시 각룡류들 보다 프로토케라톱스의 두후골격과 더 유사하다. 따라서 두개골 특징만으로 분류하여 제안되었던 바가케라톱스와 프로토케라톱스의 자매종 관계는 두후골격의 특징들을 포함하더라도 유효하며 또한 두 종을 묶은 프로토케라톱스과(Proceratopsidae)도 정당하다. 비록 두개골은 골격학적으로 크게 차이가 있지만 유사한 두후골격 특징과 신체 계획(body plan)을 가진 두 종은 사막 가운데의 호수 등 수성환경에서 유사한 생활습성을 가졌던 것으로 추측된다. 특히 바가케라톱스의 높고 납작한 꼬리는 이와 유사한 다른 원시 각룡류들처럼



Fig. 8. A skeletal reconstruction of *Bagaceratops* (KID196). Colored areas represent elements recovered.

해엄치는데 유용했을 것으로 추정된다.

감사의 글

2007년 한국-몽골 국제공룡탐사 대원들 모두에게 감사하며 특히 본 표본을 발견한 한국지질자원연구원의 송교영 박사님께 감사드립니다. 본 원고를 심사해 주신 두 명의 익명 심사자와 편집위원회도 감사드립니다. 한국-몽골 국제공룡탐사는 화성시의 지원으로 이루어졌다. 본 연구는 제3저자에게 지원된 2016 한국연구재단 이공분야기초연구사업(중견연구자지원사업, 2016R1A2B2015012) 연구비로 수행되었다.

REFERENCES

- Alifanov, V.R., 2003, Two new dinosaurs of the Infraorder Neoceratopsia (Ornithischia) from the Upper Cretaceous of the Nemegt Depression, Mongolian People's Republic, *Paleontological Journal*, 37, 524-534.
- Alifanov, V.R., 2008, The tiny horned dinosaur *Gobiceratops minutus* gen. et sp. nov. (Bagaceratopidae, Neoceratopsia) from the Upper Cretaceous of Mongolia. *Paleontological Journal*, 42, 621-633.
- Bailey, J.B., 1997, Neural spine elongation in dinosaurs: sailbacks or buffalo-backs?. *Journal of Paleontology*, 71, 1124-1146.
- Brown, B. and Schlaikjer, E., 1940, The structure and relationships of *Protoceratops*. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 40, 133-266.
- Brown, B. and Schlaikjer, E., 1942, The skeleton of *Leptoceratops* with the description of a new species. *American Museum Novitates*, 1169, 1-15.
- Chinnery, B.J. and Weishampel, D.B., 1998, *Montanoceratops cerorhynchus* (Dinosauria: Ceratopsia) and relationships among basal neoceratopsians. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 18, 569-585.
- Eberth, D.A., 2018, Stratigraphy and paleoenvironmental evolution of the dinosaur-rich Baruungoyot-Nemegt succession (Upper Cretaceous), Nemegt Basin, southern Mongolia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 494, 29-50.
- Eberth, D.A., Badamgarav, D. and Currie, P.J., 2009, The Baruungoyot-Nemegt transition (Upper Cretaceous) at the Nemegt type area, Nemegt Basin, south central Mongolia. *Journal of the Paleontological Society of Korea*, 25, 1-15.
- Farke, A.A., Maxwell, W.D., Cifelli, R.L. and Wedel, M.J., 2014, A ceratopsian dinosaur from the Lower Cretaceous of western North America, and the biogeography of Neoceratopsia. *PLoS ONE*, 9, e112055.
- Gradziński, R., Kielan-Jaworowska, Z. and Maryńska, T., 1977, Upper Cretaceous Djadokhta, Barun Goyot and Nemegt formations of Mongolia, including remarks on previous subdivisions. *Acta Geologica Polonica*, 27, 281-318.
- Han, F., Forster, C.A., Clark, J.M. and Xu, X., 2015, A new taxon of basal ceratopsian from China and the early evolution of Ceratopsia. *PLoS ONE*, 10, e0143369.
- Jerzykiewicz, T., 2000, Lithostratigraphy and sedimentary settings of the Cretaceous dinosaur beds of Mongolia. In: Benton, M.J., Shishkin, M.A., Unwin, D.M. and Kurochkin, E.N. (eds.), *The Age of Dinosaurs in Russia and Mongolia*. Cambridge University Press, 279-296.
- Kielan-Jaworowska, Z., 1970, New Upper Cretaceous multituberculate genera from Bayn Dzak, Gobi Desert. *Palaeontologia Polonica*, 21, 35-49.
- Kurzanov, S.M., 1990, A new Late Cretaceous protoceratopsid genus from Mongolia. *Paleontological Journal*, 24, 85-91.
- Lee, Y.-N., Ryan, M.J. and Kobayashi Y., 2011, The first ceratopsian dinosaur from South Korea. *Naturwissenschaften*, 98, 39-49.
- Makovicky, P.J., 2010, A redescription of the *Montanoceratops cerorhynchus* holotype with a review of referred material. In: Ryan, M.J., Chinnery-Algeier, B.J. and Eberth, D.A. (eds.), *New Perspectives on Horned Dinosaurs*. Indiana University Press, 68-82.
- Makovicky, P.J. and Norell, M.A., 2006, *Yamaceratops dorngobiensis*, a new primitive ceratopsian (Dinosauria: Ornithischia) from the Cretaceous of Mongolia. *American Museum Novitates*, 37(5), 1-42.
- Maryńska, T. and Osmólska H., 1975, Protoceratopsidae (Dinosauria) of Asia. *Palaeontologia Polonica*, 33, 133-182.
- Osborn, H.F., 1924, Three new Theropoda, *Protoceratops* zone, central Mongolia. *American Museum Novitates*, 144, 1-12.
- Osmólska, H., 1986, Structure of nasal and oral cavities in the protoceratopsid dinosaurs (Ceratopsia, Ornithischia). *Acta Palaeontologica Polonica*, 31, 145-157.
- Saneyoshi, M., Watabe, M., Suzuki, S. and Tsogtbaatar, K., 2011, Trace fossils on dinosaur bones from Upper Cretaceous eolian deposits in Mongolia: taphonomic interpretation of paleoecosystems in ancient desert environments. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 311, 38-47.
- Sereno, P.C., 2000, The fossil record, systematics and evolution of pachycephalosaurs and ceratopsians from Asia. In: Benton, M.J., Shishkin, M.A., Unwin, D.M. and Kurochkin, E.N. (eds.), *The Age of Dinosaurs in*

- Russia and Mongolia. Cambridge University Press, 480-516.
- Shuvalov, V.F., 2000, The Cretaceous stratigraphy and palaeobiogeography of Mongolia. In: Benton, M.J., Shishkin, M.A., Unwin, D.M. and Kurochkin, E.N. (eds.), *The Age of Dinosaurs in Russia and Mongolia*. Cambridge University Press, 256-278.
- Shuvalov, V.F. and Nikolaeva, T.V., 1985, On the age and spatial distribution of Cenozoic basalts in the south of Mongolia. *Vestnik LGU*, 14, 52-59.
- Sternberg, C.M., 1951, Complete skeleton of *Leptoceratops gracilis* Brown from the Upper Edmonton Member on Red Deer River, Alberta, Canada. *Bulletin of the National Museum of Canada*, 123, 225-255.
- Tereschenko, V.S., 2008, Adaptive features of proto-ceratopoids (Ornithischia: Neoceratopsia). *Paleontological Journal*, 42, 273-286.
- Tereschenko, V.S. and Singer, T., 2013, Structural features of neural spines of the caudal vertebrae of proto-ceratopoids (Ornithischia: Neoceratopsia). *Paleontological Journal*, 47, 618-630.
- Weishampel, D.B., Barrett, P.M., Coria, R.A., Le Loeuff, J., Xu, X., Zhao, X., Sahni, A. Gomani, E.M.P. and Noto, C.R., 2004, Dinosaur distribution. In: Weishampel, D.B., Dodson, P. and Osmólska, H. (eds.), *The Dinosauria*. Second Edition, University of California Press, 517-606.
- You, H.-L. and Dodson, P., 2004, Basal Ceratopsia. In: Weishampel, D.B., Dodson, P. and Osmólska, H. (eds.), *The Dinosauria*. Second Edition, University of California Press, 478-493.
- You, H.-L., Tanoue, K. and Dodson, P., 2007, A new specimen of *Liaoceratops yanzigouensis* (Dinosauria: Neoceratopsia) from the Early Cretaceous of Liaoning Province, China. *Acta Geologica Sinica*, 81, 898-904.
- You, H.-L., Tanoue, K. and Dodson, P., 2010, A new species of *Archaeoceratops* (Dinosauria: Neoceratopsia) from the Early Cretaceous of the Mazongshan area, north-western China. In: Ryan, M.J., Chinnery-Algeier, B.J. and Eberth, D.A. (eds.), *New Perspectives on Horned Dinosaurs*. Indiana University Press, 59-67.
- Zhou, C.-F., Gao, K.-Q. and Fox, R.C., 2010, Morphology and histology of lattice-like ossified epaxial tendons in *Psittacosaurus* (Dinosauria: Ceratopsia). *Acta Geologica Sinica*, 84, 463-471.

Received : March 4, 2019

Revised : April 2, 2019

Accepted : April 3, 2019