

<Short Note>

전남 신안군 사옥도에서 발견된 새로운 화석지

황구근^{1,*} · 설장규² · 허민¹ · 백인성³ · Lockley, Martin⁴ · 김현주³ · 김봉희⁵¹전남대학교 한국공룡연구센터²자은중학교³부경대학교 지구환경과학과⁴미국 덴버 콜로라도대학 지질학부⁵목포청호중학교

Koo-Geun Hwang, Jang-Ku Sul, Min Huh, In Sung Paik, Martin Lockley, Hyun Joo Kim and Bong-Hee Kim, 2010, New fossil site from Cretaceous formation at Saok island, Sinan-gun, Jeollanam-do. Journal of the Geological Society of Korea. v. 46, no. 5, p. 511-520

(Koo-Geun Hwang and Min Huh, Korea Dinosaur Research Center, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea; Jang-Ku Sul, Jaemun Middle School, Sinan-gun, Mokpo 535-872, Korea; In Sung Paik and Hyun Joo Kim, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea; Martin Lockley, University of Colorado at Denver, USA; Bong-Hee Kim, Chongho Middle School, Mokpo 530-833, Korea)

1. 서 언

한반도의 중생대층은 다양한 화석들의 보고이다. 특히, 해남, 여수, 화순, 마산 및 고성 등지의 남해안의 백악기층에서는 공룡 발자국 뿐만 아니라 익룡, 새, 절지동물 발자국, 그리고 연체동물에 의한 생흔 화석 등 다양한 화석들이 발견되어 한반도 중생대는 모름지기 발자국 화석의 세계적인 산지로 잘 알려져 있다(Hwang, 2001; Huh *et al.*, 2003; Lockley *et al.*, 1992, 2006a; Paik *et al.*, 2006). 이들 가운데, 익룡 발자국 화석은 3속 중 1속이, 새 발자국 화석은 18종 중 6종이 각각 보고되어 한반도는 중생대 비행 척추동물의 주요한 화석지가 되고 있다(Hwang, 2001; Hwang *et al.*, 2002; Lockley and Rainforth, 2002; Kim *et al.*, 2006; Lockley *et al.*, 2006b; Huh *et al.*, 2007). 특히, 새 발자국 화석은 최근까지 다양한 형태의 화석이 꾸준히 보고되고 있다(Yang *et al.*, 1995; 백광석과 양승영, 1998; Lockley and Rainforth, 2002; Kim *et al.*, 2006; Lockley *et al.*, 2006a; 김현주 외, 2008)

이와 같이 국내에서 다양한 발자국 화석의 보고가 증가하고 있는 가운데 2008년 전남 신안군 사옥도 북동쪽 해안에 노출된 사암과 이암층에서 새로운

중생대 화석들이 발견되었다(그림 1). 여기에는 수많은 새 발자국을 비롯하여 공룡 발자국, 연체동물의 생흔화석이 포함되어 있었다. 현재는 화석을 포함하고 있는 층준을 대상으로 소규모의 발굴이 이루어져 7개의 새 발자국 층과 5개의 공룡 발자국 층이 확인되었다(그림 2). 노출된 발자국 층준의 폭은 약 0.5~1 m 정도로 공룡 발자국의 연장성을 확인하기에는 좁았으나 다양한 형태의 새 발자국이 다수 산출된다.

지금까지 국내에서는 김봉균(1969)이 함안층에서 최초로 보고한 *Koreanaornis hamanensis*을 시작으로, 진동층에서 산출된 *Jindongornipes kimi* (Lockley *et al.*, 1992)와 *Goseongornipes markjonesi* (Lockley *et al.*, 2006a), 우항리층의 *Uhangrichnus chumi*와 *Hwangsanipes choughi* (Yang *et al.*, 2005), 함안층의 *Ignotornis yangi* (Kim *et al.*, 2006) 등 6종의 새 발자국이 발견되었다. 본 연구 지역에서는 이들 새 발자국 화석들이 모두 산출되었을 뿐 아니라 새로운 종으로 인식되는 다양한 종류가 발견되어 중생대에 생존했던 새의 진화와 분포 양상을 해석하는데 필요한 자료를 제공할 새로운 화석지로 생각된다. 그리고 새 발자국과 함께 발견된 공룡 발자국 화석과 무척

* Corresponding author:

E-mail: hwang-kg@hanmail.net

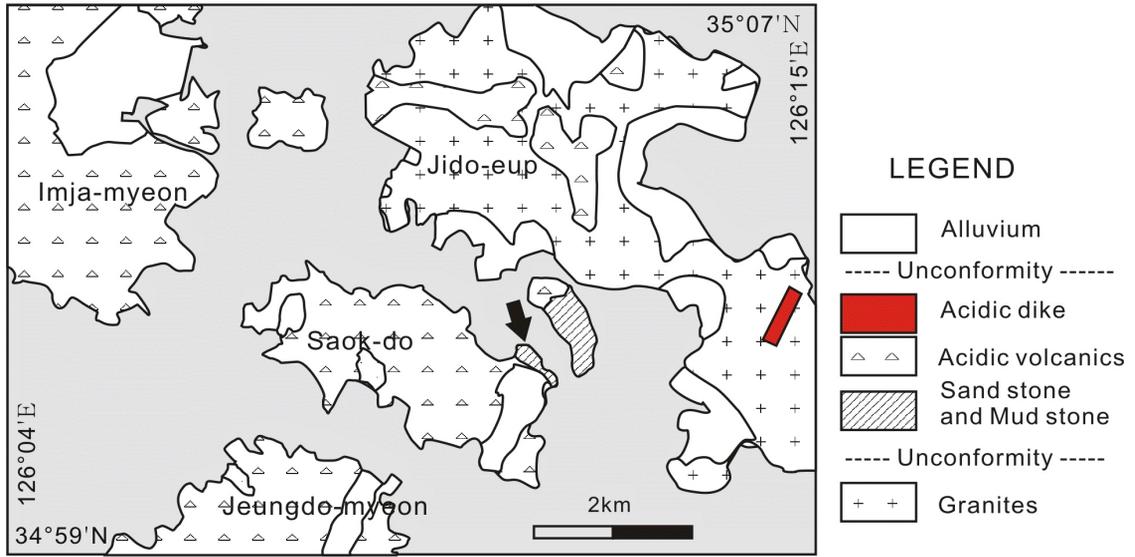


Fig. 1. Geological map of the study area (after Lee *et al.*, 1997).

추 동물의 생흔화석들 역시 중생대 말 한반도의 고생태와 고환경에 대한 유용한 자료를 제공할 것으로 기대된다.

1. 연구지역의 지질과 화석층

1.1 지질개관

연구지역인 전남 신안군 사옥도는 지금까지 공식적인 층서 구분이 이루어지지 않은 상태이며 단지 백악기 퇴적암이 분포하는 것으로 나타나 있다(이병주 외, 1997; 그림 1). 연구지역의 백악기 퇴적암은 1:250,000 광주도폭(이병주 외, 1997)에서는 나주지역에 분포하는 백악기 퇴적암에 대비되어 있는데, 주로 녹색 내지 붉은색의 사암과 셰일로 구성되고, 일부 지역에서 흑색 셰일과 역암도 나타나며 주로 화산쇄설물로 구성되어 있는 것으로 기재되었다. 그리고 1:50,000 나주도폭(홍승호와 최범영, 1990)은 나주지역의 백악기 퇴적암을 붉은색 사질암이 주를 이루며 부분적으로 녹색 사질암과 흑색 셰일 등이 포함되어 있고 다양한 화산쇄설성 퇴적암이 협재하는 것으로 기술하고 있고 이 지역의 붉은색 사질암층을 상부 안산암질 응회암과의 부정합적인 관계로 미루어 경상누층군의 하양층군에 대비시킨 바 있다.

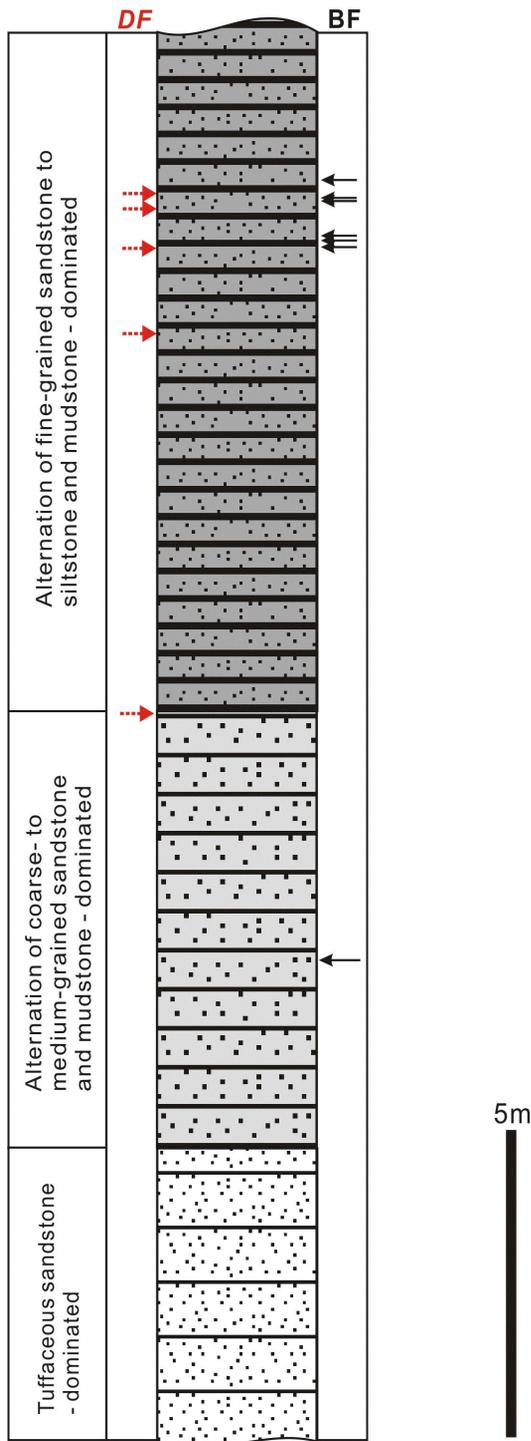
한편, 연구지역의 경우 붉은색 퇴적층은 나타나지 않으며, 담회색 내지 담녹회색의 사암과 회색 내

지 암회색의 이암 등이 반복되어 관찰된다. 연구지역의 퇴적층에서는 응회질 퇴적층이 흔히 관찰되며, 공룡 발자국이 여러 층수에 걸쳐 나타난다. 이와 같은 퇴적층의 특성은 이 퇴적층이 해남, 여수, 화순 등지에 발달된 유천층군(Hwang *et al.*, 2002, 2003, 2006; Huh *et al.*, 2006; Paik *et al.*, 2006; Huh *et al.*, 2007)에 대비됨을 지시해 준다.

1.2 발자국 화석층

발자국 화석들이 산출되는 연구지역의 퇴적층은 담회색 내지 담녹회색을 띠는 사암, 실트스톤과 회색 내지 암회색을 띠는 이암이 주를 이루며, 대부분 응회질암석들이다. 이들 퇴적암들은 대체적으로 사암 및 실트스톤과 이암이 교호층(그림 3A)을 이루고 나타나는데, 사암의 두께 및 구성입자의 크기에 따라 조립 내지 중립 사암과 이암의 교호층 및 세립 사암 내지 실트스톤과 이암의 교호층으로 구분된다. 이들 암상들이 반복적으로 발달하는 가운데 두께가 10 cm 내외인 응회질 사암 또는 라필리질 사암이 간간히 협재되어 있다(그림 3B).

조립 내지 중립 사암과 이암의 교호층은 사암을 이루는 입자의 크기가 일반적으로 조립 또는 중립질이며, 두께는 보통 10 cm 내외의 두께를 보인다. 이암은 이러한 사암을 얇게 피복하고 있는 양상으로 발달되어 있다. 조립 내지 중립 사암에서는 층리가 발달



BF : Bird footprint horizon
 DF : Dinosaur footprint horizon

Fig. 2. Simplified stratigraphic section of the bird and dinosaur footprint-bearing deposits at study area.

하고 때때로 규회목이 산출되며, 이를 피복한 이암에서는 불완전한 견열구조가 발달된다. 세립 사암 내지 실트스톤과 이암의 교호층의 경우, 세립 사암 내지 실트스톤은 얇은 층 내지는 엽층의 두께로 발달하고 이암의 두께는 보통 수 mm의 두께로서 엽층의 규모이나, 조립 내지 중립 사암을 피복하는 이암보다 상대적으로 두껍게 나타난다. 세립 사암 내지 실트스톤에서는 수평층리, 사엽층리, 연흔구조(그림 3C), 주름구조, 생흔구조(그림 3D) 등이 흔히 발달되어 있다. 이들을 피복한 이암에서는 보통 렌즈상의 불완전한 견열구조(그림 3F)가 발달되어 있고 때때로 다각상의 견열구조(그림 3G)가 발달되어 있으며, 상부의 사암을 구성하는 입자들에 의해 형성된 툴마크도 관찰되며, 간혹 우흔(그림 3H)도 산출된다. 이러한 연구지역의 교호층에서는 1 cm 내외 규모의 작은 짐구조에서 부터 수십 cm 규모에 이르는 변형구조까지 다양한 크기와 형태를 갖는 변형구조들이 발달되어 있다. 또한 세립 사암 내지 실트스톤과 이암의 교호층에서는 공룡 발자국 화석과 새 발자국 화석이 산출된다. 이러한 연구지역의 퇴적특성은 이 퇴적층들이 호수주변부의 사질평원 내지 이질평원에서 층상범람에 의해 형성된 퇴적층임을 시사해 준다.

연구지역의 퇴적층에서는 수직 층서적으로 암상의 변화가 관찰된다. 연구지역 퇴적층의 하부 구간에 해당하는 곳에서는 응회질 사암과 조립질 사암이 우세한 교호층이 빈번히 나타나는 반면에 상부구간에서는 세립질 사암과 이암이 우세한 교호층이 우세하게 발달하는 가운데 응회질 사암이 간간히 협재하는 양상을 보인다. 공룡 및 새 발자국 화석들은 조사된 퇴적층 구간 내에서 상대적으로 상부에 해당하는 층준에서 잦은 산출을 보인다(그림 2).

특히, 새 발자국 화석은 앞서 언급한 세립 사암 내지 실트스톤과 이암의 교호층 중, 세립 사암 내지 실트스톤 위에 놓인 이암에서 산출하며, 연구지역 퇴적층 내의 최소 7개의 층준에서 확인되었다. 이들 새 발자국 화석은 연구지역에서 흔히 산출되는 생흔구조와는 드물게 수반되며, 간혹 주름구조와 견열구조(그림 3E)가 수반된다.

2. 산출 화석

사옥도에서 산출된 화석 중 새 발자국 화석은 최

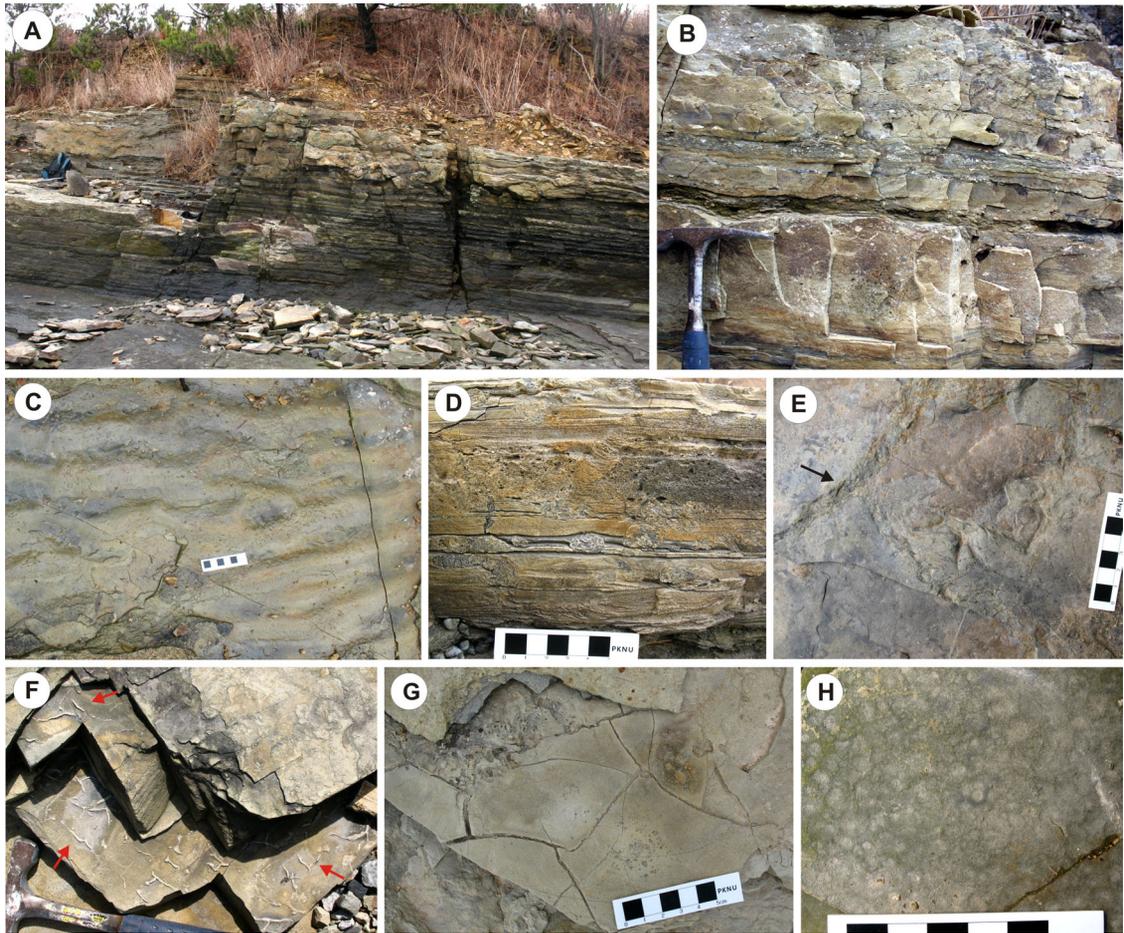


Fig. 3. Occurrences of the bird and dinosaur footprint-bearing deposits at study area. A. Overview of bird and dinosaur footprint-bearing deposits at study area. B. Tuffaceous sandstone and lapilli-bearing sandstone intercalated with alternation of sandstone and mudstone lithofacies. C. Wave ripple marks. D. Sectional view of invertebrate trace fossils. E. Bird footprints in mudstone layer overlying sandstone. Mud cracks are associated (arrow). F. Incomplete lenticular cracks (arrows) on the mudstone. G. Polygonal mud cracks on the mudstone. H. Raindrop impression on the mudstone.

소 7개 층준에서, 공룡 발자국 화석은 5개 층준에서 발견되었다. 이 중 일부 층준에서는 공룡 발자국 화석과 새 발자국 화석이 동시에 발견되거나 새 발자국 화석과 무척추 동물의 생흔화석이 동시에 발견된다.

2.1 공룡 발자국 화석

공룡 발자국 화석은 노두의 층리면이 폭이 좁게 노출되어 소수의 보행열 만이 발견되었다. 용각류 보행열 4개와 조각류 보행열 2개, 그리고 수각류 발자국은 1개가 발견되었다. 현재까지 산출된 공룡 발자국은 용각류 21점, 조각류 4점, 수각류 1점을 포함

하여 약 50여점의 공룡 발자국이 발견되었다.

현재까지 1점만이 발견된 수각류 발자국(그림 4A)은 I번 발가락의 흔적이 없는 II, III, IV번의 발가락 흔적으로 구성되며 왼쪽의 II번 발가락이 IV번에 비해 짧고 두껍위 오른쪽 발자국으로 보인다. 상부층에 의해 일부 덮여 있으나 노출된 발자국의 길이는 33.4 cm, 폭은 26.3 cm로 Oslens의 모델(Lockley and Hunt, 1995)에 따르면 *Eubrontes*에 해당된다. III번과 IV번 발가락 흔적 일부는 상부층에 의해 덮여 있으나 발가락은 두껍고 전체 발가락의 사이각은 41°이며 발가락 II번은 날카로운 발톱흔적이 잘 보존되

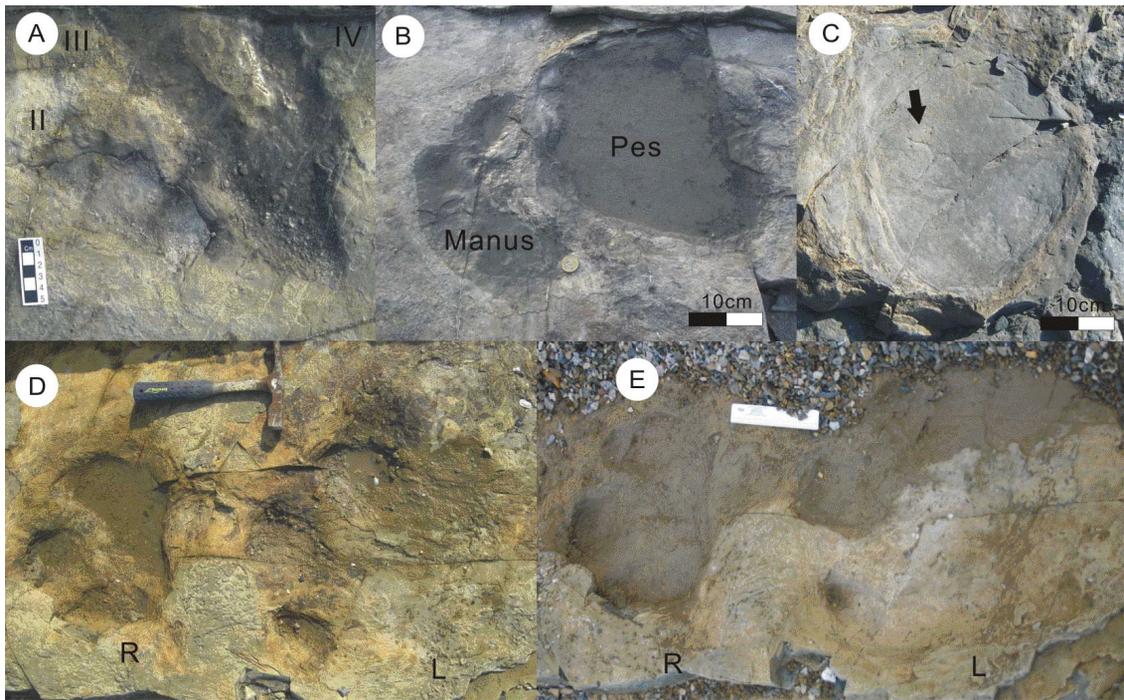


Fig. 4. Dinosaur footprints from study area. A. A Theropod footprint. B. A sauropod manus-pes set. C. Bird footprints on the sauropod pes footprint. D-E. Well preserved ornithopod pes footprints.

어 있다. 발자국의 뒷꿈치 부분이 깊게 찍혀 서행하던 수각류가 남긴 것으로 생각된다.

조각류 발자국(그림 4D, E)은 2개 층에서 2개의 보행열이 발견되었으며 모든 발자국은 국내에서 흔히 발견되는 *Caririchnium*과 유사한 형태이다(Hwang, 2001). 두 보행열 모두 연속되는 왼쪽과 오른발자국으로 구성되는데 상부층에서 발견된 보행열(그림 4D)은 발의 앞부분이 주로 찍혀 전체 크기를 측정할 수 없으나 폭은 약 39 cm이고 3개의 무딘 발톱을 갖는 두꺼운 발가락으로 구성되어 조각류의 형태를 띠고 있으며 하부층의 발자국과 유사한 크기를 가진다. 하부 층의 발자국(그림 4E)은 무딘 발굽을 갖는 두꺼운 3개의 발가락과 넓은 뒷꿈치 흔적으로 구성되며 길이 32.6 cm, 폭이 34.6 cm로 폭이 약간 넓다. 두 보행열을 구성하는 발자국 모두 안쪽으로 돌려 찍혀 있다. 걸음걸이(Pace)를 각각 약 43.1 cm와 50.8 cm 동일한 걸음걸이로 걸었다고 가정하면 보폭(Stride)은 걸음걸이의 두 배를 넘지 않을 것이므로 상대적 보폭 길이(Stride length/hip height)는 2보다 훨씬 적어 이 두 보행열은 서행하는 조각류에 의해 남겨진 것으

로 보인다(Alexander, 1976; Thulborn, 1990).

용각류 발자국은 노출된 층리면에 그 형태가 잘 보존된 2개의 발자국(그림 4B, C)을 제외하고 대부분 상부층에 덮여 그 형태만 관찰되나 용각류의 보행열 특징은 잘 보여준다. 층리면이 노출된 발자국의 경우 말발굽 모양의 앞발자국과 타원형의 뒷발자국으로 구성된 전형적인 용각류의 왼 발자국들로 앞 발자국의 경우 1번 발가락이 뚜렷하게 보존되어 있다(그림 4B). 발자국의 크기는 앞발자국의 길이가 17.5 cm, 폭이 33.1 cm 이고 뒷발자국의 경우는 길이 44.2 cm, 폭 37.8 cm이다.

일부 공룡 뒷발자국에는 그림 4C처럼 새 발자국이 그 안에 찍혀 있어 공룡과 조류가 공존했음을 보여준다. 공룡 발자국의 보존상태가 불량하고 발자국 안에 보존된 새 발자국 역시 풍화를 받아 1번 발가락 흔적이 지워졌으나 새 발자국의 크기가 6 cm가 넘는 뿐 아니라 발가락 사이에 물갈퀴 흔적도 없고 II번과 IV번 발가락 사이각이 144°로 매우 넓어 *Jindongornipes*와 유사한 형태이다.

2.2 무척추동물 생흔화석

가장 많이 발견된 무척추동물의 생흔화석은 주로 사암에서 발견되는 *Tenidium barretti* (그림 5A)인데 내벽이 없고, 반듯하거나 약간 굽어지는 모양을 하고 있으며 생흔 내부에는 주인이 남긴 backfill 구조가 반원통형의 선 구조를 만들고 있다. 이 생흔의 지름은 약 1 cm이고 길이는 약 29 cm이다. 또한, 지름이 10-13 mm의 범위를 갖는 *Skolithos*도 많이 발견되었다. 새 발자국 화석층에는 특징적으로 *Cochlichmus*의 생흔화석이 자주 발견되는데 폭은 약 2 mm 정도로 매우 얇고 길이는 약 12-13 cm 정도 된다(그림 5B).

2.3 새 발자국 화석

새 발자국은 사옥도에서 가장 많이 발견되는 생흔화석으로 여러 층층에 걸쳐 지속적으로 나타나는데 그 종류가 매우 다양해 앞으로 체계적인 연구가 요망된다. 현재까지의 발견된 새 발자국들은 물갈퀴 흔적이 있는 *Uhangrichmus* sp., *Hwangsanipes* sp., *Ignotornis* sp.와 물갈퀴 흔적이 없는 *Jindongornipes* sp., *Goseongornipes* sp., *Koreanaornis* sp. 등으로 국내에서 보고된 발자국 형태와 새로운 연구가 요구되는 발자국 형태들이 발견되었다(그림 5). 산출된 *Uhangrichmus chuni*는 발가락 II과 III번, III번과 IV번 사이에 잘 발달된 물갈퀴 흔적을 가지며 일부 발자국은 I번 발가락의 흔적이 보존되지 않았지만 발자국의 뒷부분이 잘 찍힌 많은 발자국에서 I번 발가락 흔적이 잘 보존되어 있다(그림 5C). I번 발가락 흔적은 발자국과 떨어져 가늘고 길게 보존된다. 이 발자국은 해남 우항리에서 Yang *et al.* (1995)에 의해 I번 발가락 흔적이 없는 발자국으로 보고되었지만 사옥도에서 발견된 발자국은 I번 발가락의 흔적이 잘 보존되어 있어 차이를 보인다. 잘 보존된 발자국의 평균 길이는 I번 발자국의 흔적을 포함하여 66 mm(I번 발가락 흔적 제외 길이, 46 mm)이고 평균 폭은 56 mm이다. 그리고 발가락 II번과 IV번 사이각은 104°~112° 범위로 측정되었다. 따라서 연구지역의 발자국은 해남에서 보고된 발자국 보다 약간 크다. *Hwangsanipes* sp.는 4개의 발가락 흔적을 가지며 발가락 III번과 IV번 사이에 마디 중간을 잇는 물갈퀴(Mesial web)의 흔적을 가지며 발가락 II번과 III번 사이에는 짧은 물갈퀴(Proximal web)의 흔적이 남아 있다(그림 5D). I번 발가락 흔적은 발자국의 뒷부분과 이어지고 II번 발

가락 쪽으로 치우쳐 잘 보존되어 있다. 발자국의 평균 길이는 I번 발가락 흔적을 포함하여 78 mm이고 폭은 평균 63 mm로 우항리에서 보고된 발자국과 크기가 매우 유사하다. 발가락 사이 각은 물갈퀴가 있는 발가락 III과 IV번 사이 각이 물갈퀴가 없는 발가락 보다 좁고 II번에서 IV번의 발가락 사이 각은 약 114°이다. 연속된 2개의 발자국으로 구성된 보행열이 3개 발견되었는데 이들의 보폭은 평균 95 mm이고 보행열 모두 발자국이 보행열 중심 방향(inward rotation)으로 돌려 찍혀 있다. 물갈퀴를 가지는 또 다른 발자국인 *Ignotornis* sp.는 I번 발가락을 포함하여 4개의 발가락 흔적으로 구성되며 I번부터 IV번까지 발가락 사이에 짧은 물갈퀴(Proximal web)의 흔적을 가지고 있다(그림 5E). I번 발가락 흔적은 발자국의 뒷부분에 붙어 길게 보존되어 있는데 II번 발가락 방향으로 치우쳐 있다. 발자국의 길이는 I번 발가락을 포함하여 66 mm이고 폭은 64 mm로 *I. yangi* 보다 크다. I번과 IV번 발가락 사이 각은 약 150°로 매우 넓다. 이 발자국은 주로 사옥도 앞의 송도에서 발견된다. 물갈퀴 흔적이 없는 *Jindongornipes* sp.는 사암층에 보존되었는데 4개의 발가락 흔적으로 구성되는데 I번 발가락 흔적이 발자국 뒤쪽에 가늘게 찍혀 있다(그림 5H). I번 발가락을 제외한 발가락 흔적은 두께가 5-8 mm로 두꺼운 반면 I번 발가락 흔적은 발자국 중앙부와 떨어져 매우 가늘고 길게 찍혀 있어 진동층에서 발견된 발자국(Lockley *et al.*, 2006a)과 차이를 보인다. 이처럼 I번 발가락 흔적이 다른 발가락 흔적에 비해 유난히 가늘게 보존된 것은 이 발가락이 지면 위에 있어 발톱의 흔적이 주로 남기기 때문으로 생각된다. 일부 발자국은 I번 발가락 외에도 발가락 끝에 날카로운 발톱흔적을 가진다. 발자국의 크기는 I번 발자국을 포함하여 평균 길이가 69 mm, 평균 폭이 67 mm이고 발가락 I번과 IV번 사이각은 140°로 대부분 발자국이 발가락 사이 각이 매우 넓다. 채취된 시료(그림 5H)에는 6개의 발자국이 보존되어 있으며 이 중 4개의 발자국이 보행열 2개를 구성하고 있다. 보행열을 구성하는 발자국들은 안쪽으로 돌려 찍혀 있고 걸음걸이는 평균 125 mm이다. *Goseongornipes* sp.는 사질이암층 위에 얇게 덮인 이질 퇴적물위에 보존되어 있으며(그림 5F) I번 발자국이 보존되어 4개의 발가락 흔적이 잘 보존되어 있다. I번 발가락 흔적은 끝이 날카로운 발

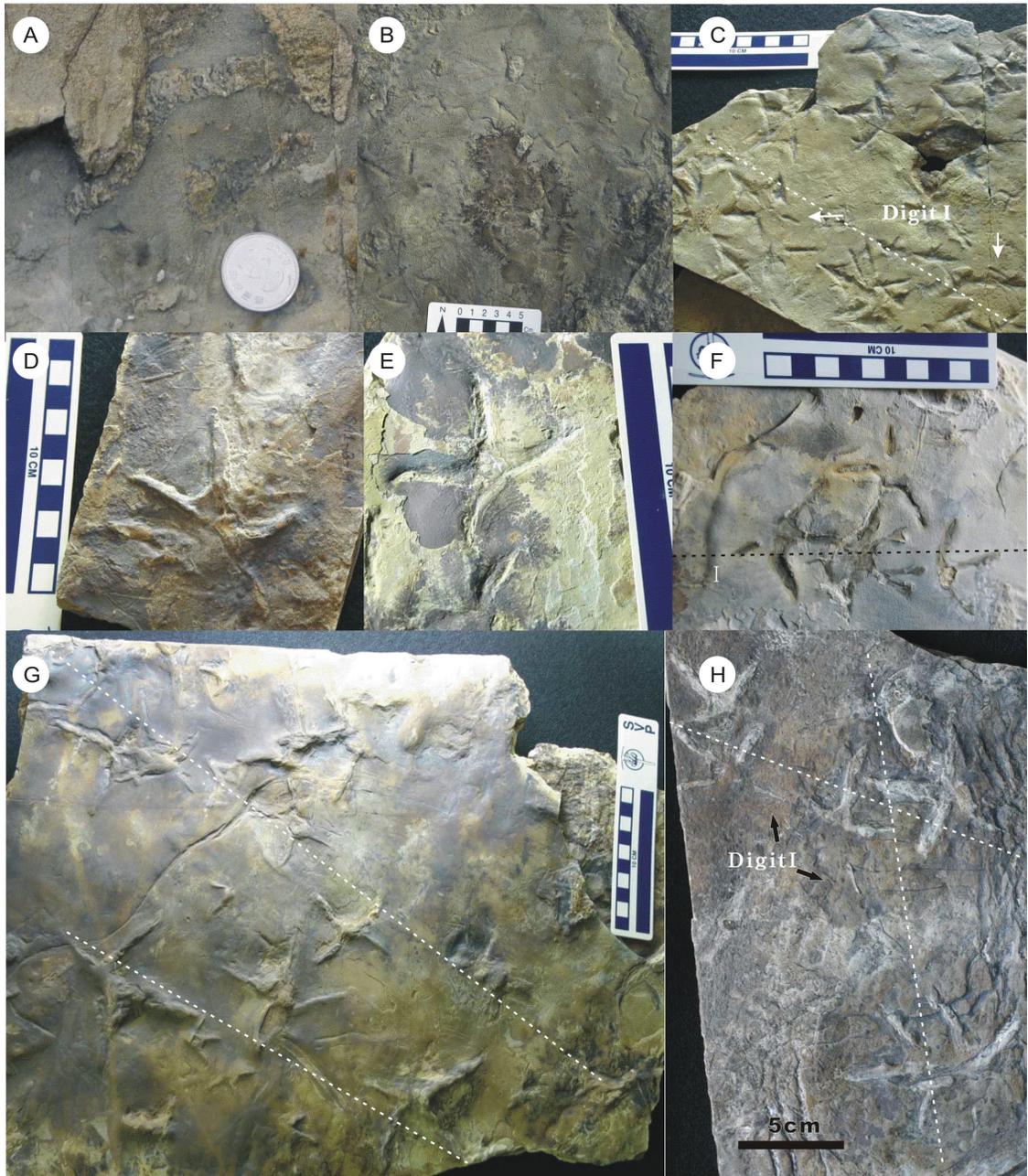


Fig. 5. A. Invertebrate trace fossils (*Tenidium barretti*). B. bird footprints and invertebrate trace fossils (*Cochlichnus* sp.) C. *Uhangrichnus chuni*. D. *Hwangsanipes choughi*. E. *Igotornis* sp. F. *Goseongornipes* sp., *Goseongornipes* sp. and *Koreanaornis* sp. were preserved on the same surface. H. *Jindongornipes* sp. Dotted lines indicate the trackway mid-line.

톱 흔적을 가지며 나머지 발가락 자국과 떨어져 보행열 안쪽으로 치우쳐 찍혀 있다. 발자국의 길이는 약 51 mm, 폭은 49 mm로 진동층에서 발견된 발자

국보다 크고 II번과 IV번 발가락 사이각도 106°로 넓다. 두 개의 연속된 발자국으로 구성된 보행열이 발견되었으며 걸음 길이는 74 mm 이다. *Koreanaornis* sp.

Table 1. Bird tracks from Cretaceous Formation in S. Korea.

Formation (Reference)	Uhangri Fm. (Yang <i>et al.</i> , 1995)	Jindong Fm. (Lockley <i>et al.</i> , 2006a)	Haman Fm. (Kim <i>et al.</i> , 2006)	Study area
Age	Cenomanian-	Albian	Aptian-Albian	Cretaceous
Bird footprints	<i>Hwangsanipes</i>	<i>Jindonornipes</i>	<i>Uhangrichnus</i>	<i>Hwangsanipes</i>
	<i>Uhangrichnus</i>	<i>Goseongornipes</i>	<i>Jindongornipes</i>	<i>Uhangrichnus</i>
		<i>Koreanaornis</i>	<i>Koreanaornis</i>	<i>Jindongornipes</i>
			<i>Ignotornis</i>	<i>Goseongornipes</i> <i>Koreanaornis</i> <i>Ignotornis</i>

는 사옥도의 새 발자국 중 가장 작은 발자국으로 발가락 I번은 보존되지 않았고(그림 5G) 길이는 22 mm, 폭은 31 mm이다. II번과 IV번 발가락 사이각은 148°에서 108°의 범위를 보였다. 발가락은 가늘고 끝이 날카로운 발톱 흔적을 가지고 있으며 사암층에 찍힌 발자국은 발자국 중앙부(Metatarsal area)가 대부분 찍혀 있지 않으나 이암층에 찍힌 발자국의 경우는 두껍게 잘 보존되어 있다. 현재까지 3개 층준에서 발견되었는데 이 중 *Cochlichmus*가 발견된 사암층에서 특히 많은 새 발자국이 발견되었고 다른 층준에서는 그림 5G에서 보여주는 바와 같이 *Hwangsanipes*와 *Jindongornipes* 함께 발견되기도 한다. 보행열은 발자국의 밀도가 높아 해석되지 못했지만 지속적인 연구가 진행된다면 더 많은 층준에서 *Koreanaornis*가 발견될 것으로 생각된다. 최근에는 Anfinson *et al.* (2009)이 유타주의 Dakota 층군에서도 이 발자국 화석을 보고해 이 발자국의 분포가 넓어지고 있다.

3. 토 의

전남 신안군 사옥도 백악기 퇴적층에서 새와 공룡 발자국 화석 등 다양한 화석들이 발견되었다. 특히, 조각류 발자국은 *Caririchnium*으로 그동안 해남, 여수, 고성 등 남해안 화석지에서 발견된 조각류 발자국과 동일해 이 발자국 주인이 백악기 동안 한반도에 분포했던 호수 주변에 널리 분포하고 있었음을 말해준다(Huh *et al.*, 2003).

새 발자국은 물갈퀴가 없는 *Koreanaornis* sp., *Jindongornipes* sp.와 *Goseongornipes* sp., 물갈퀴가 발달한 *Uhangrichnus* sp., *Ignotornis* sp., *Hwangsanipes* sp. 등 크기와 형태가 다양한 발자국이 산출되는데(그림 5). 특히, 연구지역에서 발견된 *Uhangrichnus*



Fig. 6. Bird-like feeding track preserved between bird footprints.

는 함안층에서 보고된 것과 마찬가지로 우항리에서 보고된 것과는 달리 I번 발자국이 잘 보존되어 있어 *Uhangrichnus*의 재 정의가 필요할 것으로 여겨진다(그림 5C; Yang *et al.*, 1995; 백광석과 양승영, 1998).

이들 새 발자국 중 일부는 *Taenidium*과 *Cochlichmus*(그림 5A, B)등 다양한 무척추 동물의 생흔화석과 동시에 발견되거나 공룡 발자국 화석위에 보존되기도 하는데 이는 전형적인 *Scoyenia ichnofacies*로 사옥도 퇴적층의 퇴적환경이 호수 주변과 같은 저에너지 육상 퇴적 환경임을 보여준다(MacEachern *et al.*, 2007).

또한, 새의 먹이 활동으로 보이는 생흔(그림 6)이 새 발자국 사이에서 발견되기도 하였다. 이 흔적은 Yang *et al.* (1995)이 유타주에서 보고한 *Presbyorniformipes*와 유사한 형태로 만일, 이 흔적이 새의 먹이 섭취 활동으로 생성된 흔적이라면 이 생흔은 *Presbyorniformipes*의 생흔 주인보다 더 납작한 부리를 가진 새에 의해 남겨진 것으로 해석된다. 현재는 새의 먹이 활동 화

석이 1곳에서 발견되었으나 무척추 동물의 생흔이 새 발자국 층에 풍부하므로 향후 무척추동물과 새의 먹이 사슬관계를 보여주는 화석이 추가로 산출될 것으로 기대된다.

우리나라는 그동안 우항리층과 함안층, 진동층 등 백악기 층에서 6속 6종의 발자국이 보고되어 세계에서 가장 많은 종류의 새발자국이 발견된 곳으로 알려져 있다. 그런데 최근 발견된 사옥도 화석지는 그 동안 보고된 국내의 모든 종류의 새 발자국들을 모두 산출하고 있으므로 연구 지역은 가장 다양한 새 발자국 화석을 산출할 화석지가 될 것이다(표 1). 이는 사옥도 퇴적층에 대한 정확한 연대 측정이나 국내 백악기 지층과 대비가 이루어지지 않았지만 연구지역이 중생대 새의 분화가 가장 활발하게 이루어진 시기에 존재했던 서식지임을 보여준다.

그러나 사옥도의 화석층에는 응회질 퇴적층이 빈번히 협재되어 당시 호수 주변 환경은 최적의 서식 조건은 아니었다. 이러한 환경은 많은 새와 익룡 발자국을 산출한 해남 우항리층과 유사한 환경으로 (Huh *et al.*, 2007) 당시 사옥도 주변에 서식했던 조류들 역시 화산활동이 활발한 가운데 다양한 종류가 생존했던 것으로 보인다. 따라서 사옥도 화석지에 대한 지속적인 연구는 한반도에서 백악기 말의 환경에 적응하며 서식하던 공룡과 새 등 척추동물의 고생태를 이해하는데 유용한 자료를 제공해 줄 것으로 기대된다.

사 사

이 논문은 한국연구재단 특정기초연구과제(KOSEF R01-2008-000-20056-0)의 지원을 받아 수행되었습니다. 본 연구과정 중 화석지 답사에 동행한 한국공룡연구센터 연구원들과 조석희 교감선생님께 감사드립니다. 또한, 논문심사과정에서 세심하고 값진 조언을 해주신 전북대 이종덕 교수님과 익명의 심사위원님께 감사의 말씀을 드립니다.

참고논문

김봉균, 1969, 함안층에 발달되는 솔·마크에 관한 연구. 지질학회지, 5, 243-258.
 김현주, 백인성, 이정은, 허민, 2008, 경남 마산시 호계리 부근의 백악기 진동층에서 발견된 새 발자국 화석: 산상 및

고환경적 의미. 지질학회지, 44, 729-745.
 백광석, 양승영, 1998, 한국 함안층 하부에서 발견된 백악기 새 발자국에 관한 일차보고. 지질학회지, 34, 94-104.
 이병주, 김정찬, 김유봉, 조등룡, 최현일, 전희영, 김복철, 1997, 한국지질도(1:250,000), 광주지질도폭 및 설명서. 한국자원연구소, 82 p.
 허민, 백인성, 정철환, 황구근, 김보성, 2003, 전남 화순 서유리에서 산출된 수각류 공룡 발자국: 산상 및 고생물학적 의미. 지질학회지, 39, 461-478.
 홍승호, 최범영, 1990, 한국 지질도(1:50,000), 나주도폭 및 설명서. 한국동력자원연구소, 22 p.
 황구근, 허민, 백인성, 2006, 화순 서유리에서 발견된 소형 수각류 공룡의 특이 보행열. 지질학회지, 42, 69-78.
 Alexander, R. Mc N., 1976, Estimate of the speeds of dinosaurs. Nature, 261, 129-130.
 Anfinson, O. A., Lockley, M. G., Kim S. H., Kim, S. K. and Kim J. Y., 2009, first report of the small bird track *Koreanaornis* from the Cretaceous of North America: implications for avian ichnotaxonomy and paleoecology. Cretaceous research, 30, 885-894.
 Huh, M., Hwang, K. G., Paik, I. S., Chung, C. H., 2003, Dinosaur tracks from the Cretaceous of South Korea: distribution, occurrence and its paleobiological significance. The Island Arc, 12, 132-144.
 Huh, M., Lockley, M. G., Hwang, K. G., Yang, S. Y., Paik, I. S., Park, J., 2007, Flying around ancient volcanoes: observations on the importance of ancient bird and pterosaur tracks from the Uhangri area, Haenam-gun, Jeollanam-do, southwestern Korea. Proceedings of 2007 Haenam Uhangri International Dinosaur Symposium, 257-270.
 Huh, M., Paik, I. S., Lockley, M. G., Hwang, K. G., Kim, B. S., Kwak, S. K., 2006, Well-preserved theropod tracks from the Upper Cretaceous of Hwasun County, southwestern South Korea, and their paleobiological implications. Cretaceous Research, 27, 123-138.
 Hwang, K. G., 2001, Dinosaur and Pterosaur Tracks from the Late Cretaceous Uhangri Formation, Haenam, SW Korea. Ph.D. Thesis, Chonnam National University, Gwangju, Korea, 182 p.
 Hwang, K. G., Huh, M., Lockley, M. G., Unwin, D. M. and Wright, J. L., 2002, New pterosaur tracks (Pteraidnidae) from the Late Cretaceous Uhangri Formation, S. W. Korea. *Geological Magazine*, 139:421-435.
 Kim, J. Y., Kim, S. H., Kim, K. S. and Lockley, M., 2006, The oldest record of webbed bird and pterosaur tracks from South Korea (Cretaceous Haman Formation, Changseon and Sinsu Islands): More evidence of high avian diversity in East Asia. Cretaceous research 27, 56-69.
 Lockley, M. G., Houck, K. Yang, S. Y., Matsukawa, M. and

- Lim S. K., 2006a, Dinosaur-dominated footprint assemblages from the Cretaceous Jindong Formation, Hallyo Haesang National park area, Goseong County, South Korea: Evidence and implications. *Cretaceous research*, 27, 70-101.
- Lockley, M. G. and Hunt, A. P., 1995, *Dinosaur Tracks and Other Fossil Footprints of the Western United States*. Columbia University Press, New York: 338 p.
- Lockley, M. G., Matsukawa, M., Ohira, H., Li, J., Joanna, W., White, D. and Chen, P., 2006b, Bird tracks from Liaoning province, China: new insights into avian evolution during the jurassic-Cretaceous transition. *Cretaceous research* 27, 33-43.
- Lockley, M. G. and Rainforth, E., 2002, The tracks record of Mesozoic Birds and Pterosaurs: an ichnological and paleoecological perspective. In Chiappe, L. and Witmer, L. M. (eds.), *Mesozoic Birds above the heads of dinosaurs*. University of California Press, Berkeley: 405-418.
- Lockley, M. G., Yang, S. Y., Matsukawa, M., Fleming, F. and Lim, S. K., 1992, The track record of Mesozoic birds: evidence and implications. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 336, 113-134.
- MacEachern, J. A., Pemberton, S. G., Gingras, M. K. and Bann, K. L., 2007, The ichnofacies paradigm: A fifty-year retrospective. In: Miller, III W (eds), *Trace fossils*, Elsevier, Amsterdam, 52-77.
- Paik, I. S., Huh, M., Park, K. H., Hwang, K. G., Kim, K. S., Kim, H. J., 2006, Yeosu dinosaur track sites of Korea: The youngest dinosaur track records in Asia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 28, 457-468.
- Thulborn, R. A., 1990, *Dinosaur Tracks*. Chapman Hall, London: 410 p.
- Yang, S.-Y., Lockley, M. G., Greben, R., Erikson, B. R. and Lim, S.Y., 1995, Flamingo and Ducklike Bird Tracks from the Late Cretaceous and Early Tertiary: Evidence and Implications. *Ichnos*, 4: 21-434.

투 고 일 : 2010년 6월 13일

심 사 일 : 2010년 6월 15일

심사완료일 : 2010년 9월 25일