

ARTICLE

03

# 중생대 새의 낙원 한반도 경상 분지에서 산출되는 새 발자국 화석



김정률 한국교원대학교 지구과학교육과  
김경수 진주교육대학교 과학교육과  
임종덕 국립문화재연구소 자연문화재연구실

ANNUAL REVIEW IN



43 서론

43 중생대 : 공룡의 시대

44 새와 새 발자국 화석

46 경상 분지 : 공룡과 새의 터전

48 한반도 경상 분지 : 중생대 새의  
낙원

1. 중생대 새 발자국 화석의 기록

2. 한반도 경상 분지 : 중생대 새의 낙원

54 우리나라 백악기 경상누층군에서  
산출되는 새 발자국 화석

59 감사의 글

# 중생대 새의 낙원 한반도 경상 분지에서 산출되는 새 발자국 화석

김정률<sup>a</sup> · 김경수<sup>b</sup> · 임종덕<sup>c</sup>

<sup>a</sup>한국교원대학교 지구과학교육과 <sup>b</sup>진주교육대학교 과학교육과 <sup>c</sup>국립문화재연구소 자연문화재연구실

투고일자 : 2008. 12. 08 | 심사일자 : 2009. 03. 09 | 게재확정일자 : 2009. 03. 20

## 국문초록

한반도에는 중생대 백악기에 주로 호수와 하천 환경에서 퇴적된 쇄설성 퇴적물로 이루어진 경상누층군이 넓게 분포한다. 경상누층군에서는 다양한 식물 화석, 이매패와 복족류를 포함한 연체동물 화석, 곤충 화석 등의 무척추 동물의 화석과, 수 많은 공룡의 발자국과 뼈, 알 그리고 이빨 화석이 산출된 바 있다. 또한 최근에는 새로운 공룡과 익룡 및 새의 발자국 화석이 발견되어 세계적으로 학계의 주목을 받고 있다. 여러 곳에 분포한 공룡과 새 발자국 화석지는 천연기념물로 지정되어 국가적으로 보존 관리되고 있으며, 최근 유네스코 세계 자연 유산 등재를 위한 노력이 이루어지고 있다. 우리나라 경상누층군에서 산출되는 새 발자국 화석은 *Koreanaornis hamanensis*, *Jindongornipes kimi*, *Goseongornipes markjonesi*, *Ignotornis yangi*, *Uhangrichnus chuni* 및 *Hwangsanipes choughi*로서, 이들은 전 세계적으로 알려진 중생대 백악기 새 발자국 화석종의 약 1/3을 차지한다. 한반도 경상 분지는 중생대 새의 낙원이라고 할 수 있는 세계적으로 가장 다양한 새 발자국 화석이 산출되며, 이들은 새의 진화와 고지리적 분포에 대한 정보를 제공하는 귀중한 자연 유산이다.

## 서론

새 발자국은 크기가 작고 대개 세 개의 발가락으로 이루어져 있는 것이 특징적이다. 새의 발자국을 통해 새의 형태적 특징, 생태, 이동 속도, 습성 등에 관한 정보를 얻을 수 있다. 발자국의 크기와 형태, 발가락의 수, 발가락 사이의 각도와 배열 등은 새 발자국 형성자를 밝히는 데 이용되고 있으며 또한 새의 생활 방식의 단서를 제공하기도 한다. 발자국에 부분적으로 보이는 물갈퀴는 그 종이 물가에 서식했음을 나타낸다. 나무 가지에 앉는 새(perching birds)는 일반적으로 땅 위에서 뛰어다니고 쌍으로 발자국을 남긴다. 반면에 염조(game birds)는 일반적으로 걷거나 뛰어다니며 왼발과 오른발이 번갈아서 일렬로 구성되는 것이 특징이다.

중생대 새 발자국 화석은 공룡 발자국에 비해서 상대적으로 잘 알려져 있지 않다. 최근 동부 아시아, 아프리카, 북아메리카 지역에서 중생대 새 발자국 화석에 관한 보고가 잇따르고 있다. 특히 우리나라에서 산출되는 백악기 새 발자국 화석의 비율이 현저하게 증가하고 있는 것은 주목할 만한 일이다. 우리나라에서 산출되는 새의 골격 화석은 적은 편이지만 백악기 지층에서 산출되어 명명된 새 발자국 화석은 전 세계 어느 지역보다 다양하고 풍부하다.

최근까지 전 세계 백악기 지층에서 총 18종의 새 발자국 화석이 분류 기재되었다. 우리나라의 중생대 백악기 지층에서 *Koreanaornis hamanensis* (Kim, 1969)가 처음으로 보고된 이후에 *Jindongornipes kimi* (Lockley et al., 1992), *Uhangrichnus chuni* (Yang et al., 1995), *Goseongornipes markjonesi* (Lockley et al., 2006), *Hwangsanipes choughi* (Yang et al., 1995), *Ignotornis yangi* (Kim et al., 2006)을 포함한 6종의 새 발자국 화석이 남한의 백악기 경상누층군에서 보고되었다. 한국에서 산출되는 이러한 다양한 새 발자국 화석은 현재까지 전 세계적으로 알려진 중생대 새 발자국 화석의 약 30%를 차지하며 중생대 새의 진화와 고지리적 분포 등에 대한 이해와 폭을 넓혀주고 있기 때문에 한반도는 중생대 새의 낙원이라고 할 수 있다.

## 중생대 : 공룡의 시대

고생대와 신생대 사이에 해당하는 중생대는 지금부터 약 2억 5천만 년 전부터 6천 5백만 년 전까지의 약 1억 9천만 년 동안의 시기이다. 중생대는 약 46억 년 전부터 시작된 지질 시대 길이의 약 5%도 안되지만, 포유류의 시대라고 하는 신생대 전체 길이의 3배나 되는 긴 기간이며, 인류 생존 역사의 40배에 이르는 장구한 시기이다. 중생대는 다시 트라이아스기(약 2억 5천만 년 전 ~ 약 2억 년 전), 쥐라기(약 2억 년 전 ~ 1억 4천 5백만 년 전) 및 백악기(1억 4천 5백만 년 전 ~ 6천 5백만 년 전)로 세분된다. 고생대 말에 존재하였던 초대륙 판게아(Pangea)는 중생대가 시작되면서 여러 작은 대륙으로 분리되어 이동을 시작하였다. 이 당시 고지리도에 의하면 한반도는 북중국 대륙과 함께 현재의 위치보다 훨씬 더 저위도에 위치한 것으로 보인다. 중생대는 오래된 생물이 살았던 고생대와 새로운 생물이 살았던 신생대의 중간에 해당되는 생물이 살았다는 의미에서 그 이름이 유래된 것이다. 고생대의 바다에 번성하였던 삼엽충류, 산호류, 완족류, 필석류, 해백합류, 방추충류 등의 무척추동물의 약 90%, 그리고 고생대 육상에 번성하였던 양서류, 원시 파충류 등의 약 70%가 고생대 말기에 멸종하였다. 중생대에 들어 판게아의 분리에 따른 대기와 해수의 순환과 기후의 변화는 생물의 진화와 분포 및 다양성에 커다란 영향을 주어 고생대와는 크게 다른 생물들이 지구를 지배하게 되었다.

“암모나이트의 시대”라고도 불리는 중생대는 고생대의 고니아타이트와 세라타이트에서 진화한 암모나이트가 바다를 지배하는 대표적인 무척추 동물이었다. 암모나이트와 함께 생존하였던 무척추 동물로는 이매패류와 복족류, 초를 이루는 산호류를 들 수 있으며 방산충류와 유공충류 등의 단세포 동물이 바다에 널리 분포하였다. 중생대의 새로운 삶의 터전으로 바다 환경에 적응한 파충류로는 전기 트라이아스기에 나타난 사경룡(수장룡, Plesiosaurs), 어룡(Ichthyosaurs)과 백악기에 나타난 모사사우루스(Mosasaurus) 등을 들 수 있으며 기록에 의하면 목이 긴 사경룡은 몸 길이가 12m 이상까지

이르렀다고 한다.

중생대는 겉씨 식물의 시대라고도 하는데 이는 중생대의 육상에 은행, 소철, 종자 고사리, 송백류 등이 번성하였음을 말한다. 이들 겉씨 식물들은 다양한 육상 동물들과 함께 중생대의 생태계를 이루며 진화하였으며, 전기 백악기에 이르러 꽃피는 식물(속씨 식물)이 출현하게 되었다.

중생대의 대표적인 파충류인 공룡은 후기 트라이아스기(약 2억 2천 8백만 년 전)에 나타나 쥐라기와 백악기까지 육상을 지배하게 되었다. 또한 중생대의 하늘을 지배한 익룡이 후기 트라이아스기에 나타났고, 육식 공룡으로부터 진화된 시조새(*Archaeopteryx*)가 후기 쥐라기에 나타나 번성하기 시작하였다. 그러나 중생대 백악기 말에는 지구를 지배하던 공룡, 어룡, 익룡 등의 파충류가 멸종하였으며 포유류가 나타나기 시작하여 신생대의 대표 자리를 준비하게 되었다.

## 새와 새 발자국 화석

화석 기록으로 볼 때, 새는 후기 쥐라기에 나타났으며 후기 백악기에는 여러 종류의 새가 익룡과 함께 존재하였다. “새의 시대”라고 하는 신생대 동안 크게 번성하여 하늘을 지배하였으며, 오늘날에는 약 8,800종의 다양한 새가 살고 있다. 새는 익룡으로부터 진화된 것도 아니며 하늘을 날아 다녔다는 점에서는 익룡과 유사하나 분류학적으로 볼 때 전혀 다르다. 새는 조류강에 속하며, 익룡은 공룡과 같이 파충강에 속한다. 새는 특징적으로 깃털과 날개를 갖고 있으며, 이빨이 없고 특징적인 치골을 포함한 속이 비고 가벼운 뼈를 갖고 있으며 특징적인 두 개의 뒷발을 지니고 있다. 대부분의 새의 발은 발톱을 갖는 네 개의 발가락으로 이루어져 있다.

찰스 다윈(Charles Darwin)이 『종의 기원』을 발표한 때부터 자연 과학자들은 새와 파충류의 구조적인 유사성을 인지하여 왔다. 토마스 헉슬리(Thomas Huxley)는 새를 진화된 깃털과 날개를 갖고 이빨이 없는 “영

광스러운 파충류(glorified reptile)” 라고 언급한 바 있다. 그러나 헉슬리의 언급은 새의 고도의 비행 능력과 온혈성의 특성을 바르게 나타내지 못한 것으로 생각된다. 새가 원시 공룡으로부터 진화하였는지 모르지만 소형 수각류 공룡이 새의 조상이었다는 여러 증거들이 있다. 새와 초기 수각류는 이미 골격의 구조뿐만 아니라 2족 보행 자세에서 유사성을 지녔다. 여러 수각류는 깃털과 속이 빈 뼈, 그리고 돌아나온 가슴뼈(흉골)를 지녔다.

가장 오래된 화석으로 알려진 시조새(*Archaeopteryx*)는 2족 보행의 소형 수각류와 현생 새를 밀접하게 이어주는 진화적 고리(evolutionary link)이다. 현생 새에서와 같이 전지(forelimb)의 깃털을 제외하면, 시조새의 골격은 소형 수각류의 골격을 닮았다. 턱은 이빨이 있고, 길고 깃털이 있는 도마뱀 같은 꼬리를 지녔다.

현생 새의 날개는 손가락(phalanges) 뼈가 합쳐져 강화되었으나, 시조새의 원시적인 날개는 기어오르고 붙잡기에 적합하도록 손톱을 갖는 손가락이 벌어져 있다. 흉골은 돌기가 없는데, 이는 지속적인 비행에 필요한 강한 근육이 없음을 나타낸다.

속이 빈 소형의 섬세한 동물의 골격 화석은 쉽게 보존되지 않으며, 따라서 초기 새의 화석 기록은 양호하지 않다. 그럼에도 불구하고 화석 기록은 백악기 동안 여러 다양한 종류의 새가 생존하였음을 지시한다.

새 발자국의 형태는 새의 종류와 새가 발자국을 남길 당시 퇴적물의 상태에 따라 크게 다르다(그림 1). 또한 같은 종류의 새도 보행 양식에 따라서 다양한 형태의 발자국을 남길 수 있다. 퇴적물의 입도와 수분 함량은 새 발자국의 형태에 큰 영향을 미치며, 발자국의 보존 상태 또한 퇴적 환경에 크게 좌우될 수 있다. 이에 따라 물가에 서식하였던 새의 발자국이 새 발자국 화석의 대부분을 차지한다.

일반적으로 새 발자국의 형태를 기재하기 위해 측정하는 요소들은 Thulborn(1990)이 제시한 공룡 발자국에서 흔히 이용하는 것과 기본적으로는 유사하다. Elbroch와 Marks(2001)는 새의 발자국에 대한 그들의 저서(Bird Tracks and Signs)에서 발자국이 찍힐 당시의

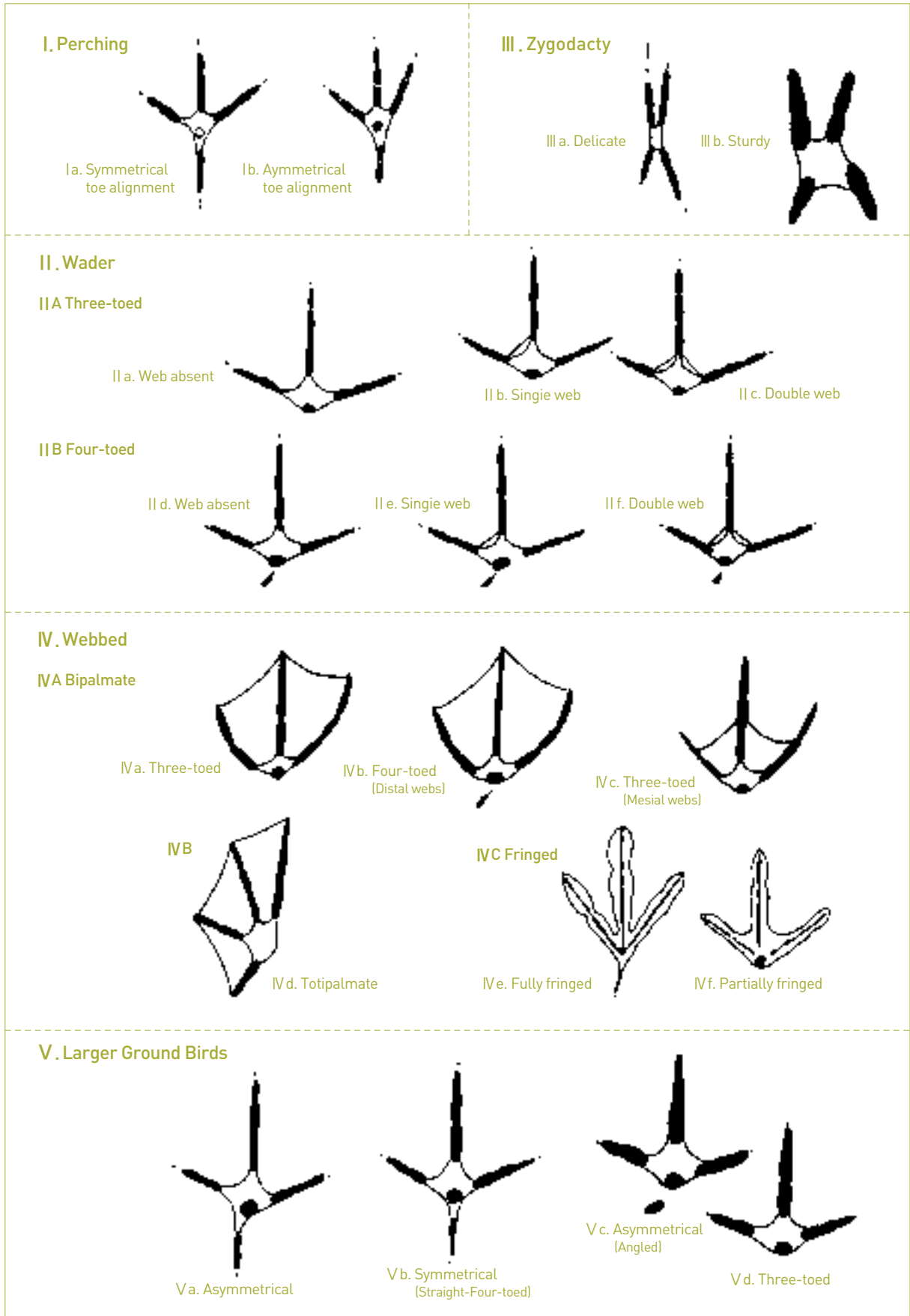


그림 1 다양한 형태의 현생 새 발자국(Brown et al., 2003)



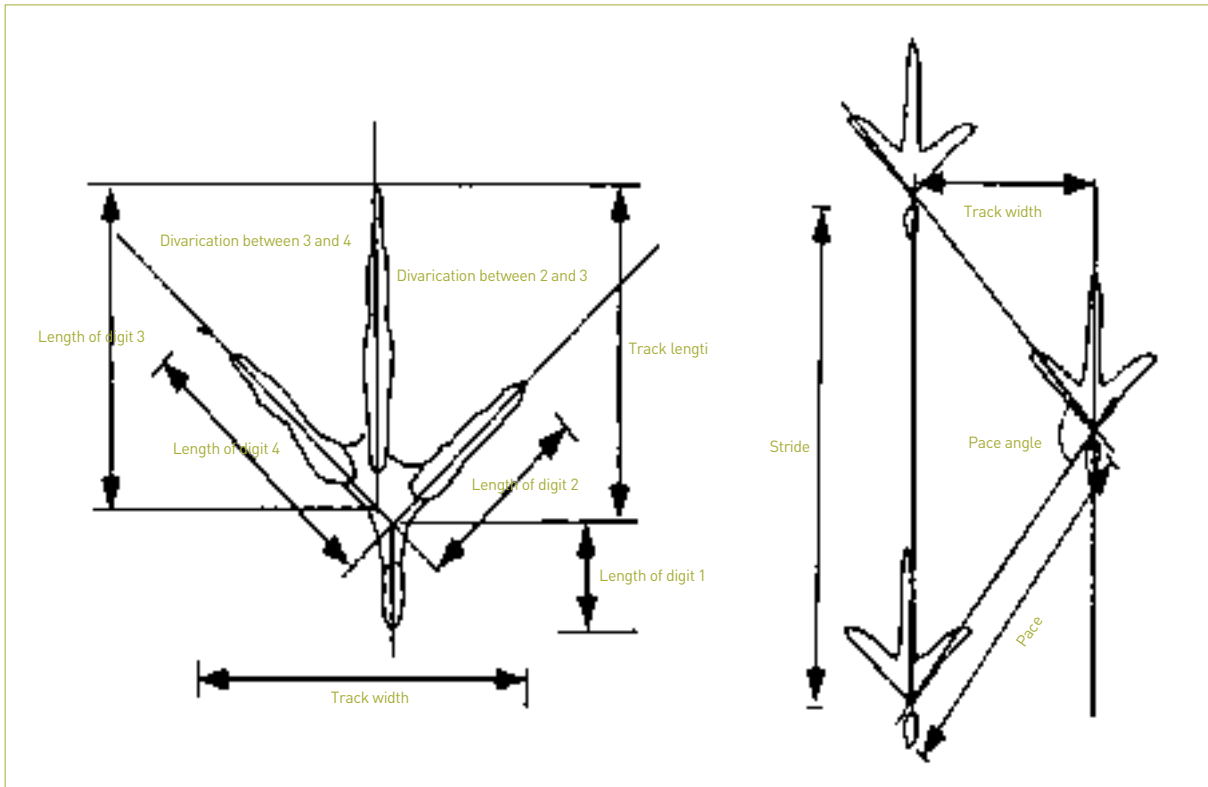


그림 2 새 발자국 화석의 측정 요소(Brown et al., 2003 수정)

퇴적물의 특성에 따라서 새 발자국의 형태가 얼마나 큰 변화를 보여주는지에 대한 수많은 예를 보여준 바 있다. 그러나 새는 두 발로 서서 걷는다는 점에서 2족 보행의 수각류와 조각류의 공통과 유사성이 있고 4족 보행의 용각류 공통과 차이를 갖는다.

Lim(1990)과 Lockley(1992) 등이 언급한 바와 같이 일반적으로 수각류 공통의 발자국에 비하여 새의 발자국은 크기가 작고 뒷 발가락 자국을 포함하며 얇은 발가락 자국이 4개이고, 발가락 II 와 IV 사이의 각도가 약 100° 이상으로 크며, 물갈퀴 자국을 보이기도 한다. 그러나 새의 발자국과 수각류 공통 발자국은 유사하여 구분이 쉽지 않은 경우도 있다.

새 발자국의 측정에는 <그림 2>와 같이 발자국 길이(L), 발자국 폭(W), 발가락 자국 길이(I, II, III, IV), 발가락 II-IV 사이각(DII-IV), 발가락 II-III 사이각(DII-III), 발가락 III-IV 사이각(DIII-IV), 물갈퀴의 유무, 걸음 거리(pace or step, P), 보폭 거리(stride length, S), 걸음 각(pace angle, Pa) 그리고 보행렬 폭(trackway width, W)을 측정한다. 때로는 발가락 마디 자국이나 피부 자국, 발톱 자

국 등도 기록된다. 뒷 발가락(I)이 분명한 경우 세 번째 발가락(III)의 방향과 이루는 각도, 즉 III 과 I 이 일직선 상에 놓이는지, 아니면 II 쪽으로 기울어져 있는지도 중요한 측정 요소에 해당한다. 이러한 새 발자국 측정 요소들의 정의는 Sarjeant와 Langstone(1994), Brown(2003) 등이 제안한 바 있다.

### 경상 분지 : 공통과 새의 터전

경상 분지는 중생대 백악기에 한반도에 형성된 퇴적 분지 중 최대 규모의 분지로서 약 9,000m 두께의 쇄설성 퇴적암으로 구성되어 있다. 이 쇄설성 퇴적암은 선상지, 범람원, 호수 환경에서 쌓인 비해성 퇴적물과 화산 쇄설성 퇴적물로 이루어져 있으며, 이 지층을 경상누층군이라고 하며, <그림 3>과 <그림 4>와 같이 경상누층군은 층서적으로 하부의 신동층군과 중부의 하양층군 및 상부의 유천층군으로 구분된다(Chang, 1975).

신동층군(전기 백악기의 중기)은 암상과 암석의 색깔에 의하여 하부로부터 낙동층, 하산동층 및 진주층으로

Daegu-Kyongju are (Tateiwa, 1929)			South-Western Part of the Gyeongsang Basin (Chang, 1975)		
G Y E O N G S A N G  S Y S T E M	Bulgusa Series	Bulgusa Granite	G Y E O N G S A N G  S U P E R G R O U P	Bulgusa Intrusives	Intrusive Rocks
		Jusasan Porphyrites		Yucheon Group	Volcanic Complex
	Silla Series	Geoncheonri Formation		Hayang Group	Volcanic Complex
		Chaeyagsan Porphyrites			Jindong Formation
		Daegu Formation			Haman Formation
		Hagbong Porphyrites			Silla Conglomerate
		Silla Conglomerate			Chilgog Formation
	Nakdong Series	Chilgog Formation		Sindong Group	Jinju Formation
		Jinju Formation			Hasandong Formation
		Hasandong Formation			Nakdong Formation
		Nakdong Formation			

그림 3 경상누층군의 층서(Chang, 1975)

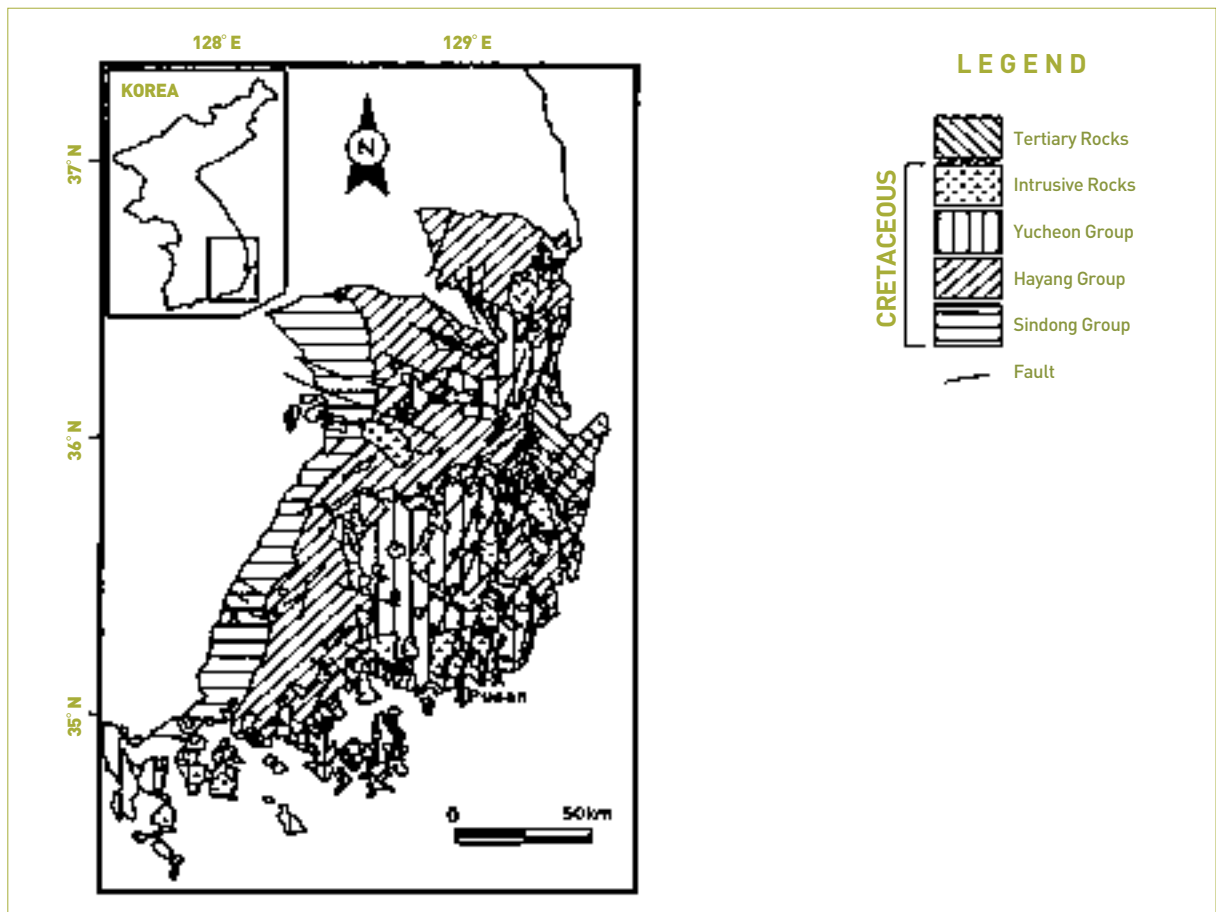


그림 4 경상분지와 경상누층군의 분포(Chang,1975)



세분된다. 하산동층은 적색 지층을 포함하며 적색 지층이 결여된 하부의 낙동층과 상부의 진주층과 구분된다. 경상누층군의 최하부 지층인 낙동층은 역암, 사암, 실트암, 셰일 및 탄질 셰일로 이루어져 있다. 하산동층은 사암과 역암 및 적색과 회색의 실트질 셰일로 구성되어 있다. 신동층군의 최상부층인 진주층은 회색 사암, 담회색 셰일 및 역암으로 이루어져 있다.

전기 백악기의 후기에 해당하는 하양층군은 셰일, 사암, 소량의 이회암 및 퇴적 분지 내에서 분출한 화산암을 포함하는 주변의 기원암에서 유입된 소량의 역암으로 구성되어 있다. 하양층군은 암상, 열쇠층 및 암석의 색깔에 의하여 하부로부터 칠곡층, 신라역암, 함안층 및 진동층으로 세분된다.

칠곡층은 사암, 셰일, 역암, 단괴상 이회암 및 응회암으로 구성되어 있다. 적색층을 갖는 칠곡층은 암회색 셰일층에 의해 특징지어지는 하부의 진주층과 구분된다. 신라역암은 주로 역암, 사암 및 이암으로 구성되며 간혹 적색을 띠며 때로는 회색을 띤다. 함안층은 간혹 적색을 띠는 셰일과 사암 및 이회암으로, 진동층은 주로 어두운 색의 셰일과 사암으로 구성되어 있다. 화산쇄설물이 우세한 유천층군은 하양층군을 부정합으로 덮는다.

경상누층군에서는 지금까지 비해성 화석만이 알려져 있다. 경상누층군에서는 식물화석, 화분화석, 이매패류와 복족류를 포함하는 연체동물, 어류, 곤충 등의 화석이 알려져 있다. 1983년 고성군에 분포한 진동층으로부터 공룡 발자국 화석이 발견된 이후(양승영, 1982), 수많은 공룡 발자국 화석과 새 발자국 화석(Lim, 1991; Lim et al., 1989, 1994; Lockley et al., 1992, 2006, 2008; Kim et al., 2006, 2008)이 보고되어 있다.

또한 다양한 무척추 동물의 생흔화석, 익룡의 뼈와 발자국 화석, 공룡의 골격 화석과 이빨 화석 그리고 알둥지 화석도 여러 곳에서 발견 보고되어 있다(Kim et al., 2006, 2008). 경상 분지의 공룡과 새의 발자국 화석은 다양하고 풍부하며 보존 상태가 양호하여 세계적으로 널리 알려져 있으며, 많은 화석 산지는 천연기념물로 지정되어 국가적으로 보존 관리되고 있다.

## 한반도 경상 분지: 중생대 새의 낙원

### 1. 중생대 새 발자국 화석의 기록

Lockley(1992) 등은 중생대의 새 발자국 화석을 종합적으로 정리 검토한 바 있다. 1802년 Moody는 New England에 분포하는 전기 쥐라기 지층으로부터 '새 발자국' 화석을 발견하였다. 그러나 이 '새 발자국' 화석은 세 개의 발가락을 갖는 공룡의 발자국 화석으로 밝혀졌다. 1861년 독일의 후기 쥐라기 지층에서 최초로 시조새(*Archaeopteryx*) 화석이 발견되어 파충류와 조류의 진화적 고리를 이해하는 증거로서 주목을 받았다.

중생대의 새 발자국 화석으로 처음 알려진 것은 미국 콜로라도의 전기 백악기 다코다층군(Dakota Group)에서 발견된 *Ignotornis mcconnelli*이다(Mehl, 1931). 모로코의 후기 백악기 지층에서 새 발자국 화석이 보고된 바 있으나, 학명이 부여되지 않았고, 상세한 기재도 없으며, 표본의 레플리카도 찾을 수가 없다(Ambroggi and Lapparent, 1954).

경상남도 함안 지역에 분포하는 전기 백악기 함안층으로부터 한국의 새라는 의미의 새 발자국 화석 *Koreanaornis hamanensis*가 보고되었는데(Kim, 1969), 이는 중생대의 새 발자국 화석으로는 세계에서 두 번째로 명명된 것이다. 그러나 아쉽게도 *Koreanaornis*의 완모식(holotype) 표본이 지정되지 않았고, 체계적인 기재와 비교 설명이 이루어지지 않았다.

1972년 Ellenberger는 남아프리카의 후기 트라이아스기/전기 쥐라기 지층에서 새 발자국을 발견하고 이를 *Trisauropodiscus aviforma*와 *T. superaviforma* 등의 6종으로 분류하고 기재하였다. *Trisauropodiscus*는 북아프리카와 북미에서도 보고되어 있으며, 새 발자국과 유사한 형태를 보이는 하나 크기가 약 30cm에 달하는 *Trisauropodiscus*가 새의 발자국인지 아니면 수각류 공룡의 발자국 화석인지에 대해서는 아직까지 명쾌하게 설명된 바 없다.

Currie(1981)는 서부 캐나다의 전기 백악기(Aptian-Albian) Gething 층으로부터 발견된 새 발자국 화석을

표 1 중생대 새 발자국 화석의 기록

지질 시대	지 층	화석 산지	이 름	참고 문헌
후기 백악기	우함리층	한국 해남	<i>Hwangsaniipes choughi</i> <i>Uhangrichnus chuni</i>	Yang et al., 1995
후기 백악기	Lance 층	와이오밍	<i>Sarjeantopodus semipalmatus</i>	Lockley et al., 2003
후기 백악기		아르헨티나	<i>Patagonichomis venetiorum</i>	Leonardi, 1994
후기 백악기	Yacoraita 층	아르헨티나	<i>Yacoraitichnus avis</i>	Alonso and Marquillas, 1986
후기 백악기	Raton 층	콜로라도	bird tracks	Lockley and Hunt, 1995
후기 백악기		모로코	purported bird tracks	Ambroggi and Lapparent, 1954
후기 백악기	Anacleto 층	아르헨티나	cf. <i>Aquatilavipes</i> cf. <i>Ignotomis Barrosopus slobodai</i>	Coria, 2002
후기 백악기	Blackhawk 층	유타	three types of bird tracks	Robison, 1991
후기 백악기	Dakota 층군	뉴멕시코, 텍사스, 콜로라도	<i>Magnoavipes</i>	Lockley, 1992
후기 백악기	Woodbine 층	텍사스	<i>Magnoavipes lowei</i>	Lee, 1997
후기 백악기	Dakota 사암	콜로라도	<i>Ignotomis mconnelli</i>	Mehl, 1931
전기 백악기	Dunvegan층	브리티시 콜롬비아	<i>Jindongomipes</i> -like footprints <i>Aquatilavipes</i> -like footprints	McCrea and Sarjeant, 2001
전기 백악기	Gate 층	알버타	<i>Aquatilavipes curriei</i>	McCrea and Sarjeant, 2001
전기 백악기	Gladstone층	알버타	<i>Aquatilavipes swiboldae</i>	McCrea and Sarjeant, 2001
전기 백악기	진동층	한국 고성	<i>Goseongomipes markjonesi</i> <i>Jindongomipes kimi</i> <i>Koreanaomis hamanensis</i>	Lockley et al., 2006 Lockley et al., 2002
전기 백악기	함안층	한국 함안	<i>Koreanaomis hamanensis</i>	Kim, 1969
전기 백악기	함안층	한국 진주	tracks of web-footed birds	Lim et al., 2000
전기 백악기	함안층	한국 남해	<i>Ignotomis yangi</i>	Kim et al., 2006
전기 백악기	Gething 층	브리티시 콜롬비아	<i>Aquatilavipes swiboldae</i> cf. <i>Ignotomis</i>	Currie, 1981
전기 백악기	Lakota 층	다코타	bird tracks	Lockley et al., 2001
전기 백악기	Tianjialou 층	중국 산둥	<i>Shandongomipes muxiai</i>	Lockley et al., 2007
전기 백악기	Jiaguan 층	중국 쓰촨	<i>Aquatilavipes sinensis</i>	Zhen et al., 1994
전기 백악기	Hekou 층	중국 간수	cf. <i>Aquatilavipes</i>	Zhang et al., 2006
전기 백악기	Tetori 층군	일본	<i>Aquatilavipes izumiensis</i>	Azuma et al., 2002
전기 백악기	Mist Mountain 층	브리티시 콜롬비아	oldest footprint attributable to birds	McCrea and Sarjeant, 2001
전기 백악기	Yixian 층	중국 라이오닝	<i>Pullomipes aureus</i>	Lockley et al., 2006
전기 백악기 (Berriasian)	Oncala 층군	스페인	<i>Archaeomithipus mejidei</i>	Vidarte, 1996
후기 트라이아스기/ 전기 쥐라기	하부 Stromberg 통	남아프리카	<i>Trisauropodiscus superavipes</i> , <i>T. superaviforma</i> , <i>T. galliforma</i> , <i>T. papompoi</i> , <i>T. levis</i> , <i>T. phasianiforma</i>	Ellenberger, 1972
전기 쥐라기	Navajo 사암	유타	<i>Trisauroposiscus moabensis</i>	Lockley et al., 1992
후기 트라이아스기/ 전기 쥐라기	상부 Stromberg 통	남아프리카	<i>Trisaurodactylus superavipes</i>	Ellenberger, 1974

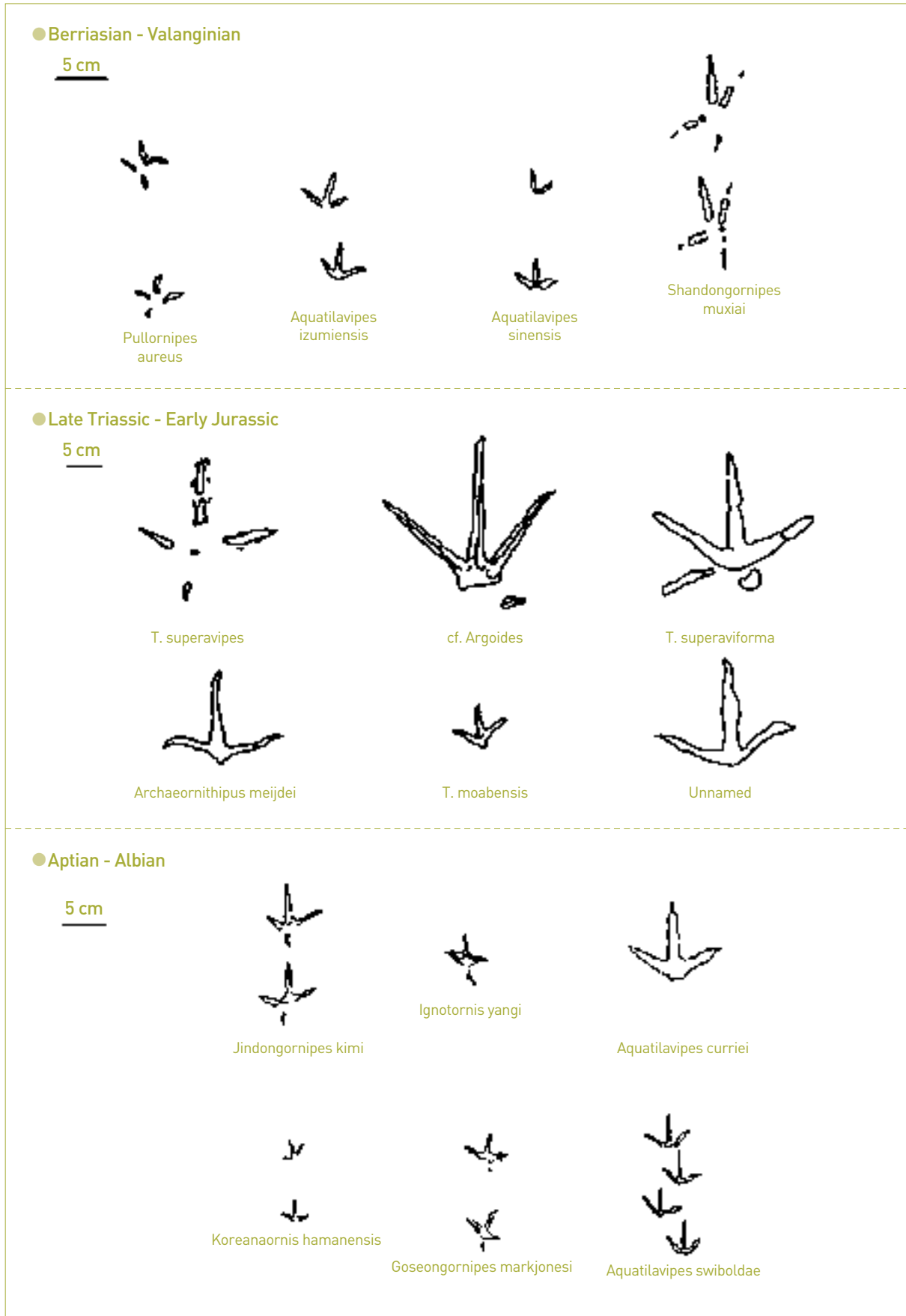


그림 5 중생대 새 발자국 화석종

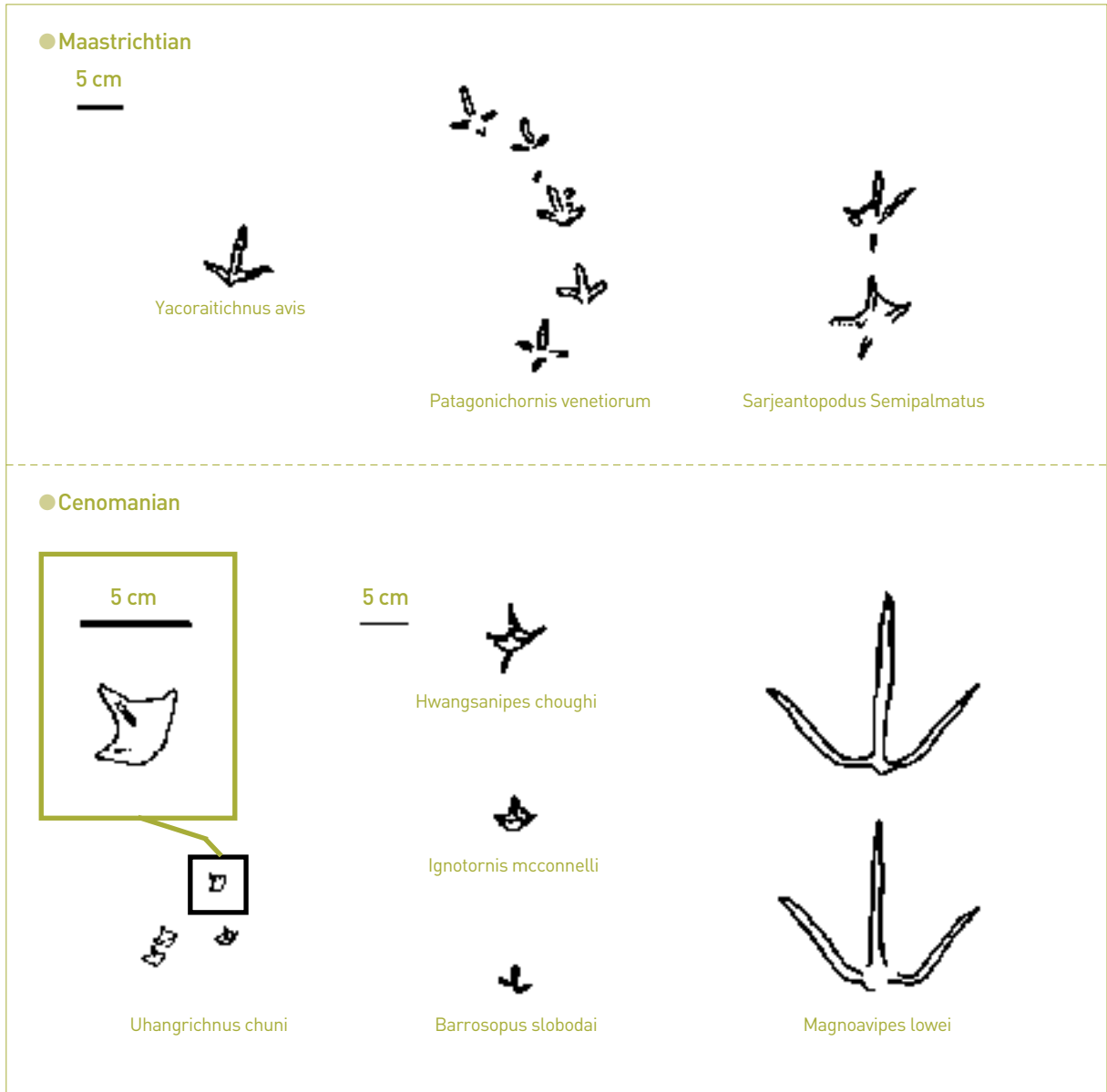


그림 5 (계속)

*Aquatilavipes swiboldae*로 명명 기재하고 이를 *Ignotornis*와 비교한 바 있다.

Alonso와 Marquillas(1986)는 아르헨티나의 후기 백악기(Maastrichtian) 지층에서 새 발자국 화석을 발견하여 *Yacoraitichnus avis*로 명명 기재하였다. 그러나 이들은 기존의 새 발자국 화석과 비교하지는 않았다. 1987년 중국 쓰촨성의 전기 백악기 지층에서 발견된 새 발자국 화석은 *Aquatilavipes sinensis*로 명명된 바 있으나 상세한 기재도 없고 그림도 제시되지 않았기 때문에 학명으로 보기 어렵다. Leonardi(1987) 역시 아르헨티나의

후기 백악기 새 발자국 화석을 제시한 바 있으나 상세한 기재와 이름이 없다. 또한 Parker와 Balsley(1989)도 미국 유타의 후기 백악기 지층에서 새와 비슷한 발자국 화석을 보고한 바 있으나 이름도 없고 상세한 기재도 없다. Robins(1991) 역시 유타의 후기 백악기 Blackhawk 층에서 세 가지 유형의 새 발자국 화석을 소개한 바 있으나 학명이 주어지지 않았다.

미국 텍사스, 뉴멕시코, 콜로라도의 후기 백악기 Dakota 층으로부터 *Magnoavipes*로 명명된 대형 새 발자국 화석이 보고된 바 있으며(Lockley et al., 1992),

Leonardi(1994)는 아르헨티나의 후기 백악기 지층에서 *Patagonichornis venetiorum*을 보고하였다. Yang(1995) 등은 전라남도 해남군의 후기 백악기 우항리층에서 물갈퀴가 있는 두 종류의 새 발자국 화석을 *Uhangrichnus chuni*와 *Hwangsanipes choughi*로 명명하고 기재하였으며, 발표 당시 이는 가장 오래된 물갈퀴 새 발자국 화석 기록이었다.

Fuentes와 Vidarte(1996)는 스페인의 전기 백악기의 초기(Bemiasian) 지층에서 수많은 새 발자국 화석을 발견하여 *Archaeornithipus meijidei*로 명명하고 기재하였다. Lee(1997)는 텍사스의 후기 백악기 Woodbine층에서 *Magnovipes lowei*를 명명 기재하였으며, 이는 중생대 새 발자국 화석 중 크기가 가장 큰 것이다. Coria(2001) 등은 아르헨티나의 후기 백악기 Anacieto 층으로부터 발견된 새 발자국 화석을 cf. *Aquatilavipes*, cf. *Ignotornis* 및 *Barrosopus slobodai*로 분류 기재한 바 있다.

McCrea와 Sarjeant(2001)는 캐나다 알버타의 전기 백악기(Albian) Gate 층에서 발견된 새 발자국 화석을 *Aquatilavipes curriei*로 분류 기재하였다. 일본 Tetori 층군의 전기 백악기 Izuki 층으로부터 *Aquatilavipes izumiensis*로 명명 기재된 새 발자국 화석이 보고되었다(Azuma et al., 2002). Lockley(2003) 등은 미국 와이오밍의 후기 백악기 Lance 층에서 발견된 물갈퀴 새 발자국 화석을 *Sarjeantopodus semipalmatus*로 분류 기재한 바 있다.

최근 우리나라 남해안에 분포하는 경상누층군의 진동층으로부터 *Jindongornipes kimi*와 *Goseongornipes markjonesi*가 분류 기재되었으며(Lockley et al., 2002, 2006), 함안층으로부터 물갈퀴를 갖는 세계 최고의 새 발자국 화석 *Ignotomis yangi*가 기재되었다(Kim et al., 2006). 최근 Lockley(2007) 등은 중국 산둥성의 전기 백악기 Tianjialou 층에서 최초로 *zygodactyl* 새 발자국 화석을 발견하였으며, *Shandongornipes muxiai*로 분류 기재한 바 있다.

지금까지 알려진 중생대 새 발자국 화석의 기록을 정리하면 <표 1>과 같으며 각 새 발자국 화석을 스케치로 나타내면 <그림 5>와 같다.

## 2. 한반도 경상 분지 : 중생대 새의 낙원

지금까지 알려진 중생대 새 발자국 화석을 지질 시대와 화석 산출 국가별로 나타내면 <표 2>와 같다. <표 2>에서 보듯이 지금까지 보고된 중생대 새 발자국 화석은 16속 25종이다. 이 중 트라이아스기-쥐라기 지층에서 보고된 새 발자국 화석은 1속 7종으로 모두 *Trisaurodactylus* 속에 해당한다. 일부 논란이 있기는 하나 *Trisaurodactylus*가 새의 발자국 화석이라고 한다면 이러한 기록은 새의 시대라고 알려진 신생대가 시작되기 전 중생대 백악기에 새의 종류가 다양하였음을 지시한다고 볼 수 있다. 또한 시조새로 대표되는 새의 조상이 나타난 후기 쥐라기보다 오래된 후기 트라이아스기-쥐라기에 새가 생존하였음을 지시한다. 이는 가장 오래된 공룡의 골격 화석이 산출되는 지층보다 오래된 지층에서 공룡의 발자국 화석이 산출되는 사실이나, 가장 오래된 삼엽충 화석보다 오래된 지층에서 삼엽충이 걸어난 생흔 화석이 산출된다는 사실과 비길만하다. 이러한 사실은 조금은 이상하게 생각될지 모르지만 화석의 보존 상태가 다르다는 점을 고려하면 너무나도 자연스러운 해석이 가능하다고 할 수 있다.

<표 2>에서 보듯이 중생대 새 발자국 화석이 산출되는 국가는 8개 국가에 불과함을 알 수 있다. 이는 새 발자국 화석의 분포가 소수 국가에 불과하다는 해석보다는 새 발자국 화석을 연구하는 학자들이 속한 국가가 극히 제한적이라는 해석이 바른 것으로 보인다. 어찌되

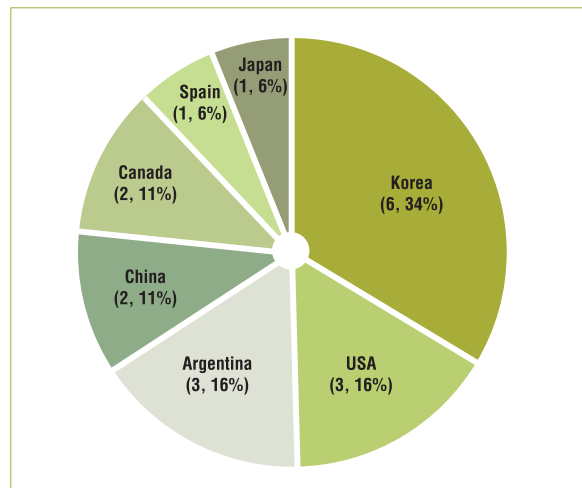


그림 6 국가별 중생대 백악기 새 발자국 화석종의 빈도 분포. 괄호 안에는 화석종의 수와 백분율을 나타냄

표 2 중생대 새 발자국 화석 종의 지질 시대와 화석 산출 국가별 분포

지질 시대	대한민국	중 국	일 본	미 국	캐 나 다	스 페 인	아르헨티나	남아프리카	비 고
후기 백악기	<i>Uhangrich-nus chuni</i> <i>Hwangsan-ipes</i> <i>choughi</i>			<i>Sarjeantopodus</i> <i>semipalmatus</i> <i>Magnoavipes lowei</i> <i>Ignotomis mcconnelli</i>			<i>Patagonichornis venetiorum</i> <i>Yacoraitichnus avis</i> <i>Barrosopus slobodai</i>		8속 8종
전기 백악기	<i>Goseongornipes markjonesi</i> <i>Jindongornipes kimi</i> <i>Koreanaomis hamanensis</i> <i>Ignotomis yangi</i>	<i>Shandongornipes muxiai</i> <i>Pullornipes aureus</i>	<i>Aquatila -vipes izumiensis</i>		<i>Aquatila-vipes swiboldae</i> <i>Aquatila-vipes curriei</i>	<i>Archaeomithipus mejidei</i>			8속 10종
쥐라기 트라이아스기				<i>Trisaurodactylus moabensis</i>				<i>Trisaurodactylus superavipes</i> <i>T.superaviforma</i> <i>T.galliforma</i> <i>T.popompoi</i> <i>T.levis</i> <i>T.phasianiforma</i>	1속 7종
비고	6속 6종	2속 2종	1속 1종	4속 4종	1속 2종	1속 1종	3속 3종	1속 6종	16속 25종

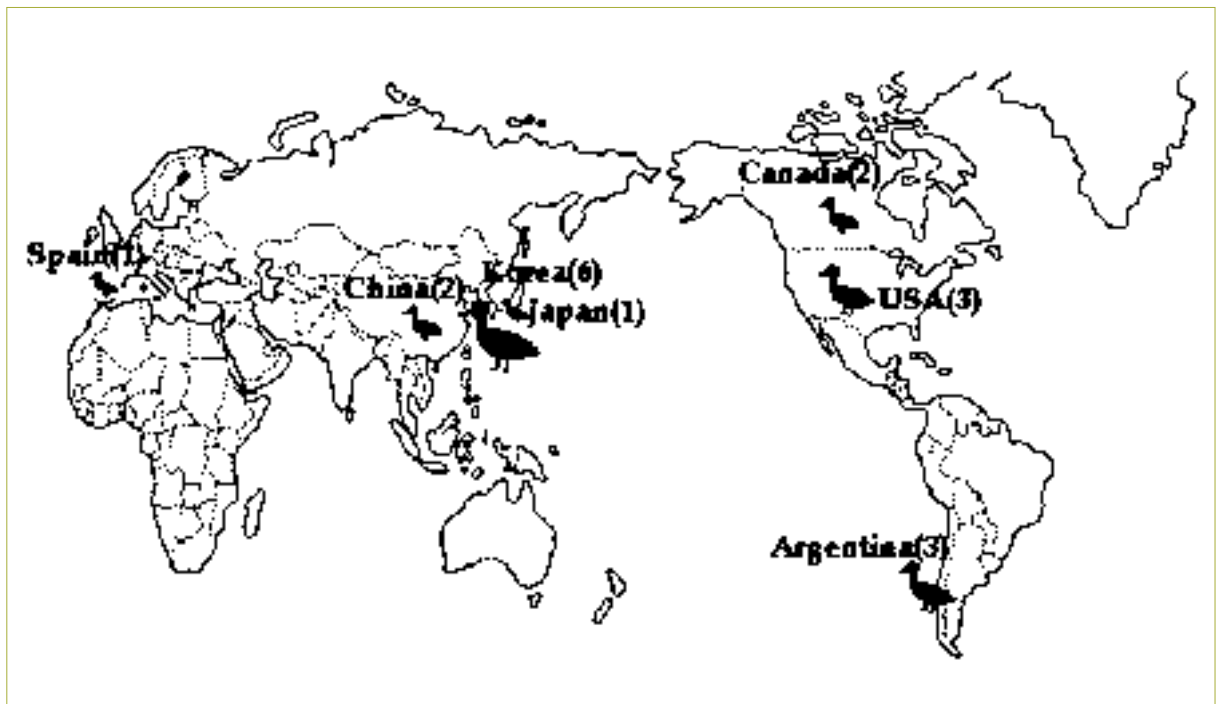


그림 7 중생대 백악기 새 발자국 화석종의 지리적 분포. 괄호 안의 수는 화석종의 수를 나타냄



었던 간에 <표 2>의 자료에 의하면 우리나라를 포함한 아시아와 남북 아메리카 지역에서 새 발자국 화석 기록이 가장 많다고 할 수 있다.

중생대 백악기의 새 발자국 화석은 총 15속 18종이 보고되어 있다. 이 중에서 한반도에서 보고된 새 발자국 화석은 6속 6종으로 전 세계에서 가장 다양함을 알 수 있다(그림 6, 7, 8).

이러한 사실로 볼 때, 경상누층군이 퇴적될 당시의 한반도는 중생대 새의 낙원이라고 할 수 있는 새의 다양성과 고지리, 진화 연구에 세계적으로 매우 중요한 지역으로 볼 수 있다.

### 우리나라 백악기 경상누층군에서 산출되는 새 발자국 화석

우리나라 백악기 경상누층군에서는 지금까지 6종의 새 발자국 화석이 보고되어 있으며, 이들은 <그림 8>과 같다. 여기에서는 이들의 대표적인 그림과 특징적 형태

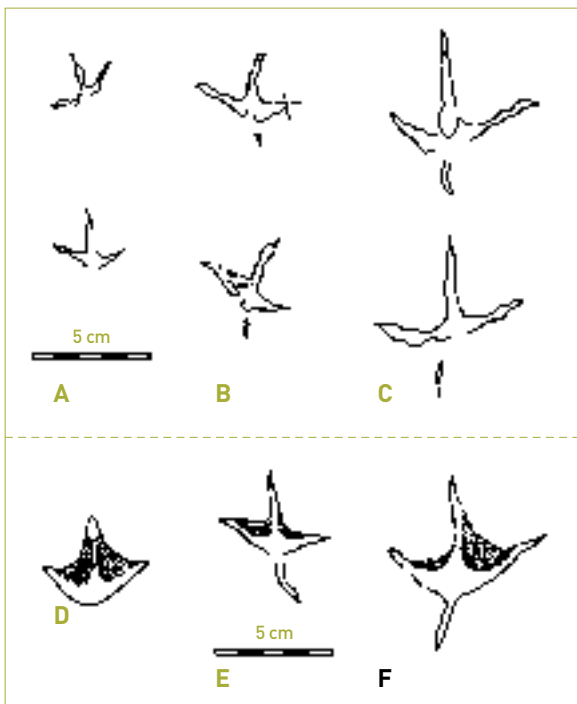


그림 8 우리나라 백악기 경상누층군에서 산출되는 새 발자국 화석(Kim et al., 2006)

A: *Koreanaornis hamanensis*, B: *Goseongornipes markjonesi*, C: *Jindongornipes kimi*, D: *Uhangrichnus chuni*, E: *Ignotornis yangi*, F: *Hwangsannipes choughi*

에 관한 내용을 간단히 소개한다.

#### ● *Uhangrichnus chuni* (Yang et al., 1995)

어원 : *Uhangrichnus*는 우항리층 그리고 *chuni*는 이 화석을 처음 발견한 전승수 박사의 성을 따라서 명명되었다(Chun, 1990).

완모식 : KPE 50101, 층리면에 노출된 원형의 실리콘 몰드와 레플리카 KPE=경북대학교, 지구과학교육과.

부모식 : KPE 50102, 50103.

발자국은 같은 지역의 서로 분리되어 있는 세 지점의 층리면에 보존되어 있으며, 총 86개의 발자국이 나타나 있다.

층서와 위치 : 우리나라 남서쪽에 위치한 황산 분지의 우항리층.

기재 : 세 개의 발가락으로 이루어진 발자국으로 발가락 II와 IV 사이에 뚜렷한 물갈퀴가 나타난다. 발가락 I은 나타나지 않는다. 발자국의 평균 폭은 4.58cm (3.80-5.40cm; N=70)이며, 평균 길이는 3.70cm(3.3.-4.62cm; N=85)이다. 오른발의 발가락 II와 III 사이의 평균 각도는 53.4° (N=38)이고 발가락 III과 IV 사이의 평균 각도는 59.4° (N=34)이다. 왼발의 측정값은 약간 다른데(N=34), 발가락 II와 III 사이의 각은 57.6°이고 평균 각은 110.6°이다. 발가락 II와 IV는 약간 안쪽으로 휘어져 있다. 발가락 II와 III, 발가락 III과 IV 사이에 나타나는 물갈퀴 자국이 제 3기 지층에서 산출되는 새 발자국처럼 약간 오목하다.

#### ● *Hwangsannipes choughi* (Yang et al., 1995)

어원 : *Hwangsannipes*는 황산분지, *choughi*는 이 발자국을 발견한 조성권 박사의 성을 따서 명명함.

완모식 : KPE 50101, 층리면에 노출된 원형의 실리콘 몰드와 레플리카. KPE=경북대학교, 지구과학교육과.

층서와 위치 : 우항리층, 황산 분지.

기재 : 4개의 발가락으로 이루어져 있고 발가락 II와 IV 사이에 물갈퀴를 보이며, 4개의 연속적인 발자국 보행열을 이루고 있다. 이 발자국 중 두 개는 잘 보존되어 있고 두 개는 일부만 보존되어 있다. 네 개의 발자국 모

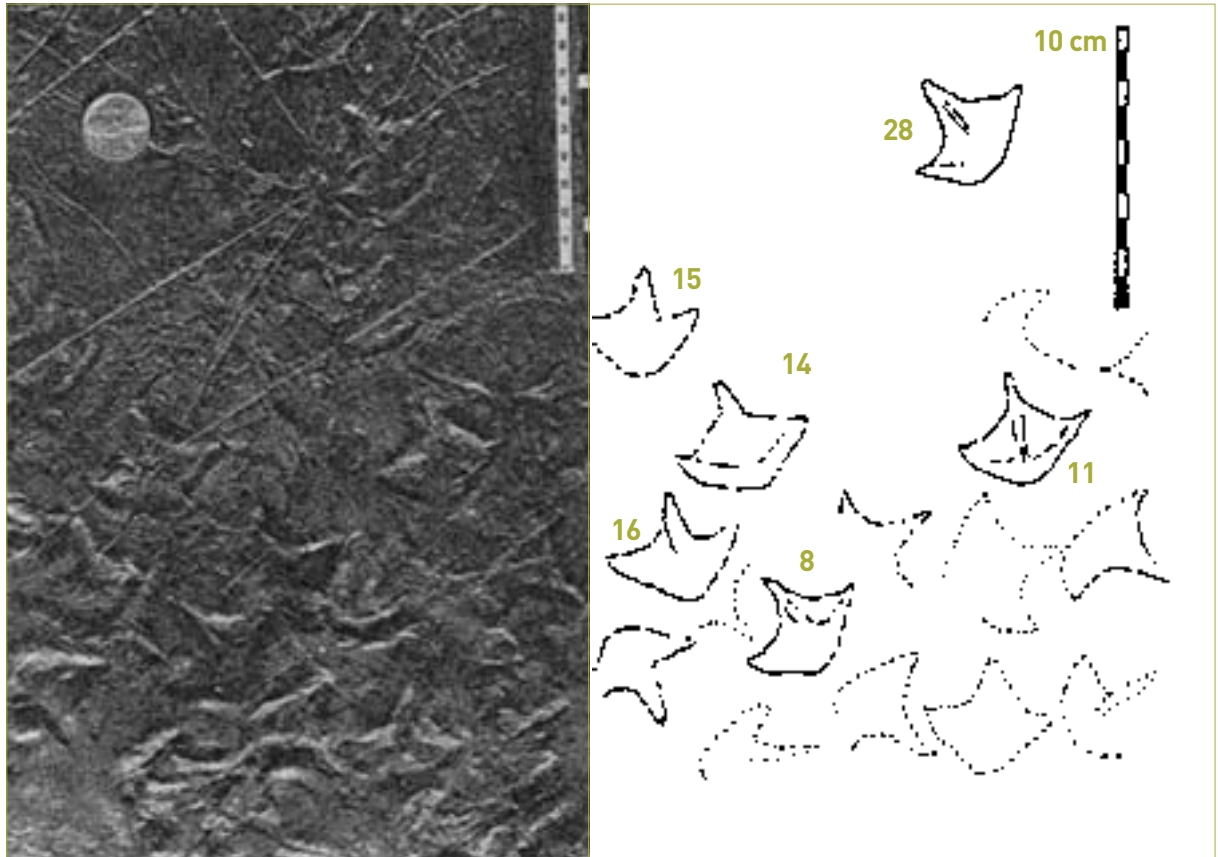


그림 9 우항리층에서 산출되는 *Uhangrichnus chuni* (Yang et al., 1995)

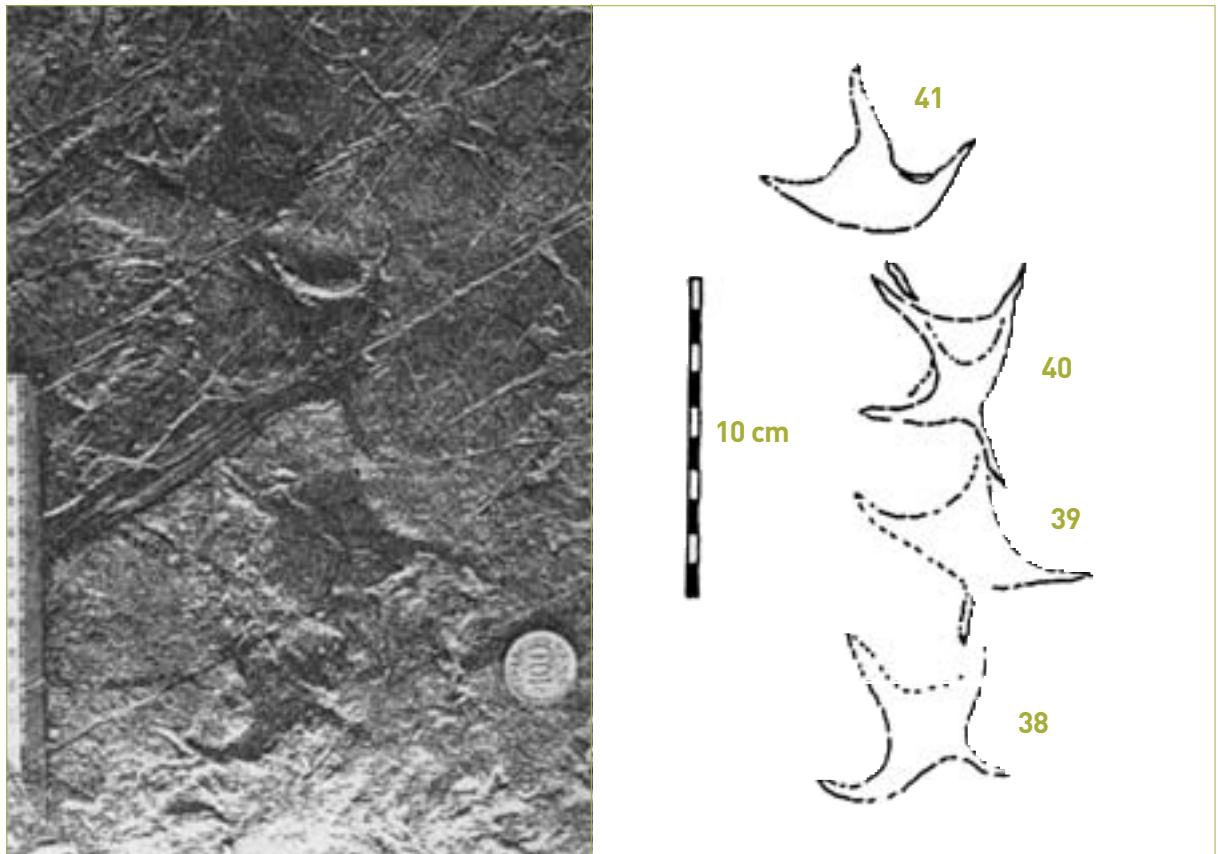


그림 10 우항리층에서 산출되는 *Hwangsansnipes choughi* (Yang et al., 1995)

두 뚜렷하게 뒤로 향해있는 I번 발가락의 인상이 보인다. 발자국의 평균 폭은 약 6.26cm(범위 6.08-6.60cm; N=3), 평균 길이는(발가락 I 을 제외) 4.86cm(범위 4.80-5.00 cm; N=3)이다. 발가락 II와 IV 사이의 평균 각도는

112.3°(N=3)이다. 발가락 II와 IV는 안쪽으로 약간 휘어져 있다. 걸음 각은 크게 나타나며 이것은 새가 한 발을 내딛고 거의 일직선상으로 다른 발을 내딛었다는 것을 제시한다. 평균 걸음걸이와 보폭 거리는 각각 5.1cm,

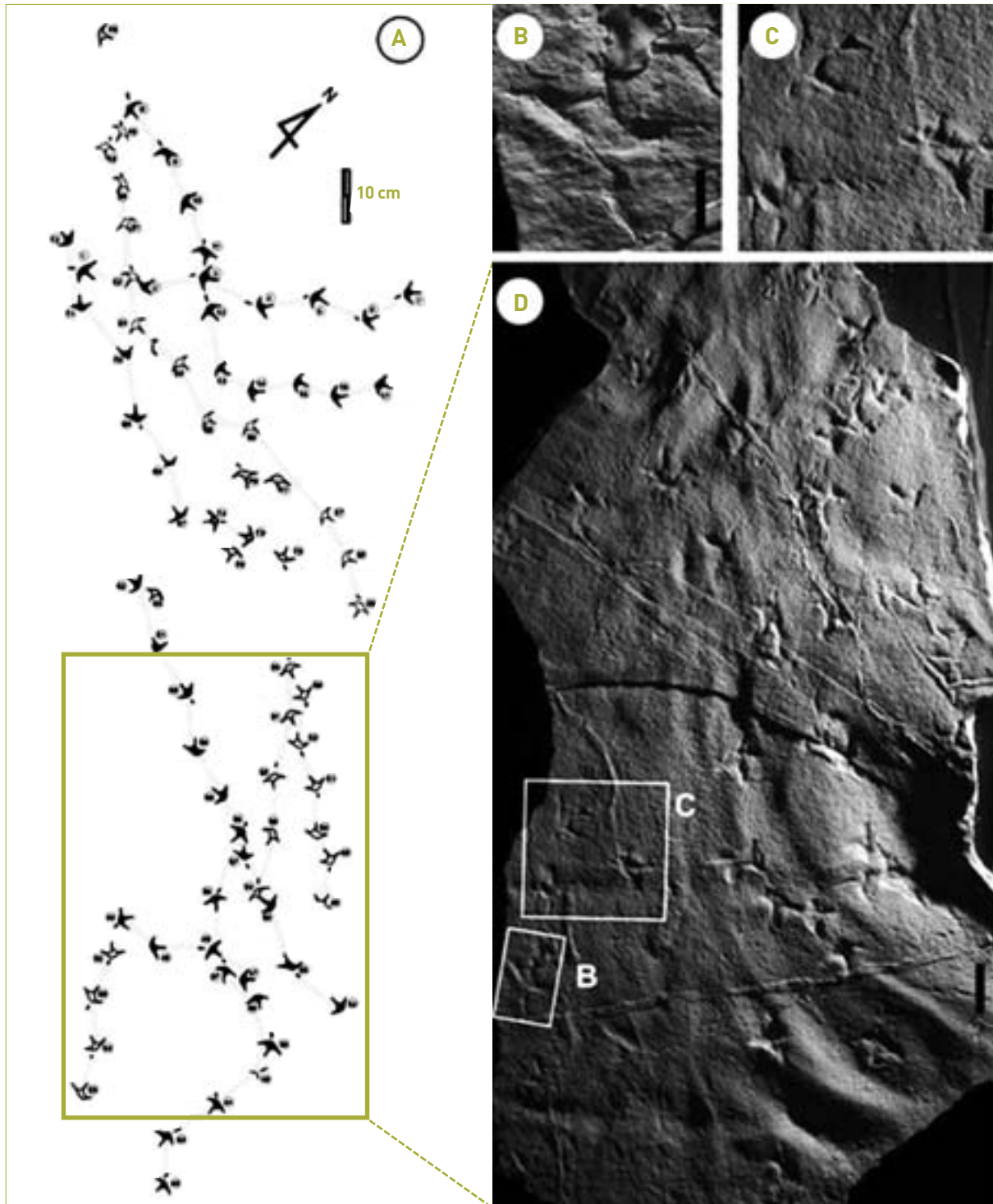


그림 11 함암층에서 산출되는 *Ignotornis yangi* (Kim et al., 2006)

10.8cm이다. 보행렬 폭은 7.8cm이다. *Uhangrichnus chuni*의 발자국과 마찬가지로 물갈퀴의 흔적이 안쪽 가장자리를 따라서 오목하게 나타난다.

수정된 특징 : 네 개의 발가락으로 이루어진 발자국으로 발가락 I이 뒤쪽으로 뚜렷하게 나타나며 전체 발자국 길이의 1/3을 차지한다. 발가락 III과 IV 사이의 hypex는 발가락 II와 III 사이의 hypex보다 앞쪽에 위치해 있다. 발가락 III과 IV 사이의 물갈퀴가 더 발달되어 있어 비대칭적인 발달 경향성을 보인다. 발가락 II와 IV 사이의 각도는 110-120°로 넓은 편에 속한다. 발가락 마디의 인상은 변형되어 있으나 발가락 II, III, IV에 해당하는 지관절의 수는 2-3-4로 파악된다. 보폭 거리는 짧은 편이고 안쪽으로 많이 휘어져 나타난다.

● *Ignotornis yangi* (Kim et al., 2006)

어원 : 한국의 척추동물 생흔학에 관한 경북대학교

양승영 교수의 업적을 기리기 위해서 그의 이름을 따서 명명함.

재료 : 80개 발자국의 실리콘 몰드와 레플리카.

샘플 번호 : 한국교원대학교(KNUE 040417). 발자국 번호 66은 완모식 표본으로 지정.

기재 : 네 개의 발가락으로 이루어져 있는 발자국으로 발가락 I은 뒤쪽을 향해 있고 네 개 발가락 끝에 날카로운 발톱 자국 흔적이 나타나며 발가락 II와 IV 사이에 중간 정도 발달된 물갈퀴 흔적이 나타난다. 발가락 II와 III 사이의 hypex에 있는 물갈퀴가 더 발달되어 있어 비대칭적인 형태가 뚜렷하고 발자국의 폭은 약 45mm(38-51mm)이며, 발가락 I을 제외한 평균 길이는 약 33mm(28-37mm), I을 포함한 길이는 33mm(28-37mm)에 해당된다. 따라서 발가락 I의 길이는 전체 발자국의 35% 정도를 차지하고 있다.

11개의 인지된 보행렬 내에서 발가락 I을 제외한 길

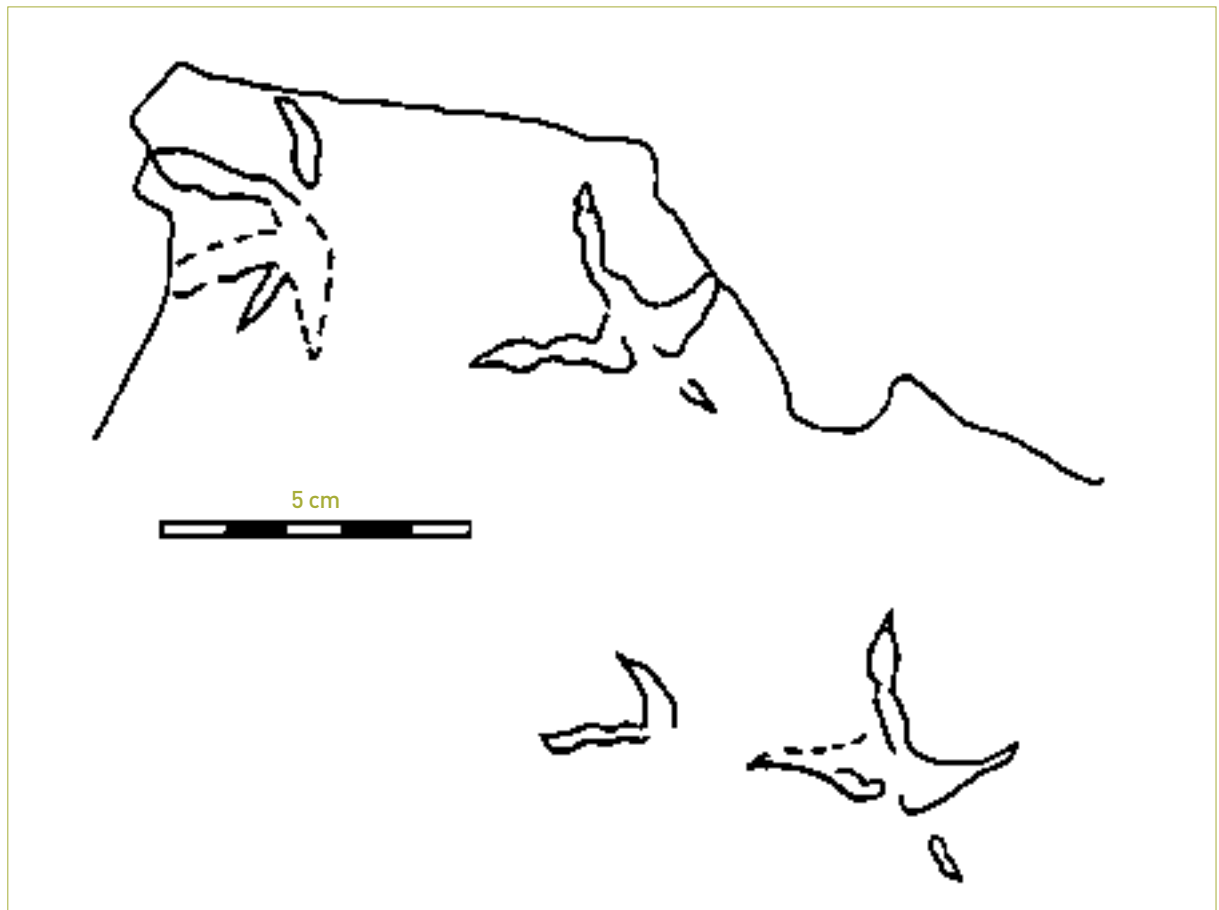


그림 12 진동층에서 산출되는 *Goseongornipes markjonesi*(Lockley et al., 2006)



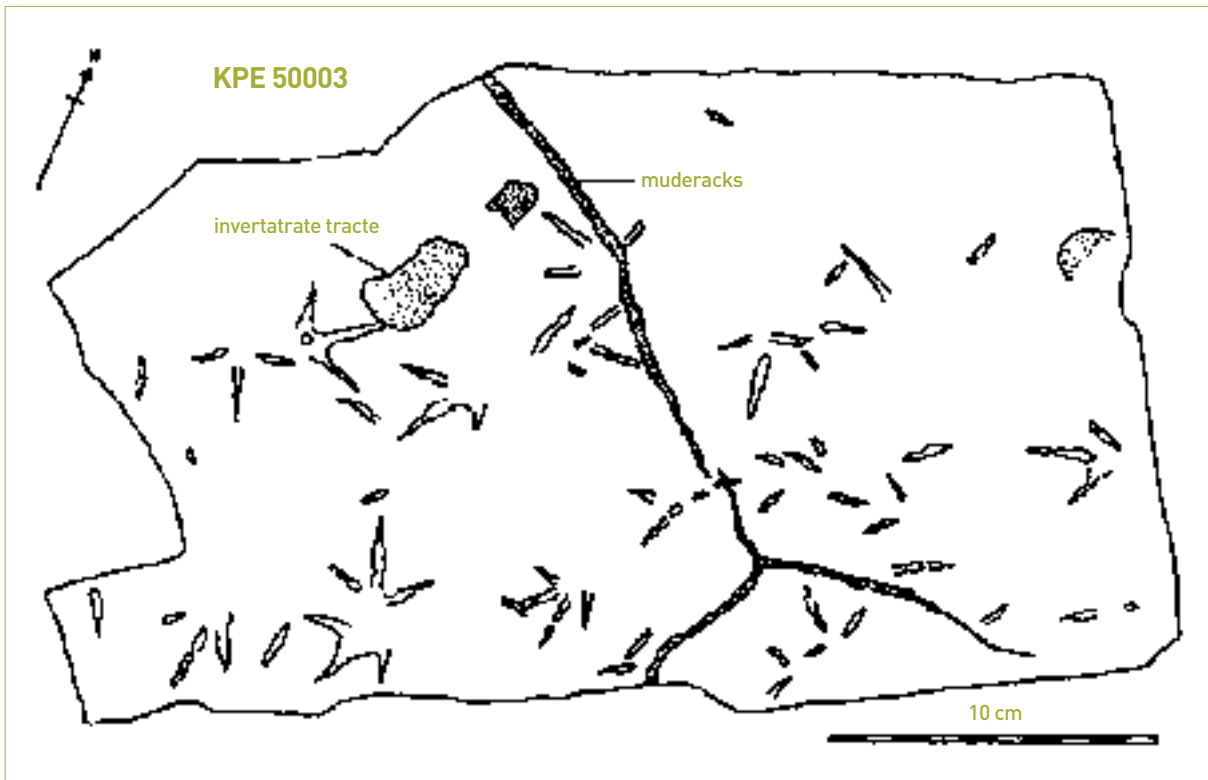


그림 13 함안층에서 산출되는 *Koreanaornis hamanensis*(Kim, 1969)



그림 14 진동층에서 산출되는 *Jindongornipes kimi* (Lockley et al., 1992)

이와 폭의 비는 약 0.73(0.64-0.78)이다. 발가락 III과 IV 사이의 평균 각은  $59^\circ$ 이다( $45-70^\circ$ ). 발가락 III은 II보다 길고 발가락 II와 IV는 약간 안쪽으로 휘어져 있거나 반듯하다. T1에서 T11까지 11개 인지된 보행렬에서 걸음 거리는 75-115mm, 보폭 거리는 158-229mm, 보행렬 폭은 21-36mm, 걸음 각은  $139-161^\circ$ 이다. 이동 속도에 따라 보폭 거리와 걸음 각은 변하므로 보행렬의 형태도 달라진다. 규칙적인 발자국은 간격을 보이거나 지그재그 형태나 일직선상의 보행렬을 보이기도 한다.

● *Goseongornipes markjonesi*(Lockley et al., 2006)

어원 : Lockley와 함께 연구한 지질학자 Mark Jones에게 경의를 표하기 위하여 그의 이름을 따서 명명함.

완모식과 부모식 : KPE 50010, KPE 50005, KPE=경북대학교 지구과학교육과.

층서와 위치 : 진동층, 고성군 하이면 덕명리.

기재 : 물떼새와 유사한 형태의 발자국으로 발가락 II와 IV 사이의 각도가 넓은 편이고( $140-150^\circ$ ), 발가락 II와 III 그리고 발가락 III과 IV 사이의 각도는  $70^\circ$  정도로 비슷하다. 2개의 완모식 표본의 폭은 4.2-4.5cm이다. 발가락 I을 포함한 길이는 4.2-4.5cm, 발가락 I을 제외한 길이는 3.0-3.5cm이다. 발가락 II는 발가락 IV보다 짧다. 발가락 I의 길이는 전체 발자국 길이의 약 22-25%를 차지한다. 발가락 III과 IV 사이에 물갈퀴 자국이 약간 나타난다. 발가락 I과 발가락 II 사이의 각은 약  $75^\circ$ 이다.

● *Koreanaornis hamanensis* (Kim, 1969)

층서와 위치: 함안층, 경상남도 함안군 칠원면.

특징 : 폭은 길이가 2.5-3.0cm로 전형적으로 작은 크기를 갖는 발자국으로 약간 비대칭적이며, 세 개의 발가락이 매우 가늘고 발가락 II와 IV 사이의 각은  $90-115^\circ$  정도이다. 발가락 I의 길이는 작고 가끔씩 흔적을 보이며 발가락 IV로부터 약  $180^\circ$  떨어져 있다. II, III과 IV에 대응하는 발가락 마디 흔적은(날카로운 발톱 자국을 제외) 2-3-4의 지관절 규칙성을 통해 찾을 수 있다. 보행렬은 명확하게 나타난다(안쪽으로 향함).

● *Jindongornipes kimi* (Lockley et al., 1992)

층서와 위치: 진동층, 경상남도 고성군 덕명리.

특징 : 발자국의 폭은 6.5-7.5cm로 중간 정도의 크기이며 4개의 가는 발가락으로 이루어져 있고 발가락 II와 IV 사이의 각도가 매우 넓다( $125-160^\circ$ ). 발가락 II는 IV보다 짧다. 다소 긴 I번 발가락은 잘 보존되어 나타나고 III번 발가락부터 약  $180^\circ$ 의 각도를 이루며 뒤로 행해 있다. 발가락 마디의 흔적은(날카로운 발톱 흔적을 제외하고) 대개 희미하지만 발가락 II, III과 IV에 대응하는 지관절의 개수는 2-3-4 정도로 추정 가능하다. 보행렬은 약간 휘어져 있으며 특히 발가락 III은 보행렬 축에 나란하게 앞을 향해 있다.

## 감사의 글

원고를 검토하고 건설적인 조언과 오류를 지적하여 주신 두 분의 심사위원에게 감사드립니다. 원고 작업에 많은 도움을 준 한국교원대학교 층서고생물학 실험실의 박미란, 정미연, 방실희 대학원생들에게 감사드립니다.



## 참 / 고 / 문 / 헌

- Alonso, R.N., Marquillas, R.A. 1986. Nueva localidad con huellas de dinosaurios y primer hallazgo de huellas de Aves en la Formacion Yacoraite (Masstrichtian) del Norte Argentini, Actas, IV Congreso Argentino de Paleontologia Biostratigrafia, Mendoza 2, pp. 33-41
- Ambroggi, R, Lapparent, A.F. de, 1954. Les empreintes des pes fossiles de Maestrichtien d'Agadir, Notes Mem. Serv. Mines Carte geol. Maroc 10, pp. 43-57
- Azuma, Y.A.Y., Tomida, Y., Currie, P.J., 2002. Early Cretaceous bird tracks from the Tetori Group, Fukui Prefecture, Japan. Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum 1, pp. 1-6
- Baek, K.S., Yang, S.Y., 1997. Preliminary report on the Cretaceous bird tracks of the Lower Haman Formation, Korea, Journal of the Geological Society of Korea 34, pp. 94-104
- Brown, R, Ferguson, J., Lawrence, M., Lees, D., 2003. Tracks and Signs of the Birds of Britain and Europe. Christopher Helm London, p. 333
- Chang, K.H., 1975. Cretaceous stratigraphy of southeast Korea, Journal of the Geological Society of Korea 11, pp. 1-23
- Chang, K.H., 1982. Upper Mesozoic strata (Cretaceous Kyongsang Supergroup), Geology of Korea and Mineral Resources. Daelim Munwha Jeongpansa, pp. 113-131
- Coria, R.A., 2002. Bird footprints from the Anacleto Formation (Late Cretaceous), Neuquen, Argentina. Ameghiniana 39, 453-463.
- Currie, P.J., 1981. Bird footprints from the Gething Formation (Aptian, Lower Cretaceous) of northeastern British Columbia, Canada, Journal of Vertebrate Paleontology 1, pp. 257-264
- Elbroch, M. and Marks, E., 2001. Bird Tracks and Sign: A Guide to North American Species. Stackpole Books, Mechanicsburg, Pennsylvania, p. 456
- Ellenberger, P., 1970. Les niveaux paleontologiques de premiere apparition des mammiferes primordiaux en Afrique Sud et leur ichnologic, 2nd Gondwana Symposium, Proceedings and Papers, pp. 343-370
- Ellenberger, P., 1972. Contribution a la classification des pistes de Vertebres du Trias: les types du Stormberg d' Afrique du Sud. I. Palaeovertebrata, Memorie Extracordinaire, Montpellier, p. 104
- Ellenberger, P., 1974. Contribution a la classification des pistes de Vertebres du Trias: les types du Stormberg d' Afrique du Sud. II. Palaeovertebrata, Memorie Extracordinaire, Montpellier, p. 141
- Kim, B.K., 1969. A study of several sole marks in the Haman Formation, Journal of the Geological Society of Korea 5 (4), pp. 243-258.
- Kim, J.Y., Kim, S.H., Kim, K.S and Lockley, M.G. 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 26, pp. 56-69
- Lim, J.D., Zhou, Z., Martin, L.D., Baek, K.S., Yang, S.Y., 2000. The oldest known tracks of web-footed birds from the Lower Cretaceous of South Korea. Naturwissenschaften 87, pp. 256-259.
- Lim, S.K., 1989. Large dinosaur footprint assemblage from the Cretaceous Jindong Formation of southern Korea. Dinosaur Tracks and Traces. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 333-336
- Lim, S.K., 1994. Preliminary report on sauropod tracksites from the Cretaceous of Korea. Gaia: Revista de Geociencias, Museu Nacional de Historia Natural, Lisbon, Portugal 10, pp. 109-117
- Lockley, M.G., 1992. The track record of Mesozoic birds: evidence and implications. Philosophical Transactions of the Royal Society of London B 336, pp. 113-134

- Lockley, M.G., 1997. Dinosaur and pterosaur tracks in the Summerville and Bluff (Jurassic) beds of eastern Utah and northeastern Arizona. *New Mexico Geological Society Guidebook, 48th Field Conference, Four Corners Region*, pp. 133-138.
- Lockley, M.G., 1998. Lower Cretaceous vertebrate tracksites of east Asia. *New Mexico Museum of Natural History and Science Bulletin* 14, pp. 135-142
- Lockley, M.G., 2003. Pterosaur swim tracks and other ichnological evidence of behavior and ecology. *Evolution and Palaeobiology of Pterosaurs*. Geological Society, London, Special Publication 217, pp. 297-313
- Lockley, M.G., Janke, P., Theisen, L., 2001a. First reports of bird and ornithopod tracks from the Lakota Formation (Early Cretaceous), Black Hills, South Dakota. In: Tanke, D., Carpenter, K. (eds.), *Mesozoic Vertebrate Life, New Research Inspired by the Paleontology of Philip J. Currie*, Indiana University Press, Bloomington, pp. 443-452
- Lockley, M.G., Wright, J.L., Langston Jr., W., West, E.S., 2001b. New pterosaur track specimens from the Late Jurassic of Oklahoma and Colorado: their paleobiological significance and regional ichnological context. *Modern Geology* 20, pp. 179-203
- Lockley, M.G., Nadon, G., Currie, P.J., 2004. A diverse dinosaur-bird footprint assemblage from the Lance Formation, Upper Cretaceous, eastern Wyoming: implications for ichnotaxonomy. *Ichnos* 11, pp. 229-249
- Lockley, M.G., Houck, K., Yang, S.-Y., Matsukawa, M., Lim, S.-K., 2006. Dinosaur-dominated footprint assemblages from the Cretaceous Jindong Formation, Hallyo Haesang National Park area, Goseong County, South Korea: evidence and implications. *Cretaceous Research* 27 (1), pp. 70-101
- Lockley, M.G., Li, R., Harris, J.D., Matsukawa, M., and Liu, M., 2007. Earliest zygodactyl bird feet: evidence from Early Cretaceous roadrunner-like tracks. *Naturwissenschaften* 94, pp. 657-665
- McCrea, R., Sarjeant, W.A.S., 2001. New ichnotaxa of bird and mammal footprints from the Lower Cretaceous (Albian) Gates Formation of Alberta. In: Tanke, D., Carpenter, K. (eds.), *Mesozoic Vertebrate Life*, Indiana University Press, Bloomington, pp. 453-478
- Mehl, M.G., 1931. Additions to the vertebrate record of the Dakota Sandstone. *American Journal of Science* 21, pp. 441-452
- Robinson, S.F., 1991. Bird and frog tracks from the Late Cretaceous Blackhawk Formation in East Central Utah. In: Chidsey, T.C. (ed.), *1991 Field Symposium*, Utah Geological Association 19, pp. 325-334
- Sarjeant, W.A.S., Langston, W., 1994. Vertebrate footprints and invertebrate traces from the Chadronian (late Eocene) of Trans-Pecos Texas. *Bulletin of Texas Memorial Museum* 36, pp. 1-86
- Tateiwa, I., 1929. Gyeongju, Yeongcheon, Daegu and Waegwan sheets. *Geological Atlas Chosen*, No. 10, Geological Survey of Chosen.
- Vidarte, C.F., 1996. Primeras huellas de Aves en el Weald de Soria, *Archaeornithopus* y nueva icnoespecie. *Estudios Geologicos* 52, pp. 63-75
- Yang, S.Y., 1982. On the dinosaur's footprints from the upper Cretaceous Gyeongsang Group, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea* 18, pp. 138-142
- Yang, S.Y., Lockley, M.G., Greben, R., Erickson, B.R., Lim, S.K., 1995. Flamingo and duck-like bird tracks from the late Cretaceous and early Tertiary evidence and implication. *Ichnos* 4, pp. 21-34
- Yang, S.Y., Lockley, M.G., Lim, S.-K., Chun, S.S., 1997. Cretaceous bird tracks in Korea. *Journal of the Paleontological Society of Korea*, Special Publication 2, pp. 33-42
- Zhang, J., Li, A., Li, M., Lockley, M.G., Bai, Z., 2006. Diverse dinosaur- pterosaur- and bird-track assemblages from the Hakou Formation, Lower Cretaceous of Gansu Province, North west China. *Cretaceous Research* 27, pp. 44-55
- Zhen, S., Zhen, B., Chen, W., 1987. Bird and dinosaur footprints from the Lower Cretaceous of Emei, Sichuan. *First International Symposium for Nonmarine Cretaceous Correlations, Abstracts*, Urumqi, China, pp 37-38
- Zhen, S., Li, J., Chen, W., Zhu, S., 1995. Dinosaur and bird footprints from the Lower Cretaceous of Emei County, Sichuan. *Memoirs of the Beijing Natural History Museum* 54, pp. 105-120.

Mun Hwa Jae Vol 42, No. 01, May 2009, pp. 40-61

Copyright ©2009, National Research Institute of Cultural Heritage

# Bird Tracks from the Gyeongsang Basin of the Korean Peninsula: A Paradise of Mesozoic Birds

Kim, Jeong Yul<sup>a</sup> · Kim, Kyung Soo<sup>b</sup> · Lim, Jong Deock<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Department of Earth Science Education, Korea National University of Education

<sup>b</sup>Department of Science Education, Chonju National University of Education

<sup>c</sup>National Research Institute of Cultural Heritage

Received : 8 December 2008 | Revised : 9 March 2009 | Accepted : 20 March 2009

## Abstract

The Cretaceous Gyeongsang Supergroup, composed of clastic sediments mostly deposited in the lacustrine and fluvial environment, is widely distributed in the southern part of the Korean Peninsula. Diverse fossils of plants, molluscs, insects, footprints of dinosaurs, pterosaurs and birds, and eggs, bones, and teeth of dinosaurs have been found from the Gyeongsang Supergroup. New types of dinosaur, pterosaur, and bird tracks recently discovered from the Gyeongsang Supergroup attract great attention from the world. Several tracksites of dinosaurs and birds were designated as Natural Monument and nationally conserved, and many efforts have given to them for nomination of UNESCO World Heritage.

*Bird tracks from the Gyeongsang Supergroup are Koreanaornis hamanensis, Jindongornipes kimi, Goseongornipes markjonesi, Ignotornis yangi, Uhangrichnus chuni, and Hwangsaniipes choughi, which correspond approximately one third of Mesozoic bird tracks recorded from the world. The Gyeongsang Basin of the Korean Peninsula yields world most diverse bird tracks which may be called a paradise of Mesozoic birds and they are important natural heritage providing significant information about evolution and paleogeographic distribution of birds.*