

화순 서유리에서 발견된 소형 수각류 공룡의 특이 보행렬

View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk

brought to you

provided by RERO D

¹전남대학교 한국공룡연구센터
²전남대학교 지구환경과학부, 한국공룡연구센터
³부경대학교 환경지질학과

요 약

전남 화순군 서유리 공룡화석지에서 지금까지 보고된 적이 없는 특이한 짧은 보행렬을 포함한 7개의 소형 수각류 보행렬이 대형 육식공룡의 보행렬과 함께 발견되었다. 이 특이한 보행렬은 대형 육식공룡 보행렬 앞에서 발견되었으며 미끌린 발자국과 부분적으로 보존된 발자국으로 구성되어 있어 다급한 상황에 처한 소형 수각류에 의해 남겨진 것으로 해석된다. 연구 지역 소형 수각류 보행렬은 골반 높이가 1 m 이하인 공룡에 의해 남겨졌는데 계산에 의하면 포식자의 위협이 느껴질 경우와 같은 제한된 경우에만 사용되는 것으로 알려진 속보 자세나 달리는 자세로 이동하였다. 함께 발견되는 대형 육식공룡 보행렬의 주인은 골반 높이가 약 2.5 m 로 이동 속도는 8.36 km/h로 계산되었다. 본 연구 층준의 공룡 보행렬들은 겹친 발자국과 진행 방향에 서로 영향을 주는 보행렬 등 생흔학적 및 퇴적학적 증거로 볼 때 동일한 시간대에 호숫가에 있던 공룡들에 의해 남겨졌을 것으로 여겨진다. 이는 이 특이 보행렬이 대형 육식공룡의 공격에 의한 영향으로 남겨 되었음을 시사하여 주는 것으로 서유리 화석지에 대한 지속적인 연구는 대형 육식공룡의 먹이 사냥 습성에 관한 정보를 제공할 수 있을 것이다.

주요어: 서유리, 특이한 수각류 보행렬, 미끌린 발자국, 속보, 달리는 자세, 대형 육식공룡 보행렬

Koo Geun Hwang, Min Huh and In Sung Paik, 2006, A unique trackway of small theropod from Seoyu-ri, Hwasun-gun, Jeollanam province. Journal of the Geological Society of Korea. v. 42, no. 1, p. 69-78

ABSTRACT: 7 small theropod trackways including a unique short trackway composed of 10 theropod footprints were discovered with a large theropod trackway from the Cretaceous lacustrine deposits at Seoyuri, Hwasun, Jeollanam-do. The unique trackway, in front of a large theropod track, consists of slipped footprints and incomplete footprints. Most of the small theropod trackways were left by dinosaurs with less than 1m in height at the hip and these dinosaurs were moving by running gait or trotting gait which are known as characteristic one commonly used when animal shows mental abstraction from carnivores. The best-preserved large theropod footprint has a maximum length of 0.63 m and calculated speed is 8.36 km/s. Ichnological and sedimentological evidences including superimposed footprints and sinuous trackways show that track-makers might be walking on the margin of lake concurrently, and appearance of a large carnivore might affect walking gaits of small theropods, although analysis of speeds and gaits suggests that a large theropod was walking such as that of Lark Quarry tracksite studied by Thulborn and Wade in 1979. On the basis of this suggestion, the unique small theropod trackway might be left by attacking of the large carnivores, and continuous studies on Seoyuri tracksite would provide useful information about the large carnivore's chasing habit for prey.

Key words: Seoyuri, unique theropod trackway, slipped footprints, trotting gait, running gait, large carnivore track

(Koo-Geun Hwang, Korea Dinosaur Research Center, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea; Min Huh, Faculty of Earth Systems and Environmental Sciences & Korea Dinosaur Research Center, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea; In Sung Paik, Department of Environmental Geosciences, Pukyong National University)

‡ Corresponding author: Tel. +82-62-530-3455, E-mail. minhuh@chonnam.ac.kr

1. 서 언

한반도의 발자국화석은 남해안에 분포하는 중생대 백악기 호수층에서 주로 발견되어 왔는데 이 중 해남과 여수, 화순, 마산, 고성 등은 발자국화석이 대단위로 산출되었으며 그 동안 공룡발자국 뿐만 아니라 익룡, 새, 절지동물 등 다양한 발자국화석이 이들 지역에서 산출되어 한반도는 세계적으로 중요한 발자국화석 산출지가 되었다(황구근 외, 2002; Hwang, 2001; Lee, et al., 2000; Huh et al., 2003, 2006; Paik, et al., 2006).

전남 화순군 공룡화석지는 1999년 5월 서유리 채석장에서 발견되었으며 Level 1층준에 대한 발굴조사가 먼저 이루어졌다. 그 후 추가 발굴조사가 수행되어 총 5개 층준(Level 1-5)에서 73개 보행렬과 약 1400여점의 다양한 공룡발자국이 발굴되고 지금까지

지 지속적인 연구가 현재까지 이루어지고 있다(Fig. 1). 그 결과 5개 층준에 대한 공룡발자국의 기재와 특징이 보고되었고 퇴적층은 호수 연변부의 이질 내지 사질평원에서 얇은 수심의 호저에서 퇴적된 것으로 해석되었다(허민 외, 1999, 2001, 2003; Huh et al., 2006).

본 연구 대상의 보행렬은 공룡발자국 함유층준 중 가장 하부 층인 Level 1 층준에 포함되어 있다(Fig. 2). 이 Level 1층에는 140 mm 에서 63 mm 범위의 발자국 길이를 갖는 다양한 수각류 발자국 138개와 용각류 발자국 6개가 다른 화석들과 함께 산출된다. Thulborn (1990)은 수각류 발자국을 길이 250 mm 를 기준으로 구분해 골반높이를 계산하였는데 이에 따르면 Level 1의 수각류 발자국들은 대형 수각류의 발자국이 1개이고 나머지는 소형 수각류에 해당하는 발자국들이다(Table 1, Fig. 3). 이러한 수각류발자국

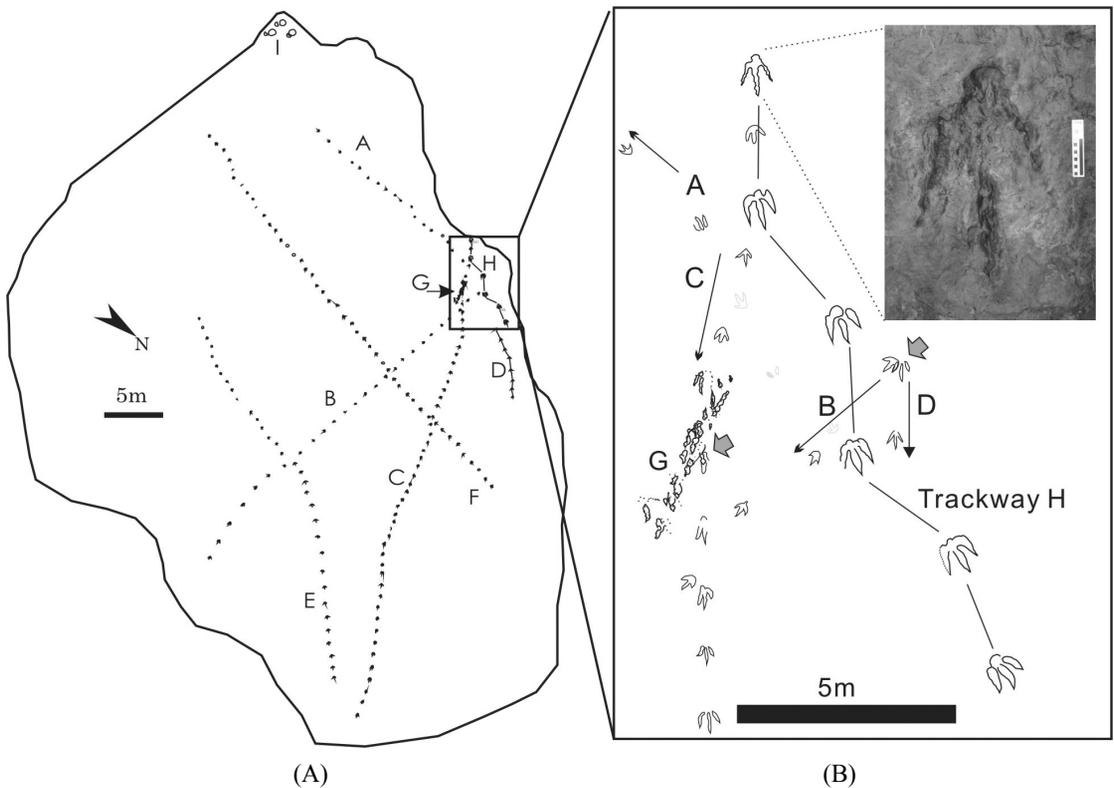


Fig. 1. Drawing map showing the trackways of Level 1 tracksite (modified after Huh et al., 2001). (A) Drawing map of Level 1 tracksite. (B) Detailed map of Carnivorous (H) and prey dinosaur(G) trackway in Level 1 (Two bold Arrows indicate superimposed footprints).

의 다량 산출은 그 동안 한반도에서 조각류나 용각류에 비해 드물게 발견되던 수각류 발자국의 대규모 집산지가 발견되었다는 의미를 갖는 동시에 수각류 발

자국의 밀도가 높아 수각류 공룡의 보행특성에 중요한 정보를 제공할 중요한 지역으로 평가되고 있다. 특히, 이곳에서 산출되는 수각류 보행렬들이 속보나

Table 1. Estimated values of trackways from Level 1 calculated by Alexander method (1976).
* relative stride lengths (stride length/hip height)

Trackways	Foot lengths (m)	Foot depths (cm)	Stride lengths (m)	Hip heights (m)	Relative stride lengths	Velocities (km/h)
A	0.21	0.8	2.11	0.84	2.51	12.02
B	0.22	1.1	2.91	0.88	3.30	19.45
C	0.20	1.0	1.83	0.80	2.29	10.03
D	0.19	0.7	2.06	0.76	2.71	11.95
E	0.19	0.9	2.03	0.74	2.75	13.11
F	0.23	0.8	1.89	0.90	2.11	9.27
H	0.63	2.5	3.67	2.52	1.45	8.36

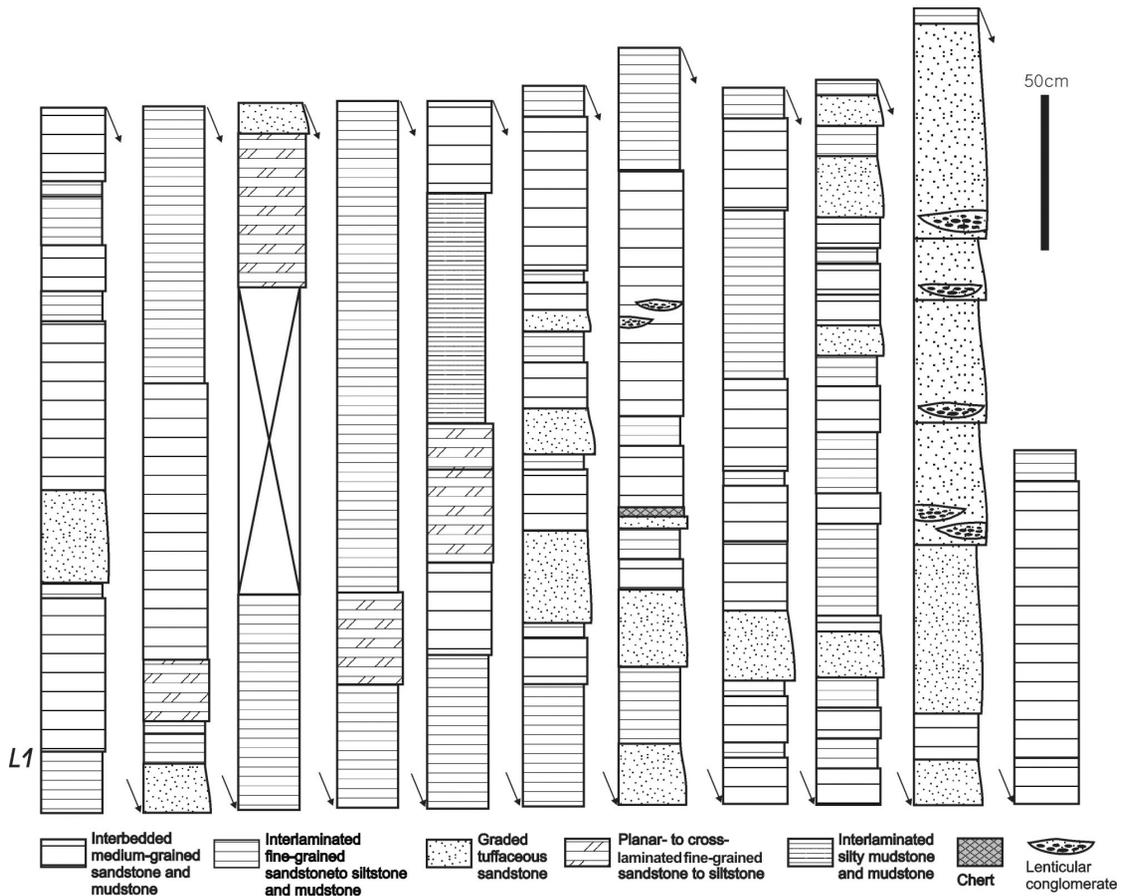


Fig. 2. Stratigraphic sections of the study area.

달리는 자세로 이동하던 공룡이 남긴 것으로 계산되어 원인 규명을 위한 지속적인 연구가 요구되고 있다(허민 외, 2001).

한편, 최근에 이 Level 1 층준에서 새로운 보행렬이 발견되었는데 이 보행렬을 구성하는 대부분의 발자국들은 미끌리거나 흔들리는 형태의 것들로 불안정한 보행에 의한 것들이다(Fig. 1, 4). 이러한 보행렬은 지금까지 보고된 적이 없는 것으로 이 연구에서는 이 보행렬을 추가 기재하고 이 보행렬이 남겨지게 된 과정을 토의하여, Level 1의 보행렬을 남긴 소형수각류의 속보 원인을 제시하고자 한다.

2. 연구 지역

화석지가 위치하는 화순 북면지역은 지구구조적으로 옥천습곡대와 영남육괴 지리산지구의 서남대 및 경상분지가 접하는 지역으로 광주-영동 함몰대의 일부인 능주-해남분지의 능주분지에 해당한다. 서유리 공룡화석지의 퇴적층은 능주분지 내에 퇴적된 중생대 백악기 시대의 장동응회암으로 남북방향의 대상으로 분포를 보이고 있다(김봉균 · 박병권, 1966). 연구 지역의 주향과 경사는 N30-40E, 20-30SW이고 남서쪽은 응회암이 잘 발달하고 북동쪽으로 갈수록 흑색셰일 및 세립질 사암이 우세해진다. 화석지에 분포하는 퇴적층에는 층리의 연장성이 좋은 세립사암 내지 실트스톤과 이암의 호층 내지 호엽층 암상이 우세하게 발달되어 있으며, 이 퇴적층에는 10 내지 50 cm 내외 두께의 조립 내지 세립사암이 간헐적으로 협재하고, 일부 층준에서는 역암층이 나타난다(Fig. 2).

공룡 발자국화석층은 대부분 회색내지 암회색의 세립사암 내지 실트스톤과 이암의 호층 암상으로 진동층에 발달한 발자국화석층과 유사한 양상을 보인다(황구근 외, 2002, 2004). 이 암상에서는 건열구조, 증발암 캐스트, 파랑구조 등이 관찰되는데 이는 당시 퇴적환경이 건조한 호수연변부의 이질평원이었음을 지시해 준다. 그러나 본 연구대상인 특이한 보행렬이 발견되는 Level 1에서는 다른 공룡 발자국층준과 달리 건열과 연흔구조 등과 같은 퇴적구조가 관찰되지 않는다.

K-Ar 절대연령 측정에 의해 화석층준 하부의 안산암은 81.4 ± 1.6 Ma로 측정되었으며, 장동응회암을 부정합으로 덮고 있는 무등산 안산암은 76.7 ± 1.7 Ma로 측정되었다(허민 외, 2001). 이는 서유리 화석지의 퇴적층이 백악기 후기임을 지시하여 준다. 한편 서유리 화석지의 다수의 층준에서 공룡발자국화석들이 산출됨은 이 시기에 다수의 공룡들이 오랜 시간에 걸쳐 서유리 화석지에 서식하였음을 시사하여 준다.

3. 보행렬

3.1 Level 1층준 공룡발자국 보행렬 배열

Level 1에서 용각류 보행렬 1개와 7개의 수각류 보행렬이 발견되었다(Fig. 1). 이 중 보행렬 H는 화석지의 북서쪽에 존재하며 최대 발자국 길이가 0.63 m로 동일 층준에서 가장 큰 대형 육식공룡의 것이다. 수각류 보행렬 중 4개의 보행렬 A, B, C, D는 이 대형 수각류 보행렬에서 방사상으로 멀어지는 방향으로 배열되어 있고 보행렬 E와 F는 남서쪽에서 북동

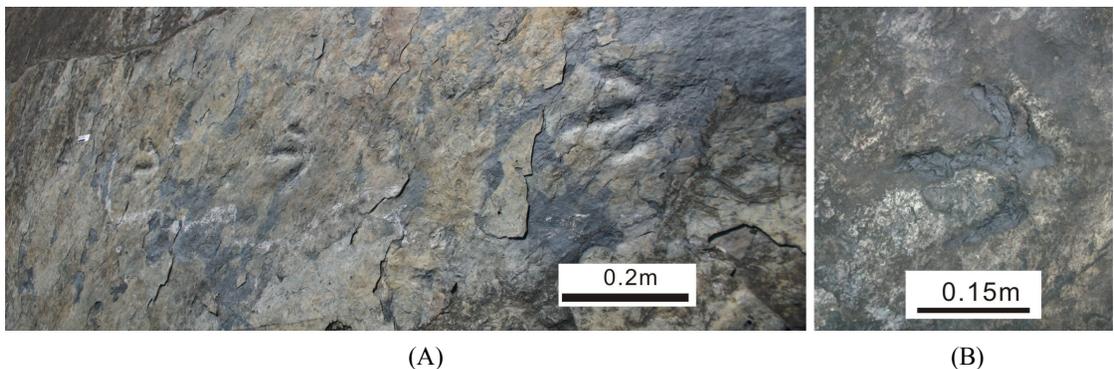


Fig. 3. Photographs of small theropod footprints from Seoyuri tracksite. (A) trackway C, (B) a footprint of trackway B.

쪽으로 화석지를 가로지르며 진행한다. 대형 수각류가 북동쪽으로 진행하며 남긴 보행렬 H는 6개의 발자국으로 구성 되는 짧은 보행렬로 2번째 발자국에서 북쪽으로 진행방향을 15°바꾼다(Fig. 1b). Alexander (1976)가 제안한 상대적 보폭길이(stride length/ hip height)에 따르면 Level 1의 보행렬 중 보행렬 H를 제외한 모든 보행렬의 값이 2 보다 크게 나와 속보(trott)나 달리는 자세로 계산되었다. Thulborn (1990)의 제안에 따르면 달리는 수각류에 의해 남겨진 것은 상대적 보폭길이의 평균값이 3.3인 보행렬 B의 하나이지만 보행렬 D와 E의 일부분에서도 2.9이상의 값을 보여주어 이 소형 수각류가 속보와 달리는 자세를 교대로 취했음을 보여 준다(Fig. 5, Table 1). 매우 좁은 보폭을 가지는 보행렬 G는 대형 육식공룡의 보행렬 앞에서 C와 교차한다(Figure 1).

3.2 보행렬 H의 기재(Fig. 1B)

보행렬 H는 화석지의 가장 북서쪽 가장자리에 있으며 날카로운 발톱흔적을 갖는 6개의 발자국으로

구성되어 있어 육식공룡 발자국의 특징을 보여준다. 구성 발자국들은 1번 발자국을 제외하고는 모두 뒷꿈치가 찍히지 않았고 발가락 자국은 깊게 찍혔다. 보행렬의 진행방향이 두 번째 발자국에서 북쪽 방향으로 15° 전환하였으며 세 번째와 네 번째 발자국 앞에 보행렬 G가 존재한다. 구성 발자국 중 1번 발자국이 가장 잘 보존되어 있는데 이 발자국의 길이는 0.63 m이고 큰 보폭(stride)은 평균 3.67 m로 Alexander (1976)의 경험식에 따라 골반까지의 높이를 계산하면 약 2.52 m이다. 따라서 이 공룡의 ‘상대적 보폭길이(stride length/hip height)’는 2이하로 걷는 자세로 이동하고 있었던 것으로 계산되었다. 발자국 주인 공의 이동속도는 Alexander (1976)가 주장한 방법에 따르면 8.36 km/h 로 계산되었다.

3.3 보행렬 G의 기재(Fig. 4)

미끌린 흔적이 있거나 일부만 보존되는 발자국10개로 구성되며 매우 짧은 보폭을 보인다. 보행렬의 길이는 2.25 m로 동일 층준의 다른 수각류 보행렬들

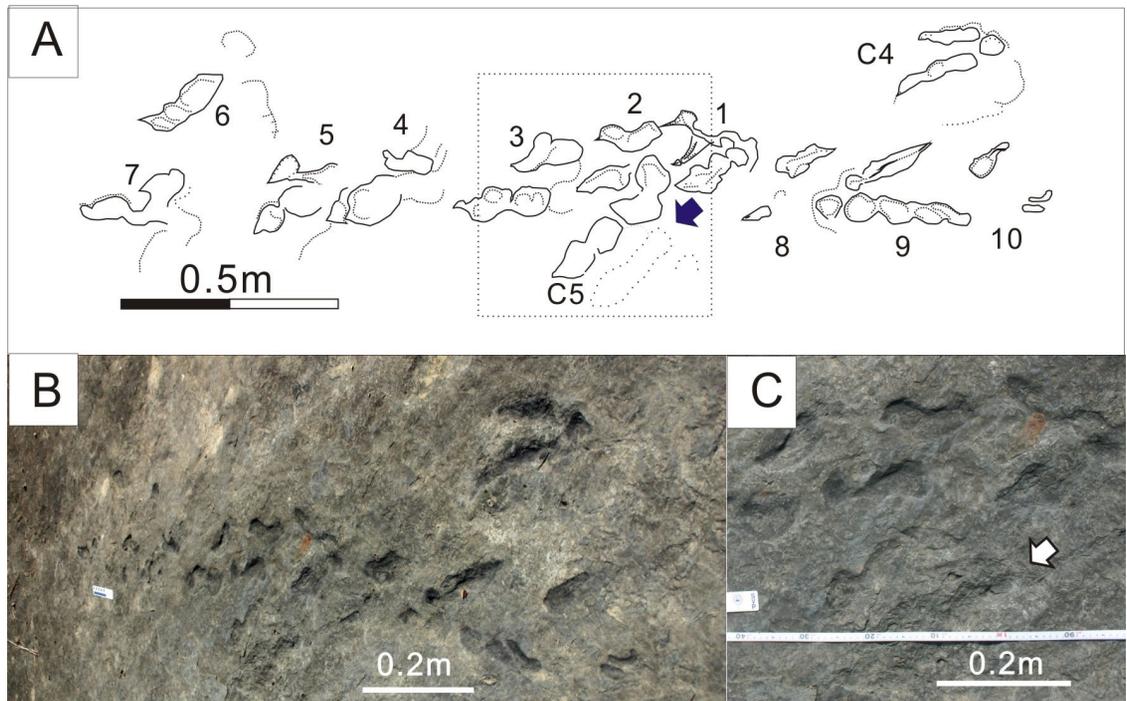


Fig. 4. Detailed map (A) and photographs (B) of trackway G made by a puzzled small dinosaur. Photo C shows that a footprint of the trackway G superimposed on one of the trackway C.

이 연장성이 좋은 것에 비하면 매우 짧다.

발자국 1번은 2개의 발가락만이 찍혀 있다. III번 발가락이 깊게 찍히고 오른쪽 발가락은 오른쪽으로 미끄러지면서 2회 찍혔다. 발자국 2번과 3번은 매우 짧은 0.3 m의 보폭으로 날카로운 발톱이 미끄러지며 발가락의 앞부분 둘째마디까지 찍혔다. 발자국 4, 5번은 앞으로 미끄러지면서 날카로운 발톱이 깊게 찍혀 III번 발가락이 깊게 보존되었다. 이 중 4번의 III번 발가락은 발톱부분이 두 차례 겹쳐 찍혔다. 두 발자국 모두 발가락 첫째마디까지 찍혔다. 발자국 6번은 왼쪽 발가락이 심하게 밖으로 미끄러지고 오른쪽 발가락은 찍히지 않았다. 7번 발자국은 발가락 III 번이 굽혀진 상태로 찍히고 나머지 발가락은 매우 짧게 찍혔다. 8년부터 10번 발자국은 방향이 반대로 찍혀있는데 8번의 경우는 특이하게 I번 발가락의 발톱이 발자국 뒤쪽으로 선명하게 찍혀 수각류의 특징을 잘 보여준다. 9번 발자국은 오른쪽 발가락이 찍히지 않았으나 나머지 2개의 발가락은 잘 보존되어 있다. 10번은 2개의 발가락이 발톱부분만 찍혀 있다. 이들 8, 9, 10번 발자국은 서고 겹치는 위치에 찍혀 있어 같은 발의 발자국일 수도 있으나 확실치 않다. 구성 발자국들은 형태와 배열이 불규칙하여 발자국의 좌, 우 구분이 불가능하다.

발자국 1번- 7번과 8-10번의 진행방향이 서로 달라 이들 발자국이 서로 다른 공룡에 의해 남겨진 것으로 보일 수 있지만(Fig. 4) 보행렬 주변에 연결되는 어떠한 발자국도 없고 모두가 보행렬 G와 동일 선상

에 있을 뿐 아니라 미끄러진 흔적으로 발가락 자국이 두꺼워지거나 발톱 흔적만 보존되는 등 보행렬 G의 다른 발자국과 특징이 유사해 동일 주인공의 것으로 해석된다.

보행렬 C의 네 번째와 다섯 번째 발자국 사이에 1.1 m 떨어져 위치하고 보행렬 G의 두 번째 발자국과 보행렬 C의 다섯 번째 발자국이 겹쳐 찍혔다.

4. 토 의

지금까지 공룡의 크기를 나타내는 방법은 지면에서 골반까지의 높이를 계산하는 방법으로 Alexander (1976)와 Thulborn (1990)이 제안한 2가지가 있다. 이 두 가지 방법을 보행렬 A, B, C, D, E, F에 적용해 보면 Thulborn의 계산방법을 사용했을 때 다소 크게 나와 이를 기초로 상대적 보폭 길이(relative stride length: stride/hip height)를 구하면 보행렬 F의 평균값이 2 이하로 걸어가는 속도로 계산된다(Fig. 5). 그러나 이 보행렬도 속도가 빠른 부분에서는 상대적 보폭길이가 2 이상으로 속보에 해당하는 값을 보여 Level 1의 소형 수각류 보행렬은 모두 빠른 속도로 이동하는 공룡에 의해 남겨진 것으로 해석된다.

그 동안 달리는 공룡이 남긴 보행렬들은 드물게 발견되었는데(Thulborn, 1990), 지금까지 발견된 달리는 보행렬은 Queensland의 Lark Quarry (Thulborn and Wade, 1979)와 Texas의 백악기 화석지(Farlow,

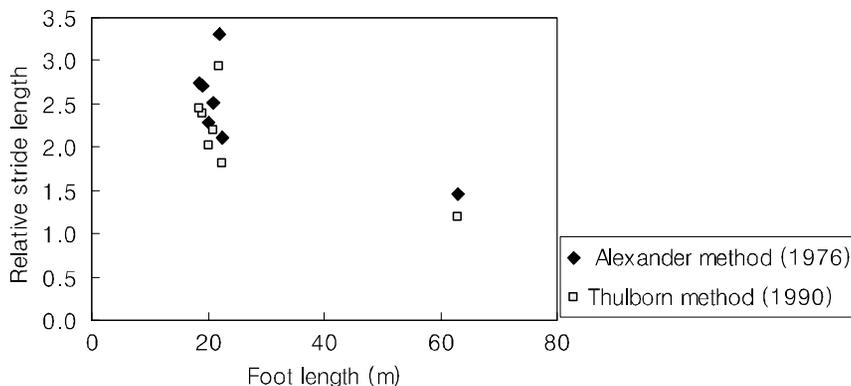


Fig. 5. Scatter diagram showing the relationship between relative stride lengths (stride length/hip height) and foot length. The values of relative stride length calculated by Alexander method (1976) are higher than ones of Thulborn method (1990).

1981) 두 곳이다. 그러나 Thulborn (1990)은 여러 화석지의 통계분석을 통하여 달리는 자세로 남겨지는 보행렬보다 더 제한적으로 발견되는 것은 상대적 보폭길이가 2와 3사이인 속보로 이동할 때 남겨지는 보행렬이고 그 빈도가 매우 낮음을 보여주었다. 그럼에도 불구하고 서유리 화석지의 Level 1에서 처럼 높은 비율로 속보에 해당하는 보행렬이 발견되는 것은 매우 예외적인 경우이다. 더구나 정상적인 보행자세로 남길 수 없는 보행렬 G가 대형 육식공룡의 보행렬 옆에서 추가로 발견됨으로써 연구지역 Level 1의 보행렬 주인들에 대한 특별한 환경이 있었음을 말해준다.

Thulborn (1990)은 이 속보 자세를 포식자의 위협을 받는 등과 같은 제한적인 경우에 취하는 전형적인 자세라고 주장하였는데 이러한 주장을 Level 1에 적용하면, 보행렬 H의 주인인 대형 육식공룡은 Level 1에 보행렬을 남긴 소형 수각류들을 위협하는 후보가 되고 보행렬 G는 직접 이 육식공룡의 공격을 받은 흔적이 된다. 그러나 이러한 가설에 앞서 몇 가지 고려할 사항이 있다.

먼저 공격하는 육식공룡이 남긴 보행렬 H의 속도가 걷는 속도라는 점이다. 대형 수각류는 해부학적으로도 달리기 어려운 구조를 가지고 있어 먹이가 있더라도 달리지 못할 것으로 알려져 있는데(Hutchinson and Garcia, 2002), 이러한 예를 보여주는 화석지로는 Lark Quarry의 화석지가 유일하다(Thulborn and Wade, 1979). 이 화석지와 비교해 보면 서유리의 보행렬 H가 소형 수각류들을 위협하기에 충분한 속도임을 알 수 있다. Lark Quarry에서 발견된 육식공룡의 발자국 길이와 큰 보폭은 각각 0.64 m, 3.66 m 이고 보행렬에서 계산된 이동속도는 8.17 km/h 였다. 따라서 이 보행렬이 상대적 보폭길이가 1.43으로 걷는 속도임을 보여주지만 Thulborn과 Wade (1979)는 이 보행렬이 소형 수각류를 공격하는 육식공룡에 의해 남겨졌고, 이에 따라 이 속도가 먹이를 공격하기 위해 접근하는 속도라고 보고하였다. 이와 비교될 서유리 보행렬 H는 발자국 길이가 0.63 m로 Lark Quarry의 이 육식공룡과 그 크기가 거의 비슷할 뿐 아니라 이동속도 역시 8.36 km/h로 매우 유사하다. 따라서 Thulborn과 Wade (1979)의 주장을 따른다면, 서유리 Level 1의 보행렬 H 발자국 주인의 접근이 소형 수각류들을 위협하기에는 충분한 것으로 여겨진다.

또 다른 고려 사항은 Level 1의 보행렬들이 동시에 이동하는 공룡들에 의해 남겨졌느냐 하는 것이다. 생존 당시를 목격하지 않는 이상 보행렬의 동시성을 정확하게 말하기 힘들 것이다. 그러나, 퇴적물의 노출 이후에 발자국이 남을 수 있는 시간은 짧은 것으로 알려져 있고(Lockley, 1986) 더욱이 서유리 화석지처럼 크기와 형태가 유사한 발자국들이 비슷한 깊이로 동일 층준에 남겨지는 경우는 그 시간 간격이 더욱 좁아진다(Table 1). 한편 무리지어 이동하는 보행렬을 산출하는 진동층이 고토양을 함유하고 있는 반면 서유리 Level 1의 이암층은 고토양을 함유하고 있지 않다. 이는 서유리 퇴적층의 노출시간이 진동층보다 더 짧다는 것을 시사하여 주는 것으로, Level 1에 보행렬들을 남긴 수각류들의 이동시간 간격은 짧았음을 시사하여 준다. 그러나 보행렬 H를 남긴 큰 육식공룡이 나머지 소형 육식공룡들의 이동에 영향을 주고 보행렬 G는 그 공격을 받았다고 설명하기 위해서는 다음과 같은 추가적인 증거가 더 필요하다.

Thulborn과 Wade (1979)는 Lark Quarry 화석지에서 보행렬이 서로 겹치는 발자국을 근거로 이들이 동시에 이동했다고 주장하였다. 서유리 화석지는 발자국의 밀도가 낮아 Lark Quarry의 경우처럼 서로 겹치는 발자국을 다수 발견하는 것은 불가능하지만 두 곳에서 이러한 발자국이 발견되었다. 이 발자국들은 B 보행렬과 D 보행렬의 겹치는 발자국(Fig. 1B; 허 외, 2001)과 보행렬 G와 C의 겹치는 발자국(Fig. 1B, 4)들인데 겹친 발자국들의 깊이도 유사하다. 이는 두 보행렬들을 남긴 수각류들이 동시에 이동했거나 그 이동 시간 간격이 매우 좁았음을 의미한다. 다른 증거로는 보행렬 F와 나란히 진행하던 E 보행렬이 동쪽으로 진행하던 C의 영향을 받아 진행 경로가 각각 동쪽과 북쪽으로 바뀌어 서로 영향을 주며 진행함을 보여주는 것인데(Fig. 1A), 이러한 방향 전환은 무리이동에서 쉽게 볼 수 있는 현상으로 동시 이동의 좋은 증거이다. 이러한 예로 Currie (1983)는 무리지어 이동하던 조각류가 서로 영향을 주어 이동 방향을 바꾸었다고 Canada의 Peace River Canyon에 서술한 바 있으며, 용각류의 무리이동이 보고된 도천리 화석지에서도 이러한 방향 전환을 볼 수 있다(황구근 외, 2004). 따라서 진행 방향에 서로 영향을 주는 보행렬 C와 E는 동시에 이동하던 수각류에 의해 남겨진 것으로 보이며, 만일 보행렬 E와 F도 간격을 맞

추어 이동하던 공룡들이었다면 이들도 동시 이동 가능성이 있다. 이와 같은 증거들은 7개의 소형 수각류 보행렬 중 최소한 5개의 보행렬이 동시에 남겨졌다는 것을 말해 주며, 이에 따라 이들 소형 수각류들이 속보를 취한 이유도 같았을 것으로 여겨진다. 보행렬 A의 경우만 이와 같은 추가적인 증거가 없었으나 보행렬 A 역시 매우 드물게 발견되는 속보로 이동하는 소형 수각류의 보행렬이고 남겨진 발자국 깊이도 다른 보행렬과 유사하므로 동일한 시기에 남겨졌을 가능성이 있다.

또 다른 문제는 최근에 발견된 길이 2.3 m의 짧은 보행렬 G의 형성 과정에 관한 것이다(Fig. 4). 매우 다급한 상황에 처해 있던 수각류가 남긴 보행렬 G는 대형 육식공룡이 주는 심리적 불안감을 잘 보여주는 좋은 흔적이라고 여겨진다. 보행렬 G는 전술한 바와 같이 보행렬 C와 보행렬 G가 겹쳐 찍혀 있으므로 대형 육식공룡의 출현은 보행렬 G를 남긴 공룡에도 영향을 주었을 것으로 보인다. 따라서 이러한 보행렬 G의 형성 과정에는 두 가지 가능성이 있을 수 있다. 즉, 소형 수각류가 긴 보행렬을 남기며 지나갔지만 일부만 보존되었을 가능성과 소형 수각류가 짧은 보행렬만 남겼을 가능성이다. 먼저, 보행렬의 일부분만 보존되어 남은 것이라면 보행렬이 보존된 부분이 주변에 비해 물이 고여 함수율이 높았다거나, 다른 부분은 퇴적물의 수분함량이 적어 발자국이 거의 찍히지 않거나 약하게 찍혀 발자국이 찍힌 후에 유수의 작용에 의해 지워지는 경우일 것이다. 하지만 근처의 보행렬 C나 B가 연장성이 좋게 잘 보존되어 보행렬 G만이 일부만 보존될 가능성은 없어 보인다. 또한, 박층의 퇴적층인 Level 1은 그 표면이 서유리의 다른 화석층과 달리 그 표면에 건열도 발견되지 않는 매우 매끄러운 표면으로 뚜렷한 깊이 변화나 함수율의 변화를 보여주는 퇴적구조가 관찰되지 않는다. 따라서 보행렬 G는 본래 짧은 보행렬로 소형 수각류가 심한 발동작을 한 후에 갑자기 사라진 것으로 보인다. 이는 보행렬 G가 바로 앞에서 발견된 보행렬 H의 주인인 대형 수각류의 공격을 받아 잡혀가는 것을 의미하는 것으로 매우 흥미로운 기록이다. 이러한 가능성을 높이기 위해서 대형 육식공룡의 소형 수각류에 대한 공격성을 증명할 추가적인 생흔학적 및 생물학적 증거가 더 필요하지만 현재로서는 보행렬 G의 형성 과정을 설명할 다른 증거는 없다.

먹이를 공격하는 보행렬로 잘 알려진 것은 텍사스의 Dinosaur State Park에서 발견된 두 보행렬이다(Farlow *et al.*, 1989). 이 곳은 16개의 발자국으로 구성된 용각류 보행렬과 12개의 발자국으로 구성된 수각류 보행렬이 나란하게 산출된 화석지로, 이 보행렬의 배열을 두고 논란이 있었다(Lockley, 1991; Farlow *et al.*, 1989). 이 화석지의 용각류와 수각류의 보행렬은 보폭의 변화(속도변화)가 없을 뿐 아니라 보행렬 앞쪽에서는 이 수각류의 보행렬이 용각류의 보행렬을 지나쳐 버린 상태로 나타난다. 따라서 이 수각류는 용각류를 공격하지 않았고 서로 보행렬을 남긴 시간이 달랐을 것으로 해석되었다(Lockley, 1991). 또 다른 화석지로는 전술한 바와 같이 오스트레일리아의 Lark Quarry가 있다(Thulborn and Wade, 1979). 이 화석지는 백악기 호성 이암층으로 이 화석지에서 3300개의 보행렬이 발견되었는데 대부분의 발자국이 골반높이 1 m를 넘지 않은 작은 수각류의 발자국 이었고 이 중 1개의 보행렬만이 골반 높이가 2.56 m의 1개의 대형 육식공룡에 의한 것이었다. Thulborn과 Wade (1979)는 이 대형 육식공룡이 8.17 km/h의 속도로 접근함에 따라 작은 수각류들이 무리지어 도피한 결과 남겨진 발자국으로 해석하였으며, 이에 따라 이 화석지는 포식자와 피식자의 빠른 이동을 보여주는 화석지로는 현재까지 유일하게 보고된 곳이다. 이 화석지 퇴적층의 지질시대와 구성 발자국의 크기, 접근하는 대형 육식공룡의 속도 등은 서유리 Level 1의 양상과 유사하다. 그러나 Lark Quarry의 소형 수각류는 대부분 metapodium이 없고 상대적 보폭길이가 2와 3사이로 달리는 자세였던 반면, 서유리 Level 1의 경우는 발의 뒤꿈치까지 보존된 경우가 많고 보행렬 B를 제외한 상대적 보폭길이가 2.9 이하로 대부분 속보의 형태를 보여 차이가 있다(Fig. 3, Table 1). 이 두 지역에서 피식자로 보이는 소형 수각류의 속도의 차이는 공격하는 대형 육식공룡의 접근방법에 차이가 있기 때문으로 보인다. Lark Quarry의 경우는 대형 육식공룡이 도망가는 수각류와 같은 방향으로 추적하여 이들이 더 빠른 속도로 도망가야 했지만, 서유리 Level 1의 경우는 대형 육식공룡의 접근 방향이 소형 육식공룡의 진행 방향과 다르게 나타난다. 따라서 서유리의 대형 육식공룡은 Lark Quarry와 달리 소형 수각류를 향한 은밀한 접근이 있었던 것으로 여겨진다.

서유리에서 발견된 보행렬 G와 같은 형태는 Lark Quarry에서도 발견되지 않아 이 같은 보행렬은 현재까지 서유리 화석지가 유일하다. 만일 보행렬 G가 피식자의 보행렬이라면 Lark Quarry의 대형 육식공룡은 먹이사냥에 실패하고 서유리의 육식공룡은 성공한 것이 된다. Lark Quarry의 육식공룡 보행렬도 오른쪽으로 방향을 갑자기 꺾은 후 끝나기 때문에 그 후에 먹이사냥을 성공했을 것이라고 추측할 수도 있으나 그 이후의 퇴적층이 침식되어 확인할 수 없었다 (Thulborn and Wade, 1979). 따라서 서유리의 화석지에 대한 연구가 지속된다면 Lark Quarry의 대형 육식공룡이 먹이를 추적하는 장면에 이어지는 먹이 사냥 장면을 제공함으로써 백악기에 생존했던 *Tyranosaurus*와 같은 대형 육식공룡들의 먹이 사냥습성에 관한 중요한 정보를 제공할 수 있을 것이다.

5. 결론

1. 화순군 서유리 Level 1 층준에서 그 동안 매우 제한적으로 발견되었던 속보자세로 이동한 소형 수각류의 보행렬이 집중 발견되었다.
2. 다급한 상황에 처한 소형 수각류가 빠른 발놀림으로 남긴 것으로 보이는 미끄러진 발자국으로 구성된 짧은 보행렬이 대형 육식공룡의 보행렬 앞에 기록되어 있다.
3. 보행렬의 배열과 퇴적학적 증거들은 소형 수각류들과 대형 육식공룡이 거의 동일한 시간에 호숫가를 이동하였음을 지시하여 주며, 그 당시 대형 육식공룡의 접근이 소형 육식공룡을 자극하여 속보와 달리는 자세를 취하도록 한 것으로 해석된다.
4. 다급한 상황에 처한 소형 수각류의 보행렬이 대형 육식공룡에 영향을 받은 것이라면 서유리 Level 1 층준에 대한 추가적인 연구를 통해 대형 육식공룡의 먹이사냥습성에 매우 유용한 정보가 제공될 수 있을 것이다.

사 사

본 연구를 위해 야외 조사에 도움을 준 한국공룡 연구센터 박세건 연구원에게 고마움을 전한다. 본 연구는 2004년도 한국학술진흥재단 기초과학연구비와 한국과학재단 특정기초연구비(R01-2005-000-10060-0)

의 부분적인 지원에 의해 이루어졌으며, 이에 감사드린다. 이 논문의 심사과정에서 세심한 지적으로 논문의 질을 높여주신 경북대 양승영 명예교수님과 교원대 김정률 교수님께 감사를 표한다.

참고문헌

김봉균, 박병권, 1966, 한국지질도(1:50,000), 동북도폭 및 설명서, 국립지질조사소, 47p.

허민, 백인성, 황구근, 1999, 화순 공룡화석지 기초학술조사 보고서. 전남대학교 공룡연구소, 75p.

허민, 백인성, 김정식, 고영구, 김정빈, 정철환, 2001, 화순 공룡화석지 종합학술연구. 전남대학교 공룡연구소, 229 p.

허민, 백인성, 정철환, 황구근, 김보성, 2003, 전남 화순군 서유리에서 산출된 수각류 공룡발자국: 산상 및 고생물학적 의의. 지질학회지, 39(4), 461-478.

황구근, 허민, 백인성, 2002, 마산시 호계리 부근의 백악기 진동층에서 산출된 용각류 공룡발자국화석, 지질학회지, 38(3), 361-375.

황구근, 허민, 백인성, 2004, 경상남도 창녕군 도천리의 백악기 진동층에서 산출된 용각류 공룡의 보행렬, 지질학회지, 40(2), 145-159.

Alexander, R. M., 1976, Estimates of the speeds of dinosaurs. Nature, 261, 129-130.

Currie, P. J., 1983, Hadrosaur trackways from the Lower Cretaceous of Canada. Acta Palaeontologica Polonica, 28, 63-73.

Farlow, J. O., 1981. Estimate of dinosaur speeds from a new trackway site in Texa. Nature, 294, 747-748.

Farlow, J. O., Pittman, J. G., and Hawthorne, M., 1989, *Brotopodus birdi* Lower Cretaceous sauropod footprints from the U.S. Gulf coastal plain. In: Gillette, D. D., and Lockley, M. G. (eds.), Dinosaur tracks and trace. Cambridge University Press, New York, 371-394.

Huh, M., Hwang, K. G., Paik, I. S., Chung, C. H. and Kim, B. S., 2003, Dinosaur tracks from the Cretaceous of South Korea: Distribution, occurrence and paleobiological significance. The Island Arc, 12, 132-144.

Huh, M., Paik, I. S., Lockley, M. G., Hwang, K. G. and Kwak, S. K., 2006, Well-preserved theropod tracks from the Upper Cretaceous of Hwasun County, Southwestern Korea and their paleobiological implications. Cretaceous Research, 27, 114-130.

Hutchinson, J. R. and Garcla, M., 2002, *Tyannosaurs* was not a fast runner. Nature, 415(28), 1018-1021.

Hwang, K. G., 2001, Pterosaur and dinosaur tracks from the Late Cretaceous Uhangri Formation, Haenam, SW Korea. Ph.D. Thesis. Chonnam National University, Gwangju, Korea, 182 p.

- Lee, Y. N., Yang, S. Y., Seo, S. J., Baek, K. S., Yi, M. S., Lee, D. J., Park, E. J. and Han, S. W., 2000, Distribution and paleobiological significance of dinosaur tracks from the Jindong Formation (Albian) in Kosong County, Korea. In: Lee, Y. N. (eds.), 2000 International Dinosaur Symposium for Kosong County in Korea. Journal of the Paleontological Society of Korea, Special Publication 4, 1-12.
- Lockley, M. G. 1986, The paleobiological and paleoenvironmental importance of dinosaur footprints. *Palaios* 1, 37-47.
- Lockley, M. G., 1991, *Tracking dinosaurs*. Cambridge University Press, New York, 238 p.
- Paik, I. S., Huh, M., Park, K. H., Hwang, K. G., Kim, K. S., Kim, H. J., in press, Yeosu dinosaur track sites of Korea: The youngest dinosaur track records in Asia. *Journal of Asian Earth Science*.
- Thulborn, R. A., 1990, *Dinosaur tracks*. Chapman & Hall, London, 410 p.
- Thulborn, R. A., Wade, M., 1979, Dinosaur stampede in the Cretaceous of Queensland. *Lethaia*, 12, 275-279.

투 고 일 : 2006년 2월 6일

심 사 일 : 2006년 2월 9일

심사완료일 : 2006년 3월 4일