

ARTICLE

01

전라북도 부안군 백악기  
격포리층에서 산출된  
용각류 발자국  
화석과 보행열

김경수 진주교육대학교 과학교육과  
김정률 한국교원대학교 지구과학교육과  
공달용 국립문화재연구소 자연문화재연구실

ANNUAL REVIEW IN

CULTURAL HERITAGE STUDIES VOL. 42 NO. 1, 2009



**07 서론**

**07 지질 개요**

**08 발자국 화석의 산출**

**12 발자국 및 보행열 기재**

**14 논의**

1. 발자국의 분류

2. 이동 방향

3. 보행 특성

4. 발자국 화석의 생성 환경

5. 발자국 화석의 문화재적 가치

**16 결론**

# 전라북도 부안군 백악기 격포리층에서 산출된 용각류 발자국 화석과 보행열

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

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

투고일자 : 2008. 12. 01 | 심사일자 : 2009. 03. 09 | 게재확정일자 : 2009. 04. 01

## 국문초록

전라북도 부안군 격포 지역에 분포하는 중생대 백악기 격포리층에서 총 57개 이상의 용각류 공룡 발자국 화석이 발견되었다. 용각류 화석이 발견되는 층은 모두 3개이며, 그 중 제2층에서 6개의 보행열을 기재하였다. 용각류 보행열은 중생대 백악기에 일반적으로 발견되는 좌우 발자국 간격이 넓은 wide-gauge trackway에 해당한다. 발자국 화석의 길이, 이동 방향 및 보존 상태를 근거로 할 때, 모두 소형 용각류에 의해 형성된 것이며, 서로 다른 시기에 과거의 호수를 오가는 것 뿐만 아니라 호숫가를 따라 거닐었던 것으로 해석된다.

## 서론

1982년 양승영에 의해 경남 고성군 하이면 덕명리에 서 공룡 발자국 화석이 국내에서 최초로 발견된 이래 수많은 공룡 발자국 화석 산지가 알려졌으며, 이들 화석의 대부분은 중생대 백악기 퇴적층이 잘 노출되어 있는 남해안 지역에서 산출된다(백광석, 서승조, 1998; 백광석, 양승영, 2002; 허민 외, 1998, 2001a, 2001b, 2001c; 양승영 외, 2000; 황구근 외, 2002; Lim et al., 1989, 1994, 1995, 1997; Lockley et al., 1993, 1997; Huh et al., 1997; Lee et al., 1997, 2000; Hwang, 2001; Kim et al., 2002). 이곳에서 산출되는 공룡 발자국 화석의 숫자와 다양성은 세계적으로도 찾아보기가 힘들 정도로 풍부하다. 위의 연구 결과에서 보는 바와 같이 지금까지 국내의 공룡 발자국 화석에 관한 연구는 주로 남해안 지역에서 산출되는 발자국에 집중되어 있다.

하지만 공룡 발자국 화석이 산출될 수 있는 국내의 중생대 백악기 퇴적층은 경상 분지 이외에도 공주 단층대와 영동 단층대를 따라서 소규모의 퇴적 분지 형태로 발달되어 있고, 실제로 이들 소규모 퇴적 분지 중에서 영동 분지(Han, 2008)와 경기도 화성군의 시화호 공룡알 화석 산출지에서 공룡 발자국 화석이 발견되어 보고된 바 있다(경기도, 2000). 이외에도 공주, 무주, 진안, 음성 분지 등에서도 공룡 관련 화석들이 발견될 가능성이 있다.

본 연구에서는 공주 단층계의 남서쪽 확장부의 끝자락에 위치하고 있는 격포 분지의 격포리층에서 발견된 용각류 발자국 화석을 대상으로 발자국 화석 및 보행열의 특징을 기재하고, 보행열 측정값을 바탕으로 보행 특성을 해석함과 동시에 공룡 발자국 화석의 생성 환경을 해석하고자 한다.

## 지질 개요

한반도 남서부의 중앙에 위치한 소규모의 백악기 육성 분지는 NE-SW방향의 주향 이동 단층계인 공주와 광주 단층계를 따라서 나타난다. 공주 단층계는 풍암,

음성, 공주, 부여 분지와 연관되어 있고 반면에 광주 단층계는 영동, 무주, 진안, 해남 분지를 이룬다. 이러한 백악기 분지에서는 분지 규모와 밀접한 관련을 갖는 상향 세립화 퇴적 충전물, 북동 방향의 경사, 북북동 방향의 고수류, 분지 가장자리를 따라 상전이 등이 나타난다. 단층 유형이나 직사각형의 분지 형태, 분지 충전물 등의 특징은 이들 퇴적 분지가 좌수향 이동 단층에 의해서 형성된 것임을 나타낸다(Chun and Chough, 1992; Kim et al., 1995b).

전라북도 부안군에 위치한 격포 분지는 남서부쪽으로 확장하고 있는 공주 단층대에 위치하며, 선캄브리아 편마암과 백악기 석영 문조나이트가 기반을 이루고 있고, 화산쇄설물이 풍부한 격포리층으로 구성되어 있다. 격포리층은 현무암질에서 안산암질 유동 구조를 보이는 화산암 복합체를 덮고 있으며 차례로 산성 화산암 연속체가 이어진다(Chun and Kim, 1995)(그림 1). 산성, 중성, 염기성의 유연 관계를 포함하는 관입암은 하부, 분지 충전물, 분출암 등에 흔하게 산재되어 있다. 격포리층의 두께는 300m 이상이며, 전체적으로 상향 세립

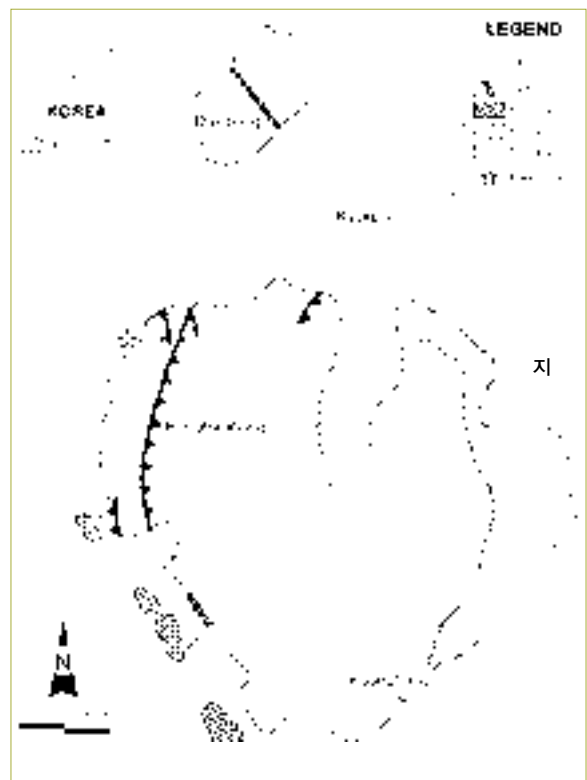


그림 1 격포분지 지질도(Kim et al., 2003)

화가 나타난다(Chun and Kim, 1995). 격포리층 최상부는 기저에 페페라이트가 관찰되는 유문암으로 구성되어 있으며 절대 연령은 K-Ar을 통해  $83.5 \pm 2.4$  Ma로 측정되었다(Lambiase and Bosworth, 1995). 또한 하부의 석영 몬조 나이트는 K-Ar을 이용한 절대 연령이  $128.0 \pm 3.0$  Ma로 측정되었고(Lambiase and Bosworth, 1995), 이를 통해 격포 분지는 백악기 중기인 Barremian에서 Santonian 사이에 퇴적된 것으로 해석될 수 있다(Kim et al., 2003).

리에 의한 고수류 방향은 남서에서 북동 방향이다. 이 지역 역암층의 두께는 보통 수십 cm이며, 폭은 수 내지 수 10m이다. 역암을 구성하는 역들은 원형 내지 각진 형태이며, 인편 구조(imbricated)를 나타내기도 하며, 최대 장축이 2m 정도인 거력들을 포함하기도 한다. 이 퇴적층들은 측면으로 두께가 변화하고, 급하게 경사진 역질 퇴적물에 의해 덮이며, 그 위로 소규모의 길버트형 삼각주 퇴적물이 놓여 있다(사진 1).

### 발자국 화석의 산출

용각류 발자국 화석은 격포항과 궁항리 사이의 봉화봉 바로 아래 위치한 방파제 옆에서 산출되었다(그림 1, 사진 1). 발자국 화석이 보존된 암석은 사암/이암의 교호층, 사질 이암 및 사암으로 구성되어 있다(그림 2). 발자국 화석층 사이에는 렌즈상의 역암층이 협재되고, 상부와 하부의 지층도 주로 역암으로 구성되어 있다(그림 2). 상부의 역암은 사층리가 잘 발달되어 있으며, 이 사층

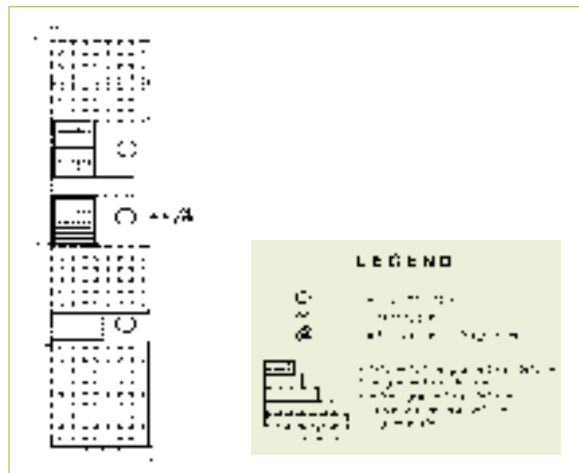


그림 2 공룡 발자국 화석 산출 지층 주상도



사진 1 공룡 발자국 화석 산출 지역 전경



사진 2 제1층준의 공룡 발자국 산출 상태



사진 3 제1층준의 용각류 뒷발자국 화석



사진 4 제1층준의 용각류 앞발자국 화석

용각류 발자국 화석은 3개의 층준에서 모두 57개 이상이 산출되었다. 첫 번째 층준에서는 약 16㎡의 면적에 약 15개의 발자국 화석이 발견된다. 이들 발자국 화석은 뒷발자국과 앞발자국 화석이 모두 산출되는데, 앞발자국보다 뒷발자국 화석이 더 많이 산출된다. 하지만 이 층준에서는 뚜렷한 보행열이 관찰되지 않으며, 지층면이 다소 불규칙한 요철 구조를 나타내는 것으로 보아 용각류 공룡에 의해 지층이 공란 작용(dinoturbation)을 받았음을 알 수 있다(사진 2, 3, 4).

두 번째 층준에서는 2개 지점에서 용각류 발자국 화석이 발견되었다. 1지점에서 발견된 용각류 발자국 화석은 30개이며, 3개 이상의 발자국 화석으로 구성된 3개의 보행열이 발견된다(사진 5, 6; 그림 3). 2지점에서는 5개의 발자국 화석이 발견되었다(사진 9, 그림 4). 이 층준에서는 탄화된 식물 화석이 발견되며(사진 7), 1번째 층준과 2번째 층준 사이에서는 유수에 의한 물결 자국도 함께 나타난다(사진 8).



사진 5-1 제2층군 1지점의 공룡 발자국 화석(남서쪽 → 북서쪽 촬영)



사진 5-2 제2층군 1지점의 공룡 발자국 화석(북서쪽 → 남서쪽 촬영)



사진 6 제2층군 1지점 보행열 4의 1번 앞발자국과 뒷발자국



사진 7 탄화목 화석



사진 8 물결 자국

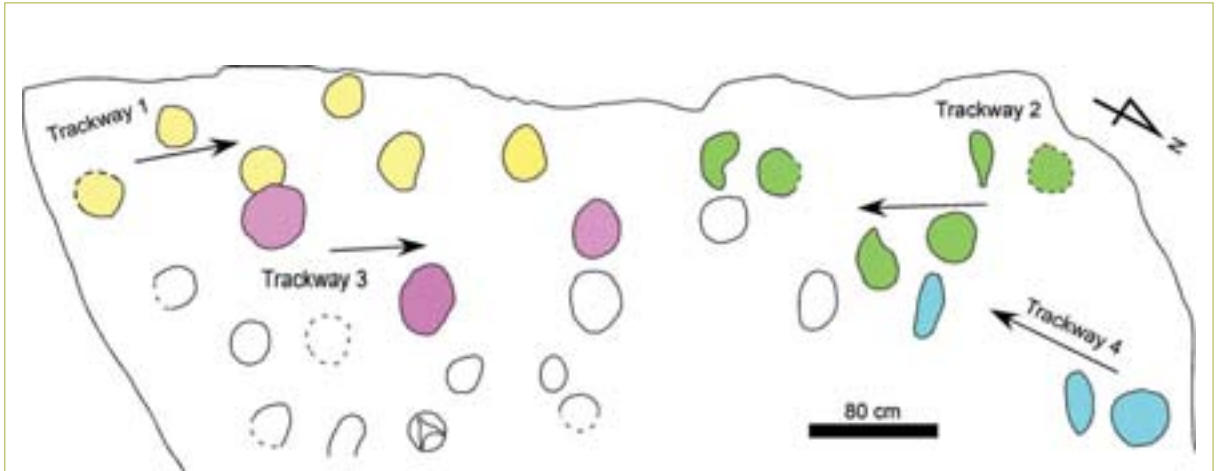


그림 3 제2층준 1지점의 용각류 공룡 발자국 화석 분포도



사진 9 제2층준 2지점의 공룡 발자국 화석

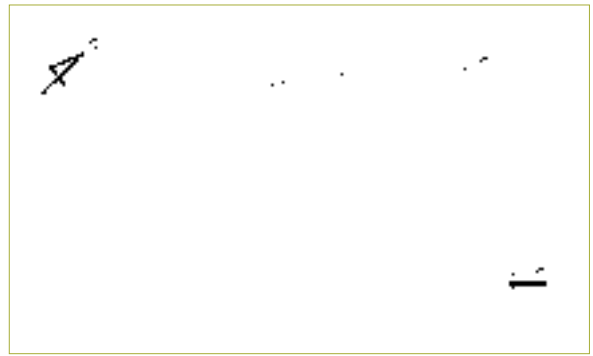


그림 4 제2층준 2지점 공룡 발자국 화석 분포도

세 번째 층준에서는 9개의 발자국 화석이 발견된다. 이 중에서 층리면상에서 발견된 발자국 화석은 2개이고,

지층의 단면에서 인지할 수 있는 공룡의 발자국 화석이 7개이다(사진 10, 11).



사진 10 지층의 단면에서 발견된 발자국 화석



사진 11 사진 10 단면의 확대 사진



## 발자국 및 보행열 기재

연구 지역에서 공룡 발자국은 3개의 층준에서 산출되는 것을 확인하였다. 그러나 제1층준은 공룡 발자국 임은 인지할 수 있지만, 뚜렷한 보행열이 나타나지 않는다. 제3층준에서는 주로 지층의 단면에서 공룡 발자국 화석이 발견되기 때문에 마찬가지로 보행열을 기재할 수 없다. 따라서 보행열 기재는 제2층준의 1지점에서 발견된 공룡 발자국 화석을 대상으로 하였다. 1지점에서 인지할 수 있는 보행열은 모두 4개로 보행열 1~4로 구분하였다.

보행열 1은 모두 6개의 뒷발자국(pes)으로 구성되어 있으며, 발톱 자국은 구별할 수 없다(그림 5). 발자국의 길이(footprint length)은 평균 29.10cm, 너비(footprint width)은 평균 34.08 cm, 걸음 거리 거리(stride)은 약 96.56cm, 걸음 거리(step)은 약 59.98cm, 보행열폭(trackway width)은 약 69.1cm, 걸음 각(pace angulation)은 105°이다(표 1). 발자국의 형태는 거의 원형 또는 약간 찌그러진 타원형이다. 이 발자국은 발자국 위에 상부의 퇴적물이 두껍게 덮여 있으며, 2족 보행 공룡의 발자국과 같은 형태로 보존되어 있기 때문에 그 진행 방향을 판단하기가 곤란하였으나, 왼발의 두 번째 발자국 상부를 덮고 있는 퇴적물을 제거한 결과, 발자국의 깊이가 북서쪽 방향이 가장 깊게 찍혀 있다. 이를 통해 진행 방향은 북서쪽으로 판단하였다.

보행열 2는 앞발자국(manus)과 뒷발자국(pes)이 각각 3개로 구성되어 있다(그림 6). 앞발자국의 길이는 평균 20.20cm, 너비는 평균 39.87cm, 걸음 거리 거리는 181.8cm, 걸음 거리는 약 121.00cm, 걸음 각은 100°이며, 뒷발자국의 길이는 평균 31.55cm, 너비는 평균 31.15cm, 걸음 거리 거리는 약 185cm, 걸음 거리는 약 103.15cm, 보행열폭은 약 125.7cm, 걸음 각은 126°이다(표 1). 앞발자국의 형태는 대체로 안쪽으로 뾰족한 돌출부가 있어 십표를 옆으로 눕혀 놓은 것과 같은 형태이다. 이 보행열의 앞발자국은 이 지역에서 산출되는 공룡 발자국들 중에 가장 깊게 찍혀 있으며, 2번 발자국의 최대 깊이는 약 5.5cm 정도이다. 반면에 뒷발자국의 형태는 거의

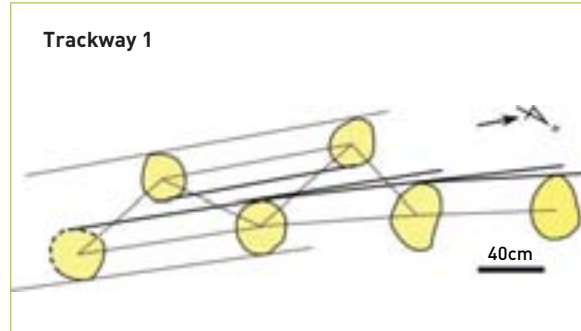


그림 5 보행열 1의 측정 방법(화살표는 이동 방향)

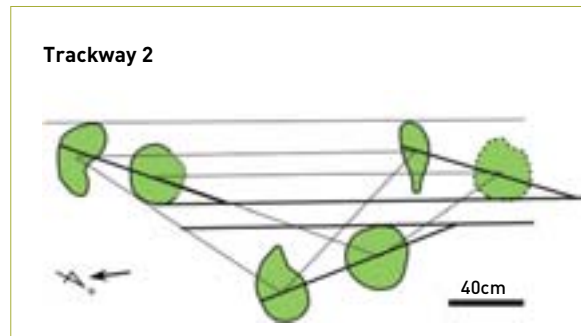


그림 6 보행열 2의 측정 방법(화살표는 이동 방향)

원형이며, 앞발자국에 비해서 뚜렷하지 않다. 이러한 보존 상태는 똑같은 무게가 앞발과 뒷발에 실릴 때, 대부분의 용각류 앞발은 뒷발에 비해 매우 작기 때문에 단위 면적당 뒷발보다 훨씬 더 큰 힘이 아래로 가해진 경우에 나타나는 것이다(Lockley and Conrad, 1989). 이 보행열의 앞발자국은 대체적으로 진행 방향에서 바깥쪽으로 약 18~20° 정도 틀어져 있으며, 앞발자국과 뒷발자국 사이의 간격이 넓고, 진행 방향은 남동쪽이다.

보행열 3은 모두 3개의 뒷발자국으로 구성되어 있으며, 발톱 자국은 구별할 수 없다(그림 7). 발자국의

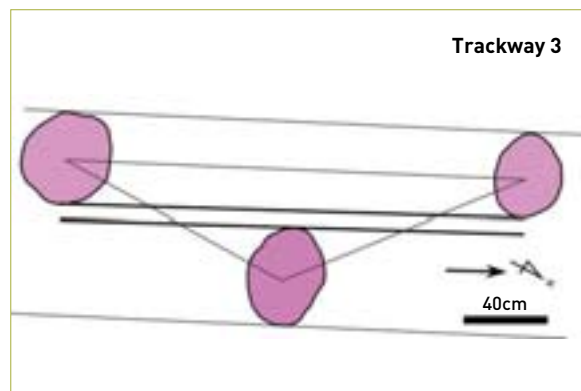


그림 7 보행열 3의 측정(화살표는 이동 방향)

길이는 평균 34.33cm, 너비는 평균 42.6cm, 걸음 거리 거리는 약 200.8cm, 걸음 거리는 약 116.3cm, 보행렬폭은 약 120.1cm, 걸음 각은 128°이다(표 1). 발자국의 형태는 거의 원형 또는 약간 찌그러진 타원형이다. 이 발자국은 보행열 1의 발자국과 같이 앞발과 뒷발을 구분할 수 없다. 그러나 두 번째 왼쪽 발자국을 관찰하면 북서쪽 방향으로 더욱 깊게 찍혀 있다. 이를 근거로 할 때, 이 보행렬을 남긴 공룡은 북서쪽으로 진행하였음을 알 수 있다.

보행열 4는 2개의 앞발자국과 1개의 뒷발자국으로 구성되어 있으며, 발톱 자국은 구별할 수 없다(그림 8). 앞발자국의 길이는 19.40cm, 너비는 42.15cm, 걸음 거리는 약 123.0cm이다. 걸음 거리, 보행렬폭 및 걸음 각은 측정할 수 없다. 뒷발자국의 길이는 36.0cm, 너비는

22.0cm이며, 뒷발자국이 하나이기 때문에 걸음 거리, 걸음 거리, 보행렬폭, 걸음 각은 측정할 수 없다(표 1). 앞발자국의 형태는 방추형에 가깝고, 뒷발자국은 거의 원형이다. 이 보행렬은 한 세트의 앞발자국과 뒷발자국 및 또 다른 앞발자국에 의하여 진행 방향이 남쪽 방향임을 알 수 있다.

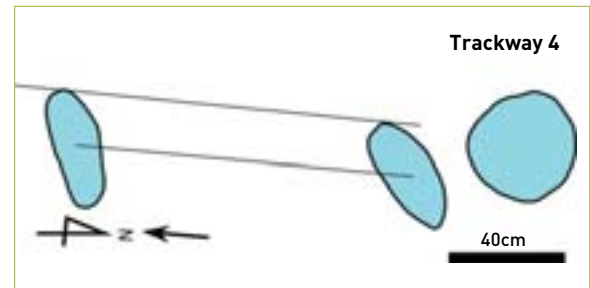


그림 8 보행열 4의 측정(화살표는 이동 방향)

표 1 제2층준에서 산출된 공통 발자국 측정값

Trackway number	Trackway orientation	Trackway width(cm)	Track number	Pes					Manus					
				FL (cm)	FW (cm)	PL (cm)	SL (cm)	Pa (°)	FL (cm)	FW (cm)	PL (cm)	SL (cm)	Pa (°)	
보행열 1	N38°W	69.1	1	33.0	34.0	61.4	102.3	114						
			2	26.6	29.5	60.8	107.4	113						
			3	30.0	32.5	64.0	99.8	88						
			4	27.0	31.0	53.7								
			5	29.0	38.5		76.74							
			6	29.0	39.0									
			평균	29.10	34.08	59.98	96.56	105.00						
보행열 2	S30°E	125.7	1						25.0	40.6	132.7	181.8	100	
			2	28.6	28.5	126?	185?	126	14.6	39.0	109.3			
			3	34.5	33.8	80.3			21.0	40.0				
			평균	31.55	31.15	103.15	185.00	126	20.20	39.87	121.00	181.80	100.00	
보행열 3	N25.5°W	120.1	1	41.1	43.5	112.6	200.8	128						
			2	30.9	45.5	120.0								
			3	31.0	38.8									
			평균	34.33	42.60	116.30	200.80	128.00						
보행열 4	S5°W		1	36.0	32.0				22.0	40.8		123		
			2						16.8	43.5				
			평균	36.00	32.00				19.40	42.15		123.00		

## 논의

### 1. 발자국의 분류

최근에 이용되는 용각류 발자국에 대한 분류 기준은 보행렬의 간격(narrow or wide gauge trackways), 앞발자국과 뒷발자국 크기의 차이(differences in heteropody), 그리고 뒷발톱 자국의 형태 등이 이용된다(Lockley et al., 1994). 이러한 기준에 의해 유효한 생흔화석종으로 인정되고 있는 용각류 발자국 화석은 크게 두 그룹으로 나눌 수 있다. 첫째는 오른발과 왼발 사이의 간격이 넓은 용각류 발자국(wide-gauge trackways) 화석으로 텍사스와 독일의 전기 백악기 지층에서 산출된 *Brontopodus birdi*(Farlow et al., 1989)와 *Rotundichnus munchehagensis*(Hendricks, 1981)가 있다. 그 외 이름이 제안되지는 않았지만 오른발과 왼발 사이의 간격이 넓은 용각류의 발자국이 한국(Lim et al., 1989, 1994; Lockley, 1994)과 볼리비아(Leonardi, 1984)의 백악기 지층에서도 알려져 있다. 반면에 오른발과 왼발 사이의 간격이 좁은 용각류 발자국(narrow-gauge trackways) 화석으로 모로코의 중부 쥐라기 지층에서 보고된 *Breviparous taghbaloutensis*(Dutuit and Ouazzou, 1980; Ishigaki, 1989)와 콜로라도에서 기재된 *Parabrontopodus mcintoshii*(Lockley et al., 1994)가 있다. Lockley et al.(1994)은 오른발과 왼발 사이의 간격이 좁은 발자국들은 백악기 지층에서 거의 발견되지 않으며, 대부분의 백악기 용각류 발자국은 오른발과 왼발 사이의 간격이 넓다고 주장하였다. 그러나 스페인의 La Rioja Province에서도 오른발과 왼발 사이의 간격이 좁은 발자국이 보고된 바가 있다(Moratalla et al., 1994).

연구 지역의 보행렬 중에서 오른발과 왼발 사이의 간격을 측정할 수 있는 것은 보행렬 1, 2 그리고 3이다. 이들의 오른발과 왼발 사이 간격을 측정한 결과 9.7~16.6cm 사이의 값을 갖는다. 보행렬 3의 간격이 다소 좁지만 비교적 간격이 넓은 것이다. 앞발자국과 뒷발자국 크기의 차이는 보행렬 2에서 7.6~9.5cm이다. 뒷발톱 자국의 형태는 보존되어 있지 않다. 발자국의 크기를 통해 추정된 공룡의 골반 높이는 116.4~144.0cm이다. 따

라서 이곳에서 발자국을 남긴 용각류는 모두 소형 용각류로 판단된다.

### 2. 이동 방향

제2층준의 1지점과 2지점에서 산출되는 발자국의 개수는 총 40개이다. 이중에서 방향성을 알 수 있는 보행렬을 나타내는 것은 총 23개이다. 이들의 발자국들은 총 6개의 보행렬을 구성하는데 보행렬 1, 2, 3은 3개 이상의 발자국으로 구성되어 있기 때문에 공통 발자국 측정 요소를 모두 측정할 수 있으나, 보행렬 4, 5, 6은 단지 이동 방향을 추정할 수 있을 뿐이다. 인지된 보행렬의 이동 방향만으로 볼 때, 제2층준 1지점 중 2개의 보행렬은 북서쪽의 이동 방향을 나타내고, 나머지 2개의 보행렬은 거의 반대 방향인 남동쪽의 이동 방향을 나타낸다(그림 3). 공룡들이 이 지역을 단순히 지나가기 위한 경로로 이용하였다면 이동 방향이 하나의 주된 방향으로 나타날 것이다. 그러나 북서쪽과 그 반대인 남동쪽으로 각각 2개의 이동 방향이 나타난다는 것은 공룡들이 특정한 곳을 오고 갔음을 의미한다.

이 지역에서 발견되는 유수에 의한 연흔의 정선 방향은 N25°E이다. 연흔의 정사 방향을 고려할 때, 고수류는 남동쪽에서 북서쪽으로 흘렀으며, 이는 과거 호수의 중심부가 북서 방향에 있었음을 알 수 있다. 따라서 북서-남동 방향을 보이는 보행렬 1과 3은 호수 방향으로 이동하였고, 보행렬 2와 4는 호수에서 육지로 향하는 방향으로 이동한 것으로 판단된다. 이는 공룡이 호수에 물을 마시거나, 수영을 하기 위한 목적 또는 그 외 어떤 목적을 가지고 다가갔다 되돌아 왔을 것으로 추정할 수 있다. 제2층준 2지점의 보행렬 5와 6은 이동 방향을 정확히 지시해 주는 증거는 없으나, 이동 방향이 북동 또는 남서 방향임을 알 수 있다. 이 방향은 연흔의 정선 방향과 거의 일치하며, 따라서 이 발자국은 공룡이 호숫가를 따라서 또는 유수가 흐르는 하천을 가로질러 걸어간 것으로 해석된다.

### 3. 보행 특성

본 연구 지역에 보행열을 남긴 용각류의 이동 속도를 Alexander(1976)가 제시한 방법에 의해 계산하면 <표 2>와 같다. 보행열 1, 2, 3, 및 4의 발자국을 남긴 공룡의 이동 속도는 0.61~2.88m/s이다<표 2>. Thulborn(1990)의 보행 자세 구분을 적용하면 Relative stride length(stride length/hip height)가 보행열 1에서는 0.83으로 느린 걸음을 나타내며, 보행열 2와 4는 1.47과 1.43으로 보통 걸음이고, 보행열 3에서는 2.03으로 다소 빠른 걸음으로 걸었다는 것을 알 수 있다<표 2>.

**표 2 제2층준의 공룡 발자국으로부터 산출된 공룡의 이동속도, 골반 높이 및 걸음걸이**

Trackway number	speed (m/s)	hip height (cm)	gait	
보행열 1	0.61	116.4	0.83	느린 걸음
보행열 2	1.67	126.2	1.47	보통 걸음
보행열 3	2.88	137.3	2.03	다소 빠른 걸음
보행열 4	1.70	144.0	1.43	보통 걸음

조각류와 용각류는 여러 지역에서 공룡 보행열을 기초로 이들이 집단으로 이동하였다고 보고되었다(Cotton et al., 1998; Currie, 1983; Lockley, 1987, 1994; Meyer, 1993). 보행열 1과 3의 발자국을 보면, 보행열 1의 발자국이 보행열 2의 발자국보다 작으며, 발자국의 깊이는 거의 비슷하고 진행 방향도 거의 일치한다. 따라서 이 보행열들은 크기가 약간 다른 두 마리의 용각류 공룡이 함께 이동하였다고 생각된다. 그러나 보행열 2와 4는 거의 비슷한 크기임에도 불구하고 발자국의 깊이가 서로 다르게 나타나고, 진행 방향도 약간 다르다. 이는 이 보행열들을 만든 공룡들이 서로 시기를 달리하여 발자국을 생성하였던 것으로 판단된다.

### 4. 발자국 화석의 생성 환경

연구 지역의 고퇴적 환경은 Kim(1991, 1993, 2000), Kim 등.(1995a, 1995b, 1997, 2003), Chun과 Kim(1995) 및

Chun과 Lee(1991)에 의해서 자세하게 연구되었다. Kim 등.(2003)은 화석이 산출되는 지역에 분포하는 사층리를 가진 렌즈상의 역암, 거력질의 얇은 퇴적층, 거력질의 중심부에서 자갈이 많은 가장자리까지의 퇴적물 분급 작용 등을 근거로 이 퇴적층들은 망상 하천(braided streams)을 나타내는 것으로 해석하였다. 그리고 인접한 곳에는 사주 퇴적층들이 분포하고 있으며, 이 퇴적층의 상부에 사질 흑색 셰일이 얇게 퇴적되어 있는 것은 가끔씩 삼각주 평원이 수면 밑으로 가라앉는 것을 반영하는 것이고, 상부에 소규모의 길버트형 삼각주 퇴적물로의 변화는 해침이 더욱 진행되었음을 나타낸다고 하였다(Kim et al., 2003).

따라서 공룡 발자국 화석이 발견되는 지역의 퇴적 환경은 망상 하천이 호수로 유입되는 삼각주 평원 지역으로 삼각주 평원이 수면 밑으로 가라앉아 실트 내지 세립질 모래가 퇴적될 때, 공룡이 이곳을 지나가면서 발자국을 남긴 것으로 해석된다. 이는 발자국 화석이 산출되는 층준에 건열이 발견되지 않으며, 유수에 의한 연흔과 식물의 잎화석은 발견되지 않고 탄화된 식물 줄기 화석만이 발견되는 것도 이를 뒷받침한다. 그러나 발자국 화석이 산출되는 지역은 물론 격포리층 전체적으로 탄화된 식물 줄기 화석을 제외하고 어떤 실체 화석도 발견되지 않으며, 특히 무척추동물에 의한 생흔 화석조차도 거의 발견되지 않는 것으로 보아 호수 주변부에 식생이 발달한 지역은 존재하였으나, 호수 내의 생태 환경은 생물이 서식하기에 다소 부적합하였던 것으로 생각된다.

### 5. 발자국 화석의 문화재적 가치

용각류 발자국 화석이 발견된 지역은 『부안 채석강·적벽강 일원』으로 2004년 11월 17일 명승 제13호로 지정된 지역이다. 이 일대는 변산반도에서 서해바다 쪽으로 가장 많이 돌출된 지역으로 강한 파랑의 영향으로 빼어난 경관을 자랑하고 있다.

퇴적층이 잘 발달되어 있어 수 만권의 책을 쌓아 놓은 것과 같은 모습을 하고 있으며, 퇴적층 내에는 습곡,

단층, 관입암체 등과 같은 지질 구조가 매우 잘 나타난다. 또한 해식절벽, 파식 대지, 해식 동굴, 해안 단구 등과 같은 해안 침식 지형이 잘 발달되어 있다. 이외에도 화산암류가 퇴적층을 덮으면서 발달한 지질 구조가 잘 관찰되며, 화산암류에는 주상절리가 잘 발달되어 있다.

그리고 다양한 지질 구조뿐만 아니라 상록활엽수의 식생이 잘 형성되어 있고, 천연기념물 제123호인 『부안 격포리의 후박나무 군락지』가 있으며, 민속자료로는 수성당이 있고, 닭이봉에는 과거에 봉화대가 설치되어 있어 자연 유산과 역사·문화 유산이 풍부한 곳이다.

이와 같은 천혜의 자연 경관과 함께 다양한 문화적 요소를 포함하기 때문에 일반인들은 휴양과 관광을 위하여 매년 많은 사람들이 이곳을 다녀가고, 지질학적 요소와 지형학적 요소들이 잘 어우러져 있어 지질 및 지형 전문가들은 학습과 연구를 위하여 이곳을 방문한다.

이번 연구를 통하여 이 지역에서 용각류 공룡 발자국 화석을 발견하여 기재한 것은 국내 중생대 소규모 퇴적 분지 및 이 지역에서 처음으로 공룡 발자국 화석을 공식적으로 발표한 것으로서 이 지역의 문화재적 가치를 더욱 높여주는 것이다.

## 결 론

1. 전라북도 부안군 격포리층에서 총 3개의 층에서 57개 이상의 공룡 발자국 화석을 발견하였고, 4개의 용각류 보행렬을 인지하여 기재하였다.
2. 이곳에서 발견된 용각류 발자국 화석은 소형의 용각류 공룡에 의해 형성되었으며, 오른발과 왼발 사이의 간격이 비교적 넓은 wide-gauge trackway에 해당되는 것으로 대부분의 백악기 용각류 발자국 화석의 패턴과 유사하다.
3. 발자국 화석의 이동 방향과 보행 특성을 분석한 결과, 6개 보행렬의 진행 방향이 서로 다르게 나타나며, 느린 걸음, 보통 걸음 및 다소 빠른 걸음으로 이동하였음을 알 수 있다. 그리고 이들의 보행렬 진행 방향과 과

거 호수의 위치를 비교하면, 호수를 향해 걸어간 것(보행렬 1과 3)과 호수에서 육지로 이동한 것(보행렬 2와 4) 그리고 호수 가장자리를 따라 이동한 것(보행렬 5와 6)을 알 수 있다. 이와 같은 이동 패턴은 이 지역에 서식하였던 용각류 공룡들은 호수를 왕래하거나 배회하면서 생활하였다는 것을 알 수 있다. 따라서 중생대 백악기 격포 분지에 의해 형성된 작은 호수는 공룡들의 생태에 있어서 반복적으로 이용되었을 가능성이 있다.

4. 공룡 발자국 화석이 발견된 지역의 퇴적 환경은 망상하천에서 호수로 유입되는 삼각주 평원으로써 비교적 짧은 시기에 서로 다른 크기의 공룡이 시기를 달리하여 이동하면서 형성된 것으로 해석된다.

## 참 / 고 / 문 / 헌

- 경기도, 2000, 시화호 공룡알 화석 발견지 종합학술조사 보고서, 기전문화재연구원 학술총서 제4집, p. 205
- 백광석, 서승조, 1998, 경남 고성군 동해면 일대 진동층에서 발견된 공룡 생흔화석. 고생물학회지, 14 : pp. 81 - 98
- 백광석, 양승영, 2002, 경남 사천시 동명층에서 발견된 특이한 형태의 발자국 화석. 한국고생물학회 제18차 학술발표회 초록, p. 28.
- 양승영, 1982, 상부 경상층군에서 발견된 공룡의 족흔화석에 관하여. 대한지질학회지, 18 : pp. 37 - 48
- 양승영, 서승조, 이용남, 이명석, 이동진, 윤선, 최덕근, 이종덕, 윤혜수, 2000, 고성군 지역 공룡 화석지 기초학술조사 보고서. 한국고생물학회 · 경상남도 · 고성군, p. 205
- 허민, 백인성, 고영구, 정대교, 정철환, 박재봉, 김해경, 2001a, 여수일대 공룡화석 및 지질환경 기초학술조사. 전남대학교 공룡연구소 · 여수시, pp. 137
- 허민, 백인성, 김경식, 고영구, 김정빈, 정철환, 2001b, 화순 공룡화석지 종합학술연구. 전남대학교 공룡연구소 · 전라남도 · 화순군, p. 229
- 허민, 백인성, 정철환, 박재봉, 김보성, 2001c, 전남 여수시 도서 지역에서 발견된 공룡 발자국 화석. 지질학회지, 37 : pp. 653-658
- 허민, 이용남, 임성규, 황구근, 1998, 해남 공룡화석지 종합학술연구. 전남대학교 박물관 · 전라남도 · 해남군, p. 493.
- 황구근, 허민, 백인성, 2002, 마산시 호계리 부근의 백악기 진동층에서 산출된 용각류 공룡 발자국 화석. 지질학회지, 38 : 361-375.
- Alexander, R, McN., 1976, Estimates of speeds of dinosaurs. Nature, London, 261 : pp. 129-130
- Chun, S. S. and Chough, S. K., 1992, Tectonic history of Cretaceous sedimentary basins in the western korean penninsula and yellow sea. Korean Sedimentology Research Group, Special Publication, pp. 60 - 76
- Chun, S. S. and Kim, S. B., 1995, The Cretaceous Kyokpori Formation, SW Korea : sublacustrine steep-sloped delta facies. Journal of Geological Society of Korea, 31 : pp. 215 - 236
- Chun, S. S. and Lee, H. J., 1991, Basin Analysis of the Cretaceous Sedimentary Basins : Depositional Environments and Depositional Mechanisms of the Kyokpo Basin. BSPE 00233-348-5, Korea Ocean Research and Development Institute, p. 131
- Cotton, W. D., Cotton, J. E., and Hunt, A. P., 1998, Evidence for social behavior in ornithomimid dinosaurs from the Dakota Group of northeastern New Mexico, U. S. A., Ichnos, 6 : pp. 141-149
- Currie, P. J., 1983, Hadrosaur trackways from the Lower Cretaceous of Canada. Acta Palaeontologica Polonica, 28 : pp. 63-73
- Dutuit, J. M. and Ouazzou, A., 1980, D?couverte d'une piste de Dinosaur saurope sur le site d'empreintes de Demnat (Haut-Atlas marocain). M?moires de la Soci?t? G?ologique de France, n. s., 139 : pp. 95-102
- Farlow, J. O., Pittman, J. G., and Hawthorne, M., 1989, Brontopodus birdi Lower Cretaceous sauropod footprints from the U. S. Gulf coastal plain. In Gillette, D. D. and Lockley, M. G. (eds.), Dinosaur Tracks and Traces, Cambridge University Press, Cambridge, U. K., pp. 371-394
- Han, Y. J., 2008, Dinosaur tracks from the cretaceous saniri formation of yeongdong area, south korea, Korea National University of Education, Cheongwon, Chungbuk, Master thesis, p. 52
- Hendricks, A., 1981, Die Saurier F?hrte von M?nchenhagen bei Rehb?rg-Loecum (NW-Deutschland). Abhandlungen aus dem Landesmuseum f?r Naturkunde zu M?nster in Westfalen, 43 : pp. 1-22
- Huh, M., Lim, S. K., Yang, S. Y., and Hwang, K. G., 1997, A preliminary report on the Cretaceous dinosaur tracks from the Uhangri Formation, Haenam, Korea. In Yang, S. Y., Huh, M., Lee, Y. N., and Lockley, M. G., (eds.), International Dinosaur Symposium for Uhangri Dinosaur Center and Theme Park in Korea. Journal of the Paleontological Society of Korea, Special Publication, 2 : pp. 1-16
- 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, p. 182

- Ishigaki, S., 1989, Footprints of swimming Sauropods from Morocco. In Gillette, D. D. and Lockley, M. G. (eds.), *Dinosaur Tracks and Traces*, Cambridge University Press, Cambridge, U. K., pp. 83-86
- Kim, J. Y., Kim, K. S., and Pickerill, R. K., 2002, Cretaceous nonmarine trace fossils from the Hasandong and Jinju formations of the Namhae area, kyongsangnamdo, southeast Korea. *Ichnos*, 9 : pp. 41-60
- Kim, S. B., 1991. Lithofacies of Cretaceous Kyokpo basin, Korea. BSc thesis, Seoul National University, Seoul, p. 35
- Kim, S. B., 1993. Bouldery deposits in the lowermost part of Kyokpori Formation, SW Korea : subaqueous cohesionless debris flows and gravity falls on steep slope. MSc thesis, Seoul National University, Seoul, p. 120
- Kim, S. B., 2000, Sedimentary processes and environments of the Kyokpori Formation (Cretaceous), SW Korea. Ph. D. thesis, Seoul National University, Seoul, Korea, p. 200
- Kim, S. B., Chough, S. K. and Chun, S. S., 1995a, Bouldery deposits in the lowermost part of the Cretaceous Kyokpori Formation, SW Korea: cohesionless debris flows and debris falls on a steep-gradient delta slope. *Sedimentary Geology*, 98 : pp. 97-119
- Kim, S. B., Chough, S. K., and Chun, S. S., 2003, Tectonic controls on spatio-temporal development of depositional systems and generation of fining-upward basin fills in a strike-slip setting : Kyokpori Formation (Cretaceous), South-west Korea. *Sedimentology*, 50 :pp. 639-665
- Kim, S. B., Chun, S. S. and Chough, S. K., 1997. Discussion on structural development and stratigraphy of the Kyokpo Pull - Apart Basin, South Korea and tectonic implications for inverted extensional basins. *Journal of Geological Society of London*, 154(MAR) : pp. 369-370
- Kim, S. B., Lee, S. H., Ryang, W. H. and Chough, S. K., 1995b. Cretaceous nonmarine basins in the Korean Peninsula : implications for sedimentation and tectonic in the Yellow Sea Basin. *Third International Conference on Asian Marine Geology - Evolution and Dynamics of the Asian Seas*, Seoguiipo (Cheju), pp. 93-94
- Lambiase, J. J. and Bosworth, W. P., 1995. Structural development and stratigraphy of the Kyokpo Pull-Apart Basin, South Korea and tectonic implications for inverted extensional basins. In J. G. Buchanan and P. G. Buchanan (eds.), *Basin Inversion*. Geological Society (London), pp. 457-471
- Lee, Y. N., Yang, S. Y., and Park, E. J., 1997, Saurpod dinosaur remains from the Gyeongsang Supergroup, Korea. In Yang, S. Y., Huh, M., Lee, Y. N., and Lockley, M. G. (eds.), *International dinosaur symposium for Uhangri dinosaur center and theme park in Korea*. *Journal of the paleontological society of Korea*, Special Publication 2, pp. 103-144
- 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. (ed.), *2000 International dinosaur symposium for Kosong county in Korea*. *Journal of the paleontological Society of Korea*, Special Publication 4, pp. 1-12
- Leonardi, G., 1984, Le impronte fossili di Dinosauri. In Bonaparte, J. F., Colbert, E. H., Currie, P. J., de Ricqlès, A., Kielan-Jaworowska, Z., Leonardi, G., Morello, N., and Taquet, P. (eds.), *Sulle Orme dei Dinosauri*. Erizzo Editrice, Venice, pp. 165-186
- Lim, S. K., Lockley, M. G., and Yang, S. Y., 1995, Dinosaur trackways from Haman Formation, Cretaceous, South Korea : evidence and implications. In Chang, K. H., and Park, S. O. (eds.), *Environmental and tectonic history of East and South Asia with emphasis on Cretaceous correlation (IGCP 350)*. pp. 329-336
- Lim, S. K., Yang, S. Y., and Lockley, M. G., 1989, Large dinosaur footprint assemblages from the Cretaceous Jindong Formation of Southern Korea. In Gillette, D. D. and Lockley, M. D. (eds.), *Dinosaur tracks and traces*. pp. 333-336
- Lim, S. K., Yang, S. Y., Baek, K. S., and Kim, T. Y., 1997, Cretaceous dinosaur footprints found in the bottom surface of the Gawha River, South Gyeongsang Province. *13th Annual Meeting of the Paleontological Society of Korea*, Abstract 16
- Lim, S. K., Lockley, M. G., Yang, S. Y., Fleming, R. F., and Houck, K., 1994, A preliminary report on sauropod tracksites from the

- Cretaceous of Korea. In Lockley, M. G., dos Santos, V. F., Meyer, C. A., and Hunt, A. P. (eds.), Aspect of sauropod paleobiology, Gaia, 10 : pp. 109-118
- Lockley, M. G., 1987, Dinosaur footprints from the Dakota Group of Eastern Colorado. *The Mountain Geology*, 24 : pp. 107-122
  - Lockley, M. G., 1994, Dinosaur ontogeny and population structure : Interpretations and speculations-based on fossil footprints. In Carpenter, K., Hirsch, K. F., and Horner, J. R. (eds.), *Dinosaur eggs and babies*. Cambridge University Press, New York, p. 372
  - Lockley, M. G. and Conrad, K., 1989, The Paleoenvironmental context, preservation and paleoecological significance of dinosaur tracksites in the western U. S. A.. In Gillette, D. D. and Lockley, M. G. (eds.), *Dinosaur Tracks and Traces*, Cambridge University Press, Cambridge, U. K., pp. 121-134
  - Lockley, M. G., Fleming, F., Houck, K., Yang, S. Y., and Lim, S. K., 1993, Dinosaur tracks in intrusive igneous rock, *Ichnos*, 2 : pp. 213 - 216
  - Lockley, M. G., Huh, M., Lim, S. K., Yang, S. Y., Chun, S. S., and Unwin, D., 1997, First report of pterosaur tracks from Asia, Chullanam Province, Korea. In Yang, S. Y., Huh, M., Lee, Y. N., and Lockley, M. G. (eds.), *International Dinosaur Symposium for Uhangri Dinosaur Center and Theme Park in Korea*. Journal of the Paleontological Society of Korea, Special Publication, 2; pp. 17-32
  - Lockley, M. G., Hunt, A. P., and Meyer, C., 1994, Vertebrate tracks and the ichnofacies concept : Implications for paleoecology and palichnostratigraphy. In Donovan, S. (ed.), *The Paleobiology of Trace Fossils*. Wiley & Sons, New York, pp. 241-268
  - Meyer, C. A., 1993, A sauropod dinosaur megatracksite from the Late Jurassic of northern Switzerland. *Ichnos*, 3 : pp. 29-38
  - Moratalla, J. J., Sanz, J. L., and Jimenez, S., 1994, Dinosaur tracks from the Lower Cretaceous of Regumiel de la Sierra (province of Burgos, Spain) : Inferences on a new quadrupedal ornithopod trackway. *Ichnos*, 3 : pp. 89-97
  - Thulborn, R. A., 1990, *Dinosaur Tracks*. St Edmundsbury Press, pp. 410



*Mun Hwa Jae Vol 42, No. 01, May 2009, pp. 04-19*

*Copyright ©2009, National Research Institute of Cultural Heritage*

# Sauropod Tracks and Trackways from the Cretaceous Kyokpori Formation, Buangun, Jeollabukdo

Kim, Kyung Soo<sup>a</sup> · Kim, Jeong Yul<sup>b</sup> · Kong, Dal Yong<sup>c</sup>

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

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

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

Received : 1 December 2008 | Revised : 9 March 2009 | Accepted : 1 April 2009

## Abstract

Total 57 sauropod tracks are found from the Cretaceous Kyokpori Formation in the Buangun, Jeollabukdo, Korea. Six sauropod trackways in second stratigraphic level of three stratigraphic levels were recognized and described. The type of sauropod trackways is a wide-gauge trackway which has been generally in Cretaceous sauropod trackways. On the basis of foot length, trackway orientations, and preservation, all of the tracks are thought to have been made by small sauropods moving not only towards and away from the shoreline but also along the shoreline of lacustrine environment.

**Keywords** | Sauropod tracks, Cretaceous, Kyokpori Formation, Jeollabukdo, Korea