



## 경북 청송군 신성리 백악기 사곡층의 공룡발자국화석 퇴적층: 산상 및 고환경

김현주<sup>1</sup> · 황구근<sup>2</sup> · 정호현<sup>3</sup> · 안호용<sup>4</sup> · 최철웅<sup>5</sup> · 임현수<sup>6</sup> · 최태진<sup>7</sup> · 채용운<sup>6</sup> · 백인성<sup>1,‡</sup>

<sup>1</sup>부경대학교 BK21플러스 지구환경재해시스템사업단 & 지구환경과학과

<sup>2</sup>여수삼일중학교

<sup>3</sup>한국국토정보공사

<sup>4</sup>농촌진흥청 국립농업과학원

<sup>5</sup>부경대학교 공간정보시스템공학과

<sup>6</sup>부산대학교 지질환경과학과

<sup>7</sup>조선대학교 에너지자원공학과

### 요 약

경북 청송군 신성리 지역에 분포하는 사곡층 퇴적층에서는 용각류, 수각류 및 조각류 공룡의 보행렬화석과 다수의 공룡발자국화석이 동일한 성층면에서 매우 높은 밀집도를 보이며 산출된다. 이 연구에서는 무인항공사진측량으로 획득된 정사영상과 3D 레이저 스캐너 측량 및 3D 디지털형상화 작업을 통해 얻어진 3D 이미지맵을 바탕으로 공룡발자국 화석의 분포특성을 파악하였다. 또한 공룡발자국 화석과 화석산출 퇴적층의 산상과 퇴적상이 기재되었고, 이를 바탕으로 고환경을 해석하였다. 연구지역의 공룡발자국 보행렬화석은 용각류 및 조각류 공룡의 무리 생활과 수각류의 단독 생활의 습성을 보여주며, 이번 연구에서 새롭게 확인된 소형 수각류 발자국 보행렬화석은 무리 짓는 소형 수각류의 특성을 나타낸다. 공룡발자국화석 퇴적층의 퇴적상은 엽층 내지 얇은층으로 발달한 세립사암 내지 실트스톤과 이암의 교호암, 청회색 내지 연녹색의 석회질의 세립사질 내지 실트질 이암, 연녹회색의 이질 사암 내지 사질 이암, 판상 내지 사엽층리가 발달한 세립사암 내지 실트스톤, 점이층을 이루는 중립 내지 세립사암으로 구분되고, 이들은 건기와 우기가 반복되는 호수주변부 내지 얇은 호수환경에서 개방수류에 의해 형성된 퇴적층이며 때때로 토양화를 겪었던 것으로 해석된다. 발자국화석 퇴적층에서는 건열, 파랑연흔, 소형 무척추동물의 생흔, 토양화 흔적, 증발광물흔 등이 관찰된다. 이들은 신성리 지역 사곡층 퇴적층의 고환경이 전반적으로 건조한 기후가 지배적이었고 건기와 우기가 반복되는 계절성 기후 하의 호수 주변부 평원에서 얇은 호수에 이르는 환경이었으며, 때때로 건기가 지속됨에 따라 다소 염도 높은 호숫물이 존재했음을 의미한다. 이와 같은 신성리 지역의 백악기 호수와 호수주변부 환경은 건조한 시기 동안 많은 공룡들의 생태공간으로서의 역할을 했던 것으로 해석된다.

**주요어:** 백악기, 사곡층, 공룡발자국 보행렬화석, 호수주변부 내지 얇은 호수, 청송군

**Hyun Joo Kim, Koo Geun Hwang, Ho Hyun Jeong, Ho Yong Ahn, Chul Uong Choi, Hyoun Soo Lim, Taejin Choi, Yong-Un Chae and In Sung Paik, 2019, Dinosaur track-bearing deposits in Sagok Formation (Cretaceous) at Sinseong-ri, Cheongsong-gun, Korea: Occurrences and paleoenvironments. Journal of the Geological Society of Korea. v. 55, no. 5, p. 495-511**

**ABSTRACT:** Abundant saurpod, theropod and ornithopod dinosaur trackways and several footprint fossils occur in the Sagok Formation (Cretaceous) at Sinseong-ri, Cheongsong-gun, Korea. Based on Ortho Mosaic Image calibrated by UAV (Unmanned Aerial Vehicle), and 3D image map obtained by LiDAR (Light Detection and Ranging) and digital geometry, distribution of the trackways was identified. Occurrences of dinosaur tracks and sedimentary facies of the track-bearing deposits were described and the paleoenvironments were interpreted. The sauropod and ornithopod trackways represent their gregarious behavior. The theropod trackways show the characteristic of solitary behavior, whereas small theropod trackways discovered newly in this study show their gregarious behavior. The sedimentary facies of the track-bearing deposits are divided as follows: Interlaminated

<sup>‡</sup> Corresponding author: +82-51-629-6625, E-mail: paikis@pknu.ac.kr

to thinly interbedded fine-grained sandstone to siltstone and mudstone; Bluish gray to light green calcareous sandy to silty mudstone; Light greenish gray muddy sandstone to sandy mudstone; Planar- to cross-laminated fine-grained sandstone to siltstone; Thin- to medium-bedded and graded medium- to fine-grained sandstone. They are interpreted as unconfined flow deposits formed on lake margin to shallow lake under paleoclimatic conditions with alternating wetting and drying intervals, and to have been intermittently influenced by pedogenesis. Mudcracks, wave ripples, small invertebrate trace fossils, weak pedogenesis and evaporite mineral casts are observed in the track-bearing deposits, suggesting that the paleoenvironments of the Sagok Formation at Sinseong-ri were lake margin (mudflat to sandflat) to shallow lake under seasonal climate in which arid climate prevailed and the lake was sometimes brackish during drying periods. It is interpreted that the Cretaceous lake and lake margin at Sinseong-ri provided a ecosite for diverse dinosaurs during arid condition.

**Key words:** Cretaceous, Sagok Formation, dinosaur trackways, lake margin to shallow lake, Cheonsong-gun

(Hyun Joo Kim and In Sung Paik, BK21 Plus Project of the Graduate School of Earth Environmental Hazard System & Department of Earth and Environmental Sciences, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea; Koo Geun Hwang, Yeosusamil Middle School, Yeosu 59655, Republic of Korea; Ho Hyun Jeong, Korea Land and Geospatial InformatiX Corporation, Jeonju 54870, Republic of Korea; Ho Yong Ahn, National Institute of Agricultural Sciences, Rural Development Administration, Wanju-gun 55365, Republic of Korea; Chul Uong Choi, Department of Spatial Information Engineering, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea; Hyoun Soo Lim and Yong-Un Chae, Department of Geological Sciences, Pusan National University, Busan 46241, Republic of Korea; Taejin Choi, Department of Energy Resources Engineering, Chosun University, Gwangju 61452, Republic of Korea)

## 1. 서 언

경북 청송군은 2014년 4월 주왕산국립공원을 중심으로 청송 지역의 화성암, 퇴적암, 고생물 등의 지질 및 지형학적 특성을 근거로 환경부로부터 국가지질공원으로 인증을 받았고, 2017년 5월에는 제주도에 이어 국내에서 두 번째로 유네스코 세계지질공원으로 등재되었다. 청송세계지질공원은 지질명소와 비지질명소를 포함하여 총 24개의 명소로 이루어져 있다. 그 중 고생물학적 특성을 근거로 하는 지질명소는 신성리 공룡발자국 화석산지가 유일하여 지역의 청소년들에게 한반도 공룡시대의 체험 장소로서, 또한 청송을 방문하는 많은 여행객들에게 색다른 관광지이자 탐방지로서 주요한 역할을 하고 있다.

신성리 지역의 공룡발자국 화석은 2003년 태풍 매미의 영향으로 도로변 급사면에 놓여있던 암석과 흙이 쓸려 내려가면서 발자국화석이 발달된 성층면이 드러났고, 2004년 7월 당시 포항 대흥초등학교 교장이었던 이상원에 의해 처음으로 발견되어 알려지게 되었다. 이후 발자국화석 보존을 위한 기초조사를 통해 발자국 보행렬화석에 대한 기재가 수행되어 신성리 화석산지에는 용각류 보행렬화석과 다수의 수각류 보행렬화석이 동시에 산출됨이 확인되었다(Moon, 2010; Moon and Lim, 2011).

국내 공룡발자국 화석은 새발자국 화석, 익룡발자국 화석 등과 함께 백악기 육성퇴적분지인 경상분지,

해남분지, 능주분지, 영동분지, 격포분지 등지에서 발견되었다(Kim and Huh, 2018). 이들 분지에서 산출된 많은 공룡발자국 화석들의 대다수는 국내의 백악기 육성분지 중 가장 크고 넓은 면적을 차지하는 경상분지에서 산출된다. 경상분지 내에서도 보존상태가 양호한 주요 공룡발자국 화석들은 대부분 분지의 남부지역인 밀양지괴에 분포하는 함안층과 진동층에서 산출된다(Huh *et al.*, 2003a; Kim and Huh, 2018). 이러한 이유로 새로운 공룡발자국화석의 보고와 기재, 발자국화석과 화석층의 산상, 보존특성, 고환경 등에 관한 연구 역시 여기에 집중되어 왔다(Paik *et al.*, 2001; Hwang *et al.*, 2002, 2004; Kim, J.Y. *et al.*, 2008, 2009; Kim and Lockley, 2012; Kim, K.S. *et al.*, 2012; Lim *et al.*, 2012). 이에 반해 경상분지의 북부지역에서는 다수의 공룡발자국 화석산지가 분포하지만(Kim and Kim, 2016; Kim and Huh, 2018), 화석의 산상과 화석층에 대한 연구가 이루어진 곳은 경북 의성 지역의 발자국 화석산지(Kim and Seo, 1992; Lim *et al.*, 2008; Paik *et al.*, 2013)를 제외하고는 전무한 실정이다.

연구지역인 신성리 공룡발자국 화석산지 또한 발자국 화석의 산출 보고(Moon, 2010; Moon and Lim, 2011)만 이루어져 있을 뿐 화석 및 화석층의 산상과 이를 바탕으로 고환경을 해석한 연구는 구체적으로 이루어진 바가 없다. 이러한 맥락에서 경상분지의 북부지역에 분포하는 신성리 공룡발자국 화석층에 관한 연구는 한반도 공룡시대의 고생태와 고환경에 대한

발전적인 이해의 측면에서 의미를 가진다. 이 연구에서는 경북 청송군 신성리 지역에 분포하는 사곡층의 공룡발자국화석 산출특성과 화석산출 퇴적층의 퇴적상 및 퇴적특성을 기재하고, 이를 바탕으로 고환경을 해석하였다. 이는 백악기 경상분지 북부지역의 고환경과 고생태를 이해함에 있어 유용한 기초자료가 될 뿐만 아니라 청송세계지질공원의 학술적 가치를 높이는 데에도 기여할 것이다.

## 2. 지질개관

경상북도 청송군 일원은 백악기 경상분지의 의성지괴(의성소분지)에 속하며, 연구지역인 신성리 공룡발자국 화석산지는 하양층군 사곡층의 하부층에 해당한다(그림 1; Chang *et al.*, 1977). 사곡층은 Chang (1975)에 의해 명명되었으며, 하한은 점곡층의 응회암이 끝나고 붉은색의 세립질 퇴적암이 나타나기 시작하는 부분이며 상한은 구산동응회암의 직하위로

서, 그 층후는 균위지역에서는 2,000 m에 달하고 남쪽으로 가면서 점차 감소하여 의성 탐리 지역에서는 250 m에 이른다(Chang *et al.*, 1977; Choi *et al.*, 1982; Um *et al.*, 1983). 사곡층의 주 구성 암석은 붉은색의 이암, 실트스톤 및 녹회색 사암이며, 중부에서는 응회질 사암이 협재된다(Choi *et al.*, 1982; Um *et al.*, 1983). 사곡층의 하부는 붉은색의 사암과 세일층으로 구성되고 붉은색층을 포함하며, 중부 역시 세일과 사암이 주를 이루나 회색 내지 암회색층이 많이 협재하고 식물화석이 산출된다(Chang *et al.*, 1977). 상부의 대부분은 붉은색의 세일과 사암으로 구성되며, 석회질 단괴의 발달이 거의 없는 붉은색의 이암이 우세하게 발달한다(Chang *et al.*, 1977).

사곡층은 하부에서 상부로 가면서 다소 암색의 차이는 나타나나, 전반적으로 붉은색을 띠는 세립질 퇴적암이 우세하고 응회질 퇴적암이 간헐적으로 산출하며 켈크리트의 발달이 미약하다는 점 등(Um *et al.*, 1983)은 경상분지 남부 밀양지괴(밀양소분지)의 함안

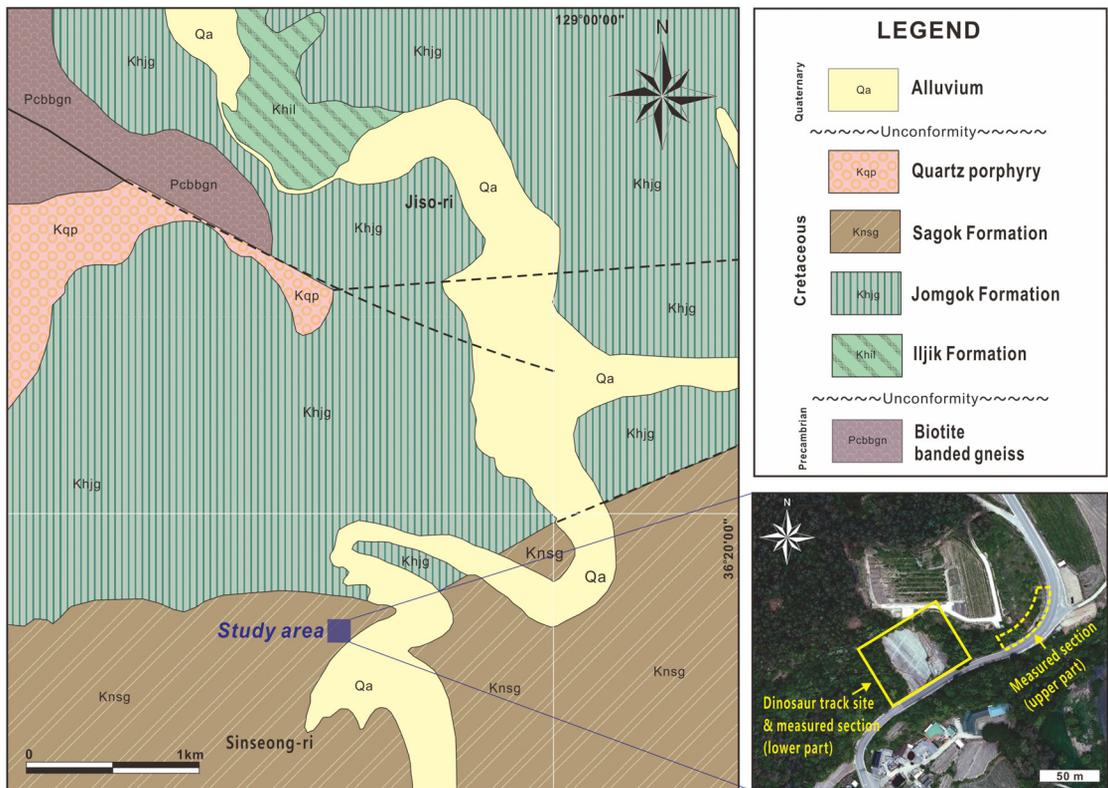


Fig. 1. Geological map (Kwon and Lee, 1973; Lee and Hong, 1973; Chang *et al.*, 1977, 1978) and location of the study area.

층에 대비됨을 시사한다. 사곡층이 구산동응회암의 하위에 발달하고 사곡층과 대비되는 함안층의 절대 연대자료(Lee *et al.*, 2018) 등을 미루어볼 때 사곡층의 지질시대는 후기 Albian에 해당할 것으로 여겨진다. 이는 신성리 공룡화석산지 주변의 사곡층 사암에서 분리한 저어콘의 U-Pb 절대연대측정을 이용한 사곡층의 최대퇴적시기인 103 Ma (Chae *et al.*, 2017)와도 일치한다.

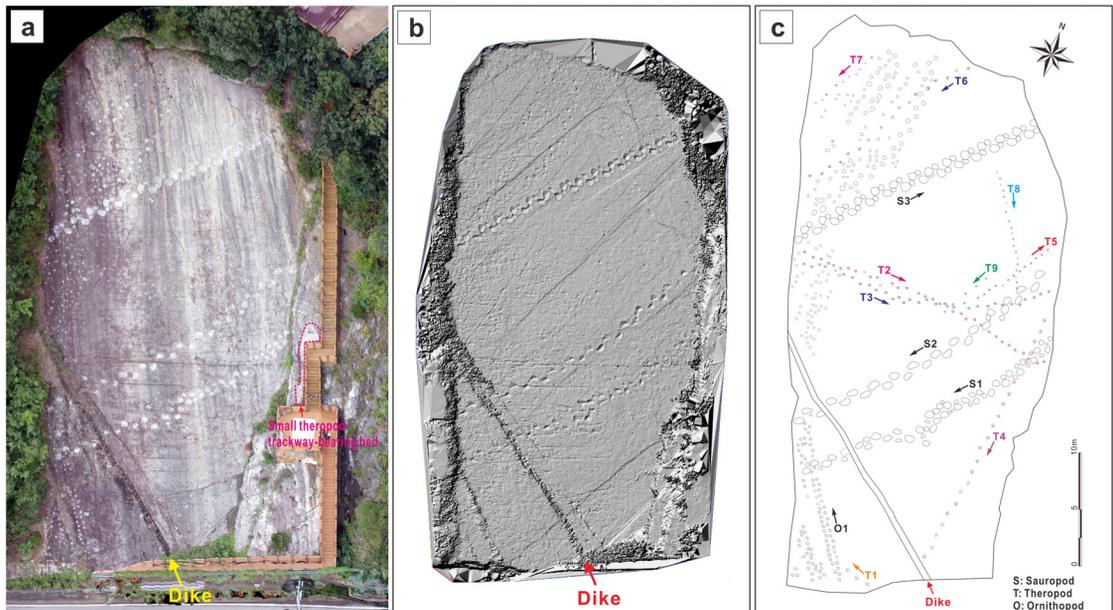
한편, 사곡층에서는 공룡발자국 화석의 산출이 드물지 않다. 특히 경북 의성군 제오리 지역 사곡층의 공룡발자국 화석산지는 경상북도 지역에서 최초로 발견된 발자국 화석지로서, 12개의 용각류 보행렬, 10개의 조각류 보행렬과 1개의 수각류 보행렬 등 총 316개의 공룡발자국이 산출되어 1993년에 국내 공룡발자국 화석산지로는 처음으로 천연기념물(제373호)로 지정되었다. 의성군 제오리 지역에서 북동쪽으로 약 3 km 떨어진 만천2리 지역의 사곡층에서는 새끼공룡의 보행렬화석이 산출된다(Lim *et al.*, 2008). 이들 의성군 제오리 지역과 만천리 지역의 공룡발자국화석 퇴적층은 건조 내지 아건조성 기후조건에서 건기와 우기가 반복적으로 발달하는 계절성 기후 하의 충적평원의 충상범람퇴적층으로 해석되었다(Paik *et al.*, 2013).

### 3. 공룡발자국 화석

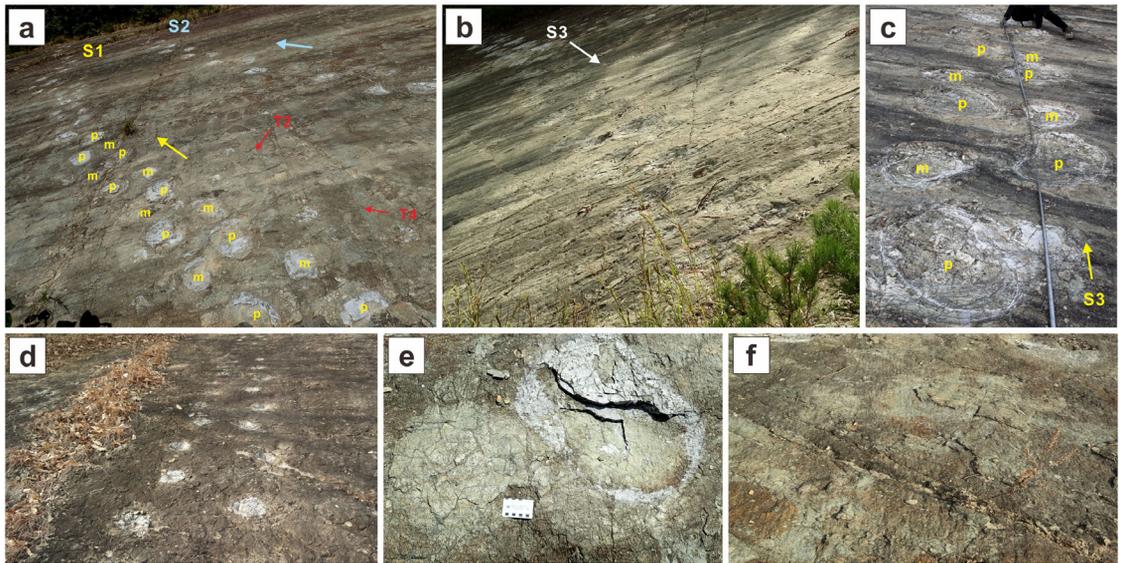
#### 3.1 산상

연구지역의 공룡발자국화석은 용각류, 수각류 및 조각류 발자국화석으로서, 표면적이 약 2,400 m<sup>2</sup>에 달하는 사곡층 퇴적층의 성층면에 보행렬을 이루며 발달되어 있다(그림 2). 이들의 전반적인 보존상태는 양호하지 않지만, 높은 밀집도를 보이는 것이 특징이다. 용각류 보행렬화석은 대체로 일정한 방향성을 보이며 발달되어 있고, 보행렬을 구성하는 발자국화석들의 뒷발은 비교적 인상이 선명하나, 앞발은 희미하게 나타난다(그림 3a, 3b, 3c). 조각류 보행렬화석은 2족 보행의 특성을 나타내고, 대체로 일정한 방향성을 보이며 산출된다(그림 3d). 조각류 보행렬들을 구성하는 발자국의 크기와 모양은 거의 비슷하다. 수각류 보행렬화석의 경우 일정한 방향성을 보이지 않고 산발적으로 분포하며(그림 2c), 각각의 보행렬들을 구성하는 발자국의 크기와 모양이 다양하다(그림 4). 수각류 발자국은 3개의 발가락이 뚜렷하게 나타나며, 때때로 발톱자국도 관찰된다.

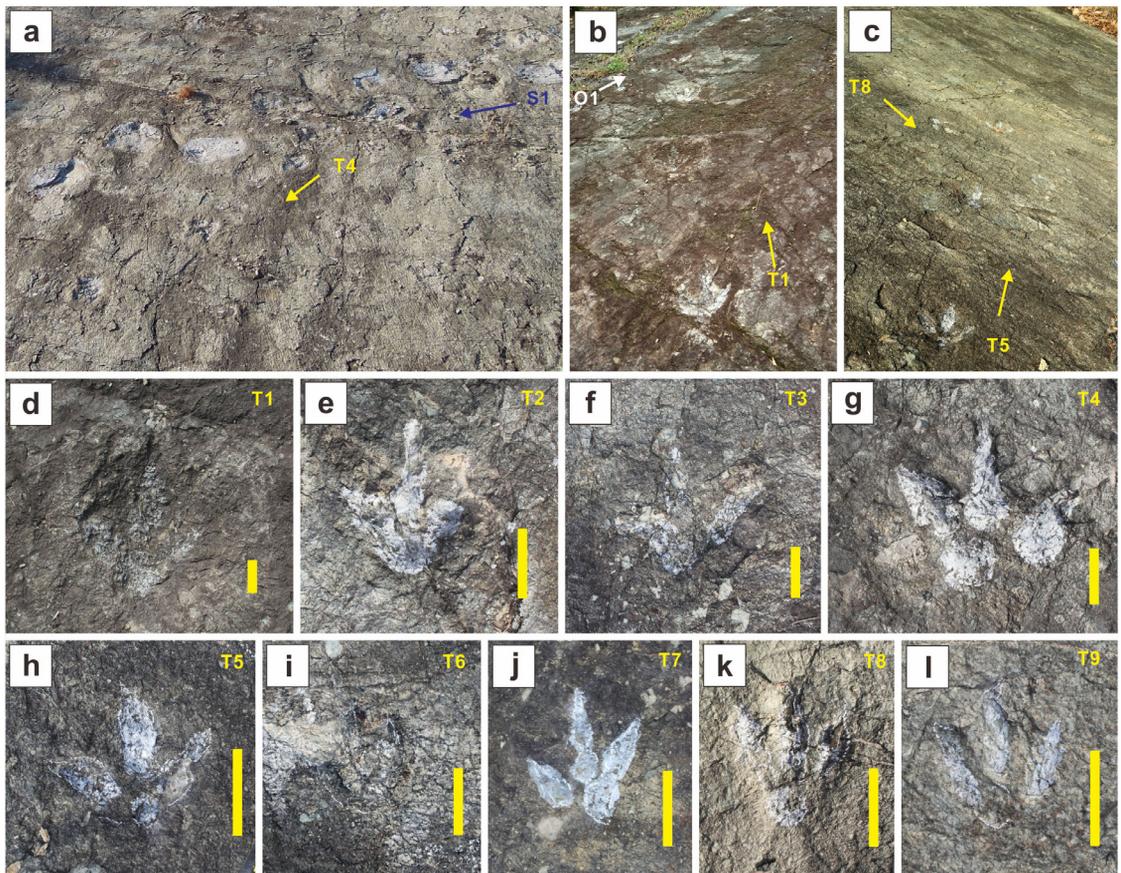
공룡발자국 화석은 연구지역 사곡층 퇴적층에서 흔히 산출되는 엽층 내지 얇은층으로 발달한 세립사



**Fig. 2.** (a) Ortho Mosaic Image calibrated by UAV(Unmanned Aerial Vehicle). (b) 3D image map obtained by LiDAR(Light Detection and Ranging) and digital geometry. (c) Distribution of the dinosaur trackways based on a and b.



**Fig. 3.** Occurrences of sauropod and ornithopod trackways at Sinseong-ri Dinosaur tracksite. (a), (b), (c) Sauropod trackways. (d) Ornithopod trackways. (e) Mudcracks. (f) Ripple marks.



**Fig. 4.** Occurrences of the theropod trackways (a, b, c) and representative theropod tracks (d-l). Scale bars are 10 cm.

암 내지 실트스톤과 이암의 교호암에서 산출되고, 다각상의 건열과 파도연흔이 수반된다(그림 3e, 3f). 공룡발자국 화석과 함께 산출되는 파도연흔은 파장이 2 cm 내외이며, 정선은 직선 내지 아직선형이고(그림 3f) 북서-남동방향(N58W)을 보인다. 다수의 보행렬 화석 중 용각류 보행렬화석은 연흔의 정선방향과 거의 수직을 이룬다.

한편, 공룡발자국 보행렬화석이 밀집되어 산출되는 성층면에서 약 1.6 m 상부에 놓인 층준에서 소형 수각류 발자국화석이 새롭게 확인되었다(그림 5). 이들은 대체로 크기와 모양이 유사하며, 몇 개의 보행렬화석을 이룬다. 이들 역시 얽층 내지 얇은층으로 발달한 세립사암 내지 실트스톤과 이암의 교호암에서 불량한 보존상태로 산출되며, 건열과 파도연흔이 수반된다. 연흔의 파장은 2.5 cm 내외이고, 연흔의 정선은 직선 내지 아직선형이며(그림 5b), 정선의 방향

은 북동-남서방향(N14E)로서, 보행렬 방향과 거의 나란하다. 연흔의 정선은 발자국에 의해 눌러져 있어 연흔 형성 후 발자국이 찍힌 것임을 지시한다.

3.2 보행렬화석 분포특성

넓은 성층면에서 높은 밀집도를 보이며 산출되는 공룡발자국 보행렬화석의 분포특성을 파악하기 위해 무인항공(UAV: Unmanned Aerial Vehicle)사진 측량과 3D 레이저 스캐너 측량(LiDAR: Light Detection and Ranging)을 수행하였다. 측량자료는 3D 디지털 형상화작업을 통해 공룡발자국 화석의 3D 이미 지맵을 작성하였다(그림 2a, 2b). 이 자료들과 발자국 화석산지의 해설판에 소개되어 있는 발자국 분포도(Moon, 2010)를 바탕으로 발자국화석의 분포도를 새롭게 작성하였다(그림 2c).

신성리 화석산지의 성층면에서 관찰되는 공룡발

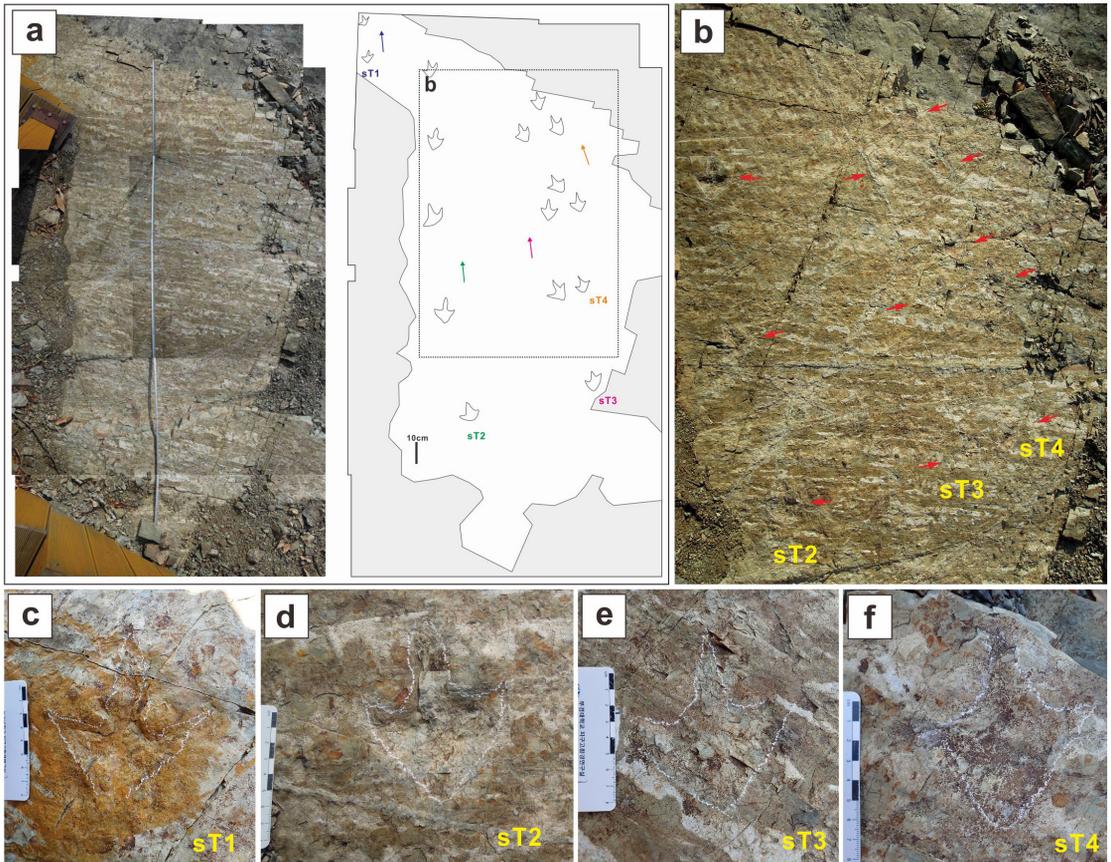


Fig. 5. Occurrences of the small theropod trackways. (a) Distribution of small theropod trackways. (b) Close view of the trackways. Wave ripples are associated with the trackways. (c) - (f) Representative tracks of the trackways.

**Table 1.** Measurements of the dinosaur trackways at Sinseong-ri, Cheongsong-gun (S: Sauropod, T: Theropod, m: Manus, p: Pes, FL: Foot length, SL: Stride length, h: Hip height).

Trackway	Size (cm)	Hip height (m)	SL/h (based on pes)	Speed (m/s)	Remark
S1	pFL: 61 pSL: 173 mFL: 30 mSL: 186	m: 1.2 p: 2.4	0.73	0.72	partially preserved manus  very slow walk
S2	pFL: 61 pSL: 233 mFL: 18	m: 1.7 p: 2.4	1.01	1.13	very indistinct manus  very slow walk
S3	pFL: 78 pSL: 205 mFL: 30 mSL: 210	m: 1.2 p: 3.1	0.68	0.72	well-preserved trackway  very slow walk
T1	FL: 55	2.48	0.99	1.21	very slow walk
T2	FL: 24	1.08	1.40	1.42	slow walk
T3	FL: 25	1.23	1.53	1.76	slow walk
T4	FL: 28	1.35	1.91	2.69	walk
T5	FL: 18	0.81	1.89	2.04	walk
T6	FL: 18	0.77	1.86	1.92	walk
T7	FL: 18	1.55	1.91	2.08	walk
T8	FL: 21	0.92	1.34	1.22	slow walk
T9	FL: 15	0.68	2.4	2.77	trot

자국들의 전반적인 보존상태가 양호하지 않아 발자국들의 개수가 정확하게 파악될 수는 없으나, 최소한 수각류 보행렬이 9개, 용각류 보행렬이 3개, 조각류 보행렬이 5개 이상 존재하는 것으로 확인된다(그림 2c). 이와 같은 보행렬 종류의 구성특성은 국내 다른 공룡발자국 화석산지와 비교해 볼 때, 수각류의 보행렬이 다소 높은 비율을 차지하는 특성을 보인다. 이는 천연기념물 제487호로 지정이 되어 있는 전남 화순의 서유리 공룡발자국 화석산지(Huh *et al.*, 2003b; Huh *et al.*, 2006)와 유사하다.

조각류가 남긴 것으로 생각되는 2족 보행렬은 남서쪽에 집중되어 있으며, 대형 용각류의 발자국은 화석산지를 동서로 가로지르며 넓게 분포되어 있다(그림 2c). 이 두 부류(용각류와 조각류)의 공룡발자국은 보행렬의 방향성이 뚜렷하고 일정한 반면, 수각류의 발자국은 연장성은 좋은 편이나 화석산지 전역에 걸쳐 다양한 방향으로 나타나, 대체로 단독적으로 생활하는 습성을 가지는 육식공룡의 이동 특성을 보여준

다. 이와는 달리, 주요 보행렬화석층의 상위에서 산출된 소형 수각류 발자국 보행렬화석은 유사한 모양과 크기를 가지고 일정한 방향성을 보이며, 보행렬 간의 간격이 좁은 것(그림 5)으로 미루어 무리생활을 했던 것으로 여겨진다(Lockley and Matsukawa, 1999).

### 3.3 공룡의 걸음걸이(gait) 및 이동속도

넓은 성층면에 발달한 공룡발자국 보행렬화석의 특성을 파악하기 위해 보행렬을 구성하는 발자국 중 보존 상태가 비교적 양호한 용각류와 수각류 발자국을 대상으로 발자국의 크기와 보폭 등을 기재하였고, 이동속도를 계산하였다(표 1). 발자국의 크기는 보행렬을 구성하는 발자국들 중에서 인상이 가장 선명하고 보존상태가 양호하여 대표성을 가지는 발자국을 대상으로 측정하였다. 보행렬 주인의 Hip height는 Thulborn (1990)의 방법을 이용하였고, 이동속도는 Alexander (1976)의 방법을 이용하였으며, 기재된 보행렬화석은 용각류 3개, 수각류 9개이다.

**Table 2.** Sedimentary facies, features, and depositional environments of the track-bearing deposits at Sinseong-ri, Cheongsong-gun.

Sedimentary facies	Sedimentary features	Fossils	Depositional environments
Interlaminated to thinly interbedded fine-grained sandstone to siltstone and mudstone	planar-laminated to thin-bedded, micrograding, mudcrack, wave ripple, evaporite mineral cast, microfault (soft-sediment deformation structure)	Dinosaur trackways, invertebrate trace fossil	Lake margin (sandflat to mudflat) unconfined flow deposits
Bluish gray to light green calcareous sandy to silty mudstone	irregular and weak lamination, irregular cracking, brecciation, calcrete nodules (several mm ~ several cm)	Ostracod carapace fragments	shallow lake - lake margin weak pedogenesis
Light greenish gray muddy sandstone to sandy mudstone	Thick-bedded, calcrete nodules (several mm ~ 2 cm), partially irregular lamination, irregular cracking	-	Lake margin weak pedogenesis
Planar- to cross-laminated fine-grained sandstone to siltstone	thin bedded, planar-laminated to cross-laminated, ripple, akorsic sandstone, subangular sand grain	-	Lake margin (sandflat) unconfined flow deposits
Thin- to medium-bedded and graded medium- to fine-grained sandstone	thin-bedded to medium-bedded, mudstone chip in erosive base, grading	-	Lake margin (sandflat) unconfined flow deposits

3개의 용각류 보행렬 중 보행렬 S2의 이동속도가 가장 높게 나타났으나, 보행렬의 상대보폭(Relative stride length: SL/h)은 모두 2보다 작아 발자국 주인인 용각류들은 이동 당시에 모두 서행하고 있었던 것으로 해석된다. 수각류의 상대보폭은 T9만이 2.4로 속보(trot)로 이동하는 것으로 나타났고, 나머지 수각류 보행렬의 상대보폭은 0.99에서 1.91까지 다양하게 계산되었다. 전반적으로 수각류들의 이동속도는 다양하며, 무리 이동하는 공룡의 속도분포와 다른 양상을 보인다.

#### 4. 공룡발자국화석 퇴적층

연구된 신성리 공룡발자국화석 퇴적층은 도로변을 따라 국소적으로 노출되어 있는 두 개의 퇴적단면으로, 이들은 대체적으로 혼펠스화되어 있고 회색 및 녹색, 또는 청회색 사암, 이암, 실트스톤 등의 암상으로 구성되고 때때로 석회질 성분을 가진다. 이들은 괴상층리를 이루거나 얇은층 내지 두꺼운 층으로 발달하고, 엽층리와 점이층리가 발달되어 있으며, 건열연흔과 무척추동물의 생흔 등이 산출된다. 이와 같은 연구지역 퇴적층의 암상, 암색, 퇴적특성 등을 바탕으

로 퇴적상을 구분하였고, 퇴적환경을 해석하였다(표 2). 한편, 연구된 퇴적층의 두께는 대략 17 ~ 18 m이고, 주향은 N58 ~ 64E이며, 경사는 32SE이다. 퇴적층의 하부는 괴상으로 발달한 사질 내지 실트질 이암층이 우세하게 발달하고, 상부는 사암 내지 실트스톤과 이암이 엽층으로 교호하는 암상이 우세하게 발달하며, 하부에서 상부로 가면서 조립화되는 특성을 보인다.

#### 4.1 퇴적상

##### 4.1.1 엽층 내지 얇은층으로 발달한 세립사암 내지 실트스톤과 이암의 교호암(Interlaminated to thinly interbedded fine-grained sandstone to siltstone and mudstone)

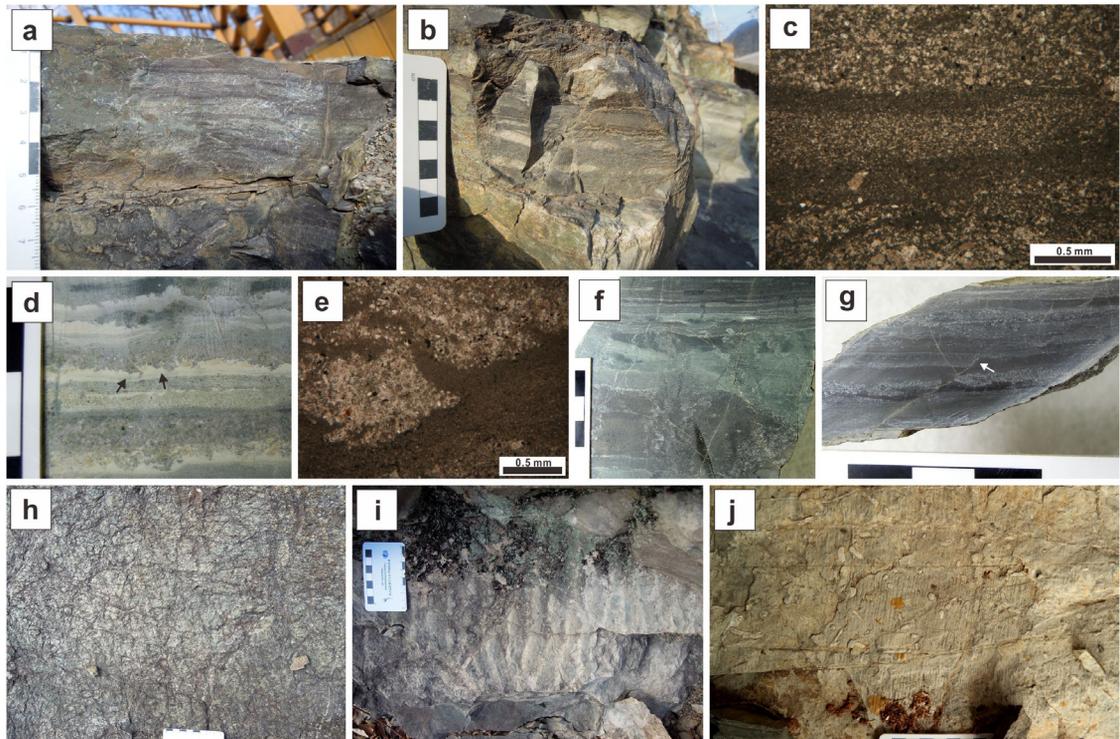
**기재:** 연구지역의 공룡발자국화석 퇴적층에서 흔히 산출하는 이 퇴적상은 세립사암 내지 실트스톤과 이암이 엽층 내지 얇은층의 두께를 이루며 반복적으로 교호한 암상으로, 연녹색 내지 암녹색 또는 청회색의 암색을 나타내며 혼펠스화되어 있다(그림 6a, 6b). 상대적으로 조립질인 세립사암 내지 실트스톤에서 세립질인 이암으로의 경계는 점이적이고 이암에서 세립사암 내지 실트스톤의 경계는 침식적이고 뚜렷하다(그림 6c). 사질층의 경우 아장석사암질이며, 때때로

화산암 기원의 반자형의 석영립이 산재한다. 부분적으로 사질층에서는 사엽층리가 발달하고, 타원형의 펠로이드를 함유한 사질엽층도 관찰된다. 이질엽층에서는 양추형 또는 마름모형의 증발광물(석고 또는 소금)흔이 관찰된다(그림 6d, 6e). 이 퇴적상에서는 파도연흔과 다각상의 건열이 흔히 발달한다(그림 6h, 6i). 일부 불규칙 건열이 수 cm 의 깊이까지 발달하기도 하며, 불규칙 건열과 다중 건열의 발달로 인해 부분적으로 각력화되어 있다(그림 6f). 간혹 이 퇴적상에서는 캘크리트 단괴 내지 렌즈들이 협재하고, 연질 퇴적변형 기원의 미세단층이 발달한다(그림 6g).

이 퇴적상은 상대적으로 세립질인 실트스톤과 이암이 얇은 엽층상으로 교호하는 것과 조립질인 세립사암과 이암이 두꺼운 엽층 내지 얇은층으로 교호하는 것으로 세분되고, 이 두 유형은 서로 교호하며 산출되기도 한다. 이 퇴적상은 10 cm 내외에서 1 m 내외의 이상의 두께를 가지며, 연구지역 퇴적층의 상부

에서 특히 우세하게 산출되고, 주로 세립사질 내지 실트질 이암과 판상 내지 사엽층리가 발달한 세립사암과 수반된다. 이 퇴적상에서는 용각류, 수각류 및 조각류 공룡발자국 보행렬화석이 산출되고, 때때로 무척추동물의 생흔이 관찰된다(그림 6j).

**해석:** 엽층 내지 얇은층을 이루고 내부에 미세점이 층리가 발달하며, 건열과 파도연흔이 흔히 나타나고 공룡발자국 화석이 산출됨은 이 퇴적상이 건기와 우기가 반복되는 계절성 기후 하의 호숫가 평원에서 개방수류(unconfined flow)에 의해 형성된 것을 의미한다(Kim and Paik, 2001; Paik *et al.*, 2001; Melchor *et al.*, 2006; Scott *et al.*, 2010; Kim *et al.*, 2011). 이와 함께 증발광물흔의 산출은 건조한 기후와 다소 염도가 높았던 호숫물의 존재를 지시한다(Smoot and Lowenstein, 1991; Paik and Kim, 2006; Paik *et al.*, 2007). 간혹 캘크리트 단괴 및 렌즈가 협재하고, 얇은 호수 내지는 호수주변부에서 토양화작용에 의해 형



**Fig. 6.** Occurrences of interlaminated to thinly interbedded fine-grained sandstone to siltstone and mudstone. (a), (b) Sectional views. (c) Thin section photomicrograph showing micrograding. (d) Polished slab showing lamination and evaporite mineral casts (arrows). (e) Thin section photomicrograph of evaporite mineral casts. (f) Polished slab showing mudcracks and brecciation. (g) Polished slab showing microfault (arrow). (h) Mudcracks. (i) Wave ripples. (j) Invertebrate trace fossils (c, e: plane polarized light).

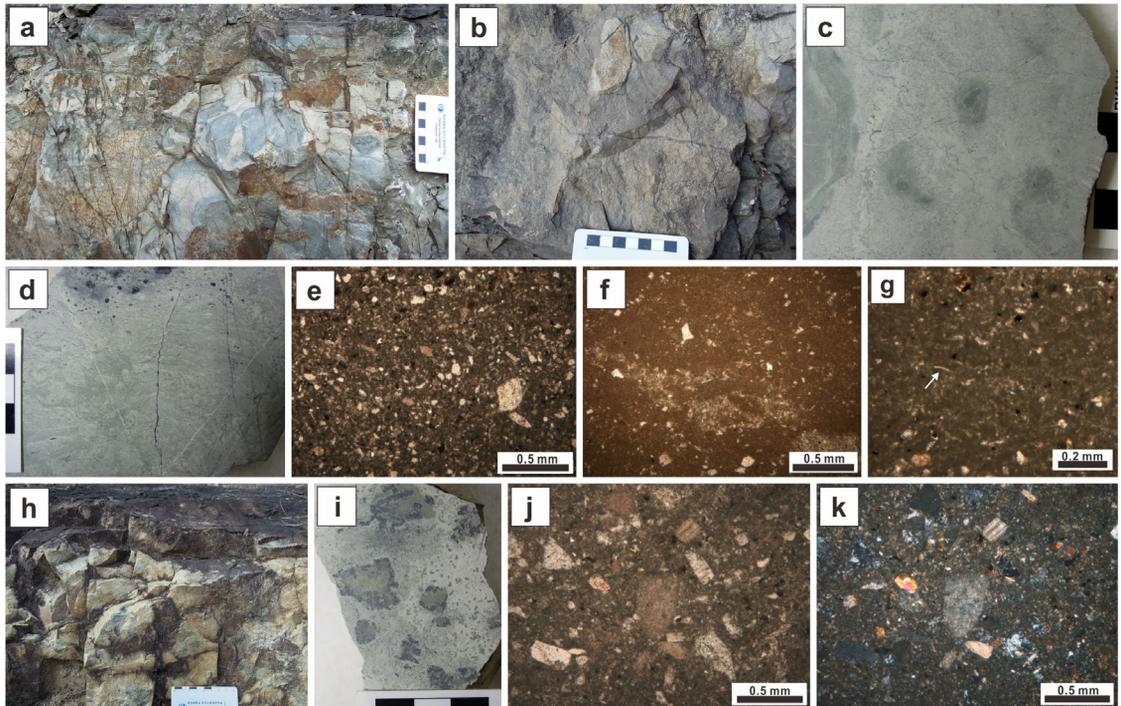
성된 퇴적상인 사질 내지 실트질 이암이 수반됨은 이러한 사실을 뒷받침한다. 따라서 이 퇴적상은 건조한 기후 하의 호수주변부 평원(이질 내지 사질평원)에서 건기와 우기의 반복으로 인해 형성된 퇴적층으로 해석된다(Gierlowski-Kordesch and Rust, 1994; Paik and Kim, 2006).

#### 4.1.2 청회색 내지 연녹색의 석회질의 세립사질 내지 실트질 이암(Bluish gray to light green calcareous sandy to silty mudstone)

**기재:** 이 퇴적상은 혼펠스화된 청회색 내지 연녹색의 세립사질 내지 실트질 이암으로서, 괴상층리를 이루며 발달한다(그림 7a, 7b). 대체로 1 m 이상의 두께로 발달하고, 구상혼펠스의 형태를 보이는 얼룩 구조들이 관찰된다(그림 7c). 노두에서는 엽층리가 관찰되지 않으나, 암석의 수직절단면에서는 미약하게 불규칙한 엽층리와 균열이 관찰된다. 불규칙한 균열

은 대체로 엽층리에 수직방향으로 발달하며, 균열의 발달로 인해 부분적인 각력화작용이 나타난다(그림 7d). 간혹 불규칙한 균열은 성층면에서도 관찰된다(그림 7b). 한편, 현미경 하에서 이 퇴적상은 점토질의 기질부에 세립사 또는 실트 크기의 석영입자들이 산재한 양상(그림 7e, 7f, 7g)과 펠로이드화 작용이 관찰된다(그림 7f, 7g). 또한 두께 0.01 mm, 길이 0.1 내지 0.2 mm 내외의 개형층 패각편이 관찰되고(그림 7g), 이들은 규화되어 있다. 개형층 패각편은 부분적으로 집중 산재하고, 대부분이 분절된 상태로 산출되나 일부는 분절되지 않은 상태로 산출되기도 한다. 대체로 패각편들은 무질서하게 배열되어 있다.

**해석:** 이 퇴적상은 미약하지만 불규칙한 엽층리의 잔존, 불규칙한 균열의 발달, 균열에 의한 각력화 작용, 펠로이드화 작용 등으로 미루어 부분적인 토양화작용에 의해 엽층리가 멸실되고 균열과 각력화작용이 발생하여 형성된 것으로 해석된다(Gierlowski-



**Fig. 7.** Occurrences of bluish gray to light green calcareous sandy to silty mudstone (a-g) and light greenish gray muddy sandstone to sandy mudstone (h-k). (a) Sectional view. (b) Surface plane view showing irregular cracks. (c), (d) Polished slab. Mottled structure presumed as calcrete nodules (c), irregular cracks and brecciation (d) are observed. (e), (f), (g) Thin section photomicrographs. Peloids (f, g) and ostracod carapace fragments (arrow in g) are observed. (h) Sectional view. (i) Polished slab. (j), (k) Thin section photomicrographs (e, f, g, j: plane polarized light, k: polarized light).

Kordesch, 1998). 건조한 기후 하의 호수주변부 평원에서 형성된 얽층 내지 얇은 층으로 발달한 세립사암 내지 실트스톤과 이암의 교호암과 수반되고, 규산질로 변화되어 구상의 얼룩구조 형태를 보이는 켈크리트 단괴들이 수 mm 내지 수 cm 내외의 크기를 가지면서 산재하는 것은 이를 뒷받침한다. 개형층 패각편의 산재는 이 퇴적상이 얇은 호수환경에서 퇴적된 것임을 지시한다(Türkmen *et al.*, 2007). 따라서 이 퇴적상은 건조 내지 아건조한 기후조건 하의 얇은 호수에서 호수의 후퇴에 따른 부분적인 토양화작용에 의해 형성된 것으로 해석된다.

#### 4.1.3 연녹회색의 이질 사암 내지 사질 이암(Light greenish gray muddy sandstone to sandy mudstone)

**기재:** 이 퇴적상은 앞서 기술한 세립사질 내지 실트질 이암과 유사하게 괴상층리를 이루며 두꺼운 층으로 발달한다. 또한 얼룩구조, 즉 규화된 켈크리트들이 수 mm 내지 2 cm 내외의 크기로 산재하며(그림 7h, 7i), 미약하게 불규칙한 엽층리와 균열이 관찰된다. 그러나 개형층 패각편은 관찰되지 않고, 사립의 함량이 많고 상대적으로 조립으로 구성되어 이질의 중립 내지 세립사암 또는 중립 내지 세립사질 이

암의 성격을 띤다(그림 7j, 7k). 사립의 경우 중립 내지 세립 석영이 대부분이며, 장식들도 관찰된다.

**해석:** 이 퇴적상은 건조 내지 아건조한 기후 하의 호수주변부에서 부분적인 토양화작용에 의해 형성된 것으로 해석된다(Gierlowski-Kordesch, 1998). 상기한 청회색 내지 연녹색의 세립사질 내지 실트질 이암 및 엽층 내지 얇은층으로 발달한 세립사암 내지 실트스톤과 이암의 교호암과 수직적으로 수반됨은 이러한 해석을 뒷받침한다.

#### 4.1.4 판상 내지 사엽층리가 발달한 세립사암 내지 실트스톤(Planar- to cross-laminated fine-grained sandstone to siltstone)

**기재:** 이 퇴적상은 연황갈색 내지 연녹회색을 띠며 판상엽층리 내지 사엽층리가 발달된 세립사암 내지 실트스톤으로서(그림 8a, 8b), 보통 10 cm ~ 20 cm 내외의 두께를 가지며 때때로 수회 반복적으로 발달한다. 하부 경계는 뚜렷하고 침식적이며, 세립사암에서 실트스톤으로 점이적인 변화를 나타내고, 상부는 이암 또는 세일질 이암으로 얇게 피복되거나 엽층으로 발달한 세립사암 내지 실트스톤과 이암의 교호암이 놓이고 건열이 발달한다. 대체로 횡적으로 층후의 변화는 나타나지 않으나, 일부에서는 렌즈상 층

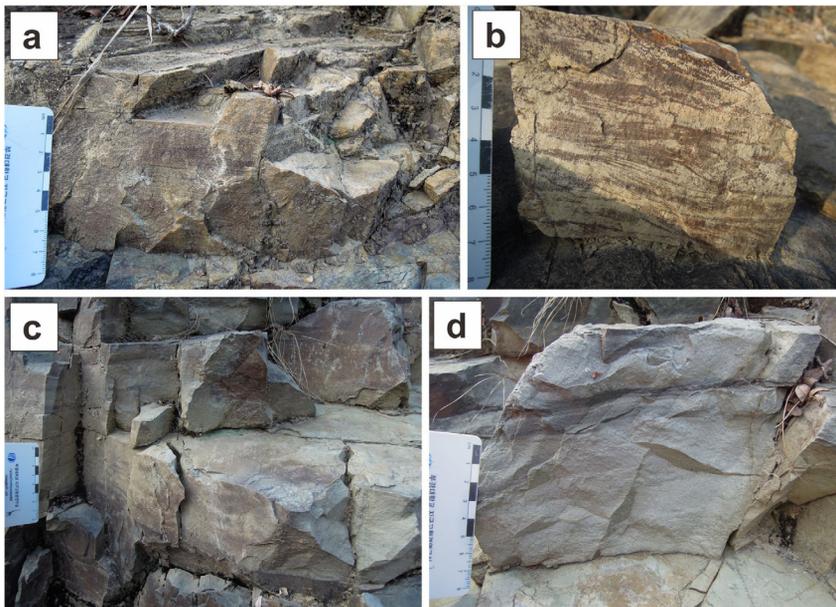


Fig. 8. Sectional views of planar- to cross-laminated fine-grained sandstone to siltstone (a, b) and thin- to medium-bedded and graded medium- to fine-grained sandstone (c, d).

리를 이루며 발달한다. 세립사암은 아장석사암질이며, 사립은 아각형의 원마도를 보인다. 이 퇴적상은 연구지역 퇴적층의 하부보다는 상대적으로 상부에서 자주 등장하며, 엽층 내지 얇은층으로 발달한 세립사암 내지 실트스톤과 이암의 교호암과 수반된다.

**해석:** 점이층리를 이루고 판상엽층리 내지 사엽층리가 발달함은 이 퇴적상이 유수의 에너지가 점차 감소되면서 형성된 것임을 의미한다. 상부를 피복하는 이암 내지 셰일질 이암엽층에 건열구조가 발달하고, 호수주변부 평원의 개방수류 퇴적층인 엽층 내지 얇은층으로 발달한 세립사암 내지 실트스톤과 이암의 교호암과 수반되는 것은 이 퇴적상이 호수주변부 환경에서 퇴적된 퇴적층임을 암시한다. 따라서 이 퇴적상은 호수주변부 사질평원 환경에서 우기 시 발생한 비교적 강한 개방수류에 의해 형성된 것으로 해석된다(Hubert and Hyde, 1982; Fisher *et al.*, 2007).

#### 4.1.5 얇은층 내지 중간층의 두께를 가지고 점이층을 이루는 중립 내지 세립사암(Thin- to medium-bedded and graded medium- to fine-grained sandstone)

**기재:** 이 퇴적상은 연구지역 퇴적층의 상부에서 흔히 산출된다. 하부는 뚜렷하고 침식적인 경계를 보이고 상부로 가면서 점이적인 변화를 이루며 이암엽층이나 엽층 내지 얇은층으로 발달한 세립사암 내지 실트스톤과 이암의 교호암으로 피복된다(그림 8c, 8d). 주로 엽층 내지 얇은층으로 발달한 세립사암 내지 실트스톤과 이암의 교호암층 내에서 2~3 cm 내지 15 cm 내외의 두께를 가지며 협재된다. 내부에 엽층리의 발달은 보이지 않고 점이층리만 관찰된다. 이를 피복한 이암엽층에서는 건열이 발달하기도 한다.

**해석:** 엽층 내지 얇은층으로 발달한 세립사암 내지 실트스톤과 이암의 교호암층 내에서 얇은층 내지 중간층의 두께로 협재하고, 점이층리를 이루며 상부를 피복한 이암엽층에서 건열이 발달한 점은 이 퇴적상이 호수주변부 평원 환경에서 개방수류에 의해 형성되었음을 암시한다. 그러나 이 퇴적상을 구성하는 사립들이 중립 내지 세립이고 층의 두께가 상대적으로 두껍다는 점에서 비교적 강한 우기에 발생한 개방수류의 결과로 여겨진다. 따라서 이 퇴적상은 호수주변부 사질평원 환경에서 강한 우기에 발생한 개방수류에 의해 형성된 것으로 해석된다(Hubert and Hyde, 1982; Fisher *et al.*, 2007).

#### 4.2 퇴적상의 수직적 발달특성

신성리 공룡발자국화석 퇴적층은 전반적으로 사질 내지 실트질의 이암과 엽층 내지 얇은층이 발달한 세립사암 내지 실트스톤과 이암의 교호암이 우세하게 발달하나, 하부에서 상부로 가면서 지배적인 퇴적상의 변화가 나타난다(그림 9). 하부는 사질 내지 실트질 이암이 괴상층리를 이루면서 지배적으로 발달한 가운데 엽층 내지 얇은층이 발달한 세립사암 내지 실트스톤과 이암의 교호암층이 두꺼운 층으로 협재한다. 상부는 사질 내지 실트질 이암이 등장하지 않고, 엽층 내지 얇은층이 발달한 세립사암 내지 실트스톤과 이암의 교호암층이 우세하게 발달하면서 판상 내지 사엽층리가 발달한 세립사암층과 점이적인 사암층이 얇은층 내지 중간층의 두께를 보이며 협재하는 양상을 나타낸다. 하부와 비교할 때 상부는 대체로 조립질이며 사암층이 빈번하게 산출된다.

#### 4.3 퇴적환경

신성리 공룡발자국화석 퇴적층의 퇴적상 분석 결과는 연구지역 퇴적층이 건기와 우기가 반복되는 호수주변부 평원(이질평원-사질평원) 내지 얇은 호수 환경에서 개방수류에 의해 형성된 퇴적층임을 지시한다. 호수주변부 이질평원 퇴적층으로 해석된 엽층 내지 얇은층으로 발달한 세립사암 내지 실트스톤과 이암의 교호암에서 간혹 증발광물흔이 산출되고, 얇은 호수 내지 호수주변부 환경에서 미약한 토양화 작용으로 형성된 세립사질 내지 실트질 이암의 존재는 때때로 건기가 지속적이었음을 지시한다. 따라서 연구지역 사곡층 퇴적층의 퇴적환경은 건조 내지 아건조한 기후가 우세한 가운데 건기와 우기가 반복되는 호수주변부 평원 내지 얇은 호수 환경으로 해석된다.

한편, 연구지역 사곡층 퇴적층의 하부는 주로 얇은 호수 내지는 호수주변부 이질평원 기원의 퇴적상으로 구성되며, 상부는 대체로 호수주변부 이질평원과 사질평원 기원의 퇴적상으로 구성된다. 이러한 퇴적상의 수직적인 변화는 기후변화로 인한 호수의 후퇴에 따른 퇴적환경 변화로 해석된다.

#### 5. 고환경

청송 신성리 공룡발자국 화석산지를 구성하는 사

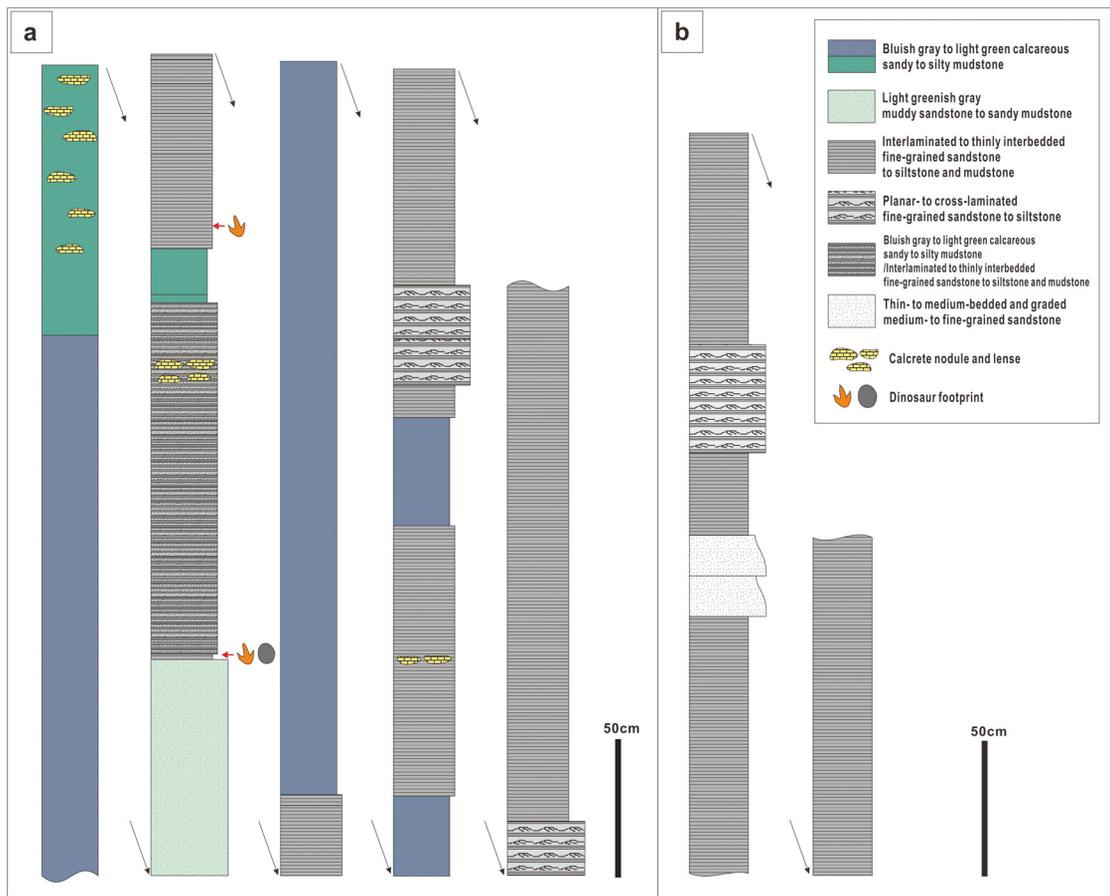


Fig. 9. Stratigraphic sections of the dinosaur track-bearing deposits at Sinseong-ri, Cheongsong-gun. (a) Lower part. (b) Upper part.

곡층 퇴적층은 앞서 기술했던 퇴적상 분석의 결과로 미루어 건조 내지 아건조한 기후 조건에서 건기와 우기가 반복되는 계절성 기후 하의 얇은 호수 내지는 호수주변부 평원(이질 내지 사질평원)에서 형성된 개방수류 퇴적층으로 해석된다. 간헐적으로 미약한 토양화의 흔적과 증발광물흔의 산출은 때때로 지속적인 건기와 다소 염도가 높은 호숫물의 존재를 지시한다. 또한 신성리 지역의 사곡층 퇴적층에서는 미약한 토양화의 흔적은 관찰되지만, 식물의 기록은 관찰되지 않는다. 이는 연구지역 호수퇴적층의 형성 당시 식물이 생육하기에는 열악한 환경이었음을 의미한다. 그러나 드물지만 무척추동물의 생흔화석과 개형층 패각편의 산출, 풍부한 공룡발자국 보행렬화석의 산출은 비록 생명체의 다양성은 부족할지라도 신성리 지역에 존재했던 호수환경이 생명체들의 서식

처로서의 역할을 했음을 반영하고, 다수의 공룡들이 물을 먹기 위해 호숫가를 방문했음을 의미한다. 파도연흔의 정선방향과 용각류 공룡의 보행렬 방향이 거의 직교함은 이러한 사실을 뒷받침한다.

신성리 지역의 공룡발자국 보행렬화석은 단일한 성층면 내에서 높은 다양성과 밀집도를 가지며 산출된다. 특히 수각류 공룡의 보행렬이 높은 비율을 차지하여 화순 서유리지역의 공룡발자국 화석산지(Huh *et al.*, 2003b)와 유사한 산출특성을 보인다. 연구지역의 보행렬화석 중 용각류와 조각류의 공룡발자국은 보행렬의 방향성이 일정한 편이나, 수각류의 발자국은 연장성은 좋지만 일정한 방향성을 보이지 않고 화석산지 전역에 걸쳐 다양한 방향을 보인다. 또한 수각류들의 이동속도도 다양하게 나타난다. 이러한 특성들은 대체로 단독 생활의 습성을 가지는 육식공룡

의 이동 특성을 잘 보여준다. 한편, 주요 보행렬화석 산출층의 상위 약 1.6 m에 놓인 층에서 새롭게 확인된 소형 수각류 보행렬화석은 유사한 모양과 크기를 가지고 다소 일정한 방향성을 보이며 산출된다. 이러한 산출특성은 소형 수각류의 무리생활 습성을 나타낸다(Lockley and Matsukawa, 1999).

연구지역의 사곡층 공룡발자국화석 퇴적층은 붉은색층의 발달이 없는 호수주변부 내지 얇은 호수 퇴적층으로 구성된다. 의성 제오리와 만천리의 사곡층 공룡발자국 화석 퇴적층은 붉은색층으로 이루어져 있는 충적평원 범람원퇴적층이다(Paik *et al.*, 2013). 이는 사곡층 퇴적층이 충적평원의 범람원에서 호수 주변부 및 얇은 호수에 이르는 환경에서 형성된 퇴적층임을 의미하며, 당시 다양한 공룡들이 충적평원의 범람원에서 호수주변부에 이르기까지 분지 내부를 넓게 지속적으로 활용했음을 지시한다.

따라서 신성리 공룡발자국화석 퇴적층 형성 당시의 고환경과 고생태를 요약하면 다음과 같다. 약 1억 년 전 백악기 당시 신성리 일대에는 건기와 우기가 반복되는 계절성 기후의 영향을 받은 얇은 호수와 호수주변부에 넓은 평원이 존재하였다(그림 10). 호수 주변부 평원에서는 우기 시 산발적으로 발생한 개방

수류에 의해 퇴적작용이 발생했고, 이후 도래한 건기로 인해 퇴적물 표면은 노출되면서 건열이 발생했다. 때때로 지속되는 건기에 의해 미약하지만 토양화작용이 발생했고, 호수의 물은 점차 염도가 높아짐에 따라 증발광물이 형성되었다. 이러한 열악한 환경으로 인해 생명체의 다양성은 높지 않았으나 얇은 호수에는 개형층들이 서식하였으며, 가뭄 시기에는 많은 공룡들이 물을 먹기 위해 호수를 방문하였고, 발자국을 남겼다. 용각류와 조각류들은 각각 일정한 방향성을 보이며 호수주변부 평원을 거닐었고, 비교적 몸집이 큰 수각류들은 단독으로 활동했으며, 때때로 소형 수각류들은 무리지어 호숫가를 어슬렁거렸다. 이처럼 신성리 일대에 존재했던 백악기 호수와 호수주변부 평원은 건조한 시기 동안 많은 공룡들의 생태 공간으로서의 역할을 한 것으로 해석된다.

6. 결 론

- 1) 경북 청송군 신성리 지역에 분포하는 사곡층 퇴적층의 넓은 성층면에서 용각류, 수각류 및 조각류 공룡의 보행렬화석과 다수의 공룡발자국 화석이 높은 밀집도를 보이며 산출된다. 비교적

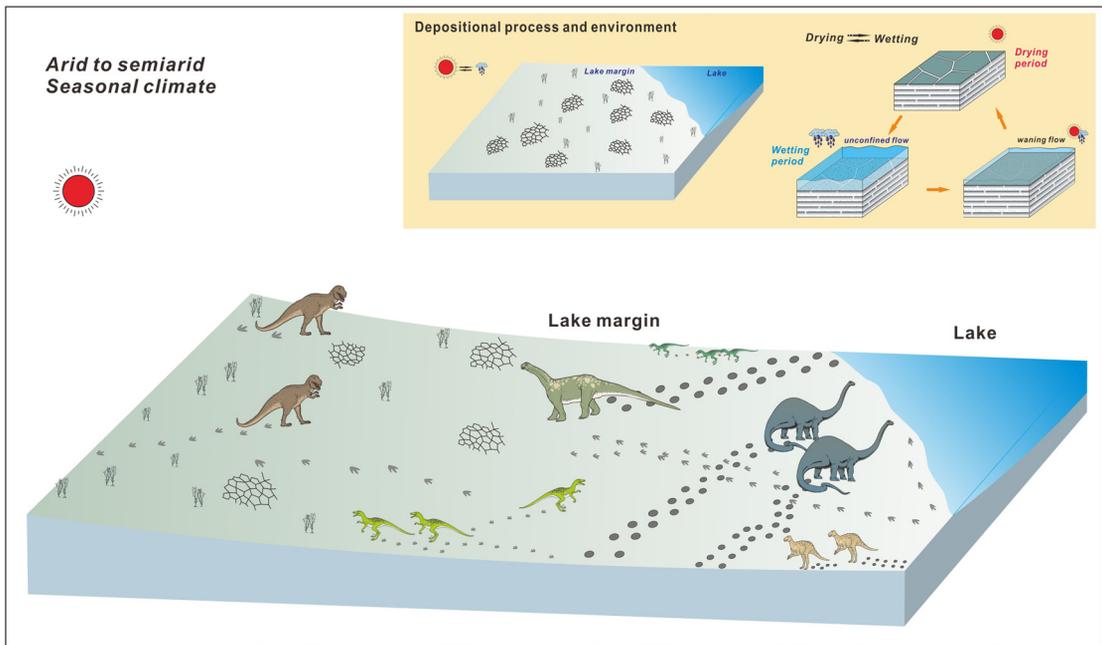


Fig. 10. Schematic cartoon showing paleoenvironment of the Cretaceous Sagok Formation at Sinseong-ri, Cheongsong-gun.

뚜렷한 용각류 공룡의 보행렬은 화석산지의 동서를 가로지르면서 거의 나란한 방향으로 넓게 분포하고, 조각류 보행렬은 화석산지의 남서쪽에 집중적으로 분포한다. 이와는 달리 수각류 공룡의 보행렬은 성층면 전역에 걸쳐 여러 방향으로 나타난다. 이러한 공룡발자국화석의 분포 특성은 용각류 및 조각류 공룡의 무리 생활과 수각류의 단독 생활의 습성을 보여준다.

- 2) 연구지역 공룡발자국 보행렬화석의 보행특성을 파악하기 위하여 보행렬을 구성하는 발자국 중 보존 상태가 비교적 양호한 용각류와 수각류 발자국을 대상으로 발자국의 크기와 보폭 등을 기재하였고, 이동속도를 계산하였다. 그 결과 용각류는 모두 서행하고 있던 것으로 해석되며, 수각류는 크기와 모양이 다른 보행렬이 서행에서 속보까지 다양한 속도를 보여주며 무리 이동하는 공룡들의 속도분포와 다른 양상을 나타냈다. 이 역시 수각류의 단독 생활 습성을 지시한다.
- 3) 용각류, 조각류 및 수각류 보행렬화석 산출층준의 상부 약 1.6 m에 놓인 층준에서 소형 수각류 발자국화석이 새롭게 확인되었다. 이들은 유사한 크기와 모양을 가지며, 대체로 일정한 방향성을 가지고 보행렬을 이루며 산출된다. 이러한 특성은 소형 수각류가 무리지어 생활했음을 지시한다.
- 4) 신성리 지역 공룡발자국화석 퇴적층은 암상, 암색, 퇴적구조 등을 바탕으로 5개의 퇴적상, 열층 내지 얇은층으로 발달한 세립사암 내지 실트스톤과 이암의 교호암, 청회색 내지 연녹색의 석회질의 세립사암 내지 실트질 이암, 연녹회색의 이질 사암 내지 사질 이암, 판상 내지 사엽층리가 발달한 세립사암 내지 실트스톤, 점이층을 이루는 중립 내지 세립사암으로 구분되었고, 이들은 건기와 우기가 반복되는 호수주변부(이질평원-사질평원) 내지 얇은 호수환경에서 형성된 개방수류 퇴적층이며, 때때로 토양화작용을 겪었던 것으로 해석된다.
- 5) 연구지역의 공룡발자국화석 퇴적층에서는 건열과 파도연흔이 흔히 산출되며, 간혹 증발광물흔과 미약한 토양화기록이 관찰된다. 이는 때때로 건기가 지속적이었으며, 다소 염도 높은 호수물이 존재했음을 지시한다. 따라서 연구지역 사곡

층 퇴적층의 퇴적환경은 건조한 기후가 우세한 가운데 건기와 우기가 반복되는 계절성 기후하의 호수주변부 평원 내지 얇은 호수환경으로 해석된다.

- 6) 신성리 지역의 사곡층 퇴적층에서는 다양하고 풍부한 공룡발자국화석과 함께 드물지만 무척추동물의 생흔과 개형층의 패각편이 산출된다. 이는 신성리 지역에 존재했던 백악기 호수와 호수주변부 환경이 생명체의 다양성은 부족했지만 생명체들의 서식처였으며, 건조한 시기 동안 많은 공룡들의 생태공간로서의 역할을 했던 것으로 해석된다.

## 감사의 글

이 연구는 청송군과 한국연구재단(과제번호: NRF-2018R1D1A1B07041872)의 지원에 의해 이루어졌으며, 이에 감사를 드린다. 이 논문의 부족한 부분에 대해 유익한 도움말을 주신 서울대학교 이용일 명예교수님과 익명의 심사위원님께 깊은 감사를 드리며, 야외조사에 도움을 준 부경대학교 지구환경과학과 지구고환경실�헬실의 박정규 군과 박상규 군에게도 고마움을 전한다.

## REFERENCES

- Alexander, R.M., 1976, Estimates of speeds of dinosaurs. *Nature*, 261, 129-130.
- Chae, Y.U., Choi, T., Paik, I.S., Kim, J.S., Kim, H.J., Kim, S.J. and Lim, H.S., 2017, U-Pb ages of detrital zircon from Iljik, Jeomgok and Sagok formations, Cheongsong Global Geopark, Korea. *Proceeding of International Symposium Commemoration the 70<sup>th</sup> Anniversary of the Geological Society of Korea and 2017 Annual Fall Joint Geology Meeting*, p. 192 (in Korean).
- Chang, K.H., 1975, Cretaceous stratigraphy of southeast Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 11, 1-23.
- Chang, K.H., Ko, I.S., Lee, J.Y. and Kim, S.W., 1977, Explanatory text and Geological map of Gusandong Sheet (1:50,000). Korea Research Institute of Geoscience and Mineral Resources, 29 p.
- Chang, K.H., Koh, I.S., Park, H.I., Chi, J.M. and Kim, H.M., 1978, Explanatory text and Geological map of Cheonji sheet (1:50,000). Korea Research Institute of

- Geoscience and Mineral Resources, 20 p.
- Choi, H.I., Son, J.D., Oh, J.H., Choi, Y.J., Yoon, H.S., Shin, S.C., Yang, M.Y., Kim, S.G., Cho, D.H., Moon, C.B., Min, S.S. and Park, Y.S., 1982, Geological, Geochemical and Geophysical studies on the Gyeongsang Supergroup in the Euseong area. Korea Institute of Energy and Resources Bull., 28, 50 p.
- Fisher, J.A., Nichols, G.J. and Waltham, D.A., 2007, Unconfined flow deposits in distal sectors of fluvial distributary systems: Examples from the Miocene Luna and Huesca Systems, northern Spain. Sedimentary Geology, 195, 55-73.
- Gierlowski-Kordesch, E.H., 1998, Carbonate deposition in an ephemeral siliclastic alluvial system: Jurassic Shuttle Meadow Formation, Newark Supergroup, Hartford Basin, USA. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 140, 161-184.
- Gierlowski-Kordesch, E. and Rust, B.R., 1994, The Jurassic east Berlin Formation, Hartford Basin, Newark Supergroup (Connecticut and Massachusetts): A saline lake-playa-alluvial plain system. In: Renaut, R.W. and Last, W.M. (eds.), Sedimentology and Geochemistry of Modern and Ancient Saline Lakes. SEPM Special Publication, 50, 249-265.
- Hubert, J.F. and Hyde, M.G., 1982, Sheet-flow deposits of graded beds and mudstones on an alluvial sandflat-playa system: Upper Triassic Blomindon Redbeds, St Mary's Bay, Nova Scotia. Sedimentology, 29, 457-475.
- Huh, M., Hwang, K.G., Paik, I.S. and Chung, C.H., 2003a, Dinosaur tracks from the Cretaceous of South Korea: distribution, occurrence and paleobiological significance. Island Arc, 12, 132-144.
- Huh, M., Paik, I.S., Chung, C.H., Hwang, K.G. and Kim, B.S., 2003b, Theropod tracks from Seoyuri in Hwasun, Jeollanamdo, Korea: occurrence and paleontological significance. Journal of the Geological Society of Korea, 39, 461-478 (in Korean with English abstract).
- 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 South Korea, and their paleobiological implications. Cretaceous Research, 27, 123-138.
- Hwang, K.G., Huh, M. and Paik, I.S., 2002, Sauropod tracks from the Cretaceous Jindong Formation, Hogyeri, Masan City, Korea. Journal of the Geological Society of Korea, 38, 361-375 (in Korean with English abstract).
- Hwang, K.G., Huh, M. and Paik, I.S., 2004, Sauropod trackways from the Cretaceous Jindong Formation at Docheon-ri, Changnyeong-gun, Gyeongsangnam-do, Korea. Journal of the Geological Society of Korea, 40, 145-159 (in Korean with English abstract).
- Kim, H.J. and Paik, I.S., 2001, Sedimentary facies and environments of the Cretaceous Jindong Formation in Goseong-gun, Gyeongsangnamdo. Journal of the Geological Society of Korea, 37, 235-256 (in Korean with English abstract).
- Kim, H.J., Paik, I.S. and Huh, M., 2011, Bird footprint-bearing deposits from the Cretaceous Haman Formation in the southern Gyeongsang Basin: occurrences, taphonomy and paleoenvironments. Journal of the Geological Society of Korea, 47, 97-122 (in Korean with English abstract).
- Kim, H.M. and Seo, S.J., 1992, A study on dinosaur footprint fossils from Uiseong of Gyeongbuk, Goseong of Gyeongnam and other area. Survey Report of Natural Monument (fossils and rocks) and Dinosaur Footprint Fossils. The Geological Society of Korea, 187-261 (in Korean).
- Kim, K.S., Lockley, M.G., Kim, J.Y. and Seo, S.J., 2012, The smallest dinosaur tracks in the world: Occurrences and significance of *Minisauripus* from East Asia. Ichnos, 19, 66-74.
- Kim, J.Y. and Huh, M., 2018, Dinosaurs, Birds, and Pterosaurs of Korea: A Paradise of Mesozoic Vertebrates. Springer, 320 p.
- Kim, J.Y. and Kim, J.W., 2016, The present situation and problems of researches on vertebrate fossils from the Cretaceous of Korea. Proceeding of the 2016 spring meeting of the Korean Earth Science Society, p. 124 (in Korean).
- Kim, J.Y., Kim, K.S., Lockley, M.G., Yang, S.Y., Seo, S.J., Choi, H.I. and Lim, J.D., 2008, New didactyl dinosaur footprints (*Dromaesauripus hamanensis* ichnogen. et ichnosp. nov.) from the Early Cretaceous Haman Formation, south coast of Korea. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 262, 72-78.
- Kim, J.Y. and Lockley, M.G., 2012, New sauropod tracks (*Brontopodus pentadactylus* ichnosp. nov.) from the Early Cretaceous Haman Formation of Jinju area, Korea: implications for sauropods manus morphology. Ichnos, 19, 84-94.
- Kim, J.Y., Lockley, M.G., Kim, H.M., Lim, J.-D. and Kim, K.S., 2009, New dinosaur tracks from Korea, *Ornithopodichnus masanensis* ichnogen. et ichnosp. nov. (Jindong Formation, Lower Cretaceous): implications for polarities in ornithopod foot morphology. Cretaceous Research, 30, 1387-1397.
- Kwon, Y.I. and Lee, I.K., 1973, Exploratory text and Geological map of Dopyeong sheet (1:50,000). Geological and Mineral Institute of Korea, 9 p.
- Lee, H.G. and Hong, S.H., 1973, Exploratory text and

- Geological map of Cheongsong sheet (1:50,000). Geological and Mineral Institute of Korea, 23 p.
- Lee, T.H., Park, K.H. and Yi, K., 2018, Nature and evolution of the Cretaceous basins in the eastern margin of Eurasia: a case study of the Gyeongsang Basin, SE Korea. *Journal of Asian Earth Sciences*, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2018.07.004>.
- Lim, J.D., Kong, D.Y., Kim, S.Y., Kim, T.Y. and Nam, S.C., 2008, Discovery of the longest baby sauropod trackway from Korea. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 28, suppl. 3, p. 106A.
- Lim, J.D., Lockley, M.G. and Kong, D.Y., 2012, The trackway of a quadrupedal ornithopod from the Jindong Formation (Cretaceous) of Korea. *Ichnos*, 19, 101-104.
- Lockley, M.G. and Matsukawa, M., 1999, Some observations on trackway evidence for gregarious behavior among small bipedal dinosaurs. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 150, 25-31.
- Melchor, R.N., Bedatou, E., Valais, S. and Genise, J.F., 2006, Lithofacies distribution of invertebrate and vertebrate trace-fossil assemblages in an Early Mesozoic ephemeral fluvio-lacustrine system from Argentina: Implications for the Scoyenia ichnofacies. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 239, 253-285.
- Moon, J.M., 2010, Dinosaur tracks of the Cretaceous Sagok Formation at Sinseong-ri, Andeok-myeon, Cheongsong-gun, Gyeongsangbuk-do, Korea. Thesis of Master's degree, Kyungpook National University, 45 p (in Korean with English abstract).
- Moon, J.M. and Lim, S.K., 2011, Dinosaur footprints from the Sagok Formation in Sinseong-ri, Cheongsong-gun, Gyeongsangbuk-do, Korea. *Journal of Paleontological Society of Korea*, 27, 302 (in Korean).
- Paik, I.S., Huh, M., So, Y.H., Lee, J.E. and Kim, H.J., 2007, Traces of evaporites in Upper Cretaceous lacustrine deposits of Korea: Origin and paleoenvironmental implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 30, 93-107.
- Paik, I.S. and Kim, H.J., 2006, Playa lake and sheetflood deposits of the Upper Cretaceous Jindong Formation, Korea: Occurrences and palaeoenvironments. *Sedimentary Geology*, 187, 83-103.
- Paik, I.S., Kim, H.J., Kang, H.C. and Lim, J.D., 2013, Dinosaur tracksite at Jeori, Geumseongmyeon, Euseonggun, Gyeongsangbukdo, Korea (National Monument No. 373) - Occurrences, significance in natural history, and preservation plan. *MUMHWAJAE Korean Journal of Cultural Heritage Studies*, 46, 268-289 (in Korean with English abstract).
- Paik, I.S., Kim, H.J. and Lee, Y.I., 2001, Dinosaur track-bearing deposits in the Cretaceous Jindong Formation, Korea: occurrence, palaeoenvironments and preservation. *Cretaceous Research*, 22, 79-92.
- Scott, J.J., Renaut, R.W. and Owen, B., 2010, Taphonomic controls on animal tracks at saline, alkaline lake Bogoria, Kenya Rift Valley: impact of salt efflorescence and clay mineralogy. *Journal of Sedimentary Research*, 80, 639-665.
- Smoot, J.P. and Lowenstein, T.K., 1991, Depositional Environments of Non-Marine Evaporites. In: Melvin, J.L. (ed), *Evaporites, Petroleum and Mineral Resources, Developments in Sedimentology*, 50, 189-347.
- Thulborn, T., 1990, *Dinosaur Tracks*. Chapman Hall, London, 410 p.
- Türkmen, İ., Aksoy, E. and Taşgin, C.K., 2007, Alluvial and lacustrine facies in an extensional basin: The Miocene of Malatya basin, eastern Turkey. *Journal of Asian Earth Sciences*, 30, 181-198.
- Um, S.H., Choi, H.I., Son, J.D., Oh, J.H., Kwak, Y.H., Shin, S.C. and Yun, H.S., 1983, Geological and Geochemical Studies on the Gyeongsang Supergroup in the Gyeongsang Basin. *Korea Institute of Energy and Resources Bull.*, 36, 124 p.

---

Received : August 8, 2019

Revised : September 2, 2019

Accepted : September 16, 2019