

## 3D 사진측량법을 이용한 여수 사도 공룡발자국 화석산지 조사 및 교육자료 활용방안

조혜민<sup>1</sup> · 홍민선<sup>1</sup> · 손종주<sup>1</sup> · 이현영<sup>1</sup> · 박경범<sup>2</sup> · 정종윤<sup>3,\*</sup> · 허 민<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>전남대학교 지구환경과학부 & 한국공룡연구센터, 61186, 광주광역시 북구 용봉로 77

<sup>2</sup>전남대학교 산업공학과, 61186, 광주광역시 북구 용봉로 77

<sup>3</sup>전남대학교 지질환경과학과 & 한국공룡연구센터, 61186, 광주광역시 북구 용봉로 77

## A Survey of Yeosu Sado Dinosaur Tracksite and Utilization of Educational Materials using 3D Photogrammetry

Hyemin Jo<sup>1</sup>, Minsun Hong<sup>1</sup>, Jongju Son<sup>1</sup>, Hyun-Yeong Lee<sup>1</sup>, Kyeong-Beom Park<sup>2</sup>,  
Jongyun Jung<sup>3,\*</sup>, and Min Huh<sup>1,\*</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Earth Systems and Environmental Sciences & Korea Dinosaur Research Center,  
Chonnam National University, Gwangju 61186, Republic of Korea

<sup>2</sup>Department of Industrial Engineering, Chonnam National University, Gwangju 61186, Republic of Korea

<sup>3</sup>Department of Geological and Environmental Sciences, Chonnam National University,  
Gwangju 61186, Republic of Korea

**Abstract:** The Yeosu Sado dinosaur tracksite is well known for many dinosaur tracks and research on the gregarious behavior of dinosaurs. In addition, various geological and geographical heritage sites are distributed on Sado Island. However, educational field trips for students are very limited due to accessibility according to its geological location, time constraints due to tides, and continuous weathering and damage. Therefore, this study aims to generate 3D models and images of dinosaur tracks using the photogrammetric method, which has recently been used in various fields, and then discuss the possibility of using them as paleontological research and educational contents. As a result of checking the obtained 3D images and models, it was possible to confirm the existence of footprints that were not previously discovered or could not represent details by naked eyes or photos. Even previously discovered tracks could possibly present details using 3D images that could not be expressed by photos or interpretive drawings. In addition, the 3D model of dinosaur tracks can be preserved as semi-permanent data, enabling various forms of utilization and preservation. Here we apply 3D printing and mobile augmented reality content using photogrammetric 3D models for a virtual field trip, and these models acquired by photogrammetry can be used in various educational content fields that require 3D models.

**Keywords:** dinosaur track, photogrammetry, Yeosu Sado dinosaur tracksite, 3D modeling, educational material

**요약:** 여수 사도 공룡발자국 화석지는 많은 수의 공룡발자국 화석과 함께 공룡의 집단행동에 대한 연구로 잘 알려진 지역이다. 또한 다양한 종류의 지질유산 및 지형유산이 분포하고 있어 지질관광과 지질교육의 장으로 주목받고 있다. 그러나 지리적 위치에 따른 접근성, 조차에 의한 시간적 제약, 지속적인 풍화 및 훼손에 의해 학생들의 교육을 위한 아

\*Corresponding author: jongyun1991@gmail.com  
minhuh@jnu.ac.kr

Tel: +82-62-530-0577 and +82-62-530-3455

외조사는 매우 제한적으로만 이루어지고 있다. 따라서 이번 연구는 최근 다양한 분야에서 이용되고 있는 사진측량법을 이용하여 사도의 공룡발자국 화석들의 3D 모델과 이미지를 생성한 후 이를 통해 과거에 확인하지 못한 화석에 대한 세부적인 정보를 확인함과 동시에 이를 교육자료로 활용 할 수 있는 방안에 대하여 제안하고자 한다. 획득한 3D 이미지를 통해 확인한 결과 기존에 육안이나 사진으로 확인하지 못하였던 일부 발자국 화석들의 존재를 확인할 수 있었고 기존에 발견된 화석이라도 사진이나 해석 드로잉으로 표현하지 못하였던 세부를 이미지로 나타낼 수 있었다. 또한 발자국 화석의 3D 모델은 향후 반영구적인 데이터로 보존할 수 있어 여러 형태로의 활용과 보존이 가능하다. 이번 연구에서는 사진측량법으로 얻어진 3D 모델을 활용하여 3D 프린팅 및 가상야외조사에 활용할 모바일 증강현실 콘텐츠를 구현하였으며 향후 3D 모델이 필요한 다양한 교육 콘텐츠 분야에서 사진측량법을 활용할 수 있을 것으로 보인다.

주요어: 공룡발자국 화석, 사진측량법, 여수 사도 공룡발자국 화석산지, 3D 모델링, 교육자료

## 서 언

야외 학습을 통한 과학 교육은 교실 학습, 실험실 학습과 함께 과학교육에 있어서 가장 중요한 요소 중 하나이다(Orion and Hofstein, 1994). 또한, 화석 산지를 포함한 지질학적 명소에서의 체험은 방문객들에 대한 교육뿐만 아니라, 전체적인 사회 구성원들의 과학적인 이해 수준의 증가와 더불어 중요한 지질학적 명소의 보존과 중요성에 대한 사회적 공감대를 형성하는 데 도움을 줄 수도 있다(Clary and Wandersee, 2014). 이러한 점에서 한반도에서 발견되는 여러 공룡발자국 화석산지는 지질학 및 고생물학 내용을 쉽고 효과적으로 교육할 수 있는 최적의 야외 학습 장소이다. 그러나 한반도의 많은 공룡발자국 화석산지는 해안가나 도서지역과 같이 접근성이 떨어지는 지역에 분포하는 특징이 있고, 남해안 지역에 위치하는 화석산지의 경우 조석의 영향을 많이 받기 때문에 접근할 수 있는 시간이 매우 제한적이다. 그 밖에 파도와 조수의 영향(Kong et al., 2011), 균열과 박리(Yoo et al., 2012), 인위적인 훼손(Kong et al., 2011; Lee et al., 2019) 등의 영향을 받아 많은 수의 공룡발자국 화석산지가 최초 발견 또는 발굴했을 시기의 상태를 유지하지 못하고 있는 상황이다. 그 뿐만이 아니라 2019년 말부터 시작된 코로나바이러스감염증-19 (COVID-19)의 영향으로 전 세계의 학생들의 학업 방식에 영향을 받게 되었을 뿐만 아니라 실내 또는 야외 활동이 불안정하게 되어 현장에서의 야외학습이 매우 어려운 상황이다(Aristovnik et al., 2020). 현장 실습이나 야외 조사가 중요한 지질학 분야 역시 코로나바이러스감염증-19 팬데믹의 영향에 따라 많은 대학교의 야외 활동이 비대면 활동으로 전환되었다(Rotzien et al., 2021). 이러한 상황의 대안으로 가상야외답사(Virtual Field Trip, VFT)를 포함한 다

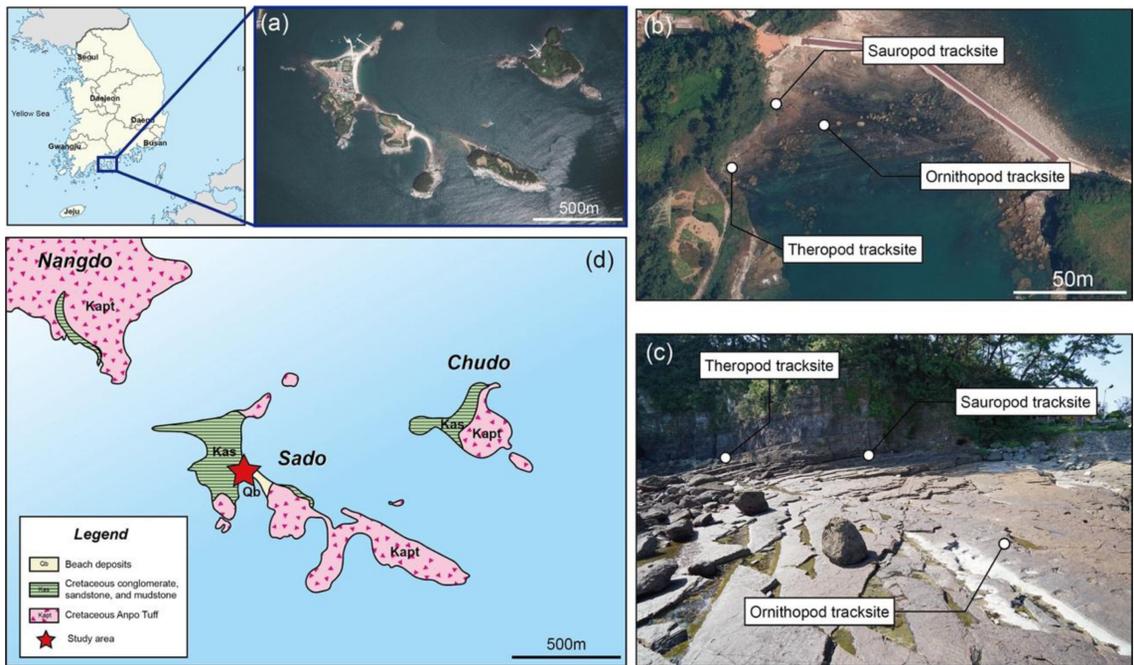
양한 종류의 교육 콘텐츠가 제안 및 활용되고 있다.

최근 다양한 분야에서 사진 자료를 통하여 3D 모델을 구축하는 사진측량법이 주목을 받고 있다. 고생물학 분야에서도 사진측량법은 다방면으로 사용되고 있으며 특히 발자국 화석을 연구하는 데 있어서 표준화된 연구 방법 중 하나로 받아들여지고 있다(Falkingham et al., 2018; Lallensack et al., 2020). 국내에서도 사진측량법을 발자국 화석의 보존에 사용하기 위한 연구가 다수 진행된 바 있다(Kong et al., 2010, 2011; Ahn et al., 2013). 최근에 들어서는 국내에서 발견된 발자국 화석에 대한 고생물학적 연구에서도 사진측량법을 통한 이미지를 많이 활용하고 있다(Kim et al., 2018, 2020; Lockley et al., 2020; Kang et al., 2021; Yoon et al., 2021). 하지만 이렇게 얻어진 발자국 화석의 3D 모델을 통해 교육 및 산업 콘텐츠로 활용하거나 체계적인 데이터베이스화는 아직 이루어진 바 없다.

따라서, 이번 연구에서는 3D 사진측량법을 이용하여 전라남도 여수시 화정면 사도에 분포한 공룡발자국 화석의 3D 모델을 취득해 기존에는 알려지지 않은 이 지역 공룡발자국 화석을 추가적으로 기재하고, 고생물학적 활용방안 및 3D 프린팅, 가상야외답사 등의 다양한 교육자료로서 이용 가능성을 제시하는 것이 목표이다.

## 연구 지역

전라남도 여수시 화정면 일원은 백악기 유천층군에 해당하는 화산암류인 안산암질 응회암과 유문암질 응회암이 넓게 분포하고 있고 이를 백악기 화성암류가 관입하는 형태이다(Song and Kim, 2015). 연구지역에 해당하는 사도를 포함한 낭도, 추도 등에서는 다양한 조성의 응회암과 조면안산암 사이에 역암, 사암,



**Fig. 1.** Locality and geological map of the study area. (a) Aerial photograph of Yeosu Sado Island. (b) Aerial photograph of dinosaur tracksite in Sado Island. (c) Photograph of ornithopod, theropod, sauropod track bearing surfaces. (d) Geological map of the study area (modified from Song and Kim, 2015).

세일 등의 두꺼운 백악기 쇄설성 퇴적암이 분포하고 있다(Park et al., 2003; Song and Kim, 2015) (Fig. 1). 사도 지역의 관입암, 화산력, 응회암 등을 이용한 K-Ar 연대측정 결과는 약 64-72 Ma로 나타났으며 (Park et al., 2003), 화산입자를 사용한 K-Ar 연대측정 결과 또한 이와 비슷한 74.3-75.2 Ma로 나타났다 (Paik et al., 2009).

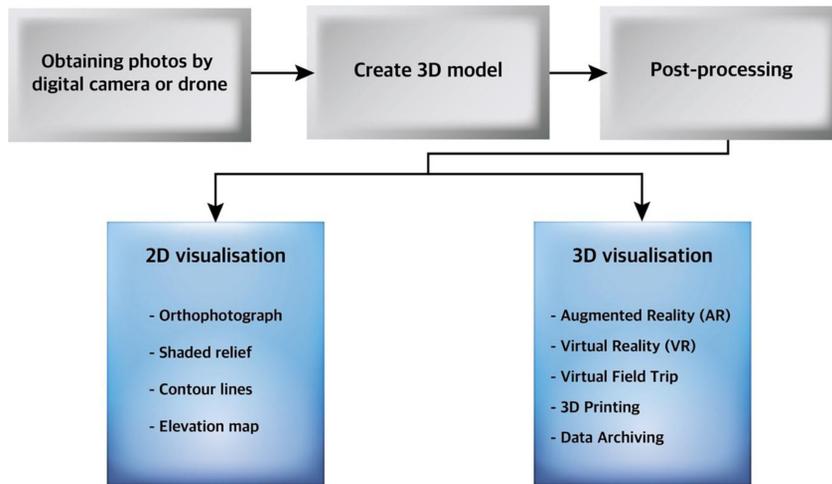
연구 지역의 백악기 퇴적층은 충적선상지 퇴적층, 충적평원 퇴적층, 호수 연변부 퇴적층 등으로 이루어져 있다(Paik et al., 2009). 공룡발자국 화석은 낭도, 추도, 사도, 목도 등에 분포하고 있는 호수 연변부 퇴적층에서 발견되며 이질평원 기원의 엽층의 세립질 사암-실트암-이암, 사질평원 기원의 판상 내지 사암층리가 발달된 세립질 사암-실트암, 간헐적으로 협재되어있는 응회질 조립 사암 등이 연흔, 건열, 무척추 동물 생흔, 퇴적 동시성 변형구조 등과 함께 관찰된다(Paik et al., 2006, 2009). 또한 사도 내의 퇴적층에서는 윤회퇴적구조가 발견되며 이는 화산활동에 따른 지형 변화와 관련된 단기적인 기후 변동과 관련되었을 것으로 보인다(Paik et al., 2009).

공룡발자국 화석은 낭도, 사도, 추도, 목도, 적금도

를 포함한 5개 섬의 화산쇄설성 퇴적층 사이에 협재하여 분포하는 세립질사암-실트암-이암 내에서 약 3,500개의 공룡발자국 화석이 발견되며 이 지역은 현재 천연기념물 제434호 여수 낭도리 공룡발자국 화석산지로 지정되어 있는 상태이다(Huh et al., 2001, 2002; Paik et al., 2006). 이곳에서 발견되는 공룡발자국 화석은 많은 수의 발자국이 보행렬을 이루며 조각류 보행렬 65개, 수각류 보행렬 16개, 용각류 보행렬 3개가 확인되었다(Paik et al., 2006; Lockley et al., 2012) (Fig. 2). 특히 추도에서 발견되는 84 m의 조각류 보행렬 화석은 세계에서 가장 긴 조각류 보행렬 화석 중 하나로 알려져 있으며 조각류와 용각류의 서로 평행한 보행렬은 공룡의 집단행동에 의해 만들어진 것으로 보인다(Lockley et al., 2012). 대부분의 공룡발자국 화석은 해안가에 위치하고 있으며 이 때문에 파도, 조수에 의한 물리적 풍화, 생물학적 풍화, 화학적 풍화에 의한 훼손이 진행되고 있는 것이 확인되었다(Fig. 2b, j). 공룡발자국 이외에도 Huh et al. (2012)은 사도에서 새발자국 화석인 *Aquatilavipes* isp.와 *Koreanaornis* isp.를 보고한 바 있으며 무척추 동물 생흔화석, 탄화목, 연체동물, 개형충 등의 화석



**Fig. 2.** Photographs of Yeosu Sado dinosaur tracksite. (a) Ornithopod tracksite after removing the seawater and sediments during low tide. (b) Ornithopod tracksite submerged during high tide. Same area as (a). (c) Theropod tracksite during the low tide. (d) Sauropod tracksite during the low tide. (e-f) Theropod tracks. (g) Sauropod tracks. (h-i) Ornithopod tracks. (j) Ornithopod tracks covered with seawater and sediments during low tide. Same site as (a).



**Fig. 3.** The basic workflow for photogrammetric 3D modeling utilization (modified from Falkingham et al., 2018; Romilio, 2020; Lallensack et al., 2020).

이 사도에서 발견된 바 있다(Huh et al., 2001, 2002; Paik et al., 2006). 이번 연구에서는 기존의 연구(Huh et al., 2002; Paik et al., 2006)에서 S3로 기재되었던 조각류 발자국 화석산지, S9로 기재되었던 수각류 발자국 화석산지, Lockley et al. (2012)에서 용각류 발자국 화석산지로 기재되었던 곳을 포함한 세 화석산지를 중심으로 수행하였다(Fig. 1b-c, Fig. 2a-d).

## 연구 방법

### 현장 조사 및 사진자료 수집

현장 조사는 2021년 3월 5일부터 6일까지, 2021년 10월 1일까지 2회에 걸쳐 시행하였고 공룡발자국 화석의 측정, 기재와 함께 사진측량법에 사용할 사진을 촬영하였다. 사진 촬영에는 디지털카메라 Sony A7 Mark III, 디지털렌즈 Sony SEL2470Z를 사용하였다. 발자국 화석은 바닷물과 해양생물을 제거하여 건조시킨 후 모든 사진이 서로 60-80% 겹칠 수 있도록 바닥으로부터 약 150 cm의 높이에서 일정한 간격으로 촬영하였으며 조각류 발자국 화석산지는 117장, 수각류 발자국 화석산지는 162장, 용각류 발자국 화석산지는 151장의 사진을 각각 사진측량에 사용하였다.

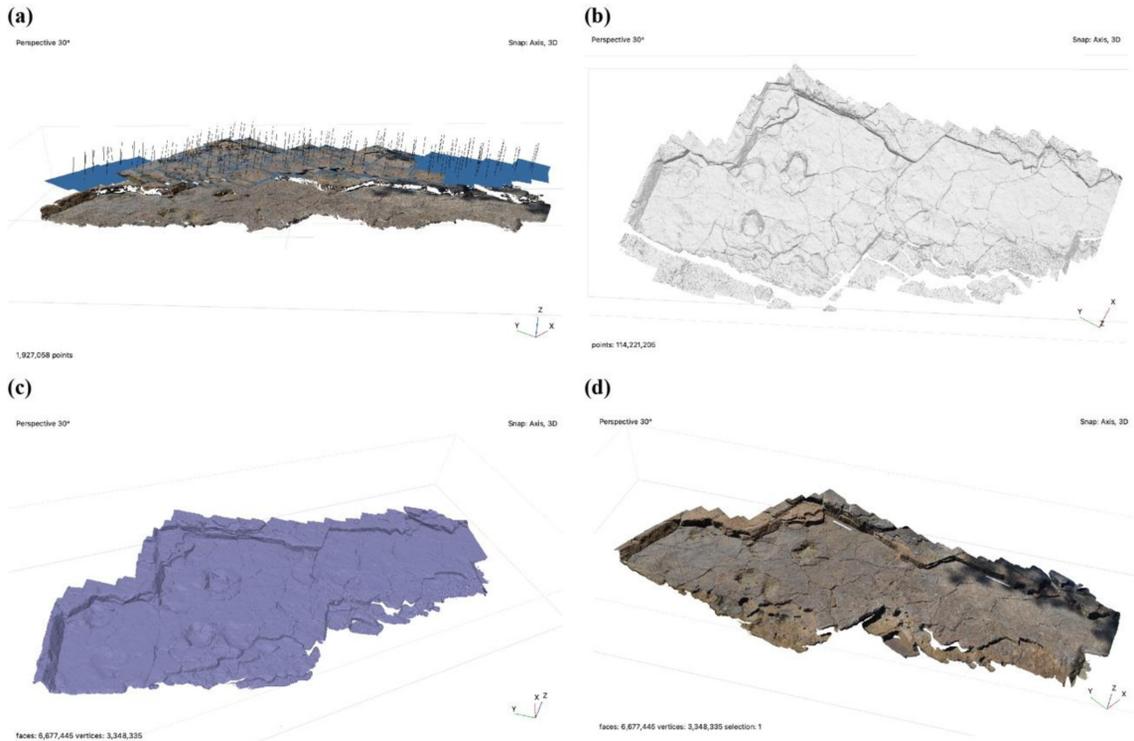
### 3D 모델 생성

이번 연구의 3D 사진측량법의 작업 흐름은 Falkingham et al. (2018), Romilio (2020), Lallensack et al. (2020)을 참고하여 진행하였다(Fig. 3). 촬영한 사진들

로부터 3D 모델을 구축하는 데에는 Agisoft Metashape Professional v. 1.7.1을 사용하였으며 사진 정렬(Align Photos), 조밀 점군 생성(Build Dense Cloud), 메쉬 생성(Build Mesh), 텍스처 생성(Build Texture) 순으로 진행하였다(Fig. 4). 3D 모델 생성 도중 발자국 화석이 존재하는 노두와 관련 없는 포인트 클라우드(point cloud)는 삭제하였으며 결과적으로 3D 모델 생성에 이용된 포인트 클라우드의 수는 조각류 화석산지 1,434,526개, 수각류 화석산지 2,243,752개, 용각류 화석산지 1,927,058개다. Agisoft Metashape Professional을 통해 제작한 발자국 화석의 모델은 노두의 표면만을 3D로 가지고 있는 2.5D의 형태로 볼 수 있다. 따라서 이를 3D 프린터를 포함한 기타 매체에서 활용하기 편한 형태로 만들기 위해 Autodesk Meshmixer v. 3.5를 사용하여 후처리를 하였고 3D 모델은 Sindoh DP200을 통해 인쇄하였다. 증강현실을 통한 애플리케이션 개발은 Unity 3D (2019.4.21.f1)를 사용하였으며 AR SDK는 Google ARCore를 사용하였다. 애플리케이션을 시현할 AR 디바이스로는 삼성 Galaxy Tab S3가 사용되었다.

### 이미지 생성 및 편집

제작된 3D 모델로부터 발자국 화석에 대한 다양한 정보를 얻어내기 위해 ParaView v. 5.9.0를 통해서 정사 사진(orthophotograph), 하이트맵(height map), 등고선도(contour map)을 각각 제작하였다. 정사 사진(orthophotograph)은 사진 촬영 시 중심투영으로 인



**Fig. 4.** Processes for building the dinosaur tracks photogrammetric 3D models using Agisoft Metashape Professional. (a) Align photos. (b) Build dense cloud. (c) Build mesh. (d) Build texture.

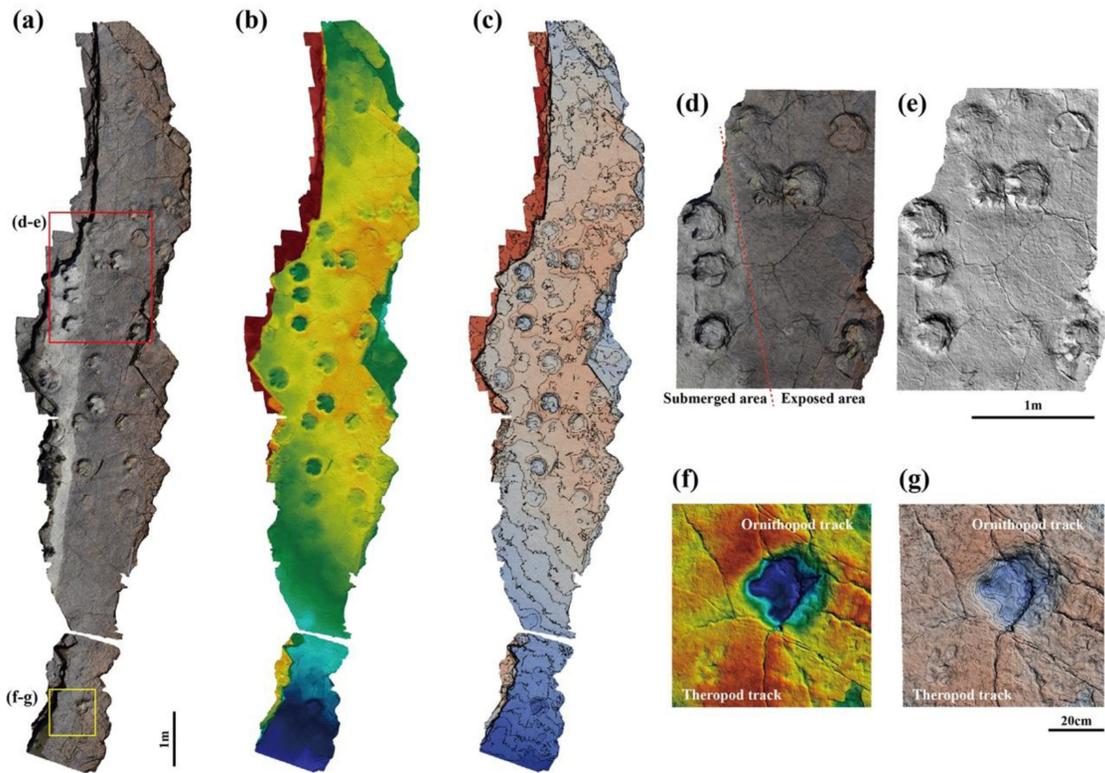
해 생긴 원근법으로 인한 왜곡을 보정해 주기 때문에 정확한 이미지를 표현할 수 있다. 이때 ParaView 내에서 광원의 방향을 경사지게 바꿔주어(oblique light shading) 발자국의 형태가 선명하게 보일 수 있도록 표현하였다. 하이트 맵(height map)은 표면의 깊이 에 따라 다른 색깔을 보여 줄 수 있도록 설정함으로써 선명한 발자국의 형태 및 발자국 내에서의 중량의 분배 등을 쉽게 파악할 수 있도록 표현하였다. 하이트 맵의 색상은 ParaView 내의 Rainbow Desaturated 또는 Cool to Warm 프리셋을 사용하였다. 이렇게 생성된 이미지는 Adobe Illustrator CC 2019와 Photoshop CC 2019를 통해 편집하였다.

#### 여수 사도 공룡 발자국 화석산지 조사

사진측량법을 통한 3D 모델의 획득은 2000년대에 들어서부터 생흔화석을 연구하는 데 있어 널리 활용되고 있으며 점차 보편적인 연구 방법으로 인정받고 있다(Matthews and Breithaupt, 2001; Falkingham, 2012; Falkingham et al., 2018; Lallensack et al.,

2020). 사진측량법을 통한 연구는 3D 레이저 스캐너나 LiDAR 스캐너를 이용하는 것에 비해 경제적인 뿐만 아니라 사진이 가지고 있는 고해상도의 질감을 그대로 표현할 수 있다는 점에서 매우 효과적이다(Lallensack et al., 2020). 또한 사진이나 드로잉으로 표현하던 기존의 전통적인 방법이 시점, 빛의 각도, 관찰자의 편향에 따라 왜곡이 될 수 있을 뿐만 아니라 3차원적인 구조를 2차원적으로 표현하는 데 있어서 한계가 있는 반면 3D 모델을 통한 표현은 다양한 종류의 이미지를 통해 이를 객관적으로 표현해 낼 수 있다(Thulborn, 1990; Falkingham et al., 2018; Lallensack et al., 2020).

여수에서 발견된 공룡발자국 화석에 대한 기존의 고생물학적 연구(Huh et al., 2001; Paik et al., 2006; Huh et al., 2012; Lockley et al., 2012)에서는 사진측량법을 사용하지 않은 전통적인 발자국 화석 기재 방법인 사진이나 드로잉(interpretive drawing)을 이용하여 기재하였다. 그러나 이는 현장에서 확인하기 힘든 높낮이를 가진 발자국이나 일부 발자국에서는 자

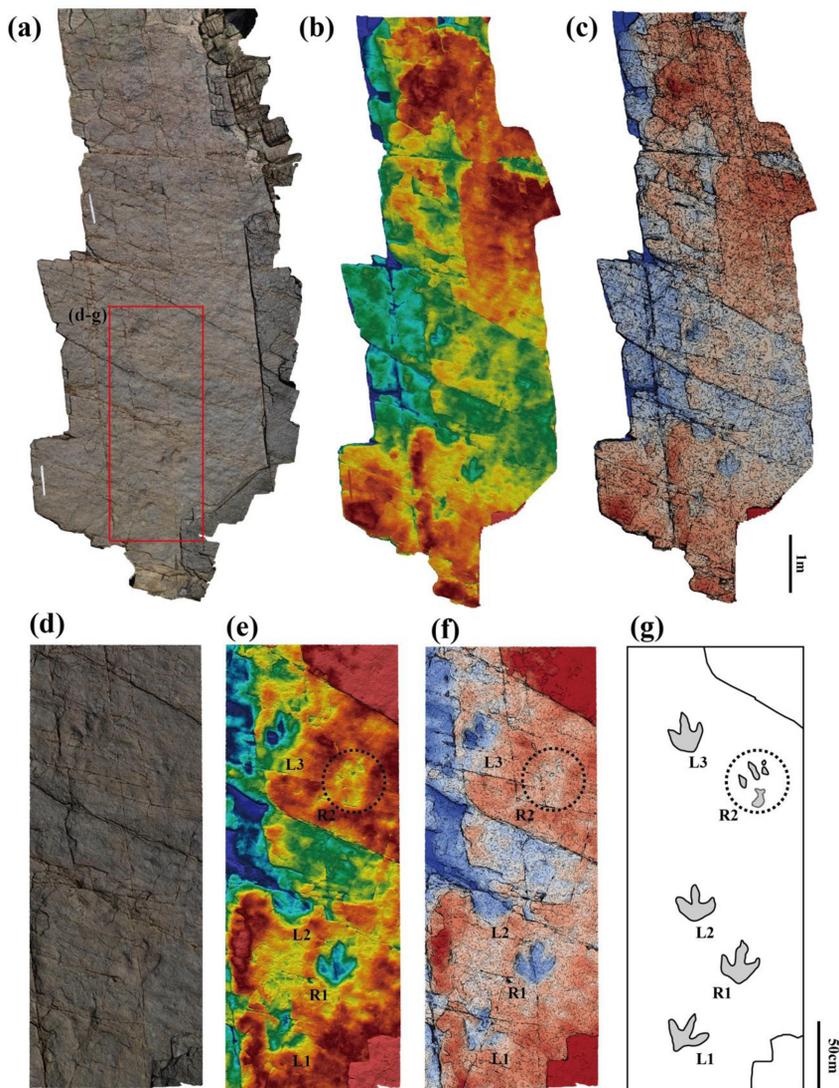


**Fig. 5.** 3D images of ornithopod tracksite (Fig. 2a). (a) Orthophoto combined with oblique light shading. (b) Height map (Rainbow Desaturated). (c) Height map (Cool to Warm) combined with contour lines ( $n=30$ ). (d-e) Orthophoto with oblique light shading (d) and shaded relief combined with oblique light shading (e) of detailed ornithopod tracks. Based on the red dotted line, the right area is exposed, and the left surface (whitish surface) is always submerged by seawater. (f-g) Rainbow Desaturated height maps (f) and Cool to Warm height maps combined with contour lines ( $n=30$ ) of the single ornithopod and theropod track.

제한 구조를 확인하기 힘든 단점이 있다. 또한 화석 산지가 해안가에 위치하기 때문에 일부 발자국 화석의 사진은 물이 고여 있거나(Huh et al., 2001) 사진 없이 해석 드로잉만을 가지고 기재하였다(Huh et al., 2012; Lockley et al., 2012). 그러나 이번 연구에서 일부 보행렬을 포함한 노두에 대해 사진측량법을 통해 만든 이미지를 확인하였을 때 기존에 누락되었던 발자국을 확인할 수 있었을 뿐만 아니라 일부 발자국에서는 발가락의 흔적 또는 깊이에 있어서 더욱 선명한 이미지를 얻을 수 있었다.

사도의 조각류 발자국 화석산지는 14개의 서로 평행한 조각류 보행렬 화석이 보존된 화석산지이다(Fig. 5). Lockley et al. (2012)는 이곳에서 발견된 14개의 조각류 보행렬 화석을 비롯해 사도와 추도에서 발견된 조각류와 용각류의 평행한 보행렬 화석을 통해 집단행동에 대한 연구를 발표하였고 그중 이

화석산지는 단일 노두에서 가장 많은 수의 평행한 보행렬을 보이는 곳이다. 이 화석산지에서 발견되는 조각류 발자국 화석은 그 형태가 매우 선명함에도 불구하고 발자국의 일부가 항상 물에 잠겨있어 퇴적물이 쌓이거나 말미잘 등의 생물에 의해 훼손이 일어나고 있다(Fig. 2j.). 이 화석지는 퇴적층의 경사로 인해 간조 때에도 항상 바닷물이 고여 있기 때문에 물을 제거하더라도 하얗게 퇴적층이 오염되어 있는 상태로 남아있는 곳이다(Fig. 2a, b). 하지만 3D 모델을 통해 퇴적층 자체의 기복(relief)만을 표시하고 가상의 광원을 조절한 결과, 이러한 왜곡에 영향을 덜 받은 발자국 자체의 특징을 쉽게 확인할 수 있었다(Fig. 5e). 또한 육안으로는 확인하기 힘들어 기존에 보고되지 않은 소형 수각류 발자국을 조각류 발자국 화석들과 같은 층에서 찾아볼 수 있었다(Fig. 5f, g). 소형 수각류 발자국이 향하는 방향은 집단 이동을



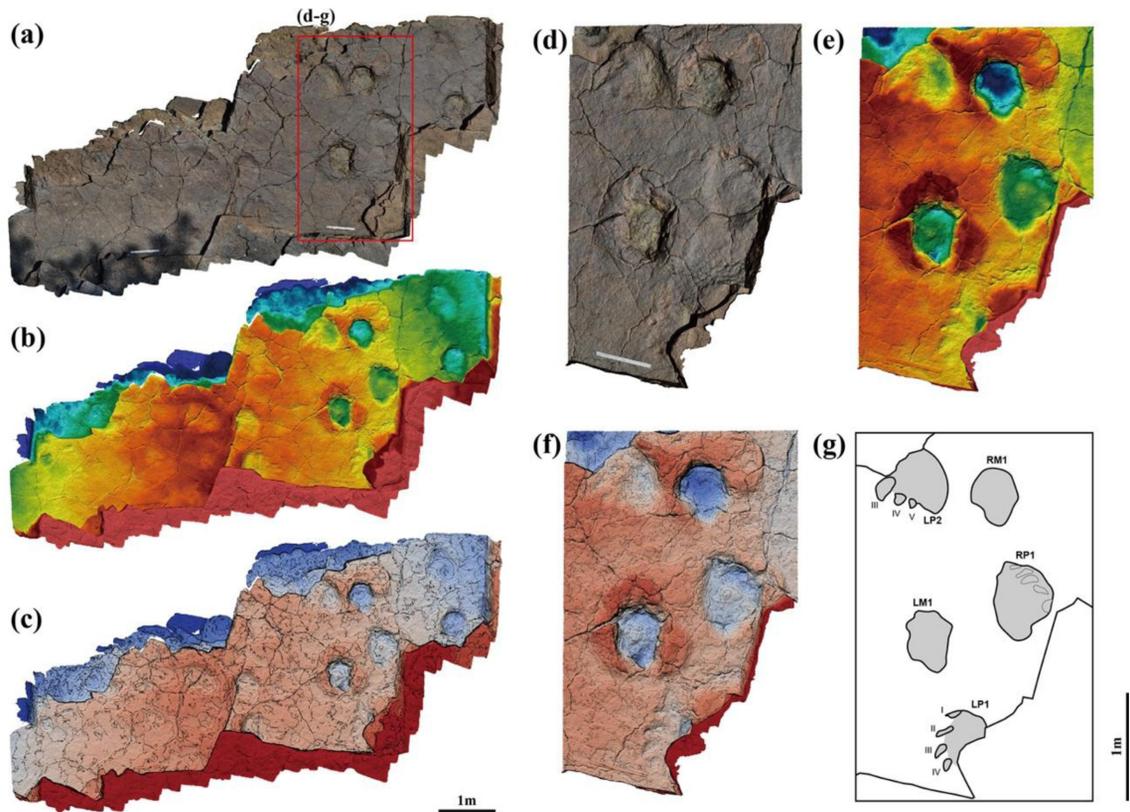
**Fig. 6.** 3D images of theropod tracksite (Fig. 2c). (a) Orthophoto combined with oblique light shading. (b) Hight map (Rainbow Desaturated). (c) Hight map (Cool to Warm) combined with contour lines (n=30). (d-f) Rainbow Desaturated height maps (f) and Cool to Warm height maps combined with contour lines (n=30) of the theropod trackway. Three digits and claw marks of footprint R2 (white dotted line circle) are identified.

하는 조각류 보행렬과 다른 방향이라는 점에서 조각류의 평행한 보행렬들이 지형적인 이유가 아닌 집단 행동에 의한 것임을 뒷받침할 수 있다.

수각류 발자국 화석산지는 기존의 연구에서 대형 수각류 발자국 4개로 구성된 보행렬로 중간의 네 번째 오른쪽 발자국이 보존되지 않은 것으로 알려져 있었다(Huh et al., 2002) (Fig. 6). 그러나 이번 연구에서는 기존에 네 번째 발자국이 있을 것으로 예상되었던 위치에 육안으로는 확인하기 힘든 발자국의

일부가 보존되어 있는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 6d, e). 여수 낭도리 공룡발자국 화석산지 뿐만 아니라 많은 공룡발자국 화석산지에서 종종 보행렬 중간에 일부 발자국이 발견되지 않는 경우가 흔하다. 사진측량법을 통해 이러한 일부 결여된 발자국에 대한 정보를 얻을 수 있다면 공룡의 보행렬에서 좀 더 다양한 정보를 얻을 수 있을 것으로 보인다.

마지막으로 용각류 발자국 화석산지는 3개의 완전한 보행렬과 2개의 불완전한 보행렬이 보고된 화석

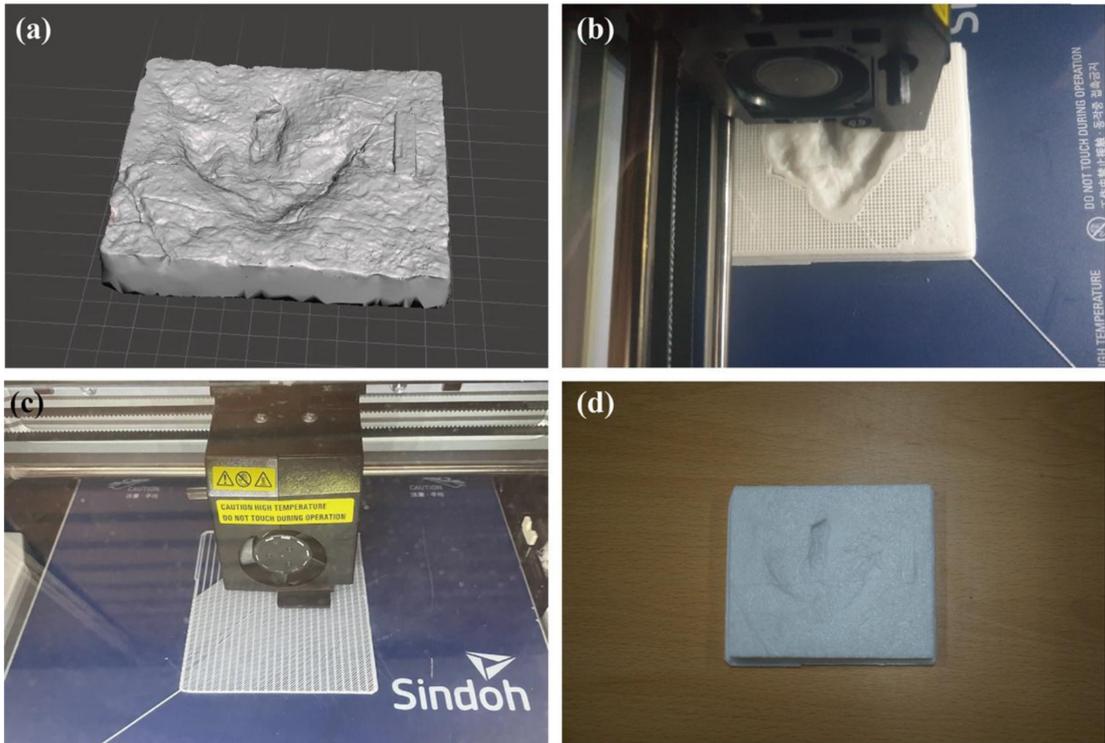


**Fig. 7.** 3D images of sauropod tracksite (Fig. 2d). (a) Orthophoto combined with oblique light shading. (b) Hight map (Rainbow Desaturated). (c) Hight map (Cool to Warm) combined with contour lines (n=30). (d-f) 3D images of the sauropod trackway. (d) Orthophoto combined with oblique light shading. (e) Hight map (Rainbow Desaturated). (f) Hight map (Cool to Warm) combined with contour lines (n=30). (g) Interpretive drawing of the sauropod trackway. Abbreviations: LP, left pes; LM, left manus; RP, right pes; RM, right manus.

산지이다(Lockley et al., 2012) (Fig. 7). 보행렬 간 발자국의 크기는 서로 비슷하며 같은 방향을 향하고 있는 것을 보아 집단으로 이동했을 것으로 해석되었다(Lockley et al., 2012). 이번 연구에서는 기존에 자세하게 보이지 않던 일부 발자국의 발가락 및 발톱 자국을 확인할 수 있으며 앞 발자국(manus)과 뒷 발자국(pes)의 깊이 차이를 명확하게 확인할 수 있다 (Fig. 7d-g). 이러한 깊이의 차이는 용각류의 무게 중심의 위치(Henderson, 2006)와 발의 모양과 크기 (Wright, 2005)에 따라 발생하는데 후기 백악기에 번성하였던 티타노사우루스형류(Titanosauriformes)의 경우 무게 중심이 더욱 앞으로 향해 있어서 앞 발자국이 더욱 깊고 선명하게 보존되는 것으로 알려져 있다(Falkingham et al., 2010).

사진측량법을 통한 공룡발자국 화석의 연구는 좀

더 해상도 높은 발자국의 이미지를 확인할 수 있게 할 뿐만 아니라, 훼손이 진행되고 있거나 예상되는 화석산지의 정보를 보존하고 공유하는 데에도 큰 도움을 줄 수 있다. 기존의 많은 공룡발자국 화석의 경우 데이터 보존, 연구, 교육 등 다양한 목적으로 발자국 화석의 레플리카를 제작하였다. 전통적인 방법의 발자국 화석의 복제품 제작은 알지네이트, 실리콘, 라텍스 등으로 화석의 발자국 화석의 형판(mold)을 제작한 후 섬유강화플라스틱(Fiber Reinforced Plastic, FRP) 등을 이용하여 복제품을 제작하였다(Kim et al., 2004, Kim, 2016; Huh et al., 2002, 2011). 그러나 이러한 방법은 화석산지 전체를 복제하기 어려울 뿐만 아니라 규모를 축소하기 어렵기 때문에 복제 후 보관 및 보존이 용이하지 않다. 그뿐만 아니라 사용된 알지네이트, 실리콘, 라텍스 등의 형판을 재사



**Fig. 8.** 3D printing of theropod track. (a) 3D Model editing via Autodesk MeshMixer. (b-c) 3D printing processes. (d) The result of theropod track 3D printing.

용 하였을 때 초기의 복제품보다 품질이 떨어지는 단점이 있다. 하지만 사진측량법을 통한 데이터베이스화는 반영구적으로 디지털 데이터를 보존할 수 있을 뿐만 아니라 다양한 다른 공룡발자국 화석산지의 데이터들과 공유하여 비교하기에도 용이하다(Falkingham et al., 2018). 특히 우리나라와 같이 다양한 지역에서 공룡발자국 화석이 산출되는 경우에는 체계적인 사진측량 데이터의 데이터베이스화와 접근 시스템을 구축한다면 다양한 지질시대와 지역에 따른 공룡발자국 화석을 종합적으로 연구하는데 큰 도움이 될 것으로 보인다.

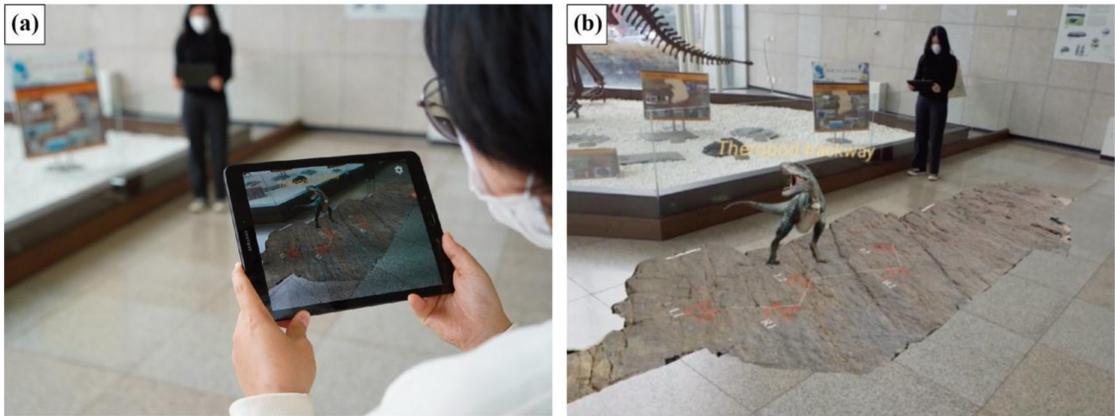
## 교육자료 활용방안

### 3D 프린팅

3D 프린팅 기술은 학습 증진, 기술 개발, 학생들의 참여 증진 향상에 도움이 될 뿐만 아니라(Berry et al., 2010), 창의성, STEM (Science, Technology, Engineering, Mathematics) 분야와 직업에 대한 인식

개선과 동시에 교육자들의 관심과 참여(Horowitz and Schultz, 2014)에도 긍정적인 영향을 준다고 알려져 있다(Ford and Minshall, 2019). 우리나라도 이에 발맞춰 3D 프린팅에 대한 개념 이해 및 실습을 시범교육을 통해 수행하도록 하였으며(미래창조과학부, 산업통상자원부, 2014), 2018년 기준, 교육 분야에서의 3D 프린팅 활용은 우리나라 전체 활용 분야들 중 가장 높은 20.5%를 차지하고 있다(정보통신산업진흥원, 2019). 2020년 기준으로 전국의 초·중·고교 12,018개 중 43.45%에 해당하는 5,222개의 학교에서 총 18,324개의 3D 프린터가 보급되어 있고(강민정의원실, 2020) 점진적으로 증가하는 추세인 것을 고려하면 3D 프린터를 이용한 교육 자료 활용을 다방면으로 확장하기 적합한 조건으로 볼 수 있다.

화석으로부터 사진촬영을 통해 얻은 이미지 형식의 파일은 3D 사진측량법을 통해서 3D 모델로 확장할 수 있으며, 이러한 3D 모델은 3D 프린팅을 통해 고생물학 교육에 널리 활용될 수 있다. 화석으로부터 3D 모델을 제작할 수 있는 방법에는 CT (Computed



**Fig. 9.** (a) Mobile Augmented Reality (AR) content test. (b) Yeosu Sado theropod trackway mobile AR application screen showing 3D model with image and text.

Tomography) 스캔, 표면 스캔(Surface scanning), 사진측량법 등이 있다(Ziegler et al., 2020). 사진측량법은 다른 두 방법에 비해 상대적으로 결과물의 질이 떨어진다는 단점이 있지만, 장비와 소프트웨어가 훨씬 간단하고 경제적이라는 점, 모델 제작에 시간이 상대적으로 적게 소모된다는 점(Westoby et al., 2012), 화석 표본 뿐만 아니라 노두 규모의 큰 대상도 스캔이 용이하다는 점 등으로 최근 들어 많은 고생물학 분야에서 이를 이용하고 있다(Otero et al., 2020). 학생들은 사진촬영부터 3D 프린팅까지의 과정을 직접 체험을 해 볼 수 있으며, 양질의 3D 모델 파일을 제작하고 보급할 수 있는 환경이 마련된다면 공룡발자국뿐만이 아닌 공룡 뼈, 삼엽충, 암모나이트 등의 다양한 고생물 화석의 형태, 단면, 내부 구조에 대한 내용을 각 학교에서 직접 인쇄하여 쉽게 교육 자료로 이용할 수 있을 것이다.

여수 공룡화석산지에서 발견된 수각류 발자국을 1:16로 축소하여 3D 프린팅 해본 결과, 수각류 발자국의 대표적인 특징인 날카로운 세 발가락과 발톱 자국이 잘 표현되는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 8). 기존의 전통적인 발자국 화석 복제품은 축소 복제가 어려웠기 때문에 직접 만져보고 구조를 보기 위해서는 박물관 또는 화석산지에 직접 가야만 하는 단점이 있었다. 따라서 이러한 수각류, 조각류, 용각류의 대표적인 발자국 화석들에 대한 3D 모델을 제작하고 직접 만져보며 확인할 수 있다면 효과적으로 공룡발자국의 형태와 종류에 대해 알려 줄 수 있을 것으로 보인다.

#### 가상야외조사(virtual field trip)

야외조사는 학생들이 직접적으로 지구시스템의 특징과 작용을 현장에서 학습할 수 있는 좋은 기회일 뿐만 아니라 다른 방법보다 지구에 대하여 더욱 효과적으로 학습을 할 수 있는 방법이다(Elkins and Elkins, 2007; Mead et al., 2019). 하지만 예산, 행정 또는 법적인 제약(Behrendt and Franklin, 2014), 장애학생의 접근성(Cooke et al., 1997; Gilley et al., 2015), 야외조사에 참가하는 학생들의 규모(Dolphin et al., 2019) 등의 여러 제약으로 인해 언제나 야외조사의 효율이 떨어지거나 불가능한 상황이 존재한다. 또한, 코로나바이러스감염증-19로 인한 팬데믹 상황은 학생들의 야외 활동의 제한 뿐만 아니라 집단활동에도 제약을 주기 시작함에 따라 많은 수의 학교에서 야외조사를 축소하거나 취소하는 결과를 보여주었다(Barton, 2020). 따라서 이에 대한 대안으로 가상야외조사(virtual field trip)가 주목을 받고 있다. 컴퓨터 기반 교육 환경과 광대역 인터넷의 발전은 가상야외조사를 실제 야외조사의 단점을 극복할 수 있는 대안이 될 수 있을 가능성을 높여주고 있다(Mead et al., 2019). 이러한 가상현실을 이용한 야외조사는 학생들이 제약 없이 체험할 수 있다는 장점이 있을 뿐만 아니라, 능동적인 학습을 가능하게 하고, 협동력을 증진시켜주며 학습동기를 더욱 촉진시켜 줄 수 있다(Pantelidis, 1993; Sung and Lee, 2017). 일반적으로 가상야외조사는 다양한 형식의 매체를 이용하고 있으며 이는 설명, 주석 등의 텍스트 자료를 비롯해 고해상도의 이미지, 비디오, 3D 모델 등을 포함한다.

(Mead et al., 2019). 일반적으로 야외지질조사에서 관찰할 수 있는 대상의 규모는 일반적인 3D 표면 스캔이나 CT로 구현하기에는 너무 클 때가 많다. 따라서 사진측량법이나 LiDAR (Light Detection And Ranging)를 통해 구현할 수 있다. 사진측량법은 LiDAR에 비하여 해상도가 떨어지는 단점이 있지만 고가의 장비 없이 디지털카메라 또는 드론 만으로도 제작 가능하기 때문에 더욱 경제적이고 실무에 이용하기 용이하다.

여수 사도는 공룡발자국 화석을 비롯하여 단층, 해식에, 육계사주 등 약 80여개의 지질 및 지형유산들이 분포하고 있는 지질관광 및 지질교육적으로 활용 가치가 높은 지역이다(Kwon, 2014). 아울러 여수 낭도리 공룡발자국 화석산지는 과거 전남 일대의 지질공원 후보지로 주목받았던 지역이자(Choi et al., 2012) 현재 한국의 백악기 공룡 해안(Korean Cretaceous Dinosaur Coast)의 일부로 현재 유네스코 세계자연유산 잠재목록에 등재되어 있는 상태이다. 하지만 사도는 아직 연도교가 이어지지 않아 여객선을 통해 제한적으로 방문해야 하고, 대부분의 공룡발자국 화석들은 만조 시에 바닷속에 잠기기 때문에 실제 학생들이 야외조사를 체험할 수 있는 시간이 매우 제한적이다. 따라서 이러한 장단점을 고려하였을 때, 여수 사도 지역의 경우 가상야외조사를 적용하기에 매우 적합한 지역으로 보여진다. 사진측량법을 통해 얻어지는 3D 모델과 이미지는 공룡발자국 화석의 3차원적인 형태와 생흔형성자(trackmaker)에 대한 개념, 생흔형성자의 행동과 퇴적물의 상호작용에 대한 이해, 발자국 화석 등을 통해 알 수 있는 공룡의 보폭과 속도의 관계 등을 좀 더 생생하게 전달할 수 있을 것으로 보인다. 또한, 해식에, 파식대, 해식동굴 등의 지형학적 명소들과 암맥, 단층 등의 지구조적 명소들의 3차원적인 구조, 형성 과정에 대해 이해를 도울 수 있다.

여수 사도의 수각류 발자국 화석산지 노두의 3D 모델을 증강현실 애플리케이션으로 개발하여 시현한 결과 높은 해상도와 질감의 3D 모델을 직접 확인 할 수 있었다(Fig. 9). 시현한 애플리케이션은 3D 모델, 이미지, 텍스트 정보를 구현 할 수 있도록 진행하였으며 이를 통하여 실제 발자국의 외곽선(outline), 보행 방향, 생흔형성자의 종류에 대한 정보를 제공할 수 있다. 이번 애플리케이션 개발에는 포함되지 않았지만 사용자의 행동에 따른 상호작용이 가능한 애니

메이션이나 음성정보 또한 이용 할 수 있으며, 시현하는 장소에 맞추어서 실제 발자국 화석의 3D 모델의 크기를 축소하는 것도 가능하다. 이러한 가상야외조사 어플리케이션은 증강현실에만 한정되는 것이 아니라 가상현실에도 함께 적용할 수 있으며, 시현 환경에 맞추어 공룡 발자국 화석에 대한 정보를 제공할 수 있다

## 결 론

이번 연구는 천연기념물 제434호 여수 낭도리 공룡발자국 화석산지 중 사도에 위치한 공룡발자국 화석을 대상으로 디지털카메라를 통한 사진측량법을 시행하여 발자국 화석들의 3D 모델과 이미지, 그리고 3D 프린팅 결과물을 제작하였다. 다양한 3D 모델과 이미지를 제작함으로써 고생물학적 활용과 교육학적 활용에 대한 결론은 다음과 같다.

첫 번째, 사진측량법을 통한 3D 모델 생성은 3D 스캐너를 통한 표면 스캔, CT, LiDAR에 비해서 경제성, 비전문가의 접근성, 스캔 대상의 규모적인 측면에서 이점을 보인다. 보급형의 드론, 또는 일반적인 디지털카메라와 함께 사진측량용 소프트웨어를 이용한다면 비전문가들도 직접 3D 모델 제작을 해 볼 수 있으며 다른 방법들에 비하여 현장에 쉽게 적용이 가능하다.

두 번째, 사진측량법을 통해 기존에 연구되었던 수각류, 조각류, 용각류의 발자국 화석들을 재확인한 결과 수각류 보행렬에서 누락된 발자국 화석, 조각류의 집단행동의 방향과 다른 방향으로 찍힌 수각류 발자국 화석, 용각류 발자국 화석의 발가락 및 발톱 흔적을 관찰할 수 있었다. 이는 여수뿐만 아니라 다른 공룡발자국 화석산지에서도 기존에 육안이나 사진에서 발견하지 못한 화석이나 세부를 사진측량법을 통해 확인할 수 있을 것으로 보인다.

세 번째, 사진측량법은 현장 연구에서만뿐만 아니라 발자국 화석의 정보를 반영구적으로 데이터베이스화 할 수 있는 대안이 될 수 있다. 전통적인 발자국 화석 복제품과는 다르게 디지털화된 자료를 통하여 수정, 편집, 공유가 용이하고 향후 여러 지역에서 쌓인 데이터베이스들을 질적인 연구뿐만 아니라 양적인 연구에서도 활용하기 쉬울 것으로 보인다.

네 번째, 사진측량법을 통해 제작한 3D 모델은 3D 프린팅, 가상야외조사를 포함한 다양한 교육적 방

법에 활용될 수 있다. 이는 발자국화석뿐만 아니라 다양한 종류의 화석들에 대한 3차원적인 구조에 대해 쉽게 이해하는 데 도움을 줄 수 있으며 양질의 3D 모델 파일의 보급을 통해 각 학교에서 직접 인쇄하여 활용할 수 있다. 또한, 사진측량법은 규모가 큰 대상의 3D 모델을 쉽게 제작할 수 있으며 이는 가상 야외조사에 효과적으로 적용 가능할 것으로 보인다.

## 사 사

야외 조사에 도움을 주신 여수 사도 김장수 이장님, 전남대학교 지구환경과학부 김민국 학생, 장준혁 학생, 지오컨버전스센터 차범근 연구원, 사진측량법을 통한 연구 방법에 조언을 주신 공주대학교 이찬희 교수님, 조영훈 교수님, 3D 프린팅에 도움과 조언을 주신 전남대학교 지구환경과학부 지구물질과학연구소 성동훈 교수님, 김현수 연구원, 김계홍 연구원에게 특별한 감사를 드린다. 마지막으로 본 논문을 심사해 주신 익명의 심사위원님들에게 깊은 감사를 표한다.

## References

- 강민정 의원실, 2020, 전국 초중고교 교내 3D프린터 보유 및 유해 프린팅 소재(ABS) 사용 현황. [데이터파일] 미래창조과학부, 산업통상자원부, 2014, 3D프린팅 산업 발전전략(안). 24 p.
- 정보통신산업진흥원, 2019, 2018 3D프린팅 산업 실태조사. 140 p.
- Ahn, J., Kong, D.-Y., and Wohn, K.-Y., 2013, Visualization of 3D Scanned Model for Interpretation of Heritage - case of Dinosaur Tracks for Documentation and Interpretation. *Journal of the HCL Society of Korea*, 8(1), 19-28.
- Aristovnik, A., Keržič, D., Ravšelj, D., Tomaževič, N., and Umek, L., 2020, Impacts of the COVID-19 pandemic on life of higher education students: A global perspective. *Sustainability* 2020, 12(20), 1-34.
- Barton, D.C., 2020, Impacts of the COVID-19 pandemic on field instruction and remote teaching alternatives: Results from a survey of instructors. *Ecology and Evolution*, 10(22), 12499-12507.
- Behrendt, M. and Franklin, T., 2014, A Review of Research on School Field Trips and Their Value in Education. *International Journal of Environmental and Science Education*, 9(3), 235-245.
- Berry, R.Q., Bull, G., Browning, C., Tomas, C.D., Starkweather, G., and Aylor, J., 2010, Use of digital fabrication to incorporate engineering design principles in elementary mathematics education. *Contemporary Issues in Technology and Teacher Education*, 10(2) 167-172.
- Choi, B.-D., Huh, M., Hwang, K.-G., Woo, Y., and Park, J.-Y., 2012, A Preliminary Study on the Candidate Sites for Geopark Around Jeonnam Area: Focusing on Dinosaur Fossil Sites. *Journal of the Paleontological Society of Korea*, 28(1-2), 117-136.
- Clary, R.M. and Wandersee, J.H., 2014, Lessons from US Fossil Parks for Effective Informal Science Education. *Geoh Heritage*, 6(4), 241-256.
- Cooke, M.L., Anderson, K.S., and Forrest, S.E., 1997, Creating accessible introductory geology field trips. *Journal of Geoscience Education*, 45(1), 4-9.
- Dolphin, G., Dutchak, A., Karchewski, B., and Cooper, J., 2019, Virtual field experiences in introductory geology: Addressing a capacity problem, but finding a pedagogical one. *Journal of Geoscience Education*, 67(2), 114-130.
- Elkins, J.T. and Elkins, N.M., 2007, Teaching Geology in the Field: Significant Geoscience Concept Gains in Entirely Field-based Introductory Geology Courses. *Journal of Geoscience Education*, 55(2), 126-132.
- Falkingham, P.L., 2012, Acquisition of high resolution three-dimensional models using free, open-source, photogrammetric software. *Palaeontologia Electronica*, 15(1), 15.
- Falkingham, P.L., Bates, K.T., Avanzini, M., Bennett, M., Bordy, E.M., Breithaupt, B.H., Castanera, D., Citton, P., Diaz-Martínez, I., Farlow, J.O., Fiorillo, A.R., Gatesy, S.M., Getty, P., Hatala, K.G., Hornung, J.J., Hyatt, J.A., Klein, H., Lallensack, J.N., Martin, A.J., Marty, D., Matthews, N.A., Meyer, C.A., Milàn, J., Minter, N.J., Razzolini, N.L., Romilio, A., Salisbury, S.W., Sciscio, L., Tanaka, I., Wiseman, A.L.A., Xing, L.D., and Belvedere, M., 2018, A standard protocol for documenting modern and fossil ichnological data. *Palaeontology*, 61(4), 469-480.
- Falkingham, P.L., Bates, K.T., Margetts, L., and Manning, P.L., 2010, Simulating sauropod manus-only trackway formation using finite-element analysis. *Biology Letters*, 7(1), 142-148.
- Ford, S. and Minshall, T., 2019, Invited review article: Where and how 3D printing is used in teaching and education. *Additive Manufacturing*, 25, 131-150.
- Gilley, B., Atchison, C., Feig, A., and Stokes, A., 2015, Impact of inclusive field trips. *Nature Geoscience*, 8(8), 579-580.
- Henderson, D.M., 2006, Burly gaits: centers of mass, stability, and the trackways of sauropod dinosaurs. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 26(4), 907-921.
- Horowitz, S.S. and Schultz, P.H., 2014, Printing space: using 3D printing of digital terrain models in

- geosciences education and research. *Journal of Geoscience Education*, 62(1), 138-145.
- Huh, M., Lockley, M.G., Kim, K.S., Kim, J.Y., and Gwak, S.G., 2012, First report of *Aquatilavipes* from Korea: new finds from Cretaceous strata in the Yeosu Islands Archipelago. *Ichnos*, 19(1-2), 43-49.
- Huh, M., Paik, I.S., Chun, C.H., Park, J.B., and Kim, B.S., 2001, Dinosaur tracks from Islands in Yeosu, Jeollanam-do, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 37(4), 653-658.
- Huh, M., Paik, I.S., Ko, Y.-K., Kim, K.S., Paik, K.H., Cheong, C.H., and Hwang, K.G., 2002, A Research Report on the Yeosu Dinosaur Sites, Korea. Korea Dinosaur Research Center, Chonnam National University and Yeosu City, Gwangju, Korea, 350 p. (in Korean)
- Huh, M., Paik, I.S., Lee, C.H., Hwang, K.G., Kim, B.S., Gwak, S.G., Moon, K.H., Jang, S.J., Yoon, J.H., Yoo, G.H., Kim, R.H., Kim, W.K., Kang, M.K., Yoo, J.H., and Eo, E.I., 2011, A final report on rescue excavation at the Jeju hominid and vertebrate fossil footprint site. Korea Dinosaur Research Center and Seogipo City, 140 p. (in Korean)
- Kang, S.H., Buckley, L.G., McCrea, R.T., Kim, K.-S., Lockley, M.G., Lim, J.D., Lim, H.S., and Kim, C.-B., 2021, First report of bird tracks (*Ignotornis seoungjoseoi* ichnosp. nov.) from the Jinju formation (Lower Cretaceous), Sacheon City, Korea. *Cretaceous Research*, 104899.
- Kim, K.-S., Lockley, M.G., Lim, J.-D., Bae, S.-M., and Romilio, A., 2020, Trackway evidence for large bipedal crocodylomorphs from the Cretaceous of Korea. *Scientific Reports*, 10(1), 1-13.
- Kim, K.S., 2016, New excavation method and its applications for fossil footprints. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 37(3), 143-161.
- Kim, K.S., Lim, J.D., Lockley, M.G., Xing, L., Kim, D.H., Piñuela, L., Romilio, A., Yoo, J.S., Kim, J.H., and Ahn, J., 2018, Smallest known raptor tracks suggest microraptorine activity in lakeshore setting. *Scientific Reports*, 8(1), 1-10.
- Kim, S.J., Cho, H.G., Jeong, G.Y., Lee, S.H., Do, J.Y., and Chang, S.J., 2004, A study on the restoration and conservation of dinosaur tracks at the Goseong Interchange area. *Natural Heritage Preservation Association*, 156 p. (in Korean)
- Kong, D.-Y., Lim, J.-D., Wohn, K.-Y., Ahn, J.-H., and Kim, K.-S., 2011, Application of 3D Digital Documentation to Natural Monument Fossil Site. *Journal of the Korea Contents Association*, 11(11), 492-502.
- Kong, D.-Y., Lim, J.D., Kim, J.Y., and Kim, K.S., 2010, Application of Digital Photogrammetry to Dinosaur Tracks from the Namhae Gain-ri Tracksite. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 31(2), 129-138.
- Kwon, D.H., 2014, Feasibility of Developing the Natural Heritage of Geological Features and Topography in Sado Island of Yeosu. *Journal of the Geomorphological Association of Korea*, 21(3), 35-48.
- Lallensack, J.N., Buchwitz, M., and Romilio, A., 2020, Photogrammetry in ichnology: 3D model generation, visualisation, and data extraction. *Journal of Paleontological Techniques*, 1-49. <https://doi.org/10.31223/X5J30D>.
- Lee, G., Park, J.H., and Lee, C.H., 2019, Conservation Scientific Diagnosis and Evaluation of Bird Track Sites from the Haman Formation at Yongsanri in Haman, Korea. *MUNHWAJAE Korean Journal of Cultural Heritage Studies*, 52(3), 74-93
- Lockley, M.G., Huh, M., Gwak, S.G., Hwang, K.G., and Paik, I.S., 2012, Multiple tracksites with parallel trackways from the Cretaceous of the Yeosu City Area Korea: Implications for gregarious behavior in ornithomimid and sauropod dinosaurs. *Ichnos*, 19(1-2), 105-114.
- Lockley, M.G., Lim, J.D., Park, H.D., Romilio, A., Yoo, J.S., Choi, J.W., Kim, K.S., Choi, Y., Kang, S.-H., Kim, D.H., and Kim, T.H., 2020, First reports of *Crocodylopus* from East Asia: implications for the paleoecology of the Lower Cretaceous. *Cretaceous Research*, 104441.
- Mathews, N.A. and Breithaupt, B.H., 2001, Close-range Photogrammetric Experiments at Dinosaur Ridge. *The Mountain Geologist*, 38, 147-153.
- Mead, C., Buxner, S., Bruce, G., Taylor, W., Semken, S., and Anbar, A.D., 2019, Immersive, interactive virtual field trips promote science learning. *Journal of Geoscience Education*, 67(2), 131-142.
- Orion, N. and Hofstein, A., 1994, Factors that influence learning during a scientific field trip in a natural environment. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(10), 1097-1119.
- Otero, A., Moreno, A.P., Falkingham, P.L., Cassini, G.H., Ruella, A., Militello, M., and Toledo, N., 2020, Three-dimensional image surface acquisition in vertebrate paleontology: a review of principal techniques. *Asociación Paleontológica Argentina*, 20(1), 1-14.
- Paik, I.S., Huh, M., Park, K.H., Hwang, K.G., Kim, K.S., and Kim, H.J., 2006, Yeosu dinosaur track sites of Korea: the youngest dinosaur track records in Asia. *Journal of Asian Earth Sciences*, 28(4-6), 457-468.
- Paik, I.S., So, Y.H., Kim, H.J., Lee, H.I., Yoon, H.I., Lim, H.S., and Huh, M., 2009, Rhythmic deposits in the Upper Cretaceous lacustrine deposits at Yeosu area, Korea: occurrences and origin. *Journal of the Geological Society of Korea*, 45(2), 85-105.
- Pantelidis, V.S., 1993, Virtual Reality in the Classroom. *Educational Technology*, 33(4), 23-27.

- Park, K.-H., Paik, I.S., and Huh, M., 2003, Age of the volcanism and deposition determined from the Cretaceous strata of the islands of Yeosu-si. *The Journal of the Petrological Society of Korea*, 12(2), 70-78.
- Romilio, A., 2020, An instructional guide to visualising dinosaur tracks. Las Vegas, Nevada, 36 p.
- Rotzien, J.R., Sincavage, R., Pellowski, C., Gavillot, Y., Filkorn, H., Cooper, S., Shannon, J., Yildiz, U., Sawyer, F., and Uzunlar, N., 2021, Field-Based Geoscience Education during the COVID-19 Pandemic: Planning, Execution, Outcomes, and Forecasts. *GSA Today*, 31(3-4), 4-10
- Song, K.-Y. and Kim, H.-C., 2015, Geological report of the Yeosu sheet (1:50,000). Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, 55 p.
- Sung, S. and Lee, M., 2017, A Study of Trend and Effectiveness of imprinting effect in VR, AR Educational Contents. *KSDS Conference Proceeding*, 208-209.
- Thulborn, R.A., 1990, *Dinosaur Tracks*. Chapman and Hall, London, New York, 410 p.
- Westoby, M.J., Brasington, J., Glasser, N.F., Hambrey, M.J., and Reynolds, J.M., 2012, 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300-314
- Wright, J., 2005, Sauropod tracks and their importance in the study of the functional morphology and paleoecology of sauropods. In Rogers, K.C. and Wilson, J.A., (eds.), *The Sauropods: evolution and paleobiology*. University of California Press, Ltd., London, UK, 252-284.
- Yoo, J.H., Lee, C.H., and Eo, E.I., 2012, Evaluation of deterioration Diagnosis and Conservation Environments of the Large and the Giant Dinosaur Footprint Fossils in Haenam Uhangri, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 48(4), 325-340.
- Yoon, H.-S., Lee, Y.-N., Jung, S.-H., Kong, D.-Y., Kim, S.-H., and Son, M., 2021, A juvenile ornithopod tracksite from the Lower Cretaceous Haman Formation, South Korea. *Cretaceous Research*, 125, 104877.
- Ziegler, M.J., Perez, V.J., Pirlo, J., Narducci, R.E., Moran, S.M., Selba, M.C., Hastings, A.K., Vargas-Vergara, C., Antonenko, P.D., and MacFadden, B.J., 2020, Applications of 3D Paleontological Data at the Florida Museum of Natural History. *Frontiers in Earth Science*, 8, 600696.

---

Manuscript received: October 15, 2021

Revised manuscript received: December 1, 2021

Manuscript accepted: December 9, 2021