

발자국 화석의 새로운 발굴 방법 및 적용

김 경 수*

진주교육대학교 과학교육과/한국지질유산연구소, 52673, 경상남도 진주시 진양호로 369번길 3(신안동 380)

New Excavation Method and its Applications for Fossil Footprints

Kyung Soo Kim*

Department of Science Education/Korea Institute of Geoheritage,
Chinju National University of Education, Jinju 52673, Korea

Abstract: This study is concerned with new excavation methods and techniques for fossil tracks/trackways and its application. Unlike the body fossils such as dinosaur skeletons and isolated bones, the Mesozoic vertebrate tracks and trackways including dinosaurs, pterosaurs, and birds are usually discovered in long-distance trackways. The trackways are also found in a large area of the bedding plane and preserved as two-dimensional and flat characteristic. New excavation methods for fossil footprints reflecting these characteristics have been designed to excavate fossil footprints preserved on wide bedding plane and applied to five excavation fossil tracksites. As a result of its application, the tracks and trackways of dinosaur, pterosaur, and bird were successfully excavated. And based on various excavation cases, the step-by-step process and details of the fossil footprints excavation was proposed.

Keywords: fossil excavation method, fossil excavation process, vertebrate fossil tracks/trackways, fossil excavation case

요약: 본 연구는 발자국 및 보행렬 화석의 발굴 방법과 이의 적용에 관한 것이다. 공룡, 익룡 및 새 발자국과 같은 척추동물의 발자국과 보행렬 화석들은 공룡 등과 같은 실체 화석들과는 달리 일반적으로 특정 방향을 향하여 길게 진행한 흔적을 남기거나 넓은 층리면에서 발견되며, 평면적인(2차원적인) 특성을 가진다. 이와 같은 발자국 화석의 특성을 반영하여 비교적 넓은 층리면에 보존된 발자국 화석을 발굴하기 위해 새로운 방법을 고안하였고, 이 방법을 5곳의 발자국 화석 발굴 현장에 적용하였다. 그 결과, 발자국 화석산지에서 공룡, 익룡, 새 발자국과 보행렬 화석들을 성공적으로 발굴하였다. 그리고 다양한 발굴 사례에 근거하여, 발자국 화석 발굴의 단계별 과정과 세부 사항을 제안하였다.

주요어: 화석 발굴 방법, 화석 발굴 과정, 척추동물 발자국 화석, 화석 발굴 사례

서론

화석의 연구에서 표본의 확보는 그 무엇보다 중요하고, 필수적이다. 화석 표본 확보는 학술적 연구를 위해서만이 아니라 화석 자체를 개발 현장이나 야외의 풍화와 침식 환경에서 분리하여 실내에 안전하게

보관함으로써 지질유산의 보존적 가치를 높이며, 그 표본을 통해 학자들 간의 교류를 촉진하고(Lim, 2002), 이를 일반인들과 학생들을 대상으로 전시함으로써 지질학적 연구 성과를 홍보하고 교육할 수 있는 기초 자료로 활용할 수 있다는 데 중요한 의의가 있다(Chun, 2002). Yang (1998)은 교육 자료로서의 화석 표본의 중요성을 강조하고, 화석 표본 모형 세트를 개발하였다. 또한 국내의 공사립 자연사 박물관, 공룡 박물관, 고래 화석 박물관, 화석 박물관 등의 전시 영역은 지질 분야가 가장 많은 비중을 차지하고 있으며(Kim et al., 2006), 그 중에서도 화석은 중요한 전시 대상이자 교육 자료로 활용되고 있다. 그러나 상당수의 박물관과 과학관에 전시되어 있는 화석들은 대부분이 외국의 화석 표본으로 우리나라의 화석 표

*Corresponding author: kimks@cue.ac.kr

Tel: +82-55-740-1248

Fax: +82-55-740-1240

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

본 전시 비중이 낮은 것이 현실이다(Lim, 2002). 최근 국립자연사박물관의 설립을 추진하고 있는 상황(Lee, 2000; Lee, 2012; Lim, 2015; Sohn et al., 2016)에서 우리나라 지질시대의 생물 진화 모습을 보여줄 수 있는 화석 표본의 확보는 국립자연사박물관 설립 전에 이루어져야 하는 매우 중요한 선결 과제이기도 하다.

이와 같이 화석 표본을 확보하는 것은 학술 연구의 시작이자 학술 연구 결과의 계승과 발전 그리고 전시, 교육, 홍보, 경제적 효과를 기대할 수 있는 출발점이다. 최근에는 화석에 대해서 고생물학적 연구 가치뿐만 아니라 자연(지질) 유산으로써의 가치에 대한 인식이 증대되면서 우리나라의 화석 표본에 대한 보존 및 활용을 위한 요구가 증가하고 있다.

우리나라에서는 고생대, 중생대, 신생대의 지층에서 다양한 실제 화석 및 생흔 화석들이 산출되고 있다. 이와 같은 화석들을 표본으로 확보할 때, 삼엽충, 이매패류, 완족류, 나뭇잎 화석 등과 같은 비교적 크기가 작은 실제 화석들의 발굴은 일반적으로 개인용 해머와 정 등을 이용하여 비교적 쉽게 노두에서 분리할 수 있다. 공룡알 등지 화석 또는 공룡 골격 화석 등과 같이 비교적 규모가 크고, 화석이 입체적이어서 지표면에만 국한되지 않고 상당한 깊이까지 매장되어 있는 화석들을 발굴할 경우에는 석고 봉대로 감싸서 발굴하는 방법을 사용한다(Kim et al., 2011).

반면에 우리나라 중생대 백악기 퇴적층에서 풍부하게 발견되는 공룡, 익룡, 새 발자국 화석들은 공룡 골격이나 공룡알 등지 화석과 같이 3차원적인 입체적 산출 상태를 나타내기보다 2차원적이고 평면적인 특성이 더 두드러진다. 잘 보존된 상태의 공룡이나 익룡 발자국 화석 등과 같은 경우에는 발자국이 보존된 층리면 전체를 표본으로 확보하는 것이 중요하다. 그러나 지금까지는 발자국 화석이 보존된 넓은 층리면을 안전하게 표본으로 확보하는 것이 매우 어렵기 때문에 대부분 알지네이트나 실리콘 등으로 외형(mold)을 제작한 후 석고, FRP 또는 GRC 등을 이용하여 발자국 화석 복제품(cast)을 제작하거나(Kim et al., 2004, 2006; Huh et al., 2011), 화석이 보존된 층리면 중 일부분 또는 개별 발자국 화석 표본만을 발굴하였다. 고성 IC 건설 공사와 함안 대치리 공룡 발자국 보행렬을 발굴한 사례에서는 발굴 과정 중에 가해지는 충격으로 인해서 연약한 부위가 탈락되거나 균열이 발생함으로써 화석 표본에 훼손이 발생하였고,

발굴 과정에서 작은 조각으로 분해하여 재조립함으로써 화석 표본의 완전성이 낮아지게 되었다(Kim et al., 2002, 2004; Kim et al., 2007; Lee et al., 2012).

발자국 화석의 경우에 있어서는 걸어간 흔적인 보행렬이 나타나는 경우가 많기 때문에 화석을 발굴할 경우, 수직적인 측면(깊이)보다 수평적인 측면(넓이와 길이)을 고려해야하고 비교적 넓은 면적을 완전하게 발굴해야하기 때문에 많은 어려움이 있었다. 따라서 이처럼 평면적인 특성이 두드러지는 경우에는 다른 발굴 방법이 필요하다.

본 연구의 목적은 중생대 백악기 퇴적층에서 풍부하게 발견되는 발자국 화석을 안전하게 발굴하기 위한 새로운 방법을 소개하고, 이를 실제 화석 발굴 현장에 적용한 사례를 바탕으로 발자국 화석 발굴의 단계별 과정과 세부 사항을 종합적으로 제시하고자 한다.

기존의 화석 발굴 방법

정과 해머를 이용한 단순 화석 발굴

이 방법은 가장 일반적인 화석 발굴 방법으로 해머와 정, 붓, 치과용 도구, 삽 등의 소규모 장비를 이용하여 발굴하는 방법이다. 국내에서는 대부분의 암석들이 단단한 퇴적암으로 구성되어 있기 때문에 기본적으로는 해머와 정을 이용하여 퇴적암의 층리를 따라 충격을 가해서 층리면이 드러나게 쪼갬 후에 화석의 유무를 확인하고 발굴한다(Fig. 1). 비교적 소규모의 실제 화석과 생흔 화석을 발굴할 때 간편하고 쉽게 화석 표본을 확보할 수 있는 방법이다. 하지만 규모가 큰 화석 표본을 확보하기에는 부적절한 방법이다.

석고 자켓을 이용한 발굴

공룡알 등지 화석이나 공룡 골격과 같이 비교적 규모가 크고, 3차원적인 산출 상태를 보이는 화석을 대상으로 발굴할 때, 자주 사용되는 방법이다(Lee et al., 2005). 이 방법은 대체로 1) 화석의 발견, 2) 상부 퇴적층의 부분 제거, 3) 화석 분포 확인, 4) 경화 처리제 또는 접착 처리, 5) 종이 또는 삼베(burlap) 포장, 6) 상부 석고 자켓 피복, 7) 하부 암반 분리, 8) 하부 석고 자켓 피복, 9) 실험실 운반, 10) 석고 분리, 11) 상부 및 주변 퇴적층 제거의 과정의 거친다(Lee et al., 2005). 이 발굴 방법은 공룡 골격 화석



Fig. 1. Simple excavation method using the small hand tool like hammers, chisels, trowels, and dental tools.

의 발굴 과정에서 가장 보편적으로 사용되고 있다. 입체감이 있는 화석 표본을 발굴하는 데 적합한 방법으로 보행렬 화석과 같이 넓고, 평면적인 화석 표본의 발굴에는 적합하지 않다.

수직 절단 후 해체 이전 방식의 발굴

이 방법은 1995년 경상남도 함안군 대치리 칠서산 업단지 조성 부지에서 발견된 공룡 발자국(경남문화재자료 제205호)과 2002년 고성 IC 공사 현장에서 발견된 조각류 공룡 발자국 화석을 발굴할 때 사용되었다(Kim et al., 2002). 발자국 화석 표본을 발굴하기 위해서 다이아몬드 쏘(diamond saw)를 이용하여 발굴하고자 하는 범위를 수직으로 절단한 후 해체하여 이전 복원하는 방식이다.

발굴 과정은 1) 발굴 구역 확정, 2) 퇴적암반 수직 절단 후 주변부 파쇄, 3) 균열 부분의 접합 및 표본 번호 부여, 4) 정과 해머를 이용하여 층리면을 따라 암반에서 분리, 5) 암석의 균열을 따라 해체, 6) 해체된 암반들의 운반, 7) 표본 번호에 따라 재배열 및 복원의 순서로 진행되었다.

발자국 화석 표본을 하부 암반에서 분리하기 위해 층리를 따라 여러 개의 정들을 일렬로 박아서 화석 포함 층리면을 하부의 퇴적암과 분리한다. 이때, 다수의 정과 해머의 충격으로 인해 화석을 포함하는 상부의 퇴적암에 물리적 충격을 주게 되어 다수의 균열이 발생되며, 이로 인해 화석이 훼손될 가능성이 매우 높다.

수직 및 수평 절단 후 해체 이전 방식의 발굴

이 방법은 수직 절단 후 해체 이전 방식의 발굴

방법에서 하부 암반과 분리하는 수평 절단 방법을 개선한 방식으로 2007년 진동 우회도로 건설 공사장 공룡 발자국 발굴·수습 조사에서 처음으로 적용되었다(Kim et al., 2008). 수평 절단을 보다 용이하게 하기 위해서 수직 절단 후 해체 이전 방식의 발굴에서 정과 해머를 이용한 수평 절단 방식 대신 다이아몬드 줄톱(wire saw)을 이용하였다.

이 과정은 대체적으로 1) 발굴 구역 확정(절단선 결정), 2) 암석 표면 보존 처리(Epoxy 처리), 3) 수직 절단(wall saw cutting 또는 hand cutting), 4) 주변부 파쇄, 5) 수평 절단(wire saw cutting), 6) 고정, 철제 밴딩, 포장 작업(anchoring, steel strapping, wrapping), 7) 팔레트 제작, 8) 화석 표본을 팔레트 위로 이동, 9) 화석 표본 이동의 순서로 이루어진다.

이 방법은 다이아몬드 줄톱을 이용함으로써 발자국 화석이 보존된 층리면을 하부 퇴적암과 분리할 때, 화석 표본의 손상을 최소화하면서 평면적인 특성을 가지고 있는 발자국 또는 보행렬 화석을 발굴할 수 있다.

새로운 발자국 화석 발굴 방법

새로운 발자국 화석의 발굴 방법을 간단히 설명하면, 다이아몬드 쏘와 다이아몬드 줄톱을 이용하여 수직과 수평 절단을 실시하고, 다용도 운반틀을 제작하는 과정이다(Kim and Kim, 2013; Kim, 2015). 이 과정은 2007년 진동 우회도로 건설 공사장에서 조각류 공룡 발자국 발굴 및 수습 조사에서 사용되었던 방법과 유사한 면이 있다(Kim et al., 2008). 즉, 다이아몬드 쏘와 다이아몬드 줄톱을 이용하여 수직과 수평 절단을 실시하는 과정까지는 거의 동일하다. 그러나 새로운 발자국 화석 발굴 방법은 이와는 관계 없이 2012년 천연기념물 제534호 진주 호탄동 익룡·새·공룡 발자국 화석산지의 발자국 화석 발굴을 위해 독자적으로 고안한 발굴 방법으로 서로 차이점이 있다. 진동 우회도로 건설 공사장의 발굴 방법과 진주혁신도시 발자국 화석 발굴 방법은 화석의 상부를 보호하기 위해 부직포로 덮어 보호하는 과정, 화석 표본의 이탈을 방지하기 위해 비닐이나 천막 등의 재질로 포장함과 동시에 테이프 형식의 철제 밴드로 화석 표본을 수평과 수직 밴딩 작업을 실시하는 점, 운반과 적재를 쉽게 하기 위해 다용도 운반틀을 제작한다는 것 등에서 차이가 있다. 이 과정을 보다 상

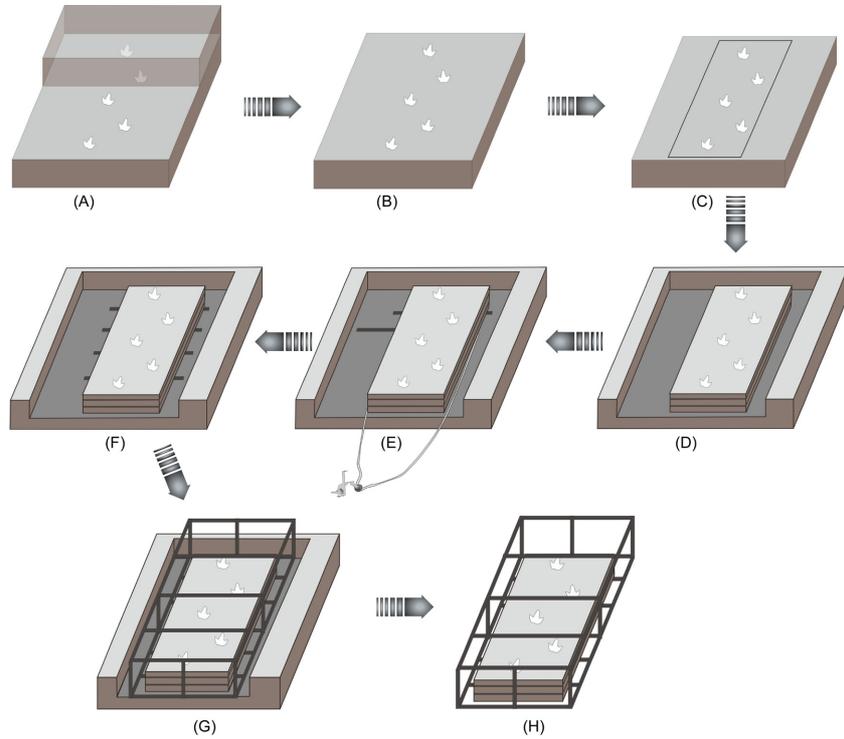


Fig. 2. Showing new excavation process of fossil footprints. (A) Distribution estimation of the discovered footprints, (B) Removal of the upper sedimentary rocks, (C) Confirmation of the excavation area, (D) After vertical cutting, breaking of the periphery rocks and lateral steel strapping on the side of the block, (E) Horizontal cutting using the wire saw, (F) inserting iron plate at the lower part of the block, (G) Making the multipurpose iron frame, (H) Uplifting and moving the block.

세히 서술하면 다음과 같다(Kim, 2015; Fig. 2).

화석 발견 및 분포 추정

발자국 화석이 발견되면 화석의 종류와 분포를 파악하여 매장된 범위와 산출량을 추정한다(Fig. 2A).

상부 퇴적층 제거

발자국 화석이 산출되는 층리면이 퇴적암으로 덮여 있다면, 굴삭기와 인력을 동원하여 상부 퇴적층을 주의 깊게 제거한다(Fig. 2B). 굴삭기를 사용할 때에는 화석이 산출되는 층리면 상부 약 10 cm 정도까지만 제거하고, 화석이 보존되어 있는 층리면을 발굴할 때는 인력을 동원하여 제거하는 것이 바람직하다. 상부 퇴적층이 제거되면 산출되는 화석의 종류와 분포를 다시 파악하고, 사진 촬영, 기록, 분포도 작성 작업을 실시한다.

발굴 구역 확정

화석의 종류와 분포를 파악한 후 발굴하여 보존할 가치가 있는 화석 표본을 결정한다. 발굴 대상 화석 표본이 포함되도록 발굴 구역을 확정한다. 이때 암석의 종류와 성질, 균열의 발달 상황 및 상태 등을 파악하여 안전하게 발굴이 가능할지를 검토한다. 그리고 발굴에 영향을 줄 수 있는 위험 요소를 사전에 확인하고 제거한 후 발굴 구역을 확정하고 수직 절단선을 그리도록 한다(Fig. 2C).

수직 절단 및 주변부 파쇄 작업

이 과정은 수직 절단선을 따라 다이아몬드 쏘를 이용하여 퇴적암을 약 30 cm 이상 수직 절단하는 것이다(Fig. 2D). 수직 절단을 실시하기 전에 발자국이 보존된 층리면에 부직포 등을 덮어서 표면을 보호하는 것이 필요하다. 수직 절단의 깊이는 발굴하고자



Fig. 3. Lateral steel strapping on the side of the block.



Fig. 4. Wrapping and vertical steel strapping.

하는 발굴 대상 발자국 화석의 면적이 넓을수록 깊어진다. 수직 절단은 발굴 구역 수직 절단선을 따라 1차로 실시하고, 2차적으로는 수직 절단선에서 바깥 쪽으로 최소 약 30 cm 간격을 두고 다시 수직으로 절단한다. 이것은 발굴 구역 주변부의 파쇄 작업이 쉽게 이루어지기 위한 목적으로 실시된다. 이때, 다음 발굴 과정인 수평 절단과 하부 지지 부재(폭이 좁은 철판)를 삽입하기 위해서 한쪽 측면은 하부 지지 부재의 길이만큼 간격을 두고 2차 수직 절단을 실시한다.

수직 절단이 완료된 후에 발굴 구역을 제외한 주변부를 휴대용 착암기(jack-hammer), 소형 굴삭기, 해머, 정, 곡괭이, 삽 등을 이용하여 파쇄하여 제거한다(Fig. 2D).

측면 철제 밴딩 작업

수직 절단 및 주변부 파쇄 작업이 완료된 후 화석을 보호하기 위해 부직포와 방수 비닐을 이용하여 화석의 표면을 덮어 보호한다. 그리고 화석의 이탈과 훼손을 방지하기 위해 화석 표본의 측면을 철제 밴드로 밴딩 작업을 실시한다(Fig. 2D and 3).

수평 절단 및 하부 지지 부재 삽입

수직 절단과 주변 파쇄 작업이 완료된 후 다이아몬드 줄톱 장비를 안착시키고 수평 절단을 실시한다(Fig. 2E). 수평 절단을 진행함과 동시에 절단된 화석 표본이 주저앉지 않도록 와이어의 두께에 해당되는 정도의 높이를 갖는 작은 버팀목을 다이아몬드 줄톱이 지나간 곳에 일정한 간격으로 설치한다. 그와 동시에 버팀목 사이에 하부 지지 부재를 일정한 간격으로 삽입한다(Fig. 2F). 하부 지지 부재는 가능한 촘촘한 간격으로 삽입한다.

수직 철제 밴딩 작업

하부 지지 부재를 삽입한 후 화석 표면의 보호와 이탈 방지를 위해 다시 한 번 부직포와 방수 비닐로 화석 표본을 감싼 후 화석 표본의 수직 방향으로 철제 밴딩 작업을 실시한다(Fig. 4).

다용도 운반틀 제작

화석 표본을 안전하게 들어올리고, 운반하여 보관하기 위해서 운반틀을 제작한다(Fig. 2G). 다용도 운반틀은 발굴 현장에서 화석 표본을 쉽게 들어 올려 분리하기 위한 목적이 있다. 동시에 운반의 편의성을 확보할 수 있으며, 철제 빔을 이용하여 상자 형태로 제작함으로써, 화석 표본을 보관할 때, 컨테이너 박스를 겹쳐 쌓아 올리는 것과 같이 대형 화석 표본을 좁은 면적에 보관하는 데에도 장점이 있다.

운반틀의 상세한 제작 방법은 다음과 같다.

- 1) 하부 지지 부재에 ㄱ형 철제 빔을 양쪽 측면에 올리고 이를 용접한다.
- 2) 장축 방향의 ㄱ형 철제 빔에 단축 방향의 ㄱ형 철제 빔을 연결하여 용접한다.
- 3) ㄱ형 철제 빔의 수직 방향으로 철제 빔을 세우고 용접한다.
- 4) 수직 방향 철제 빔의 상부에 수평 방향 철제 빔을 용접한다.
- 5) 철제 빔의 측면과 상부에 뒤틀림을 방지할 수 있는 보강용 철제 빔을 다수 설치한다.
- 6) 하부 지지 부재의 처짐 현상을 방지하기 위해 굴삭기를 이용하여 철제 빔을 한 쪽으로 기울여 하부에 장축 방향으로 보강용 ㄱ형 또는 H빔 형태의 철제 빔을 추가로 다수 용접한다.



Fig. 5. Moving and repositioning of the block.

운반 및 보관

제작된 다용도 운반 틀에 줄을 연결하여 굴삭기 또는 크레인으로 들어 올려 운반한다(Fig. 2H). 이때 지형과 화석 표본의 크기 등을 고려하여 운반할 장비를 선정한다. 운반 후 평편한 곳에 놓고 비와 태양광에 노출되지 않도록 방수 천막으로 덮어 보관하거나 실내에 보관한다(Fig. 5).

새로운 발자국 화석 발굴 방법의 적용

새로운 발자국 화석의 발굴 방법은 경남 혁신도시 부지 조성 공사 중에 발견된 천연기념물 제534호 진주 호탄동 익룡·공룡·새 발자국 화석산지에서 처음으로 적용되었다(Fig. 2-5). 이후 경남 사천시 서포면 새 발자국 화석 발굴(Kim et al., 2013), 천연기념물 제548호 군산 산북동 공룡과 익룡 발자국 화석산지 수습 발굴(Kim et al., 2014a), 의령군 정동리 용각류 공룡 발자국 화석 발굴(Shin et al., 2015), 경남 함안군 00부대 이전사업 체력단련장 내 공룡알 및 새 발자국 화석 발굴(Kim et al., 2015a) 과정에 적용하였다. 그 결과를 간단히 살펴보면 다음과 같다.

경남 사천시 서포면 새 발자국 화석 발굴 사례

경남 사천시 서포면에 분포하는 진주층에서 물갈퀴 새 발자국 화석이 산출되었다. 이곳에서 발견된 물갈퀴 새 발자국 화석은 우리나라에서 가장 오래된 새 발자국 화석 기록이며, 동시에 세계적으로도 가장 오래된 물갈퀴 새 발자국 화석으로 추정되었다. 따라서 매우 중요한 학술적 및 교육적 보존 가치를 가지고 있는 새 발자국 화석이다. 이 새 발자국 화석은 해안가 조간대 상부에 위치하고 있어 지속적인 파도의

영향을 받고 있는 상태였기 때문에 풍화와 침식으로 부터 보호하기 위해서 발굴하여 이전하였다(Kim et al., 2013).

서포면 진주층의 물갈퀴 새 발자국 화석 발굴 과정은 1) 화석의 분포 확인, 2) 상부 퇴적층 제거, 3) 층리면 이물질 제거, 4) 화석 분포 조사, 5) 발자국 화석 분포도 작성, 6) 복제품 제작, 7) 발굴 구역 확정, 8) 수직 절단 및 주변부 파쇄 작업, 9) 수평 절단 및 하부 지지 부재 삽입, 10) 다용도 운반틀 제작, 11) 운반, 12) 화석산지 정리, 13) 천연기념물센터 보관의 순서로 진행되었다(Fig. 6).

군산 산북동 공룡 발자국 화석 발굴 사례

군산 산북동 공룡 및 익룡 발자국 화석산지는 2013년 8월 7일 한국지질자원연구원 최범영 박사와 황재하 박사가 도로 개설 공사 부지에 인접한 곳에서 공룡 발자국을 최초로 발견하여 알려졌다. 이후 우수관로 매설 공사 입회 조사를 통해 조각류 공룡 발자국이 추가로 발견되었다. 입회 조사를 통해서 발견된 조각류 공룡 보행렬은 학술적 가치가 인정되어 긴급 발굴 조사가 실시되었다(Kim et al., 2014a).

조각류 공룡 보행렬 발굴을 위한 공간 확보 작업 중에 보존 상태가 좋은 4개의 뒷발자국 화석이 추가로 노출되었다(Fig. 7A). 추가로 발견된 4개의 뒷발자국은 기존의 6개 뒷발자국보다 뚜렷하고 보존 상태가 우수하여 현장에서 논의한 결과, 4개의 뒷발자국 화석 중 3개의 뒷발자국 화석을 포함하여 모두 9개의 뒷발자국과 8개의 앞발자국 화석을 포함하여 발굴하기로 결정하였다. 최종 발굴 표본의 크기는 무게 등을 고려하여 4.5×1.6 m로 결정하였다(Kim et al., 2014a).



Fig. 6. Excavation process of the webbed-bird footprints at the Seopo tracksite. (A) Distribution estimation of the discovered footprints, (B) Removal of the upper sedimentary rocks, (C) Cleaning on the bedding plane, (D) Distribution research on the bedding plane, (E) Mapping the distribution of the footprints, (F) Making replicas, (G) Confirmation of the excavation area and vertical cutting, (H) Breaking of the periphery rocks, (I) Horizontal cutting using the wire saw and inserting iron plates at the lower part of the block, (J) Making the multipurpose iron frame, (K) Uplifting and moving the block, (L) Finishing and cleaning the excavation site.

이 발자국 화석의 발굴 과정은 1) 상부 퇴적층 제거, 2) 층리면 이물질 제거, 3) 층리면 접착 및 강화 작업, 4) 발자국 분포 조사, 5) 분포도 작성, 6) 사진 촬영, 7) 발굴 구역 확정, 8) 수직 절단 및 주변부 파쇄, 9) 수평 절단 및 하부 지지 부재 삽입, 10) 다용도 운반틀 제작, 11) 운반, 12) 군산 근대역사박물관 보관의 순서로 진행되었다(Fig. 7).

의령군 정동리 용각류 보행렬 발굴 사례

경남 의령군 용덕면 정동리 일원의 의령-정곡 국도 건설공사 현장에서 용각류 공룡 발자국 화석이 발견되었다. 이곳에서는 11개의 용각류 앞발자국과 12개의 뒷발자국 화석이 산출되었다(Shin et al., 2015).

모두 23개의 발자국 화석 중 보존 상태와 화석 표본의 크기 등을 고려하여 14개의 발자국 화석을 포함하는 1개의 보행렬을 발굴하였다. 발굴 대상 범위는 길이 5.5 m, 폭 1.6 m, 두께 0.4 m로 결정하였다. 이곳의 지층은 거의 수평층으로 여러 화석산지들 중에서 발굴 여건이 가장 좋은 곳이다.

이 화석산지의 발굴 과정은 1) 상부 퇴적층 제거, 2) 층리면 이물질 제거, 3) 발자국 분포 조사, 4) 분포도 작성, 5) 발굴 범위 확정, 6) 수직 절단 및 주변부 파쇄, 7) 측면 철제 밴딩 작업 및 이탈 방지 석재용 에폭시 피복, 8) 수평 절단 및 하부 지지 부재 삽입, 9) 부직포 및 방수 비닐 포장, 10) 수직 철제 밴딩 작업, 11) 다용도 운반틀 제작, 12) 의

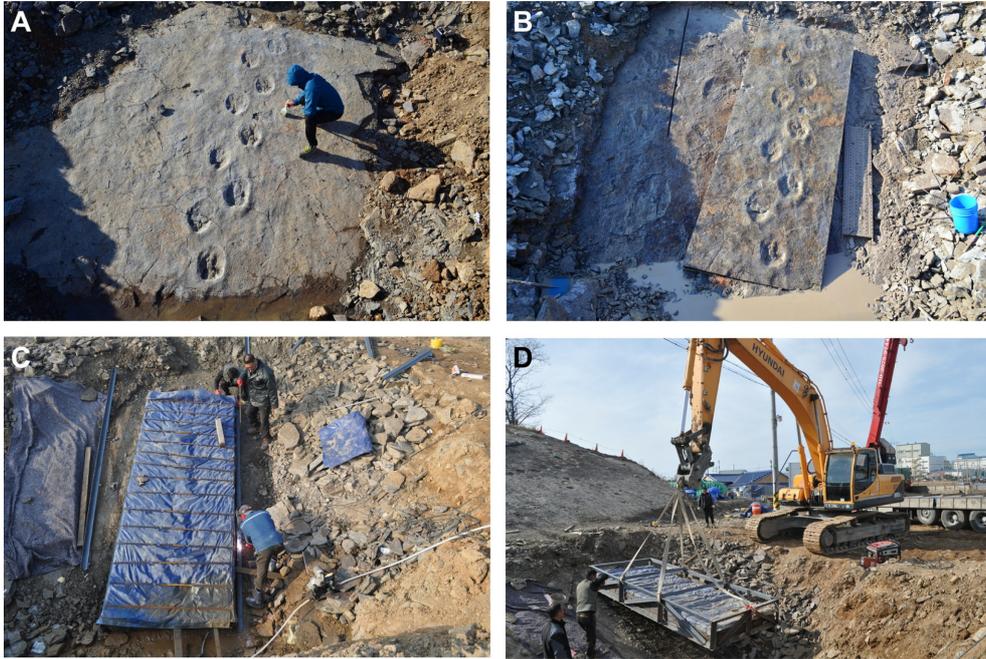


Fig. 7. Excavation process at the Gunsan Sanbukdong tracksite. (A) Cleaning and distribution research on the bedding plane, (B) Vertical cutting and breaking of the periphery rocks, (C) Wrapping and vertical steel strapping, (D) Making the multipurpose iron frame and uplifting and moving the block.

령 박물관 보관의 순서로 진행되었다(Fig. 8).

경남 함안군 00부대 이전 사업 체력단련장 내 새 발자국 화석 발굴 사례

경남 함안군 소포리 일대의 00부대 이전 사업 체력단련장 조성 부지에서 공룡알, 공룡 및 새 발자국 화석이 발견되었다. 문화재청의 보존 조치 의견에 따라 보존 상태가 양호한 새 발자국 화석에 대해서 발굴을 실시하였다(Kim et al., 2015a). 이 화석산지의 새 발자국 화석 노출 층은 이미 상부 퇴적층이 모두 제거된 상태였기 때문에 상부 퇴적층 제거 작업은 생략되었다.

새 발자국 화석은 1) 화석 분포 조사, 2) 층리면 이물질 제거, 3) 분포도 작성, 4) 수직 절단 및 주변부 파쇄 작업, 5) 측면 밴딩 작업, 6) 수평 절단 및 하부 지지 부재 삽입, 7) 수직 밴딩 작업, 8) 다용도 운반틀 제작, 9) 운반의 순서로 발굴하였다(Fig. 9).

새로운 발자국 화석 발굴 방법의 적용 결과

새로운 발자국 발굴 방법은 2015년 9월 30일 특허를 취득하였다(Kim, 2015; 등록 특허 10-1557662). 등록된 특허 방법을 천연기념물 제534호 진주 호탄동 익룡, 공룡, 새 발자국 화석산지 및 5곳의 화석산지에 적용하여 발굴을 수행한 결과, 화석산지별 암석 종류, 균열 발달 상황, 발굴 대상의 크기, 경사도 등과 같은 작업 여건에 따라 세부적으로 적용되는 발굴 과정에 차이가 있었다.

서포면 물갈퀴 새 발자국 화석산지는 해안가 조간대에 해당하는 곳에 위치하고 있다(Fig. 6A). 이곳은 담회색 세립질 사암층의 상부에 해당하며, 사암층의 두께는 10m 이상이다. 지층의 주향과 경사는 N52°E, 12°SE로 비교적 완만한 경사도를 나타낸다(Fig. 6). 연구 지역에서는 조구조적인 활동을 지시하는 특별한



Fig. 8. Excavation process at the Uiryong-gun Jeongdong-ri tracksite. (A) Discovery of the sauropod trackway and distribution estimation of the discovered footprints, (B) Removal of the upper sedimentary rocks and mapping the distribution of the footprints, (C) Aerial photography, (D) Cleaning on the bedding plane, (E) Checking joints (cracks) and broken parts on the sides of the block, (F) Reinforcement on the side of the block using stone epoxy adhesive, (G) Steel strapping on the sides of the block, (H) Horizontal cutting using the wire saw and inserting iron plates at the lower part of the block, (I) Uplifting and moving the block.

구조들이 관찰되지 않으며, 이는 연구 지역의 지층들이 조구조적으로 안정한 조건 하에서 형성되었고 이후에도 특별한 구조적 힘을 받지 않았음을 시사한다 (Kim et al., 2013). 따라서 발굴 당시에는 사암체 내에서 뚜렷한 균열의 발달은 인지되지 않았다. 이와 같은 여건에 따라 이 화석 표본의 발굴 과정에서는 측면 철제 밴딩 작업이 생략되었다(Fig. 6I).

최초로 발견된 물갈퀴 새 발자국 화석은 세립질 사암체의 층리면에 하흔(under print)의 상태로 보존되어 있었으며, 일부 보존 상태가 좋지 않은 물갈퀴 새 발자국 화석들이 사암체 상부를 덮고 있는 얇은 담갈색의 실트질 세일층에 보존되어 있었다. 따라서 상부 퇴적층을 제거하기 전에 원래 노출되었던 상태로 물갈퀴 새 발자국 화석의 분포도를 작성하였다(Fig. 6E). 이후 상부 퇴적층을 제거하고 다시 새롭게 노출된 층리면을 대상으로 물갈퀴 새 발자국 화석의 산출 여부를 다시 확인하여 추가로 발견된 물갈퀴 새 발자국 화석에 대한 분포도를 다시 작성하였다.

상부 퇴적층을 제거한 후 새롭게 노출된 물갈퀴 새 발자국 화석들 중에서는 보존 상태가 매우 좋은 화석들이 발견되었다. 이 발자국 화석들은 얇은 실트질 세일층에 보존되어 있었고, 육안으로 볼 때 특별한 균열 현상이 발견되지는 않았다. 그러나 본격적인 발굴 작업으로 인한 충격으로 훼손될 것을 우려하여 수직 절단이 진행되기 전에 복제품을 제작하였다(Fig. 6F).

군산 산북동 공룡 발자국 화석산지는 세일, 실트스톤, 세립질 사암으로 구성되어 있으며, 지층의 주향과 경사는 N36°W, 22°NE로 비교적 급한 경사를 가진다(Kim et al., 2014b; Figs. 7A-7C). 발굴 대상 조각류 공룡 발자국 화석은 하수관로 설치를 위한 굴착 공사를 진행하던 중에 실트질 세일층에서 산출되었다(Fig. 7). 동일 층준의 세일층이라고 하더라도 지표에 노출되어 오랜 시간이 지난 부분은 상대적으로 암석의 굳기가 약하고, 최근에 노출되었거나 깊이 매몰되어 있던 세일층의 굳기는 상대적으로 강한 특성



Fig. 9. Excavation process at the Haman Sopo-ri tracksite. (A) Cleaning on the bedding plane and confirmation of the excavation area, (B) Vertical cutting and breaking of the periphery rocks, (C) Making the multipurpose iron frame, (D) Uplifting and moving the block.

을 보였다(Figs. 7A and 7B).

상부 퇴적층 제거 작업 후 층리면 이물질들을 제거하여 관찰한 결과, 노출된 층리면의 일부에서 박락 작용이 진행되는 것을 확인하였다. 따라서 이를 보완하기 위해 층리면 집착 및 강화 작업을 진행하고, 발자국 화석의 분포 조사 및 분포도를 작성하였다.

의령군 정동리 용각류 발자국 화석산지의 암석은 적색 이암과 녹회색 내지 회색의 사암이 주로 분포하며, 이암과 사암의 반복된 교호가 특징이다. 대체적으로 이암과 사암의 호층대가 지배적이며, 적색 이암이 우세하다. 부분적으로 사암이 우세한 이암과 사암의 호층대가 나타나기도 한다(Fig. 8C). 공룡 발자국 화석은 도로 개설 공사 구간 바닥에 노출된 최하부 적색 세일의 층리면서 발견되었다(Shin et al., 2015; Figs. 8A-8C). 발자국 화석을 포함한 세일층의 주향과 경사는 N30°E, 10°SE로 매우 완만한 경사를 보인다(Fig. 8B).

발자국 화석이 포함된 세일층에는 용각류 발자국 보행렬이 상당 부분 이미 노출되어 있었으며(Fig. 8A), 추가적인 분포를 조사하기 위해 보행렬이 진행되는 방향으로 상부 퇴적층을 제거하였다(Fig. 8B).

추가로 노출된 용각류 발자국들은 보존 상태가 점차 나빠지면서 최종적으로는 구별이 어려운 상태로 산출되었다. 따라서 상부 퇴적층 제거 작업을 중단하고 노출된 발자국들을 대상으로 가장 좋은 부분을 선정하여 발굴 구역을 확정하였다(Figs. 8D, G and H).

이곳의 발자국 화석 포함 세일층은 굳기가 비교적 단단한 편이지만, 층리면에 직각 방향으로 X자 모양의 균열이 다수 발달되어 있었고, 일부의 균열에서는 세일이 작은 조각들로 파쇄된 형태로 부서지는 현상을 관찰할 수 있었다(Fig. 8E). 따라서 화석 표본 측면을 구성하는 암석의 탈락 현상을 방지하기 위해서 석재용 에폭시를 사용하여 측면에 피복한 후 이후의 발굴 작업을 진행하였다(Fig. 8F).

함안군 소포리 발자국 화석산지는 암적색 내지 적색 세일층과 암녹색 세일층의 3개 층준에서 공룡 및 새 발자국 화석이 발견되었다. 이들 중 암적색 내지 적색 세일층의 1개 층준에서 발견된 새 발자국 화석을 발굴하였다(Fig. 9). 이곳의 주향과 경사는 대체로 N70°E, 10°SE로 비교적 완만한 경사를 나타낸다.

이곳의 새 발자국 화석은 발견 당시 이미 상부 퇴적층이 모두 제거된 상태였으며, 새 발자국 화석도

노출된 층리면 내에 제한적으로 분포되어 있었다 (Fig. 9A). 따라서 상부 퇴적층 제거 작업은 수행하지 않았다.

발자국 화석 발굴의 단계별 과정과 세부 사항

상기의 새로운 발자국 화석의 발굴 방법을 5곳의 발자국 화석 발굴 과정에 적용한 결과, 최대 길이 5.5 m, 폭 1.6 m, 두께 0.4 m의 판상의 직사각형으로 보행렬 화석 표본을 발굴할 수 있었다(Shin et al., 2015). 그리고 모든 발자국 화석산지에 대해서 동일한 발굴 과정을 일괄적으로 적용할 수 없음을 알게 되었다. 각각의 발자국 화석산지는 암석의 종류, 암석의 강도, 풍화 정도, 층리의 발달 유무, 변성도, 절리(균열)의 발달 정도, 경사도, 화석산지의 지형, 기후 또는 기상 조건, 화석 산출 층준의 수 등의 산출 및 보존 상황들이 서로 다르다. 따라서 각각의 발자국 화석산지에 대해 화석 산출 상황들을 정확히 파악하고 발굴 작업을 진행하는 것이 중요하며, 발자국 화석을 발굴할 때에는 화석산지의 산출 상황에 따라 발굴 과정이 조금씩 다르게 적용되는 것은 필연적이라고 할 수 있다. 화석을 발굴하기 위해서는 개개의 발자국 화석산지의 발굴 과정에 가장 이상적인 방법을 찾기 위해 노력해야하지만, 실제적으로는 많은 시행착오를 경험할 수밖에 없으며, 발굴을 통해서 얻어지는 발굴 know-how의 축적과 공유를 통해 시행착오를 최소화하고 줄여 나갈 필요가 있다. 그리고 천연기념물 제548호 군산 산북동 발자국 화석산지과 같이 발굴 작업을 진행하는 중에 하부 층준에서도 새로운 공룡 발자국 화석들이 발견될 가능성도 있음을 주의해야 한다.

현재까지 5곳의 화석산지에 대한 발굴 과정을 종합하여 “발자국 화석 발굴의 단계별 과정 및 세부 사항”을 다음과 같이 제시할 수 있다.

1) 화석 분포 확인

처음으로 화석이 발견된 곳에서는 먼저 육안으로 화석의 분포를 파악한다(Figs. 6A, 7A, 8A, and 9A). 이때 화석이 발견된 곳을 중심으로 반드시 일정 범위 내에서 이물질 제거 작업(건식 또는 습식 제거)이 필수적이다. 군산 산북동 공룡 발자국 화석산지에서는 조각류 보행렬이 처음으로 발견되었다. 그러나 화

석이 노출된 층리면은 전체가 크고 작은 암석편과 퇴적물로 피복되어 있는 상태였다. 이런 상태에서 습식 이물질 제거 작업(물청소 작업)을 수행한 결과, 기존에 발견되지 않았던 조각류 보행렬과 익룡 발자국 화석을 추가로 발견할 수 있었다(Kim et al., 2014b).

2) 상부 퇴적층 제거

발자국 화석의 보행렬 또는 층리면에 산출된 발자국 화석이 상부 퇴적층으로 덮여 있는 곳까지 연장되어 있다고 판단될 경우에는 반드시 상부 퇴적층 제거 작업이 필요하다(Figs. 6B, 7A, and 8B). 이때 암석의 종류, 강도 및 풍화 정도, 층리의 발달 유무, 절리(균열)의 발달 정도, 변성도 등을 확인하고 화석이 포함된 층리면이 최대한 잘 노출될 수 있는 작업 방법을 선정하여야 한다. 초기의 상부 퇴적층 제거 작업에는 굴삭기 등을 사용할 수 있다. 그러나 발자국 화석 층준에 대해서는 굴삭기를 이용한 직접적인 제거 작업은 화석을 훼손할 우려가 있다. 그러므로 암석의 종류, 강도 및 풍화 정도에 따라서 화석 포함 층리면 상부 약 10 cm에 대해서는 인력을 통해 조심스럽게 발굴하는 것이 필요하다. 또한 발굴을 진행할 때, 상부 퇴적층의 하부 층리면에는 발자국 화석이 반요철(semirelief, Seilacher, 1964) 또는 저면 생흔의 상태(hypichnia, Martinsson, 1970)로 보존되어 있을 가능성이 높다. 이를 블록한 저면 요철(convex hyporeliefs)이라고 하며(Seilacher, 1964), 공룡 발자국에서는 발자국 충진물(footprint filling or natural cast)이라고 한다(Thulborn, 1990). 이것은 원래의 발자국(original imprint or natural mould)은 아니지만 원래 발자국의 다른 흔적으로 중요한 표본이다. 그러므로 상부 퇴적층의 아래쪽 표면 경계부에 형성된 발자국 충진물도 화석 표본의 일부로써 최대한 수습해야만 한다.

천연기념물 제534호 진주 호탄동 발자국 화석산지와 같이 최초 발견된 후 상부 퇴적층을 제거하는 과정 중에서도 다수의 새로운 층준이 발견되었고, 이에 대한 추가적인 발굴이 진행되었다. 이와 같은 가능성은 어느 곳에서든 존재한다.

서포면 물갈퀴 새 발자국 화석산지에서 물갈퀴 새 발자국 화석의 최초 노출 면적은 약 1.5×0.9 m에 불과하였고, 노출된 물갈퀴 새 발자국 화석의 보존 상태는 중간 이하에 해당되었다. 그러나 상부 퇴적층을

제거한 결과, 보존 상태가 매우 좋은 4개의 물갈퀴 새 발자국 화석을 추가로 발견할 수 있었다(Kim et al., 2013).

3) 층리면 이물질 제거

상부 퇴적층을 제거한 후에는 반드시 건식 또는 습식 방법에 의한 층리면 이물질 제거 작업이 수행되어야 한다(Figs. 6C, 7A, and 8D). 암반이 단단하고 풍화에 강한 사암 또는 접촉 변성 작용의 영향을 받은 셰일 등의 경우에는 물을 사용하는 습식 이물질 제거 작업이 적절하다. 그러나 풍화된 셰일이나 사암 등과 같은 암석에 대해서는 건식 이물질 제거 작업을 적용하는 것이 보다 적절하다고 판단된다.

고성 IC에 인접한 고성 죽계리 새와 공룡 발자국 화석산지에서는 발자국 화석을 조사하기 전에 공사 중에 발생한 전석과 토양을 굴삭기 및 고압 세척기를 이용하여 이물질을 제거하고 층면의 발자국 화석 분포를 재조사하였다. 그 결과 약 10m 두께의 퇴적층에서 27개 층준에서 새와 공룡 발자국 화석이 발견되는 것을 확인할 수 있었다(Kim et al., 2013). 군산 산북동 공룡 및 익룡 발자국 화석산지에서도 원래 알려진 조각류 발자국 화석 이외에 수각류, 익룡 등의 발자국 화석을 추가로 확인할 수 있었다(Kim et al., 2014b). 따라서 발자국 화석산지에서 정확한 화석의 산출을 확인하기 위해서는 화석산지에 덮여 있는 토양과 암석 조각, 대형 전석 등을 제거하는 것은 반드시 필요한 작업이다.

4) 화석 분포 조사

상부 퇴적층 제거 후 노출되는 화석은 상대적으로 보존 상태가 보다 좋은 경우가 많다. 따라서 상부 퇴적층을 제거한 직후에 화석의 분포를 다시 정확하게 조사한다(Figs. 6D, 7A, and 8C). 공룡 발자국과 같이 크기가 큰 발자국 화석과 달리 크기가 상대적으로 작고, 발자국의 흔적이 깊이 찍히지 않는 새 발자국 화석과 같은 소형 발자국 화석들은 태양광의 각도에 영향을 많이 받는다. 그러므로 보다 정확한 발자국 화석 분포 조사를 위해서는 오전 9-11시, 오후 3시 이후에 주의 깊게 관찰할 필요가 있다.

5) 층리면 박락 및 절리(균열) 발달 상태 조사

화석 분포 조사가 완료된 후 또는 분포 조사 도중에 층면을 구성하는 암석의 종류와 강도, 풍화 정

도, 층리의 발달 유무, 절리(균열)의 발달 정도 등의 층리면 상태를 확인해야 한다(Figs. 8E and 8F). 이때 층면에서 화석이 이탈되어 있거나 이탈할 위험이 있는 부분, 그리고 절리가 발달된 경우에는 발굴 과정에서 갈라질 위험이 있는 경우에는 집합, 경화, 보강 작업 등을 결정하여야 한다.

6) 층리면 집합, 경화 및 강화 작업

화석의 분포 조사 도중 또는 마무리된 후에는 화석이 보존된 층리면 이탈과 암석의 풍화 정도 및 절리 발달 등의 상태에 따라 집합, 경화 처리 및 강화 처리를 수행한다(Fig. 8F). 고성 IC 발굴 공룡 발자국 화석의 복원·보존 방안 연구(Kim et al., 2004)에서 에폭시 수지 계열과 실리콘 실란트 계열의 접착제에 대한 적합성 실험을 수행하였다. 그 결과, 에폭시 수지 계열의 접착제는 접착력이 너무 커 분리시 접착제 부위가 아닌 암석 부분이 절단되었으며, 접성이 낮아 부분적으로 유실된 부위의 접착 작업이 용이하지 않았다. 반면에 실리콘 실란트 계열의 접착제는 암석 절단에 의해 유실된 부분을 채울 때, 신축성과 접성이 상대적으로 크고 작업 시 또는 작업 후에도 별 무리가 없는 것으로 판단하였다. 실리콘 실란트 계열의 접착제 중에서 다우코닝사의 977 제품이 비오염성으로 접착 후에도 일어날 수 있는 먼지와 분진과 같은 오염물의 침착을 방지하기에 적절한 제품이다. 함안 대치리 공룡 발자국 화석에 대한 과학적 보존 처리 과정에서는 에폭시계 수지인 L-30을 주로 사용하여 동질의 암석 파우더를 혼합하여 집합하였다. 특히 미세균열 접착제로는 L-30보다는 록타이트가 적합한 것으로 판단하였다(Kim et al., 2007; Lee et al., 2012). 본 연구의 발굴 과정에서 사용된 미세균열 접착제는 주로 인조대리석 및 석재용 시아노아크릴레이트(Cyanoacrylate) 액시아 911을 사용하였고, 천연기념물 제534호 진주 호탄동 화석산지에서는 Starbond EM-10을 주로 사용하였다. 균열부 충전제는 Starbond EM-150 내지 EM-2000을 사용하고, Accelerator를 이용하여 작업 과정을 빠르게 진행하였다.

암석의 강화 처리에 이용되었거나 이용되고 있는 물질은 폴리비닐아세테이트와 폴리비닐알코올로 대별되는 비닐계 고분자와 고중합체, 아크릴계 수지, 에폭시 수지 및 실리콘 수지이다. 고성 IC 발굴 공룡 발자국 화석과 진동 우회도로 공사 현장에서 발굴된

조각류 공룡 발자국의 강화 처리에는 실리콘 수지 계열의 Wacker BS Silres OH 100이 사용되었다(Kim et al., 2004; Kim et al., 2008). 한편 함안 대치리 공룡 발자국 화석의 강화 처리는 접합 및 충전이 완료된 후에 팽윤 저지제를 화석 표면에 도포하고, 에칠실리케이트계 강화제(Unil sandsteinfestiger OH 100과 Funcosil KSE 300E)로 강화 처리를 수행하였다(Lee et al., 2012). Lee (2009)은 팽윤성 점토 광물을 함유한 암석에 적용하는 암석 강화제와 팽윤 저지제의 강화 메커니즘 연구에서 팽윤성 점토 광물이 포함되어 있고 풍화를 받은 세일의 강화 처리를 수행하고자 할 때는 함유 점토 광물의 팽윤성과 층간 구조의 특징 파악이 필수적으로 선행되어야 한다고 하였다. 지금까지는 화석 표본에 대한 암석 강화 처리의 적합성을 판단하기 위한 연구와 적용 사례가 매우 적은 형편이다. 따라서 이에 대한 지속적인 연구가 필요하다(Kim et al., 2007).

야외에서 발자국 화석 표본을 발굴할 때에는 발굴 기간 및 지형 여건 등의 화석산지 상황과 기상 여건 등을 고려해야하기 때문에 화석 표본의 보존 처리에 충분한 시간을 확보하는 것이 매우 어렵다. 그러므로 발자국 화석의 발굴 과정에서는 우선적으로 화석 표본의 균열과 박락 현상을 확인하고 가장 시급한 부분에 대해 간단한 접합과 강화 처리를 통한 임시 보존 처리를 수행하는 것이 바람직하다고 판단된다.

천연기념물 제534호 진주 호탄동 익룡, 새, 공룡 발자국 화석산지에서는 상부 퇴적층을 제거한 후 노출된 세일층에 보존 상태가 매우 우수한 익룡 및 새 발자국 화석이 산출되었다. 세일층은 대기 중에 노출되어 태양광과 강수에 노출되면 급격하게 풍화가 진행된다. 이와 같은 보존 조건을 가진 곳에서는 강화 처리 작업이 우선적으로 시행되어야 하며, 태양광과 강수에 노출되지 않도록 임시 보호막을 설치하여 작업하는 것이 반드시 필요하다.

그리고 발굴 이후 발자국 화석을 안전한 곳으로 운반하여 추가적으로 접합, 경화 및 강화 처리를 함으로써 보다 완전한 과학적 보존 처리가 이루어질 수 있을 것으로 판단된다.

7) 화석 분포도 작성

발자국 화석산지에서 분포도의 작성은 매우 중요한 학술적 과정 중 하나이다. 분포도를 작성할 때에는 발굴 대상 구역만이 아니라 화석산지 전체에 분포도

어 있는 모든 발자국 화석을 대상으로 한다. 분포도를 작성하는 방법은 아스테지 또는 투명 비닐을 이용하여 작성하는 방법, 사진을 촬영하여 작성하는 방법, 그리고 3D 스캐닝을 통해 작성하는 방법 등이 있다. 본 연구에서는 일반적으로는 아스테지 또는 투명 비닐을 이용하여 분포도를 작성하였다(Figs, 6E and 8B). 이는 아스테지나 투명 비닐은 주변에서 쉽게 구할 수 있고, 비교적 가격이 저렴하며, 화석산지에서 직접 작업함으로써 발자국의 형태를 직접 관찰하고 기록할 수 있기 때문에 비교적 정확도가 높다. 사진 촬영을 통해 작성하는 방법은 화석산지에서 일련의 발자국들을 연속해서 사진을 촬영해서 그래픽 프로그램을 이용하여 하나의 전체 사진을 합성한다. 이 합성된 사진을 통해서 발자국의 분포도를 작성하는 것이다. 발자국의 기복과 경계 등이 사진으로 정확히 표현되지 않는 경우가 발생하기 때문에 다소의 오차가 발생할 수 있다. 3D 스캐닝 자료에서는 수치화된 발자국의 기복이 다양한 컬러로 표현된다. 이를 통해서 분포도를 작성할 수 있다. 그러나 3D 스캐닝을 통해서 얻어진 이미지는 발자국 화석에 상부 퇴적물이 충전되어 있거나 과도한 침식을 받아 발자국의 형태가 훼손된 경우에는 발자국의 형태를 정확하게 표현하기 어렵다(Kong et al., 2010).

8) 항공 사진 촬영

발자국 화석 분포도 작성과 함께 사진 촬영은 화석의 발굴과 연구에서 매우 중요하다. 촬영된 사진은 학술 연구, 전시, 출판 및 교육 자료 등으로 매우 다양하게 활용될 수 있다. 최근에는 여러 장의 2D 사진들만으로도 3D 이미지를 생성하는 프로그램이 개발되어 있기 때문에 일반적인 DSLR 카메라로 발자국 화석을 여러 각도에서 촬영해두면 발자국 화석에 대한 3D 이미지를 얻을 수 있다.

기본적으로 촬영 사진은 화석의 발견부터 발굴이 완료되는 순간까지 전 과정을 기록하는 데 사용된다. 사진 촬영은 휴대용 카메라(주로 DSLR 카메라)를 이용한 사진 촬영과 드론, 애드벌룬 또는 모형 헬기 등에 카메라를 장착하여 상공에서 화석산지를 촬영하는 항공 촬영이 있다. 휴대용 카메라를 이용한 사진 촬영으로는 개개의 발자국 화석, 다양한 퇴적 구조, 화석산지의 전경 및 근경, 작업 과정 등의 화석산지 이미지 정보를 얻을 수 있고, 항공 촬영을 통해서 다양한 각도에서 넓은 지역의 화석산지의 모습을 기

록할 수 있다(Fig. 8C). 발자국 화석산지에서 상부 퇴적층을 제거하고 화석산지의 전체적인 모습이 구체적으로 드러났을 때, 항공 촬영을 수행한다. 항공 촬영으로 얻어진 화석산지의 전체 모습은 전체적인 발자국 화석의 분포를 파악하는 데 유용하며, 전시 및 교육 등의 자료로 활용 가치가 매우 높다. 그러므로 발굴 작업에서는 항공 촬영을 필수적으로 포함하는 것이 바람직하다.

9) 복제품 제작

화석의 발굴 과정은 아무리 주의하여 진행한다고 하더라도 발굴하고자 하는 화석 표본에 물리적으로 충격이 가해지는 것은 피할 수 없다. 발굴 작업 도중에 물리적 또는 화학적 작용에 의한 화석 표본의 훼손에 대비하기 위해서 복제품을 제작을 고려해야 한다. 이러한 목적 이외에 대형 발자국 화석 표본에서 보존 상태가 특히 좋은 일정 부분에 대해서 학술 연구, 교육, 전시 등의 다양한 목적에 활용할 수 있도록 복제품을 제작할 수 있다.

발자국 화석 복제품 제작 방법에는 석고 몰드 제작법, 실리콘 몰드 제작법, 라텍스 몰드 제작법, 인상재(알지네이트, 고무, 아가 및 기타)를 사용한 제작법, 에폭시 본드 및 폴리에스터 수지 등의 다양한 방법이 있다.

서포면 물갈퀴 새 발자국 화석산지에서는 비교적 넓은 면적에 새 발자국 화석이 보존되어 있는데, 그들 중 특히 4개의 물갈퀴 새 발자국 화석의 보존 상태가 우수하였고, 얇은 세일층에 보존되어 있었다. 일반적으로 사암층의 상부에 얇게 피복된 세일층은 작은 충격에도 쉽게 부서지며, 풍화에 약한 경우가 많다. 따라서 발굴 과정에서 발생할 수 있는 화석의 손상에 대비하고, 학술 연구를 위해서 라텍스를 활용하여 복제품을 제작하였다(Fig. 6F).

10) 발굴 구역 확정

발자국 화석의 분포 상황을 파악하고 학술적, 보존적 가치가 있는 발자국 화석을 포함하도록 발굴 구역을 확정한다(Fig. 9A). 발굴 구역을 확정할 때에는 운반 및 이송이 가능한 면적을 설정해야 한다. 지금까지 5곳의 화석산지에서 발굴한 화석 표본을 근거로 할 때, 한 번에 약 12 m² (6x2 m)의 면적까지 발굴이 가능하였다.

이론적으로는 새로운 발자국 화석 발굴 방법을 이

용하면 더 넓은 면적까지 한 번에 발굴이 가능하다. 하지만, 발굴 화석 표본의 면적이 증가할수록 표본의 무게가 증가하며, 처짐 현상 등에 의한 훼손의 가능성이 높다. 따라서 넓은 면적을 발굴할 때에는 암석의 종류와 강도 운반 수단 등을 고려하여 적절히 여러 조각으로 나누어 발굴한 후 복원할 때 연결하는 것이 보다 효율적이라고 판단된다.

발굴 구역을 확정할 때에는 발굴 구역임을 표시하는 수직 절단선을 표시하는 것이 필요하다.

11) 수직 절단 작업

발굴 구역이 확정이 되면 다이아몬드 쏘를 이용하여 수직 절단선을 따라 최소 20 cm 이상의 깊이까지 수직으로 절단한다(Figs. 6G and 9B). 수직 절단 깊이는 발굴 대상 표본의 크기와 암질에 따라 결정된다. 수직 절단에는 다양한 절단 파쇄기(Cut-n-Break)를 사용할 수 있는데, 5곳의 화석산지 발굴 과정에서 사용된 절단 파쇄기는 허스크바나 K760 절단 파쇄기(Husqvarna K760 Cut-n-Break)이다. 이 절단 파쇄기는 최대 40cm 깊이까지 절단할 수 있어, 암석의 수직 절단을 보다 쉽게 진행할 수 있다. 이외에도 작업 여건 및 상황에 따라 허스크바나 K3000 절단 파쇄기(Husqvarna K3000 Cut-n-Break), 허스크바나 K970 체인엔진톱(Husqvarna K970 Chainsaw) 등을 사용할 수 있다. 비숙련자가 전문 장비를 이용하는 경우에는 부상의 위험이 높다. 따라서 전문 장비를 잘 다룰 수 있는 숙련자에 의해 작업이 이루어지는 것이 필요하다. 수직 절단 과정 중에 발자국 화석의 훼손을 방지하기 위해 부직포와 방수 비닐을 덮고 작업을 수행하는 것이 바람직하다.

12) 주변부 파쇄 작업

수직 절단선을 따라 수직 절단한 후에는 수평 절단 및 다용도 운반틀 제작 공간을 확보하기 위해 발굴 구역 주변부를 파쇄한다(Figs. 6H, 7B, and 9B). 주변부 파쇄 작업은 작업의 편의를 위해 굴삭기 또는 굴삭기에 브레이커를 달아 작업할 수 있으나 진동이 발생하여 발굴 대상 표본에 물리적인 충격을 줄 수 있다. 따라서 휴대용 착암기(jack-hammer)나 인력을 활용하여 작업하는 것이 물리적인 충격을 줄일 수 있는 방법이다. 주변부 파쇄 작업에서 고려해야 할 것은 하부 지지 부재를 삽입하고자 하는 쪽은 하부 지지 부재의 길이만큼 더 넓게 파쇄해야 한다

(Figs. 6I, 7B, 8G, 8H, and 9C). 그 이외의 주변부는 수직 절단선에서 약 30 cm 정도의 간격을 확보하면 작업이 가능하다.

13) 측면 보강 처리

측면 철제 밴딩은 측면에서 발생하는 비교적 큰 암석의 이탈을 방지할 수 있다. 반면에 상대적으로 작은 암석 부스러기들의 이탈을 방지하기 위해서 추가적으로 석재용 에폭시를 이용해서 발굴 화석 표본의 측면에 추가로 처리한다(Fig. 8F). 이 방법은 하동군 갈사리 수각류 공룡 화석 발굴과 의령군 정동리 용각류 보행렬 발굴 과정에도 적용하였다(Shin et al., 2015).

14) 측면 철제 밴딩

주변부 파쇄 작업이 완료된 후에 발굴 대상 화석 표본의 측면에서 암석이 이탈되지 않도록 철제 밴딩 작업을 수행한다(Fig. 8G). 밴딩 작업으로 인해 화석 표본 측면의 손상 방지 및 측면 암석 이탈 방지를 위하여 측면 철제 밴딩 작업을 수행할 때에는 화석 표본 측면에 합판을 덧대어 작업하는 것이 바람직하다.

15) 수평 절단 및 하부 지지 부재 삽입

다이아몬드 줄톱을 이용해서 발굴 화석 표본을 15~40 cm의 두께로 수평 절단한다(Fig. 6I). 절단용 와이어는 평균 약 1 cm의 두께를 가지는데, 절단이 진행되면서 발굴 표본 하부에 와이어의 두께만큼 빈 공간이 만들어진다. 이 빈 공간으로 화석 표본이 주저앉지 않도록 작은 나무 췌기를 일정한 간격(약 5 cm 정도)으로 고정한다.

수평 절단이 진행되면서 와이어의 두께에 해당하는 빈 공간에는 하부 지지 부재를 삽입한다(Fig. 6I). 이때 가능한 촘촘한 간격으로 삽입하는 것이 화석 표본을 보호하고 운반하는 데 유리하다. 하부 지지 부재는 폭이 4~5 cm, 두께는 약 0.5 cm 정도의 가느다란 철판이다. 길이는 발굴 대상 화석의 길이에 맞게 재단하여 사용되었다. 하부 지지 부재는 발굴 대상 화석의 세로 폭보다 약 10 cm 길게 하여 노출되도록 제작해야 한다(Fig. 8H).

16) 포장 및 수직 철제 밴딩

수평 절단과 하부 지지 부재를 삽입하면 발자국

화석의 훼손과 화석 표본 파편의 이탈을 방지하기 위하여 부직포를 덮는다. 대부분의 암석들은 수분(빗물)과 태양광의 영향에 의해 대기 중에 노출된 후에 급속하게 풍화되는 경향이 있다. 이를 방지하기 위해서 방수 비닐을 덮고 수직 방향으로 철제 밴드로 포장한다(Figs. 7C and 9C).

17) 다용도 운반틀 제작

하부 지지 부재와 T자형 철제 빔을 서로 용접하여 박스형의 다용도 운반틀을 제작한다(Figs. 6J, 7D, 8I, and 9C). 운반틀의 상세한 제작 과정은 앞서 설명하였다. 화석 표본이 대형인 경우에는 철제 빔의 높이가 충분히 확보되어야 뒤틀림이나 처짐을 최대한 방지할 수 있다. 운반틀의 하부는 하부 지지 부재로 구성되어 있다. 발굴 대상 표본의 암질이 단단하고, 균열이 적은 경우에는 하부 지지 부재만으로도 충분하지만, 풍화에 취약하고 내부 균열이 많은 경우에는 하부 지지 부재에 더하여 발굴 표본의 넓이에 해당하는 철판을 추가로 덧붙이는 것이 바람직하다.

18) 운반

다용도 운반틀이 제작된 후에는 이를 원래 발견 위치에서 들어 올려 운반 차량으로 이동한다(Figs. 6K, 7D, 8I, and 9D). 화석 표본의 넓이가 약 12 m² 이내의 것은 대부분 중·대형 굴삭기로 이동이 가능하다. 표본의 무게나 작업 여건에 따라 크레인으로도 운반할 수도 있다.

19) 화석산지 정리

화석 표본을 발굴한 후 발굴된 빈 공간을 메우거나 주변의 암석을 정리하고 평탄화하여 화석산지를 정리한다(Fig. 6L).

20) 화석 표본 과학적 보존 처리

발굴된 화석 표본은 실내로 운반하여 접착, 발수 경화 및 강화 처리 등의 과학적인 보존 처리를 수행하는 것이 바람직하다. 실내에서 보관할 표본들은 접착과 강화처리만으로도 충분할 경우가 있지만, 야외에 전시하여 교육용 또는 관람용으로 사용할 경우에는 발수 처리는 필수적이다. 화석 표본의 과학적 보존 처리는 아직까지 가장 적합하다고 확실하게 결정된 방법이 존재하지 않는다. 기존에 수행된 과학적 보존 처리는 지속적인 모니터링을 통해서 적합성을

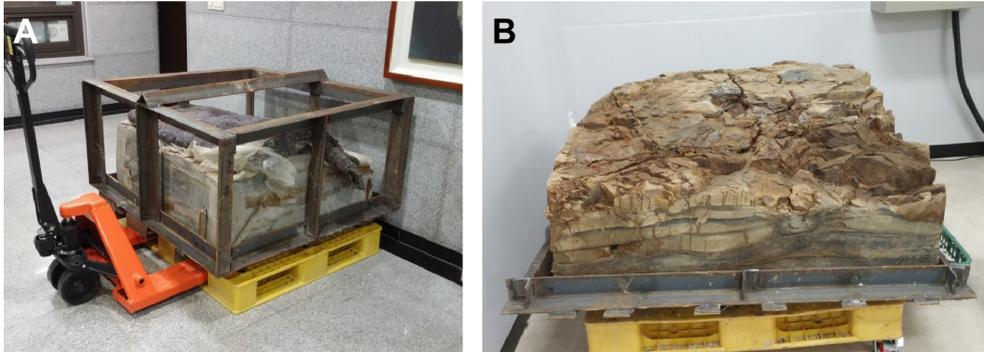


Fig. 10. Excavated specimens of the dinosaur skeletons from the Hasandong Formation, Hadong-gun (A) and the fossil tree ferns from the Nakdong Formation, Chilgok-gun (B).

판단하여야 하며, 앞으로도 이와 관련된 연구가 계속적으로 이루어져야 할 필요가 있다(Kim et al., 2007; Lee et al., 2012).

새로운 화석 발굴 방법의 의의

척추동물의 발자국 화석은 다수의 발자국이 밀집되어 있거나 걸어진 보행렬의 형태로 나타난다. 이는 평면적인 보존 특성이 강하게 나타나는 것으로 발자국 화석을 발굴하고자 할 때는 넓은 면적을 한 번에 발굴하는 것이 학술, 교육, 전시 및 보존 가치를 높일 수 있는 방법이다.

본 연구에서 제시한 새로운 발자국 화석 발굴 방법은 암석의 종류, 재질, 균열의 발달 상태에 따라 다르지만 길이 약 6m, 폭 약 1.5~2m의 발자국 화석까지 한 번에 발굴이 가능하다. 또한 그 이상의 연속적인 발자국 화석도 계속 이어서 발굴하여 조립할 수 있다. 이는 보행렬 화석이라는 연속적이고 평면적인 특성을 그대로 보존하면서 발굴할 수 있는 방법이다. 그리고 일정 범위의 발굴 대상 발자국 화석 전체를 별도의 해체와 조립 작업 없이 하나의 판으로 발굴할 수 있다.

다이아몬드 줄톱을 이용한 수평 절단 과정은 화석 표본에 가해지는 진동과 충격을 최소화하여 화석 표본의 균열 발생과 파손을 최소화할 수 있다(Kim et al., 2008; Kim, 2015). 수평 절단 과정에서 지지 부재를 화석 표본 하부에 삽입하고, 그 상부로 다용도 철제 운반틀을 제작함으로써 발자국 화석 표본을 크레인이나 굴삭기 등을 활용하여 보다 쉽게 들어 올려 운반할 수 있다.

작업 공간을 확보하기 위한 주변 암석 파쇄 및 수평 절단 과정 등의 작업이 끝날 때마다 부직포 및 방수 비닐로 포장하고, 철제 밴드를 이용하여 수평 및 수직 방향으로 밴딩 작업을 실시하는 것은 균열의 발생을 방지하고, 이미 발생한 균열이나 깨진 조각이 화석 표본에서 떨어져 이탈되는 것을 방지할 수 있게 한다.

다용도 운반틀을 제작한 후에 운반틀 하부의 지지 부재와 수직 방향으로 보조 지지대를 설치함으로써 화석 표본 하부에 가해지는 하중을 지탱한다. 이를 통해 운반틀 하부가 처지고 휘어지는 것을 방지할 수 있다.

이와 같은 발굴 방법은 기존의 발굴 방법보다 발굴 시간을 단축함으로써 손실 비용을 최소화할 수 있는 장점이 있으며(Kim et al., 2008; Kim, 2015), 발굴된 화석을 보관할 때, 다용도 운반틀이 이미 제작되어 있기 때문에 겹쳐 쌓아서 보관할 수 있어 보관 공간을 최소화할 수 있다. 복원과 전시 작업을 실시할 때, 해체된 화석 표본을 하나하나 재조립하는 과정이 없이 적절한 위치를 선정한 후 운반틀의 하부 지지 부재만을 남기고 측면과 상부의 철제를 해체하면 간편하게 전시할 수 있다. 또한 위치를 변경하고자 할 때에는 하부 지지 부재에 연결 고리만을 용접하거나 다시 측면과 상부에 철제를 용접하여 운반틀을 원래 상태로 제작하여 이동할 수 있다.

무엇보다 중요한 것은 개발 행위가 진행되고 있는 공사 현장에서 파괴되고 있는 수많은 화석들을 안전하고 신속하게 발굴하여 보존할 수 있다는 것이다. 그리고 해안가에 위치하여 파도의 침식과 풍화 작용에 의해서 사라질 위기에 있는 귀중한 지질 유산인

수많은 발자국 화석들도 선택적으로 발굴이 가능하다. 이렇게 발굴된 발자국 화석 표본들은 실내에서 과학적 보존 처리를 통해 학술, 교육, 전시 및 보존적 가치를 지속적으로 유지할 수 있다.

새로운 발자국 화석 발굴 방법은 발자국 화석의 발굴 이외에도 하동군 금성면 가덕리 공룡 화석 발굴(KBS, 2014.11.24.)과 칠곡군 금무봉 나무고사리 화석의 발굴(Kim et al., 2015b)에도 적용하여 성공적으로 발굴을 완료하였다(Fig. 10). 따라서 새로운 발자국 화석의 발굴 방법은 척추동물의 발자국 화석 발굴뿐만 아니라 그 외 실제 화석의 발굴에도 유용하게 활용될 수 있다.

결론 및 제언

척추동물의 발자국 화석은 특정 방향으로 걸어진 보행렬 등으로 발견되는 경우가 많다. 이는 2차원적인 평면적 특성이 강하게 나타나는 것으로 기존의 발굴 방법을 적용하여 안전하게 발굴하기에는 어려움이 있었다. 이러한 문제를 해결하기 위해 새로운 발굴 방법을 개발하였고, 실제 화석 발굴 현장에 적용하였다. 그 결과, 화석산지의 발자국 산출 상태에 따라서 발자국 화석 발굴의 단계별 과정을 보다 정교화하여 다음과 같이 제시한다.

1) 화석 분포 확인 → 2) 상부 퇴적층 제거 → 3) 층리면 이물질 제거 → 4) 화석 분포 조사 → 5) 층리면 박락 및 절리(균열) 발달 상태 조사 → 6) 층리면 접합, 경화 및 강화 작업 → 7) 화석 분포도 작성 → 8) 항공 사진 촬영 → 9) 복제품 제작 → 10) 발굴 구역 확정 → 11) 수직 절단 작업 → 12) 주변부 파쇄 작업 → 13) 측면 보강 처리 → 14) 측면 철제 밴딩 → 15) 수평 절단 및 하부 지지 부재 삽입 → 16) 포장 및 수직 철제 밴딩 → 17) 다용도 운반틀 제작 → 18) 운반 → 19) 화석산지 정리 → 20) 화석 표본 과학적 보존 처리

위에 제시된 발자국 화석의 발굴 과정은 지금까지 수행된 실제 발굴 사례에서 얻어진 시행착오 및 노하우(know-how)를 종합적으로 정리한 것이다. 따라서 새로운 발자국 화석산지에서는 지금까지 다루어지지 않았던 또 다른 문제점들이 발생할 수 있다. 예를 들면, 신생대의 퇴적암은 중생대와 고생대의 퇴적암에 비해서 암석의 굳기가 무르다. 고생대의 퇴적암은 신생대와 중생대의 퇴적암보다 지층의 경사가 급한

경우가 많다. 즉, 개별 화석산지별로 서로 다른 해결책이 필요하며, 시대별 암석들에 대해서도 새로운 해결책이 요구될 것이다. 이러한 문제점들이 발생할 때마다 이를 해결하고 그 해결책을 공유하는 것은 국가의 중요한 자연 유산(지질 유산)을 보존하는 데 매우 중요한 일이다.

지금까지 발자국 화석 발굴 방법은 화석산지에서 발자국 화석을 발굴하는 과정에 더욱 중점을 두었다. 그러나 화석을 발굴하여 실내 또는 별도의 보관 장소에 이전하여 운반하는 것으로만 문제가 해결된 것은 아니다. 발굴된 발자국 화석 표본은 실내에서도 지속적으로 원래의 표본 가치를 유지하기 위해서는 반드시 과학적 보존 처리가 이루어져야 한다. 화석 표본에 대한 과학적 보존 처리에 대한 사례와 연구는 아직까지 충분하게 이루어지지 않은 상태이며, 이에 대한 연구와 실제 보존 처리를 통해 많은 노하우(know-how)가 축적되고 공유될 필요가 있다.

사 사

논문에 사용된 그림 작성을 도와준 김정민 석사에게 감사드립니다. 논문의 심사를 통해 부족한 부분과 오류를 세심하게 수정해 주신 국립문화재연구소 자연문화재연구실 임종덕 박사님과 한국교원대 위수민 교수님 그리고 익명의 심사위원님께 감사드립니다.

References

- Chun, H.Y., 2002, Effective management plan of natural history museum - focus on the realms of geology and paleontology. *Journal of the Paleontological Society of Korea*, Special Publication No. 5, 1-12. (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)
- KBS, 2014, First discovery of theropod skeleton. <http://news.kbs.co.kr/news/view.do?ref=D&ncd=2972443> (November 24 2014)
- Kim, B.S., Huh, M., Moon, K.H., and Jang, S.J., 2011, Excavation and preparation of a theropod nest from Aphae-do in Jeollanam-do province, South Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 47, 205-211. (in Korean)

- Kim, H.M., Kim, J.Y., Do, J.Y., Son, J.D., Seo, S.J., Hwang, J.Y., Son, M., and Lee, S.J., 2008, A provisional report on excavating and collecting dinosaur tracks at the construction field of Jindong bypass. Institute for research and industry cooperation, pnu, 146 p. (in Korean)
- Kim, J.Y., Kim, S.H., Kim, K.S., and Lockley, M.G., 2006, The oldest record of webbed bird and pterosaur tracks from South Korea (Cretaceous Haman Formation, Changseon and Sinsu Islands): More evidence of high avian diversity in East Asia. *Cretaceous Research*, 27, 56-69.
- Kim, J.Y., Lee, C.Z., Lim, J.D., Jin, Y.P., Kim, K.S., Jeong, S.Y., Huh, W.H., Kang, J.H., Chu, K.H., Kim, S.H., Park, J.H., Park, K.H., Kim, H.J., Park, Y.R., and Kim, M.S., 2004, A report on preliminary research of the Namjeju coast footprints fossil site. Cultural Heritage Administration, 97 p. (in Korean)
- Kim, K.S., 2015, Excavation method of fossil footprints. Korean Intellectual Property Office, Patent registration No. 10-1557662. (in Korean)
- Kim, K.S. and Kim, J.M., 2013, New excavating method for investigation and preservation of the fossil assets. In *Abstracts of 2013 Fall Joint Annual Conference of The Geological Societies in Korea*, pp. 170. (in Korean)
- Kim, K.S., Kim, C.B., Lim, H.S., Kim, J.M., Ha, S.W., Choi, J.W., and Son, M.J., 2013, A report on the preservation research of Mesozoic geoheritage (fossils). National Research Institute of Cultural Heritage, 161 p. (in Korean)
- Kim, K.S., Seo, S.J., Kim, J.M., Ha, S.W., Choi, J.W., and Son, M.J., 2014a, A report on dinosaur tracks collected by excavation in Sanbuk-dong, Gunsan-si, Korea. Gunsan-si, 8 p. (in Korean)
- Kim, K.S., Seo, S.J., Kim, J.M., Ha, S.W., Choi, J.W., and Son, M.J., 2014b, A report on collection investigation at the Sanbuk-dong dinosaur tracksite. Gunsan-si, 100 p. (in Korean)
- Kim, K.S., Chung, C.H., Seo, S.J., Oh, K.H., Son, M.J., Park, H.D., Yoo, J.S., Kim, J.H., Bae, S.I., Shin, D.H., Choi, Y.G., and Kim, N.J., 2015a, A report on excavation of the dinosaur eggs and bird tracks at physical fitness center in the relocation site of 00 troops. Korea Institute of Geoheritage and Uni City, 96 p. (in Korean)
- Kim, K.S., Chung, C.H., Seo, S.J., and Kim, N.J., 2015b, A report on collection by excavation of the rock block containing tree fern at the Geummubong Peak tree fern fossil site. Chilgok-gun and Korea Institute of Geoheritage, 43 p. (in Korean)
- Kim, S.D., Kim, J.O., Park, J.W., Oh, C.H., Jo, Y.H., and Jeong, S.H., 2007, A report on preservation treatment of the dinosaur tracks from Daechi-ri, Haman-gun. Haman-gun and Seojin Cultural Heritage Conservation Co. Ltd., 112 p. (in Korean)
- Kim, S.H., Kim, S.Y., and Lim, J.D., 2006, The possibility of future growth in Korean Natural History Museum exhibitions. *Journal of the Paleontological Society of Korea*, 22, 313-325. (in Korean)
- 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)
- Kim, S.J., Yang, S.Y., Kim, H.M., Paik, I.S., Um, S.H., Do, J.Y., and Chang, S.J., 2002, A report on excavation investigation of the dinosaur tracks at the Goseong Interchange area of Tongyeong Daejeon Expressway. Natural Heritage Preservation Association, 210 p. (in Korean)
- 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, 129-138. (in Korean)
- Lee, B.H., 2000, Natural history museum and biodiversity. Science Books, Seoul, Korea, 270 p. (in Korean)
- Lee, C.H., Jo, Y.H., and Kim, S.D., 2012, Three-dimensional image analysis, deterioration evaluation and scientific conservation treatment of the Daechiri dinosaur trackways in Haman County, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 48, 179-191. (in Korean)
- Lee, C.Z., 2012, World natural history museum. Sigma Press, Seoul, Korea, 324 p. (in Korean)
- Lee, S.J., 2009, Study on the consolidating mechanism of stone monuments containing clay minerals with swelling properties. Unpublished Ph.D. dissertation, Gyeongju University, Gyeongju, Korea, 118 p. (in Korean)
- Lee, Y.N., Shin, H.J., Kim, Y.B., Lee, Y.S., Kim, B.C., Kee, W.S., Kim, Y.H., Song, K.Y., and An, G.O., 2005, A report on preservation and research of the dinosaur egg site in Hwaseong-si, Gyeonggi-do, Korea. Hwaseong-si, 172 p. (in Korean)
- Lim, J.D., 2002, The natural history museum and fossils. *Journal of the Paleontological Society of Korea*, Special Publication No. 5, 81-94. (in Korean)
- Lim, J.D., 2015, A policy research for establishing an ideal national museum of natural history. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 36, 674-681. (in Korean)
- Martinsson, A., 1970, Toponymy of trace fossils. In *Crimes, T.P. and Happer, J.C. (eds.), Trace fossils. Geological Journal, Special Issue 3*, 323-330.
- Seilacher, A., 1964, Sedimentological classification and nomenclature of trace fossils. *Sedimentology*, 3, 253-316.
- Shin, C.S., Kim, K.S., Chung, C.H., Seo, S.J., Kim, W.H.,

- Son, M.J., and Choi, J.W., 2015, A report on excavation investigation of the natural properties (dinosaur trackway) at the construction site of Uiryeong - Jeonggok national road. Busan Regional Office of Construction Management and Gyeong Institute of Cultural heritage, 49 p. (in Korean)
- Sohn, J.J., Jo, H., Lim, J.H., Lim, J.H., and Choi, H., 2016, A suggestion for construction plan of national museum of natural history and concerned exhibition composition. In Kim et al. (eds.), Proceedings of 2016 spring meeting of the Korean Earth Science Society and gyeongnam goseong international dinosaur symposium: education and application of the geoheritage, The Korean Earth Science Society and Gyeongnam Goseong Dinosaur World Expo Organizing Committee, pp. 69. (in Korean)
- Thulborn, T., 1990, Dinosaur tracks. Chapman and Hall, London, UK, 410 p.
- Yang, S.Y., 1998, Fossil specimens as teaching materials. Journal of the Korean Earth Science Society, 19, 495-504. (in Korean)

Manuscript received: May 12, 2016

Revised manuscript received: June 15, 2016

Manuscript accepted: June 20, 2016