

천연기념물 경산 대구가톨릭대학교 백악기 스트로마톨라이트: 산상, 자연유산적 가치 및 보존·활용 방안

공달용* 국립해양문화재연구소 서해문화재과 학예연구관

이성주 경북대학교 지구시스템과학부 교수

*Corresponding Author: kong.dalyong@daum.net

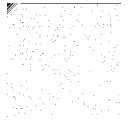
국문 초록

천연기념물 '경산 대구가톨릭대학교 백악기 스트로마톨라이트'는 희소성, 접근성, 보존성 및 규모면에서 매우 우수하여 2009년 12월 천연기념물로 지정되었으나 지정 당시부터 주변 지역의 발굴을 통한 연장선 확인과 그에 따른 보존 방안 마련의 필요성이 제기되었다. 이에 문화재청은 2022년 4월부터 12월까지 화석산지 발굴을 통한 산출양상, 퇴적층 특성, 풍화 상태 등의 조사를 실시하여 자연유산적 가치 및 보존·활용 방안을 제시하였다. 지정면적(762㎡) 중 노출되어 있는 반구형 스트로마톨라이트(약 30㎡)를 중심으로 주변 지역 1,186㎡를 발굴한 결과, 기존 스트로마톨라이트 층준을 따라 전체 면적에 걸쳐 연속적으로 분포하며 반구형 스트로마톨라이트들은 동쪽 지역에서 우세하고 서쪽으로 갈수록 반구형 돔의 분포와 크기가 작아지는 경향이 있다. 반면, 판상형 스트로마톨라이트는 동쪽 지역에서는 관찰되지 않고, 서쪽 지역에서만 관찰된다. 이러한 특징은 규모가 있는 호수에서 장기간 성장한 결과로, 판상형 또는 작은 주상형 돔들이 성장을 지속하며 연결되어 커다란 돔으로 성장하고, 이러한 돔들이 층리면에 마치 산호초와 같은 군집을 이루며 분포하게 된 것으로 해석된다. 스트로마톨라이트 층리면에 발달한 소규모 단층과 절리들, 식물 및 지의류의 성장은 풍화를 가속하는 원인이 되고 있으나 공룡 발자국이나 공룡알화석산지에서 진행되는 화학 약품에 의한 보존처리는 스트로마톨라이트 특성상 맞지 않는 방법이며 폐쇄형 보호시설의 설치를 통한 보존이 고려되어야 한다. 이번 발굴로 스트로마톨라이트의 분포, 규모 및 가치는 기존 천연기념물의 지정 당시보다 훨씬 더 크고 높아졌다는 것이 확인되었다. 따라서 매장문화재(석실묘)의 발견으로 발굴하지 못한 지역의 전문가에 의한 추가 발굴과 천연기념물의 확대지정에 대한 재검토가 요구된다.

주제어 천연기념물, 스트로마톨라이트, 백악기, 경산, 대구가톨릭대학교

투고일자 2023. 6. 6. | 심사일자 2023. 7. 31. | 게재확정일자 2023. 8. 18.





I. 서론

최근 천연기념물 지정(명칭 포함)의 문제점을 해결하기 위한 노력과 지정 이후, 관리와 활용에 대한 논의가 활발하게 이루어지고 있다(공달용·이성주, 2009; Kong and Lee, 2014; 한승희, 2017). 특히, 천연기념물 지정 이후 후속 연구의 부족과 관리 소홀은 학술적 가치 저하를 넘어 지역사회와 공감하고 활용될 수 있는 ‘스토리’를 만들지 못해 외면당하거나 각종 민원의 원인이 되기도 한다. 이러한 부정적 공감대는 천연기념물 지정 시, 지역사회와 반대에 부딪혀 또 다른 사회적 비용과 갈등을 발생시키고 있다. 반면, 천연기념물과 유사한 제도인 ‘국가지질공원’으로의 지정은 지역사회의 공감과 지원을 바탕으로 지정을 위한 경쟁을 펼치고 있다. 이는 천연기념물은 ‘규제와 사유재산 침해’라는 인식이 강한 반면, 국가지질공원은 ‘공원’이 가지는 단어에서 ‘향유와 관광, 활용’이라는 인식이 지배적이기 때문이다. 따라서, 시대변화에 따른 국민 눈높이를 반영하고 자연유산의 가치 향유를 위해 미래지향적 천연기념물의 관리와 보존, 활용이 요구된다.

우리나라 스트로마톨라이트는 선캄브리아 지층을 비롯하여 고생대와 중생대 지층에서 많이 보고되었다(이성주 외, 2003; 이성주·공달용, 2004; 공달용·이성주, 2009; Kong and Lee, 2013). 이 중 ‘웅진 소청도 스트로마톨라이트(선캄브리아시대), 영월 문곡리 스트로마톨라이트(고생대) 및 경산 대구가톨릭대학교 스트로마톨라이트(중생대)’ 3곳이 천연기념물로 지정되었다. 이들은 시대, 형성 환경(바다, 호수) 및 스트로마톨라이트의 형태에서 서로 다른 특징을 가진다. 스트로마톨라이트는 수심이 얇은 바다와 호수 환경에서 석회암의 지속적인 침전과정에서 형성되는 생물초(bio-reef)의 일종이다. 따라서, 대부분의 스트로마톨라이트는 산호초처럼 광범위한 지역에 걸쳐 석회암초의 형태로 나타난다. 국내에서 석회암초의 형태로 발견된 스트로마톨라이트는 선캄브리아 시대의 소청도 스트로

마톨라이트가 유일한 것으로 알려져 있다(이성주 외, 2003). 그러나 중생대 호수 환경에서 형성된 경산 대구가톨릭대학교 스트로마톨라이트 역시 규모가 큰 석회암초를 이루며 연속적으로 분포할 가능성이 있음에도 불구하고 확인을 통한 가치평가가 이루어지지 않아 화석산지의 체계적인 관리, 보존 및 활용에 어려움을 겪고 있으며 나아가 지역사회와 대학 구성원들에게 해당 천연기념물이 외면당하고 있다. 스트로마톨라이트는 또한, 다양한 학술적 가치(예, 지구의 형성과정과 생명체의 진화 과정의 연구)로 인해 천연기념물로 지정되고 있으나 형성과정, 성장 특성, 형태 및 분포에 대한 이해 부족으로 그 가치와 보존, 관리 및 활용이 제대로 이루어지지 않고 있는 실정이다.

따라서 이번 연구에서는 천연기념물 ‘경산 대구가톨릭대학교 스트로마톨라이트’의 자연유산적 가치 제고를 위해 확대 발굴을 통한 산출양상, 암질구성 및 퇴적 환경, 스트로마톨라이트의 분포 특성과 형태 분석을 수행하였으며, 풍화상태 진단을 통해 화석산지의 보존방안을 제시하였다. 또한, 화석산지의 지리적 위치(접근성), 자연유산적 가치, 보존·관리 방안 등을 토대로 천연기념물 스트로마톨라이트 화석산지의 활용 방안을 제시하고자 한다. 특히, 스트로마톨라이트의 학술적 중요성과 함께 산호초처럼 규모가 큰 석회암초의 형태로 나타나는 성장 특성과 같은 형태·경관적 가치를 도출하여 지역사회가 교육, 축제, 상품 및 콘텐츠 개발의 소재로 활용하고 향유할 수 있도록 하는데 연구의 목적이 있다.

II. 지질개요

경산 대구가톨릭대학교 스트로마톨라이트(천연기념물 제512호)가 분포하는 경산시 하양읍 일원은 중생대 백악기 경상분지(그림 1A)에 퇴적된 경상누층군 하양층군의 반야월층에 속한다(그림 1B). 반야월층은 Tateiwa(1929)의 대구층을 Chang(1975)이 재구분하여

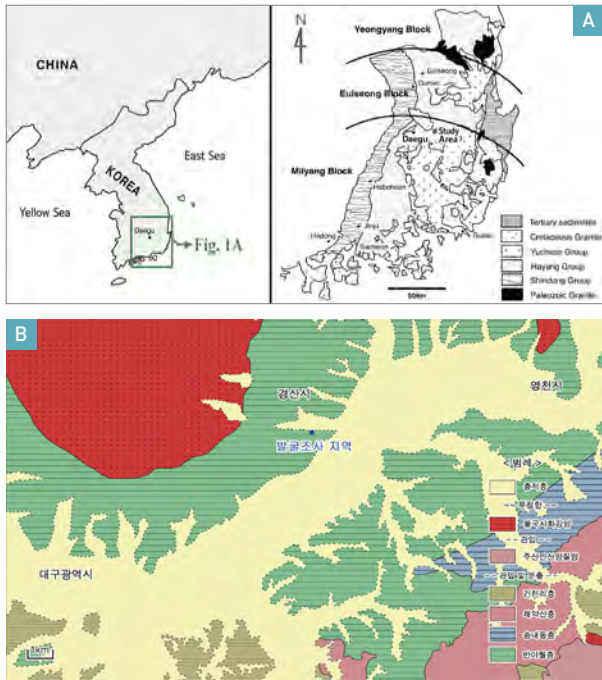


그림 1 연구대상 일대의 지질도. A: 경상누층군의 분포와 지질도(Lee, 2003), B: 발굴조사 지역 주변의 지질도(Tateiwa, 1929).

나는 것으로 밀양분지의 왜관-경주 지역에서 하부는 함안층과 정합으로 접하고 상부는 송내동층과 접한다(표 1). 층의 분포 범위는 대구광역시 달성군, 경북 청도군과 경산시 그리고 경남 창녕군까지 이어지며 주로 대구와 경산, 영천, 안강 지역에 넓게 분포하고 경상분

표 1 경상분지의 층서(강희철·백인성 2013)

Chang(1975, 1977, 2003)			Choi, H.I. et al.(1981)		Taetiwa (1929)	
영양 소분지	의성 소분지	밀양 소분지	의성 소분지	밀양 소분지	대구	
		왜관-경주				
		진주				
		유전층군				
	신양동층	건천리층	한양대기	신양동층	건천리층	
기사동층	춘산층	채약산층(화산암)		춘산층	채약산층	
		송내동층				
		반야월층				
도계동층	사곡층	함안층		사곡층	대구층	
		점곡층		점곡층		
오십봉층(화산암)	점곡층	학봉층(화산암)		후평동층	학봉층	
청량산석역암		신리역암		신리역암	신리역암	
가송동층	구계동층	칠곡층		일직층	칠곡층	
						구미동층
동화치층	백자동층	일직층				
울련산층						
		진주층	진주대기	진주층	진주층	
		하산동층		하산동층	하산동층	
		낙동층		낙동층	낙동층	
~Unconformity~						
묘곡층						

지의 남서부 지역에서는 진주지역 일대에 분포하는 진동층의 하부와 대비된다(Um et al., 1983). 주요 구성 암석은 암회색 내지 흑색 셰일과 담녹색 셰일, 이암 및 사암 등이고, 지역에 따라 간혹 이회암과 어란상 사암(oolitic sandstone)이 협재한다(김영기 1976; Um et al, 1983; 이봉진 2006). 반야월층의 직접적인 절대연령 자료가 없기에 반야월층과 암층서적으로 대비되는 진동층의 절대연령 자료를 토대로 반야월층의 지질시대를 추정할 수 있다. 진동층의 퇴적 시기에 대해 강희철과 백인성(2013)은 여러 연구자들이 보고한 고생물 자료, 고지자기 자료, 절대연대 자료 등을 정리하여 후기 백악기로 제시하였으며 연구자에 따라 차이가 있으나 대체로 96~97Ma의 시기로부터 퇴적된 것으로 보고 있다(좌용주 외 2004; 김찬수 외 2005; Jwa et al, 2009). 또한, 윤성호(1998)는 반야월층의 상부 지층인 송내동층과 진동층 상부에 대비되는 건천리층의 사이에 협재하는 채약산층의 연대를 94 ± 4 Ma로 제시하였다. 이와 같은 연대측정자료를 종합적으로 고려할 때 반야월층은 중생대 백악기 후기 초인 세노마니안(Cenomanian)에 해당할 것으로 여겨진다.

III. 경산 대구가톨릭대학교 백악기 스트로마톨라이트 화석산지

경산 대구가톨릭대학교 스트로마톨라이트는 대구가톨릭대학교 효성캠퍼스 내의 장원관(C11동) 남쪽과 후생관 서쪽 사이에 위치하고 있다. 2004년 9월, 장원관(C11동) 건물 신축을 위한 토지 정리작업으로 노출된 퇴적층 노두를 조사하던 중 저지들에 의해 발견되었다. 일부 노출된 스트로마톨라이트를 중심으로 흙을 제거한 결과, 약 30㎡(길이 10m x 폭 3m) 규모의 대형 반구형 스트로마톨라이트가 확인되었다(그림 2A). 이 스트로마톨라이트는 희소성, 접근성, 보존성 및 규모면에서 매우 우수하여 2009년 12월 천연기념물 '경산 대구가톨릭대학교 백악기 스트로마톨라이트(제512호)'



그림 2 경산 대구가톨릭대학교 백악기 스트로마톨라이트(흰색 화살표: 발굴초기의 스트로마톨라이트 돔). A: 2004년 발견 당시 모습, B: 천연기념물 지정 후 모습, C: 추가 발굴 후 모습.

로 지정되었다(그림 2B). 지정 당시, 규모가 큰 반구형 스트로마톨라이트(30m²)를 중심으로 주변 지역의 발굴을 통한 연장선 확인과 그에 따른 보존방안 마련의 필요성이 제기되었으나 여러 여건상 추가 발굴은 진행되지 않았다. 이후 관련 전문가, 경산시 및 대구가톨릭대학교 관계자들의 의견이 반영되어 문화재청은 2022년 4월부터 12월까지 지정면적(762m²) 중 노출되어 있는 대형 반구형 스트로마톨라이트를 중심으로 주변 지역 1,186m²를 발굴하였다(그림 2C).

1. 퇴적층 특성 및 퇴적 환경

기존 확인된 반구형 스트로마톨라이트를 중심으로 복토한 마사토 제거 및 발굴이 진행되었다. 발굴지역에서는 전형적인 반야월층 암석이 노출되었으며 층리면을 따라 돔형 내지 판상형 스트로마톨라이트가 지층을 이루며 분포하고 있다(그림 2C). 노출된 층리면과 층리면에 분포하는 스트로마톨라이트에는 크고 작은 단층과 절리가 많이 발달해 있다(그림 3). 단층의 경우 대부분은 압축응력에 의한 전단 변위의 형태로 나타나며, 전체적으로 변위량은 크지 않으나 스트로마톨라이트 돔을 절

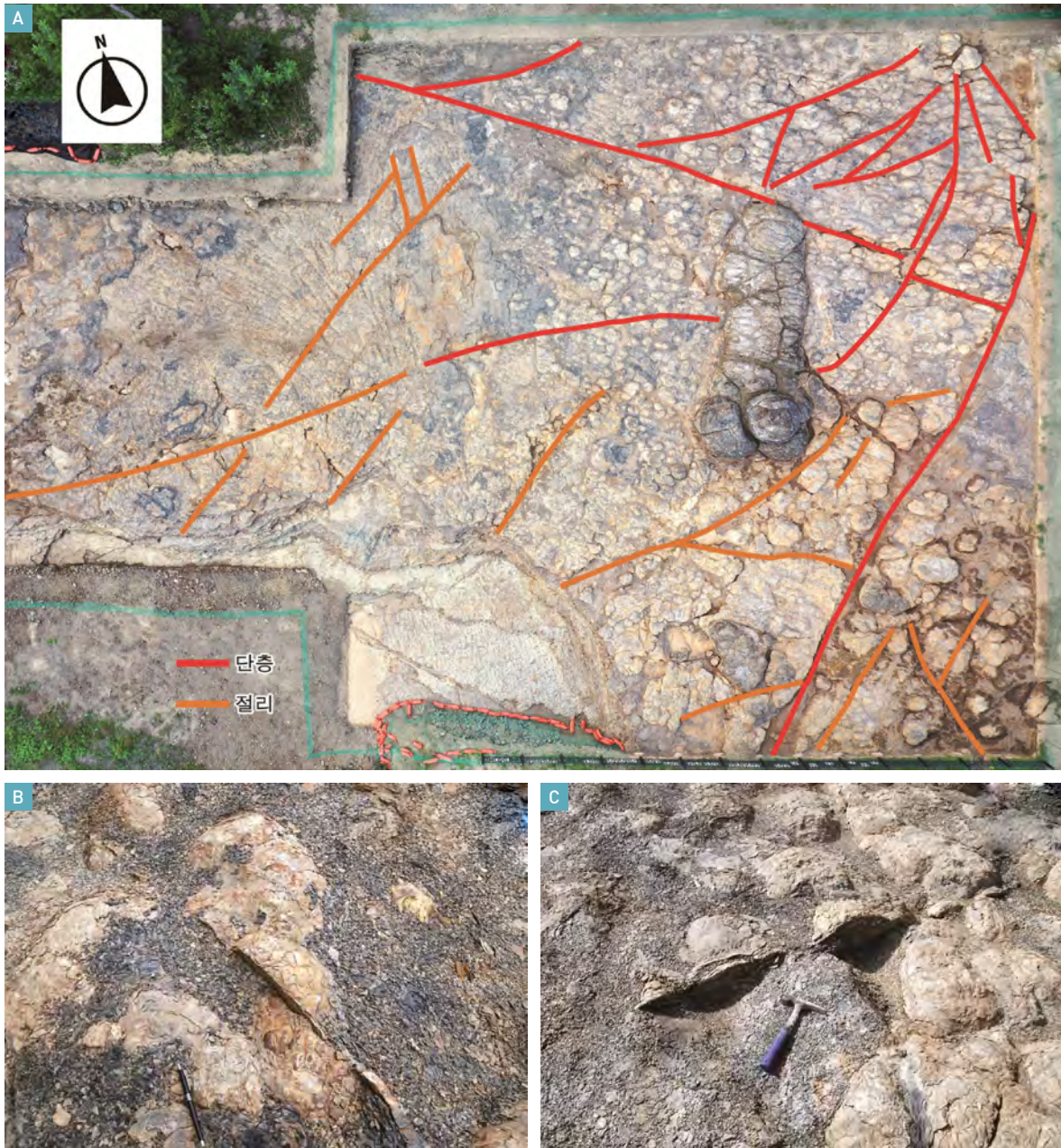


그림 3 발굴조사 대상지 내에 발달한 단층과 절리. A: 북동과 남동 방향에 많은 단층과 절리가 발달해 있는 모습, B, C: 소규모 단층에 의해 스트로마톨라이트 돌이 절단된 모습.

단하고 있어 육안으로 쉽게 확인된다(그림 3B, 3C). 단층은 기존 확인된 대형 반구형 스트로마톨라이트의 북동쪽 방향에 많이 발달해 있으며, 단층의 수직면에서는 간혹 열수에 의해 충전된 방해석 맥이 관찰되기도 한다. 이렇게 충전된 방해석 맥으로 인해 북동 방향에 발달한 단층들에는 식생이 자라지 못하고 있다. 반면, 남동쪽에는 크고 작은 절리들이 많이 발달해 있고 절리의 틈을 따라 토양이 채워져 있다. 이로 인해 식생의 성장과 토

양 내 수분 함유 등으로 인한 풍화가 발생하고 있다. 대형 반구형 스트로마톨라이트의 서쪽은 다른 방향에 비해 단층과 절리의 발달이 상대적으로 적다(그림 3A).

스트로마톨라이트가 산출되는 층준의 상부에는 암회색 및 흑색의 세일층이 두껍게 퇴적되어 있고, 하부는 암회색 및 흑색 세일을 협재하는 암회색 사암층이 발달되어 있다. 스트로마톨라이트 층준의 바로 하부에는 층리가 고르지 못한 이질의 석회암층이 비교적 두껍

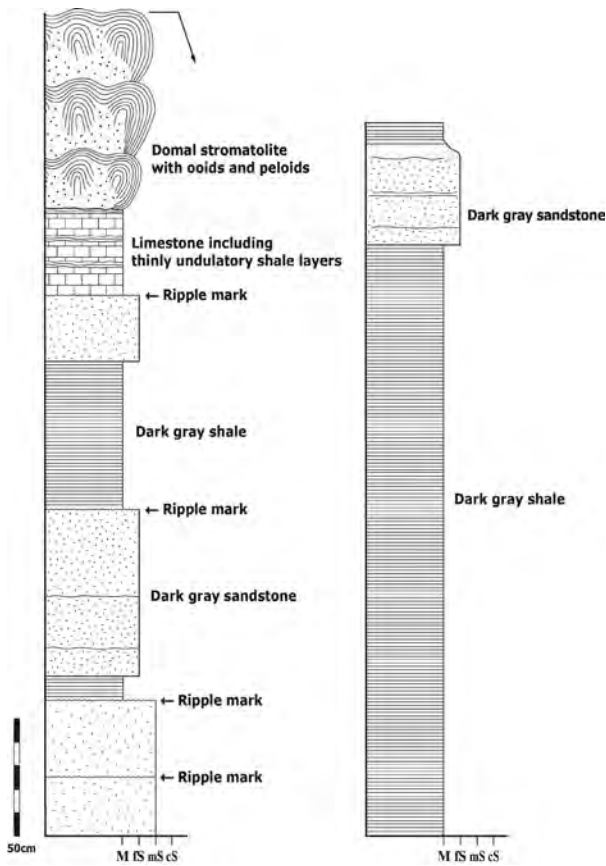


그림 4 발굴조사 지역의 지질 주상도.

게 발달하며, 하부의 암회색 사암층에는 수매의 연흔이 관찰된다(그림 4). 이질의 석회암층 사이에 아주 얇은 암회색 셰일층이 구불구불한 층리를 이루며 협재되어 있는데 이는 판상형 스트로마톨라이트로 판단된다. 발굴조사 지역에서는 상부의 셰일층, 중간의 스트로마톨라이트가 포함된 석회암층, 하부의 사암층으로 구성된 총 3개의 퇴적상(sedimentary facies)이 확인되었다(그림 4). 셰일상은 낮은 에너지 환경에서 매우 느린 퇴적 작용이 일어났음을 의미하고, 사암상은 높은 에너지 환경에서 퇴적되었음을 의미한다. 또한, 석회암상은 물속의 탄산염 농도가 높았던 환경이었음을 지시한다. 이러한 퇴적상의 변화는 하부에서 상부로 퇴적될수록 에너지 수준이 점점 낮아졌음을 의미하며, 스트로마톨라이트를 덮고 있는 최상부의 두꺼운 셰일층이 퇴적된 이후에는 스트로마톨라이트가 산출되지 않는 것으로 볼 때 호수의 수심 변화로 인해 스트로마톨라이트가 더 이상

성장 할 수 없었던 것으로 판단된다.

스트로마톨라이트가 산출되는 반야월층은 암층서적으로 진동층의 하부와 대비되는 지층이지만 퇴적상 구성과 화석산출 특성 등에서 진동층과는 부분적으로 다른 특성을 보인다(백인성 외 2023). 특히, 진동층에서는 발견되지 않는 스트로마톨라이트가 관찰되며(Lee et al. 1991; Nehza et al. 2009), 호안 기원의 *Skolithos* 생흔화석상과 천호저기원의 *Mermia* 생흔화석상이 나타난다(Park et al. 2017). 또한, 건조기후를 지시하는 구과류 잎화석(*Frenelopsis*)과 증발광물의 흔적이 보고되었다(Tateiwa 1929; Escapa and Leslie 2017; 백인성 외 2023). 박정규(2021)는 경산시 하양읍에 분포하는 함안층과 반야월층의 생흔화석 연구를 통해 함안층에서 반야월층으로 갈수록 생흔화석종의 다양성과 산출도가 매우 줄어들고 특히 *Scoyenia* 생흔화석상의 산출도가 급격히 낮아져 새발자국 화석만 산출된다고 보고하였다. 이는 어느 정도 규모를 갖는 호수가 형성되면서 얇은 물가에 서식하는 조류(Aves)만이 호수 주변부에 흔적을 남긴 것으로 생각된다. 따라서 경산 대구가톨릭대학교 스트로마톨라이트는 건조한 기후 조건의 호수 주변부 내지 규모가 있는 호수 환경에서 오랜 시간에 걸쳐 형성된 것으로 해석된다.

2. 스트로마톨라이트의 분포와 형태

천연기념물 지정 당시, 경산 대구가톨릭대학교 스트로마톨라이트는 대형 반구형 돔(길이 10m, 폭 3m, 높이 1m 정도)이 북북동-남남서 방향으로 연장된 상태로 노출되어 있었으며, 이후 반구형 스트로마톨라이트 주변을 조경용 마사토로 복토하였다(그림 2B). 이 스트로마톨라이트는 중생대 백악기 호수에 서식하던 미세조류(microalgae) 군집의 활동(특히 광합성작용)에 의해 형성된 것이다. 초기에 형성된 스트로마톨라이트의 돔(dome)이나 기둥(column)들은 성장이 지속되는 과정에서 서로 연결되어 산호초(coral reef)처럼 군집(stromatolitic reef)을 이루며 광범위한 지역에 걸쳐 산출

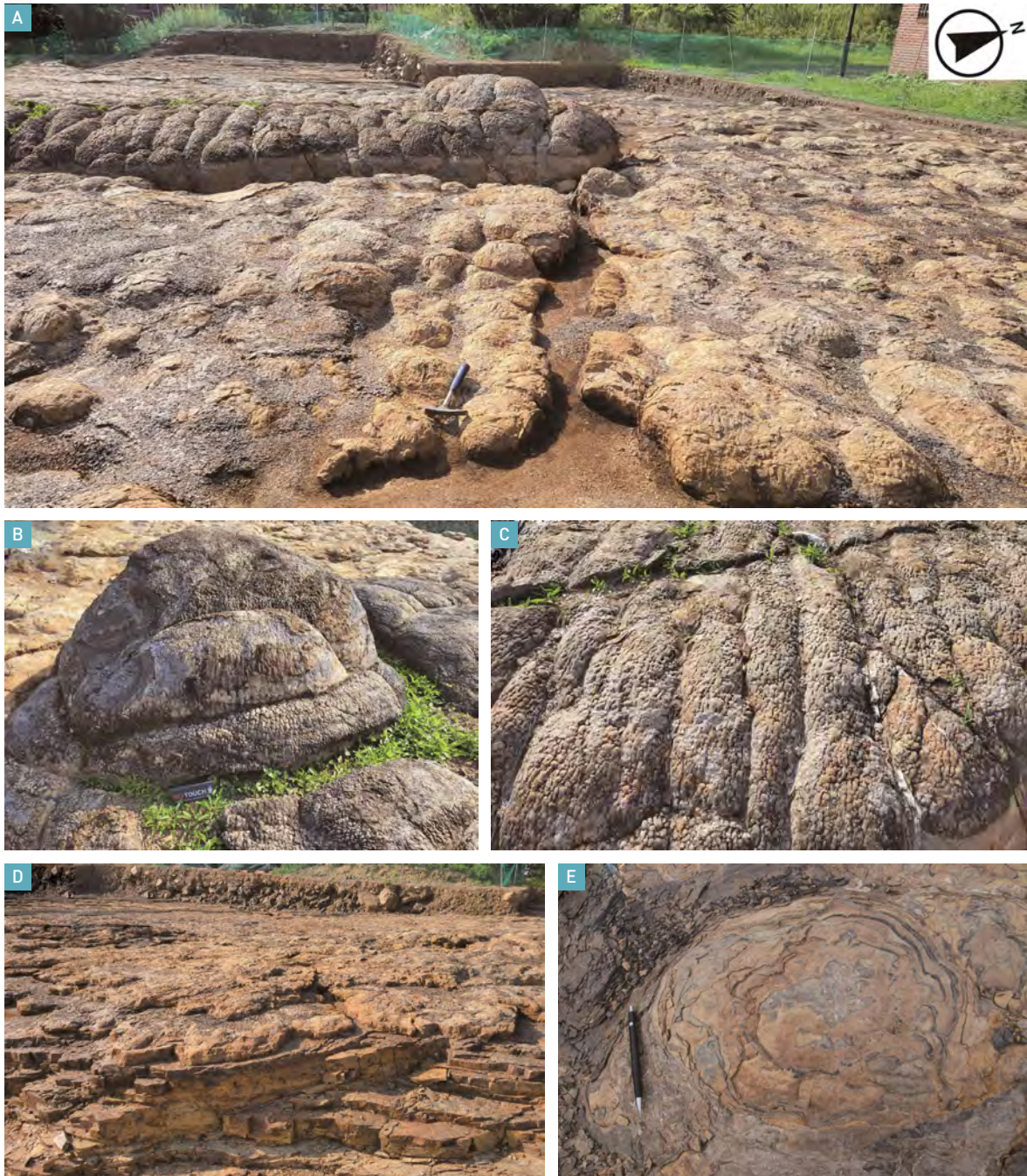


그림 5 발굴조사 대상지역 스트로마톨라이트의 분포와 형태. A: 스트로마톨라이트 초(stromatolitic reef)를 형성하며 넓은 범위에 분포하는 모습(서쪽 지역은 돔의 발달이 미약하다), B: 돔 표면의 작은 돌기가 성장하며 연결된 돔, C: 스트로마톨라이트 표면의 돔 사이에 발달한 홈, D: 서쪽 지역의 판상형 스트로마톨라이트가 분포하는 지층의 층리면, E: 스트로마톨라이트 돔 표면의 풍화에 따른 돔 상부의 동심원 구조.

되는 비정형 화석이다(Grotzinger and Knoll 1999). 일반적으로 스트로마톨라이트는 성장 초기에 판상형 형태를 이루다가 엽층리의 지속적인 축적에 의하여 반구형이나 주상형 등의 스트로마톨라이트로 성장하게 된다.

노출되어 있는 대형 반구형 스트로마톨라이트를 중심으로 주변 지역 1,186㎡를 발굴한 결과, 예상대로

기존 스트로마톨라이트가 분포하는 모든 층준에서 스트로마톨라이트가 넓게 분포하는 것이 확인되었다(그림 2C, 5A). 이는 중생대 백악기 경산 지역의 호수에서 형성되었던 스트로마톨라이트는 산호초처럼 군집을 이루며 분포했음을 지시한다. 스트로마톨라이트의 분포 양상, 규모 및 형태는 대형 반구형 스트로마톨라이트



를 기준으로 동쪽과 서쪽에서 많은 차이를 보인다(그림 5A, 5D). 동쪽 지역의 스트로마톨라이트는 기존 돔과 유사한 형태 갖는 스트로마톨라이트들이 넓게 분포하고 있으나 서쪽 지역의 스트로마톨라이트는 대부분 판상형으로 산출되며 돔 형태는 매우 드물게 관찰되고 크거나 규모 또한 작고 형태도 단순하다(그림 5A, 5D).

1) 돔 형태와 표면구조

기존에 확인된 대형 반구형 돔 또한 작은 돔과 기둥들이 연결되어 성장하며 확장된 것으로, 대형 돔들의 표면에 다양한 형태의 소형 돔들이 연결된 것이 쉽게 관찰된다(그림 5B, 5C). 스트로마톨라이트의 개별 돔(또는 기둥)은 호수 바닥에서 상부로 성장하여 인접한 돔과의 사이에는 홈이 형성되고 홈에는 석회질 광물이 아닌 쇠설성 퇴적물로 채워진다(그림 5C). 일반적으로 돔의 형태는 스트로마톨라이트를 형성하는 미세조류의 종에 따라 차이를 보이며(Golubic 1976; Seong-Joo et al. 2000), 스트로마톨라이트의 표면구조(wavy, mammillate or concentric structure)는 조류나 파도의 방향에 의해 결정된다(Hofman 1976; Walter et al. 1992). 경산 대구가톨릭대학교 스트로마톨라이트의 표면에도 구불구불한 선적 구조(wave ridges)가 잘 발달해 있으며(그림 5C), 이러한 표면구조의 방향성은 호수의 파도 방향과 일치하는 것으로 알려져 있다(Semikatoev et al. 1979). 즉, 이곳에서 관찰되는 스트로마톨라이트의 돔과 돔 사이의 홈 방향은 호수 연변부 호안선에 수직 방향으로 발달한 것을 의미한다. 호수 물의 이동방향이 돔의 석회질 광물 침전을 촉진하는 반면, 홈 사이의 쇠설성 퇴적물은 침식시키기 때문이다. 결국, 스트로마톨라이트 돔 표면의 작은 돔들은 일정 방향으로 길게 성장되어 발달하게 되고, 이들이 인접하여 성장한 반구형 돔들도 같은 방향으로 성장한다. 돔과 돔 사이에는 이들과 같은 방향의 홈이 형성된다(그림 5C).

2) 동쪽 지역 스트로마톨라이트의 분포와 형태

반구형 또는 타원형 돔들이 인접한 돔들과 연결되어 커다란 구형 또는 타원형의 반구형 돔을 형성하며 넓게 분포하는, 전형적인 스트로마톨라이트 초(stromatolite reef)를 이루고 있다(그림 5A). 일부 스트로마톨라이트는 발굴에서 제거되지 않은 흑색 세일이 돔과 돔 사이를 덮고 있으며 대부분의 돔 표면은 정상부가 차별적으로 침식되어 박리된 형태로 산출되었다(그림 5E). 풍화침식이 일어나지 않는 경우 돔의 정상부에서는 내부 구조가 관찰되지 않지만, 풍화에 의해 상부 층이 차별적으로 박리되면 내부 구조가 노출된다. 이때 돔의 상부는 전형적인 동심원 구조가 나타나는데, 이는 유기퇴적층(organic-rich layer)과 무기퇴적층(sediment-rich layer)이 차별적으로 침식된 결과이다(Seong-Joo et al. 2000, 그림 5E). 즉, 유기퇴적층은 풍화에 강한 반면 무기퇴적층(석회암)은 풍화에 약해, 차별침식에 따른 선적 구조가 선명해지는 것이다. 이곳에서 관찰되는 동심원 구조는 풍화의 시간 차이로 인해, 기존 대형 반구형 스트로마톨라이트에서 관찰되는 것과는 달리 매우 희미하게 나타난다. 기존 스트로마톨라이트 돔의 엽층리와 동심원 구조가 지정 당시보다 선명하게 관찰되는 것도 동일한 이유 때문이다.

3) 서쪽 지역 스트로마톨라이트의 분포와 형태

동쪽과 달리 서쪽 지역으로 갈수록 스트로마톨라이트 돔의 크기나 수가 줄어들며 돔의 형태를 갖는 스트로마톨라이트는 매우 드물게 관찰된다. 스트로마톨라이트 돔의 수가 점차적으로 줄어드는 대신, 얇은(두께 1-10cm) 판상형 스트로마톨라이트가 넓게 분포한다(그림 5D). 판상형 스트로마톨라이트 층은 동쪽에 발달된 스트로마톨라이트 돔 층과 연결되어 전체적인 스트로마톨라이트 초를 형성하고 있다(그림 5A). 이 지역의 판상형 스트로마톨라이트 층은 엽층리가 관찰되지 않아 쇠설성 퇴적암층과 구분이 쉽지 않다. 판상형 스트로마톨라이트는 쇠설성 퇴적층과 달리 평평하지 않고 불규칙한 표면 구조(wavy structure)를 갖고 있는

데, 이러한 층리면의 표면구조로 판상형 스트로마톨라이트를 구분한다.

동쪽과 서쪽 지역의 스트로마톨라이트 산출양상 및 형태의 차이는 동쪽 지역에 비해 스트로마톨라이트의 성장이 느렸기 때문으로 해석된다. 서쪽 지역의 환경이 동쪽에 비해 미세조류 서식에 적합하지 않았거나, 호수로 유입되는 쇄설성 퇴적물의 양이 많았기 때문일 수 있다. 이러한 환경에서는 석회질 광물의 침전 속도가 매우 느려 스트로마톨라이트의 성장이 제한된다. 판상형 스트로마톨라이트 층준과 연결되는 이암층의 존재가 이를 증명한다.

IV. 자연유산적 가치

유네스코에 따르면 유산(Heritage)이란 ‘과거로부터 물려받은 것으로, 현재 우리가 더불어 살아가고 미래세대에 물려주어야 할 것(Heritage is our legacy from the past, what we live with today, and what we pass on to future generations)’으로 정의된다. 또한, 2023년 3월 제정·공포된 ‘자연유산의 보존 및 활용에 관한 법률(이하 자연유산법)’에서 자연유산(Natural Heritage)은 ‘자연물, 또는 자연환경과의 상호작용으로 조성된 문화적 유산으로 역사적·경관적·학술적 가치가 큰 동물, 식물, 지형·지질, 천연보호구역, 자연 및 역사문화경관’으로 정의하며, 자연유산 중 역사적·경관적·학술적 가치가 인정되는 것을 천연기념물로 지정한다(법률 제19251). 따라서 자연유산의 가치는 어떤 한 유산이 과거에서 현재와 미래로 이어지는 지속가능성(sustainability)과 역사적·경관적·학술적 대표성을 지니고 있어야 한다. 나아가 유산의 활용과 향유를 위해서는 접근성도 가치 평가의 중요한 요소이다.

1. 지속가능성(sustainability)

한 유산이 독보적인 속성을 가지고 과거에서 현재와 미래를 관통하여 지속적으로, 그리고 전 인류에

게 공통적으로 적용되는 가치를 지속가능성이라 하며, 유네스코에서는 이를 ‘탁월한 보편적 가치(OUV, Outstanding Universal Value)’라 한다.

스트로마톨라이트는 초기 지구 생명의 역사에 대한 증거를 내포하고 있어 지구 초기 생명체에 대한 대부분의 연구는 스트로마톨라이트에서 시작된다. 현재 지구상에서 가장 오래된 박테리아와 스트로마톨라이트에 대한 논란이 있기는 하나(Schopf, 1993 vs. Brasier et al., 2002), 적어도 35억 년 전에는 지구상에 남세균(cyanobacteria)이 출현했다는 사실은 대부분의 과학자가 동의한다. 또한, 스트로마톨라이트는 지구가 탄생한 이래 가장 오랜 기간 지구를 지배하며 존재해왔고 현재까지도 존재하는 유일한 화석이자, 긴 시간 동안 스트로마톨라이트를 형성하는 박테리아 화석뿐 아니라 그들과 경쟁해온 다른 생명체(예, 진핵생물)의 진화와 생물 역사에 대한 기록을 포함하고 있다.

경산 대구가톨릭대학교 스트로마톨라이트 화석 산지는 중생대 백악기의 호수 환경 속 박테리아와 다른 생명체의 진화와 역사의 기록을 포함하고 있고, 육성 스트로마톨라이트의 성장과 형성의 과정을 잘 보여주며, 파편적인 규모가 아닌 스트로마톨라이트와 더불어 살아온 생명체의 전체적 생태를 포함하는 규모로 산출되고 있다. 또한, 서로 다른 형태의 스트로마톨라이트가 횡적으로 연장되면서 전형적인 스트로마톨라이트 초를 이루고 있기 때문에 중생대 스트로마톨라이트 형성 초기의 모습을 그대로 간직하고 있다. 이러한 유산의 특성은 생명의 기록을 포함하는 지구역사의 주요 단계를 보여주는 탁월한 사례라 할 수 있기에, 세계자연유산에는 미치지 못하지만 국내 자연유산으로서의 지속가능성과 탁월한 보편적 가치는 충분히 지니고 있다.

2. 학술적·경관적 대표성

앞에서 기술했듯이, 스트로마톨라이트는 지구에서 가장 최초로 등장한 생명체를 화석으로 포함하고 있으며, 환원 환경의 지구를 인간이 살 수 있는 산소



환경으로 변화시키는 등의 학술적 가치를 지니고 있다. 또한, 스트로마톨라이트는 특정 형태를 지닌 개별 화석(예, 남세균)이 아닌, 해저나 호수 바다에 서식하던 미세조류들이 서로 뒤엉켜 성장하며 석회암을 침전시켜 마치 산호초처럼 초(stromatolitic reef)를 형성하는 비정형 화석이다(Grotzinger and Knoll 1999). 따라서 대부분의 스트로마톨라이트는 산호처럼 넓은 지역에 걸쳐 대규모로 산출되는 특징을 가진다. 하지만 국내에서 큰 규모의 석회암초 형태로 발견된 스트로마톨라이트는 소청도 스트로마톨라이트(천연기념물 제508호)와 대구가톨릭대학교 스트로마톨라이트 두 곳이 유일하다. 특히, 기존연구(이광춘 1992; 이봉진 2007)와 이번 발굴조사를 종합할 때, 대구가톨릭대학교 스트로마톨라이트는 은호리 스트로마톨라이트(경상북도 기념물 제136호)를 지나 남하리까지 연장되었을 가능성이 매우 크다. 따라서, 대구가톨릭대학교 스트로마톨라이트는 스트로마톨라이트가 가지는 학술적 가치와 함께, 국내 고생대와 중생대 스트로마톨라이트 중 유일하게 넓은 지역에 걸쳐 초(stromatolitic reef) 형태의 군집으로 산출되기 때문에 다른 어떤 스트로마톨라이트나 개별 화석과는 비교할 수 없는 경관적(심미적) 가치를 갖고 있다. 여기에 우리나라 중생대 스트로마톨라이트를 대표하는 특별함까지 갖추고 있다.

3. 형태적 다양성과 접근성

대구가톨릭대학교 스트로마톨라이트의 형태적 다양성 또한 자연유산적 가치를 높이는 요소이다. 발굴 전(지정 당시), 스트로마톨라이트는 작은 주상형 스트로마톨라이트가 성장을 지속하면서 합쳐져 형성된 커다란 반구형 돔만이 노출되어 있었지만(그림 2B), 발굴된 스트로마톨라이트는 반구형 스트로마톨라이트에서부터 작은 돔들이 연장된 형태 및 퇴적면을 평행하게 피복하여 성장한 판상형 형태까지 관찰된다(그림 5A, 5D). 동일 공간에서 발견되는 스트로마톨라이트의 형태적 다양성은 매우 드문 현상이다.

형태적 다양성과 더불어 대구가톨릭대학교 스트로마톨라이트의 자연유산적 가치를 높이는 요소는 접근성이다. 문화유산과 자연유산이 발굴·지정된 후 일반 국민과 지역사회가 활용하고 향유하기 위해서는 무엇보다 접근성이 중요하며, 접근성의 가치는 시간이 갈수록 자연유산의 가치 평가에 있어 중요한 요소가 될 것으로 생각한다. 전 세계에서 가장 유명한 스트로마톨라이트 화석산지 중 하나인 미국의 헬레나(Helena Formation)와 호주 샤크만(Shark Bay) 스트로마톨라이트는 최악의 접근성을 갖고 있다. 헬레나층의 스트로마톨라이트는 미국 글레이셔(Glacier) 국립공원에 위치하고 있어 로키 산맥의 험준한 산맥들로 인해 일반인은 접근조차 할 수 없다. 또한, 호주 샤크만 지역은 사람이 거주하는 퍼스(Perth)에서 약 700km 떨어져 있으며, 화석산지 인근에는 사람이 사는 마을이 매우 드문 지역이다. 호주 정부는 이곳까지 연결되는 도로(Shark Bay Road)를 건설하고, 접근로(Boolagoorda loop trail) 및 관람 데크를 설치하는 등 많은 비용과 노력을 기울였으나 일반인들의 접근은 여전히 쉽지 않다. 우리나라의 경우도 이와 같다. 천연기념물인 소청도 스트로마톨라이트를 보기 위해서는 인천항까지 간 다음, 소청도행 고속여객선(하루 2회 운행)을 타고 약 4시간을 이동한 후, 소청도 선착장에서 다시 약 1시간 정도 걸어가야 한다. 반면, 대구가톨릭대학교 스트로마톨라이트는 대학캠퍼스 내에 위치하고 있어 개인 차량 및 대중교통으로의 접근성이 매우 뛰어나다. 이는 대구가톨릭대학교 스트로마톨라이트의 자연유산적 가치를 더욱 높이는 특별한 요소이다.

V. 스트로마톨라이트 풍화 진단

풍화란 암석이 붕괴되어 퇴적물로 변하는 과정으로 지표에 노출된 모든 암석과 광물은 다양한 과정의 풍화에 직면하게 된다(Blatt et al. 1980). 풍화과정은 암석과 광물로 구성된 석조문화재뿐만 아니라 학술적 가

치가 높은 화석과 같은 지질유산에도 동일하게 적용되기 때문에 풍화관리가 제대로 되지 않으면 그 유산의 가치가 훼손될 수밖에 없다. 따라서 대구가톨릭대학교 스트로마톨라이트의 자연유산적 가치 제고를 위한 유산의 완전성(Integrity) 요건 충족과 보호·관리체계(Protection and Management System) 구축을 위해서라도 풍화 진단은 반드시 필요하다.

1. 풍화 상태

대구가톨릭대학교 스트로마톨라이트 지역에는 소

규모 단층과 많은 절리가 발달해 있고, 스트로마톨라이트의 표면에서는 박리·박락 현상이 쉽게 관찰된다(그림 3, 5E). 특히, 남동쪽에 분포하는 스트로마톨라이트에는 크고 작은 절리들이 많이 발달해 있는데, 이들 절리의 틈을 따라 토양이 채워져 있어 토양과 식생에 의한 풍화가 진행되고 있고 가속화될 것으로 예상된다. 또한, 주목할 점은 스트로마톨라이트 내의 일부 구간에 수직으로 형성된 흰색 세맥(micro-dyke)들이 다(그림 6B). 이 세맥은 스트로마톨라이트가 형성된 후 발달한 약대를 따라서 열수가 침투하여 형성된 것으

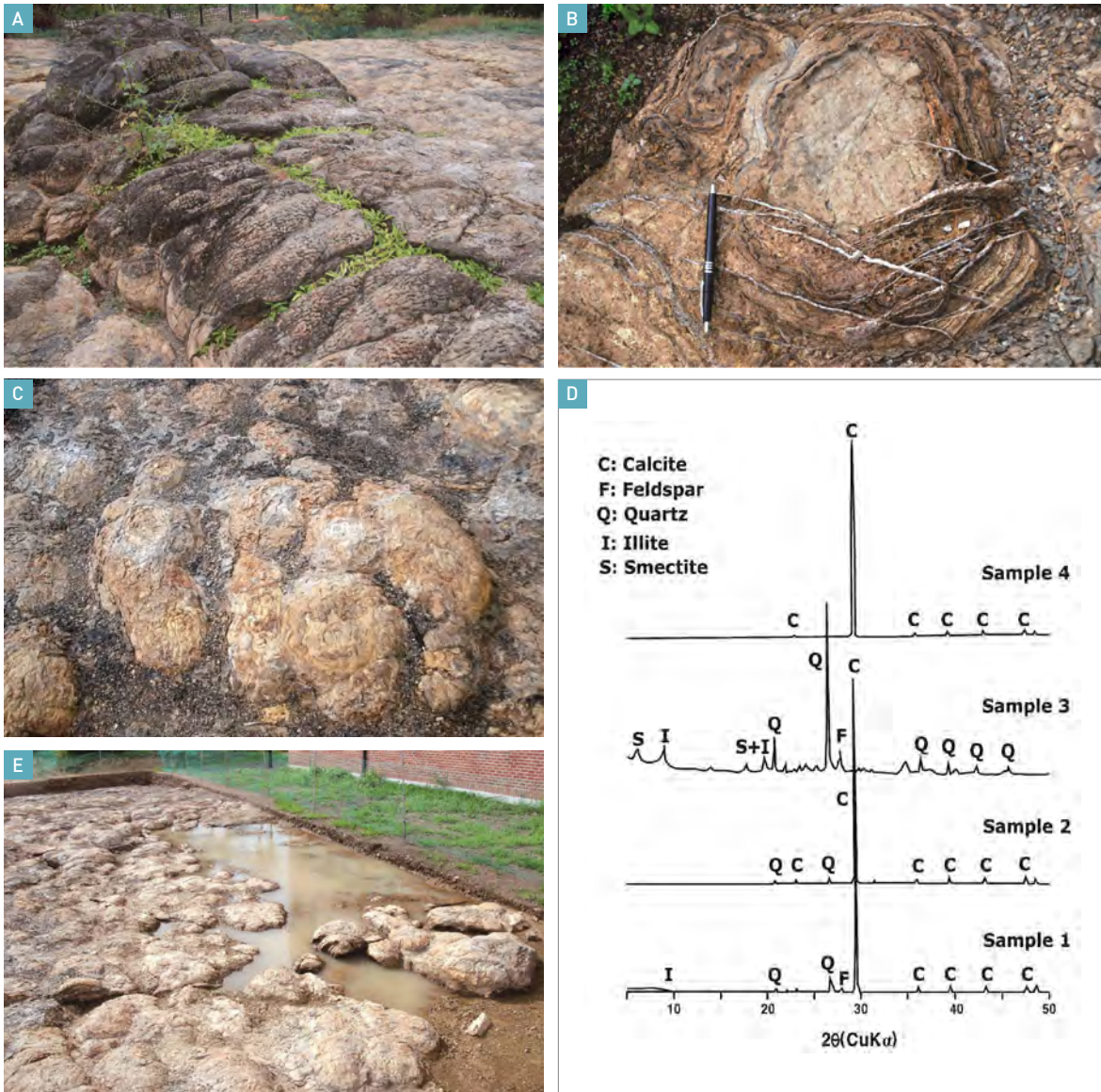


그림 6 발굴 스트로마톨라이트의 풍화상태와 광물분석, A: 스트로마톨라이트의 균열 사이에 성장하고 있는 초본류 모습, B: 스트로마톨라이트 내 발달한 방해석 맥, C: 스트로마톨라이트 표면을 덮고 있는 흑색 세일층, D: XRD 분석결과(스트로마톨라이트 시료 2, 세일 1, 방해석 맥 1), E: 스트로마톨라이트 발굴지역에 고인 빗물.

로 판단되며, 광물분석 결과 풍화에 약한 방해석 맥이 기 때문에 추후 풍화가 진행될 경우 스트로마톨라이트의 변형에 큰 영향을 줄 수 있다. 지정 당시 노출되었던 대형 반구형 스트로마톨라이트의 경우 2018년 공주대학교 보존과학연구팀에 의해 진행된 손상도 평가 및 비파괴 정밀진단에 의하면, 균열(미세균열, 박리상 균열, 구조상 균열), 박락, 탈락, 토양화 현상과 지의류, 선태류, 초분류 등 식생에 의한 풍화가 복합적으로 진행되고 있다(공주대학교 산학협력단 2018). 저자들에 의해 처음 발견될 당시(2004년)와 현재의 사진을 비교해 본 결과, 스트로마톨라이트의 표면에 박리, 박락 현상이 상당히 진행되었고 지의류와 선태류에 의한 표면 색상에 현저한 변화가 관찰되며 절리 사이에 형성된 토양에 식생이 자라면서 풍화를 가속 시키고 있는 것이 확인되었다(그림 6A).

2. 광물 분석

스트로마톨라이트의 풍화와 관련된 광물 성분과 영향을 알아보기 위해 X-선 회절분석(X-ray diffraction, XRD)을 실시하였다. 조사대상 시료는 박리되어 떨어져 나온 시료 2개와 스트로마톨라이트 표면을 덮고 있던 흑색 세일 및 흰색의 세맥 등 총 4개의 시료를 사용하였다. 분석기기는 경북대학교 공동실험실습관의 X-선 회절분석기(EMPYREAN, Panalytical)를 이용하였으며 Cu-K α 40kW, 2 θ 5-50°측각 간격(step size) 0.02° 조건으로 분석을 수행하였다. XRD 분석 결과는 <그림 6D>와 같다.

박리되어 떨어져 나온 시료의 경우, 방해석이 가장 우세하였으며 약간의 차이는 있지만 쇄설성 기원으로 생각되는 석영과 장석을 포함하고 있었다. 스트로마톨라이트를 덮고 있던 흑색 세일은 석영, 장석과 더불어 일라이트(illite)와 스멕타이트(smectite) 같은 점토광물도 함유하고 있다(그림 6C, 6D). 일반적인 세일층에 비해 점토광물의 함량이 높는데 이런 특징은 세일층이 강수나 지표수에 대해 효과적인 불투수층 역할을 하여 스트

로마톨라이트를 풍화로부터 효과적으로 보호했음을 시사한다. 스트로마톨라이트 내에서 흔하게 관찰되는 흰색 세맥은 방해석으로 구성되어 있다(그림 6B, 6D).

Ⅵ. 스트로마톨라이트의 보존관리 및 활용

우리나라의 「문화재보호법」과 「자연유산법」에서는 국제적으로 자연유산이라고 불리는 대상물을 천연기념물과 명승으로 구분하고 있다. 따라서, 천연기념물로 지정되었다는 것은 대상 문화재를 보다 체계적으로 보존·관리하기 위한 토대가 마련되었음을 의미한다. 일반적으로 화석을 포함하는 지질유산(천연기념물)은 다른 문화유산(국보·보물 등)에 비해서 보존관리를 위한 예산 반영과 관리 인원 등이 상대적으로 부족하다. 특히, 문화유산(국보·보물)에 비해 지질유산(천연기념물)은 개별 단위 지정(3건)보다는 면 단위 지정(86건)이 대부분이기에 지정(관리) 면적이 훨씬 크고, 야외에 노출되어 있기에 보존관리 측면에 많은 어려움이 있다. 특히, 지질유산(89건) 중에서도 화석분야(27건)는 해당 화석의 특성과 환경이 너무나 달라 보존관리 측면에서 더욱 많은 비용과 노력이 요구된다. 국가(문화재청)가 이러한 자연유산을 지정하는 이유는 국가와 관리단체(지자체)가 해당 유산을 지키고, 보존하겠다는 변함없는 의지의 표현이자 약속이며, 여기서 얻게 되는 이익을 국민과 지역사회에 환원하고 공유하기 위한 것이다. 따라서, 국가와 관리단체(지자체)는 유산의 특성을 고려한 최적의 보존방안을 마련하는 것이 무엇보다 중요하다. 천연기념물 의성 제오리 공룡발자국 화석산지의 경우에서 보듯이, 잘못된 보존방안(공룡발자국 페인트 도색과 시멘트 이용 발자국 생성)은 천연기념물로서의 자연유산적 가치를 심각하게 훼손시키는 결과를 초래하게 된다. 또한, 지질유산을 중심으로 무분별하게 이루어지고 있는 화학 약품에 의한 보존처리도 각별한 주의가 필요하다.

1. 보존관리

천연기념물 경산 대구가톨릭대학교 백악기 스트로마톨라이트는 2009년 12월, 천연기념물로 지정되었으나 발견 당시(2004년) 모습 그대로 야외에 노출되어 있어 풍화가 빠르고 심각하게 진행되었다. 거의 20년 동안 야외에 노출된 대구가톨릭대학교 스트로마톨라이트의 지속적이고 장기적인 보존관리방안 마련이 시급하다. 대구가톨릭대학교 스트로마톨라이트에 대한 보존관리는 크게 두 가지의 관점에서 진행되어야 한다. 첫째는 지질유산을 중심으로 진행되고 있는 화학 약품을 이용한 보존처리이며 다음은 외부환경과 완전히 차단하는 폐쇄형 보호시설의 설치이다. 화학 약품에 의한 보존처리는 훼손의 속도를 지연시킬 수 있어 단기적 방법으로 많이 이용되고 있다. 그러나 스트로마톨라이트는 그 특성상 공룡발자국이나 새발자국 화석과 달라 화학 약품에 의한 보존처리는 매우 부적절

하다. 스트로마톨라이트는 산성 물질에 쉽게 용해되는 탄산염 광물로 구성되어 있기 때문에 물과의 접촉차단이 우선되어야 한다. 특히 산성비에 매우 취약하다. 대기 오염이 전혀 없는 상태에서 내리는 비도 대기 중의 이산화탄소와 반응해서 약한 산성을 띤다. 따라서 스트로마톨라이트가 비에 지속적으로 노출될 경우 탄산염 성분이 용해되어 심각한 훼손에 직면하게 된다. 약 20년 간 야외에 노출된 가톨릭대학교 스트로마톨라이트의 표면에서 빗물에 의한 훼손이 진행되고 있는 것이 관찰되고 있다(그림 5B, 6A). 이를 막기 위해서는 최소한의 보호지붕의 설치가 필요하다. 그러나 대구가톨릭대학교 스트로마톨라이트의 층리면 경사는 5° 이하로 수평에 가까워, 보호지붕만 설치할 경우에는 층리면 바닥에 물이 고이게 되어 풍화를 가속화시킬 수 있다(그림 6E). 따라서, 가장 적합한 방법은 외부 환경과 차단될 수 있는 폐쇄형 보호시설을 설치하는 것이라 판단된다. 2023년 5월 기준 지질유산(천연기념물) 89건 중 화석분야는 27건이 지정되었으며, 27건의 화석분야 천연기념물 중 개별 단위 지정된 3건을 제외한 24건의 화석분야 천연기념물에 대한 보호시설 설치 현황은 <표 2>와 같다. <표 2>에서 보듯이 보호지붕이 갖춰진 곳은 6곳이며, 폐쇄형 시설이 설치된 곳은 4곳에 불과하다. 폐쇄형 시설로 보호되고 있는 4곳 중 3곳(해

표 2 천연기념물 지정 화석산지의 보호시설 설치 현황

연번	지정 명칭	보호 울타리	보호 지붕	폐쇄형 시설
1	칠곡 금무봉 나무고사리 화석산지	-	-	-
2	제주 서귀포층 패류 화석산지	-	-	-
3	함안 용산리 백악기 새발자국 화석산지	○	○	-
4	의성 제오리 공룡발자국 화석산지	○	○	-
5	진주 유수리 백악기 하성퇴적층	-	-	-
6	해남 우항리 공룡·익룡·새발자국 화석산지	○	○	○
7	진주 가진리 새발자국과 공룡발자국 화석산지	○	○	○
8	고성 덕명리 공룡발자국과 새발자국 화석산지	-	-	-
9	영월 문곡리 건물구조 및 스트로마톨라이트	-	-	-
10	화성 고정리 공룡알 화석산지	-	-	-
11	태백 장성 오르도비스기 화석산지	○	-	-
12	보성 비봉리 공룡알 화석산지	-	-	-
13	여수 낭도리 공룡발자국 화석산지	-	-	-
14	제주 사람발자국과 동물발자국 화석산지	○	-	-
15	사천 이두섬 공룡 화석산지	-	-	-
16	하동 중평리 장구섬 백악기 화석산지	-	-	-
17	화순 서유리 공룡발자국 화석산지	○	-	-
18	남해 가인리 화석산지	-	-	-
19	웅진 소청도 선캄브리아 스트로마톨라이트와 분바위	-	-	-
20	경산 대구가톨릭대학교 백악기 스트로마톨라이트	○	-	-
21	진주 충무공동 익룡·새·공룡발자국 화석산지	○	○	○
22	군산 산북동 공룡과 익룡발자국 화석산지	○	○	○
23	사천 선전리 백악기 나뭇가지 피복체 산지	-	-	-
24	진주 장촌면 백악기 공룡·익룡발자국 화석산지	-	-	-

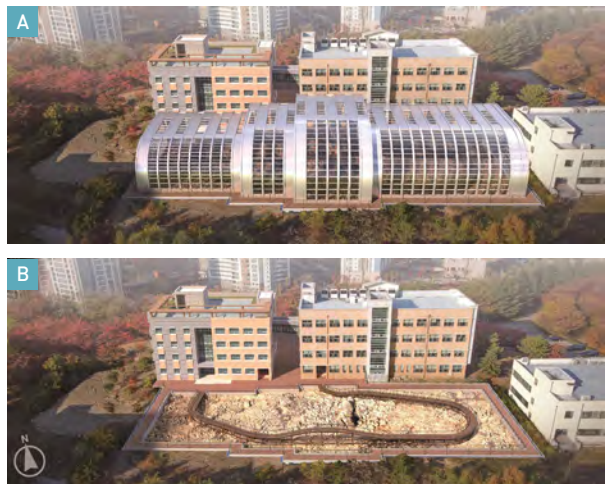
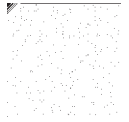


그림 7 천연기념물 경산 대구가톨릭대학교 백악기 스트로마톨라이트의 폐쇄형 보호시설(제시안)의 외부와 내부 모습. A: 외부 모습, B: 내부 모습(관람용 데크 설치).



남 우항리, 진주 가진리 및 충무공동)은 전시·교육형 시설로써 화석의 보호를 위한 상시 모니터링과 전시·교육 및 연구 기능을 갖추고 있어 국내 최고의 지질유산 보호시설로 평가받고 있다. 지금까지의 조사 내용을 종합하여 상시 모니터링, 전시, 교육, 연구 기능이 결합된 「경산 대구가톨릭대학교 백악기 스트로마톨라이트」의 폐쇄형 보존관리 시설을 제안한다(그림 7).

2. 활용 방안

스트로마톨라이트는 초기 지구생명의 역사에 대한 증거를 내포하고 있는 생명체이자 지구가 탄생한 이래 가장 오랜 기간 지구를 지배하며 존재해왔고 현재까지도 존재하는 유일한 화석이며, 긴 시간 동안 스트로마톨라이트를 형성하는 박테리아 화석뿐 아니라 그들과 경쟁해온 다른 생명체(예, 진핵생물)의 진화와 생물 역사에 대한 기록까지 포함하고 있다. 여기에 경산 대구가톨릭대학교 스트로마톨라이트는 중생대 스트로마톨라이트 형성 초기의 모습을 그대로 간직하고 있다. 이러한 생물학적·지질학적으로 중요한 역사성과 독특한 외부형태를 간직하고 있는 천연기념물 「경산 대구가톨릭대학교 백악기 스트로마톨라이트」는 상당히 매력적인 콘텐츠 소재로 활용될 수 있다.

1) LEG 교육 프로그램 개발

천연기념물로서 스트로마톨라이트는 일반인들에게 무척 생소한 대상이다. 그러므로 스트로마톨라이트의 보존을 위해서라도 교육을 통한 인식의 전환이 필요하다(한승희 2017). 스트로마톨라이트가 무엇인지 이해하고 스트로마톨라이트가 가진 매력적인 가치를 전달하기 위해서는 단순한 교육이 아닌 다양한 현장 프로그램과 연계된 교육 프로그램의 개발이 중요하다. 따라서 대구가톨릭대학교 스트로마톨라이트의 교육적 활용을 위한 「LEG 교육 프로그램」 개발을 제안한다. LEG 교육 프로그램은 지역사회(Local community)와 함께 할 수 있는 프로그램의 개발, 전시(Exhibit)와 연계된 프로그램

의 개발, 그리고 지질관광(Geo-tourism)과 연계된 프로그램의 개발을 의미하며 이들 프로그램의 성공을 위해서는 지역이나 대학 내 스트로마톨라이트를 교육할 수 있는 교육전문가 양성이 반드시 병행되어야 한다.

2) 전시 프로그램 개발

해당 지질유산의 가치를 전달할 수 있는 전시가 무엇보다 중요하다. 이를 위해 현장 전시와 온라인 전시로 나뉘어서 구성할 필요가 있다. 먼저 현장 전시에서는 스트로마톨라이트의 전문지식을 가진 전문가에 의한 정보전달과 관람객이 직접 스트로마톨라이트를 손으로 만져 보거나 내부 단면을 관찰(예: 슬랩, 박편 및 아세테이트 필 제작 관찰 등)할 수 있게 구성해야 한다. 손으로 만져 보거나 내부 단면을 관찰하는 것은 발굴과정에서 수습된 스트로마톨라이트를 활용하면 될 것이다. 온라인 전시는 지구탄생에서부터 지질시대에 따른 스트로마톨라이트의 번성과 감소, 그리고 현재까지 살아남은 스트로마톨라이트의 역사와 형성과정 및 중생대 백악기 당시의 대구가톨릭대학교 스트로마톨라이트 고환경 복원 등을 「실감형 가상현실(Immersive Virtual Reality) 콘텐츠」로 제작하여 관람객의 몰입감을 높여 그 가치를 전달할 수 있도록 한다면 높은 전시 효과를 기대할 수 있을 것이다.

3) 지질관광(Geo-tourism) 프로그램 개발

대구가톨릭대학교 스트로마톨라이트가 위치한 하양읍 일원은 국내 최대 규모의 중생대 스트로마톨라이트 분포 지역이다. 따라서, 대구가톨릭대학교 스트로마톨라이트를 중심으로 한 스트로마톨라이트 연계 관광 상품(프로그램)의 개발이 중요하다. 특히, 자동차가 아닌 길을 따라 지질유산을 탐방하는 ‘지질관광(Geo-tourism)’ 개념의 ‘지오 트레일(Geo-trail)’ 혹은 ‘지오 루트(Geo-route)’와 같은 경산시만의 특화된 지질유산 관광프로그램이 개발된다면 지역사회 홍보와 경제 활성화에 큰 도움이 될 것이다. 따라서 <표 3>과 같은 ‘지오 트레일

표 3 대구가톨릭대학교 스트로마톨라이트 연계 개발 가능한 지질관광 (Geo-tourism) 코스

trail/route 명칭	Geo-trail/Geo-route 코스
백악기 스트로마톨라이트 트레일	
중생대 지질유산 트레일	

(Geo-trail) 혹은 ‘지오 루트(Geo-route)’를 생각해 볼 수 있다. 첫 번째 코스인 <백악기 스트로마톨라이트 트레일>은 천연기념물인 대구가톨릭대학교 스트로마톨라이트에서 시작하여 경상북도 기념물로 지정된 은호리 스트로마톨라이트를 거쳐 남하리 스트로마톨라이트를 연결하는 단거리 코스이다. 참가자들은 천연기념물 스트로마톨라이트 전시관에서 관련 전문가의 설명과 교육을 받은 후 전문 해설사와 함께 코스를 답사한다. 두 번째 코스는 장거리 코스로 경산시에 산재하고 있는 중생대 지질명소를 연결한 <중생대 지질유산 트레일>이다. 경산 관음휴게소에 집결하여 코스에 대한 설명과 경산시의 지질과 지질유산에 대한 간단한 교육 후, 갯바위를 거쳐 스트로마톨라이트 트레일을 지나 ‘맥반석 동굴’로 유명한 성굴사 동굴법당에서 안산암질 반암을 관찰하고 평산동 코발트광산을 답사하는 코스이다.

4) 지역사회 연계 도시 브랜드 개발

경산시가 보유한 중생대 스트로마톨라이트 화석 산지는 국내외 다른 도시에서는 찾아보기 힘든 매력적인 지질유산이다. 따라서 이것을 도시 브랜드로 활용한다면 경산시를 국제적으로 홍보할 수 있는 콘텐츠가 될 수 있다. 경남 고성의 <공룡 도시, 고성> 브랜드와 경기도 연천의 <선사시대의 도시, 연천> 브랜드, 그리고 <신라 천년의 고도, 경주> 브랜드가 대표적인 사례이다. 이들 지역의 공통점은 그 지역만이 가진 특색 있

는 유산의 차별화된 브랜드와 관련 상품 개발을 통해 유명한 관광 도시로 거듭났다는 것이다. 이러한 도시 브랜드 개발의 성공을 위해서는 지역사회와의 공감대 형성과 지역에 산재해 있는 문화유산 및 지역축제 등과 연계가 중요하다. 경산시만이 가진 특별하고 매력적인 지질유산을 적극 활용하여 도시 브랜드를 갖춘다면 국제적 관광도시로 발돋움하는 데 많은 도움이 될 것으로 판단된다.

VII. 결론

1. 지정면적(762m²) 중 지정당시 노출되어 있던 대형 반구형 스트로마톨라이트(약 30m²)를 중심으로 주변지역 1,186m²를 발굴한 결과, 기존 스트로마톨라이트의 층준을 따라 전제 면적에 걸쳐 연속적으로 분포하고 있는 것이 확인되었다.
2. 반구형 스트로마톨라이트는 기존 확인된 스트로마톨라이트의 동쪽 지역에 우세하게 분포하고 서쪽 지역으로 갈수록 반구형 돔의 분포와 크기가 작아진다. 반면, 판상형 스트로마톨라이트는 동쪽 지역에서는 관찰되지 않고 서쪽 지역에서만 관찰되는데 이러한 분포는 규모가 있는 호수에서 장기간 성장한 결과로 해석된다.
3. 추가 발굴된 스트로마톨라이트의 풍화 상태는 기존 확인된 스트로마톨라이트에 비해 상당히 좋은 편이나 전체적으로 소규모의 단층과 절리 및 방해석 세맥이 많이 발달해 있어 향후 풍화 발생 시 큰 위험 인자로 작용할 것으로 판단된다. 다만, 자연 상태에서의 적당한 풍화는 스트로마톨라이트의 시각적 매력도를 높이기 때문에 적정 기간(2~3년) 동안 현 상태로 두었다가 보존관리를 하는 것도 고려할 수 있다.
4. 스트로마톨라이트를 덮고 있던 흑색 세일은 XRD 분석 결과, 석영, 장석과 더불어 많은 양의 방해석으로 구성되어 있으며, 일라이트(illite)와 스멕타이트(smectite) 같은 점토광물도 함유하고 있다. 일반적인



세일층에 비해 점토광물의 함량이 높는데 이런 특징은 세일층이 강수나 지표수에 대해 효과적인 불투수층 역할을 하여 스트로마톨라이트를 풍화로부터 효과적으로 보호했음을 지시한다.

5. 천연기념물 「경산 대구가톨릭대학교 백악기 스트로마톨라이트」는 모든 스트로마톨라이트가 가진 근본적인 학술적 가치 외에도 육성 스트로마톨라이트의 성장과 형성의 과정을 잘 보여주며, 파편적 규모가 아닌 큰 규모로 산출되고 있고 중생대 스트로마톨라이트 형성 초기의 모습을 그대로 간직하고 있는 점 등은 자연유산으로서의 지속가능성, 학술적·경관적 대표성 및 형태적 다양성과 접근성 측면에서 높은 가치를 보유하고 있다.

6. 스트로마톨라이트는 탄산염 성분을 많이 포함하고 있는 생퇴적구조(organo-sedimentary structure)이기 때문에 풍화로부터 보호하고 보존·활용하기 위해서는 상시 모니터링, 전시, 교육, 연구 기능이 결합된 폐쇄형 보존관리 시설의 설치가 필요하다.

7. 천연기념물 「경산 대구가톨릭대학교 백악기 스트로마톨라이트」가 가진 가치를 전달하기 위해서는 지역사회(Local community)와 함께하고, 전시(Exhibit) 및 지질관광(Geo-tourism)과 연계되는 「LEG 교육 프로그램」 개발을 제안한다. LEG 프로그램의 성공을 위해서는 지역이나 대학 내 스트로마톨라이트를 교육할 수 있는 교육전문가 양성이 반드시 병행되어야 한다.

8. 대구가톨릭대학 스트로마톨라이트 연계 개발 가능한 지질관광(geo-tourism) 코스로 〈백악기 스트로마톨라이트 트레일〉과 〈중생대 지질유산 트레일〉을 제안한다. 〈백악기 스트로마톨라이트 트레일〉은 ‘대구가

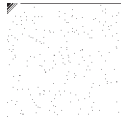
톨릭대학교-은호리-남하리 스트로마톨라이트’를 잇는 단거리 코스이며, 〈중생대 지질유산 트레일〉은 ‘갯바위-백악기 스트로마톨라이트 트레일-성굴사 맥반석 동굴-평산동 코발트광산’을 답사하는 장거리 코스이다. 또한, 스트로마톨라이트를 활용하여 경산시만이 가진 차별화된 도시 브랜드 개발이 필요하다.

9. 이번 발굴로 스트로마톨라이트의 분포, 규모 및 가치는 기존 천연기념물의 지정 당시보다 훨씬 더 크고 높아졌다는 것이 확인되었다. 따라서 매장문화재(석실묘)의 발견으로 발굴하지 못한 지역의 추가 발굴과 천연기념물의 확대지정에 대한 재검토가 요구된다.*

* 이 연구를 위해 현지 조사에서 많은 도움을 준 가온문화재연구원의 정상석 원장, 경북대학교 김영규 교수, 경상국립대학교의 이봉진 박사 및 장호진, 장소영, 이재우, 김성우 연구원께 감사드리며, 논문의 심사과정에서 세심한 검토와 지적으로 논문의 질을 높여주신 심사위원님께 감사드립니다. 또한, 이 연구를 수행할 수 있도록 지원해 주신 문화재청, 경상북도, 경산시 및 경북문화재단 문화재연구원 관계자께도 깊은 감사를 드립니다. 이 연구는 문화재청과 경산시의 「천연기념물 경산 대구가톨릭대학교 백악기 스트로마톨라이트 발굴 및 보존·관리방안 수립 연구」에 의해 수행되었고 보고서에 수록된 내용을 바탕으로 논문이 작성되었다.

참고문헌

- 강희철 · 백인성, 2013, 「경상분지 지층들의 지질시대에 관한 고찰」, 『지질학회지』 49(1), pp.17~29.
- 공달용 · 이성주, 2009, 「천연기념물 제413호 영월 문곡리 스트로마톨라이트에 대한 고찰」, 『지질학회지』 45(6), pp.711~723.
- 공주대학교 산학협력단, 2018, 『천연기념물 제512호 스트로마톨라이트의 손상도 평가 및 비파괴 정밀진단 학술용역 연구보고서』, p.173.
- 김보영, 2004, 「대구광역시 신천하상의 백악기 반야월층에서 산출되는 공룡발자국」, 『경북대학교 교육석사 학위논문』, p.53.
- 김영기, 1976, 「반야월층의 지하수운동에 관한 연구」, 『광상지질』 9, pp.225~240.
- 김찬수 · 박계현 · 백인성, 2005, 「백악기 신라역암 내 화산암력의 $40\text{Ar}/39\text{Ar}$ 연대 및 하양층군의 퇴적시기에 대한 고찰」, 『암석학회지』 14(1), pp.38~44.
- 박정규, 2021, 「경북 경산시 하양읍에 분포하는 백악기 함안층과 반야월층의 생흔화석층: 산상, 생흔화석상 및 고환경적 의미」, 『부경대학교 이학석사 학위논문』, p.60.
- 백인성 · 김현주 · 박정규 · 김영석, 2023, 「경상분지 남부의 밀양소분지 호성퇴적층: 산상과 층서적 변화 및 고환경적 의미」, 『지질학회지』 59(1), pp.131~157.
- 이광춘, 1992, 「백악기 경상분지 내 반야월층, 화산층 및 신양동층에서 산출되는 스트로마톨라이트와 탄사염암의 속성작용」, 『고려대학교 이학박사 학위논문』, p.124.
- 윤성호, 1998, 「유천화산암 분포지 북부 백악기 채약산화산암의 암석화학 및 스트론튬 동위원소비 조성」, 『지질학회지』 34(3), pp.161~171.
- 이봉진, 2007, 「경상북도 하양지역의 반야월층에서 산출되는 스트로마톨라이트」, 『경북대학교 이학석사 학위논문』, p.53.
- 이성주 · 공달용, 2004, 「경상남도 남해지역에서의 진주층에 분포하는 막대기형 스트로마톨라이트」, 『지질학회지』 40(1), pp.13~26.
- 이성주 · 김정률 · 이광춘, 2003, 「한국 소정도의 선캄브리아 지층에 나타나는 박테리아 화석」, 『지질학회지』 39(2), pp.171~182.
- 좌용주 · 이용일, Yuji Orihashi, 2004, 「구산동 응회암과 진동 화강암에서 산출되는 저콘에 대한 U-Pb 연대와 진동층 퇴적시기에 대한 고찰」, 『대한지질학회 추계학술발표회 초록집』, p.73.
- 한승희, 2017, 「경산 스트로마톨라이트의 보존과 활용방안」, 『한국지역지리학회지』 23(2), pp.366~375.
- Blatt, H., Middleton, G. and Murray, R., 1980, Origin of sedimentary rocks(2nd ed.), Englewood Cliffs, Prentice-Hall, pp.245~246.
- Brasier, M.D., Green, O.R. Jephcoat, A.P., Kleppe, A.K., Van Kranendonk, M.J., Lindsay, J.F., Steele, A. and Grassineau, N.V., 2002, Questioning the evidence for Earth's oldest fossils. *Nature*, 416, pp.76~81.
- Chang, K.H., 1975, Cretaceous stratigraphy of southeast Korea. *Journal of Geological Society of Korea*, 11, pp.1~23.
- Escapa, I. and Leslie, A., 2017, A new Cheirolepidiaceae(Coniferales) from the Early Jurassic of Patagonia(Argentina): Reconciling the records of impression and premineralized fossils, *American Journal of Botany*, 104, pp.322~334.
- Golubic, S., 1976, Organisms that build stromatolites. In: Walter, M.R.(ed), Stromatolites, *Elsevier*, Amsterdam, pp.113~148.
- Grotzinger, J.P. and Knoll, A.H., 1999, Stromatolites in precambrian carbonates. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 27, pp.313~358.
- Hoffman, P., 1976, Stromatolite morphogenesis in Shark Bay, Western Australia. In: Walter, M.R.(ed.), Stromatolites, *Elsevier*, Amsterdam, pp.261~271.
- Hofmann, H.J., 1976, Stromatoid morphometrics. In: Walter(ed.), Stromatolites, *Elsevier*, Amsterdam, pp.45~54.
- Jwa, Y.J., Lee, Y.L. and Orhashi, Y., 2009, Eruption age of the Kusandong Tuff in the Cretaceous Gyeongsang Basin, Korea. *Geosciences Journal* 13(3), pp.265~273
- Kong, D.Y. and Lee, S.J., 2014, Significance of "Pre-study Post-designation" strategy in natural monument designation system: with special reference to geologic heritage, *Journal of Korean Earth Science Society* 35(5), pp.324~332.
- Kong, D.Y. and Lee, S.J., 2013, Possibility for Heliotropism from Inclined Columns of Stromatolites, Socheong Island, Korea, *Journal of Korean Earth Science Society* 34(5), pp.381~392.
- Lee, K.C., Woo, K.S., Paik, K.H. and Choi, S.J., 1991, Depositional environments and diagenetic history of the Panyawoel,



참고문헌

- and Shinyangdong formations, Kywongsang Supergroup, Korea—with emphasis on carbonate rocks, *Journal of the Geological Society of Korea* 27, pp.471~492.
- Lee, Y.N., 2003, Dinosaur bones and eggs in South Korea. *Memoir of the Fukui Prefectural Dinosaur Museum*, 2, pp.113~121.
 - Nehza, O., Woo, K.S. and Lee, K.C., 2009, Combined textural and stable isotopic data as proxies for the mid-Cretaceous paleoclimate: a case study of lacustrine stromatolites in the Gyeongsang Basin, SE Korea, *Sedimentary Geology*, 214, pp.85~99.
 - Park, J.G., Paik, I.S. and Kim, H.J., 2017, A Preliminary study on the occurrences and paleoenvironments of ichnofacies in the Daegu and the Banyawol formations, Gyeongsan city, 2017 Annual Fall Joint Conference of the Geological Sciences(Abstracts), Jeju, October 25–28, p.423(in Korean).
 - Schof, 1993, Microfossils of the Early Archean Apex Chert—new evidence of the antiquity of life. *Science*, 260, pp.640~646.
 - Semikhatov, M.A., Gebelein, G.D., Cloud, P., Awramik, S.M. and Benmore, W.C., 1979, Stromatolite morphogenesis—progress and problems. *Canadian Journal of Earth Science*, 16, pp.992~1015.
 - Seong-Joo, L., Browne, K. and Golubic, S., 2000, On stromatolite lamination. In: Riding, R. and Awramik, A.(eds.), *Microbial Sediments*. Springer-Verlag, Berlin, pp.16~24.
 - Tateiwa, I., 1929, Geological Atlas of Chosen, Waegwan, Daegu, Yeongcheon, Gyeongju and Joyang Sheets, *Geological Survey of Chosen*.
 - 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, *KIER Bulletin*, 36, p.124.(in Korean).

Natural Monument Cretaceous Stromatolite at the Daegu Catholic University, Gyeongsan: Occurrences, Natural Heritage Values, and Plan for Preservation and Utilization

KONG Dal-Yong* Senior Researcher, National Research Institute of Maritime Cultural Heritage, Cultural Heritage Administration
LEE Seong-Joo Professor, School of Earth System Science, Kyungpook National University

*Corresponding Author: kong.dalyong@daum.net

Abstract

Stromatolite at the Daegu Catholic University, Gyeongsan was designated as a natural monument in December 2009 because it was very excellent in terms of rarity, accessibility, preservation and scale. From the time of designation, the necessity of confirming the lateral extension of the stromatolite beds with the excavation of the surrounding area, and preparing a preservation plan was raised. Accordingly, the Cultural Heritage Administration conducted an investigation of the scale, production pattern, and weathering state of stromatolites with an excavation from April to December 2022, and based on this, suggested natural heritage values and conservation and use plans. The excavation was carried out in a 1,186m² area surrounding the exposed hemispherical stromatolite (approximately 30m²). Stromatolites are continuously distributed over the entire excavation area, and hemispherical stromatolites predominate in the eastern region, and the distribution and size of hemispherical domes tend to decrease toward the west. These characteristics are interpreted as a result of long-term growth in large-scale lakes, where stratiform or small columnar domes continued to grow and connect with each other, finally forming large domes. Consequently, large and small domes were distributed on the bedding plane in clusters like coral reefs. The growth of plants and lichens, as well as small-scale faults and joints developed on the stromatolite bedding surface, is the main cause of accelerated weathering. However, preservation treatment with chemicals as with dinosaur footprints or dinosaur egg fossil sites is not suitable due to the characteristics of stromatolites, and preservation with the installation of closed protection facilities should be considered. This excavation confirmed that the distribution, size and value of stromatolites are much larger and higher than at the time of designation as a natural monument. Therefore, additional excavation of areas by experts that could not be excavated due to the discovery of buried cultural properties (stone chamber tombs) and reexamination of the expansion designation of natural monuments are required.

Keywords Natural Monument, Stromatolite, Cretaceous, Gyeongsan, Daegu Catholic University

Received 2023. 6. 6. | Revised 2023. 7. 31. | Accepted 2023. 8. 18.

