



Short Note

## 경상분지의 영양소분지 동화치층 석화목에서 발견된 흰개미 천공: 산상 및 고환경적 의미

백인성<sup>1,\*</sup>, 김현주<sup>2</sup>, 오창환<sup>3</sup>

<sup>1</sup>국립부경대학교 지구환경시스템과학부 환경지질과학전공

<sup>2</sup>국립부경대학교 활성단층 및 지진재해저감연구소

<sup>3</sup>경상북도 김천시 용전 3로 10

### Termite borings in the petrified wood from the Donghwachi Formation, Cretaceous Yeongyang Sub-basin of the Gyeongsang Basin, Korea: Occurrences and paleoenvironmental implications

In Sung Paik<sup>1,\*</sup>, Hyun Joo Kim<sup>2</sup>, Changhwan Oh<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Major of Environmental Geosciences, Division of Earth and Environmental System Sciences, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea

<sup>2</sup>Active Fault & Earthquake Mitigation Institute, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea

<sup>3</sup>10 Yongjeon 3-ro, Gimcheon 39660, Gyeongsangbuk-do, Republic of Korea

Received: January 5, 2025 / Revised: January 22, 2025 / Accepted: January 31, 2025

\*Corresponding author: E-mail: paikis@pknu.ac.kr

**요약:** 경상북도 안동시 위리 부근의 백악기 나무화석 산지에 보존된 마른나무 흰개미의 천공 생흔화석을 대상으로, 그 산상을 기술하고 고환경적 의미를 고찰하였다. 이 화석산지는 경상분지 영양소분지의 동화치층이 분포한 지역으로, 전반적으로 충적평원에서 퇴적산물인 판상으로 발달된 사암과 이암, 셰일 등으로 이루어져 있다. 이 퇴적층 상부에 넓게 발달한 응회질 세립사암층의 성층면에서 다양한 산상의 나무화석이 산출되며, 이들 나무화석 중 성층면에 누워있는 상태로 산출된 최대 폭 3 m 이상, 길이 6 m 이상 크기를 가지는 겉씨식물의 나무줄기 화석 표면에서 마른나무 흰개미에 의한 천공 생흔화석이 관찰되었다. 천공부의 내부는 마른나무 흰개미의 배설물인 대체로 조립모래 크기의 나무 파편들이 빼곡히 채워져 있다. 이 나무파편 배설물들의 형태는 전반적으로 6각형이 주를 이루나, 타원 또는 아원형의 형태도 나타난다. 위리 화석산지의 마른나무 흰개미 배설물 기록은 백악기 흰개미 생흔화석으로는 국내에서 처음이며, 아시아 지역에서는 세 번째로 보고되는 사례이다. 위리 화석산지의 마른나무 흰개미 서식흔적은 경상분지 남부는 물론 북부지역까지 건조기후가 전반적으로 지배하였음을 뒷받침하는 것이며, 백악기 당시 식물-곤충 간의 육성생태환경시스템 이해에 새로운 기초자료를 제공한다.

**주요어:** 위리 나무화석산지, 동화치층, 마른나무 흰개미, 천공 생흔화석, 건조기후

**ABSTRACT:** The occurrences of borings by drywood termites on Cretaceous petrified wood at Wiri fossil wood site, in which Donghwachi Formation in Yeongyang Sub-basin of the Gyeongsang Basin is distributed, are described, and their paleoenvironmental implications are discussed. Alluvial plain deposits consisting of planar-bedded sandstones, mudstones, and shales generally occur in this fossil site. On the widely exposed bedding surface of tuffaceous fine-grained sandstone in the upper part of this deposit, fossil woods occur in various features. Borings by drywood termites were found on the petrified gymnosperm stem (over 3 m wide and over 6 m long) on the bedding surface. The borings are filled with coprolites in coarse-grained sand size, and the feces are hexagonal to subhexagonal and subcylindrical to elongated in cross-sections. This finding is the first discovery of fossil termite traces in Korea, and the third in Asia. The fossil trace of termites in the Wiri fossil wood site supports that arid paleoclimatic condition prevailed in the northern part of the Gyeongsang Basin as well as in the southern part. In addition, this finding provides basic information with the understanding of the Cretaceous terrestrial ecosystem by plant-insect interaction.

**Key words:** Wiri fossil wood site, Donghwachi Formation, drywood termites, boring traces, arid paleoclimatic condition

## 1. 서언

한반도 동남부 일대에 광역적으로 발달한 5천만 년 이상의 오랜 발달 기간을 가진 백악기 경상분지는 한반도에 분포한 지질시대 육성 퇴적분지 중 공간적인 분포와 두께 및 시간적인 규모가 가장 큰 퇴적분지로(Kee *et al.*, 2019), 한반도의 지질발달사를 이해하는 데에 매우 중요한 지질학적 연구 대상이다. 따라서 Koto (1903)와 Tateiwa (1929)에 의해 경상분지의 시공간적 실체가 확인되고, 이후 Chang (1975, 1977)에 의해 암층서가 체계화된 이래, 경상분지의 퇴적지질학적 특성에 대한 연구는 다각적인 측면에서 진행이 되어, 큰 틀에서의 경상분지의 퇴적지질학적 발달과정 에 대한 일반적인 이해가 이루어진 상태이다.

한편, 경상분지의 지구구조와 고환경에 대한 이해는 여러 측면에서의 연구가 진행이 되면서, 경상분지에 대한 포괄적인 이해에 많은 발전이 이루어지고 있다(Um *et al.*, 1983; Chough and Sohn, 2010; Cheon *et al.*, 2020; Choi *et al.*, 2020; Lee *et al.*, 2023; Paik *et al.*, 2023, 2024, etc.). 이와 함께 경상누층군 지층으로부터 다양한 종류의 화석들이 새롭게 발견되고 연구되어, 경상분지의 고생태 이해에도 큰 발전이 이루어지고 있다.

이와 같은 경상누층군에 대한 여러 연구자들의 다각적인 노력에 의하여 중생대 백악기 당시 한반도의 고환경과 고생태 등에 대한 전반적인 윤곽이 어느 정도는 밝혀져 있으나, 경상분지의 보다 세밀한 고환경 특성과 이의 시공간적 변화과정을 심층적으로 이해하고, 이를 토대로 한 백악

기 한반도 고환경의 입체적인 복원과 백악기 지질발달사의 세밀한 규명을 위해서는 새로이 조사되고 연구되어야 할 여러 지층과 다수의 지질 및 고생물 기록들이 연구자들의 끊임없는 도전을 기다리고 있다.

이 연구의 대상인 영양소분지는 경상분지의 다른 소분지와 비교하여 층서와 고생태, 고환경 등에 대한 연구가 상대적으로 부족한 실정이며, 특히 이 연구의 주제인 무척추동물 생흔화석 관련 연구는 전무한 상태이다. 이러한 맥락에서 이 단보에서는 백악기 당시 식물-곤충 간의 육성생태 환경 이해에 새로운 자료가 되는 백악기 흰개미 배설물 기록을 영양소분지의 동화치층으로부터 국내에서는 처음임은 물론, 아시아 지역에서는 세 번째로 보고한다. 이 단보의 목적은 이 흰개미 생흔 기록의 산상에 대한 기초 자료를 공유하여, 앞으로 후속연구자에 의한 보다 전문화된 연구의 진행에 기초자료를 제공하는 것이다. 따라서 이 기록이 산출된 화석산지의 전반적인 고식물학적 산상 및 흰개미 생흔의 고생태 특성 등에 관한 분석과 논의는 앞으로의 발전된 연구를 바탕으로 구체화 될 수 있을 것이다.

## 2. 산상

이 연구의 대상인 안동 위리 화석산지는 경상분지의 북부지역에 분포한 영양소분지 내에 위치한다. 영양소분지는 근래에 Kang *et al.* (2021)의 연구에 의해 단순한 향심형 기하를 가지는 단일분지가 아닌 공간적으로 구조적 특징이 다른 여러 개의 구조구역으로 나누어져 진화한 것으로 해

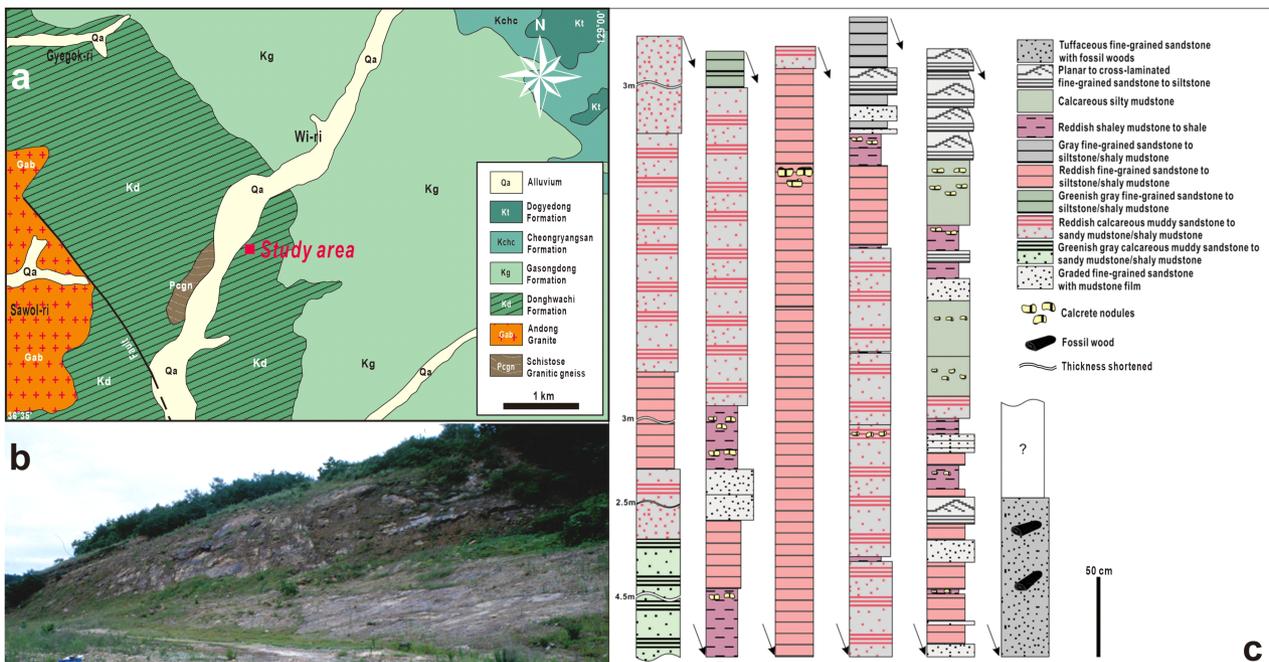


Fig. 1. Geological map (a), overview (b), and stratigraphic sections (c) of study area.

석되었다. 층서적으로도 영양소분지에는 밀양소분지 및 의성소분지와는 달리, 경상누층군 하부 층군인 신동층군이 매우 제한적으로 발달함이 특징이다. 영양소분지 내의 신동층군 지층은 영양소분지의 북동측인 영덕 지역에 분포한 경정동층을 제외하고는 대부분 지역이 중부 층군인 하양층군 지층으로 구성되어 있다(Um *et al.*, 1983; Chang, 1988). 위리 화석산지는 영양소분지의 최하부 지층인 울런산층 위에 놓인 동화치층이 분포하는 지역이다(Kim *et al.*, 1970) (그림 1a).

동화치층은 역암과 사암, 이질암 등으로 구성되어 있으며, 이질암은 흔히 붉은색을 띤다. Kong *et al.* (2020)은 동화치층에 대한 퇴적상 분석 연구를 바탕으로, 동화치층이 간헐적으로 화산쇄설물이 공급되던 층적선상지 또는 선상지 평원과 역질 및 사질의 망상하천에서 범람원으로 전이하는 퇴적환경에서 퇴적된 것으로 해석하였다.

위리 화석산지는 위리마을로 진입하는 935번 지방도의 동측에 넓은 절토지로 노출되어 있으며(그림 1b), 2004년 12월 6일 경상북도 기념물 제150호 안동 위리의 나무화석으로 지정되었다. 이후 2021년 11월 19일 문화재청(현 국가유산청) 고시에 의해 문화재 지정번호가 폐지되어 경상북도 기념물로 재지정되었으며, 2024년 5월 17일 자연유산의 보존 및 활용에 관한 법률이 시행됨에 따라 경상북도 자연유산으로 변경되었다. 이 화석산지에는 동화치층 퇴적층의 퇴적단면과 성층면이 넓게 노출되어 있어(그림 1b), 화석산출의 산상이 입체적으로 관찰될 수 있다. 그러나 오랜 노출 과정에 의해 풍화와 침식이 진행되어, 현재는 퇴적층과 산출화석의 보존상태가 좋지 않은 상태이다.

이 화석산지의 퇴적층은 대체로 판상으로 발달한 사암과 이암, 셰일 등으로 이루어져 있고, 붉은색 퇴적층과 녹색 퇴적층이 교호되어 있다(그림 1c). 사암은 대체로 세립 사암이 주를 이루며, 내부에서는 부분적으로 판상 내지 사엽층리가 관찰된다. 이와 함께 사암에서 이암으로 접이되는 산상이 흔히 나타나며, 이암층에서는 건열의 발달이 일반적이다. 이암층의 경우 대체로 석회질을 띠며, 캘크리트 단괴의 수반이 일반적이다. 한편, 무척추동물의 생흔화석이 사암층과 이암층 모두에서 간헐적으로 관찰된다. 이들 퇴적층은 전반적으로 층적평원에서의 퇴적층으로 해석된다.

이 화석산지에 노출된 퇴적층 상부에 발달한 1 m 정도 두께의 응회질 세립사암층에 나무화석이 집중적으로 산출한다. 위리 화석산지에는 이 나무화석층의 성층면이 넓게 노출되어 있어 나무화석의 산상이 비교적 입체적으로 관찰된다. 나무화석들은 전반적으로 구화되어 있으며, 위리 나무화석에서는 구과류(conifers)인 남양삼나무(*Agathoxylon byeongpungense*)가 보고되었다(Oh *et al.*, 2011). 이들 나무화석은 대체로 흑색을 띠고, 일반적으로 길이는 수 십

cm에서 수 m, 폭은 수 cm에서 20 cm 내외에 이르기까지 다양하게 나타난다. 이들 나무화석은 전반적으로 성층면에 누워있는 상태로 산출하며, 수 m 크기의 괴상에서부터, 다짐작용에 의해 판상으로 압축된 긴 나무줄기, 갈라진 가지가 달린 나뭇가지, 작은 원통형의 나뭇가지, 작은 나뭇가지 조각 등 다양한 산상으로 나타난다(그림 2). 대체로 나무화석들은 성층면에서 일정한 방향성을 보이지 않고 산재되어 나타나나, 일부 화석에서는 부분적으로 방향성을 보인다(그림 2c, 2d). 이와 함께 가는 잔가지 조각들의 형상이 인상으로만 보존된 상태로 무더기를 이루며 밀집된 산상이 관찰된다(그림 2e, 2f, 2g, 2h).

이들 나무화석 중 성층면에 누워있는 상태로 산출된 최대 폭 3 m 이상, 길이 6 m 이상 크기를 가지는 판상형의 나무줄기 화석(그림 3a)의 표면에서 곤충에 의한 천공 생흔이 관찰되었다. 천공의 흔적은 전반적으로 흑색의 치밀한 조직을 보이는 나무화석의 노출된 표면에서 상대적으로 밝은 색을 띠는 사립 조직부의 발달에 의해 야외에서 확인된다(그림 3b, 3c). 이러한 천공 생흔은 위리 화석산지에서 산출된 대부분의 나무화석에서 나타나는 것이 아니며, 특정 나무화석에만 관찰되었다.

이 나무화석에 발달된 천공 생흔은 표면 전체에 나타나는 것은 아니며, 나무줄기의 하부에 집중되어 있고, 상부로 가면서 천공 생흔이 줄어들며 사라지는 양상을 보인다. 천공 생흔은 주로 나무줄기의 장축에 대체로 평행한 방향을 띠며 갤러리(gallery) 형태로 발달되어 있으며, 수 개의 갤러리가 수 cm의 간격으로 나란히 발달된 양상을 보인다(그림 3b~f). 또한 나무줄기에 평행한 갤러리에서 횡방향으로 갈라지는 천공 양상이 부분적으로 나타난다(그림 3b~f).

단일 갤러리의 폭은 1 cm 내외에서 수 cm 내외를 보이며, 길이는 수 십 cm 이상 나타난다. 갤러리의 형태는 대체로 선형을 이루나, 부분적으로 불규칙적이다. 갤러리의 외곽면은 비교적 부드러운 경계로 보이나, 불규칙한 요철과 만입 등 다양한 경계 특성을 보이며, 일부에서는 고리 형태의 갤러리도 나타난다(그림 3b~f). 천공이 발달된 표본들의 평면에서의 대략적인 천공 비율은 적게는 20% 내외에서 크게는 50% 내외 정도까지 이르며, 대체로 30 내지 40% 정도를 보인다.

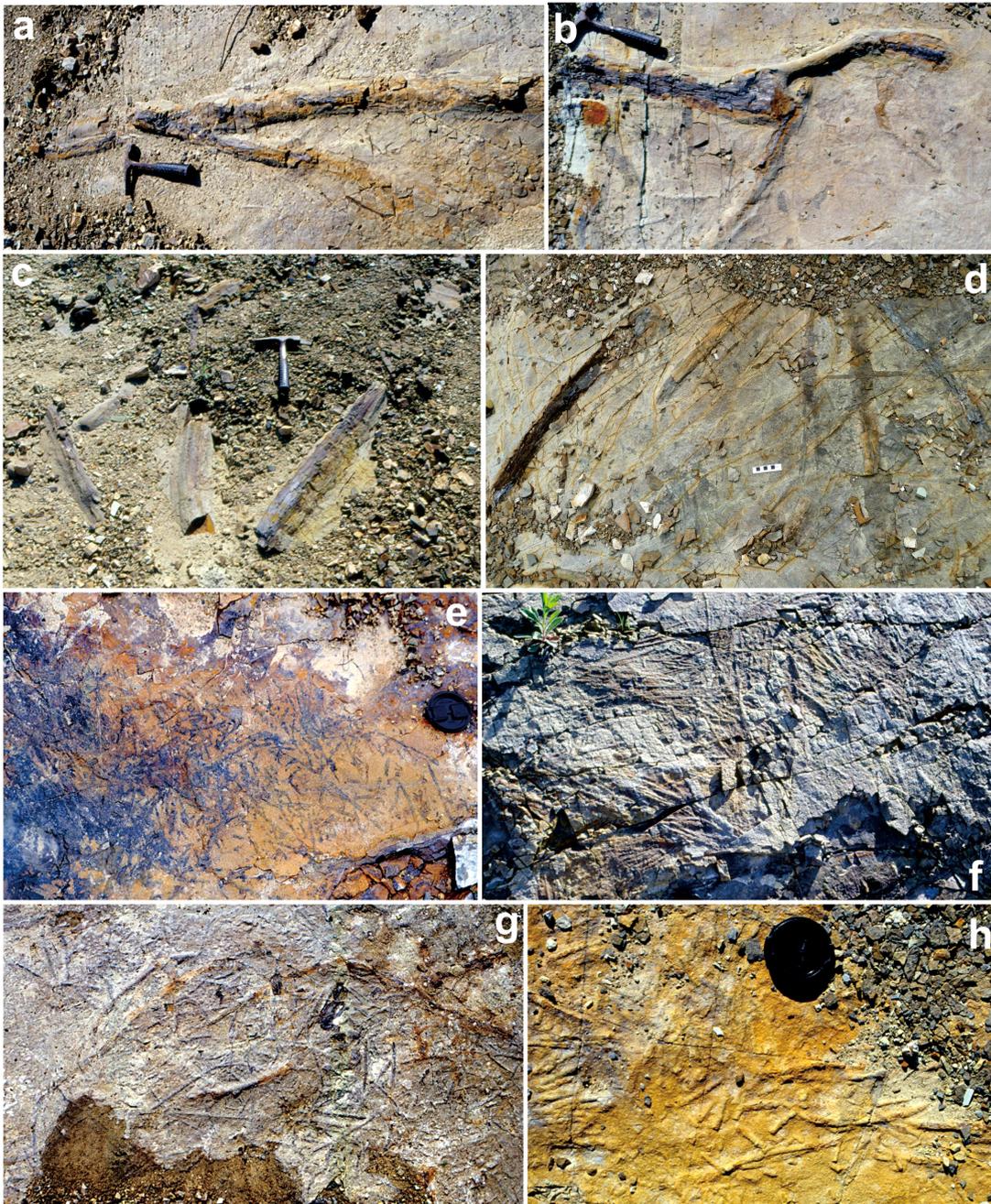
이들 천공부의 내부에는 대체로 조립모래 크기의 나무 파편 배설물들이 빼곡히 채워져 있다(그림 4). 일부 파편들의 내부에서는 나무의 조직이 잘 나타난다(그림 4f). 이 배설물들의 형태는 전반적으로 6각형이 주를 이루나, 면의 발달이 부드러운 경우, 타원 또는 원형의 형태도 나타난다(그림 4c, 4f). 배설물들의 경계는 점 내지 면 경계에서 비접촉의 경계가 일반적이며, 요철 경계는 나타나지 않는다(그림 4c, 4f).

한편, 천공 생흔이 발달된 나무화석 내부 조직의 경우, 횡단면상에서 방사방향으로 뻗어있는 가도관 및 방사계 일부가 확인되며, 방사단면에서는 드물게 가도관 방사벽공이 확인된다. 그러나 전반적으로 나무 조직의 보존상태가 불량하여 겉씨식물의 나무라는 정도로만 확인된다. 특히 겉씨식물 중에서 구과류일 것으로 보이나, 소철류, 원소철류, 또는 은행류의 가능성도 배제할 수는 없다. 우리 화석산지에서 감정된 나무화석이 구과식물인 남양삼나무(Oh *et al.*,

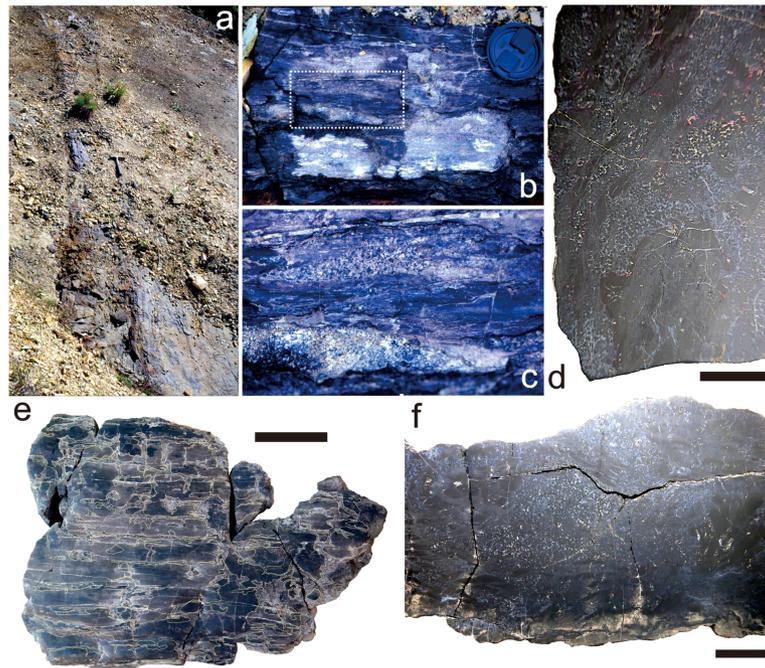
2011)임을 고려할 때, 이들 종류에 해당할 가능성이 높다.

### 3. 토의 및 결론

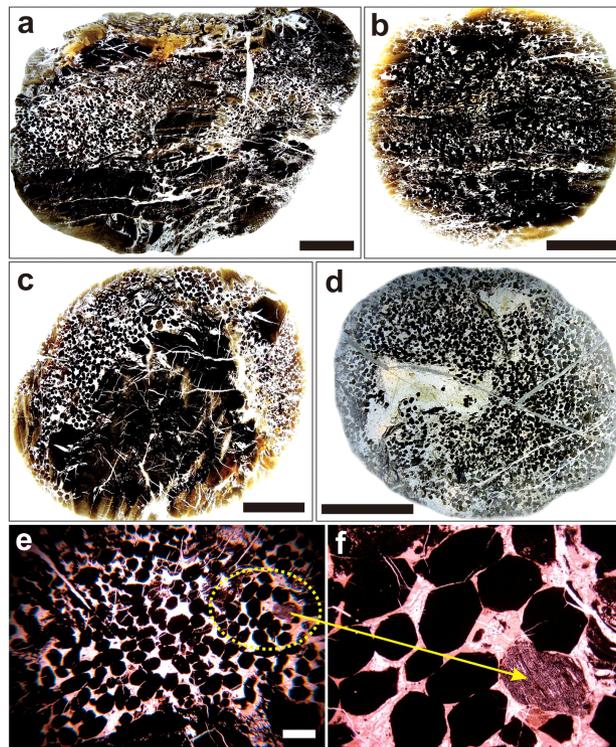
앞에서 설명한 우리 나무화석에 발달된 천공 흔적은 형태와 크기, 충전물 등의 특성으로 미루어 곤충 등 절지동물에 의한 것으로 여겨진다. 지질시대의 나무화석에서 절지동물에 의한 천공 흔적은 고생대에서 신생대에 이르기까지



**Fig. 2.** Occurrences of the fossil woods on bedding surface in study area. (a, b) Branched fossil woods. (c, d) Pieces of fossil wood showing partially subparallel orientation. (e, f, g, h) Aggregated fossil sprigs.



**Fig. 3.** Planar views of the petrified wood with termite borings. (a) General view of the petrified wood seen on the bedding surface, partly showing a trunk shape. (b) A petrified wood surface with internal borings filled with coprolites. (c) A closer view of the rectangled area in b. (d, e, f) Studied specimens showing various features of borings filled with coprolites. Dotted lines in 'e' are the boundaries of borings. (d: PKNU WDPT1, e: PKNU WDPT2, f: PKNU WDP3. The specimens are stored in the Paleoenvironmental Research Lab. of Pukyong National University). Scale bars in d and f are 2 cm and a scale bar in e is 10 cm.



**Fig. 4.** Thin-section photomicrographs of the coprolites filling the borings in petrified woods. The coprolites are usually semi-hexagonal to hexagonal in cross-section, and some are semicircular. Scale bars in a, b, c, and d are 1 cm. A scale bar in e is 2 mm and f is a closer view of the dotted ellipse in 'e'.

다양한 산상으로 보고된 바 있다(Scott *et al.*, 1992). 현생의 경우, 나무에 대한 천공은 갑충류, 흰개미, 개미, 말벌, 나방, 나비, 하루살이, 진드기 등 여러 곤충에 의해 나타나며, 이 중 갑충류와 흰개미가 가장 일반적인 것으로 알려져 있다(Eaton and Hale, 1993). 이와 같은 천공은 살아 있거나, 죽은 또는 부식된 나무 모두를 대상으로 한다.

우리 나무화석 천공을 만든 절지동물이 어떤 종류인지를 추정하는 데에는 천공 내부를 채운 나무파편 배설물의 형태와 크기, 조직 등의 특성으로부터 파악될 수 있다(Scott and Taylor, 1983; Dong *et al.*, 2022). 우리 나무화석의 천공부를 채운 배설물의 크기와 천공의 형태 등은 현생 마른나무 흰개미과(Kalotermitidae)와 큰흰개미과(Termopsidae)의 것들과 대체로 유사성을 띤다(Grimaldi and Engel, 2005). 단면 형태의 경우, 큰흰개미과의 것들이 타원형을 보이는 것에 비해, 마른나무 흰개미과의 것들은 전반적으로 육각형의 단면 특성을 띤다(Greppi *et al.*, 2023). 따라서 우리화석산지의 배설물은 마른나무 흰개미 종류에 가까움을 시사한다. 마른나무 흰개미는 전반적으로 건조기후 지역에서 죽은 나무를 영양분으로 삼아(saproxyllic) 서식하여 마른나무 흰개미(drywood termites)라는 이름이 붙여졌다. 즉 건조한 환경에서 비교적 수분을 유지할 수 있는 나무 안이 이 종류의 흰개미들이 서식하기에 적당한 공간이 되기 때문이다.

우리 나무화석에 발달된 천공 내부의 전반에 배설물들이 채워져 있으며, 배설물들의 접촉관계는 점 내지 면 경계, 또는 비접촉의 경계를 보인다. 나무가 서 있는 상태에서 천공이 이루어졌다면, 배설물들이 아래로 모이기 때문에 배설물들의 접촉관계는 전반적으로 면 경계를 이루게 될 것이다. 따라서 우리 나무화석에 발달된 천공은 나무가 서 있는 상태가 아닌 쓰러진, 즉 죽은 상태에서 흰개미들의 천공이 이루어졌을 것으로 해석된다. 한편, 천공 생흔이 이 쓰러진 나무의 줄기 아래 부분에 집중되어 있고, 위로 가면서 천공 생흔이 줄어들며 사라지는 특성은 흰개미들이 가능한 나무의 넓은 공간을 이용한 까닭으로 여겨진다. 이는 우리 화석산지에서 산출된 폭이 좁은 나뭇가지들에서는 천공 생흔이 나타나지 않는 특성에 의해서도 뒷받침된다. 위와 같은 우리 나무화석 천공의 산상, 즉 천공 흔적이 쓰러진 나무에서 제한적으로 관찰되는 점과 천공의 내부에만 흰개미의 배설물이 채워져 있는 특성은 이 나무가 백악기 당시 마른나무 흰개미의 서식 공간, 즉 둥지로 이용되었음을 시사하는 것이다.

한편, 우리 나무화석산지는 제한된 공간에 나무줄기와 크고 작은 나뭇가지들이 집단으로 쌓여 화석화된 특성을 보인다. 이와 함께 장축이 잘 발달된 나무줄기와 나뭇가지 화석들에 부분적인 방향성은 있으나, 전반적인 방향성은

나타나지 않는다. 이는 이 나무화석들이 나무의 생육 장소로부터 멀리 운반되어 쌓인 것이 아니라, 생육 장소 부근에서 쌓인 후 화석화되었음을 시사한다. 한편, 이 나무화석층의 암질이 응회질을 띤 우리 나무의 생육시기에 일어난 화산활동이 우리 나무화석층 발달과 관계가 있었음을 시사한다.

흰개미의 체화석은 전 세계적으로 매우 드물며 주로 파편상으로 산출된다(Francis and Harland, 2006; Pires and Sommer, 2009; Colin *et al.*, 2011; Engel *et al.*, 2011; Dong *et al.*, 2022). 흰개미 둥지 화석은 트리아스기부터 산출되나(Hasiotis, 2003), 배설물 화석으로 가장 오래된 것은 러시아의 쥐라기와 백악기 경계부 지층에서 보고되었다(Vršanský and Aristov, 2014). 나무를 천공하여 만들어진 배설물 화석으로는 브라질의 베리아절 지층에서 보고된 것이 가장 오래된 것이다(Pires and Sommer, 2009). 이 외에 백악기 지층의 나무화석에서 보고된 흰개미의 천공 또는 배설물 기록은 Rohr *et al.* (1986), Boucot (1990), Wheeler *et al.* (1994), Grimaldi and Engel (2005), Francis and Harland (2006), Jud *et al.* (2017), Dong *et al.* (2022), Greppi *et al.* (2023), Isaji (2023) 등에 의해 보고되었다.

이 중 아시아 지역에서의 산출은 중국 내몽고 백악기 지층(Dong *et al.*, 2022)과 일본 백악기 지층(Isaji, 2023)에서의 보고이다. 따라서 우리 화석산지가 백악기 흰개미 생흔 화석으로는 국내에서 처음임은 물론, 아시아 지역에서는 세 번째로 보고되는 사례이다. 그러나 내몽고 백악기 지층에서의 보고는 갈탄층에서 추출된 배설물 화석이며, 일본 백악기 지층에서의 보고 또한 배설물 개체들에 대한 보고이다. 따라서 나무를 직접적인 대상으로 하여 흰개미가 만든 천공과 이를 채운 배설물들이 함께 보존된 산상은 아시아 지역에서는 처음으로 보고되는 것이다. 한편, 내몽고 지층에서의 배설물 형태는 우리의 것들과 유사하게 육각형 내지 아육각형을 보이거나(Dong *et al.*, 2022), 일본 지층에서의 배설물 형태는 대체로 타원형을 보이며, 평균 크기 또한 상대적으로 작은 편이다(Isaji, 2023).

한편, 경상분지의 발달 초기에는 비교적 한랭하고 습윤한 기후였으나, 이후 점차 온난건조한 기후조건으로 변화한 것으로 해석되었다(Paik *et al.*, 2023). 특히 전기백악기의 후반부터는 산악효과에 의한 건조기후가 더욱 지배적인 것으로 해석되었다(Paik *et al.*, 2023). 이와 같은 해석의 배경에는 경상분지의 소분지 중 밀양소분지의 발달특성이 주 바탕이 되었다. 우리 화석산지는 경상분지의 고환경 측면 연구에서 다소 사각지대에 놓여 있는 영양소분지의 공간이다.

Oh *et al.* (2011)은 우리 화석산지를 비롯한 국내의 전기 백악기 후반 지층에서 *Agathoxylon* 나무(현생 남양삼나무에 대비: 남양삼나무는 현재 호주, 뉴질랜드 등 남반구에서

만 생육) 화석이 산출됨을 근거로, 전기백악기 후반에 한반도의 기후가 전반적으로 건조기후로 변화된 것으로 해석하였다. 따라서 우리 화석산지에서 건조기후 지역에 서식하는 마른나무 흰개미에 의한 천공이 발견된 것은 건조기후 조건이 경상분지 남부는 물론 북부지역까지 전반적으로 지배하였음을 뒷받침하는 것이다. 이러한 조건에서 국내의 여러 백악기 지층에 나무화석이 산출함에도 불구하고, 지금까지 이들 나무화석에서 흰개미의 서식기록이 확인되지 않은 점에 대해서는 앞으로 고기후와 고생태 등 고환경의 측면에서 보다 발전적인 연구가 필요한 것으로 여겨진다. 이와 함께 이 연구결과를 계기로, 국내 백악기 지층으로부터 이 천공기록을 남긴 곤충, 즉 흰개미 체화석의 발견 또한 이어지기를 기대해 본다.

### 감사의 글

이 연구의 진행 과정에서 야외와 실내 조사에 도움을 준 국립부경대학교 환경지질과학전공 지구고환경연구실의 구성원 모두에게 감사의 마음을 전한다. 이와 함께 이 단보 내용의 완성도 제고를 위해 건설적인 비평과 함께 유익한 도움말을 주신 두 분의 심사위원과 편집위원께도 감사의 말씀을 드린다.

### REFERENCES

- Boucot, A.J., 1990, Evolutionary Paleobiology of Behavior and Coevolution. Elsevier, New York, 750 p.
- Chang, K.H., 1975, Cretaceous stratigraphy of southeast Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 11, 1-23.
- Chang, K.H., 1977, Late Mesozoic stratigraphy, sedimentation and tectonics of southeastern Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 13, 76-90 (in Korean with English abstract).
- Chang, K.H., 1988, Cretaceous stratigraphy and paleocurrent analysis of Kyongsang Basin, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 24, 194-205.
- Cheon, Y., Ha, S., Lee, S. and Son, M., 2020, Tectonic evolution of the Cretaceous Gyeongsang Back-arc Basin, SE Korea: Transition from sinistral transtention to strike-slip kinematics. *Gondwana Research*, 83, 16-35.
- Choi, T., Lee, Y., Lim, H. and Orihashi, Y., 2020, Detrital zircon geochronology of the Cretaceous Sindong Group, Gyeongsang Basin, Korea and its implications for paleodrainage systems. *Episodes*, 43, 11-738.
- Chough, S.K. and Sohn, Y.K., 2010, Tectonic and sedimentary evolution of a Cretaceous continental arc-backarc system in the Korean peninsula: new view. *Earth-Science Reviews*, 101, 225-249.
- Colin, J.-P., Néraudeau, D., Nel, A. and Perrichot, V., 2011, Termites coprolites (Insecta: Isoptera) from the Cretaceous of western France: a palaeoecological insight. *Revue de micropaléontologie*, 54, 129-139.
- Dong, C., Shi, G.-L., Wang, Z.-X. and Huang, D.-Y., 2022, Termite coprolites (Blattodea: Isoptera) from the Early Cretaceous of eastern Inner Mongolia, Northeast China. *Palaeoentomology*, 5, 6-19.
- Eaton, R.A. and Hale, M.D.C., 1993, *Wood Decay, Pests and Protection*. Chapman and Hall, London, 546 p.
- Engel, M.S., Nel, A., Azar, D., Soriano, C., Tafforeau, P., Néraudeau, D., Colin, J.-P. and Perrichot, V., 2011, New, primitive termites (Isoptera) from Early Cretaceous ambers of France and Lebanon. *Palaeodiversity*, 4, 39-49.
- Francis, J.E. and Harland, M.B., 2006, Termite borings in Early Cretaceous fossil wood, Isle of Wight, UK. *Cretaceous Research*, 27, 773-777.
- Greppi, C.D., Massini, J.L.G., Rombola, C.F. and Pujana, R.R., 2023, Borings and coprolites of termites in fossil woods from the Lower Cretaceous (Kachaiké Formation) of Argentinean Patagonia. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 308, 104800, <https://doi.org/10.1016/j.revpalbo.2022.104800>.
- Grimaldi, D. and Engel, M.S., 2005, *Evolution of the Insects*. Cambridge University Press, New York, 755 p.
- Hasiotis, S.T., 2003, Complex ichnofossils of solitary and social soil organisms: understanding their evolution and roles in terrestrial paleoecosystems. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 192, 259-320.
- Isaji, S., 2023, Termite coprolites (Insecta: Isoptera) from the Lower Cretaceous Choshi Group, Central Japan. *Journal of the Natural History Museum and Institute, Chiba*, 16, 89-96 (in Japanese with English abstract).
- Jud, N.A., Wheeler, E.A., Rothwell, G.W. and Stockey, R.A., 2017, Angiosperm wood from the Upper Cretaceous (Coniacian) of British Columbia, Canada. *IAWA Journal*, 38, 141-161.
- Kang, H., Ha, S., Lee, S., Lim, H., Han, J.-W., Lim, H., Kim, G. and Son, M., 2021, Study on the deformation history of the Cretaceous Yeongyang Subbasin, Gyeongsang Basin, through Dip Analysis. 2024 Joint Fall Meeting of Korean Geological Societies (Abstracts), Jeju, October 26-28, 142 p (in Korean).
- Kee, W.-S., Kim, S.W., Kim, H., Hong, P., Kwon, C.W., Lee, H.-J., Cho, D.-L., Koh, H.J., Song, K.-Y., Byun, U.H., Jang, Y. and Lee, B.C., 2019, *Geologic Map of Korea (1:1,000,000)*. Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources.
- Kim, N.J., Kang, P.J. and Lee, H.G., 1970, Explanatory Text of the Geological map of Jungpyeongdong sheet (1:50,000). *Geological Survey of Korea*, 19 p (in Korean with English abstract).
- Kong, E.H., Lim, S. and Cheong, D., 2020, Stratigraphy and sedimentary facies of the Myogok Formation and the lower sequences in the Yeongyang Subbasin of the Cretaceous Gyeongsang Basin. *Journal of the Geological Society of Korea*, 56, 327-354 (in Korean with English abstract).
- Koto, B., 1903, An orographic sketch of Korea. *Journal of the College of Science, Imperial University, Tokyo*, 19-1, 1-16.
- Lee, Y.I., Lee, J.I. and Choi, Y.S., 2023, Provenance analysis of the Cretaceous Gyeongsang Basin, SE Korea: A synthesis and tectonic implications for active continental margin in East Asia. *Earth-Science Reviews*, 238, 104334.
- Oh, C., Kim, K., Paik, I.-S. and Lim, J.-D., 2011, Cretaceous conifer woods of Korea: Occurrences and palaeobiological implications. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 164, 67-83.

- Paik, I.S., Kim, H.J., Park, J.G. and Kim, Y.-S., 2023, Lacustrine deposits of the Miryang Sub-basin in the southern Gyeongsang Basin, Korea: Occurrences, stratigraphic changes, and paleo-environmental implications. *Journal of the Geological Society of Korea*, 59, 131-157 (in Korean with English abstract).
- Paik, I.S., Lee, Y.I. and Huh, M., 2024, Cretaceous snapshots on the dinosaur land. In: Lee, Y.I., Paik, I.S., and Cheong, D. (eds.), *Geotheme of Korea*. The Geological Society of Korea, 47-59.
- Pires, E.F. and Sommer, M.G., 2009, Plant-arthropod interaction in the Early Cretaceous (Berriasian) of the Araripe Basin, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 27, 50-59.
- Rohr, D.M., Boucot, A.J., Miller, J. and Abbot, M., 1986, Oldest termite nest from the Upper Cretaceous of West Texas. *Geology*, 14, 87-88.
- Scott, A.C., Stephenson, J. and Chaloner, W.G., 1992, Interaction and coevolution of plants and arthropods during the Paleozoic and Mesozoic. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B*, 335, 129-165.
- Scott, A.C. and Taylor, T.N., 1983, Plant/animal interactions during the Upper Carboniferous. *The Botanical Review*, 49, 259-307.
- Tateiwa, I., 1929, *Geological Atlas of Chosen*, Waegwan, Daegu, Yeongcheon, Gyeongju, and Joyang sheets. Geological Survey of Chosen (Korea).
- Um, S.H., Choi, H.I., Son, J.D., Oh, J.H., Kwak, Y.H., Shin, S.C. and Yun, H.S., 1983, *Geological and Geochemical Studies on the Gyeongsang Supergroup in the Gyeongsang Basin*. Korea Institute of Energy and Resources Bulletin, 36, Korea Institute of Energy and Resources, Daejeon, 124 p (in Korean with English abstract).
- Vršanský, P. and Aristov, D., 2014, Termites (Isoptera) from the Jurassic/Cretaceous boundary: evidence for the longevity of their earliest genera. *European Journal of Entomology*, 111, 137-141.
- Wheeler, E.A., Lehman, T.M. and Gasson, P.E., 1994, Javelinoxylon, an Upper Cretaceous dicotyledonous tree from Big Bend National Park, Texas, whit presumed malvacean affinities. *American Journal of Botany*, 81, 703-710.