

부산 기장군 신평리 해안에 분포하는 백악기 이천리층: 산상과 지질유산으로서의 가치

김현주^{1,2} · 백인성^{1,2,*} · 박정규¹ · 정은경³ · 김경식⁴ · 백승균⁵ · 서영교⁵ · 김영석^{1,2} · 이호일⁶

¹부경대학교 지구환경과학과

²부경대학교 활성단층 및 지진재해저감연구소

³대구광역시 달성군청

⁴전북대학교 생명과학부

⁵지마텍(주)

⁶한국지질자원연구원

Cretaceous Icheonri Formation at Sinpyeongri Coast, Gijang County, Busan, Korea : Occurrences and values in geological heritage

Hyun Joo Kim^{1,2} · In Sung Paik^{1,2,*} · Jung Gyu Park¹ · Eun Kyoung Jeong³ · Kyungsik Kim⁴ ·
Seung Gyun Baek⁵ · Young Kyo Seo⁵ · Young-Seog Kim^{1,2} · Hoil Lee⁶

¹Department of Earth and Environmental Sciences, Pukyong National University,
Busan 48513, Republic of Korea

²Active Fault & Earthquake Hazard Mitigation Institute, Pukyong National University,
Busan 48513, Republic of Korea

³Dalseong-gun, Daegu Metropolitan City, Daegu 42974, Republic of Korea

⁴Division of Life Sciences, Jeonbuk National University, Jeonju 54896, Republic of Korea

⁵Gematek Co. Ltd., Busan 48071, Republic of Korea

⁶Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 34132, Republic of Korea

요 약

부산 기장군 신평리 해안가에 분포하는 백악기 이천리층의 퇴적층은 전반적으로 하성 기원의 조립질(역암층 및 사암층) 우세 퇴적층과 호수주변부에서 쌓인 개방수류 기원의 세립질(세립사암 내지 실트스톤 및 이암) 우세 퇴적층(고토양 수반)이 수 m 두께의 규모로 반복된 층서적 발달 특성을 보인다. 이와 같은 퇴적상 특성과 층서적 발달 특성을 바탕으로 이들 퇴적층은 하천분산형 퇴적계에서 호수에 이르는 환경에서의 퇴적산물로 해석되었다. 이 퇴적층에서는 양방향 사염층리, 방산층화석 함유 처트 역, 윤회퇴적층, 지진과 비지진 기원의 연질퇴적변형구조, 공룡발자국 화석, 새발자국 화석, 공룡뼈 화석, 무척추동물 생흔화석, 구과식물 화석 등 한반도 공룡시대를 입체적으로 이해하는 데에 유용한 지질기록들이 높은 지질다양성을 가지며 공간적으로 압축되어 나타남이 확인되었다. 따라서 이 논문에서는 이들 기록들의 산상을 소개하고, 이들 기록이 가지는 지질유산으로서의 가치를 분석함은 물론, 이를 토대로 이 지역 지질유산의 사회적 활용 방안을 제시하였다. 신평리 해안의 백악기 퇴적암층 지질명소는 부산과 기장 등 동부 경남권의 지질교육과 지질관광의 대표적인 명소로 자리매김할 수 있으며, 부산국가지질공원 지질명소의 지질다양성과 공간 확장에 기여함은 물론, 유네스코 세계지질공원으로의 인증과 운영에 실효적인 콘텐츠가 될 수 있을 것이다.

주요어: 신평리, 이천리층, 지질유산, 지질명소, 지질관광

* Corresponding author: +82-51-629-6620, E-mail: paikis@pknu.ac.kr

ABSTRACT: The Cretaceous Icheonri Formation exposed along the Sinpyeongri coast, Gijang county, Busan, is generally composed of alternation of fluvial coarse-grained deposits (conglomerates and sandstones) and lake margin fine-grained unconfined-flow deposits (siltstone and mudstone) with paleosols. On the basis of the stratigraphic context and sedimentary facies composition, these deposits are interpreted to have been formed in fluvial distributary system associated with lake. In these deposits various sedimentological and paleontological records, which are valuable to understand the ‘Dinosaur Age’ of Korean Peninsula, occur with high geodiversity in a small area. They include bidirectional cross-laminations, radiolarian chert pebbles, rhythmic deposits, non-sesimic and seismic SSDS (soft sediment deformation structures), footprints of dinosaurs and birds, dinosaur bone fragments, invertebrate trace fossils, and plant fossils of conifers. In this study the occurrences of these records are described, their values in geological heritages are analyzed, and the social utilization schemes of these geological heritages are suggested. The Cretaceous geosite at Sinpyeongri can be utilized as a representative geosite in terms of geoeducation and geotourism in the eastern region of Gyeongsangnam-do Province. In addition, the Sinpyeongri geosite can contribute not only to the geodiversity enhancement but also to the spatial expansion of Busan National Geopark. Lastly the Sinpyeongri Coast can be an effective geosite to the approval of Busan National Geopark as UNESCO Global Geopark.

Key words: Sinpyeongri, Icheonri Formation, geological heritage, geosite, geotourism

1. 서 언

남한 지표 면적의 1/4 이상이 공룡시대의 후반기인 백악기의 지층으로 이루어져 있으며, 이 중 가장 큰 규모의 퇴적분지가 경상분지이다(Ki *et al.*, 2019). 경상분지를 구성하는 경상누층군의 지층이 Koto (1903)에 의해 처음으로 설정되고, 이후 전반적인 층서와 퇴적환경에 대한 체계가 확립(Chang, 1975; Um *et al.*, 1983; Choi, 1986)된 이래 120년 가까운 시간이 흐른 지금까지, 경상누층군에 대해서는 층서, 화성활동, 고환경, 고생물, 지질구조 등 다각적인 측면에서 많은 연구가 이루어져 경상분지의 발달과정과 고환경에 대한 이해가 축적되었다. 그럼에도 불구하고, 이들 경상누층군에 대한 퇴적지질학적 연구는 시간적으로는 전기백악기, 공간적으로는 경상분지의 서남부에 편중되었으며, 경상누층군의 상부 지층인 유천층군이 분포한 경상분지 동남부 지역에 대한 퇴적지질학적 연구는 매우 제한적으로 이루어져 있다(Paik *et al.*, 1996, 1997, 2006; Kim and Paik, 1997; Paik and Kim, 1998; Chough and Sohn, 2010; Cho *et al.*, 2016).

이러한 경상누층군 연구의 시공간적인 편향성은 유천층군 퇴적층의 층서적 불연속성, 열변성의 영향에 의한 원래의 퇴적 성분과 조직, 구조 등의 변성과 변형, 화석 산출의 제한 등에 기인한 것으로 여겨진다. 이에 따라 퇴적암과 고생물을 대상으로 한 다수의 지질유산이 경상누층군에서 천연기념물 또는 지방문화재로 지정이 되어 있음에도 불구하고, 부산 태

종대와 오륙도가 명승으로 지정된 것을 제외하고, 경상분지 동남부 지역 유천층군에서의 퇴적층 대상 지질유산 문화재는 전무한 상태이다.

이와 같은 실정에서 이 연구의 대상인 기장군 신평리 해안에 분포한 이천리층 퇴적층은 경상분지의 발달과정을 보다 입체적으로 이해하기 위한 또 하나의 조각을 맞추어 나아가는 데에 새로운 자료를 제공할 수 있는 대상이 된다. 실제로 이 지역의 백악기 퇴적층에 대한 예비연구를 통해, 이 퇴적층에서는 경상분지의 고지리, 고생태, 고환경 등의 특성을 발전적으로 이해하는 데에 매우 유용한 단서가 되는 다수의 지질과 고생물 기록들이 새로이 확인되었다(Kim *et al.*, 2021). 따라서 이 논문에서는 이들 기록들의 산상을 소개하고, 이들 기록이 가지는 지질유산으로서 가치를 분석함은 물론, 이를 토대로 이 지역 지질유산의 사회적 활용 방안을 제시코자 한다.

현대사회에서 지질유산의 활용은 ‘지질교육(geo-education)과 지질관광(geotourism)’으로 함축될 수 있으며, 이를 위한 실질적인 제도가 2016년에 유네스코의 공식프로그램이 된 세계지질공원(Global Geopark)이다. 국내에도 지질유산의 체계적 관리와 사회적 활용을 목적으로 2012년에 국가지질공원의 운영이 시작되어, 지금까지 13개의 국가지질공원이 인증되었다. 이 중 제주도, 청송, 무등산 및 한탄강 국가지질공원은 세계지질공원으로 인증되었으며, 부산과 전북서해안권 국가지질공원이 세계지질공원 인증을 추진 중이다. 따라서 이 연구의 결과는 부산국가지질공원의 세계지질공원으로의 인증에 실효적인

자료가 될 수 있을 것이다.

2. 지질개관

연구지역인 부산 기장군 일광면 신평소공원 일대는 1:50,000 동래·월내 지질도폭(Son *et al.*, 1978)에서 백악기 이천리층의 퇴적암층이 분포하는 지역이다(그림 1a). 이천리층은 부산 기장군 일광면 일대에 넓게 분포하며, 금정산과 백양산 등지에 소규모로 분포한다. 연구지역 일원에 분포한 이천리층의 북, 서, 남측 등의 지역은 관입 또는 분출 기원의 안산암질암으로 둘러싸여 있으며, 이천리층 분포지 내부에는 소규모의 흑운모화강암 관입체가 분포한다(그림 1a). 연구지역의 이천리층 퇴적층들은 대체로 북서 방향으로 경사하며, 이와 같은 지층 자세는 경상분지를 구성하는 경상누층군 지층들의 전반적인 경사가 남동 내지 동측으로 경사되어 있는 것과 대조된다. 한편, 연구지역 일대의 이천리층은 전반적으로 열변성에 의한 혼펠스질을 띤다. Son *et al.* (1978)는 이천리층의 구성암석이 대체로 흑색 내지 암회색 셰일로 구성되어 있으며, 암회색의 세립사암이 극히 소량 포함되어 있는 것으로 기재하였다. 그러나 이번 연구를 통해 연구지역 내 이천리층 퇴적층에서 사암과 역암이 비교적 빈번하게 발달함이 확인되었다.

이천리층의 층서는 1:250,000 부산지질도폭(Kim *et al.*, 1998)에서 유천층군 다대포층에 대비되었다. 다대포층은 낙동강과 부산만 사이 해안가에 위치한

백악기 다대포분지를 충전한 퇴적층이다. 다대포분지는 백악기말 화산활동이 활발했던 시기에 양산단층과 동래단층의 좌수향주향이동 운동과 관련된 북동-남서방향의 인장력에 의해 만들어진 당겨열림형(pull-apart) 분지이다(Cho *et al.*, 2011). Cho *et al.* (2011)은 이와 같은 다대포분지를 충전한 다대포층의 퇴적시기를 다대포층의 기저를 이루는 데사이트질 화산암과 다대포층을 덮은 현무암질 안산암의 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대측정을 바탕으로 94 Ma에서 69 Ma에 이르는 것으로 제시하였다. 최근 Chae *et al.* (2021)은 다대포층의 쇄설성 저어콘들에 대한 LA-MC-ICPMS를 이용한 U-Pb 연령측정을 통해, 하부다대포층에서 98 Ma, 상부다대포층에서 93 Ma의 연령을 보고하였다. 한편, Kang *et al.* (2014)은 이천리층의 사암 내 저어콘 SHRIMP 연대측정을 통해 96 Ma라는 값을 보고하였다. 이는 이천리층이 적어도 96 Ma, 즉 후기백악기의 초기 이후에 퇴적되었음을 지시한다. 이와 같은 이천리층의 퇴적 시기는 이천리층이 유천층군의 하위 층군인 하양층군의 최상부에 해당하는 진동층 내지 유천층군의 다대포층에 시층서적으로 대비될 수 있음을 시사한다.

그러나 또 다른 측면을 고려할 때, 이천리층은 유천층군보다 이전에 형성된 지층에 대비될 가능성이 있다. 백악기 후기 지층인 유천층군은 경상분지에 화산활동이 활발한 시기에 형성된 것이다. 따라서 경상분지 동남부에 분포한 유천층군 이전 시기의 지층들은 유천층군 발달시기의 경상분지 내에서의 활발

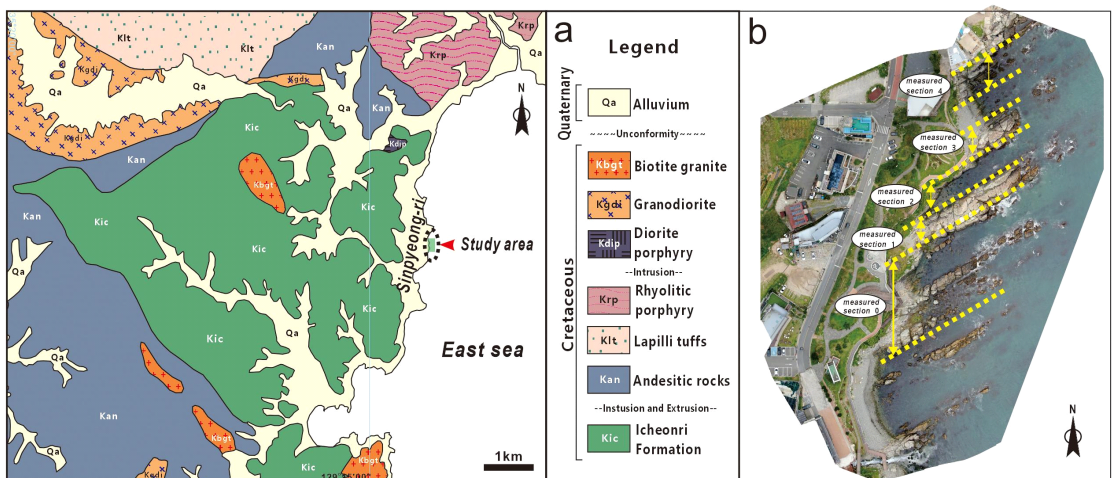


Fig. 1. Geological map (Son *et al.*, 1978) (a) and a drone view (b) of the study area. The measured sections are numbered in b.

한 화성활동의 영향으로 인해 대체로 열변성(접촉변성)이 흔히 이루어져 있다. 이러한 맥락에서 유천층군과 접하여 있는 하양층군 진동층의 퇴적층에서는 열변성에 의한 혼펠스화가 드물지 않은 반면, 부산의 송도와 두송반도 일대에 분포하는 유천층군 다대포층은 열변성에 의한 혼펠스화가 나타나지 않는다. 따라서 연구지역의 이천리층 퇴적암에 혼펠스화가 상당히 진행된 점을 고려한다면, 시층서적으로 이천리층이 진동층에 대비될 가능성이 있다. 이와 같은 측면에서, 연구지역 일대에 분포하는 이천리층의 지질시대에 대해서는 추가적인 절대연대 측정과 이를 토대로 한 층서 대비의 논의가 이루어져야 할 것이다.

3. 퇴적층 특성

연구지역인 신평소공원 해안에 분포한 이천리층의 퇴적층은 대체로 N70°E 내외의 주향과 30°NW 내외의 경사를 가지며 해안을 따라 단속적으로 노출되어 있다(그림 1b). 이와 같은 노두 특성을 바탕으로 이 연구에서는 연구지역의 이천리층 퇴적층을 5개의 퇴적단면(그림 1b, 2)으로 세분하여 야외조사를 실시하였다. 조사된 퇴적층의 조직 특성과 암질, 암색, 퇴적구조, 층리 특성 등을 바탕으로 연구지역의 이천리층 퇴적층은 8개의 퇴적상으로 구분되었다(표 1). 연구지역 이천리층 퇴적층의 이와 같은 퇴적상 특성(표 1; 그림 2)과 층서적 발달 특성(그림 3)은 이들 퇴적층이 Nichols and Fisher (2007)가 제시한 소위 ‘하천분산형 퇴적계(Fluvial distributary system)’에서 형성된 것임을 시사한다. 하천분산형 퇴적계는 일반적인 하성퇴적계와는 달리, 상류에서 하류로 가면서 점차 수량이 감소하면서 하천에 의한 퇴적에서 개방수류 퇴적으로 변화하는 것이 특징이다.

연구지역의 이천리층 퇴적층은 전반적으로 하성기원의 조립질(역암층 및 사암층) 우세 퇴적층과 호수주변부에서 쌓인 개방수류 기원의 세립질(세립사암 내지 실트스톤 및 이암) 우세 퇴적층이 수 m 두께의 규모로 반복되는 층서적 발달 특성을 보인다. 즉 하류 환경 기원의 퇴적층에 삼각주 등 큰 하천의 발달에 의해 나타나는 퇴적상의 수반이 부재하고, 대신 고토양이 수반된 개방수류 기원의 이질퇴적층이 지배적으로 나타나는 퇴적특성은 연구지역의 이천리층 퇴적층이 하천분산형 퇴적계에서의 퇴적산

물임을 시사한다. 하천분산형 퇴적계는 퇴적분지 배후에 높은 산지가 발달하여, 퇴적분지에는 비그림자(rain shadow)가 나타나는 지형에 발달한다. 따라서 이와 같은 지형 특성으로, 배후 산지에는 강수량 1,000~2,000 mm, 퇴적분지에는 300 mm 내외의 강수량이 나타나는 아건조성 기후조건이 나타난다(Nichols and Fisher, 2007). 이와 같은 하천분산형 퇴적계에서 연구지역의 이천리층 퇴적층 내에는 장단기적인 기후 조건의 변동에 의한 윤회퇴적의 특성이 발달한 것으로 해석된다.

습윤한 기후가 우세한 환경에서 형성된 역암층 및 사암층 내에는 범람 이후 퇴적의 일시적 중단을 지시하는 무척추동물의 생흔화석과 건열이 역암층 또는 사암층을 피복한 이암막 및 이암엽층에서 관찰된다. 또한, 사암과 이암의 교호층 내의 이암층에는 건열과 켈크리트 단괴가 발달되어 있으며, 호수주변부 퇴적층에는 미세점이층리와 건열의 발달이 나타난다. 이들은 우기 시 발생한 범람 이후의 건기 발달을 지시하는 것으로, 연구지역 이천리층 퇴적층의 퇴적 당시 건기와 우기가 교호하는 계절성 기후의 영향이 있었음을 시사한다. 아울러 호수주변부 퇴적층에서의 석회질 고토양의 발달은 때때로 건기가 상당 기간 지속되었음을 시사한다. 건조한 조건이 지배적인 환경에서 형성된 호수주변부 퇴적층에서는 공룡과 새, 특히 척추동물의 발자국화석 등이 산출된다(후술). 이는 건조한 시기의 호수주변부에 공룡을 비롯한 다양한 척추동물들의 생태 공간이 형성되었음을 시사한다. 한편, 호수주변부 퇴적층에서는 지진 기원의 연질퇴적변형구조(SSDS: Soft-Sediment Deformation Structures)가 나타난다(후술).

결론적으로, 연구지역 이천리층 퇴적층의 퇴적환경은 건기와 우기가 반복되는 계절성 기후의 영향을 받는 하천분산형 퇴적계에서 호수에 이르는 환경이었으며, 퇴적과정을 통해 때때로 건기가 지속되는 기후조건과 더불어 습윤한 기후가 지배적인 환경과 건조한 기후가 지배적인 환경이 교호된 것으로 해석된다(그림 4). 이와 함께 퇴적 과정에 지진의 영향을 간헐적으로 받은 것으로 해석된다.

4. 특이 지질과 고생물 기록

연구지역 이천리 퇴적층의 고지리와 고생태 등의

고환경을 입체적으로 이해하는 데에 유용한 단서를 제공하는 특이성이 높은 지질과 고생물 기록들이 이 연구를 통해 새로이 확인되었으며, 이들의 산출 특성은 다음과 같다.

4.1 양방향 사암층리

연구지역 내 퇴적단면 3의 상부에 발달한 호수 주변부 퇴적층 내의 판상 내지 사암층리가 발달한 세립사암 내지 실트스톤 퇴적층에서 양방향의 사암층

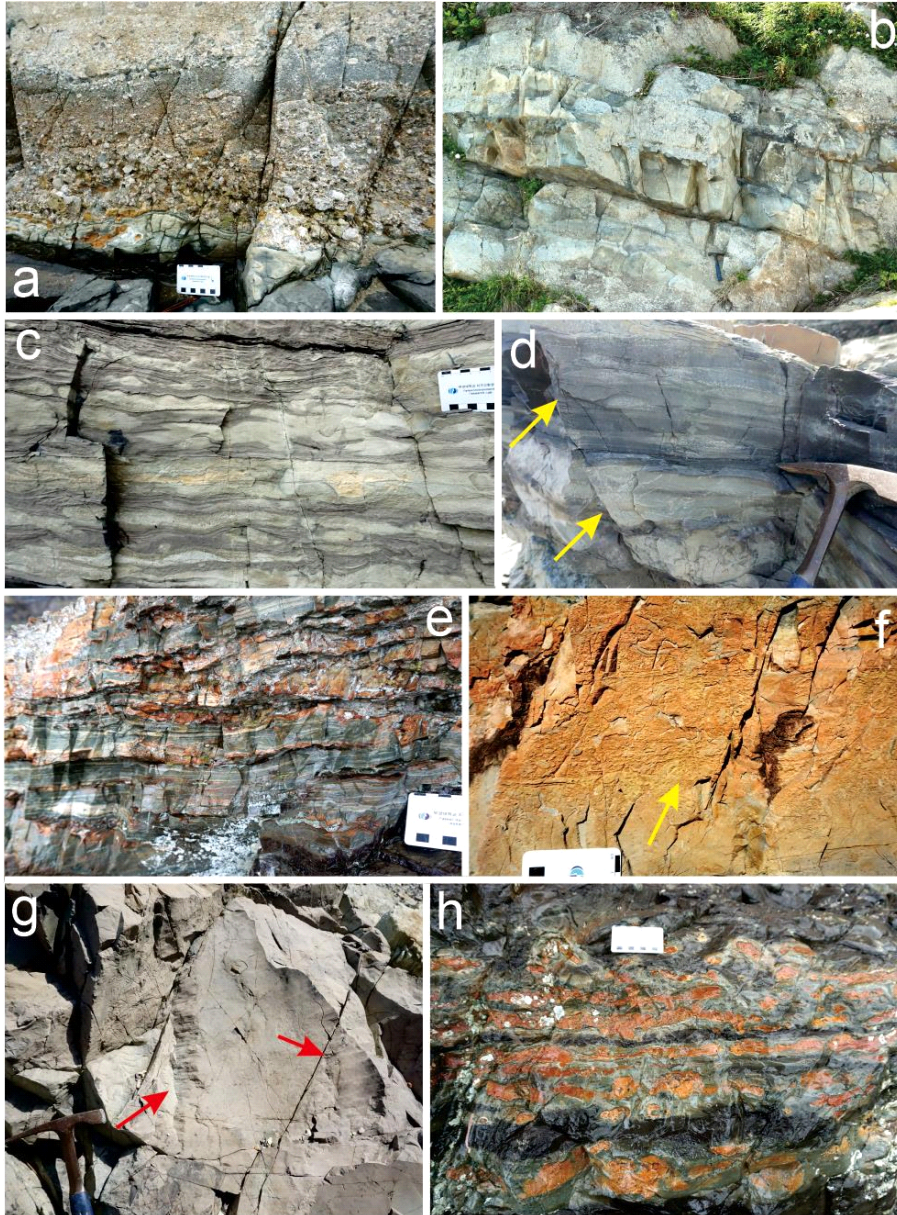


Fig. 2. Representative outcrop photos of the sedimentary facies in the study area. a. Lenticular-bedded conglomerate to pebbly coarse-grained sandstone. b. Lenticular-bedded medium- to fine-grained sandstone. c. Medium- to thin-interbedded medium- to fine-grained sandstone and mudstone. d. Planar- to cross-laminated fine-grained sandstone to siltstone (arrows). e. Interlaminated to very thin-interbedded fine-grained sandstone to siltstone and mudstone. f. Intraformational conglomerate (arrow). g. Thin- to thick-bedded mudstone with pedogenic slickensides (arrows). h. Nodular silty mudstone.

Table 1. Summarized features and interpreted depositional environments of the sedimentary facies observed in the examined deposits.

Sedimentary facies	Sedimentary features	Depositional environments
Lenticular-bedded conglomerate to pebbly coarse-grained sandstone	generally clast-supported; medium- to thick-bedding in thickness; poorly to moderately sorted; pebbles subrounded to well rounded; planar to erosive basal contacts; dunoid and wavy upper contacts; scour and fill structures in places; lateral changes in bed thickness and grain size; commonly normal- graded; rarely inverse-graded; cross-bedded in places; elongate pebbles imbricated in places; <i>Scoyenia</i> ichnofacies; polymictic (pebbles of quartzite, felsic rock, basaltic rock, gneiss, mudstone, sandstone, radiolarian fossil-bearing chert, etc.)	proximal part in fluvial distributary system (Nichols and Fisher, 2007); incomplete channel to unconfined flow deposits
Lenticular-bedded medium- to fine-grained sandstone	greenish gray, gray to light gray; medium- to thick-bedding in thickness; planar to erosive basal contacts; load structures and scour and fill structures in places observed; planar- to cross-laminated; covered with mudstone film of lamina; rare mudcrack; <i>Scoyenia</i> ichnofacies; sublithic; rare plagioclases; poor-rounded; moderately to well sorted	middle part in fluvial distributary system (Nichols and Fisher, 2007); unconfined flow deposits
Medium- to thin-interbedded medium- to fine-grained sandstone and mudstone	alternation of sandstone layers and reddish mudstone layers; wavy- to flaser-bedded; sharp basal contacts and graded upper contacts; planar- to cross-laminated; rippled; mudstone chips included; calcrete nodules in mudstones; mudcracks observed; <i>Scoyenia</i> ichnofacies	distal part (alluvial plain to floodplain) in fluvial distributary system (Nichols and Fisher, 2007); unconfined flow deposits
Planar- to cross-laminated fine-grained sandstone to siltstone	gray to greenish gray; thin- to medium-bedded; sharp basal contacts and graded upper contacts with mudstone films; wavy- to flaser-bedded in places; bidirectional cross-laminations in places; <i>Skolithos</i> isp. observed; mudstone chips included in places	lake margin; unconfined flow deposits (Paik and Kim, 2006; Kim <i>et al.</i> , 2019)
Interlaminated to very thin-interbedded fine-grained sandstone to siltstone and mudstone	greenish gray, gray to dark gray; micrograded; planar- to cross-laminated; wave ripples, mudcracks (in places tepee), raindrop impressions, and SSDS associated; vertebrate (ornithopod, sauropod, and theropod dinosaurs and birds) footprints and invertebrate trace fossils (vertical burrows, u-shaped burrows, trails, etc.) associated; plant fossils (<i>Frenelopsis</i> type) preserved	lake margin; unconfined flow deposits (Smoot and Lowenstein, 1991; Kim and Paik, 2001; Paik and Kim, 2006; Kim <i>et al.</i> , 2019)
Intraformational conglomerate	erosive basal contacts; intraformational mudstone chips (granule to pebbles) are common	lake margin; unconfined flow deposits (Paik <i>et al.</i> , 2001; Paik and Kim, 2006)
Thin- to thick-bedded mudstone	homogeneous; mudcracks and pedogenic slickensides associated	lake margin; pedogenesis influenced (Retallack, 1990; Gierlowski-Kordesch, 1998; Kim <i>et al.</i> , 2018)
Nodular silty mudstone	greenish gray to dark greenish gray; thin- to thick-bedded; pedogenic nodules and lenses associated; dinosaur bone fragment preserved	lake margin; pedogenesis influenced (Gierlowski-Kordesch, 1998; Tanner and Lucas, 2006)

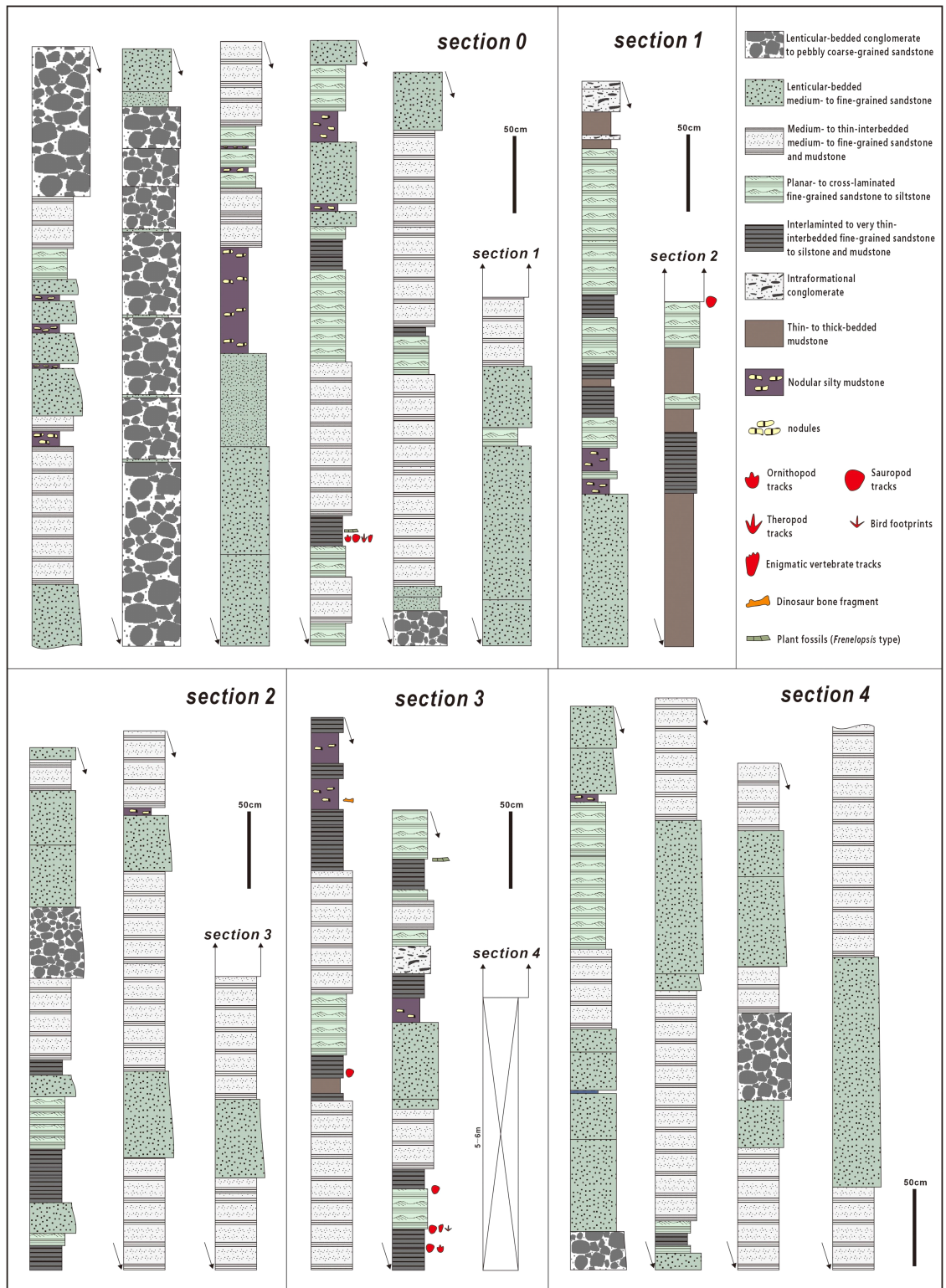


Fig. 3. Stratigraphic sections of the study area. The measured sections are indicated in Fig. 1b.

리가 관찰되었다(그림 5a). 양방향 사엽층리는 일반적으로 조간대 지역에서 조석의 작용에 의해 형성되는 것으로 알려져 있다(Reineck and Singh, 1980; Flemming and Bartholoma, 1995; Dalrymple, 2010). 그러나 최근 우리나라 백악기의 대표적인 호수퇴적층 중 하나인 진동층에서 양방향 사엽층리가 보고되었으며, 이는 호숫가에서의 바람 방향의 역전과 속도 변화, 호수로의 유입수량 변화 등에 의한 결과로 해석되었다(Paik *et al.*, 2018). 연구지역 내 이천리층 퇴적층에 발달된 양방향 사엽층리 또한 진동층에서의 양방향성 사엽층리와 유사한 기원으로 해석된다.

4.2 방산층화석 함유 쳐트 역

연구지역의 퇴적단면 0의 하부에 발달한 역암층의 중하부 구간에서 붉은색 또는 검붉은색의 쳐트 역들의 산출이 확인되었다(그림 5b). 쳐트 역들은 직경 1~2 cm 내외에서 4~5 cm에 이르는 크기를 가지며, 대체로 아원상 이상의 원마도를 보인다. 이들 쳐트 역들에 대한 현미경 관찰 결과, 내부에 방산층화석들이 함유되어 있음이 확인되었다(그림 5c). 방산층 화석을 함유한 쳐트 역은 우리나라 백악기 하양층군의 기사동층, 동화치층, 구미동층에서 보고된 바 있으며, 이들의 근원지가 일본인 것으로 해석되

었다(Chang *et al.*, 1990; Kamata *et al.*, 2000; Mitsugi *et al.*, 2001). 연구지역 내 이천리층 퇴적층에서 확인된 쳐트 역들 또한 일본에서 기원된 것으로 해석된다.

4.3 연질퇴적변형구조

퇴적물이 암석화되기 전의 단계, 즉 연성의 상태에서 퇴적층 내에 형성된 변형구조인 연질퇴적변형구조는 다양한 과정에 의해 형성될 수 있으며(Postma, 1983; Horváth *et al.*, 2005; Moretti and Sabato, 2007), 크게 지진 기원과 비지진 기원으로 구분된다. 연구지역의 이천리층 퇴적층에서도 다양한 형태의 연질퇴적변형구조가 나타난다. 이들 중에는 공룡발자국 하위의 퇴적층에 형성된 비지진성의 변형구조(그림 5d)도 있지만, 지진 기원의 연질퇴적변형구조도 나타난다(그림 5e). 연구지역에서 확인된 지진 기원의 연질퇴적변형구조는 특정 층준에 제한되어 나타나며, 미세습곡 형태이거나 미세단층의 형태를 보인다. 미세습곡은 변형 층준 내에서 일정한 간격을 두고 발달하며, 일부에서는 습곡축이 누워있는 형태를 보이기도 하고, 쓰러스트 형태의 미세단층으로 변형이 진행된 모습을 보이기도 한다. 또한, 엽층리가 솟아오른 형태이거나 말린 형태, 그리고 깨진 형태도

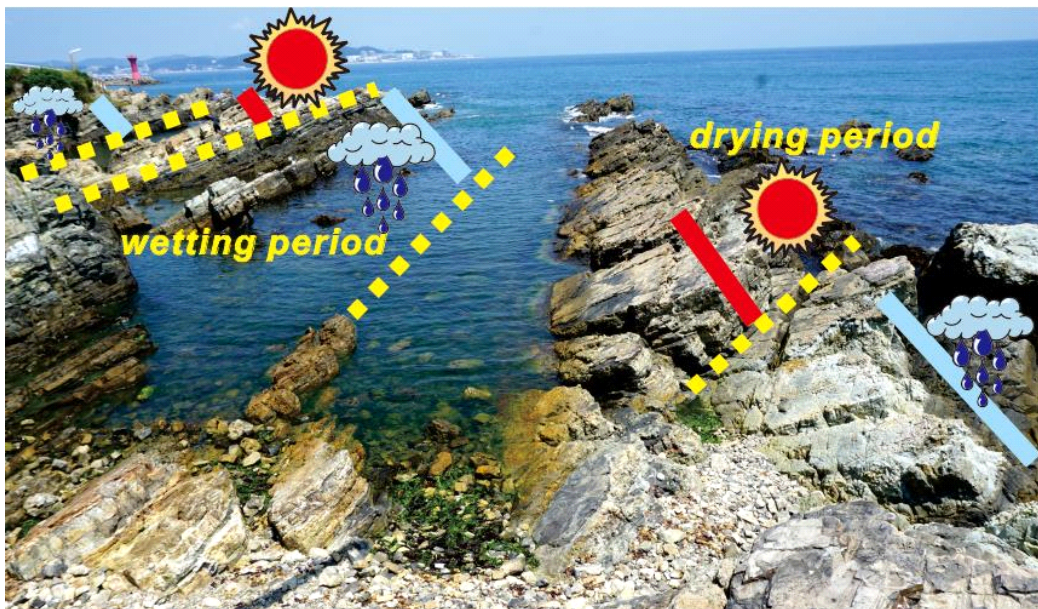


Fig. 4. Overall view of the outcrop exposure in the study area showing the rhythmic record by alternated deposition of wetting (fluvial deposit-dominated) and drying (lake margin deposit-dominated) periods.



Fig. 5. Unique sedimentological features recorded in the examined deposits. a. Bidirectional cross-lamination in the planar- to cross-laminated fine-grained sandstone facies. b. Radiolarian chert pebble (dotted circle) included in the conglomerate facies. c. Thin-section photomicrograph of the radiolarian chert pebble. White microspheres shown in the thin section are radiolarian microfossils. d, e. Soft sediment deformation structures formed in the inter-laminated to very thin-interbedded fine-grained sandstone to siltstone and mudstone facies. d is sectional view of dinosaur tracks showing asymmetrical depressions and e is paleoseismically-induced deformation structure.

관찰된다. 이와 같은 지진 기원의 연질퇴적변형구조는 주로 호수주변부 퇴적층인 엽층 내지 매우 얇은 층으로 교호하는 세립사암 내지 실트스톤과 이암에서 나타난다.

4.4 무척추동물 생흔화석

연구지역의 이천리층 퇴적층에서는 발달 층준에 따라 빈도와 밀집도의 차이는 있지만 무척추동물 생흔화석이 드물지 않게 산출된다(그림 6). 무척추동물의 생흔화석은 하성환경과 호수주변부 환경의 개

방수류 퇴적층에서 모두 산출되나, 산출되는 생흔화석의 종류와 산상에는 차이가 나타난다. 하성환경 퇴적층에서는 주로 퇴적층의 상하부 성층면에서 수평으로 발달한 생흔화석이 일반적이며, 대체로 밀집되어 산출된다. 이와 같은 생흔화석들은 *Scoyenia*나 *Taenidium* 등과 유사한 형태를 보인다(그림 6a, 6b) (Melchor *et al.*, 2012). 조립 내지 중립사암층에서는 직경 2-3 cm 내외의 서관구조가 관찰되는데, 이 생흔은 층리에 수평 또는 비스듬한 방향을 이룬다(그림 6c). 이 생흔화석은 가재와 같은 갑각류들에

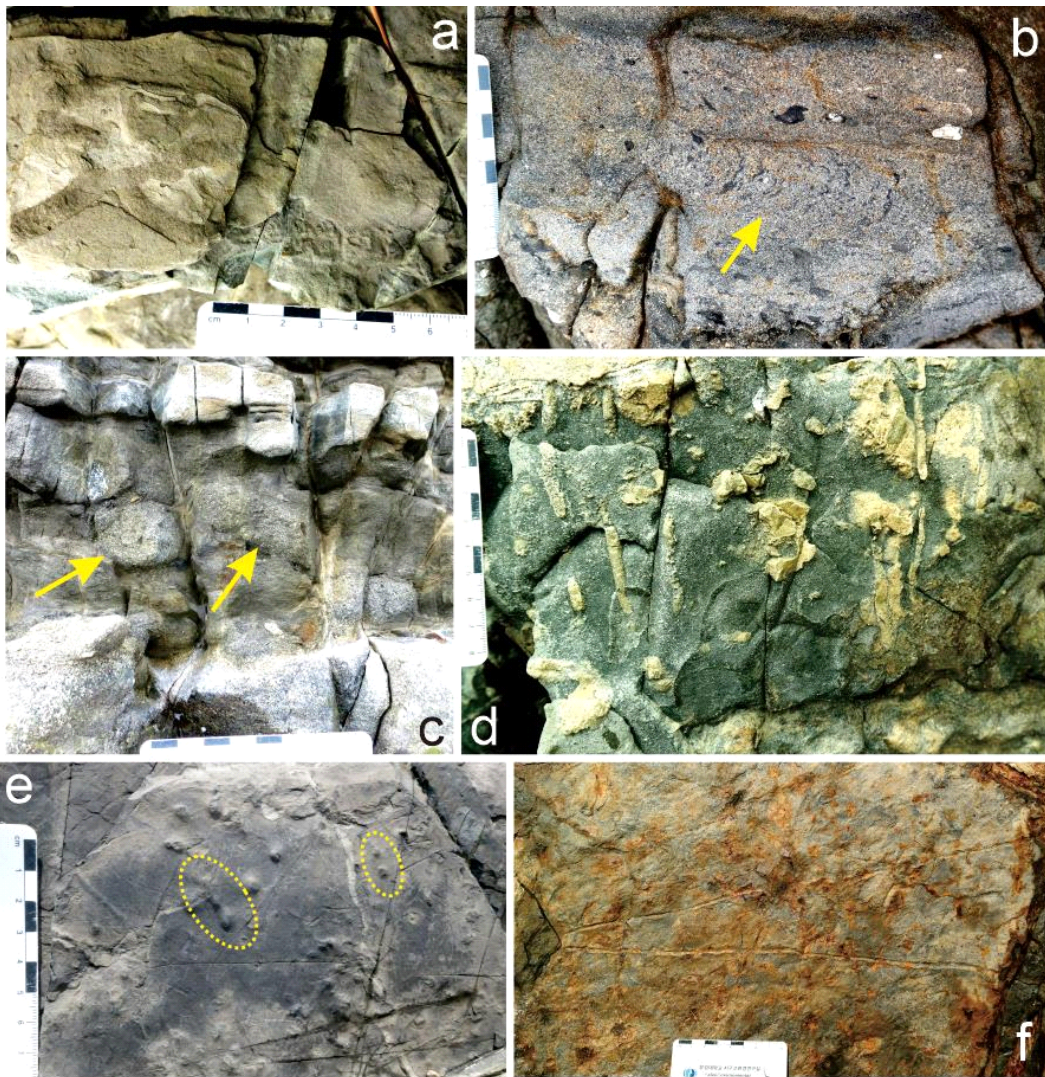


Fig. 6. Diverse occurrences of the invertebrate trace fossils observed in the examined deposits. a, b. *Scoyenia* or *Taenidium*-type traces (arrow). c. Oblique burrows (arrows) assumed to have been Crustacean burrows. d. *Skolithos* burrows. e. *Arenicolites* (dotted circles). f. Trails.

의한 굴착 생흔과 유사하다(Hasiotis and Mitchell, 1993; Bedatou *et al.*, 2008). 호수주변부 환경의 개방수류 퇴적층, 특히 판상 내지 사엽층리가 발달한 세립사암 내지 실트스톤 퇴적층에서는 *Skolithos* 생흔화석이 산출되며(그림 6d), 엽층 내지 매우 얇은 층으로 교호하는 세립사암 내지 실트스톤과 이암의 성층면에서는 U자형 서관구조(그림 6e, *Arenicolites*)와 기어간 형태의 생흔 화석들이 관찰된다(그림 6f). 연구지역의 이천리층 퇴적층에서 산출된 무척추동물 생흔화석에 대한 상세한 분류가 이루어지지 않았으나, 이천리층 퇴적 당시의 하호성 환경이 무척추동물에 의한 생태공간으로 반복적으로 이용된 것으로 해석된다.

4.5 척추동물 발자국 화석

신평소공원 해안가의 이천리층 퇴적층에서 산출된 척추동물의 발자국 화석은 조각류, 용각류, 수각류를 포함한 공룡발자국 화석과 새발자국 화석, 특이 형태의 척추동물 발자국 화석이다. 이들은 대부분 엽층 내지 매우 얇은층으로 교호하는 세립사암 내지 실트스톤과 이암에서 산출되며, 간혹 판상 내지 사엽층리가 발달한 세립사암 내지 실트스톤과 얇은 층 내지 중간층으로 교호하는 사암과 이암에서도 나타난다. 이들 척추동물 발자국 화석들의 산상은 그림 7a-c와 같으며, 이들에 대한 상세한 구분과 해석은 추가적인 연구에 의해서 이루어질 예정이다.

4.6 골편 화석

퇴적단면 3에 발달한 고토양 기원의 단괴상 실트질 이암에서 파편 상태의 골편 화석 1점(길이 약 15 cm, 두께 약 4 cm)이 산출되었다(그림 7f). 이 골편 화석은 망상골(cancellous bone) 조직이 잘 보존되어 있으며, 공극은 퇴적물과 일부 결정으로 채워져 있다(그림 7g). 비록 골편 화석이 1점 밖에 산출되지 않았으나, 국내에서 공룡발자국 화석 산출 퇴적층에 골편 화석이 함께 산출된 경우는 매우 드물다.

4.7 구과식물 화석

연구지역 이천리층 퇴적층(퇴적단면 0의 상부)의 호수주변부 퇴적층인 엽층 내지 매우 얇은층으로 교호하는 세립사암 내지 실트스톤과 이암에서 식물화석의 산출이 확인되었다(그림 8). 이 식물화석은 긴

줄기가 다발을 이루며 나타나며, 대체로 평행한 배열 특성을 보인다(장축의 배열 방향 70°내외).

이 식물화석은 형태적 특성으로 보아 케이로레피드과(Cheirolepidaceae)에 속하는 *Frenolopsis* type의 식물로 여겨진다. 케이로레피드과는 멸종된 구과식물의 한 과(family)로, 중생대 트라이아스기에 처음 출현한 것으로 알려져 있다. 첫 출현 이후 중생대 동안 주로 저위도 지방에 널리 퍼져 번성하였다. 현재는 멸종한 이 식물들은 건조한 환경에 잘 적응할 수 있었으며, 종류에 따라 연안 지역의 소금기 있는 환경에서도 적응해서 번성하였던 것으로 여겨진다(Escapa and Leslie, 2017). *Frenolopsis* type의 식물은 매끄러운 원통형 줄기가 마디(절, node)와 마디 사이(절간, internode)로 구성되고, 각 마디를 잎이 감싸고 있는 형태를 가지는 것이 특징이다. 이 타입의 식물은 *Frenolopsis*와 *Pseudofrenolopsis*로 구성되는데, 보통 마디에 붙어있는 잎의 개수로 구분하여 잎이 3개이면 *Frenolopsis*이고 1개이면 *Pseudofrenolopsis*이다(Watson, 1977).

이번에 산출된 식물화석은 마디가 있는 줄기는 확인되지만, 산출퇴적층이 대체로 열변성과 열수변질을 받아 보존상태가 불량하여 마디에 붙어있는 잎의 개수는 정확히 확인되지 않았다. 따라서 *Frenolopsis*인지 *Pseudofrenolopsis*인지를 정확히 구분하기가 어려워 넓은 범주에서 케이로레피드과의 *Frenolopsis* type으로 분류하였다.

한편, 줄기의 끝부분에서 자성생식기관(female cone)과 유사한 형태가 확인되었다. 다소 길쭉한 구과의 형태로 이 식물종류의 생식기관이 확인된 것은 매우 드문 경우이다. 따라서, 차후 구체적인 연구가 필요할 것으로 여겨지며, 이를 통해 한반도 백악기 당시의 부산 지역의 고환경과 고생태를 보다 입체적으로 밝혀낼 수 있을 것이다.

5. 지질유산으로서의 가치

자연유산 중 발달규모, 특이성, 희귀성 등에서 보존가치를 지니며, 이와 함께 과학적인 연구와 교육, 아름다움, 문화의 발전 등에서 인류에게 중요한 가치를 가지는 지질기록들을 총칭하여 지질문화재 또는 유산이라는 의미가 부여된 지질유산(geological heritage)이라는 용어가 사용되고 있다(Dixon, 1996).

이와 함께 지질유산은 ‘지질시대를 통해 일어난 중요 지질현상이 보존된 장소’라는 관점에서, 지질학적 중요 장소 또는 지질명소(geological site 또는 geosite)라는 용어도 사용되며(Liu and Cai, 2000), 지질다양

성(geodiversity)과 지질보전(geoconservation) 또한 관련 개념으로 제시되었다(Dixon, 1996; Hamilton-Smith 2000; Semeniuk and Semeniuk, 2001).

1991년 프랑스의 Digne에서 개최된 심포지엄에

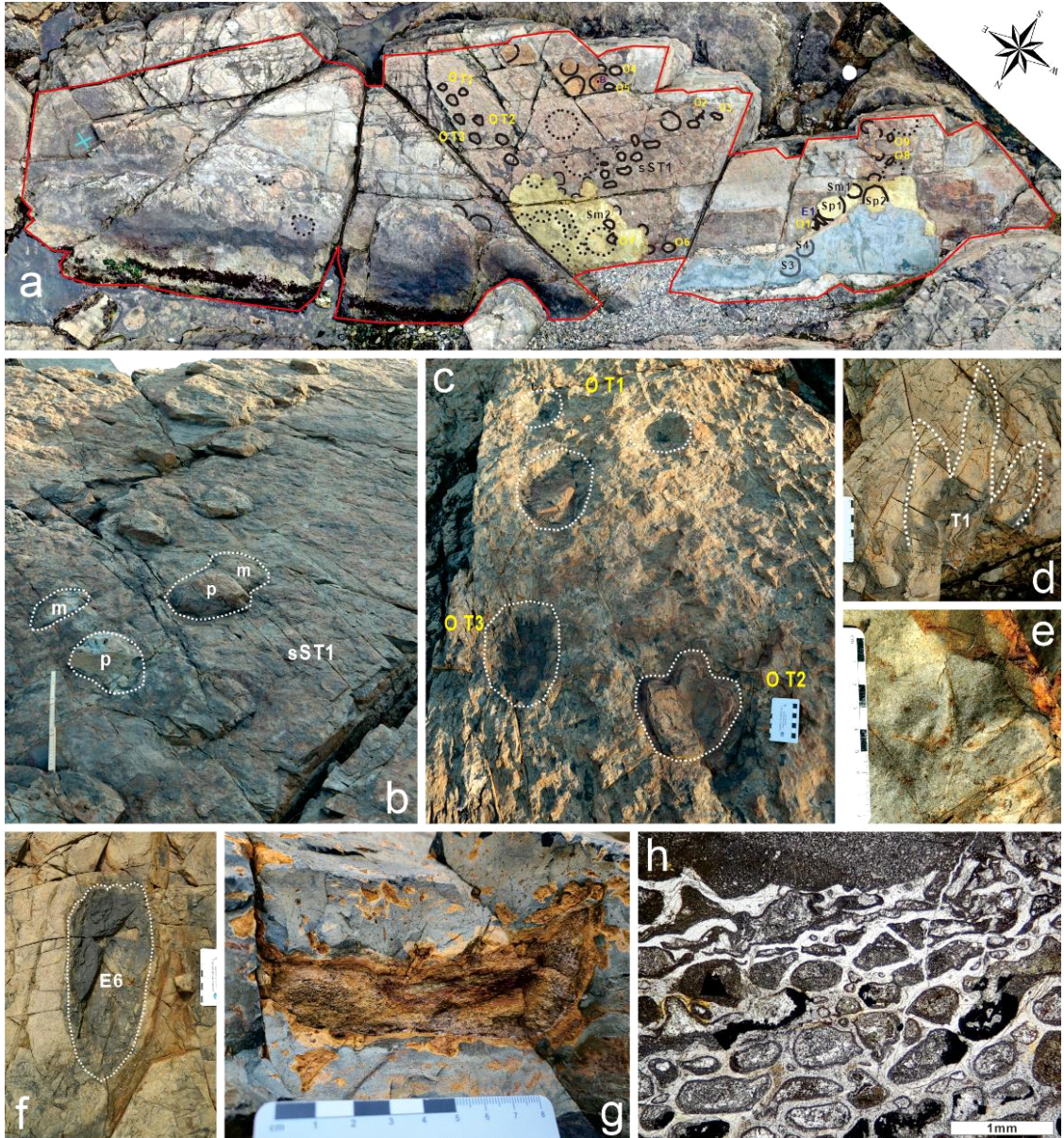


Fig. 7. Occurrences of the vertebrate fossils observed in the examined deposits. a. Distribution of the footprints on the bedding surface of the section 3. ST: sauropod tracks, OT: ornithopod tracks, E: enigmatic track, m: manus, p: pes. b, c. Sauropod tracks (b) and ornithopod tracks (c) on the bedding surface of the section 3. d. A theropod footprint on the bedding surface of the section 0. e. A bird footprint on the bedding surface of the section 3. f. An enigmatic footprint on the bedding surface of the section 0. g. A bone fragment observed in the section of the nodular silty mudstone. h. Thin-section photomicrograph of the bone fragment shown in g.

서 지질유산 보존의 절대적인 필요성에 대한 기본적인 철학과 당위성이 처음으로 선포(UNESCO 1991)된 이래, 지질유산의 보존에 대한 보다 구체화된 인식이 국제사회에 파급되기 시작하였다. 국내의 경우 문화재보호법에 의한 천연기념물 지정 등 지질유산의 제도적 보호와 함께, 2012년에 국가지질공원 제도의 도입과 운영이 확산되면서, 지질유산에 대한 국내에서의 사회적 인식이 점차 커지고 있다.

전술한 바와 같이 연구지역에 분포한 이천리층의 퇴적층에는 한반도 공룡시대 후반부(후기백악기)의 고지리와 고지형, 고기후, 고생태 등 고환경의 이해에 매우 유용한 단서를 제공해 주는 다양한 지질과 고생물기록들이 공간적으로 압축되어 나타남이 이 연구를 통해 새로이 확인되었다. 신평리 해안 이천리층 퇴적층의 이와 같은 발달 특성은 국내 다른 지역의 백악기 퇴적층 분포지와 비교할 때, 학술 및 교육적 측면에서 뚜렷한 차별성을 가진다. 따라서 이 논문에서는 이 퇴적층이 가지는 지질유산으로서의 가치를 고지리, 고환경, 고생물, 문화재 등의 측면에서 고찰하였다.

5.1 고지리 측면

한반도 지각의 진화과정에서 경상분지의 지층들

이 형성된 시기인 중생대 백악기에는 오늘날 동해와 남해에 의해 한반도와 떨어져 있는 일본이 경상분지의 동측에 연하여 육지로 연결되어 있었음이 고지자기 자료에 의해 제시되어 있다(Maruyama *et al.*, 1997; Lee *et al.*, 1999). 이와 같은 백악기 당시의 한반도와 일본의 고지리적 위치는 경북 지역에 분포하는 백악기 하양층군의 기사동층, 동화치층, 구미동층에서 확인된 방산층 화석을 함유한 쳐트역의 산출과 고수류 방향 등에 의해 뒷받침 되었다(Chang, 1975; Chang *et al.*, 1990; Kamata *et al.*, 2000; Mitsugi *et al.*, 2001).

이와 같은 백악기 당시 한반도와 일본의 고지리적 관계를 지시해 주는 지질기록은 전술한 경북의 청송과 영덕 등의 지역에 제한되어 있다. 부산의 대포층에서도 방산층화석 함유 쳐트역의 산출이 언급된 바 있으나(Cho *et al.*, 2011), 방산층화석의 자료가 구체적으로 제시되지는 않았다. 따라서 이 연구를 통해 신평리 해안의 이천리층 퇴적층에서 방산층 화석을 함유한 쳐트역이 새로이 확인됨은 백악기 당시 경상분지 동측에 백악기 이전(pre-Cretaceous)의 지각이 대체로 긴 산지를 이루며 형성되어 있었음을 시공간적으로 뒷받침하는 매우 중요한 기록이다. 즉, 신평리 해안의 퇴적층은 한반도의 공룡시대

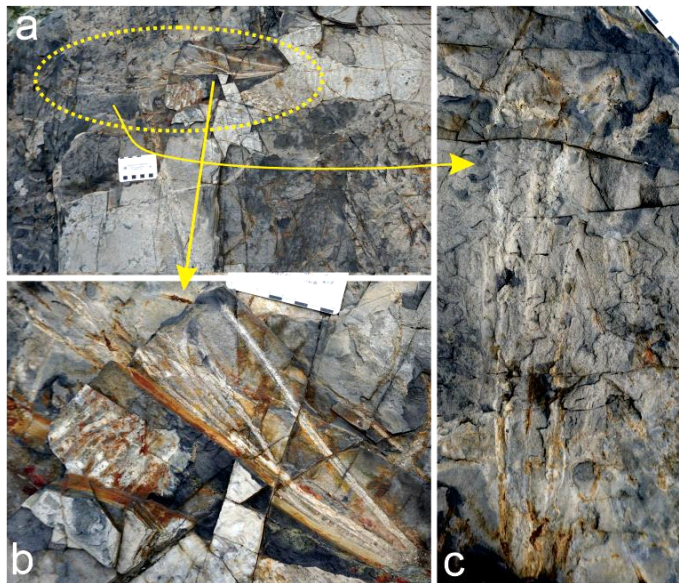


Fig. 8. An overall view (dotted circle) of *Frenelopsis* type fossil preserved in the interlamated to very thin-interbedded fine-grained sandstone to siltstone and mudstone facies associated with wave ripples and desiccation cracks. b and c are closer views of a (arrows).

인 백악기 당시의 고지리적 위치와 지형 특성을 보다 입체적으로 이해하는 데에 특이성과 희귀성이 높은 지질기록임은 물론, 동아시아 지역의 지각 진화 특성을 이해하는 데에도 매우 유용한 단서를 제공해 줄 수 있는 퇴적층이다.

5.2 고환경 측면

전술한 바와 같이, 신평리 해안의 퇴적층에는 후기백악기에 한반도 동남부 지역의 지형과 생태 등의 고환경 특성을 복합적으로 이해하는 데에 유용한 단서가 되는 퇴적기록들이 다양하게 발달해 있다. 즉, 신평리 해안의 퇴적층으로부터 후기백악기에 이 지역에는 지형적으로는 하천과 호수가 발달한 퇴적분지가 존재하였으며, 기후적으로는 건기와 우기가 교호하는 아건조 환경이었음을 지시해 주는 퇴적기록과 고토양 기록들이 잘 나타나 있다. 특히 신평리 해안의 이천리층 퇴적층은 아건조 기후 환경에서 발달하는 ‘하천분산형 퇴적계’ 퇴적층의 특성을 야외에서 직접적으로 관찰하고 이해하는 데에 공간적으로 좋은 조건을 가지고 있다. 따라서 신평리 해안의 이천리층 퇴적층은 후기백악기 당시 일본 지각과 육지로 연결되어 있었던 한반도 동남부 지역의 고지형(호내(intra-arc) 또는 산간(inter-montaine) 분지)과 고기후(아건조) 특성을 이해하는 데에 대표적인 공간으로서의 지질유산적 가치를 가진다.

후기백악기에 한반도의 동남부 지역은 지각의 역동성에 의해 화산활동과 지진활동이 활발히 일어났던 것으로 알려져 있으며, 실제로 이 시기의 한반도 동남부 지역 후기백악기 지층에는 화산과 지진에 의한 지질기록들이 흔히 나타난다. 신평리 해안의 후기백악기 퇴적암층에서도 퇴적 당시에 이 지역에 지진이 간헐적으로 발생했음을 뚜렷이 지시해 주는 지진 기원의 연질변형퇴적구조가 잘 나타난다. 이와 같은 지진 기원의 변형구조는 근래에 경주와 포항에서 발생한 지진 피해와 관련하여, 국내에서도 중요한 관심의 대상이 되고 있다. 따라서 신평리 해안의 백악기 퇴적암 산지는 지진 기원과 비지진(공룡발자국) 기원의 연질퇴적변형구조를 야외 노두에서 비교해 보며 관찰할 수 있는 드문 장소로서의 지질유산적 가치를 가진다.

한편, 신평리 해안의 후기백악기 퇴적암 산지에는 호수 주변부에서의 단기적인 기후변동으로부터 형

성된 윤희퇴적층이 뚜렷이 발달해 있다. 부산의 황령산(Paik *et al.*, 1996; Paik and Kim, 1998), 경남 고성(Paik *et al.*, 2006), 경남 사천시 신수도(So *et al.*, 2007), 전남 여수의 사도와 추도(Paik *et al.*, 2009) 등지의 백악기 호성퇴적층에서도 윤희퇴적층의 발달이 보고된 바 있다. 그러나 이들 지역에서의 윤희퇴적층의 관찰은 접근성, 공간적 범위, 또는 보존 상태 등의 측면에서, 현장에서의 체험적 이해에 어려움이 있다. 따라서 백악기에 한반도에서 일어난 강우량의 변동 등 환경 변화의 반복을 야외 노두에서 비교적 쉽게 관찰할 수 있는 신평리 해안은 호성층에 발달한 윤희퇴적층의 관찰 측면에서 높은 지질유산적 가치를 가진다.

5.3 고생물학적 측면

한반도에 분포한 백악기 지층은 육성환경의 퇴적층으로, 전반적으로 화석의 산출이 흔하지 않다. 이러한 가운데에 국내 백악기 퇴적분지를 대표하는 경상도 지역에 넓게 발달한 경상분지의 퇴적층에서는 이때패류와 복족류 등의 연체동물, 곤충과 개형충, 엽지개 등의 절지동물, 어류 화석 등의 동물화석들이 호성퇴적층에서 제한적으로 나타난다(Yang *et al.*, 2013). 이와 함께 공룡발자국을 비롯하여 새발자국, 익룡발자국, 양서류 발자국, 파충류 발자국 등 다양한 종류의 척추동물 발자국과 무척추동물의 생흔화석이 경상분지 퇴적층에서 산출한다(Kim and Huh, 2018). 아울러 공룡 알껍데기 화석과 뼈 화석 또한 경상분지의 일부 지역과 일부 지층에서 산출한다(Choi and Lee, 2017). 식물화석의 경우, 겉씨식물 화석이 잎과 줄기, 포자 등의 상태로 부분적으로 산출하며, 속씨식물 화석은 매우 드물게 산출한다.

이처럼 비록 풍부하지는 않지만 다양한 종류의 동식물 화석들이 백악기 경상분지 지층에서 산출함에도 불구하고, 이와 같은 화석 산출은 시간적으로는 전기백악기, 공간적으로는 대체로 경남 하동, 사천과 진주 등의 서부 지역과 의성과 대구 일대의 지역에 집중되어 있으며, 상대적으로 후기백악기와 동남부 지역 지층에서의 화석 산출은 매우 제한적으로 알려져 있다. 경상분지 지층 내에서의 이와 같은 화석 산출의 시공간적 차이는 후기백악기에 경상분지 동남부 지역에서의 화산활동 증가에 따른 것이며, 이와 함께 백악기말-신생대초 동안 경상분지 동남부

지역에서의 활발한 화성 활동에 의한 백악기 퇴적층의 열변성 또한 화석의 보존에 악영향을 미친 것으로 판단된다. 특히 부산과 기장 일대의 백악기 퇴적층은 활발한 화산활동과 마그마 관입의 영향을 많이 받은 관계로, 화석의 산출이 매우 드문 지역이다.

이와 같은 백악기 경상분지 화석산출의 환경에서 신평리 해안 퇴적층에서의 화석 산출 특성은 신평리 해안 퇴적층의 지질유산적 가치가 고생물학적 측면에서도 매우 높음을 시사한다. 신평리 해안의 백악기 퇴적층에서 산출한 공룡발자국화석은 기 보고된 공룡발자국화석산지의 것들과 비교하여, 발자국 화석의 양의 측면에서는 상대적으로 빈약한 편이나, 발자국 종류의 다양성과 특이성에 있어서는 일정 부분의 가치를 가진 것으로 평가된다. 이와 함께 한반도 공룡시대의 주요한 시공간적 위치를 가지는 경상분지 동남단 지역의 유천층군 퇴적층에서의 공룡발자국 화석 산출이 매우 드문 점을 고려할 때, 신평리 해안의 후기백악기 퇴적층에서의 뚜렷이 보존된 다수의 조각류와 용각류 공룡발자국 화석의 산출은 한반도 공룡시대의 시공간적 확장성을 이해하는 데에 매우 유용한 학술자료가 된다. 아울러, 경상분지 동측에 위치한 일본의 선백악기 지각이 기원암 역할을 한 퇴적분지에서의 공룡발자국 화석의 산출은 신평리 해안의 퇴적층에서 처음으로 확인된 것으로, 백악기 당시 동아시아 지역에서의 공룡의 지리적 이동 특성을 이해하는 데에도 높은 학술적 가치를 가진다. 이와 함께 공룡발자국 화석이 나타나는 퇴적암층에서 공룡뼈 화석이 함께 산출한 경우는 국내에서 매우 드문 경우로, 공룡뼈의 화석화 환경과 과정을 이해하는 데에 새로운 정보를 제공한다. 한편, 신평리 해안 퇴적층에서 새로이 확인된 구과류의 걸씨식물 화석과 무척추동물 생흔화석 등 또한 한반도 공룡시대 후반부(후기백악기)의 고생태와 고환경을 복원하는 데에 새로운 정보를 제공하는 귀중한 고생물학 자료가 된다.

5.4 문화재(기념물)로서의 가치

이상에서 고찰한 바와 같이, 신평리 해안의 퇴적층은 한반도 공룡시대를 보다 입체적으로 이해하는 데에 매우 유용한 시공간적 정보를 제공해 주는, 지질다양성(퇴적암, 퇴적구조, 화석 등의 요소)이 뛰어난 지질기록체임이 이 연구를 통해서 새로이 확인되

었다. 따라서 이 지역의 지질유산을 지속적으로 보존하고, 이를 토대로 체계적인 사회적 향유가 이루어질 수 있도록 하기 위해서는, 신평리 해안의 공룡발자국 화석산지에 대해 문화재 지정(예: 천연기념물) 등, 제도적인 보호 조치를 취하는 것이 바람직할 것으로 판단되며, 이와 같은 행정 조치의 바탕 위에서 이 화석산지의 자연사 연구와 교육 및 관광 자원으로로서의 가치가 극대화될 수 있을 것으로 여겨진다. 이와 관련하여, 문화재보호법에서 제시된 지질유산의 천연기념물 지정 가치 평가표에 의거하여, 이 연구에서 제시된 평가는 아래와 같다 - 학술적 가치 지표 중 대표성 지표 1(지각의 형성과 관련되거나 한반도 지질 계통을 대표 또는 지질현상을 해석하는데 중요한 가치)과 희귀성 또는 다양성 지표 1(암석의 변성·변형, 퇴적 작용과 관련한 특이한 조식을 가지고 있어 학술적으로 연구할 가치)은 매우 우수(1등급); 학술적 가치 지표 중 대표성 지표 2(각 지질시대를 대표하는 표준화석과 지질시대의 퇴적환경을 해석하는 데 주요한 시상화석으로 학술적으로 연구할 가치)와 3(각 지질시대를 대표하거나 지질시대의 변성·변형, 퇴적 등 지질환경을 해석하는 데 중요한 지질구조로서 학술적으로 연구할 가치) 및 희귀성 또는 다양성 지표 3(발견되는 화석 또는 화석종의 다양성이 뛰어난 화석산지로서 학술적으로 연구할 가치)은 양호(3등급).

6. 사회적 활용 방안

전술한 바와 같이 신평리 해안에 분포한 이천리층의 퇴적층에는 한반도 공룡시대 후반부(후기백악기)의 고지리와 고지형, 고기후, 고생태 등 고환경의 이해에 매우 유용한 단서를 제공해 주는 다양한 지질과 고생물기록들이 공간적으로 압축되어 나타남이 이 연구를 통해 새로이 확인되었다. 신평리 해안 이천리층 퇴적층의 이와 같은 발달 특성은 국내 다른 지역의 백악기 퇴적층 분포지와 비교할 때, 학술 및 교육의 측면에서 뚜렷한 차별성을 가지는 것임은 물론, 이 지역의 뛰어난 접근성과 주변 편의 시설 등의 측면에서 지질관광의 환경 또한 매우 우수하다. 따라서 신평리 해안의 공룡발자국화석산지는 지질교육과 지질관광 등, 사회적 활용의 잠재력이 매우 높은 것으로 판단된다.

6.1 지질 교육

중생대 트라이아스기 초에 출현하여 백악기 말에 자취를 감추기까지, 1억 7천여 만년 동안 지구 위를 지배했던 동물인 공룡은 청소년을 비롯한 일반 대중에게 국내외적으로 많은 관심의 대상이 되고 있다. 우리나라의 경우, 1970년대에 공룡뼈와 공룡알껍데기 화석이 발견되고, 1980년대 초에 공룡발자국 화석이 발견되었으나, 한반도에서의 공룡화석에 대한 대중적 관심이 커지기 시작한 것은 1990년대 후반에 들어서이다. 즉 1990년대 후반에 전남 해남에서 익룡발자국(해남이쿠누스)과 공룡발자국 화석, 경남 하동에서 용각류 공룡뼈 화석(부경고사우루스), 2000년대에 전남 보성과 경기도 화성에서 공룡알과 뼈화석(코리아노사우루스, 코리아케라톱스) 등이 새로이 발견되고, 경남, 경북, 전남, 전북, 충북 등 여러 곳에서 공룡발자국 화석의 발견이 이어지면서 한반도는 백악기 공룡화석 산출과 연구의 중요한 지역임이 확인되었다(Kim and Huh, 2018).

이와 같은 국내 공룡 관련 화석산지의 지역적 확대와 자연사적 가치의 증가 및 한반도 공룡에 대한 대중적 관심의 증가에 발맞추어, 우리나라에서 천연기념물로 지정이 된 한반도 공룡시대 관련 화석산지는 고성 덕명리 공룡발자국 화석산지를 비롯하여 16개에 이른다. 이 중 진주 유수리 화석산지는 화석뿐만 아니라, 백악기 당시 한반도의 지형과 기후, 생태 등을 현장에서 입체적으로 이해할 수 있는 다양한 특성의 지질과 고생물 기록들이 나타남이 특징이다. 이에 따라 이들 공룡화석 산지는 단순히 공룡에 대한 호기심뿐만 아니라, 지형과 지리, 기후, 생태 등 백악기의 고환경과 자연사에 대한 현장 체험교육의 공간으로 활발하게 활용되고 있다(Paik *et al.*, 2010).

부산 지역의 경우, 다대포, 송도, 태종대, 이기대, 백양산 지역 등에 공룡시대의 퇴적암층이 분포해 있으며, 이들 퇴적암층에서 공룡 알껍데기와 뼈 등의 화석이 소량으로 산출한다(Shin, 1997; Paik *et al.*, 2012). 아울러 이들 지역의 퇴적암층에서는 백악기 당시 부산 지역의 지형과 기후 등의 특성을 이해하는 데에 도움을 주는 다양한 특성의 지질기록들이 나타난다. 따라서 이들 지역 또한 한반도 공룡시대 대한 체험교육의 현장으로 활용이 되고 있으나(Kim *et al.*, 2014), 이들 지역은 접근성과 편의성,

안전성 등의 측면에서 다소 제한적인 요소들을 가지고 있다.

이번 연구를 통해 신평리 해안의 백악기 퇴적암층에는 공룡발자국 화석을 비롯하여 다양한 특성의 고생태와 고환경 기록들이 발달해 있음이 새로이 확인되었다. 이들 지질과 화석 기록들은 현장에서의 퇴적암과 지질구조 등에 대한 일반적 내지 전문적인 체험교육의 대상으로 활용될 수 있다. 이와 함께 신평리 해안의 백악기 퇴적암층에 나타나는 다양한 특성의 지질과 고생물 기록들은 부산과 기장 일대에 분포하는 다른 지역의 공룡시대 산지와 비교할 때, 자연사 교육 현장으로서의 조건에서 차별화된 특성을 가지고 있으며, 일부 기록들은 국내 유일의 산출 특성을 가진다. 무엇보다도 신평리 해안의 백악기 퇴적암층 산지는 한반도 공룡시대 후반부의 고생태와 고환경 특성을 좁은 공간에서 관찰할 수 있어, 체험활동의 시간적 효율성 등, 현장체험의 효율성과 안전성에서 자연사 체험학습장으로서의 높은 활용 가치를 가진다.

이와 같은 신평리 해안 백악기 퇴적암 산지가 가지는 교육적 가치를 실행시키기 위해서는 이번 연구 결과를 바탕으로, 해설 책자 제작, 안내판(해설판) 설치, 해설 프로그램 운영(예: 부산시와 기장군 교육청 주관으로 관내 초중등 학생 대상 현장 체험교육 프로그램 운영 등)에 대한 실행계획이 구체적으로 수립되어야 할 것이다. 한편, 신평리 해안의 노두에 대한 직접적인 답사 이전에 이루어지는 현장 전반의 지질특성에 대한 사전 해설을 위한 집합교육의 장소로, 신평소공원 산책로에 현재 설치되어 있는 반원형의 계단식 휴식터(그림 10d)가 효과적으로 활용될 수 있을 것이다.



Fig. 9. Key concept of geotourism.

6.2 지질관광(Geotourism)

최근 세계 각국에서 추진하고 있는 지질유산의 부가가치를 높이기 위한 대표적인 노력의 예가 지질 유산을 관광의 대상으로 삼는 지질관광을 개발하는 것이다. 지질관광이란 특정한 장소에서 지질 및 지형과 관련한 독특한 체험을 즐기며 여행을 하는 것으로, 지질관광의 근본적인 바탕은 광물과 암석, 화

석, 지층 등에 간직된 지구의 사라진 빛, 즉 지구의 과거 모습을 보는 것이다(그림 9). Hose (1995, 2003)는 지질관광을 다음과 같이 정의하였다 - “지질관광이란 청소년을 포함하는 학생이나 일반 관광객들에게 특정한 지질 및 지형이 발달된 장소의 단순한 미적인 측면에서의 관광의 차원을 넘어서 해당 장소의 학술적인 가치와 사회적인 유의성을 이해시키고 해



Fig. 10. Facilities for geotourism around the Sinpyeongri geosite. a. An overall view from southern side to the Sinpyeongri geosite surrounded by the facilities including accommodation, restaurants, cafes, deck trails, gazebo, and rest rooms. b. An overall view from northern side to the Sinpyeongri geosite. c. An observatory deck. Outdoor sports facilities are seen behind the deck. d. Outdoor amphitheater toward the geosite. e. A gazebo behind the geosite. f. Sculptures beside the trail.

당 장소의 보존에 대한 필요성을 인식시키기 위해 적절한 설명자료와 시설을 제공하는 것이다”.

따라서 지질유산의 현장을 방문하는 일반인들에게 그곳의 사라진 빛을 볼 수 있게 하는 지질관광이 현실화되기 위해서는, 다양한 방식의 해설이 필수적이다. 즉 해설 책자와 안내판이 제공되어야 하며, 해설사에 의한 안내 프로그램이 운영되어야 한다. 이와 함께 이들 요소들에 대한 효과적인 안내가 총괄적으로 제공될 수 있는 안내소(방문자센터)가 운영이 되어야 한다. 이와 같은 특성의 지질관광이 성공적으로 운영이 되어, 지역 사회의 발전에 도움이 되기 위해서는 해당 지질유산에 대한 접근성이 매우 중요하며, 아울러 주변의 관광 인프라(도로, 숙박, 식당, 휴게 시설 등) 구축이 필수적인 요소가 된다. 즉, 지질관광이 효율적으로 이루어지기 위해서는 지질이나 지형의 기록 그 자체뿐만 아니라, 해당 지역의 교통 및 숙박 시설을 포함하는 각종 편의시설, 각종 설명시설, 이를 이용하는 관광객들의 정서 등이 서로 조화롭게 이루어져야만 한다(Hose, 2007).

신평리 해안 공룡발자국 화석산지는 주차 장소로부터 지질유산을 바로 접할 수 있는 뛰어난 접근성이 이 지역 지질관광의 큰 장점이다. 아울러 지질유산 주변의 아름다운 해안 경관과 함께, 탐방로와 휴게 공간, 화장실 등이 잘 갖추어져 있다(그림 10). 이와 함께 음식점과 카페 등의 시설도 주위에 적절히 들어서 있다(그림 10). 한편, 현재 운용되고 있는 신평소공원 공영주차장의 주차면수가 부족하므로, 인근 칠암항의 부두 공간을 활용하여 탐방객용 주차장의 확보가 필요하다. 아울러 칠암항 부두 공간에 한반도 공룡시대를 소개하는 전시자료(공룡발자국화석산지 탐방과 연관한 한반도 공룡시대의 화석과 암석, 고환경 체험 등)를 포함한 안내센터의 설치가 필요하다. 또한 지방도로서 신평소공원으로 들어가는 진입부에 공룡발자국 화석산지 안내판의 설치가 필요하다. 이와 같은 관광 인프라를 바탕으로 신평리 해안의 특이성과 희귀성이 높은 지질유산을 대상으로 새로운 관광 요소가 추가된다면, 이곳은 한반도 공룡시대인 중생대 백악기 시간여행의 대표 명소로 부각될 수 있다.

즉 신평리 해안의 공룡발자국 화석산지는 차량을 이용한 뛰어난 접근성과 탐방 공간의 우수한 편의 인프라, 1 내지 2시간 내외 비교적 짧은 시간 동안의

탐방으로 공룡시대의 다양한 이야기를 편리하게 체험할 수 있는 점 등을 강점으로 하여, 부산과 기장 등 동부 경남권의 지질교육과 지질관광의 대표적인 명소로 자리매김할 수 있다. 궁극적으로 신평리 해안의 공룡발자국 화석산지는 뚜렷한 관광 아이템이 부족한 기장군 지역의 상징적인 강소형 관광지로 부상될 수 있으며, 이를 바탕으로 지역사회의 경제 활성화에 실질적인 기여를 할 수 있을 것으로 판단된다.

끝으로 성공적인 지질관광의 운영을 위해서는 대중에게 지질관광지의 정보를 실효적으로 제공할 수 있는 각종 매체를 이용한 홍보가 필수적이다. 신평소공원 화석산지의 경우, 온라인 뉴스와 일부 블로그를 통해 공룡발자국 관련 정보가 소개되어 있다. 그러나 아직까지 신평소공원의 화석산지가 가지는 지질관광의 매력적인 콘텐츠가 대중에게 실효적으로 전달되기에는 많은 부족함이 있다. 따라서 앞으로, 기장군의 웹사이트를 비롯하여 교육과 관광 등 관련 분야의 웹사이트를 활용한 홍보의 확대가 보완되어야 할 것이다.

7. 결 론

- 1) 부산광역시 기장군 신평리 해안에 분포한 후기백악기 이천리층 퇴적층은 건기와 우기가 반복되는 계절성 기후의 영향을 받는 하천분산형 퇴적계에서 호수에 이르는 환경에서의 퇴적산물로 해석되며, 퇴적과정을 통해 때때로 건기가 지속되는 기후조건과 더불어 습윤한 기후가 지배적인 환경과 건조한 기후가 지배적인 환경이 교호된 것으로 해석된다.
- 2) 이 퇴적층에서는 한반도 공룡시대 후반부(후기백악기)의 고지리와 고지형, 고생태, 고기후 등의 고환경을 입체적으로 이해하는 데에 매우 유용한 정보를 제공하는 특이성과 희귀성이 높은 지질과 화석기록들(양방향 사엽층리, 방산층화석 함유 처아트 역, 윤희퇴적층, 지진과 비지진 기원의 연질퇴적변형구조, 공룡발자국 화석, 새발자국 화석, 공룡뼈 화석, 무척추동물 생흔화석, 구과식물 화석 등)이 공간적으로 압축되어 나타남이 새로이 확인되었다.
- 3) 위와 같은 특성의 지질과 고생물 기록의 조합은 부산과 기장 일대 지역의 백악기 퇴적암층

에서는 유일한 경우이며, 한반도 공룡시대의 후반부(후기백악기) 지층인 유천층군 퇴적층에서는 처음으로 확인된 것이다.

- 4) 따라서 신평리 해안의 백악기 퇴적암층 산지는 부산과 기장 일대에 분포하는 다른 지역의 공룡시대 산지와 비교할 때, 지질유산 교육 현장으로서의 조건에서 차별화된 특성을 가지며, 특히 한반도 공룡시대 후반부의 고생태와 고환경 특성을 좁은 공간에서 관찰할 수 있는 현장체험의 효율성과 안전성 측면에서 자연사 체험학습장으로서의 높은 활용 가치를 가진다.
- 5) 이와 함께 신평리 해안의 백악기 퇴적암층 산지는 차량을 이용한 뛰어난 접근성과 탐방 공간의 우수한 편의 인프라, 탐방 시간의 효율성 등을 강점으로 하여, 부산과 기장 등 동부 경남권의 지질교육과 지질관광의 대표적인 명소로 자리매김할 수 있으며, 이를 바탕으로 지역사회 경제 활성화에 실질적인 기여를 할 수 있을 것으로 판단된다.
- 6) 끝으로 신평리 해안의 백악기 퇴적암층 산지는 부산국가지질공원 지질명소의 지질다양성과 공간 확장에 기여함은 물론, 유네스코 세계지질공원으로의 인증과 운영에 실효적인 콘텐츠가 될 수 있을 것이다.

감사의 글

이 연구는 기장군과 한국연구재단 이공학 개인기초연구사업(교육부재원) 과제(NRF-2018R1D1A1B0704187214) 및 행정안전부 극한재난대응기반기술개발사업 과제(2017-MOIS31-006)의 지원에 의해 이루어졌으며, 이에 감사를 드린다. 아울러 이 논문의 완성도를 높이기 위해 유용한 도움말을 주신 두분의 심사위원님과 편집위원님, 그리고 편집위원장님께 감사를 드린다.

REFERENCES

- Bedatou, E., Melchor, R.N., Bellosi, E. and Genise, J.F., 2008, Crayfish burrows from Late Jurassic-Late Cretaceous continental deposits of Patagonia: Argentina: their palaeoecological, palaeoclimatic and palaeobiogeographical significance. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 257, 169-184.
- Chae, Y.W., Ha, S.J., Joo, Y.J., Kang, H.C. and Lim, H.S., 2021, Detrital zircon U-Pb ages of the Upper Cretaceous Dadaepo Formation of the Dadaepo Basin in Busan area, Korea: A preliminary study on the depositional ages and provenance. 2021 Conference of Korean Society of Petroleum and Sedimentary Geology (Abstracts), Daejeon, November 17, p. 24 (in Korean).
- Chang, K.H., 1975, Cretaceous stratigraphy of Southeast Korea. *Journal of Geological Society of Korea*, 11, 1-23.
- Chang, K.H., Woo, B.G., Lee, J.H., Park, S.O. and Yao, A., 1990, Cretaceous and Early Cenozoic stratigraphy and history Eastern Kyongang Basin, S. Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 26, 471-487.
- Cho, H., Kim, J.S., Son, M., Sohn, Y.K. and Kim, I.S., 2011, Petrography and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of volcanic rocks in the Cretaceous Dadaepo Basin, Busan: Accumulation time and correlation of the Dadaepo Formation. *Journal of the Geological Society of Korea*, 47, 1-18 (in Korean with English abstract).
- Cho, H., Son, M., Cheon, Y., Sohn, Y.K., Kim, J.S. and Kang, H.C., 2016, Evolution of the Late Cretaceous Dadaepo Basin, SE Korea, in response to oblique subduction of the proto-Pacific (Izanagi/Kula) or Pacific plate. *Gondwana Research*, 39, 145-164.
- Choi, H.I., 1986, Fluvial plain/lacustrine facies transition in the Cretaceous Sindong Group, south coast of Korea. *Sedimentary Geology*, 48, 295-320.
- Choi, S. and Lee, Y.N., 2017, A review of vertebrate body fossils from the Korean Peninsular and perspectives. *Geosciences Journal*, 21, 867-889.
- 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.
- Dalrymple, R.W., 2010, Tidal depositional systems. In: *Facies Models 4* (eds. James, N.P. and Dalrymple, R.W.), St. John's, Canada, Geological Association of Canada, p. 201-231.
- Dixon, G., 1996, *Geoconservation: an international review and strategy for Tasmania*. Parks & Wildlife Service, Tasmania, 101 p.
- Escapa, I. and Leslie, A., 2017, A new Cheirolepodiaceae (Coniferales) from the Early Jurassic of Patagonia (Argentina): Reconciling the records of impression and permineralized fossils. *American Journal of Botany*, 104, 322-334.
- Flemming, B.W. and Bartholoma, A., 1995, Tidal Signatures in Modern and Ancient Sediments. *International Association of Sedimentologists Special Publication*, 24, 358 p.
- Gierlowski-Kordesch, E.H., 1998, Carbonate deposition

- in an ephemeral siliclastic alluvial system: Jurassic Shuttle Meadow Formation, Newark Supergroup, Hartford Basin, USA. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 140, 161-184.
- Hamilton-Smith, E., 2000, Karst and World Heritage: a view from the Asian-Pacific Region. Paper to Asia-Pacific Forum on Karst Ecosystems and World Heritage, Sarawak, May 2001, 14 p.
- Hasiotis, S.T. and Mitchell, C.E., 1993, A comparison of crayfish burrow morphologies: Triassic and Holocene fossil, paleo- and neo-ichnological evidence, and the identification of their burrowing signatures. *Ichnos*, 2, 291-314.
- Horváth, Z., Michéli, E., Mindszenty, A. and Berényi-Üveges, J., 2005, Soft-sediment deformation structures in Late Miocene-Pleistocene sediments on the pediment of the Matra Hills (Visonta, Atkár, Verseg): Cryoturbation, load structures or seismites?. *Tectonophysics*, 410, 81-95.
- Hose, T.A., 1995, Telling the Story of Stone of Britain's Stone. *Environmental Interpretation*, 10, 16-17.
- Hose, T.A., 2003, Geotourism in England: a two-region case study analysis. Ph.D. Thesis, Department of Ancient History and Archaeology, University of Birmingham.
- Hose, T.A., 2007, Geotourism in Almeria Province, south-east Spain. *Tourism. An International Interdisciplinary Journal*, 55, 259-276.
- Kamata, Y., Hisada, K. and Lee, Y.I., 2000, Late Jurassic radiolarians from pebbles of Lower Cretaceous conglomerates of the Hayang Group, southeastern Korea. *Geosciences Journal*, 4, 165-174.
- Kang, H.-C., Lee, S.-K., Kim, J.-S., Ha, S.M., Cheon, Y. and Son, M., 2014, Structural characteristics and evolution of the Ilgwang Fault, SE Korea. *Annual Conference of the Geological Society of Korea (Abstracts)*, Jeongseon, October 29-November 1, p. 39.
- Ki, 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 Geosciences and Mineral Resources.
- Kim, D.H., Hwang, J.H., Park, G.H. and Song, G.Y., 1998, Explanatory text of the geological map of Pusan sheet (1:250,000). Korea research Institute of Geoscience and Mineral Resources, 62 p (in Korean with English abstract).
- Kim, H.J., Hwang, K.G., Jeong, H.H., Ahn, H.Y., Choi, C.U., Lim, H.S., Choi, T., Chae, Y.-U. and Paik, I.S., 2019, Dinosaur track-bearing deposits in Sagok Formation (Cretaceous) at Sinseong-ri, Cheonsong-gun, Korea: Occurrences and paleoenvironments. *Journal of the Geological Society of Korea*, 55, 495-51 (in Korean with English abstract).
- Kim, H.J. and Paik, I.S., 2001, Sedimentary facies and environments of the Cretaceous Jindong Formation in Goseong-gun, Gyeongsangnamdo. *Journal of the Geological Society of Korea*, 37, 235-256 (in Korean with English abstract).
- Kim, H.J., Paik, I.S., Kim, S. and Lee, H., 2018, Sedimentary facies, paleoenvironments, and stratigraphy of the Haman Formation (Early Cretaceous) in Sopo-ri, Haman-gun, Gyeongsangnam-do, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 54, 1-19 (in Korean with English abstract).
- Kim, H.J., Paik, I.S., Park, J.G., Jeong, E.K., Kim, K.S., Baek, S.K., Seo, Y.G., Kim, Y.S. and Lee, H., 2021, A preliminary study on the occurrences and paleoenvironments of the Cretaceous Icheonri Formation at Sinpyeong-ri Coast, Gijang County, Busan, Korea. 2021 Joint Fall Meeting of Korean Geological Societies and the 76th General Assembly of the Geological Society of Korea, (Abstracts), Jeju, October 26-28, 395 p (in Korean).
- Kim, J.Y. and Huh, M., 2018, Dinosaurs, Birds, and Pterosaurs of Korea: A Paradise of Mesozoic Vertebrates. Springer, 320 p.
- Kim, J.Y. and Paik, I.S., 1997, Origin of Graded cherty beds containing Skolithos ichnosp. from the Cretaceous Yucheon Group in Mt. Hwangryeong Area, Pusan, Korea. *Journal of the Korean Earth Science Society*, 18, 51-59.
- Kim, S., Kang, K., Cho, H., Kim, H.J., Son, M., Paik, I.S., and Kim, J.-S., 2014, Geotourism of the Busan National Geopark, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 50, 43-60 (in Korean with English abstract).
- Koto, B., 1903, An orographic sketch of Korea. *J. Coll. Sci. Imp. University Tokyo*, 19-1, 1-16.
- Lee, Y.S., Nichimura, S. and Min, K.D., 1999, The Phanerozoic apparent polar wander path for the Korean Peninsula and its tectonic implication. In: *Gondwana dispersion and Asian Accretion* (ed. Matcalfe, I.). A.A. Balkema Pub., 197-209.
- Liu, B. and Cai, Y., 2000, An introduction to Earth Sciences. Beijing, Higher Education Press, 368 p (in Chinese).
- Maruyama, S., Isozaki, Y., Kimura, G. and Terabatashi, M., 1997, Paleogeographic maps of the Japanese Islands: plate tectonic synthesis from 750 Ma to the present. *Island Arc*, 6, 121-142.
- Melchor, R.N., Genise, J.F., Buatois, L.A. and Umazano, A.M., 2012, Fluvial Environments. In: *Trace Fossils as Indicators of Sedimentary Environments* (eds. Knaust, D. and Bromley, R.G.), *Developments in Sedimentology*,

- 64, 329-378.
- Mitsugi, T., Ishida, K., Woo, B.-G., Chang, K.-H., Park, S.-O. and Hirano, H., 2001, Radiolarian-bearing conglomerate from the Hayang Group, the Kyongsang Supergroup, southeastern Korea. *Journal of Asian Earth Sciences*, 19, 751-763.
- Moretti, M. and Sabato, L., 2007, Recognition of trigger mechanisms for soft-sediment deformation in the Pleistocene lacustrine deposits of the Sant'Arcangelo Basin (Southern Italy): Seismic shock vs. overloading. *Sedimentary Geology*, 196, 31-45.
- Nichols, G.J. and Fisher, J.A., 2007, Processes, facies and architecture of fluvial distributary system deposits. *Sedimentary Geology*, 195, 75-90.
- Paik, I.S., Kang, H.C., Huh, M. and Yang, S.Y., 2006, Goseong Formation (Yucheon Group) in the southern part of the Gyeongsang Basin, Korea: Occurrences and stratigraphy. *Journal of the Geological Society of Korea*, 42, 483-505 (in Korean with English abstract).
- Paik, I.S. and Kim, H.J., 1998, Subaerial lenticular cracks in Cretaceous lacustrine deposits, Korea. *Journal of Sedimentary Research*, 68, 80-87.
- Paik, I.S. and Kim, H.J., 2006, Playa lake and sheetflood deposits of the Upper Cretaceous Jindong Formation, Korea: Occurrences and palaeoenvironments. *Sedimentary Geology*, 187, 83-103.
- Paik, I.S., Kim, H.J. and Huh, M., 2012, Dinosaur egg deposits in the Cretaceous Gyeongsang Supergroup, Korea: Diversity and paleobiological implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 56, 135-146.
- Paik, I.S., Kim, H.J., Kim, J.Y. and Jin, S.I., 1996, Paleoenvironment of the Cretaceous lacustrine deposits (Yucheon Group), Mt. Hwangyeong, Pusan, Korea. *Journal of the Paleontological Society of Korea*, 12, 119-221.
- Paik, I.S., Kim, H.J. and Lee, Y.I., 2001, Dinosaur track-bearing deposits in the Cretaceous Jindong Formation, Korea: occurrences, palaeoenvironments and preservation. *Cretaceous Research*, 22, 79-92.
- Paik, I.S., Kim, H.J. and Park, J.G., 2018, Bidirectional paleocurrent records in the Jindong Formation of the Gyeongsang Supergroup, Korea: Occurrences and paleoenvironmental implications. *Journal of the Geological Society of Korea*, 54, 321-333 (in Korean with English abstract).
- Paik, I.S., Kim, S.J., Huh, M., Lee, S.J., Kim, H.J. and Lim, J.D., 2010, Touristic Aspects of Geological Heritages- Cretaceous Dinosaur Fossil Sites-. MUMHWAJAE Annual Review in Cultural Heritage Studies, 43, 4-27 (in Korean with English abstract).
- Paik, I.S., Lee, J.D., Kim, I.S., Kim, J.J. and Park, C.W., 1997, Compound calccrete deposits from the Dadaepo Formation in Dusong Peninsula, Pusan: origin, paleoenvironments, and stratigraphic implication. *Economic and Environmental Geology*, 30, 263-275 (in Korean with English abstract).
- Paik, I.S., So, Y.H., Kim, H.J., Lee, H.I., Yoon, H.I., Lim, H.S. and Huh, M., 2009, Rhythmic deposits in the Upper Cretaceous lacustrine deposits at Yeosu area, Korea: occurrences and origin. *Journal of the Geological Society of Korea*, 45, 85-105 (in Korean with English abstract).
- Postma, G., 1983, Water escape structures in the context of a depositional model of a mass flow dominated conglomeratic fan-delta (Abrijoja Formation, Pliocene, Almeria Basin, SE Spain). *Sedimentology*, 30, 91-103.
- Reineck, H.E. and Singh, I.B., 1980, *Depositional Sedimentary Environments*. Springer-Verlag, New York, 549 p.
- Retallack, G.J., 1990, *Soils of the Past. An Introduction to Paleopedology*. Unwin Hyman, Boston, 520 p.
- Semeniuk, V. and Semeniuk, C.A., 2001, Human impacts on globally to regionally significant geoheritage features of the Swan Coastal Plain and adjoining coastal zone, southwestern Australia. In: *Gondwana to Greenhouse: Australian Environmental Geoscience-The Australian Environment* (ed. Gostin, V.), *Australian Journal of Earth Sciences Special Publication*, 21, 181-199.
- Shin, J.J., 1997, *Genesis and Structural evolutionary history of the Dadaepo Basin in Pusan, Korea*. Ph.D. Thesis, Pusan National University, Busan, 100 p (in Korean with English abstract).
- Smoot, J.P. and Lowenstein, T.K., 1991, Depositional Environments of Non-Marine Evaporites. In: *Evaporites, Petroleum and Mineral Resources* (ed. Melvin, J.L.), *Developments in Sedimentology*, 50, 189-347.
- So, Y.H., Paik, I.S., Kim, H.J. and Kim, S.J., 2007, Cyclic deposits in the Haman Formation (Cretaceous) of the Gyeongsang Supergroup at Sinsu Island, Sacheon, Korea: Occurrence and origin. *Journal of the Geological Society of Korea*, 43, 1-19 (in Korean with English abstract).
- Son, C.M., Lee, S.M., Kim, Y.K., Kim, S.W. and Kim, H.S., 1978, Explanatory text and Geological map of Dongrae and Weolnae sheets (1:50,000). *Korea Research Institute of Geoscience and Mineral Resources*, 27 p (in Korean with English abstract).
- Tanner, L.H. and Lucas, S.G., 2006, Calcareous paleosols of the Upper Triassic Chinle Group, Four Corners region, southwestern United States: Climatic implications. In: *Paleoenvironmental Record and Applications of Calcrete and Palustrine Carbonates* (eds., Alonso-Zarza, A.M. and Tanner, L.H.), *Geological Society of America Special Paper*, 416, 53-74.
- Um, S.H., Choi, H.I., Son, J.D., 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, 124 p (in Korean with English abstract).

Watson, J., 1977, Some lower Cretaceous conifers of the Cheirolepidiaceae from the U.S.A and England. *Palaontology*, 20, 715-749.

Yang, S.Y., Kim, J.Y., Paik, I.S., Yoon, C.S., Lee, K.C., Lee,

D.C., Lee, Y.G., Lim, J.D., Chun, H.Y. and Huh, M., 2013, Megafossils of Korea. The Paleontological Society of Korea, Academy book, 426 p (in Korean).

Received : December 11, 2021

Revised : January 17, 2022

Accepted : January 24, 2022