

## 경남 하동군 양포리 해안의 하산동층에 발달한 호성퇴적층: 산상, 고환경 및 층서

백인성<sup>1,2,\*</sup> · 김현주<sup>1,2</sup> · 김영석<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>부경대학교 지구환경과학과

<sup>2</sup>부경대학교 활성단층 및 지진재해저감연구소

### 요 약

이 연구에서는 경남 하동군 진교면 양포리 해안의 하산동층 중부 퇴적층에 발달한 호성퇴적층을 대상으로 이 퇴적층의 고환경과 층서적 의미를 분석하였다. 연구 지역의 퇴적층은 하산동층의 암층서적 특징인 붉은색 퇴적층이 부재한 가운데, 전반적으로 회색 내지 암회색질을 띠는 괴상의 중립 내지 세립사암, 판상엽층리가 발달한 세립사암, 판상 내지 사엽층리가 발달한 세립사암, 엽층으로 발달한 실트스톤과 이암의 호층, 세일질이 암 등으로 구성된다. 아울러 이 퇴적층은 전반적으로 균일한 층리를 이루며, 호안에서 천호저 기원의 파도 연흔, 스트로마톨라이트, 복족류패각화석층, 무척추동물 생존화석 등이 나타난다. 이와 같은 연구지역 퇴적층의 전반적인 퇴적 특성에 의해 이 퇴적층은 호성 기원으로 해석된다. 한편 천호저 기원의 세일질이암층에는 구조 운동 기원의 균열이 나타난다. 연구 지역을 비롯한 하동 지역의 하산동층 중부에 나타나는 복족류패각화석층이 발달한 호성퇴적층에 대해 암층서 단위인 ‘양포리층원’으로의 설정을 제안한다. 양포리층원의 표식지역은 ‘경남 하동군 진교면 양포리 해안’이며, 원표식층(Holostratotype)은 부분표식층(Component stratotype)의 성격을 띠는 이 연구에서 제시된 호성퇴적층이다. 양포리층원은 경상누층군 내에서 스트로마톨라이트가 처음으로 나타나는 층원으로, 하산동층의 퇴적 시기(엠티안-앨비안)에 알칼리성 호수를 발달시킨 건조 기후가 경상분지 내에서 본격적으로 영향을 미치기 시작했음을 시사하는 층서적 의미를 가진다.

**주요어:** 하산동층, 호성퇴적층, 고환경, 암층서, 양포리층원

**In Sung Paik, Hyun Joo Kim and Young-Seog Kim, 2021, Lacustrine deposits of the Hasandong Formation at Yangpori Coast, Hadong County, Gyeongsangnam-do, Korea: Occurrence, paleoenvironments, and stratigraphy. Journal of the Geological Society of Korea. v. 57, no. 5, p. 629-647**

**ABSTRACT:** The lacustrine deposits in the middle part of the Hasandong Formation at Yangpori coast, Hadong County, Gyeongsangnam-do, Korea, have been studied in the aspects of paleoenvironments and stratigraphic implications. The examined deposits are gray to dark gray and lacking in red beds. They consist of massive medium- to fine-grained sandstone, planar-laminated fine-grained sandstone, planar- to cross-laminated fine-grained sandstone, interlaminated to interbedded siltstone and mudstone, and shaly mudstone. They are even-bedded, and wave ripples, stromatolites, gastropod shell-bearing deposits, and invertebrate burrows formed in lake shore to shallow lake are present in these deposits, indicating that they are lacustrine deposits. Tectonically induced cracks were formed in the sublacustrine shaly mudstone beds. The lithostratigraphic unit, ‘Yangpori Member’ is newly suggested for the gastropod shell deposit-bearing lacustrine beds in the middle part of the Hasandong Formation in Hadong region including study area. The Type area of the Yangpori Member is the coastal area of Yangpori, Jingyo-myeon, Hadong County, Gyeongsangnam-do, Korea. The Holostratotype is the sections of the lacustrine deposits of the study area (Component stratotype). The Yangpori Member is the lithostratigraphic unit in which stromatolites firstly appeared in the Gyeongsang Supergroup. It has stratigraphic significance in that arid climatic conditions began to form alkaline lake in the Gyeongsang Basin during the Hasandong time (Aptian-Albian).

**Key words:** Hasandong Formation, lacustrine deposits, paleoenvironments, lithostratigraphy, Yangpori Member

(In Sung Paik, Hyun Joo Kim and Young-Seog Kim, Department of Earth and Environmental Sciences, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea; In Sung Paik, Hyun Joo Kim and Young-Seog Kim, Active Fault & Earthquake Mitigation Institute, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea)

\* Corresponding author: +82-51-629-6625, E-mail: paikis@pknu.ac.kr

## 1. 서 언

경상남북도에 넓게 분포한 경상분지의 지층이 Koto (1903)에 의해 경상층으로 명명된 이래 경상분지의 지층에 대해서는 Tateiwa (1929), Chang (1975), Choi (1985) 등에 의하여 지층 구분이 이루어졌다. Tateiwa (1929)는 왜관, 대구, 영천 및 경주지역의 조사를 토대로 이 지역의 지층을 시층서적으로 하부로부터 낙동통, 신라통 및 불국사통으로 구분하였다. 그러나 이 지층 구분은 지역이 제한적임은 물론, 각 지층의 지질시대가 명확하지 않은 상태에서의 시층서 구분인 관계로, Chang (1975)은 경상분지 내에서 보다 광범위하게 적용될 수 있는 암층서를 새로이 설정하였다. Chang (1975)은 화산활동 및 심성활동과 관련하여 경상분지의 발달과정을 선화산활동 퇴적기, 화산활동 동시퇴적기, 화산활동 절정기 및 화강암 관입기로 구분하여, 각각에 해당되는 지층단위들을 신동층군, 하양층군, 유천층군 및 불국사 관입암류로 명명하였다. 한편 Choi (1985)는 Chang (1975)에 의해 구분된 각각의 지층들이 경상분지의 발달과정을 통한 조구조운동, 기후변동 및 화산활동에 의하여 지배된 것으로 해석하여 각 지층들 간의 구분이 육성 퇴적분지 내에서의 퇴적환경의 차이를 바탕으로 이루어질 수 있음을 제안하였다.

한편 Um *et al.* (1983)은 Chang (1975)의 암층서를 기준으로, 경상분지 내 각 지층들의 전반적인 암질과 퇴적환경의 특성을 정리하였다. 이 보고서에서 경상누층군의 하부층군인 신동층군과 중부층군인 하양층군을 구성하는 지층들의 암층서적 구분 기준은 붉은색 퇴적층의 협재 유무가 주요한 열쇠로 기술되었다. 따라서 일반적으로 붉은색 퇴적층이 협재하는 지층(하산동층, 칠곡층, 함안층 등)은 하성 기원의 퇴적층으로, 붉은색 퇴적층의 협재 없이 회색이 지배적인 지층(진주층과 진동층 등)은 호성 기원의 지층으로 제시되었다.

이와 같은 신동층군과 하양층군 내의 각 지층별 암질과 퇴적환경의 차별적 특성은 큰 틀에서 이들 지층의 암층서적 구분과 대비에 일반적으로 적용된다. 그러나 일부 지층과 지역에서는 각 지층이 가지는 대표 암질과 퇴적환경의 특성이 일치하지 않는 경우가 있음이 근래의 연구 결과에서 제시된 바 있다. 즉, 붉은색 퇴적층이 빈번히 협재하는 하성퇴적

층으로 알려진 하산동층 내에 수십 m 두께의 붉은색 퇴적층을 협재하지 않은 회색질 우세의 호성퇴적층이 발달해 있음이 경남 하동군 금남면 대송리 한치마을 해안의 하산동층 중부 퇴적층에서 보고되었다(Paik *et al.*, 2011). 이와 함께 경남 사천시 신수도에 분포한 함안층의 상부 퇴적층에서는 일반적으로 붉은색 퇴적층이 흔히 협재하는 함안층의 퇴적특성과는 달리 녹회색층과 암회색층으로 이루어진 호수연변부 퇴적층이 수십 m 두께로 나타난다(So *et al.*, 2007). 이는 하산동층과 함안층 내에서의 암층서 세분이 필요함을 시사한다. 이와 함께 경상누층군에 대해 근래에 이루어진 퇴적지질학적 연구들을 통해 새로이 밝혀진 경상분지의 고환경 특성들은 경상분지의 층서에 대한 보다 발전적인 이해와 해석이 필요함을 시사한다(Chough and Sohn, 2010; Paik *et al.*, 2018).

이러한 맥락에서, 이 연구에서는 경남 하동군 진교면 양포리 발꾸미 해안의 하산동층 중부 퇴적층에 발달한 호성퇴적층을 대상으로(그림 1) 이 퇴적층이 가지는 암층서적 의미에 대한 분석이 이루어졌다. 이 지역의 하산동층 퇴적층은 붉은색 퇴적층의 협재 없이 회색 내지 암회색의 퇴적층이 수십 m 두께를 이루며 발달한다. 이 퇴적층은 전반적으로 균일한 층리를 이루며, 파도 연흔, 스트로마톨라이트, 복족류패각화석의 산출 등이 수반되어 하성 기원으로 대표되는 하산동층의 퇴적 특성과는 전혀 다른 산상을 보인다. 이와 함께 이 퇴적층에서는 구조운동 기원의 균열구조가 수반되는 것이 특징이다. 따라서 이 연구에서는 이 지역 호성퇴적층의 산출 특성을 기술하고, 이를 토대로 이 퇴적층의 고환경과 층서적 의미를 해석하였다.

## 2. 지질 개관

연구 지역은 지형적으로 썰물 때에 발꾸미 해안과 종교섬이 연결되는 육계도가 발달한 지역으로, 1:50,000 한국지질도 남해도폭(Chang *et al.*, 1989)에 포함된다. 이 지역의 퇴적층은 암층서적으로 신동층군 하산동층의 중부에 해당하며(그림 1), 1 m 내의 두께의 중성암상(관입)이 나타난다. 하산동층은 Tateiwa (1929)에 의해 왜관도폭에서 명명되었으며, 진주 주변 지역의 여러 도폭들에서는 ‘마동층’이란 명칭이

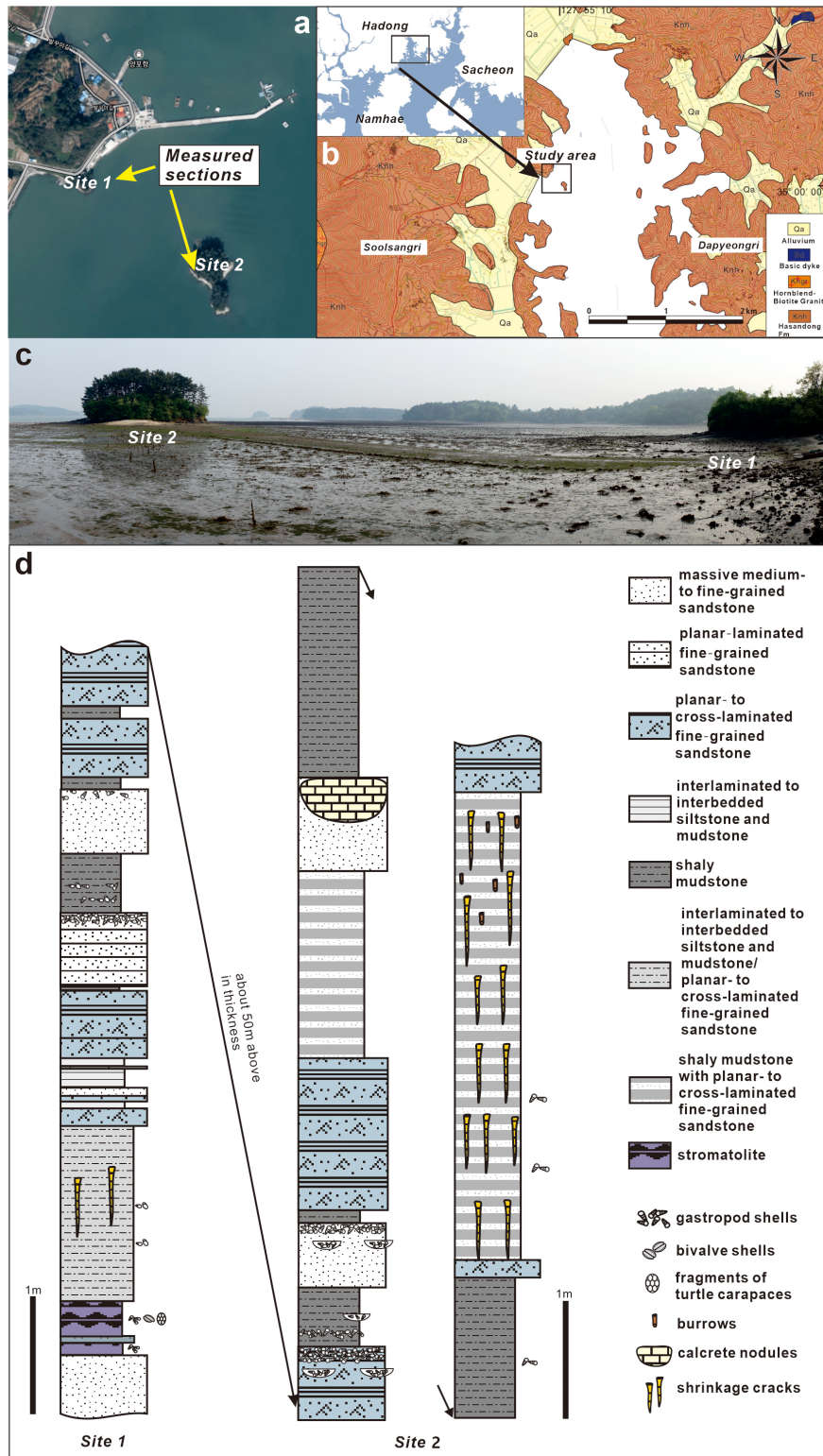


Fig. 1. Location (a), geological map (Chang *et al.*, 1989) (b), overview (c), and stratigraphic sections (d) of study area.

사용되었다(Kim *et al.*, 1969; Kang and Park, 1975). 하산동층의 상한과 하한은 각각 붉은색 층의 출현과 소멸 층준으로 설정되어 있으며, 층후는 지역에 따라 640~1,300 m로 변화한다(Um *et al.*, 1983).

일반적으로 하산동층은 고굴곡하천의 사행과 범람 및 유기의 결과로 이루어진 하도퇴적층, 하도 주변의 범람원퇴적층, 독터짐(crevasse splay/channel) 퇴적층, 범람원호소퇴적층 등으로 구성되어 있으며, 사질로 이루어진 하도퇴적층과 이질 우세인 범람원 퇴적층의 교호가 하산동층의 대표적인 퇴적특성으로 알려져 있다(Um *et al.*, 1983; Choi, 1985; Paik and Lee, 1994). 이와 함께 하산동층은 경상누층군의 지층 중 석회질고토양의 발달이 가장 현저한 지층이며, 버티졸 고토양이 흔히 수반되어 있어, 하산동층 퇴적시기의 전반적인 기후조건은 아건조 기후로 해석되었다(Paik and Kim, 1995; Paik, 1998; Paik and Lee, 1998). 따라서 하산동층은 하위의 낙동층 및 상위의 진주층과 구성 암석 및 퇴적환경의 특성에서 일반적으로 구분된다(Um *et al.*, 1983; Choi, 1985). 이와 같은 하산동층의 암층서적 특성에도 불구하고, 하동지역 하산동층의 중부에는 붉은색 퇴적층을 협재하지 않은 암회색 우세의 호소 내지 호수 기원의 퇴적층이 수십 m 두께로 발달해 있음이 보고된 바 있다(Paik *et al.*, 2011). 따라서 하산동층 내 호수퇴적층에 대해서는 암층서적으로 하산동층 내의 층원 또는 렌즈층으로의 설정에 대한 검토가 필요할 것으로 여겨진다.

한편 하산동층에서는 공룡의 뼈와 이빨, 알화석, 익룡뼈와 발자국 화석, 악어 두개골 화석, 거북 배갑 화석, 물고기 화석 등 다양한 척추동물 화석들의 산출이 보고되었다(Yun and Yang, 1997; Paik, 2000; Dong *et al.*, 2001; Lee, 2007, 2008, Lee and Lee, 2007; Park *et al.*, 2020). 무척추동물 화석의 경우 복족류 및 이매패류의 화석이 산출되며(Yang, 1989; Lee *et al.*, 1990; Yun and Yang, 2001; Yun *et al.*, 2005), *Skolithos*, *Diplocraterion*, *Beaconites*, *Planolites*, *Taenidium* 등의 생흔화석이 산출된다(Kim and Paik, 1997; Kim *et al.*, 2002). 이와 함께 양치류와 소철류 등의 겉씨 식물 화석이 드물게 산출된다(Kim *et al.*, 2016). 한편, 연구 지역인 발꾸미 지역을 포함한 양포리 해안가는 *Brotopsis wakinoensis*로 분류된 비해성 복족류 화석과 *Plicatounio nakdongensis*로 분류된 이매패 화

석의 모식산지이다(Kobayashi and Suzuki, 1936). Yang (1989)과 Lee *et al.* (1990)은 양포리 해안가의 하산동층 퇴적층에서 복족류 화석과 *P. nakdongensis*를 기재하였다.

하산동층의 지질시대는 윤조류 화석에 의해 바레미안(Barremian, 129.4-125.0 Ma)에서 호터리비안(Hauterivian, 132.6-129.4 Ma)의 시기로 대비되었으나(Seo, 1985), 근래에 이루어진 절대연령 측정 연구결과와 고지자기 자료는 앵티안(Aptian, 125.0-113.0 Ma)에서 엘비안(Albian, 113.0-100.5 Ma) 초의 시기를 나타낸다(Kim *et al.*, 2005; Sano *et al.*, 2006; Lee, Y.I. *et al.*, 2010; Kang and Paik, 2013; Lee, T.-H. *et al.*, 2018). 한편 Paik *et al.* (2020)은 경상분지 남서부 지역의 하산동층 하부 퇴적층과 경상분지 북서부 지역의 낙동층 최상부 퇴적층에서의 특이성과 희소성이 매우 높은 쇄설기원의 크롬운모 산출을 바탕으로 경상분지 북부 지역의 낙동층 최상부와 남부지역 하산동층의 최하부가 시층서적으로 대비될 수 있음을 제시하였다. 따라서 왜관 지역의 낙동층 상부에서 비교적 한랭하고 습한 기후조건으로부터 온난하고 건조한 기후조건으로 변화되는 퇴적 및 식물화석 기록이 함께 나타남은 경상분지 북부에서는 낙동층과 하산동층의 경계부 시기가 앵티안과 엘비안의 경계부일 수 있음을 시사한다(Paik *et al.*, 2018).

### 3. 퇴적층 산상

연구 지역인 양포리 해안가의 퇴적층은 N65°E 내외의 주향과 남동측으로 10° 내외의 경사를 보인다. 이 지역의 하산동층 퇴적층은 해안가인 발꾸미 지역과 해안에서 남동쪽으로 약 200 m 거리에 위치한 무인섬인 종고섬에 단속적으로 노출되어 있으며, 종고섬에 노출된 퇴적층의 하부는 발꾸미 해안 퇴적층의 상부보다 상위 50 m 내외에 해당한다(그림 1). 발꾸미 해안가와 종고섬의 퇴적층에는 하산동층의 암층서적 특성인 붉은색 퇴적층이 나타나지 않으며, 전반적으로 담회색, 회색, 암회색 등을 띠는 셰립 사암, 실트스톤, 이암 등이 발달해 있다. 아울러 이질 퇴적층 내에 하도 기원의 렌즈상 사암이 흔히 수반된 하산동층의 일반적인 퇴적 특성 또한 나타나지 않으며, 전반적으로 균일 층리가 발달함이 특징이다. 이처럼 하성기원의 하산동층 퇴적층과는 다른 특성을



보이는 연구지역 퇴적층의 발달 특성은 다음과 같다.

### 3.1 퇴적상

연구 지역의 퇴적층은 전반적으로 괴상의 중립 내지 세립사암, 판상엽층리가 발달한 세립사암, 판상 내지 사엽층리가 발달한 세립사암, 엽층으로 발달한 실트스톤과 이암의 호층, 세일질이암 등으로 구성된다(그림 1d). 이와 함께 두 가지 암상의 교호로 특성화시킬 수 있는 두 개의 암상(연흔이 발달한 세립사암이 협재된 세일질이암, 판상 내지 사엽층리가 발달한 세립사암과 엽층으로 발달한 실트스톤과 이암의 호층이 교호하는 퇴적층)과 스트로마톨라이트(Lee and Paik, 1988) 등이 나타난다.

괴상의 중립 내지 세립사암은 세일질이암층 사이에 10 cm 내지 70 cm 내외의 두께를 가지며 발꾸미 해안과 종고섬의 퇴적층에서 간헐적으로 나타난다. 이들 사암은 대체로 석회질의 기질을 가지며, 사립들의 대부분은 석영립들이다. 이 석영립들은 대체로 직소광을 보이며, 아각 내지 아원상의 원마도를 가진다. 아울러 전반적으로 타형이 주를 이루나 부분적으로 반자형의 석영립들이 나타난다. 발꾸미 해안 퇴적층의 상부와 종고섬 퇴적층의 하부에 발달한 이 퇴적상에는 복족류 패각화석(*Brotiopsis wakinoensis*) 이 산출된다(그림 2a, 2b).

괴상의 사암 내에 함유된 복족류 패각화석들은 단일 사암층 내에서 상부에 산출되는 특성을 보인다(그림 2a). 발꾸미 해안의 패각화석 함유 사암층 내에서는 최상부 수 cm 내외의 층준에 산재한 상태로, 종고섬 사암층에서는 최상부 5 cm 내외의 층준에 렌즈상 또는 연속된 층의 양상으로 산출된다. 패각화석들은 완형이 주를 이루나, 파편상으로도 나타난다. 이들 패각화석들은 대체로 성층면을 따라 평행한 방향으로 놓여 있으나, 성층면에 경사하거나 수직 방향 등 뒤섞여 있는 산상을 보인다(그림 2b). 아울러 성층면에서 이들 패각화석들의 장축 방향에 의한 정향 배열 또한 뚜렷하지 않은 편이다. 한편 패각부는 전반적으로 재결정화되었는데, 재결정 광물은 방해석과 돌로마이트이며, 부분적으로 규화된 경우도 드물지 않게 나타난다. 패각의 내부는 스페라이트(sparite)로 이루어져 있거나, 상부는 스페라이트로 하부는 퇴적물(석영사립과 실트, 패각편, 미크라이트 등)로 채워진 지오펀탈 조직(geopetal fabric)

이 흔히 관찰된다.

판상엽층리가 발달한 세립사암은 50 cm 내외 두께의 층을 이루며 발꾸미 해안 퇴적층의 중상부에 나타난다. 이 세립사암 내의 상부에는 복족류 패각화석들이 얇은 층을 이루며 밀집되어 산출됨이 특징이며(그림 2c), 이 사암층 내의 패각화석 산출물 바로 위에는 박층의 점토암이 발달해 있다. 이와 함께 이 패각화석층의 하부에는 생흔에 의해 수평엽층리가 교란된 형태가 관찰된다(그림 2d). 이 패각화석층은 연구 지역 하산동층 퇴적층 내에 발달한 복족류 패각화석층의 가장 대표적인 화석층으로, 이 패각화석들은 노출된 성층면에서 최소 수십 cm 이상의 폭을 이루며 나타난다. 아울러 이 패각화석층은 이 지역에 노출된 퇴적층의 연장 범위에서 최소 30 m 이상의 길이를 가지며 측방으로 연장되어 나타난다.

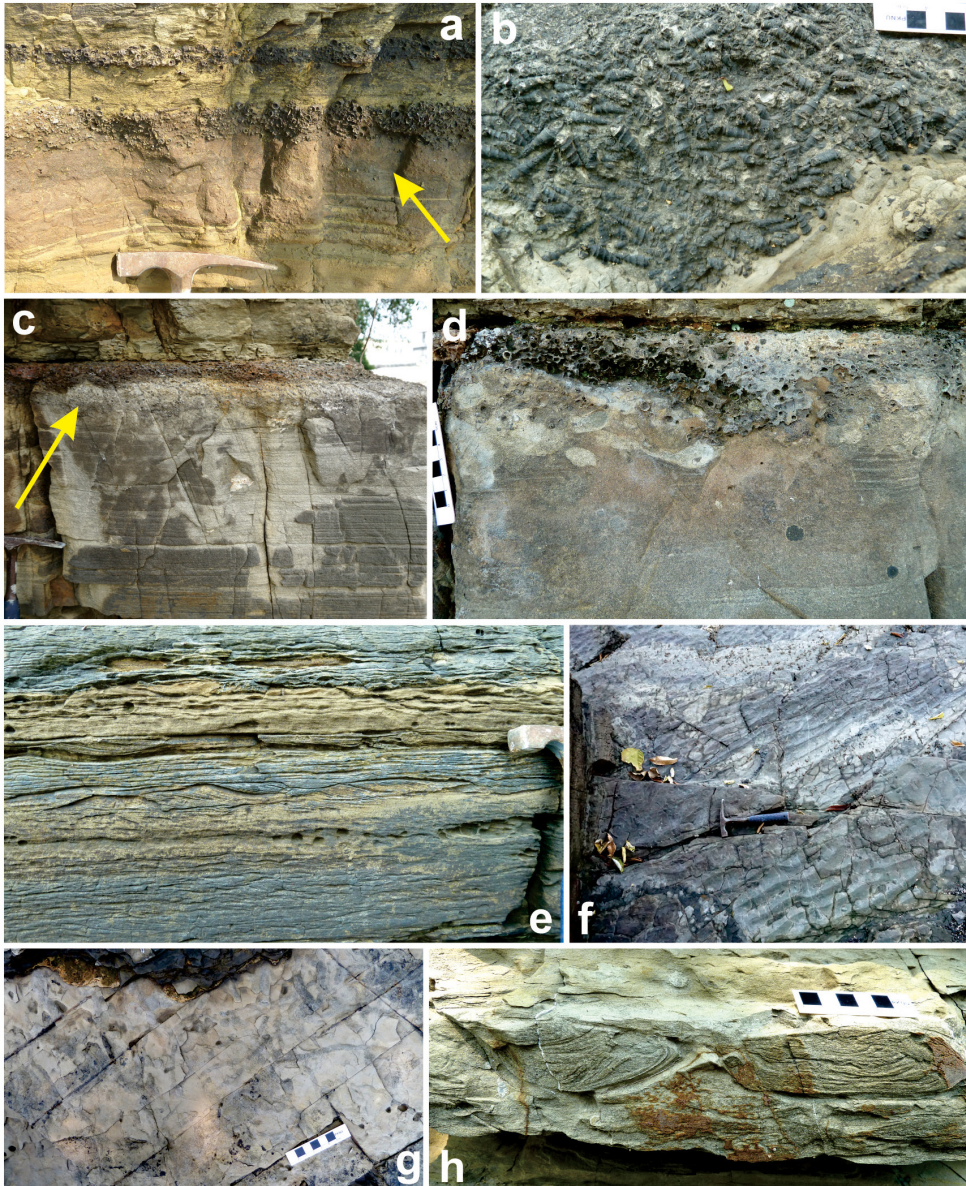
판상 내지 사엽층리가 발달한 세립사암은 발꾸미 해안과 종고섬의 퇴적층에 간헐적으로 나타난다. 대체로 이 사암의 단위퇴적층은 하부로부터 판상엽층리에서 저각도의 사엽층리로 접이하는 얇은층 내지 중간층 두께의 세립사암으로 발달한다(그림 2e). 이 사암층의 반복에 의해 10 cm 내지 1 m 내외 두께의 사암 퇴적층이 나타나며, 이 퇴적층에서는 파상 내지 사구상의 층리가 부분적으로 발달한다. 이 세립사암의 성층면에서는 파도연흔이 흔히 나타난다(그림 2f). 연흔의 파고는 전반적으로 1 cm 이하이며, 파장은 보통 3~5 cm이나, 7 cm에 이르는 경우도 관찰된다. 연흔정선의 형태는 대체로 직선 내지 아곡선상을 보이며, 이분지의 양상이 나타난다(그림 2f). 연장성이 양호한 아직선형의 연흔에서는 간섭연흔이 국부적으로 나타나며, S자형 연흔에서 이중의 연흔정선이 관찰된다. 연흔정선들의 방향은 대략 북북서-남남동 방향이며 반복되는 수매 층준에서 거의 동일한 방향성을 나타낸다. 한편 이 사암을 얇게 덮은 이질층의 표면에서는 스코예니아(*Scoyenia*) 생흔화석상이 나타난다(그림 2g). 이와 함께 이 사암층에서는 진주층의 사암층에서 보고된 액상화 기원의 연질퇴적변형구조(Lee *et al.*, 2010)와 유사한 특성을 보이는 변형구조가 부분적으로 나타난다(그림 2h).

발꾸미 해안 퇴적층의 하부와 중부에는 실트스톤과 이암이 엽층리를 이루며 교호하는 퇴적층이 나타나며, 이 퇴적층에서는 파도연흔, 건열, 스킨리소스(*Skolithos*) 생흔 등이 관찰된다. 발꾸미 해안 퇴적층

의 하부에는 이 퇴적층과 판상 내지 사엽층리가 발달한 세립사암이 교호한 퇴적층이 약 1.5 m 두께로 나타난다.

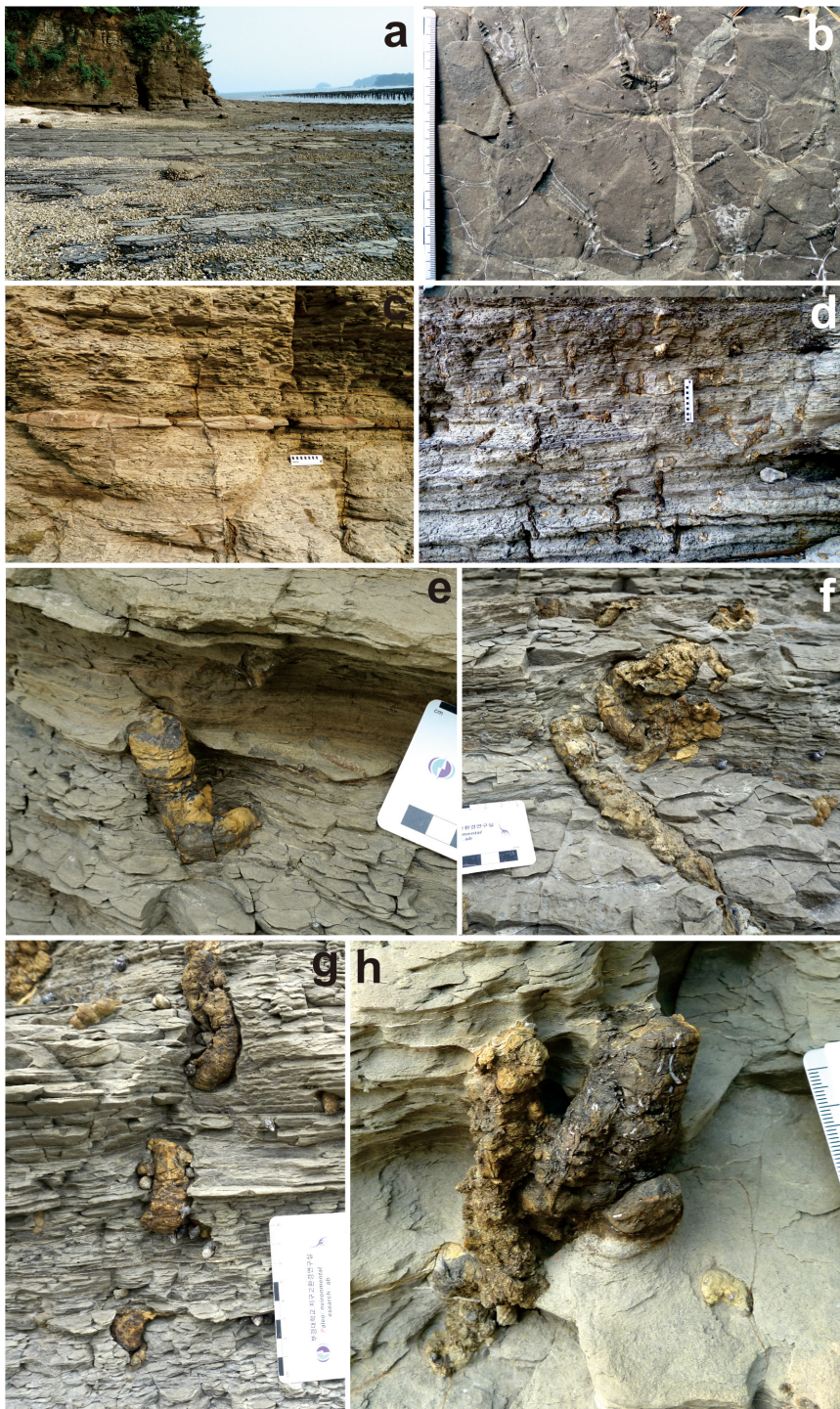
세일질이암은 전반적으로 암회색 내지 흑색을 띠

며, 발꾸미 해안과 종고섬의 퇴적층에 간헐적으로 나타난다(그림 3a). 이 세일질이암층에서는 완형 내지 파편상의 복족류 패각화석들이 렌즈상 내지 산재한 상태로 산출된다(그림 3b). 발꾸미 해안 퇴적층의



**Fig. 2.** Occurrences of the sandstone lithofacies in study area. a. Massive medium- to fine-grained sandstone bed (arrow) with gastropod shell deposit. b. Random orientation of the gastropod shells (planar view). c. Planar-laminated fine-grained sandstone bed with gastropod shell deposit (arrow). d. Bioturbation below the gastropod shell deposit in the planar-laminated fine-grained sandstone bed. e. Planar- to cross-laminated fine-grained sandstone beds. f. Sublinear to subsinuous wave ripples on the planar- to cross-laminated fine-grained sandstone beds. Bifurcation of the ripples occurs in places. g. *Scoyenia* ichnofacies formed on the planar- to cross-laminated fine-grained sandstone bed. h. Soft sediment deformation structures observed in the planar- to cross-laminated fine-grained sandstone bed.





**Fig. 3.** Occurrences of the shaly mudstone lithofacies in study area. a. Outcrop view showing the repeated occurrence of shaly mudstone beds. b. Intercalation of ripple-bedded fine-grained sandstone bed (above scale). c. Scattered gastropod shells seen on the shaly mudstone bed. d. Colonial occurrence of invertebrate burrows in the shaly mudstone beds. e-h. Diverse shapes of the burrows. J-shaped burrow (e), spiral burrow (f), S-shaped burrow (g), and *Ophiomorpha* type burrow (g).

하부와 종고섬 퇴적층의 중부 및 상부에 발달한 세일질이암층 내에는 수 cm 두께의 판상 내지 사엽층리가 발달한 세립사암이 간헐적으로 협재한 특성의 퇴적층이 나타난다. 이 세립사암층의 단면에서 유수 연흔의 구조가 나타나며, 북에서 남으로 경사하는 사엽층리가 관찰된다(그림 3c). 한편 종고섬 퇴적층 상부에 발달한 약 4 m 두께의 이 세일질이암 퇴적층에서는 구조운동 기원의 균열이 발달함이 특징이다.

이와 함께 이 퇴적층 내의 상부 층준(1 m 내외 두께)에는 관형의 무척추동물 서관구조(직경 1-2 cm 내외)가 산재되어 나타난다(그림 3d). 이들 서관구조는 대체로 층리에 수직인 방향으로 발달하며, 직선형, J형, 나선형, S자형 등 다양한 형상을 가진다(그림 3e, 3f, 3g). 일반적으로 서관구조 개체들은 독립적으로 나타나나, 일부에서는 2 내지 3개에서 군집한 경우까지 다양하게 나타난다. 이들 서관구조는 전반적으로 이질 퇴적물로 채워져 있으며, 부분적으로 석회화되어 있다. 이들 서관구조를 만든 동물의 종류는 발달 형태와 크기로 미루어 갑각류(de Gilbert *et al.*, 2013)나 환형동물(Bowen and Hembree, 2014) 등에 의한 것으로 추정되나, 이에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다. 이와 함께 일부 서관구조들에서는 표면에 작은 혹들이 장식되어 있어, 갑각류에 의한 서관구조인 *Ophiomorpha* (Frey *et al.*, 1978)의 특성을 보인다(그림 3h).

### 3.2 스트로마톨라이트

발꾸미 해안가 퇴적층의 하부에 발달한 암회색 세일질 이암층 내에는 스트로마톨라이트가 집중되어 나타난다. 이들 스트로마톨라이트는 북동-남서 방향으로 발달한 발꾸미 지역 조간대 상부 해안(길이 90 m 내외)을 따라 대상의 분포를 이루며 산출된다(그림 4a). 이들 스트로마톨라이트의 대부분은 탄화목 또는 탄질층을 핵으로 하여 대체로 돛형으로 발달해 있으며, 표면에서의 형태는 대부분 타원형이고(그림 4b) 일부는 신장형이다(그림 4c, 4d). 타원형의 크기는 직경이 작게는 20 cm에서 크게는 180 cm에 이르고, 두께는 수 cm에서 수십 cm이다. 신장형의 경우는 길이가 최대 320 cm, 폭은 35 cm를 가지며, 장축 방향은 대체적으로 북서방향으로, 스트로마톨라이트의 분포대 방향을 가로지르는 방향으로 나타난다. 일부에서는 3개의 신장형 스트로마톨라이트들이 대체로 평

행하게 놓여 있는 산상이 나타난다(그림 4d). 스트로마톨라이트들은 전반적으로 불연속적인 패치(patch)상의 분포를 보이며, 각 스트로마톨라이트들 사이의 간격은 수 cm 내지 수 m로 나타난다. 한편 이 해안의 북동측에서 남서측으로 가면서 스트로마톨라이트의 발달 규모가 대체로 감소하는 경향이 나타난다.

이 지역 스트로마톨라이트들의 표면구조는 전반적으로 구근상(bulbous) 또는 망상의 능선(ridge) 형태를 보이며(Shepard and Summer, 2010)(그림 4e), 일부 스트로마톨라이트에서는 하부는 구근상, 상부는 망상의 능선 양상을 갖는 수직적 변화를 보이기도 한다. 이와 함께 수직상 성장부의 풍화표면에서는 작은 혹들의 형상이 나타나 소위 'swallow-nest' (Leinfelder and Hartkopf-Fröder, 1990)의 특성을 띤다(그림 4f).

스트로마톨라이트 내부에 발달한 엽층리구조는 대체적으로 스페라이트질의 엽층(50-200  $\mu\text{m}$ 의 두께)과 마이크로이트질 엽층(10  $\mu\text{m}$  미만)의 호층에 의해 이루어진다. 스페라이트 엽층의 경우 때로 엽층리에 수직 또는 방사상으로 성장된 섬유상조직을 보이기도 하며, 0.1-0.2 mm 크기의 스페라이트로 충전된 켈시스피어(calcisphere)들로 구성되기도 한다(그림 4g). 이와 같은 엽층 구성양상은 호성 스트로마톨라이트에 흔한 남조류로 여겨지는 *Chlorellopsis colniata* head의 엽층 구성 양상(Scholle, 1978)과 매우 유사하다. 한편 이 지역 스트로마톨라이트에는 개형층, 복족류 패각, 거북의 배갑편 등이 부분적으로 수반되어 있으며, 개형층의 경우 패각이 대부분 붙어있고 복족류 패각의 경우는 대부분 스트로마톨라이트 외곽부에서 산출된다. 이와 함께 판상의 스트로마톨라이트 파편(수 cm 크기)들이 스트로마톨라이트 외곽부에 부분적으로 산재한 양상이 관찰된다(그림 4h).

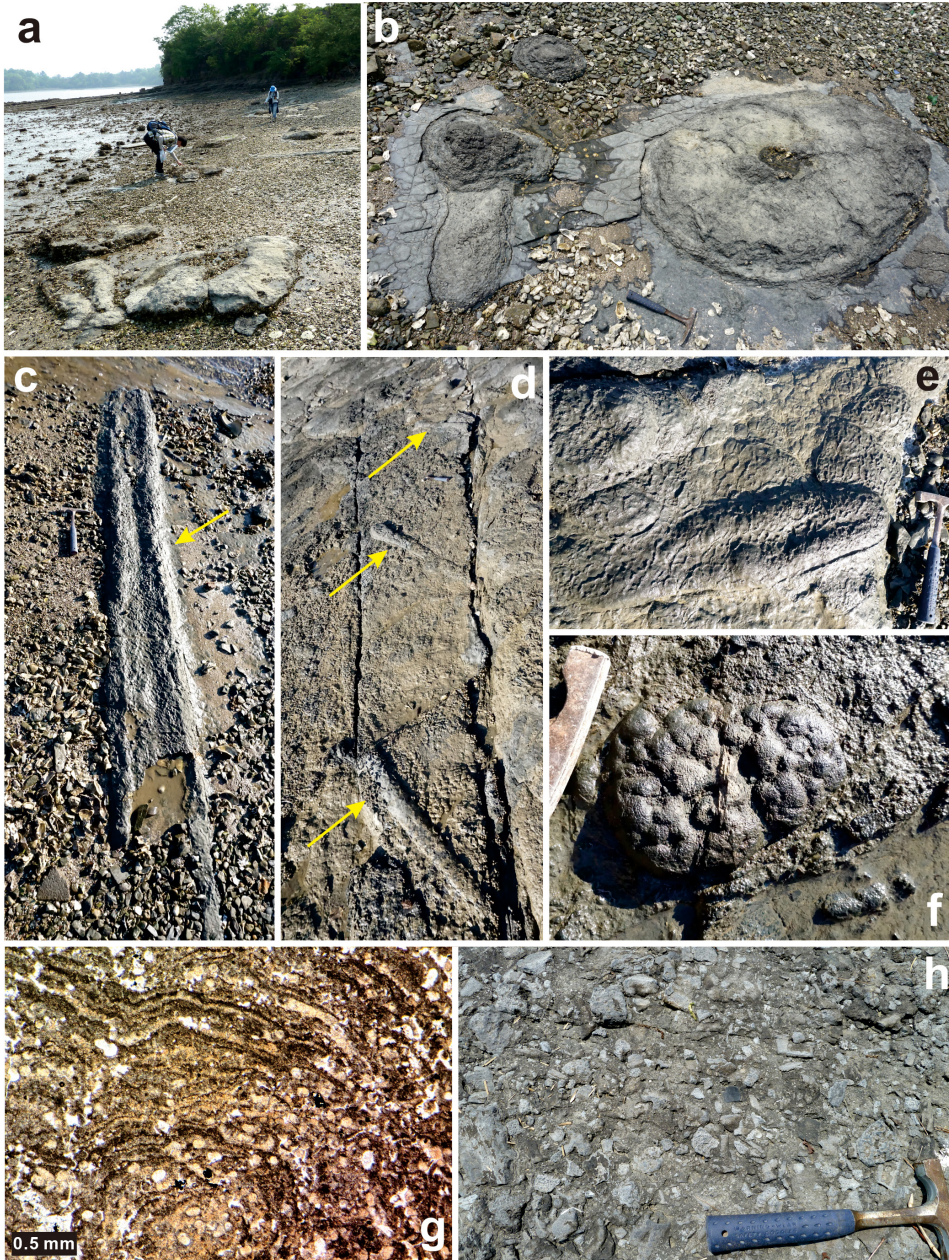
### 4. 세일질이암층 내의 균열

종고섬 퇴적층 상부의, 판상 내지 사엽층리가 발달한 세립사암이 협재된, 세일질이암층에는 특이 형상의 균열들이 나타나며(그림 5a), 이 균열들은 공간적인 분포에 있어서 제한된 산출 특성을 보인다. 수평적 분포의 경우, 균열들은 종고섬 동측부의 퇴적층에 집중적으로 나타나며, 서측으로 가면서 점멸한다. 수직적인 분포의 경우, 종고섬 해당 퇴적층(두께



약 4 m) 내의 하부에서부터 상부층까지 균열들은 수 회 반복하여 나타난다. 성층면에서 균열의 형태는 긴 렌즈상, 불완전 다각형, 다각형 등 다양하게 관찰

된다(그림 5b). 다각상은 수 m의 범위 안에서 삼각형, 사각형, 오각형 등으로 불규칙하게 나타나며, 사각형의 경우 직각의 교차각을 보인다(그림 5c). 다각

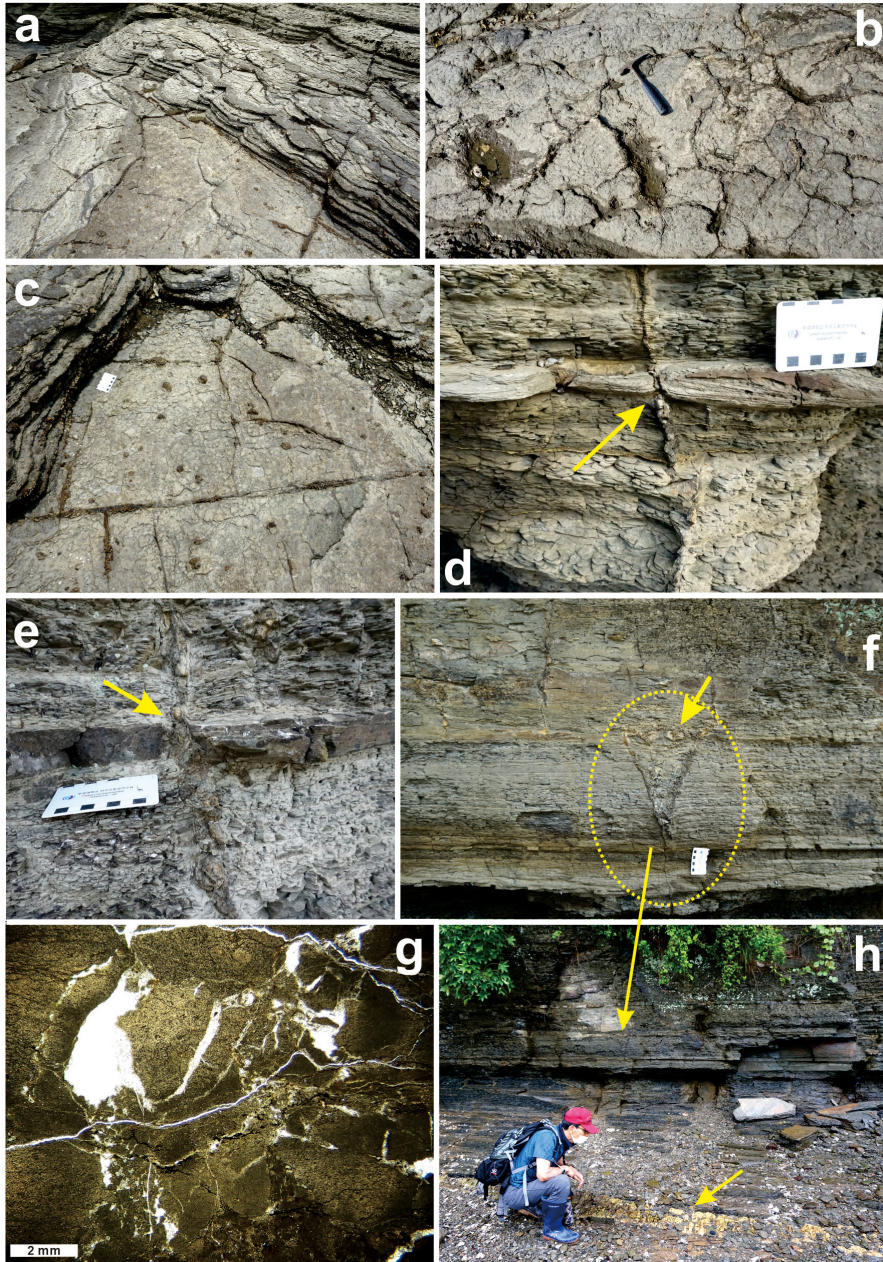


**Fig. 4.** Occurrences of the stromatolites in study area. a. Oriented distribution of the stromatolites in patches along the coast (NE-SW). b. Subcircular to elliptical growth of the stromatolite heads (planar view). c. Elongated stromatolite (arrow) formed on a carbonized tree fragment. d. Subparallel distribution of the elongated stromatolites (arrows). e, f. Weathered surfaces of the stromatolite heads showing polygonal ridges (e) and swallow-nest appearance (f). g. Stromatolite lamination with calcispheres like as in the *Chlorellopsis coloniata* head. Thin section photomicrograph. h. Stromatolite fragments scattered around the stromatolites.



형의 크기 또한 직경 수 cm에서 70 cm 이상까지 변화한다. 균열의 폭은 대체로 수 mm이나, 균열의 주

변이 변질되어 겉보기상 수 cm로 나타나기도 한다. 한편 균열의 깊이는 수십 cm 내지 수 m에 달한다.



**Fig. 5.** Occurrences of the tectonically induced cracks formed in the shaly mudstone beds in study area. a. Planar, sectional, and oblique views of the cracks. b. Planar view of the cracks showing diverse shapes and sizes of the polygons. c. Orthogonal crack development in planar view. d, e. Penetration of the cracks (arrows) through fine-grained sandstone interbeds. Ptygmatic deformation of the cracks is partially observed. f. Y-shaped crack development (dotted ellipse) associated with soft sediment deformation (arrow). g. Brecciation and recementation observed in the cracks. Thin section photomicrograph. h. Dyke (arrow) in the deposits below the crack-bearing deposits. Y-shaped crack in (g) is indicated by an arrow.

일반적으로 퇴적층에 발달하는 건열 기원 균열의 경우, 균열의 시작이 일정 층준을 따라 이루어진 것과는 달리, 종고섬 퇴적층에 발달한 균열들은 발달 층준이 횡적으로 연결되지 않음이 특징이다. 이와 함께 균열의 폭이 아래로 가면서 부분적으로 팽창하거나, 균열의 발달이 단속된 경우도 나타난다. 또한 위와 아래 양방향으로 균열이 점멸하는 수직 방향의 렌즈상 균열도 관찰되며, 균열의 뒤틀림 현상이 미약하게 나타난다(그림 5d, 5e). 한편 세일질이암층에서 시작된 균열이 아래로 가면서 연흔이 발달한 5 cm 내외 두께의 세립사암층을 부분 내지 완전히 관통하여, 그 아래의 세일질이암층까지 이어진 경우도 관찰된다(그림 5d, 5e).

한편 이 균열들은 대체로 층리에 수직인 방향으로 나타나나, 일부에서는 경사진 균열이 아래쪽에서 병합하여 퇴적층 단면에서 Y자 형태를 이룬 경우도 관찰된다(그림 5f). 이 Y자형 균열의 중앙 상부에서는 주변과 달리 층리의 연결변형이 관찰된다(그림 5f). 이는 이 균열들이 이 퇴적층의 완전 고화 이전에 발달했음을 시사한다. 또한 이 썩기형의 중앙부는 미약하지만 주변에 비해 상대적으로 위로 융기되어 있음을 보여준다. 이러한 구조는 주향이동 단층의 단면에서 발달하는 꽃구조(flower structure; Sylvester, 1988; Kim *et al.*, 2003)와 매우 유사하며, 특히 중앙부의 상승 특성은 이 부분이 횡압축(transpression)을 겪어 양의 꽃구조(positive flower structure)를 형성하였음을 시사한다.

한편 일반적인 건열기원 균열들의 내부가 상위 퇴적물로 채워져 있는 것에 반해, 종고섬 퇴적층들은 전반적으로 변형이나 각력화에 의한 균열부로 나타난다(그림 5h). 이들 균열부의 내부는 전반적으로 스페라이트로 충전된 가운데에, 제자리 기원의 각력들이 교결되어 있다(그림 5g). 이는 이 균열들이 바탕 퇴적물의 지표노출로 인한 수축기원이 아니라, 일정 부분 고화된 매물상태의 닫힌 조건에서 형성되었음을 시사하는 것이다. 이들 균열부는 야외 노두에서의 차별 풍화작용에 의해 갈색을 띠어, 균열의 형상이 돋보여 나타난다.

퇴적암 내에 발달한 균열구조는 가장 일반적인 건열 기원을 비롯하여 여러 유형의 것들이 알려져 있다(Table 1; Ahn and Paik, 2004). 전술한 연구지역 퇴적층 내 균열의 경우, 표면에서는 건열기원의 특성

이 부분적으로 나타난다. 그러나 균열의 깊이가 수 m에 달함에도 불구하고, 균열의 폭이 크지 않음은 물론, 아래로 가면서 폭의 변화가 미미하며, 팽창 양상이 나타난다. 이와 함께 이질층 사이에 협재한 수 cm 두께의 세립사암층까지 균열이 관통한 특성은 이 균열이 이질퇴적물의 대기 중 노출에 의한 수축기원의 균열이 아님을 지시한다. 즉 세립사암층의 상위 1 m 이상 층준의 이암층으로부터 시작한 균열이 세립사암층을 완전히 관통하여, 하위 이암까지 수십 cm 연결되어 발달해 있음은 세립사 퇴적물이 일정 부분 굳어진 이후에 균열작용이 일어났음을 지시한다. 한편, 균열이 사암층을 통과하지 못하거나 사암층의 부분 변형 정도에만 영향을 미친 경우도 함께 나타남은 이 균열작용이 사질퇴적층이 완전히 교결되지 않은 상태, 즉 매물 초기의 상태에서 일어났거나 상대적으로 미약한 응력에 의해 형성되었음을 지시한다.

전술한 종고섬의 균열발달 퇴적층 아래에는 약 10 cm 내외의 폭을 갖는 중성의 암맥이 북동-남서의 주향으로 발달해 있다(그림 5h). 따라서 종고섬 퇴적층에 나타나는 균열의 발달 층준 및 수평적 공간의 제한성은 특정 층준의 물리적 특성(상대적으로 강한 취성)과 이후의 암맥 관입에 수반된 부분적인 인장과 연관이 있을 것으로 해석된다. 퇴적층 사이의 불연속면이나 물성 차이로 인해 암맥의 발달이 특정 층준을 통과하지 못하고 정지되었을 경우, 이러한 암맥의 발달에서는 소규모의 인장력이 작용한다(Gudmundsson and Brenner, 2004). 따라서 암맥 발달에서 발생한 인장이 종고섬 퇴적층에 발달한 균열의 확장을 더욱 유도한 것으로 해석된다. 아울러 풍화면에서 균열부가 돌출된 특성을 보이는 것은 균열 형성 이후에 암맥물질 또는 열수물질의 일부가 기존 균열을 따라 주입되어 나타난 결과로 여겨진다.

일반적으로 비건열 기원의 퇴적 기원 균열은 통칭 'synaeresis 균열'이라 부르는데(Plummer and Gostin, 1981), 그 기원에 대해서는 여러 이론들이 제시되었으며, 근래에는 지진 기원이 제시되기도 하였다(Pratt, 1998; McMahon *et al.*, 2017). 종고섬 퇴적층 내의 균열과 유사한 특성의 균열구조가 경남 사천 지역의 진주층(호성퇴적층)에서 보고된 바 있으며, 이 균열은 지진 기원으로 해석되었다(Ahn and Paik, 2004). 따라서 향후 경상누층군 퇴적층에

대한 지진 기원의 균열에 대한 조사와 연구가 보다 발전적으로 이루어질 필요성이 있다.

## 5. 고환경

전술한 연구 지역 퇴적층의 전반적인 퇴적 특성, 즉 일반적으로 환원환경에서의 퇴적을 지시하는 회색의 암색, 균일 층리, 하도퇴적층의 부재, 파도연흔, 스트로마톨라이트, 복족류 패각화석층의 발달 등은 이 퇴적층이 호성 기원임을 시사한다. 암상의 경우, 엽층으로 발달한 실트스톤과 이암의 호층은 국내 백악기 호성퇴적층에 나타나는 대표적인 암상으로(Paik and Kim, 1998, 2006; Kim and Paik, 2001; So *et al.*, 2007; Paik *et al.*, 2009, 2019), 호수 주변의 이질 평원에서의 개방수류(unconfined flow)에 의한 퇴적층으로 해석되었다(Smoot and Lowenstein, 1991; Nichols and Fisher, 2007). 이들 암상에 파도연흔과 건열이 수반되어 있음은 개방수류에 의한 퇴적 이후에 파도에 의한 재동이 일어나고(Buatois and Mángano, 1995), 이후 노출이 이어지는 이질평원의 환경이 발달했음을 지시한다. 아울러 이들 퇴적층에 스코에니아 생흔상이 발달해 있음은 이들 퇴적층이 호수주변부에서의 퇴적 산물임을 뒷받침한다(Buatois and Mángano, 1998; Melchor *et al.*, 2003; Scott *et al.*, 2012). 판상 내지 사엽층리가 발달한 세립사암 또한 개방수류에 의해 호안에 퇴적된 암상으로 해석이 되나(Smoot and Lowenstein, 1991; Nichols and Fisher, 2007), 호저 기원의 세일질이암층(후술) 내에 간헐적으로 발달한 수 cm 두께의 세립사암층은 개방수류가 호수로 유입되면서 발생한 저탁류에 의한 퇴적산물로 해석된다.

전반적으로 암회색 내지 흑색을 띠는 세일질이암 퇴적층은 환원형 암색의 특성과 함께 건열의 부재 특성이 호저 기원의 퇴적층임을 지시한다. 이 퇴적층에 수반된 서관구조 또한 호저 기원을 뒷받침한다. 한편 이 세일질이암층에 간헐적으로 협재한 과상층리 또는 판상엽층리가 발달한 세립사암층의 기원은 이 사암층 내에 흔히 수반된 *Brotiopsis* 복족류 패각화석층의 퇴적 특성(전술)과 관련하여 다음과 같이 해석된다.

복족류 패각화석층이 연구 지역의 퇴적층 내에 반복적으로 산출함은 퇴적 당시 일정 기간 호수 환

경이 유지된 가운데에 *Brotiopsis* 복족류가 호수에 서식했음을 말해 준다. *Brotiopsis* 속과 유연관계를 가지는 현생 *Brotia* 속은 생지리적 영역을 다른 종과 공유하지 않는 배타적인 생태 특성을 지니고 있다(Davis, 1982). 따라서 연구 지역 패각화석의 구성이 *Brotiopsis* 단일 속으로만 구성된 가운데에 횡적으로 수십 m 이상 분포하여 나타남은 *Brotiopsis* 속의 배타적인 서식특성에 기인한 것으로 여겨진다. 이와 같은 *Brotiopsis* 속의 배타적인 화석 산출은 하동 한치마을 하산동층(Paik *et al.*, 2011)과 진주 집현 지역의 진주층(Paik *et al.*, 2019)에 발달한 복족류 패각화석층에서도 유사하게 보고되었다.

Kidwell (1991)은 패각화석층의 산출 특성이 생물학적, 퇴적학적 및 속성작용 등의 요인에 의해 달라지는 것으로 제시하였다. 연구 지역 패각화석층의 경우, 사암층 내 상부에 수 cm 두께의 얇은 층으로 나타나며, 패각들이 뚜렷한 방향성 없이 수평 및 수직적으로 혼재되어 있고, 대체로 완형의 패각들로 이루어져 있다. 이와 함께 패각화석층의 기저에 침식면의 발달이 나타나지 않는다. 따라서 호수로 유입된 개방수류나 저탁류, 또는 호수에서 발생한 폭풍 등에 의한 퇴적학적 요인이 이들 패각화석층 형성의 주 원인으로 보기는 어렵다. 일반적으로 폭풍에 의해 형성된 패각화석층은 기저 침식면의 발달과 수십 cm 두께의 패각층 형성, 패각의 방향성 발달, 점이층리 등의 특성이 발달한다(Kidwell, 1991; Anderson and McBride, 1996; Williams, 2011).

따라서 연구 지역 복족류 패각화석층의 형성에는 생물학적 요인이 우세하게 작용한 것으로 해석되며, 패각층 하위에 생란구조가 수반되어 있음은 이를 뒷받침한다. 그러나 패각들이 밀집하여 혼재된 상태로 나타남은 일정 부분 퇴적학적 요소가 패각층의 형성에 관여했음을 시사한다. 즉 이질퇴적물이 쌓이는 낮은 에너지의 호저 환경에서 때때로 발생한 홍수로부터 사질퇴적층이 형성되고, 이에 따른 산소 공급과 영양분의 증가에 의해 사질부에 *Brotiopsis* 복족류들이 배타적으로 밀집하여 서식했을 것으로 해석된다. 이후 도래한 호수의 정체 시기에 산소 부족 등으로 인해 복족류들이 폐사하고, 파도 등에 의해 부분적으로 재동되어 얇은 두께의 패각층이 넓게 형성된 것으로 해석된다. 이와 같은 과정이 일정 기간 반복되어 연구 지역의 복족류 패각화석층이 형성된 것



으로 해석된다. 한편 패각 내부가 전반적으로 스페라이트로 채워 있거나, 부분적으로 지오페탈 조직이 발달해 있는 특성 또한, 이들 패각의 퇴적에 높은 에너지의 수류가 영향을 미치지 않았음을 뒷받침한다.

연구 지역 퇴적층의 하부에 발달한 스트로마톨라이트는 때로 건조한 기후 조건에서의 알칼리성 호수가 발달했음을 지시한다. 이들 스트로마톨라이트에 개형층, 복족류, 거북의 배갑편 화석 등이 일부 수반되어 있음은 스트로마톨라이트의 발달 공간에 생태계가 제한적으로 형성되었음을 시사한다. 한편 동일 퇴적층에서 스트로마톨라이트의 분포가 띠를 이루며 북동-남서 방향으로 나타남은 당시 이 지역에서의 호안 방향이 북동-남서 방향이었음을 지시한다. 사암층에 발달한 파도연흔의 정선 방향이 대체로 동북동-서남서 방향, 사암층리의 경사 방향이 북북서-남남동 방향으로 나타나는 특성 또한 유사한 호안 방향을 지시한다. 아울러 신장형의 탄화목을 핵으로 성장한 스트로마톨라이트 개체들의 경우, 장축 방향이 대체로 북서-남동 방향으로 나타남은 호수 외곽에서 야생 화재 등으로 인해 쓰러진 나무줄기들이 범람에 의해 호안으로 유입되어 스트로마톨라이트 성장의 바탕이 되었음을 지시한다.

한편 연구 지역의 하산동층 퇴적층은 경상누층군을 구성하는 지층 중 스트로마톨라이트가 처음으로 출현한 퇴적층이다. 하산동층의 하위인 낙동층에도 부분적으로 호성 기원의 퇴적층이 발달해 있으나, 스트로마톨라이트의 발달은 보고되어 있지 않다. 따라서 연구 지역 퇴적층의 발달 시기(엠티안-앨비안)에 이르러, 경상분지 내에 알칼리성 호수가 처음으로 나타난 것으로, 이는 하산동층의 퇴적 시기에 건조 기후가 경상분지 내에서 본격적으로 영향을 미치기 시작했음을 시사한다.

연구 지역 퇴적층의 수직적인 변화 특성, 즉 하부(발꾸미 해안)에서 상부(종교섬)로 가면서 스트로마톨라이트가 발달하는 호안에서 호저 환경의 퇴적층으로 변화한 특성은, 연구 지역 퇴적층의 발달 기간 동안 호수 환경이 미충전 호수 환경(under-filled lake)에서 균형충전 호수 환경(balance-filled lake)으로 전이했음을 시사한다(Bohacs *et al.*, 2000). 한편 연구 지역 퇴적층의 상위에 붉은색 퇴적층이 빈번히 협재하는 하성 기원의 하산동층 퇴적층이 두껍게 발달함은(Um *et al.*, 1983) 호성퇴적층 발달 이후

에 과충전 호수 환경(over-filled lake)(Bohacs *et al.*, 2000)으로의 변화가 이루어졌음을 지시한다. 즉 연구 지역 퇴적층의 발달 특성은 하산동층의 퇴적 기간 동안, 건조기후-습윤기후-건조기후로의 장기적인 기후 변화가 일어났음을 시사한다. 이와 같은 기후 변화가 가능한 원인으로는 기원지의 용기와 침식의 변동에 의한 산악효과의 장기적인 변동을 고려해 볼 수 있다. 한편 이와 유사한 시간 규모의 환경 변화 특성은 함안층의 상부 퇴적층에서도 보고된 바 있다(So *et al.*, 2007).

## 6. 층서

서언에서 기술한 바와 같이, Chang (1975)에 의해 구분된 경상누층군 지층들은 경상분지의 발달과정을 통한 조구조운동, 기후변동 및 화산활동 등에 의하여 지배된 퇴적환경의 변화에 의해 각 지층의 암층서적 특징이 구분될 수 있음이 제시되었다(Um *et al.*, 1983; Choi, 1985). 하산동층은 경북 의성과 왜관, 경남 합천, 진주, 하동에 이르기까지 북북동-남남서 방향으로 분포한 가운데, 붉은색 퇴적층이 빈번히 협재한 하성퇴적층의 발달이 하산동층의 암층서적 특성으로 알려져 있다(Um *et al.*, 1983; Choi, 1985, 1986; Chough and Sohn, 2010). 실제로 경남 하동 지역(Paik *et al.*, 2020)과 경북 왜관 지역(Kim *et al.*, 2015)에서 하산동층의 시작은 붉은색 퇴적층의 협재로부터 시작이 되며, 진주 지역에서는 붉은색 퇴적층의 소멸에 의해 하산동층과 상위 진주층과의 암층서 경계가 나타난다(Choi, 1986; Paik *et al.*, 2019). 이와 함께 하산동층은 캘크리트의 함유가 흔히 나타남이 특징이다(Um *et al.*, 1983; Paik and Kim, 1995). 따라서 연구 지역에 두껍게 발달한 회색질 퇴적층으로 이루어진 호성퇴적층은 하산동층의 일반화된 암층서적 특성을 일정 부분 벗어난 것으로, 하산동층의 암층서 특징의 보완과 세분이 필요함을 시사한다.

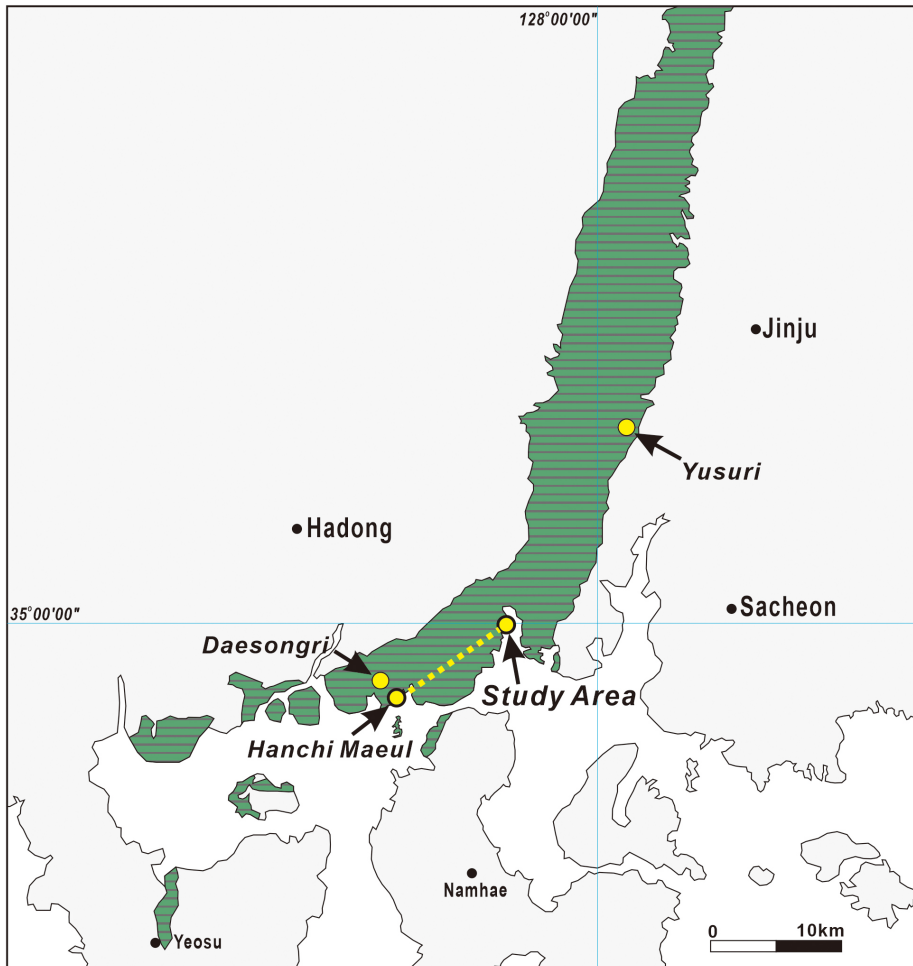
암층서 구분의 기본 단위인 층(Formation)은 층 내부의 암질 특성 변화에 따라 층원(Member)으로 세분될 수 있으며, 때로 층 내에 렌즈층 또는 설상층(Tongue)이 설정될 수 있다(Salvador, 1994). 이 경우 층원이나 렌즈층 설정의 정량적인 기준(예: 층후와 범위 등)은 없으며, 층 내부의 암층서적 변화 특

성을 특별히 나타낼 필요가 있을 경우, 세분이 이루어진다. 경상누층군의 암층서 지층 중, 층 내에 층원이 설정된 예는 진주지역의 낙동층에서 백마동층원(Choi, 1979), 낙동 지역의 낙동층에서 만경산층원과 금당리층원(Kim *et al.*, 1977)이 설정된 바 있다.

연구지역의 호성퇴적층과 하동 한치마을의 복족류패각화석층을 함유한 호성퇴적층(Paik *et al.*, 2011)은 하산동층의 중부에 해당하며(그림 6) 발달 층준과 퇴적 특성에 의해 암층서적으로 대비된다. 따라서 하산동층의 암층서 개선을 위해, 최소한 하동 일대에서는 공간적인 분포 규모와 퇴적 특성 등의 측면에서, 이 호성퇴적층을 독립된 층원으로 설정할

필요성이 있다. 이 연구에서는 이 층원의 명칭으로 ‘양포리층원’을 제안한다.

어느 한 지역에 특정 지층의 모든 부분이 노출되어 연속적이고 완전한 표식층을 설정할 수 있는 경우는 매우 드물다. 이 연구에서 제시하는 양포리층원의 경우에도 하한부터 상한까지의 완전한 표식층의 설정은 불가능하다. 이러한 경우 표식층보다는 표식지 또는 표식지역으로 양포리층원의 표식층 특성을 간접적으로 나타낼 수 있다(Salvador, 1994). 양포리층원의 표식지역은 ‘경남 하동군 진교면 양포리 해안’이며, 원표식층(Holostratotype)은 부분표식층(Component stratotype)의 성격을 띠는 이 연



**Fig. 6.** Distribution map of the Hasandong Formation in southern part of the Gyeongsang Basin (Kim *et al.*, 1998; Choi *et al.*, 2002). The sections at Hanchi maeul and study area (middle part of the Hasandong Fm) are lacustrine deposits without red beds, and they are lithostratigraphically correlated. The sections at Daesongri (lower part of the Hasandong Fm) and Yusuri (upper part) are fluvial deposits with red beds.



구에서 제시된 발꾸미해안과 종고섬에 걸쳐 발달한 호성퇴적층이다(그림 1). 이와 함께 한치마을 해안에 발달한 호성퇴적층(Paik *et al.*, 2011)은 참고표식층(Hypostratotype)에 해당한다. 이 연구에서 양포리층원의 경계부표식층(Boundary stratotype)에 대한 조사가 이루어지지는 않았지만, 양포리층원의 하한과 상한은 각각 붉은색 퇴적층의 소멸과 출현이다. 한편 양포리층원은 경상누층군 내에서 스트로마톨라이트가 처음으로 나타나는 층원이라는 암층서적 특징을 가진다.

비록 하산동층이 분포한 모든 지역에서의 퇴적층 발달 특성에 대한 암층서적 분석이 현재로서는 이루어져 있지 않지만, 지금까지 여러 지역에서 보고된 하산동층의 퇴적 특성에 대한 자료들(Um *et al.*, 1983; Choi, 1986; Paik and Lee, 1994, 1998; Paik and Kim, 1995; Paik *et al.*, 2011, 2015, 2019)은 하산동층의 하부로부터 상부로 가면서 퇴적 특성에 변화가 있음을 지시한다. 예를 들어 하동군 대송리 지역의 하산동층 하부퇴적층은 하천의 굴곡이 크지 않고 석회질고토양의 성숙도가 낮은 반면(Paik *et al.*, 2020), 진주시 유수리 지역의 하산동층 상부퇴적층은 사행하천의 뚜렷한 발달과 석회질고토양의 높은 성숙도가 특징이다(Paik and Kim, 1995; Paik and Lee, 1998). 따라서 하산동층의 중부에 양포리층원을 설정할 경우, 이 층원의 하위와 상위에 놓이는 퇴적층에 대해서도 새로운 층원이 설정될 수 있다. 그러나 특정 층의 전부가 반드시 층원으로 세분될 필요는 없으므로(Salvador, 1994), 이 부분은 하산동층 하부와 상부 퇴적층의 암층서적 특성에 대한 보다 구체적인 분석을 바탕으로 추후에 이루어져야 할 것이다.

## 7. 결론

1) 경남 하동군 진교면 양포리 해안(발꾸미 해안과 종고섬)에 분포한 하산동층 중부의 퇴적층은 전반적으로 괴상의 중립 내지 세립사암, 판상엽층리가 발달한 세립사암, 판상 내지 사엽층리가 발달한 세립사암, 엽층으로 발달한 실트스톤과 이암의 호층, 세일질이암 등으로 구성되며, 스트로마톨라이트가 산출된다.

2) 이 지역 퇴적층의 전반적인 퇴적 특성, 즉 일반적으로 환원환경에서의 퇴적을 지시하는 회색질의

암색, 균일 층리, 하도퇴적층의 부재, 파도연흔, 스트로마톨라이트, 복족류 패각화석층의 발달 등을 바탕으로 이 퇴적층은 호성 기원으로 해석된다.

3) 연구 지역의 복족류 패각화석층은 다음과 같은 과정에 의해 형성된 것으로 해석된다: 이질퇴적물이 쌓이는 낮은 에너지의 호저 환경에서 때때로 발생한 홍수로부터 사질퇴적층이 형성되고, 이에 따른 산소공급과 영양분의 증가에 의해 사질부에 *Brotiopsis* 복족류의 배타적 집단 서식 → 이후 도래한 호수의 정체 시기에 산소 부족 등으로 인한 폐사에 의해 패각 퇴적 → 파도 등에 의해 부분적으로 재동되어 얇은 두께의 패각층 넓게 형성.

4) 연구 지역의 하산동층 퇴적층은 경상누층군 지층 중 스트로마톨라이트가 처음으로 출현한 퇴적층으로, 하산동층의 퇴적 시기(엡티안-엘비안)에 알칼리성 호수를 발달시킨 건조 기후가 경상분지 내에서 본격적으로 영향을 미치기 시작했음을 시사한다.

5) 하동 지역의 하산동층 중부에 발달한 복족류패각화석층을 함유한 호성퇴적층에 대해 독립된 암층서 단위인 '양포리층원'으로의 설정을 제안한다. 양포리층원의 표식지역은 '경남 하동군 진교면 양포리해안'이며, 원표식층은 부분표식층의 성격을 띠는 이 연구에서 제시된 호성퇴적층이다. 하동 한치마을 해안에 발달한 호성퇴적층(Paik *et al.*, 2011)은 참고표식층에 해당하며, 양포리층원의 하한과 상한은 각각 붉은색 퇴적층의 소멸과 출현이다. 이와 함께 양포리층원은 경상누층군 내에서 스트로마톨라이트가 처음으로 나타나는 층원이라는 암층서적 특징을 가진다.

6) 경상분지를 비롯한 한반도 백악기 퇴적분지의 퇴적층에는 기원이 밝혀지지 않은 다양한 특성의 퇴적기록들이 산재해 있으며, 이들 기록에 대한 이해가 발전적으로 이루어질 때, 한반도 백악기의 고환경 특성 및 층서를 보다 입체적으로 파악할 수 있고, 이로부터 새로운 차원의 자원탐사와 국토활용이 이루어질 수 있을 것이다.

## 감사의 글

이 연구는 한국연구재단 이공학 개인기초연구사업 과제(NRF-2018R1D1A1B0704187214)와 행정안전부 극한재난대응기반기술개발사업 과제(2017-MOIS31-

006)의 지원에 의해 이루어졌으며, 야외자료의 취득에 도움을 준 문화재청에 감사를 드린다. 아울러 이 논문의 완성도를 높이기 위해, 상세한 검토를 바탕으로 가치 있는 도움말을 주신 두 분의 심사위원께 감사를 드린다. 또한 야외조사에 도움을 준 김정민 석사를 비롯한 부경대학교 지구고환경실습실원들에게도 고마움을 전한다.

## REFERENCES

- Ahn, K.Y. and Paik, I.S., 2004, Occurrences and genesis of unique cracks in the Cretaceous Jinju Formation, Sacheon city, Gyeongsangnam-do, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 40, 93-102 (in Korean with English abstract).
- Anderson, L.C. and McBride, R.A., 1996, Taphonomic and paleoenvironmental evidence of Holocene shell-bed genesis and history on the Northeastern Gulf of Mexico shelf. *Palaios*, 11, 532-549.
- Bohacs, K.M., Carroll, A.R., Neal, J.E. and Mankiewicz, P.J., 2000, Lake-basin type, source potential, and hydrocarbon character: an integrated sequence-stratigraphic geochemical framework. In: Gierlowski-Kordesch, E. and Kelts, K.R. (eds.), *Lake Basins Through Space and Time*. AAPG Studies in Geology, 46, 3-33.
- Buatois, L.A. and Mángano, M.G., 1995, Sedimentary dynamics and evolutionary history of a Lake Carboniferous Gondwanic lake in north-western Argentina. *Sedimentology*, 42, 415-436.
- Buatois, L.A. and Mángano, M.G., 1998, Trace fossil analysis of lacustrine facies and basins. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 140, 367-382.
- Bowen, J.J. and Hembree, D.I., 2014, Neochology of two spirobolid millipedes: improving the understanding of the burrows of soil detritivores. *Palaeontologia Electronica*, 17, 48 p.
- Chang, K.H., 1975, Cretaceous stratigraphy of southeast Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 11, 1-23.
- Chang, K.H., Lee, Y.G. and Kim, K.H., 1989, Geological report of Namhae Sheet (1:50,000). Korea Institute of Energy and Resources, 28 p.
- Choi, B.Y., Choi, H.I., Hwang, J.H., Ki, W.S., Ko, H.J., Kim, Y.B., Lee, B.J., Song, G.Y., Kim, J.C. and Choi, Y.S., 2002, Geological map and Explanatory Note of the Yeosu Sheets (1:250,000). Korea Institute of Geosciences and Mineral Resources, 45 p.
- Choi, H.I., 1979, Cretaceous fluvio-lacustrine sediments in the southwestern part of the Gyeongsang Basin in the Korea. *Memoir of the Geological Society of China*, 3, 195-218.
- Choi, H.I., 1985, Sedimentology and its implication for stratigraphic classifications of the Cretaceous Gyeongsang Basin. *Journal of the Geological Society of Korea*, 21, 26-37.
- Choi, H.I., 1986, Sedimentation and evolution of the Cretaceous Gyeongsang Basin, southeastern Korea. *Journal of Geological Society*, 143, 29-40.
- 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.
- de Gilbert, J.M., Muñiz, F., Belaústegui, Z. and Hyžný, M., 2013, Fossil and modern fiddler crabs (*Uca* Tangeri: Ocypodidae) and their burrows from SW Spain: ichnologic and biogeographic implications. *Journal of Crustacean Biology*, 33, 537-551.
- Dong, Z.M., Paik, I.S. and Kim, H.J., 2001, A preliminary report on a sauropod from the Hasandong Formation (Lower Cretaceous), Korea. *Proceedings of the 8th annual meeting of the Chinese Society of Vertebrate Paleontology*, China Ocean Press, 41-53.
- Frey, R.W., Howard, J.D. and Pryor, W.A., 1978, *Ophiomorpha*: Its morphologic, taxonomic, and environmental significance. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 23, 199-229.
- Gudmundsson, A. and Brenner, S.L., 2004, Local stresses, dyke arrest and surface deformation in volcanic edifices and rift zones. *Annals of Geophysics*, 47, 1433-1454.
- Kang, H.-C. and Paik, I.S., 2013, Review on the geological ages of the formations in the Gyeongsang Basin, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 49, 17-29 (in Korean with English abstract).
- Kang, P.J. and Park, S.W., 1975, Explanation of the Samgash sheet (1:50,000). Geological and Mineral Institute of Korea, 16 p.
- Kidwell, S.M., 1991, The stratigraphy of shell concentrations, Taphonomy: Releasing the Data Locked in the Fossil Record. Plenum Press, New York, 211-290.
- Kim, C.-S., Park, K.-H. and Paik, I.S., 2005,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  age of the volcanic pebbles within the Silla Conglomerate and the deposition timing of the Hayang Group. *The Journal of the Petrological Society of Korea*, 14, 38-44 (in Korean with English abstract).
- Kim, D.H., Hwang, J.H., Park, K.H. and Song, G.Y., 1998, Geological map and Explanatory Note of the Pusan Sheets (1:250,000). Korea Institute of Geology, Mining and Materials, 62 p.
- 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, K. and Jeong, E.K., 2015, Occurrences, taphonomy and paleoenvironmental implications of the plant fossil deposits from the upper part of the Nakdong Formation (Early Cretaceous) at Geumho-ri, Chikgok-gun, Korea. 2015 Fall Joint Conference of the Geological Sciences (Abstracts), Jeju, October 28-31, 407 p (in Korean).
- Kim, J.-H., Nam, K.-S., Lee, S.-B. and Jeon, Y.-S., 2016, Fossil plants from the Early Cretaceous Hasandong Formation of Chilgok Area, Korea. Journal of Korean Earth Science Society, 37, 293-308.
- Kim, J.Y., Kim, K.S. and Pickerill, R.K., 2002, Cretaceous nonmarine trace fossils from the Hasandong and Jinju formations of the Namhae area, Kyeongsangnamdo, southeast Korea. Ichnos, 9, 41-60.
- Kim, J.Y. and Paik, I.S., 1997, Nonmarine *Diplocraterion luniforme* (Blankenhorn, 1916) from the Hasandong Formation (Cretaceous) of the Jinju area, Korea. Ichnos, 5, 131-138.
- Kim, O.J., Yoon, S. and Gil, Y.J., 1969, Explanatory text of the Geological map of Jinju sheet (1:50,000). Geological Survey of Korea, 11 p.
- Kim, Y.G., Cha, M.S. and Ko, I.S., 1977, Explanatory text of the Geological map of Nakdong Sheet (1:50,000). Geological Survey of Korea, 23 p.
- Kim, Y.-S., Peacock, D.C.P., and Sanderson, D.J., 2003, Strike-slip faults and damage zones at Marsalforn, Gozo Island, Malta. Journal of Structural Geology, 25, 793-812.
- Kobayashi, T. and Suzuki, K., 1936, Non-marine shells of the Nakdong-Wakino Series. Japanese Journal of Geology and Geography, 13, 243-257.
- Koto, B., 1903, An orographic sketch of Korea. Journal of the College of Science, Imperial University, Tokyo, 19-1, 1-61.
- Lee, H.I., Paik, I.S. and Chun, J.H., 2010, Soft-sediment deformation structures in the Cretaceous Jinju Formation in the Sacheon area, Korea: occurrences and origin. Journal of Geological Society of Korea, 46, 305-315. (in Korean).
- Lee, K.C. and Paik, K.H., 1988, Occurrences of Cretaceous stromatolites in the Gyeongsang Basin, Korea. Journal of the Paleontological Society of Korea, 4, 119-134.
- Lee, S.S., Yang, S.Y. and Lee, Y.D., 1990, On the *Brotiopsis* spp. (Cretaceous Non-Marine Gastropod) from the Lower Formations of Gyeongsang Supergroup, Korea. Journal of the Geological Society of Korea, 26, 143-153 (in Korean with English abstract).
- Lee, T.-H., Park, K.-H. and Yi, K., 2018, Nature and evolution of the Cretaceous basins in the eastern margin of Eurasia: A case study of the Gyeongsang Basin, SE Korea. Journal of Asian Earth Sciences, 166, 19-31.
- Lee, Y.I., Choi, T., Lim, H.S. and Orihashi, Y., 2010, Detrital zircon geochronology of the Cretaceous Sindong Group, Southeast Korea: implications for depositional age and Early Cretaceous igneous activity. Island Arc, 19, 647-658.
- Lee, Y.N., 2007, New theropod teeth from the Juji Island (Hasandong Formation), Daedo-ri, Hadong County, South Gyeongsang Province. Journal of the Geological Society of Korea, 43, 151-166 (in Korean with English abstract).
- Lee, Y.N., 2008, The first tyrannosauroid tooth from Korea. Geosciences Journal, 12, 19-24.
- Lee, Y.N. and Lee, H.J., 2007, The first ornithopod tooth in Korea. Journal of the Paleontological Society of Korea, 23, 213-225 (in Korean with English abstract).
- Leinfelder, R.R. and Hartkopf-Fröder, C., 1990, In situ accretion mechanism of concavo-convex lacustrine oncoids ("swallow-nests") from the Oligocene of the Mainz Basin (Rhineland, West Germany). Sedimentology, 37, 287-301.
- McMahon, S., van Smeerdijk, H.A. and McIlroy, D., 2017, The origin and occurrence of subaqueous sedimentary cracks. Geological Society, London, Special Publications, 448, 285-309.
- Melchor, R.N., Bellosi, E. and Genise, J.F., 2003, Invertebrate and vertebrate trace fossils from a Triassic lacustrine delta: the Los Rastros Formation, Ischigualasto Provincial Park, San Juan, Argentina. In: Buatois, L.A., Mangano, M.G. (Eds.), Icnología: Hacia una Convergencia entre Geología y Biología. Asociación Paleontológica, Argentina, Publicación Especial, 9, 17-33.
- 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., 1998, Vertic paleosols from the Sindong Group: occurrences, paleoenvironments and stratigraphy. Journal of the Geological Society of Korea, 34, 58-72 (in Korean with English abstract).
- Paik, I.S., 2000, Bone chip-filled burrows associated with bored dinosaur bone in floodplain paleosols of the Cretaceous Hasandong Formation, Korea. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 157, 213-225.
- 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., Hwang, J.Y., Park, J.G., Lee, H. and Park, M.E., 2020, Occurrences and provenance of the chrome mica clasts from the lower part of the Hasandong Formation, Hadong, Gyeongsangnam-do, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 56, 311-326 (in Korean with English abstract).
- Paik, I.S., Kim, H.J., Kim, K., Jeong, E.-K., Oh, C., Kim, N.-Y. and Lim, H.S., 2018, Some reports and discussion for the paleoenvironments and stratigraphy of the Gyeongsang Basin. 2018 Fall Joint Conference of the Geological Sciences (Abstracts), Gyeongju, October 24-27, 161 p. (in Korean).
- Paik, I.S., Kim, H.J., Kim, S.Y., Lee, J.E., So, Y.H. and Lee, H., 2019, Fossil-bearing deposits in the Jinju Formation at Jinju: Occurrences, paleoenvironments and stratigraphic implications. *Journal of the Geological Society of Korea*, 55, 513-530 (in Korean with English abstract).
- Paik, I.S., Kim, H.J. and Lee, H.I., 2015, Unique burrows in the Cretaceous Hasandong Formation, Hadong, Gyeongsangnam-do, Korea: Occurrences, origin, and paleoecological implications. *Journal of the Geological Society of Korea*, 51, 141-155 (in Korean with English abstract).
- Paik, I.S. and Kim, J.Y., 1995, Calcareous paleosols from the Upper Hasandong Formation in the vicinity of Jinju, Korea: implications in floodplain sedimentation and paleoclimate. *Journal of the Geological Society of Korea* 31, 482-498 (in Korean with English abstract).
- Paik, I.S., Kim, N.Y. and Kim, H.J., 2011, Shell deposits in the Lower Cretaceous Hasandong Formation from Daesong-ri, Geumnam-myeon, Hadong-gun: occurrences, taphonomy, paleoenvironments, and implications in Geological Heritage. *MUNNHWAJAE Korean Journal of Cultural Heritage Studies*, 44, 4-29 (in Korean with English abstract).
- Paik, I.S. and Lee, Y.I., 1994, Paleoclimatic records in floodplain lake deposits of the Cretaceous Hasandong Formation in Jinju area, Korea. *Journal of Geological Society of Korea*, 30, 410-424 (in Korean with English abstract).
- Paik, I.S. and Lee, Y.I., 1998, Desiccation cracks in vertic paleosols of the Cretaceous Hasandong Formation, Korea: Genesis and palaeoenvironmental implications. *Sedimentary Geology*, 119, 161-179.
- 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).
- Park, J.Y., Lee, S., Kim, S., Son, M. and Lee, Y.-N., 2020, A pterosaur wing phalanx from the Lower Cretaceous Hasandong Formation of Hadong-gun, Gyeongsangnam-do, South Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 56, 77-84 (in Korean with English abstract).
- Plummer, P.S. and Gostin, V.A., 1981, Shrinkage cracks: desiccation or syneresis?. *Journal of Sedimentary Petrology*, 51, 1147-1156.
- Pratt, B.R., 1998, Molar-tooth structure in Proterozoic carbonate rocks: Origin from synsedimentary earthquakes, and implications for the nature and evolution of basins and marine sediment. *GSA Bulletin*, 110, 1028-1045.
- Salvador, A., 1994, International Stratigraphic Guide: A guide to stratigraphic classification, terminology, and procedure. The International Union of Geological Sciences and the Geological Society of America, Inc. 214 p.
- Sano, Y., Terada, K., Ly, C.V. and Park, E.J., 2006, Ion microprobe U-Pb dating of a dinosaur tooth. *Geochemical Journal*, 40, 171-179.
- Scholle, P.A., 1978, A color illustrated guide to carbonate rock constituents, textures, cements, and porosities. *AAPG Memoir*, 27, 241 p.
- Scott, J.J., Buatois, L.A. and Mángano, M.G., 2012, Lacustrine Environments. In: Knaust, D. and Bromley, R.G. (eds.), *Trace Fossils as Indicators of Sedimentary Environments. Developments in Sedimentology*, 64, 379-417.
- Seo, S.J., 1985, Lower Cretaceous Geology and Paleontology (Charophyta) of Central Kyongsang Basin, Korea. PhD Thesis, Kyungpook National University, Daegu, 1-177 p (in Korean with English abstract).
- Shepard, R.N. and Sumner, D.Y., 2010, Unidirectional motility of filamentous cyanobacteria produces reticulate mats. *Geobiology*, 8, 179-190.
- Smoot, J.P. and Lowenstein, T.K., 1991, Depositional environments of nonmarine evaporites. In: Melvin, J.L. (Ed.), *Evaporites, Petroleum and Mineral Resources. Developments in Sedimentology*. Elsevier, New York, 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).
- Sylvester, A.G., 1988, Strike-slip faults. *Bulletin of the Geological Society of America*, 100, 1666-1703.
- Tateiwa, I., 1929, Geologic Atlas of Korea, No. 10, Gyeongju, Yeongcheon, Daegu, Waegwan Sheets. Geological Survey of Chosen (Korea).

- 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).
- Williams, H.F.L., 2001, Shell bed tempestites in the Chenier Plain of Louisiana: late Holocene example and modern analogue. Journal of Quaternary Science, 26, 199-206.
- Yang, S.Y., 1989, On the genus *Plicatounio* (Cretaceous non-marine bivalvia) from Korea. Transactions and Proceedings of the Palaeontological Society of Japan, 154, 77-95.
- Yun, C.S. and Yang, S.Y., 1997, Dinosaur eggshells from the Hasandong Foramtion, Gyeongsang Supergroup, Korea. Journal of the Paleontological Society of Korea, 13, 21-36 (in Korean with English abstract).
- Yun, C.S. and Yang, S.Y., 2001, Occurrences of Cretaceous non-marine bivalve, *Nagdongis soni*, from the lower part of the Hasandong Formation near Weagwan, Korea. Journal of the Paleontological Society of Korea, 17, 87-97 (in Korean with English abstract).
- Yun, C.S., Yang, S.Y., Seo, S.J. and Lee, S.S., 2005, Cretaceous gastropod fossil, *Brotiopsis wakinoensis* from the Hanchi area, Hadong, Gyeongsangnam-do. Journal of the Paleontological Society of Korea, 21, 167-176 (in Korean with English abstract).
- 
- Received : August 31, 2021  
Revised : September 28, 2021  
Accepted : September 28, 2021