



경남 함안군 군북면 소포리 부근 함안층(전기백악기)의 퇴적상, 고환경 및 층서

김현주¹ · 백인성^{1,*} · 김성영² · 이호일³

¹부경대학교 지구환경과학과

²서울대학교 지구환경과학부

³한국지질자원연구원

요 약

경남 함안군 군북면 소포리 부근에 분포하는 함안층 상부퇴적층을 대상으로 퇴적상 분석과 고환경 해석을 수행하고 암층서적인 의미를 고찰하였다. 연구지역 함안층 퇴적층의 퇴적상은 11개로 구분된다. 이들 퇴적층의 퇴적당시에는 건조한 기후가 우세한 가운데 건기와 우기가 반복되는 계절성 기후 조건을 가지는 충적평원 내지 호수주변부와 얇은 호수 환경이 발달하였으며, 때때로 호수주변부에는 메마르고 염도가 높은 사질평원 내지 이질평원이 존재했고, 인근에서는 간헐적인 화산활동이 발생한 것으로 해석된다. 연구지역 퇴적층에서는 붉은색층과 녹색층의 교호가 일반적이며, 하부에서 상부로 가면서 퇴적상, 고토양, 중발광물혼, 응회질 사암렌즈 협재 등의 변화가 나타난다. 한편 상부층으로 가면서 두꺼운 암회색질층의 발달이 증가함은 점차 호수환경이 우세한 퇴적 조건으로 변화하였음을 의미한다. 따라서 경상분지 남부 일원에 분포하는 호성기원의 상부 함안층과 함께 연구지역 퇴적층은 일반적으로 알려진 함안층의 퇴적특성과는 다른 특성을 보이며, 이는 함안층에 대한 새로운 암층서 기준 설정과 층서단위의 세분이 필요함을 시사한다.

주요어: 함안층, 퇴적상, 고환경, 백악기, 암층서

Hyun Joo Kim, In Sung Paik, Seongyeong Kim and Hoil Lee, 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. v. 54, no. 1, p. 1-19

ABSTRACT: The upper part of the Haman Formation, Sopo-ri, Gunbuk-myeon, gyeongsangnam-do, was studied in the aspects of sedimentary facies and paleoenvironments, and its lithostratigraphic implication was discussed. The sedimentary facies of the examined deposits are divided into eleven facies. They are interpreted as unconfined flow deposits to have been formed on floodplain to lake margin (sandflat to mudflat) under paleoclimatic conditions with alternating wetting and drying intervals, and to have been intermittently influenced by pedogenesis. It is interpreted that dry mudflats were intermittently formed around a lake and volcanic activity was sometimes associated. Reddish deposits are commonly alternated with greenish gray deposits in study area. Sedimentary facies and occurrences of paleosols, evaporite mineral casts, thick-bedded dark gray deposits, and tuffaceous sandstone lenses are varying throughout the examined deposits. The stratigraphically upward increase of the thick-bedded dark gray deposits suggests that the lake might have expanded during the deposition of the upper part. The difference between the general lithology of the Haman Formation and the sedimentary facies of the upper part of the Haman Formation in the southern Gyeongsang Basin including study area suggests that new lithostratigraphic definition and subdivision of the Haman Formation are needed.

Key words: Haman Formation, sedimentary facies, paleoenvironments, Cretaceous, lithostratigraphy

(Hyun Joo Kim and In Sung Paik, Department of Earth and Environmental Sciences, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea; Seongyeong Kim, School of Earth and Environmental Sciences, Seoul National University, Seoul 08826, Republic of Korea; Hoil Lee, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 34132, Republic of Korea)

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

1. 서 언

경상분지에 분포하는 백악기 퇴적층들의 층서는 Koto (1903)에 의해 경상층으로 명명된 이래 Tateiwa (1929), Chang (1975), Choi (1985) 등에 의하여 지층구분이 이루어졌다. 현재 경상분지 퇴적층들에 대해 보편적으로 사용되고 있는 층서는 Chang (1975)에 의해 제시된 암층서로, Chang (1975)은 화산활동 및 심성활동과 관련하여 경상분지의 발달과정을 선 화산활동 퇴적기, 화산활동 동시퇴적기, 화산활동 절정기 및 화강암 관입기로 구분하여, 각각에 해당되는 지층단위들을 신동층군, 하양층군, 유천층군 및 불국사 관입암류로 구분하였다.

Choi (1985, 1986)는 Chang (1975)에 의해 구분된 각 누층군 내의 지층들이 경상분지의 발달과정을 통한 조구조운동, 기후변동 및 화산활동에 의하여 지배된 것으로 해석하여, 각 지층들 간의 구분이 퇴적환경의 차이를 바탕으로 이루어질 수 있음을 제안하였다. 한편 Chough and Sohn (2010)은 경상누층군을 배호분지(back-arc basin) 기원으로 해석한 가운데, 배호분지 퇴적층과 화산호 기원 암층들이 동시대에 형성된 변화를 이루며 암층서적으로 발달된 결과임을 제시하였다. 즉 배호분지 퇴적층(신동층군과 하양층군)과 화산호 암층들(유천층군)이 현재의 지표면에서는 상호 층서적 선후 관계를 가지지만, 경상분지의 진화과정에 배호분지 퇴적층과 화산호 암층들이 동시대에 발달하였음을 제시하였다.

Chang (1975)에 구분된 경상누층군 각 지층들의 전반적인 층서 및 퇴적 특성에 대해서는 Um *et al.* (1983)에 의해 잘 정리되었으며, 이후에 이루어진 경상누층군에 대한 후속 연구의 바탕 자료로 활용이 되고 있다. 그러한 가운데 경상누층군에 대한 퇴적지질학적 후속 연구와 각종 토목공사에 의한 암반 절취로부터 새로이 나타나고 있는 경상누층군 퇴적층들의 퇴적특성들은 기 보고된 경상누층군 각 지층들의 층서퇴적학적 특성이 부분적으로 수정 또는 보완되어야 할 필요성이 있음을 제시해 준다.

하양층군의 상부에 해당하는 함안층은 암층서적으로, 하위에 있는 신라역암의 조립 내지 중립 역질 사암이 끝나고 붉은색의 이암과 얇은 층의 판상 사암 내지 실트스톤이 나타나기 시작하는 층준부터 상위에 있는 진동층의 암회색 내지 흑색 이암이 나타나

기 시작하는 층준까지 설정되어 있다(Um *et al.*, 1983). 함안층을 구성하는 지배적인 암상은 붉은색 이암과 실트스톤의 교호암과 붉은색 이암막으로 피복된 사암 및 응회질사암 등으로 알려져 있다(Um *et al.*, 1983).

그러나 함안층의 전형적인 퇴적특성인 붉은색 퇴적층의 협재 없이 호수주변부퇴적층으로 이루어진 퇴적특성이 경남 사천시의 신수도에 분포하는 함안층 상부의 퇴적층과(So *et al.*, 2007) 경남 남해군 가인리 지역의 함안층 중부 퇴적층에서 확인되었다(Kim *et al.*, 2011). 이뿐만 아니라 사천시 아두섬의 함안층 퇴적층에서는 주로 회색 내지 녹회색질의 응회질성분을 함유한 조립질 내지 세립질 사암으로 이루어진 충적평원의 일시적인 소규모 하천 퇴적층과 사질평원의 층상범람퇴적층이 지배적으로 발달하고, 캄크리트를 함유한 담적색의 범람원퇴적층이 소규모 발달함이 확인된 바 있다(Paik *et al.*, 2012a). Um *et al.* (1983)은 경남 창녕군 남지 일대에 분포하는 함안층에서 비적색 이암층이 빈번하게 발달함을 기재한 바 있어, 여러 곳에서 함안층의 일반적 퇴적특성과 다른 퇴적층이 나타난다.

함안층의 중상부퇴적층이 분포하는 경남 함안군 군북면 소포리 부근 연구 지역(그림 1)의 경우, 토목공사에 의한 암반 절취로부터 함안층 퇴적층의 퇴적단면들이 여러 지역에 새로이 나타났으며, 이로부터 기 보고된 함안층의 일반적인 퇴적특성과 다른 퇴적특성을 (주) 동성엔지니어링의 도움을 받아 연구지역 퇴적층에서도 확인할 수 있었다. 따라서 이 논문에서는 경남 함안군 군북면 소포리 일원의 함안층 퇴적층의 퇴적특성에 대한 상세한 기술을 바탕으로 연구지역 함안층 퇴적층의 고환경을 해석하였으며, 이와 함께 연구지역 함안층 퇴적층이 가지는 암층서적 의미를 고찰하였다.

2. 지질개관

연구지역은 표고 100 내지 200 m 내외의 낮은 산지와 구릉, 경작지 등으로 이루어진 지역으로, 이 지역에는 하양층군의 중상부 지층인 함안층의 상부에 해당하는 퇴적층이 전 지역에 걸쳐 넓게 분포한다(Choi and Kim, 1963)(그림 1). 연구지역에 분포하는 함안층은 경상분지의 밀양지괴에 속하는 지층으로서, 1:50,000 지질도엽 마산도폭(Kim and Kim, 1963), 진동도폭(Park and Chi, 1963), 의령도폭(Choi and

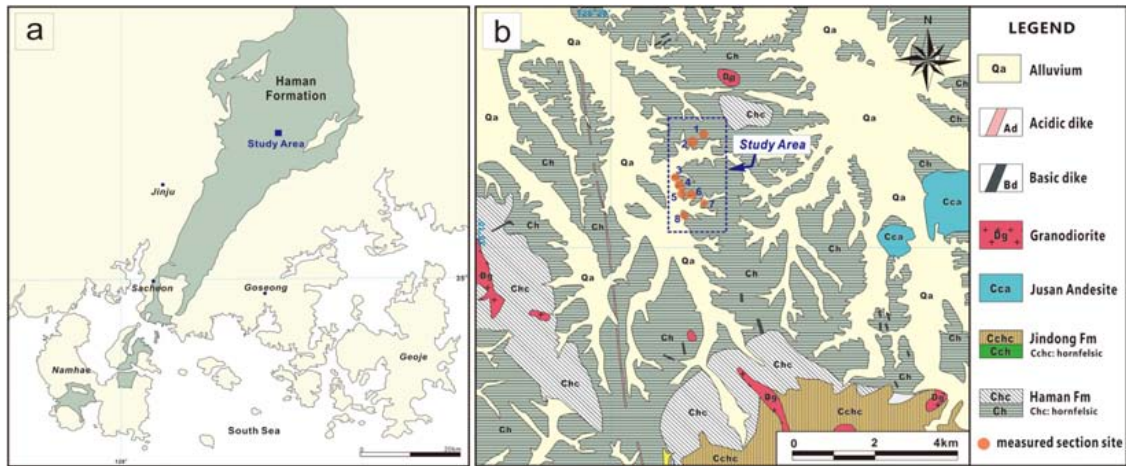


Fig. 1. a. Distribution map of the Haman Formation and location of study area. b. Geological map of study area (Choi and Kim, 1963).

Kim, 1963) 등에서 설정되었으며, 경남 사천에서 대구에 이르기까지 북동-남서 방향으로 넓게 분포한다. 한편 함안층의 최상부를 인지하는 열쇠층으로는 구산동 응회암이 제시되어 있다(Chang, 1975). 함안층의 지질시대에는 하양층군의 하위 층군인 신동층군의 지질시대가 Lee *et al.* (2010)에 의해 Late Aptian-Late Albian으로 제시된 사실과 함안층의 상하위에 놓인 지층의 연대측정 결과(Kim *et al.*, 2005; Jwa *et al.*, 2009; Kim *et al.*, 2013) 등을 고려할 때, 백악기 후기인 알비안(Albian)(1억년 전후)에 해당하는 지층으로 여겨진다(Kang and Paik, 2013).

함안층은 붉은색의 사암과 이암 또는 셰일의 반복된 협재가 특징인 지층으로 하성평원퇴적층으로 대표되는 지층이다(Um *et al.*, 1983). 경상누층군에 발달된 대표적인 하성기원의 퇴적층은 하산동층, 칠곡층 및 함안층이다. 이 중 하산동층에는 하도기원의 사암층과 고토양기원의 켈크리트가 흔히 발달되어 있는 것과는 달리, 함안층에는 하도기원의 사암과 고토양 기원 켈크리트의 발달이 매우 제한적이다. 이는 함안층의 퇴적이 개방수류(unconfined flow)가 우세한 충적평원 환경에서 이루어졌음을 시사해 주며(Chang, 1978; Um *et al.*, 1983; Choi, 1986), 퇴적속도 또한 비교적 빨랐음을 시사해 준다.

한편, 함안층 퇴적층의 판상의 사암 내지 실트스톤에서는 평행층리나 사층리, 사엽층리와 연흔 등이 나타나고, 붉은색의 이암에서는 연흔 및 건열 등이 흔히 관찰되며, 우흔, 무척추동물의 생존구조, 다양

한 새발자국 화석 및 공룡발자국 화석 등이 산출된다(Chang, 1967, 1978; Kim, 1969; Um *et al.*, 1983; Choi, 1986; Baek and Yang, 1998; Lim *et al.*, 2000; Kim *et al.*, 2006, 2011, 2012). 이와 함께 경남 사천시 신수도와 아두섬, 남해군 가인리에 분포하는 함안층에서 익룡 발자국 화석(Kim *et al.*, 2006, 2012)이 보고되었다. 사천시 신수도 지역에서는 익룡 발자국 화석 외에도 공룡 알껍데기 화석과 탄화목 화석이 발견되었으며(Yun *et al.*, 2004), 이 알껍데기 화석층의 고환경은 충적평야의 범람원 환경으로 해석되었다(Paik *et al.*, 2012b). 또한 신수도 지역의 함안층에서 호수주변부 퇴적층의 윤회퇴적작용이 보고되었고, 이는 건기와 우기의 계절적인 변화와 이에 따른 충상범람 에너지의 변화 및 단기 내지 장기적 기후변화의 결과에 의한 것으로 해석되었다(So *et al.*, 2007). 이 외에도 사천지역에 분포하는 함안층에서는 공룡피부 인상화석이 보고된 바 있고(Kim *et al.*, 2010; Paik *et al.*, 2010), 진주지역의 함안층에서는 국내 처음으로 롤업(roll-up)구조가 보고되었으며, 이는 미생물 기원의 퇴적구조(MISS: Microbially Induced Sedimentary Structure)로 해석되었다(Paik and Kim, 2014).

3. 퇴적상

연구지역에 노출된 함안층 퇴적층의 8개 퇴적단면들을 대상(그림 1b)으로, 이 지역 퇴적층의 암질,

Table 1. Sedimentary facies, sedimentary features and depositional environments of the Haman Formation in the study area.

	Sedimentary facies	Sedimentary features	Depositional environment
F1:	Reddish interlaminated to thinly interbedded fine-grained sandstone to siltstone and mudstone	planar lamination, wavy lamination, irregular lamination, cross lamination, micrograding, mudcrack, ripple mark (symmetrical or asymmetrical), calcareous nodule, invertebrate trace, evaporite mineral cast, dinosaur footprint, bird footprint	unconfined flow alluvial plain to lake margin (dry mudflat)
F2:	Greenish gray interlaminated fine-grained sandstone to siltstone and mudstone	irregular lamination, micrograding, mudcrack, brecciation, mud flake, calcareous nodule, dinosaur footprint, dinosaur eggshell fragment	unconfined flow lake margin (mudflat) weak pedogenesis
F3:	Dark gray interlaminated fine-grained sandstone to siltstone and mudstone	mudstone-dominated, planar lamination, micrograding, mudcrack	unconfined flow lake margin (mudflat)
F4:	Planar- to cross-laminated medium- to fine-grained sandstone to siltstone	thin- to medium-bedded, planar lamination, cross lamination, grading, ripple mark, mud film, mudcrack	unconfined flow alluvial plain (sandflat)
F5:	Dunoid and planar- to cross-laminated medium- to fine-grained sandstone	thick-bedded, dunoid, erosive base, grading, planar to cross lamination	intensive unconfined flow alluvial plain (sandflat)
F6:	Greenish gray calcareous silty mudstone	calcareous, massive, irregular lamination, calcareous nodule (calcrete), pedogenic slickenside, pseudoanticline	post-depositional pedogenesis alluvial plain to lake margin
F7:	Reddish calcareous silty mudstone	calcareous, massive, calcareous nodule (calcrete), pedogenic slickenside, pseudoanticline, carbonized wood fragment	post-depositional pedogenesis alluvial plain
F8:	Graded medium-grained sandstone	thin- to medium-bedded, bedded to lenticular, erosive base, normal grading	unconfined flow alluvial plain (sandflat)
F9:	Pedogenic carbonates	thin-bedded to lenticular, alternation with dark gray interlaminated fine-grained sandstone to siltstone and mudstone	pedogenesis lake margin to shallow lake
F10:	Thin- to medium-bedded tuffaceous coarse- to medium-grained sandstone	tuffaceous, thin- to medium-bedded, erosive base, normal grading, planar to cross lamination	intensive unconfined flow after volcanic activity alluvial plain (sandflat)
F11:	Alternation of greenish gray tuffaceous fine-grained sandstone and mudstone	tuffaceous, lamination to thin-bedding, scattered sand grain, erosive base, micrograding	unconfined flow after volcanic activity alluvial plain (sandflat)

암색, 퇴적구조 등 여러 퇴적특성이 관찰되었다. 이를 바탕으로 연구지역 함안층 퇴적층을 11개 유형의 퇴적상으로 구분하였으며(표 1), 이들의 퇴적특성과 퇴적환경은 다음과 같다.

3.1 붉은색질의 엽층 내지 얇은층으로 교호하는 세립사암 내지 실트스톤과 이암(F1: Reddish interlaminated to thinly interbedded fine-grained sandstone to siltstone and mudstone)

이 퇴적상은 엽층 내지 얇은층으로 발달한 회색 내지 담적색 세립사암 내지 실트스톤과 붉은색 이암이 반복적으로 교호하여 형성된 것으로서(그림 2), 이들의 엽층리는 때때로 불규칙 또는 불연속적이며, 간혹 파상엽층리의 형태(그림 2e)를 보인다. 세립사암 내지 실트스톤 엽층의 하부 경계는 침식적이고, 상부로 가면서 붉은색 이암 엽층으로의 점이엽층리를 보인다(그림 2b, 2c). 또한 세립사암 내지 실트스톤 엽층에서는 사암층리가 드물지 않게 발달하며,

세립사암은 렌즈의 형태로 흔히 협재하기도 한다(그림 2d). 대칭 및 비대칭의 연흔구조(파장 2 cm 내외,

파고 수 mm)와 건열구조가 흔히 발달하며(그림 2f, 2g), 간혹 무척추동물의 생흔화석(*Cochlichnus* isp.,

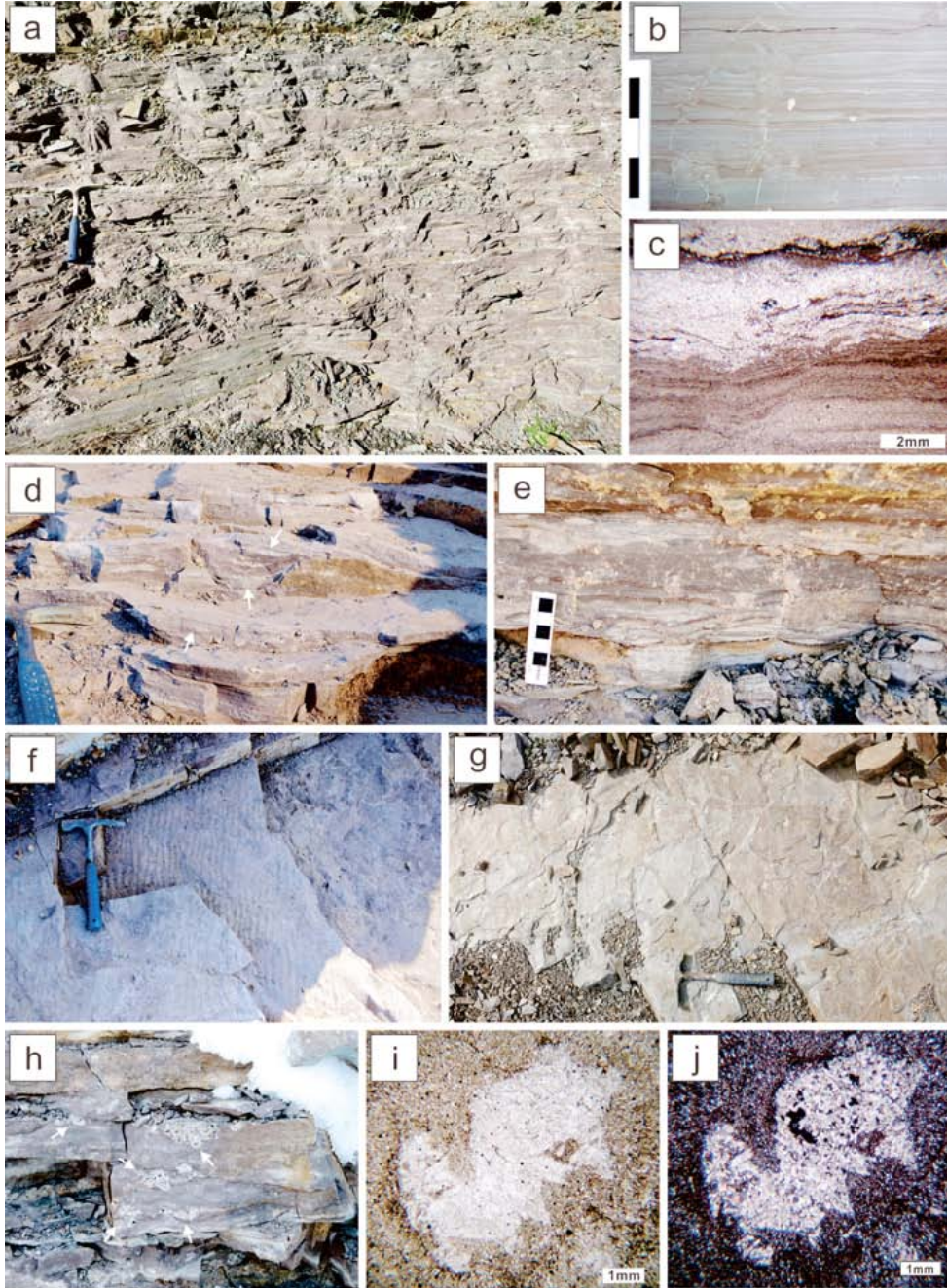


Fig. 2. Occurrences and sedimentary features of reddish interlaminated to thinly interbedded fine-grained sandstone to siltstone and mudstone. a. Sectional view. b. Polished slab showing lamination and mudcracks. c. Thin section photomicrograph showing micrograding. d. Sandstone lenses (arrows). e. Ripple-bedding. f. Wave ripples. g. Mudcracks. h. Aggregates of evaporite mineral casts (arrows). i, j. Thin section photomicrographs of evaporite mineral casts (i: plane polarized light, j: polarized light).

Diplocraterion isp. 등)이 수반되고(그림 3f, 3g, 3h), 부분적으로 석회질 단괴들이 산재한다. 이 퇴적상에서는 함안층에서 흔히 산출되는 공룡발자국 화석과 공룡발자국화석의 단면구조, 새발자국 화석(물갈퀴가 있는 유형을 포함)이 확인되었으며(그림 3a - 3e), 일부 공룡발자국 내에서는 피부인상화석이 나타난다(Paik *et al.*, 2017). 이와 함께 방해석으로 충전된 증발암광물(석고) 결정집합체의 발달이 확인되었는데(그림 2h - 2j), 이러한 특성은 연구지역 내 남동측에 노출된 퇴적단면, 즉 연구지역 퇴적층의 상부에서 흔히 산출된다. 한편, 이 퇴적상은 녹회색질의 엽층으로 교호하는 세립사암 내지 실트스톤과 이암, 붉은색질의 석회질의 실트질 이암과 수반된다.

이 퇴적상은 연구지역에서 가장 흔히 산출되는 암상으로서, 건기와 우기의 반복으로 형성된 층상범람 퇴적층으로 해석된다(Um *et al.*, 1983; Abdul Aziz *et al.*, 2003; Hinds *et al.*, 2004; Melchor *et al.*, 2006;

Fisher *et al.*, 2008; Kim *et al.*, 2011). 간헐적으로 산출되는 증발암광물혼은 이 퇴적상의 형성 당시 건조한 기후 조건과 함께 기수(brackish water) 또는 염수(saline water)가 존재했음(Gierlowski-Kordesch and Rust, 1994; Paik *et al.*, 2007)을 암시한다. 따라서 이 퇴적상은 충적평원 내지 호수주변부의 건조한 이질평원(dry mudflat) 환경에서 형성된 것으로 해석된다(Smoot and Lowenstein, 1991; Gierlowski-Kordesch and Rust, 1994; El-Tabakh *et al.*, 1997).

3.2 녹회색질의 엽층으로 교호하는 세립사암 내지 실트스톤과 이암(F2: Greenish gray interlaminated fine-grained sandstone to siltstone and mudstone)

이 퇴적상은 엽층으로 발달한 회색 내지 녹회색 세립사암 내지 실트스톤과 녹회색 이암이 반복적으로 교호하여 형성된 암상으로서(그림 4), 대체적으로 석회질 성분을 함유하고, 이질층의 다짐작용에

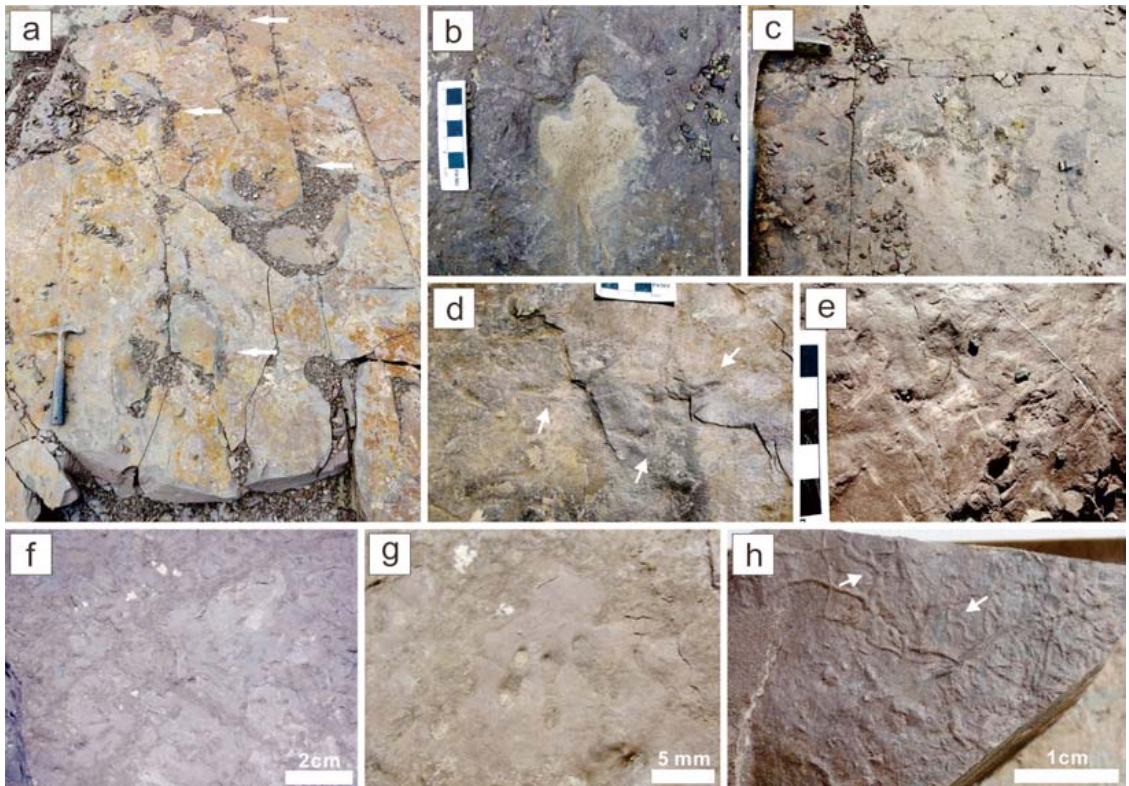


Fig. 3. Dinosaur footprints (a, b, c), bird footprints (d, e) and invertebrate trace fossils (e, f, g) observed in reddish interlaminated to thinly interbedded fine-grained sandstone to siltstone and mudstone. a. Ornithopod trackway. b. Ornithopod footprint. c. Theropod footprint. d. Unwebbed bird footprints. e. Webbed bird footprint. f, g. *Diplocraterion* isp. h. *Cochlichnus* isp. (arrows).

의해 불규칙상의 엽층리를 보인다. 세립사암 내지 실트스톤에서 이암으로 전이하는 부분에서는 점이 엽층리가 나타난다. 이 암상에는 건열구조가 발달하며(그림 4b, 4c), 이암엽층이 각력화되어 인트라클라스트로 재퇴적된 양상이 사질엽층에서 관찰되고, 때때로 수 mm 크기의 석회질 단괴가 미약하게 나타난다(그림 4c). 이 퇴적상은 붉은색질의 엽층 내지 얇은층으로 교호하는 세립사암 내지 실트스톤과 이암과 수반된다. 한편, 이 암상에서는 파편상의 공룡알 껍데기 화석이 산출되었다(그림 4d).

불규칙상 엽층리의 발달, 점이엽층리와 건열구조의 발달, 붉은색질의 엽층 내지 얇은층으로 교호하는 세립사암 내지 실트스톤과 이암과의 수반 등은 이 퇴적상이 호수주변부의 이질평원에서 충상범람에 의해 형성된 퇴적층임을 암시한다(Abdul Aziz *et al.*, 2003; Fisher *et al.*, 2008). 이와 함께 이암엽층의 각력화와 석회질 단괴의 발달은 퇴적 이후 건기

가 지속되면서 미약한 토양화작용을 겪었음을 지시한다(Gierlowski-Kordesch and Rust, 1994).

3.3 암회색질의 엽층으로 교호하는 세립사암 내지 실트스톤과 이암(F3: Dark gray interlaminated fine-grained sandstone to siltstone and mudstone)

이 퇴적상은 엽층으로 발달한 세립사암 내지 실트스톤과 이암이 반복적으로 교호하여 형성된 암상으로서(그림 5), 상대적으로 조립질인 세립사암 내지 실트스톤 보다는 세립질인 이암이 지배적이다. 이들의 엽층리는 판상으로 연속적인 발달을 보이며, 세립사암 내지 실트스톤에서 이암으로의 경계는 점이적이다(그림 5b). 세립사암 내지 실트스톤은 때때로 렌즈상 엽층으로 발달하기도 한다. 이 퇴적상에는 건열구조가 발달하며(그림 5a, 5b), 간간이 토양기원 탄산염암이 협재된다. 또한 이 퇴적상은 녹회색질의 엽층으로 교호하는 세립사암 내지 실트스톤

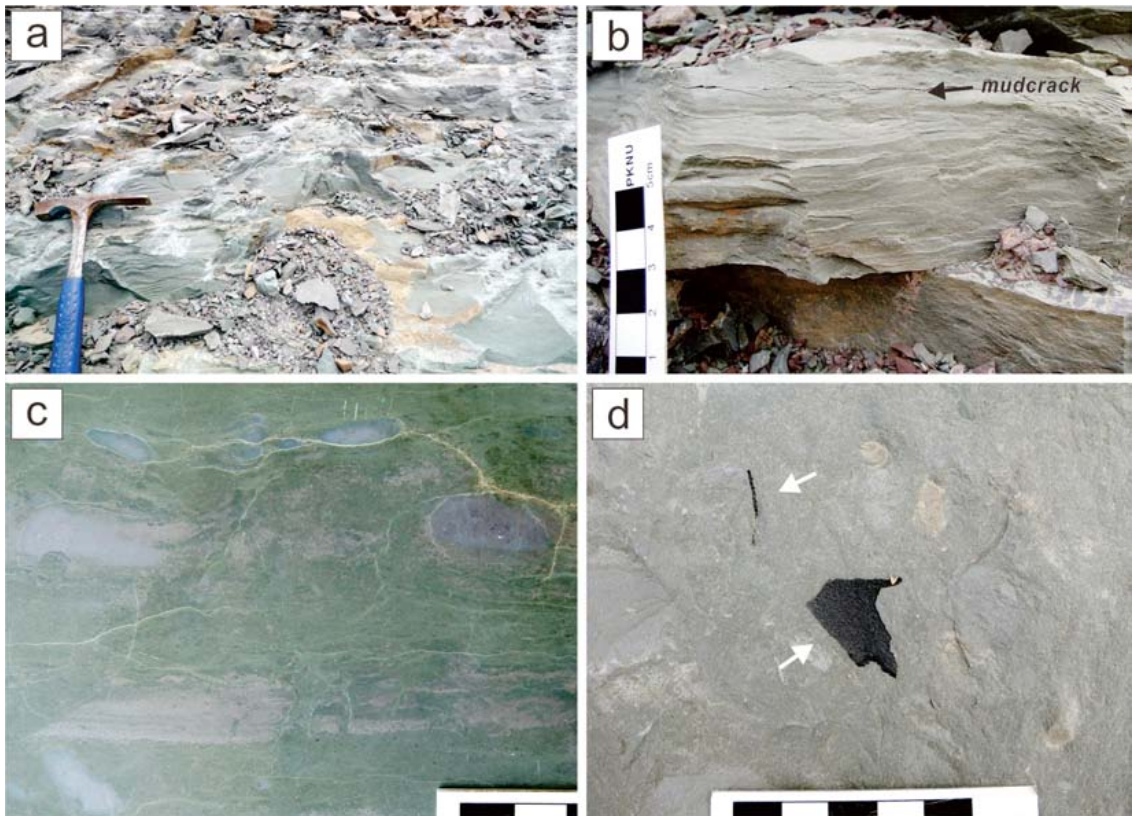


Fig. 4. Occurrences of greenish gray interlaminated fine-grained sandstone to siltstone and mudstone. a. Sectional view. b. Close view of a. Planar lamination and mudcrack. c. Polished slab showing irregular lamination, cracking and calcareous nodules. d. Dinosaur eggshell fragments (arrows).

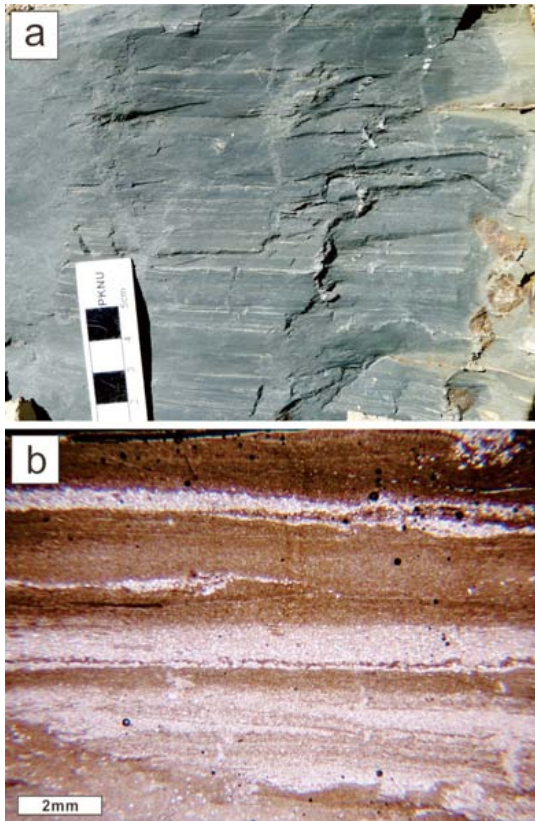


Fig. 5. Occurrences of dark gray interlaminated fine-grained sandstone to siltstone and mudstone. a. Sectional view. b. Thin section photomicrograph showing micrograding and mudcracks.

과 이암과 10 cm 내외의 두께로 반복적으로 교호하며 발달하기도 한다.

암회색질과 상대적으로 세립질인 이암의 지배적인 산출, 점이엽층리의 발달, 건열구조, 녹회색질의 엽층으로 교호하는 세립사암 내지 실트스톤과 이암과의 수반 등은 이 퇴적상이 호수주변부 환경(이질평원)에서 건기와 우기의 반복에 의해 형성된 층상범람 퇴적층임을 지시한다(Gierlowski-Kordesch and Rust, 1994; Paik and Kim, 2006; So *et al.*, 2007; Paik *et al.*, 2009; Kim *et al.*, 2011).

3.4 판상 내지 사엽층리가 발달한 중립-세립사암 내지 실트스톤(F4: Planar- to cross-laminated medium- to fine-grained sandstone to siltstone)

이 퇴적상은 붉은색질의 엽층 내지 얇은층으로 교호하는 세립사암 내지 실트스톤과 이암 내에서 얇은

층 내지 중간층 두께를 가지며 층상 또는 렌즈상으로 발달한다(그림 6a, 6b). 하부는 다소 뚜렷한 침식적인 경계를 보이고 상부로 가면서 점차 세립화되면서 연흔구조가 흔히 발달하고, 이는 이암막으로 피복된다(그림 6b). 피복된 이암막에서는 건열과 무척추동물의 생흔이 발달한다. 한편, 이 퇴적상에서는 2차적 기원의 황철석의 결정들이 산재한다. 이 퇴적상은 층적평원(사질평원)에서 층상범람에 의해 형성된 퇴적층으로 해석된다(Turnbridge, 1984; Gierlowski-Kordesch and Rust, 1994; Melchor *et al.*, 2006; Paik and Kim, 2006; So *et al.*, 2007; Paik *et al.*, 2009; Kim *et al.*, 2011).

3.5 판상 내지 사엽층리가 발달한 사구상의 중립 내지 세립사암(F5: Dunoid and planar- to cross-laminated medium- to fine-grained sandstone)

이 퇴적상은 사구상으로 발달한 유백색질 또는 담녹회색질의 중립 내지 세립사암층으로서, 두꺼운 층으로 발달한다(그림 6c, 6d). 하부는 판상형이며 상부는 큰 파형을 이루며 발달한 층형을 보이고, 횡적으로 층후의 변화가 나타난다. 대체적으로 붉은색질의 엽층으로 교호하는 세립사암 내지 실트스톤과 이암 내에 협재된다. 하부의 경계는 뚜렷하고 침식적이며 때때로 이암편을 함유하고, 상부로 가면서 점차 세립화되면서 수평 내지 사엽층리가 발달한다(그림 6d). 이 퇴적상은 층적평원(사질평원)에서 발생한 강한 층상범람에 의해 형성된 퇴적층으로 해석된다(Hubert and Hyde, 1982; Gierlowski-Kordesch and Rust, 1994).

3.6 녹회색질의 석회질의 실트질 이암(F6: Greenish gray calcareous silty mudstone)

이 퇴적상은 앞서 기재한 퇴적상인 녹회색질의 엽층으로 교호하는 세립사암 내지 실트스톤과 이암의 특성 중 하나인 불규칙한 엽층리가 미약하게 잔존되어 있으나, 그보다 석회질 성분이 풍부하고, 석회질 단괴가 흔히 관찰된다(그림 7a, 7b). 또한 균질한 피상층리를 이루고, 토양기원 미끌림면(그림 7c)과 위배사구조가 발달되어 있다. 이 퇴적상은 건조한 기후의 층적평원 내지 호수주변부의 이질평원에서 비교적 장기간 토양화작용을 겪어 형성된 것으로 해석되며(Gierlowski-Kordesch, 1998), 토양기원 미끌

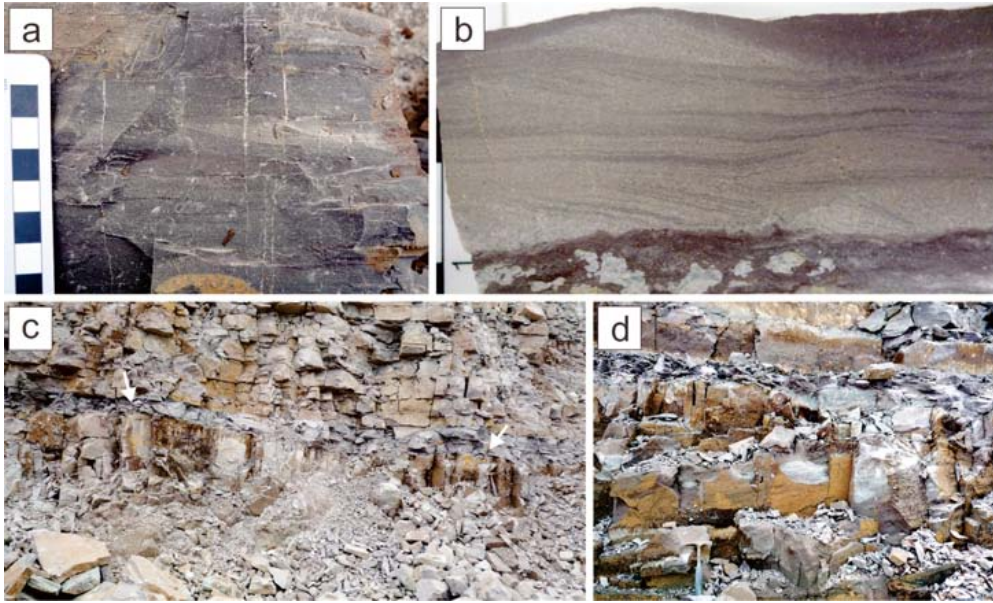


Fig. 6. Planar- to cross-laminated medium- to fine-grained sandstone to siltstone (a, b) and dunoid and planar- to cross-laminated medium- to fine-grained sandstone (c, d). a. Sectional view of planar- to cross-laminated medium- to fine-grained sandstone to siltstone. b. Polished slab of planar- to cross-laminated medium- to fine-grained sandstone to siltstone showing erosional base, grading and planar- to cross-lamination. c. Sectional view of dunoid sandstone. d. Cross-lamination in dunoid sandstone.

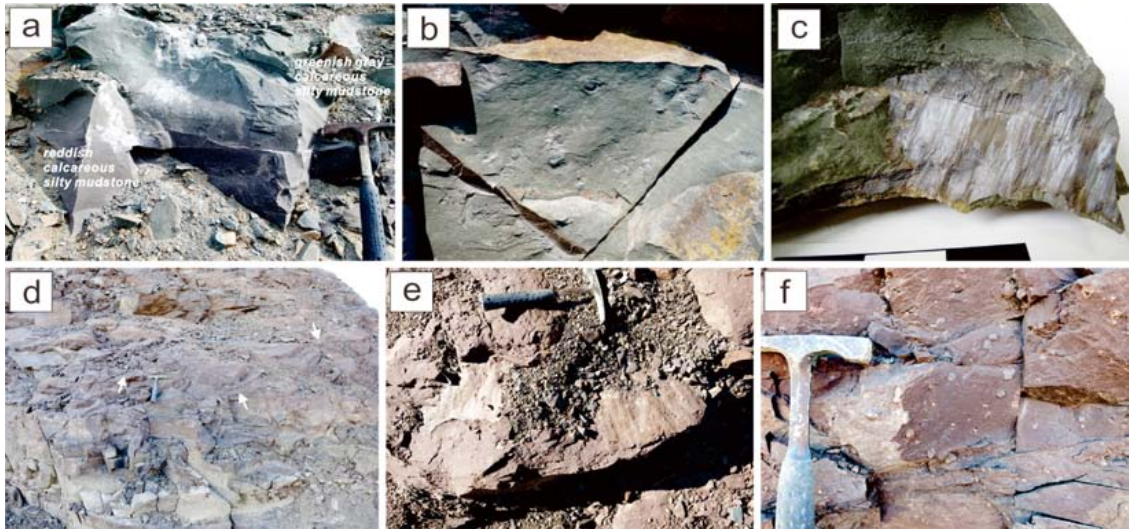


Fig. 7. Occurrences of greenish gray calcareous silty mudstone and reddish calcareous silty mudstone. a. Sectional view of greenish gray and reddish calcareous silty mudstone. Boundary between both sedimentary facies is gradual in color. b, c. Greenish gray calcareous silty mudstone. Calcrete nodules (b) and pedogenic slickensides (c) are observed. d, e, f. Reddish calcareous silty mudstone. Pseudoanticline (arrows in d), pedogenic slickensides (e) and calcrete nodules (f) are present.

림면과 위배사구조의 발달로 미루어 형성 당시 전반적으로 건조한 기후조건이 지배적인 가운데에 전기

와 우기가 반복되는 계절성 기후가 발달했던 것으로 해석된다(Retallack, 1990).

3.7 붉은색질의 석회질의 실트질 이암(F7: Reddish calcareous silty mudstone)

이 퇴적상은 앞서 기재한 녹회색질의 석회질의 실트질 이암과 동일한 특성인 석회질 단괴의 산출, 토양기원 미끌림면과 위배사구조의 발달, 각력화현상 등이 나타나나, 암색에서 구분된다(그림 7d, 7e, 7f). 붉은색질의 엽층 내지 얇은층으로 교호하는 세립사암 내지 실트스톤과 이암과 흔히 수반되며, 균질한 과상층리를 이루며 발달한다. 이 퇴적상은 건조한 기후 하의 충적평원환경에서 비교적 장기간 토양화작용을 겪어 형성된 것으로 해석되며, 토양기원 미끌림면과 위배사구조 등 버티컬교토양 특성의 발달(그림 7e, 7f)은 퇴적 당시 전반적으로 건조한 기후조건이 지배적인 가운데에 건기와 우기가 반복적으로 발달했던 것임을 지시한다(Retallack, 1990; Gierlowski-Kordesch and Rust, 1994; Gierlowski-Kordesch, 1998).

3.8 점이층리가 나타나는 중립사암(F8: Graded medium-grained sandstone)

붉은색질의 엽층 내지 얇은층으로 교호하는 세립사암 내지 실트스톤과 이암 내에서 유백색 내지 담회색, 담적색을 보이고 얇은층의 두께를 가지며 층상 또는 렌즈상으로 산출된다(그림 8a). 하부는 침식적인 경계를 이루며 점차 세립화되는 점이층리가 발달한다. 이 퇴적상은 충적평원(사질평원)에서 발생한 비교적 강한 층상범람에 의해 형성된 퇴적층으로 해석된다(Hubert and Hyde, 1982).

3.9 토양기원 탄산염암(F9: Pedogenic carbonates)

암회색질의 엽층으로 교호하는 세립사암 내지 실트스톤과 이암과 녹회색질의 엽층으로 교호하는 세립사암 내지 실트스톤과 이암의 교호층 내에서 10 cm 내외의 두께를 가지며 층상 내지 렌즈상으로 산출된다(그림 8b). 렌즈상으로 발달된 경우, 일부는 하부층을 밀어내며 성장하는 형태를 보이기도 하고, 건열을 충전하고 성장한 모양을 보이기도 한다(그림 8b). 이 퇴적상은 호수주변부 내지는 얇은 호수에서 토양화에 의해 형성된 것으로 해석된다(Paik and Kim, 2003, 2006; So *et al.*, 2007; Kim *et al.*, 2011).

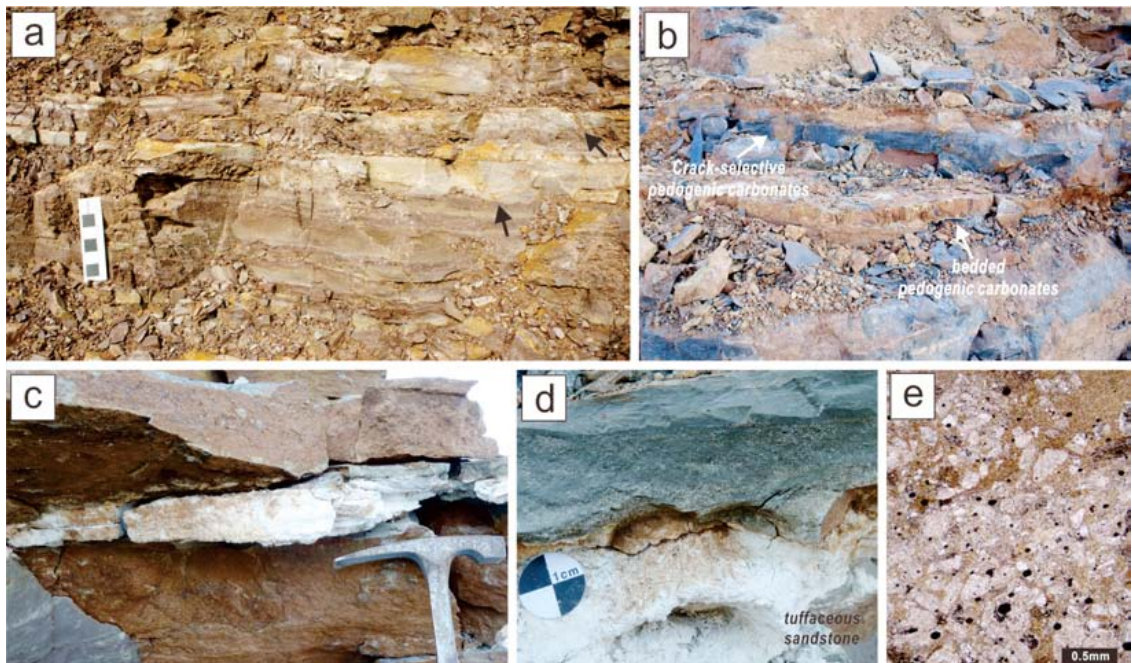


Fig. 8. a. Graded medium-grained sandstone (arrows). b. Pedogenic carbonates. c. Thin- to medium-bedded tuffaceous coarse- to medium-grained sandstone. d. Sectional view of alternation of greenish gray tuffaceous fine-grained sandstone and mudstone. e. Thin section photomicrograph in plane polarized light of alternation of greenish gray tuffaceous fine-grained sandstone and mudstone.

3.10 얇은층 또는 중간층으로 발달한 응회질의 조립 내지 중립사암(F10: Thin- to medium-bedded tuffaceous coarse- to medium-grained sandstone)

이 퇴적상은 얇은층 또는 중간층의 두께를 가지는 응회질의 조립 내지 중립사암으로서, 붉은색질 또는 녹회색질의 엽층으로 교호하는 세립사암 내지 실트스톤과 이암에서 유백색질을 띠며 렌즈상 내지 층상으로 발달한다(그림 8c). 하부는 침식적인 경계를 이루며 상부로 가면서 정점이현상을 보이고, 내부에는 엽층리 내지는 사엽층리가 발달한다. 일부 응회질 입자는 방해석으로 치환되어 있다. 이 퇴적상은 충적평원 환경에서 화산활동 이후 발생한 강한 층상 범람에 의해 형성된 것으로 해석된다(Paik *et al.*, 2009).

3.11 녹회색질의 응회질 세립사암과 이암의 교호암 (F11: Alternation of greenish gray tuffaceous fine-grained sandstone and mudstone)

fine-grained sandstone and mudstone)

응회질 사암의 상위에 발달한 이 퇴적상은 응회질 세립사암과 이암이 미약하게 교호하여 마치 이암 내에 응회질 세립사가 산포된 형태로 나타난다(그림 8d, 8e). 현미경 하에서 응회질 세립사암의 하부는 침식적인 경계를 보이며 미약하게 점이엽층리가 발달한다. 이 퇴적상은 충적평원 내지 호수주변부 환경에서 화산활동 이후 발생한 층상 범람에 의해 형성된 것으로 해석된다(Paik *et al.*, 2009).

4. 층서적 분포특성

연구지역 내에서 총 8개의 함안층 퇴적단면이 관찰되었고, 퇴적상과 퇴적특성의 수직적 변화를 분석하였다. 연구지역에 분포하는 함안층 퇴적층의 주향과 경사는 관찰된 퇴적단면들 간에 다소 차이가 있

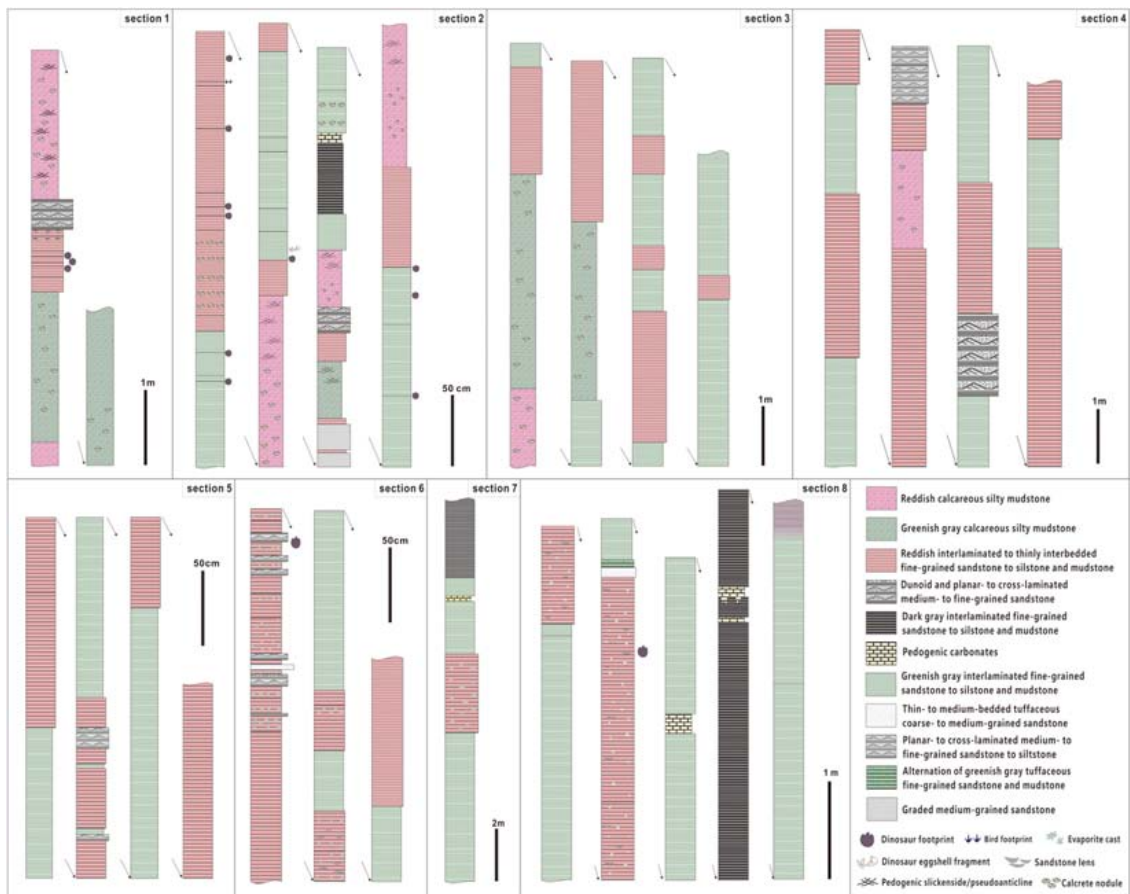


Fig. 9. Stratigraphic sections of the Haman Formation in study area. Section 1 to 8 is in stratigraphically ascending order.

으나, 일반적으로 경상분지를 충전한 퇴적층들과 동일한 북동-남서방향의 주향(N45E~N70E)과 남동방향의 경사(10-14SE)를 이룬다. 따라서 퇴적단면 1에서 퇴적단면 8로 가면서 상위에 이르고, 퇴적단면 1, 2 및 3은 상대적으로 하부, 퇴적단면 4, 5 및 6은 중부, 퇴적단면 7 및 8은 상부에 해당한다. 각 퇴적단면의 퇴적주상도(그림 9)를 작성하고 하부퇴적층에서 상부퇴적층까지 수직적으로 나열한 후, 퇴적단면을 구성하는 퇴적상과 암색, 암질, 고토양 및 증발암광물의 산출유무 등을 포함한 퇴적특성의 변화양상을 관찰하였다. 그 결과 연구지역 퇴적층 내에서 암색의 교호와 변화, 상부퇴적층과 하부퇴적층 간의 암질 변화 및 퇴적상의 변화, 고토양층, 증발암광물혼 및 토양기원 탄산염암 등의 발달, 응회질 사암렌즈의 협재 여부 등의 변화가 나타났다(그림 10).

연구지역 퇴적층은 붉은색질 퇴적층으로 대표되는 일반적인 함안층 퇴적층과는 달리 붉은색질 퇴적층과 녹회색질 퇴적층이 수 m의 두께로 교호하는 양상이 관찰된다. 하부퇴적층(퇴적단면 1, 2 및 3)의 붉은색질 퇴적층은 대체적으로 석회질의 실트질 이암이며, 상부퇴적층(퇴적단면 7 및 8)의 붉은색질 퇴적층은 엽층 내지 얇은층으로 교호하는 세립사암 내지 실트스톤과 이암으로 구성된다. 중부퇴적층(퇴적단면 4, 5 및 6)의 붉은색질 퇴적층은 엽층 내지 얇은층으로 교호하는 세립사암 내지 실트스톤과 이암이 대부분을 이룬다. 녹회색질 퇴적층은 하부퇴적층에서는 석회질의 실트질 이암이, 중부와 상부퇴적층에서는 엽층 내지 얇은층으로 교호하는 세립사암 내지 실트스톤과 이암이 우세하다. 이와 함께 상부퇴적층인 퇴적단면 7과 8에서는 암회색질 퇴적층이 두껍게 발달한다.

연구지역의 퇴적층에서 가장 우세하게 산출되는 퇴적상은 붉은색질 또는 녹회색질의 엽층 내지 얇은층으로 교호하는 세립사암 내지 실트스톤과 이암이다. 이들은 모든 퇴적단면에서 지속적으로 산출되나, 상대적으로 하부퇴적층에 해당하는 퇴적단면 1, 2 및 3에서는 산출빈도가 낮고, 오히려 괴상층리를 이루는 석회질의 실트질 이암이 우세하게 발달한다. 중부 및 상부퇴적층에 해당하는 퇴적단면 4, 5, 6, 7 및 8에는 상대적으로 규질성분이 풍부한 세립사암 내지 실트스톤과 이암이 엽층 내지 얇은층으로 교호하는 암상이 지배적으로 발달하며, 중부퇴적층의 상부

인 퇴적단면 6과 상부퇴적층인 퇴적단면 7 및 8에는 붉은색질 퇴적층 내에 사암렌즈가 빈번하게 협재한다.

하부퇴적층에서 상부퇴적층으로 가면서 나타나는 가장 큰 변화는 고토양층과 증발암광물혼의 산출 변화이다. 이러한 현상은 중부퇴적층의 하부인 퇴적단면 4를 경계로 확연하게 나타난다. 하부퇴적층에 해당하는 퇴적단면 1, 2 및 3에서는 석회질 및 버티콜 고토양이 수반된 실트질 이암층의 발달이 빈번하고, 퇴적단면 3의 상부로 가면서 고토양 기원 퇴적층의 산출이 감소한다. 퇴적단면 4에서는 고토양이 매우 드물게 나타나고 중부퇴적층의 상부와 상부퇴적층인 퇴적단면 5, 6, 7 및 8에서는 고토양이 관찰되지 않는다. 그러나 퇴적단면 5, 6, 7 및 8에서는 붉은색질의 엽층 내지 얇은층으로 교호하는 세립사암 내지 실트스톤과 이암에서 증발암광물결정집합체의 산출이 빈번한 반면, 퇴적단면 1, 2, 3 및 4에서는 관찰되지 않는다.

또한 상부퇴적층인 퇴적단면 7과 8에서는 붉은색질의 층적평원 내지 호수주변부 퇴적층보다 녹회색질 내지 암회색질의 호수주변부 내지 얇은 호수 퇴적층이 두껍게 발달하고, 이와 함께 토양기원 탄산염암이 하부퇴적층에 비해 다소 빈번히 산출된다.

응회질 사암층은 퇴적단면 2와 퇴적단면 6 및 8에서 산출된다. 하부퇴적층보다 상대적으로 상부퇴적층에서 1회 더 산출되었으며, 퇴적단면 6, 7과 8에서는 붉은색의 엽층 내지 얇은층으로 교호하는 세립사암 내지 실트스톤과 이암층 내에 응회질성분을 함유한 사암렌즈가 흔히 협재한다.

그밖에 연구지역의 퇴적단면을 구성하는 퇴적상의 전반적인 입도는 큰 차이가 나타나지 않으나, 일부 퇴적단면에서 비교적 두꺼운 사암층이 등장하기 전에 상향조립화되는 양상이 나타나고, 다시 상향세립화하는 양상이 관찰된다.

5. 고환경

퇴적상 분석을 통해 연구지역 함안층 퇴적층은 대체로 하도의 발달이 없는 개방수류(unconfined flow, 층상범람)에 의해 퇴적되었으며(Collinson, 1996; North and Davidson, 2012), 퇴적환경은 층적평원에서 호수주변부(사질평원 내지 이질평원) 내지 얇은 호수에 이르는 환경으로 해석되었다. 석회질고토양과 버

티끌고토양의 산출은 당시 건조한 기후가 지배적인 가운데 건기와 우기가 반복되는 계절성기후의 영향

을 받았음을 시사하며, 증발광물혼의 산출은 때때로 다소 염도가 높았던 물과 증발작용이 활발했던 건조

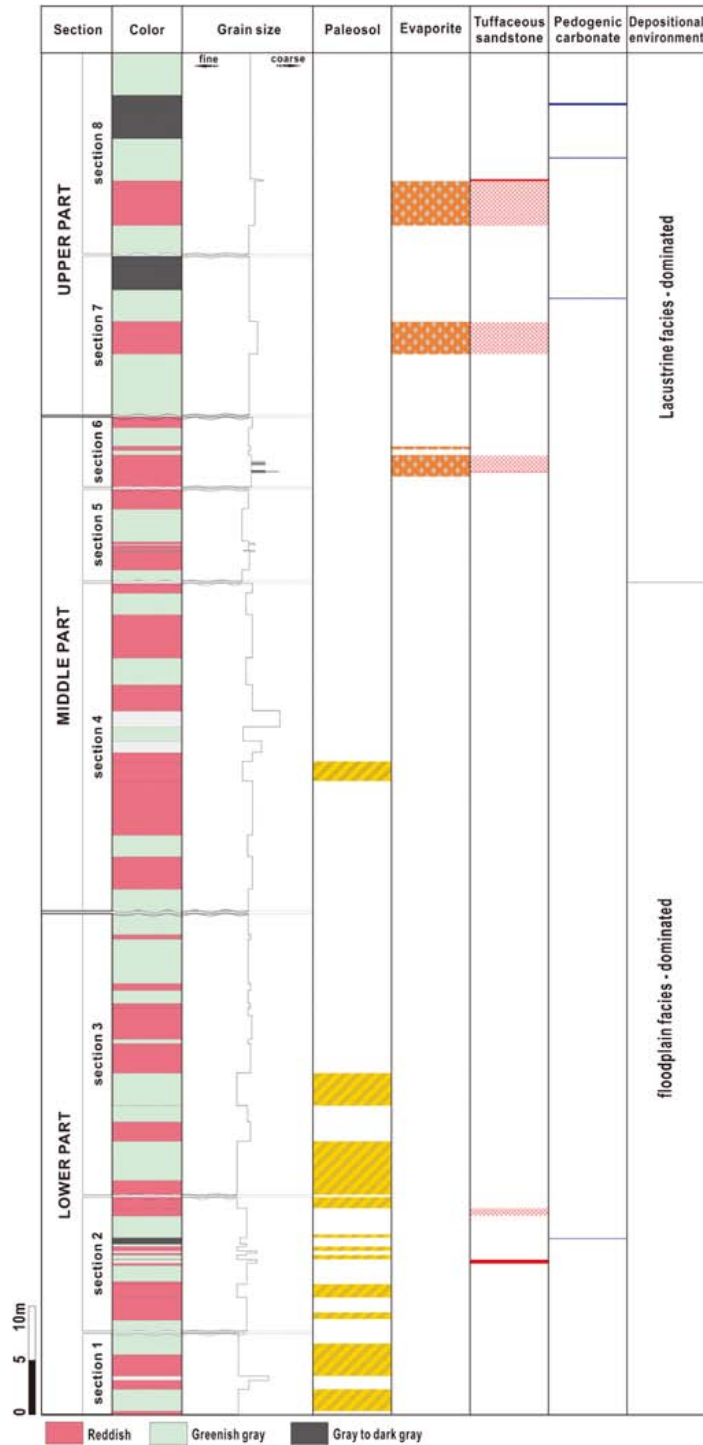


Fig. 10. Stratigraphic occurrences of diverse sedimentary features observed from the examined deposits.

성 이질평원이 존재(Gierlowski-Kordesch and Rust, 1994; El-Tabakh *et al.*, 1997)했음을 의미한다. 이와 함께 응회질 사암의 형성은 인접한 지역에서 간헐적으로 화산분출이 있었음을 지시한다.

연구지역 퇴적층은 전반적으로 충적평원 내지 호수주변부 기원의 붉은색질 퇴적층과 녹회색질 퇴적층이 수 m 두께를 이루며 교호한다. 또한 상부로 가면서 호수주변부 내지 얇은 호수 기원의 두꺼운 암회색질 퇴적층이 발달한다. 이는 기후변화에 따른 산화환경과 환원환경의 교호(Abdul Aziz *et al.*, 2003)와 이후 상대적으로 지속적인 호수의 등장을 의미하고, 충적평원과 호수주변부환경의 반복적인 발달과 함께 충적평원 내 호수의 존재를 지시한다.

고토양기원의 붉은색질의 석회질의 실트질 이암 내에서는 탄화된 식물편들이 1 cm 미만의 크기로서 매우 드물게 산출되고, 리졸리스 또는 실뿌리구조 등의 식물의 흔적은 관찰되지 않는다. 이는 연구지역 함안층 퇴적층의 퇴적환경이 식물이 생육하기에는 비교적 열악했던 조건임을 암시한다. 붉은색질의 염층 내지 얇은층으로 발달한 세립사암 내지 실트스톤과 이암에서 증발광물흔이 산출함은 이러한 사실을 뒷받침한다.

붉은색질의 염층 내지 얇은층으로 발달한 세립사

암 내지 실트스톤과 이암에서는 *Cochlichnus* isp.와 *Diplocraterion* isp. 등과 같은 무척추동물의 생흔 화석이 드물게 산출된다. 이는 충적평원 환경 내에서 우기 이후에 때때로 작고 얇은 웅덩이가 간헐적으로 발달했음을 지시한다(Hasiotis, 2002). 연구지역의 퇴적층에서는 용각류, 수각류 및 조각류 공룡발자국 화석과 물갈퀴가 있는 새발자국 화석이 산출된다. 또한 퇴적층 단면에서는 공룡발자국 기원의 놀림구조들이 관찰된다. 이들은 붉은색 또는 녹회색의 염층 내지 얇은층으로 교호하는 세립사암 내지 실트스톤과 이암에서 산출되며, 건열과 흔히 수반되고 때때로 연흔과 수반되는 등 과거 함안층에서 보고된 공룡발자국 화석과 새발자국 화석의 산상과 유사한 성격을 보인다(Kim *et al.*, 2011). 이러한 산상 역시 건기와 우기가 반복되는 계절성 기후 하에 충적평원, 충적평원 내에 존재했던 작은 웅덩이, 그리고 호수주변부 환경의 존재를 시사한다.

결론적으로 연구지역 함안층의 퇴적 당시는 건조한 기후가 우세한 가운데 건기와 우기가 반복되는 계절성 기후 조건을 가지는 충적평원 내지 호수주변부와 얇은 호수 환경이었으며, 때때로 호수주변부에는 메마르고 염도가 높은 사질평원 내지 이질평원이 존재했고, 인근에서는 간헐적인 화산활동이 발생한

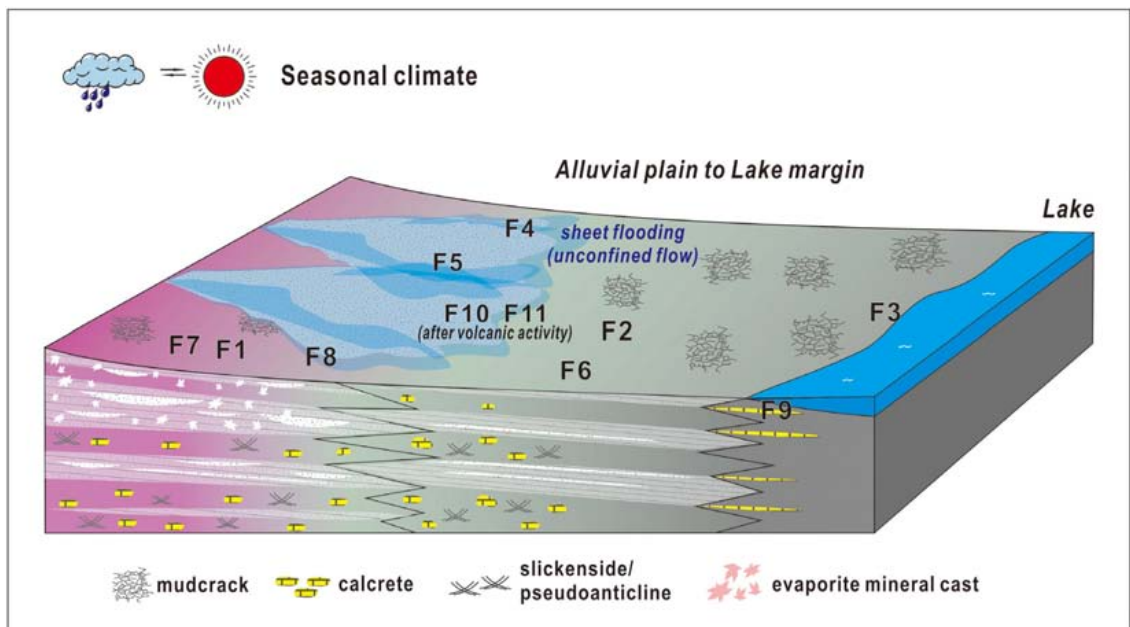


Fig. 11. Summarized diagram showing paleoenvironments of the Haman Formation in study area.

것으로 해석된다(그림 11).

6. 암층서적 의미

경상누층군의 암층서 구분은 Chang (1975)와 Choi (1981, 1985) 등에 의해 화산쇄설성 물질의 함유량과 암색을 기준으로 하여 이루어졌다. 이에 따라 함안층은 알려진 바와 같이 화산쇄설성 물질의 함유가 많으며, 하위에 놓이는 신라역암을 끝으로 붉은색층이 최초로 등장하는 층을 하한으로 하고 상위의 진동층이 놓이기 전 붉은색층이 마지막으로 등장하는 층을 상한으로 하여 붉은색층으로 대표된다(Um *et al.*, 1983). 그러나 연구지역의 경우 붉은색질층이 산출되지만 붉은색질층과 녹회색질층이 수 m의 두께로 교호하며 발달함이 특징적이고, 두꺼운 녹회색질층과 암회색질층의 산출이 빈번하다는 점에서 일반적으로 알려진 함안층의 퇴적특성과는 다르다. 뿐만 아니라 사암과 붉은색 이암의 커플릿으로 구성된 하성기원 퇴적층(Um *et al.*, 1983)보다 더욱 다양한 퇴적상이 산출되었고, 이는 충적평원 범람원에서 호수 주변부 및 얇은 호수에 이르는 환경에서 형성된 퇴적층으로 해석되었다. 이와 함께 캘크리트와 버티컬 고도양층과 증발암광물 결정집합체의 흔한 산출은 함안층에서는 거의 보고된 바가 없는 퇴적기록들이다. 연구지역 퇴적층의 이와 같은 퇴적특성과 함께 붉은색질 퇴적층의 발달이 없고 회색 내지 암회색질 또는 녹회색질층으로만 이루어진 남해군 가인리 지역과 사천 신수도 지역에 분포하는 함안층 상부퇴적층의 퇴적특성(So *et al.*, 2007; Kim *et al.*, 2011)을 고려할 때, 암색을 기준으로 지층을 구분한 층서 구분에 있어 개선이 필요하며, 이와 더불어 경상누층군의 암층서 기준에 대한 새로운 논의가 요구됨을 시사한다.

암색을 기준으로 하여 지층을 구분할 경우, 연구지역을 포함하여 남해군 가인리와 사천시 신수도 지역의 함안층 퇴적층은 붉은색층으로 대표되는 함안층으로 인지하기 어렵다. 암색뿐만 아니라 퇴적상과 퇴적특성도 하성기원으로 알려진 함안층의 특성과 다른 호성환경에서 형성된 특성들이 발달하므로 역시 함안층으로 인지하기가 쉽지 않다. 이러한 특성을 보이는 함안층 퇴적층이 함안층과 그 상위 지층인 진동층의 경계에 발달한 열쇠층인 구산동 응회암의 하위에 자리함이 확인되지 않는 경우에는 더욱

그러하다. 실제로 사천시 신수도 지역의 함안층 상부퇴적층의 경우 암색과 구성암상으로 인해 야외조사 당시 진동층으로 인지되었으나, 상위에 구산동 응회암의 발달이 확인됨에 따라 함안층으로 확인되었다(So *et al.*, 2007).

연구지역을 포함하여 함안층 상부퇴적층 분포지역에 발달한 비적색퇴적층이 퇴적상의 횡적인 변화에 따른 결과일 수도 있다. 그러나 상부 함안층에서는 비적색퇴적층 또는 호수퇴적층으로 이루어진 경우가 경상분지 남부의 여러 곳에서 확인되므로, 함안층 내에서 연구지역과 같이 붉은색질층과 녹회색질층의 교호층의 발달 또는 비적색퇴적층(녹회색 내지 암회색질층)의 지배적인 발달, 즉 호수기원퇴적층의 발달이 나타나는 구간에 대해서는 별도의 층서 단위인 층원(member) 또는 렌즈층(lens)으로서 구분할 필요성이 있다.

진주지역에 분포하는 낙동층이 하부층과 상부층간의 구성암상의 차이를 바탕으로 하부층(백마산층원)과 상부층으로 뚜렷이 구분된 바가 있고(Choi, 1979, 1981), 경북 칠곡군 왜관읍 금무산 일원에 분포하는 중부 낙동층도 암질 및 탄층의 함유 여부 등을 바탕으로 금무산층, 낙산리층 및 금호리층으로 세분된 바가 있다(Cheong and Paik, 1992). 경남 하동군에 분포하는 하산동층의 경우 붉은색층이 나타나지 않는 호수기원 퇴적층(우각호 기원이 아닌 호성층)이 산출되어 이를 렌즈 또는 층원으로서 구분할 필요성이 있음이 제안된 바가 있다(Paik *et al.*, 2011). 이처럼 경상분지를 충전한 경상누층군의 지층들 중 몇몇 지층들이 각 지층을 상징하는 암색 및 암상과 다른 특성들을 보이는 층이 수 십 m 이상 발달함은 경상누층군의 암층서 구분에 있어서 더욱 다양한 기준들이 고려되어야 하고, 이를 근거로 좀 더 세분화된 암층서 구분이 이루어져야 함을 지시한다. 따라서 연구지역과 같은 상부 함안층의 경우에도 이러한 논의가 필요함을 시사한다.

Um *et al.* (1983)은 경남 창녕군 남지 일원에 분포하는 함안층에서 수 m - 수십 m 이상의 비적색층의 발달을 기재하였다. 남지 일원은 연구지역의 북동부에 인접하고 있고, 지층의 주향방향을 따라 연구지역의 연장선상에 자리하고 있는 곳으로서 연구지역 함안층 상부퇴적층에 대비될 것으로 추정된다. 이와 더불어 경남 남해군 가인리와 사천시 신수도 지역의

함안층 퇴적층 역시 비슷한 층위를 보인다. 이는 연구지역 함안층 퇴적층의 퇴적 시기를 포함하여 함안층의 상부퇴적층 퇴적시기에 밀양지괴의 남부에는 비적색층과 호수기원퇴적층이 흔히 발달하였음을 암시한다. 이러한 사실은 적어도 밀양지괴 남부지역에 분포하는 함안층에 대해서는 하부와 상부 함안층을 세분화된 암층서단위로 구분할 수 있음을 뒷받침한다.

한편, 함안층의 상부퇴적층에서는 하성기원의 붉은색층 이외에 호수주변부 내지 얇은 호수기원의 녹회색층 또는 암회색층이 빈번하게 발달한다. 이러한 특성은 연구지역 이외에 남해군 가인리와 사천시 신수도 지역에서 잘 관찰된다(So *et al.*, 2007; Kim *et al.*, 2011). 경남 함안군 용산리 일원의 함안층의 최상부 퇴적층은 붉은색층이지만 암상의 퇴적특성은 호수주변부 사질 내지 이질평원 퇴적층의 성격을 가진다(Gierlowski-Kordesch and Rust, 1994; Kim *et al.*, 2011). 이러한 점들은 함안층 상부퇴적층의 퇴적당시에는 충적평원 내 호수가 존재하였고, 상부로 가면서 점차 호수환경으로 변화해갔음을 지시한다.

비록 함안층이 전반적으로 붉은색질의 퇴적층이 우세하고 지층의 상, 하한의 기준을 붉은색층의 시작과 끝으로 하었다고 할지라도, 함안층 내에서는 전술한 바와 같이 붉은색층 이외의 암상들이 적지 않은 양으로 발달하고 붉은색층의 발달이 없는 구간도 일정 구간 존재한다(Um *et al.*, 1983; So *et al.*, 2007; Kim *et al.*, 2011). 또한 함안층 상부퇴적층에서는 호수주변부 내지 얇은 호수 환경에서 형성된 퇴적층의 발달이 다수 확인됨에 따라 함안층의 퇴적환경이 하성환경으로만 인식되는 것도 바뀌어야 할 것이다. 이러한 점들을 복합적으로 고려할 때, 함안층을 층원 또는 렌즈로 세분하는 것이 함안층의 층서적 변화와 퇴적층의 발달특성을 좀 더 구체적으로 이해하고 기술하는데 효용성이 있을 것으로 여겨진다.

7. 결 론

- 1) 경남 함안군 군북면 소포리 일원에 분포하는 함안층 상부퇴적층은 일반적으로 알려진 함안층의 암색 및 암질 특성과는 달리 붉은색질층의 발달이 상대적으로 미약하고 녹회색질 내지 암회색질층이 빈번하게 산출됨이 특징적이다.
- 2) 연구지역의 함안층 상부퇴적층은 암색, 암질, 퇴

적구조 등의 퇴적특성을 바탕으로 11개의 퇴적상, 즉 붉은색질의 엽층 내지 얇은층으로 교호하는 세립사암 내지 실트스톤과 이암, 녹회색질의 엽층으로 교호하는 세립사암 내지 실트스톤과 이암, 암회색질의 엽층으로 교호하는 세립사암 내지 실트스톤과 이암, 판상 내지 사엽층리가 발달한 중립-세립사암 내지 실트스톤, 판상 내지 사엽층리가 발달한 사구상의 중립 내지 세립사암, 녹회색질의 석회질의 실트질이암, 붉은색질의 석회질의 실트질이암, 점이층리가 나타나는 중립사암, 토양기원 탄산염암, 얇은층 또는 중간층으로 발달한 응회질의 조립 내지 중립사암, 녹회색질의 응회질 세립사암과 이암의 교호암으로 구분되었고, 이들은 건기와 우기가 반복적으로 발달한 계절성 기후하의 충적평원 또는 호수주변부의 사질평원 내지 이질평원과 얇은 호수환경에서 퇴적된 충상범람퇴적층과 때때로 토양화작용에 의해 형성된 것으로 해석된다.

- 3) 연구지역의 함안층 퇴적층에서는 붉은색질층과 녹회색질층의 교호, 하부에서 상부로 가면서 암질 변화 및 퇴적상의 산출양상 변화, 고토양층, 증발광물혼, 응회질 사암렌즈 및 암회색질층과 토양기원 탄산염암의 발달 여부의 변화 등과 같은 층서적 변화가 확인되었다.
- 4) 연구지역 함안층 상부퇴적층의 고환경은 건조한 기후가 우세한 가운데 건기와 우기가 반복되는 계절성 기후의 충적평원 내지 호수주변부 및 얇은 호수 환경이었다. 때때로 충적평원 내지 호수주변부에서는 토양화가 일어났고, 메마르고 다소 염도가 높은 이질평원이 존재했으며, 인근에서는 간헐적인 화산활동이 발생하여 응회질물질이 유입되었다.
- 5) 함안층의 상부퇴적층에 해당하는 연구지역 퇴적층은 비록 붉은색질층이 포함되어 있으나, 일반적으로 알려진 함안층의 퇴적특성과는 달리 두꺼운 녹회색질층과 암회색층의 산출이 빈번하고, 고토양층과 증발암광물혼이 흔히 발달한다. 특히 녹회색질층 내지 암회색질층은 상부로 가면서 더욱 두껍게 발달한다. 이는 함안층 상부퇴적층 당시 충적평원 내 호수의 존재를 지시하고, 상부로 가면서 점차 호수환경이 지배적

으로 등장했음을 의미한다. 연구지역 퇴적층의 이와 같은 발달특성과 더불어 경상분지 남부에 위치한 연구지역과 유사한 층위에 해당하는 여러 지역에서 회색 내지 암회색질의 호성기원 퇴적층으로 이루어진 퇴적층이 발달되어 있음은 함안층 내에서 세분화된 암층서 구분이 이루어져야 함을 시사한다. 이는 함안층의 층서적 변화와 퇴적층의 발달특성을 구체적으로 이해하고 기술함에 있어서 효용성을 지닐 것으로 여겨진다.

감사의 글

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2016년)에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드린다. 이와 함께 이 논문의 원고에 대한 세심한 검토를 바탕으로 논문의 개선을 위해 유익한 도움말을 주신 두 분의 심사위원님과 홍성경 편집위원님께 깊은 감사를 드린다.

REFERENCES

- Abdul Aziz, H., Sanz-Rubio, E., Calvo, J.P., Hilgen, F.J. and Krijgsman, W., 2003, Paleoenvironmental reconstruction of a middle Miocene alluvial fan to cyclic shallow lacustrine depositional system in the Calatayud Basin (NE Spain). *Sedimentology*, 50, 211-236.
- Baek, K.S. and Yang, S.Y., 1998, Preliminary report on the Cretaceous bird tracks of the Lower Haman Formation, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 34, 94-104 (in Korean with English abstract).
- Chang, K.H., 1967, An occurrence of Late Cretaceous fossil rain prints in Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 3, 64-67.
- Chang, K.H., 1975, Cretaceous stratigraphy of southeast Korea. *Journal of Geological Society of Korea*, 11, 1-23.
- Chang, K.H., 1978, Late Mesozoic Stratigraphy, Sedimentation and Tectonics of southeastern Korea (II) - with discussion on petroleum possibility -. *Journal of the Geological Society of Korea*, 14, 120-135.
- Cheong, C.H. and Paik, K.H., 1992, Study on the tree fern fossil site at Geummubong. In: *Geological Society of Korea (ed.), Report on the Natural Monument and dinosaur footprint fossils*, Seoul, p. 3-41.
- Choi, H.I., 1979, Cretaceous fluvio-lacustrine sediments in the southwestern part of the Gyeongsang Sedimentary Basin in Korea. *Memoir of the Geological Society of China*, 3, 195-218.
- Choi, H.I., 1981, Depositional environment of the Sindong Group in the southwestern part of the Gyeongsang Basin. Ph. D. thesis, Seoul National University, 144 p.
- 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, Fluvial plain/lacustrine facies transition in the Cretaceous Sindong Group, south coast of Korea. *Sedimentary Geology*, 48, 295-320.
- Choi, Y.K. and Kim, T.Y., 1963, Explanatory text of the geologic map of Uiryong sheet (1:50,000). *Geological Survey of Korea*, 7 p.
- 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.
- Collinson, J.D., 1996, Alluvial sediments. In: *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy* (ed. Reading, H.G.), Blackwell Sciences, p. 37-82.
- El-Tabakh, M., Riccioni, R. and Schreiber, B.C., 1997, Evolution of late Triassic rift basin evaporites (Passaic Formation): Newark Basin, Eastern North America. *Sedimentology*, 44, 767-790.
- Fisher, J.A., Krapf, C.B.E., Lang, S.C., Nichols, G.J. and Payenverg, T.H.D., 2008, Sedimentology and architecture of the Douglas Creek terminal play, Lake Eyre, central Australia. *Sedimentology*, 55, 1915-1930.
- 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.
- Gierlowski-Kordesch, E. and Rust, B.R., 1994, The Jurassic east Berlin Formation, Hartford Basin, Newark Supergroup (Connecticut and Massachusetts): A saline lake-playa-alluvial plain system. In: Renaut, R.W. and Last, W.M. (eds.), *Sedimentology and Geochemistry of Modern and Ancient Saline Lakes*. SEPM Special Publication, 50, 249-265.
- Hasiotis, S.T., 2002, Continental trace fossils. *SEPM Short Course Notes No. 51*, p. 132.
- Hinds, D.J., Aliyeva, E., Allen, M.B., Davies, C.E., Kroonenberg, M.D., Simmons, M.D. and Vincent, S.J., 2004, Sedimentation in a discharge dominated fluvial-lacustrine system: the Neogene Productive Series of the South Caspian Basin, Azerbaijan. *Marine and Petroleum Geology*, 21, 613-638.
- Hubert, J.F. and Hyde, M.G., 1982, Sheet-flow deposits of graded beds and mudstones on an alluvial sandflat-

- playa system: Upper Triassic Blomindon Redbeds, St Mary's Bay, Nova Scotia. *Sedimentology*, 29, 457-475.
- Jwa, Y.J., Lee, Y.I. and Orihashi, Y., 2009, Eruption age of the Kusandong Tuff in the Cretaceous Gyeongsang Basin, Korea. *Geosciences Journal*, 13, 265-273.
- 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).
- Kim, B.K., 1969, A study of several sole marks in the Haman Formation. *Journal of the Geological Society of Korea*, 5, 243-258.
- 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. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 14, 38-44 (in Korean with English abstract).
- Kim, H.J., Paik, I.S. and Huh, M., 2011, Bird footprint-bearing deposits from the Cretaceous Haman Formation in the southern Gyeongsang Basin: occurrences, taphonomy and paleoenvironments. *Journal of the Geological Society of Korea*, 47, 97-122 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.H. and Kim, J.T., 1963, Explanatory text of the geological map of Masan sheet (1:50,000). *Geological Survey of Korea*, 26 p.
- Kim, J.-S., Cho, H., Kim, H.-G. and Son, M., 2013, SHRIMP U-Pb Zircon Ages of the Gusandong (Kiusandong) Tuff in the Cretaceous Gyeongsang Basin. *Journal of Petrological Society of Korea*, 22, 235-249 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.Y., Kim, K.S., Lockley, M.G. and Seo, S.J., 2010, Dinosaur skin impressions from the Cretaceous of Korea: New insights into modes of preservation. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 293, 167-174.
- Kim, J.Y., Kim, S.H., Kim, K.S. and Lockley, M.G., 2006, The oldest record of webbed bird and pterosaur tracks from South Korea (Cretaceous Haman Formation, Changseon and Sinsu Islands): More evidence of high avian diversity in East Asia. *Cretaceous research*, 27, 56-69.
- Kim, J.Y., Lockley, M.G., Kim, K.S., Seo, S.J., Lim, J.D., 2012, Enigmatic giant pterosaur tracks and associated ichnofauna from the Cretaceous of Korea: implication for the bipedal locomotion of pterosaurs. *Ichnos* 19, 50-65.
- Koto, B., 1903, An orographic sketch of Korea. *J. Coll. Sci. Imp. Univ. Tokyo*, 19-1, 1-61.
- Lee, Y.I., Choi, T.J., Lim, H.S. and Orihashi, Y., 2010, Detrital zircon geochronology of the Cretaceous Shindong Group, Southeast Korea: Implications for depositional age and Early Cretaceous igneous activity. *Island Arc*, 19, 647-658.
- Lim, J.D., Zhou, Z., Martin, L.M., Baek, K.S. and Yang, S.Y., 2000, The oldest known tracks of web-footed birds from the Lower Cretaceous of South Korea. *Naturwissenschaften*, 87, 256-259.
- Melchor, R.N., Bedatou, E., Valais, S. and Genise, J.F., 2006, Lithofacies distribution of invertebrate and vertebrate trace-fossil assemblages in an Early Mesozoic ephemeral fluvio-lacustrine system from Argentina: Implications for the Scoyenia ichnofacies. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 239, 253-285.
- North, C.P. and Davidson, S.K., 2012, Unconfined alluvial flow processes: Recognition and interpretation of their deposits, and the significance for palaeogeographic reconstruction. *Earth-Science Reviews*, 111, 199-223.
- Paik, I.S., Huh, M., So, Y.H., Lee, J.E. and Kim, H.J., 2007, Traces of evaporites in Upper Cretaceous lacustrine deposits of Korea: Origin and paleoenvironmental implications. *Journal of Asian Earth Sciences*, 30, 93-107.
- Paik, I.S. and Kim, H.J., 2003, Palustrine calcretes of the Cretaceous Gyeongsang Supergroup, Korea: variation and paleoenvironmental implications. *The Island Arc*, 12, 110-124.
- Paik, I.S. and Kim, H.J., 2006, Playa lake and sheetflood deposits of the Upper Cretaceous Jindong Formation, Korea: Occurrences and paleoenvironments. *Sedimentary geology*, 187, 83-103.
- Paik, I.S. and Kim, H.J., 2014, Roll-up clasts in the Cretaceous Haman Formation, Korea: Occurrences, origin and paleoenvironmental implications. *Journal of the Geological Society of Korea*, 50, 269-276 (in Korean with English abstract).
- Paik, I.S., Kim, H.J., Kim, K.S., Jeong, E.K. and Kang, H.C., 2012a, Research report on conservation plan of the Mesozoic fossil sites among Natural Monuments of Korea. *Cultural Heritage Administration*, 320 p (in Korean).
- Paik, I.S., Kim, H.J. and Huh, M., 2010, Impressions of dinosaur skin from the Cretaceous Haman Formation in Korea. *Journal of Asian Earth Sciences*, 39, 270-274.
- Paik, I.S., Kim, H.J. and Huh, M., 2012b, 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., Lee, H. and Kim, S.Y., 2017, A large and distinct skin impression on the cast of a sauropod dinosaur footprint from Early Cretaceous floodplain deposits, Korea. *Scientific Reports*, 7, 16339, doi:10.1038/s41598-017-16576-y.
- 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., 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, N.Y. and Chi, J.M., 1963, Explanatory text of the geological map of Chindong-ni sheet (1:50,000). Geological Survey of Korea, 14 p.
- Retallack, G.J., 1990, Soils of the Past. An Introduction to Paleopedology. Unwin Hyman, Boston, 520 p.
- Smoot, J.P. and Lowenstein, T.K., 1991, Depositional environments of non-marine evaporites. In: Melvin, J.L. (ed.), Evaporites, Petroleum and Mineral Resources. 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).
- Tateiwa, I., 1929, Geologic Atlas of Korea, No. 10, Gyeongju, Yeongcheon, Daegu, Waegwan Sheets. Geological Survey of Chosen (Korea).
- Turnbridge, I.P., 1984, Facies models for sandy ephemeral stream and clay playa complex; the Middle Devonian Trentishoe Formation of North Devon. Sedimentology, 31, 697-715.
- 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).
- Yun, C.S., Baek, K.S. and Jeong, H.S., 2004, Dinosaur eggshells from Sinsu-do, Sacheon city, Korea. Journal of Paleontological Society of Korea 20, 31-37 (in Korean with English abstract).

Received : December 6, 2017

Revised : January 29, 2018

Accepted : January 31, 2018