

경상분지 남부에 발달된 유천층군 고성층: 산상 및 층서

백인성^{1,*} · 강희철² · 허 민³ · 양승영⁴

¹부경대학교 환경해양대학 환경지질학과

²부경대학교 지질환경연구소

³전남대학교 지구환경과학부

⁴한국지질고생물연구회

요 약

경상분지 남부에 발달된 경상누층군 유천층군 고성층의 공간적인 분포, 발달구조, 퇴적상 등에 대한 조사를 바탕으로 고성층의 층서적 발달 특성을 고찰하였다. 고성층은 하위 진동층의 지질시대와 고성층의 고지자기 자료를 토대로 Campanian 이후에 대비되는 지층으로, 하위 진동층과는 공간적으로 접하여 있으나, 경상분지 남부에 분포되어 있는 신동층군 및 하양층군의 지층들이 대체적으로 북동-남서 방향의 대상분포를 이루는 것과는 달리, 동, 서, 및 북측에서 하위의 진동층에 의해 둘러싸인 타원상의 분포를 이루고 있으며, 주향 또한 다르게 나타난다. 전반적으로 얇은 층이나 엷층으로 발달하며 층의 연장성이 양호한 진동층에 비해 고성층의 퇴적암은 단위 지층의 두께가 상대적으로 두껍고 붉은색층을 협재하며, 층의 연장성이 대체적으로 불량하고, 응회질 물질을 흔히 함유함이 특징이다. 고성층은 암상 구성을 토대로 주로 녹회색 내지 잡색의 응회질 함력사암과 녹회색 내지 붉은색의 이암, 그리고 응회암이 협재된 하부 부분, 전반적으로 붉은색이 우세한 사암과 이암으로 구성되고 켈크리트의 발달이 흔한 중부 부분, 그리고 붉은색과 녹회색의 조립사암 및 사질이암 내에 응회암이 협재된 상부 부분으로 구분된다. 퇴적환경의 측면에서 진동층에서 고성층으로의 변화는 호성층에서 하성층으로의 변화를 나타낸다. 미충진호수분지의 호수퇴적층으로 이루어진 진동층에서 과충진호수분지 기원의 하성퇴적층으로 이루어진 고성층의 퇴적특성으로 변화한 것은 진동층 퇴적시기 후기에 화산활동의 점진적인 증가로 인한 퇴적속도의 증가에 의해 진동호수분지가 점차 충진되면서, 화산활동의 증가와 단층운동 등에 의해 진동층의 발달지역이 국부적으로 용기되어 과충진호수분지로 바뀌에 따라 이 지역에 붉은색층을 협재하는 하성퇴적층인 고성층의 발달이 이루어진 것으로 해석된다. 이상과 같은 고성층의 층서적 발달특성은 고성층과 진동층과의 층서적 관계가 경사부정합의 관계임을 지시하여 준다. 한편 붉은색의 범람원퇴적층에서는 공룡알 및 거북알화석이 산출된다. 이와 같은 고성층의 지질시대, 구성암상, 퇴적환경, 공룡알의 산출 특성 등은 고성층이 부산 지역의 유천층군 퇴적층인 다대포층과 암상 및 지질시대에 있어서 서로 대비될 수 있음을 시사하여 준다.

주요어: 진동층, 고성층, 층서, 하성퇴적층, 과충진호수분지, 공룡알, 경사부정합

In Sung Paik, Hee Cheol Kang, Min Huh and Seong-Young Yang, 2006, Goseong Formation (Yucheon Group) in the southern part of the Gyeongsang Basin, Korea: Occurrences and stratigraphy. Journal of the Geological Society of Korea. v. 42, no. 4, p. 483-505

ABSTRACT: Stratigraphic occurrence of the Goseong Formation in the southeastern part of the Gyeongsang Basin was delineated with its distribution, geological structures, and sedimentary facies. The Goseong Formation is correlated with Campanian to Maastrichtian on the basis of the polarity data of the Goseong Formation and the geological age of the underlying Jindong Formation. Compared with the sub-parallel distribution in NE-SW trend of the underlying formations of the Sindong and Hayang groups in southern part of the Gyeongsang Basin, the Goseong Formation surrounded by the Jindong Formation has different attitude with those of the underlying formations and shows sub-elliptical distribution. The Goseong Formation is thicker- and more irregular-bedded than the Jindong Formation, and is different from the Jindong Formation in frequent intercalation of tuffaceous deposits and red beds. The Goseong Formation is divided into the lower, middle and upper parts in general in

* Corresponding author: Tel. +82-51-620-6234, E-mail. paikis@pknu.ac.kr

lithology. The lower part consists mainly of greenish gray to variegated, tuffaceous pebble-bearing sandstone, greenish gray to purple mudstone, and tuff. The middle part is characterized by the frequent intercalation of red beds in which dinosaur and turtle eggs occur in places, and the lower part is generally composed of purple to greenish gray sandstone and mudstone with intercalation of tuffs. In terms of depositional environments, the change from the Jindong Formation to the Goseong Formation represents from under-filled lake basin to over-filled lake basin associated with fluvial environment. Such transition is deemed to have occurred in following ways. The increase of volcanic activity in the late stage of the Jindong time resulted in filling of the Jindong lake basin by the increase of sedimentation rate. Subsequently the Jindong lake basin partially uplifted by the fault movement in addition to the volcanic activity, which resulted in the evolution into the over-filled lake basin forming the Goseong Formation of fluvial deposits associated with red beds. The stratigraphic occurrence of the Goseong Formation indicates that the Goseong Formation overlies the Jindong Formation in angular unconformity. The geological age, lithology, depositional environments, and occurrence of dinosaur eggs of the Goseong Formation suggest that the Goseong Formation can be correlated with the Dadaepo Formation at Busan area in chronostratigraphy and lithostratigraphy.

Key words: Jindong Formation, Goseong Formation, Stratigraphy, Fluvial deposits, Over-filled lake basin, Dinosaur eggs, Angular unconformity

(In Sung Paik, Department of Environmental Geosciences, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea; Hee Cheol Kang, Institute of Environmental Geosciences of Pukyong National University, Busan 608-737; Min Huh, Faculty of Earth Systems and Environmental Sciences, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea; Seong-Young Yang, Korea Institute of the Geology and Paleontology, Kingdom Officetel No. 805, Daegu 706-012, Korea)

1. 서론

남한 면적의 약 1/5을 점하는 경상분지는 중생대 백악기동안의 한반도 지체구조운동과 고환경을 이해하는 데에 매우 중요한 역할을 담당하는 퇴적분지이다. 경상분지 내의 퇴적층은 Koto (1903)에 의해 경상층이란 지층으로 명명되었으며, 이후 Chang (1975)에 의해 구체적인 암층서가 설정되어 경상누층군이란 지층명으로 사용되어 오고 있다. 경상누층군 퇴적층의 전반적인 퇴적특성과 퇴적환경 및 발달과정에 대해서는 엄상호 외(1983), Choi (1985, 1986) 등에 의해 연구된 바 있으며, 최근에는 유인창 외(2006)에 의해 경상분지 지층들에 대한 통합지질학적 분석을 바탕으로 경상분지의 보다 발전된 층서틀과 형성과정 등이 제시되었다. 그러나 지금까지 이루어진 경상분지 내 지층들에 대한 퇴적지질학적 연구는 대부분 분지의 서부와 북부 및 동부 지역을 중심으로 이루어져 왔으며, 분지의 남부에 발달된 지층들에 대해서는 구체적인 퇴적지질학적인 정보가 비교적 알려져 있지 않은 상태이다. 이는 경상분지의 서측과 북측(영남육괴의 선캠브리아누대 변성암류 및 이를 관입한 쥐라기 화강암류와 부정합 또는 단층 접촉) 및 동측(신생대 화산암류 및 퇴적암과 접촉)의 경계는 육상에

노출되어 있는 반면, 남측 및 동남측은 남해안 해저로 연장되어 있으며(유인창 외, 2006), 이와 함께 이 지역의 지층들은 화성활동의 영향을 많이 받은 데에 그 이유를 찾을 수 있다.

경상분지 동남부에 발달된 지층은 화산암과 응회질퇴적층이 우세한 유천층군으로 주로 이루어져 있으며, 이 유천층군의 지층 중 지층명이 부여되어 있는 퇴적층에는 고성층(장태우 외, 1983a)과 다대포층(장태우 외, 1983b)이 있다. 이 중 고성층은 충무도폭(장태우 외, 1983a)에서 명명되었으며, 밀양분지 남부의 하양층군 최상부층인 진동층의 상위에 발달된 지층으로 설정되었다. 그러나 충무도폭의 서부에 분포되어 있는 고성층과 충무도폭 서측의 삼천포도폭(지정만 외, 1983) 동부에 분포되어 있는 진동층은 공간적으로 서로 연결되는 지층으로 제시되어 있어, 이 지역에서의 진동층과 고성층의 층서적 관계가 불명한 상태이다. 강희철 · 김인수(2000)는 고성층에 대한 고지자기 연구를 실시하여 고성층이 최소한 3번의 자기극성변화를 보이는 결과를 얻었으며, 이로 부터 고성층의 지질시대가 후기 Albian에서부터 초기 Maastrichtian에 해당하는 것으로 해석하였다. 고성층의 하위 지층인 진동층 상한의 지질시대가 절대 연대 측정자료에 의해 Campanian으로 제시되었음을

(좌용주 외, 2004; 김찬수 외, 2005) 고려할 때, 고성층의 지질시대에 대해서도 재고할 필요성이 있다.

경상누층군 최상부층군인 유천층군의 하부는 중성의 화산암류가 주를 이루고 중부는 응회암과 셰일의 호층, 상부는 산성의 화산암류가 우세한 것으로 알려져 전반적으로 퇴적암으로 구성된 하위의 하양층군과는 구별이 뚜렷한 경사부정합의 관계를 나타내는 것으로 알려져 있다(장기홍, 1975; 장기홍 외, 1984; 유인창 외, 2006). 따라서 충무 도폭에서 유천층군의 지층으로 설정된 고성층과 삼천포 도폭과 충무 도폭의 하양층군 진동층과의 층서적 관계를 규명하는 것은 경상분지 남부 지역에서의 하양층군과 유천층군의 경계 특성을 이해하는 데에 매우 중요한 요소가 될 수 있다. 아울러 최근 들어 고성층에서는 공룡알 화석이 다량 산출함이 보고된 바 있어(양승영, 2000), 고성층의 층서적 발달특성은 우리나라 공룡시대의 층서적 특성을 이해하는 데에도 유용한 정보를 제공하여 줄 수 있다.

이 연구에서는 충무 도폭 내의 고성군 대하면, 삼산면, 거류면 일원과 삼천포 도폭 내의 하일면 일대에 분포하고 있는 진동층, 고성층 그리고 화성암류를 대상으로 이들 지층의 공간적 분포 및 퇴적층의 발달 특성이 조사되었으며, 이를 바탕으로 고성층의 산상과 층서에 대한 고찰이 이루어졌다.

2. 지질개관

연구지역은 경상분지 남단 중앙부에 위치하며 지질은 하부로부터 경상누층군 하양층군의 진동층, 유천층군의 고성층과 응회암층 및 불국사 관입암군으로 이루어져 있다(그림 1).

하양층군은 백악기 호수퇴적층 중 가장 두껍게 발달한 진동층의 상부만이 본 지역 북측(사천 및 진동도폭 남부)과 서측(삼천포 도폭 동부) 그리고 동측(충무 도폭 동부)에 걸쳐 분포하고 있다. 지층면은 서부 및 동부일원의 경우, 북북동-북동 주향에 $10^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 의 남동 경사가 일반적이거나 국부적으로 북서 방향의 경사가 나타나며, 북부지역은 서북서 주향에 $25^{\circ} \sim 33^{\circ}$ 의 남서 방향을 경사를 보인다(그림 1). 연구지역에 분포되어 있는 진동층 퇴적암의 대부분은 암회색 내지 흑색을 띠는 이암과 실트스톤 내지 셰립사암의 호염층으로, 관입암에 의하여 부분적으로 혼펠

스화되어 치밀 견고한 암상을 띤다. 이와 함께 녹회색 내지 회색의 셰립사암과 박층의 석회질 퇴적층이 협재되어 있다. 진동층의 최상부가 노출된 삼천포 도폭 용대리 해포마을 해안가 및 충무도폭 동부 면화산 동쪽 임도에서는 상부로 갈수록 중립내지 셰립사암들의 단위 지층 두께가 두꺼워짐이 관찰되고 파랑연흔, 다각상 건열, 공룡발자국, 새발자국 등 진동층의 특징적인 퇴적기록이 산출된다. 이들 진동층 상부에 발달한 연흔의 방향은 대체로 북북동~남남서의 것들이 우세하게 나타난다.

유천층군은 고성층과 고성층 내에 협재된 응회암, 안산암질 래필리 응회암, 안산암류, 석영안산암류 등으로 구성된다. 고성층은 연구지역 서부에서 중앙부까지 그리고 동부의 일부 지역에 분포되어 있다. 진동층과의 경계부 지역에서는 거의 유사한 주향과 경사를 보이거나 주향에 있어서 부분적으로 10도 내외의 차이를 나타내기도 한다. 한편 고성층 내부 지역에서는 단층대 주변과 화산암 및 관입암체 일원에서 주향 및 경사가 변화함이 특징이다(그림 1). 고성층의 퇴적암은 진동층과 달리 단위 지층의 두께가 상대적으로 두껍고(수 cm 내지 1 m 이상) 붉은색층을 협재하며, 층의 연장성이 대체적으로 불량하고, 화산기원 물질을 흔히 함유함이 특징이다. 또한 고성층은 암상 구성을 바탕으로 주로 녹회색 내지 잡색의 응회질 함력사암과 녹회색 내지 붉은색의 이암, 그리고 응회암 등이 협재된 하부 부분, 주로 암회색 내지 녹회색의 사암, 이암, 역암 그리고 응회암이 협재된 하부 부분(그림 7), 전반적으로 붉은색이 우세한 사암과 이암으로 구성되고 켈크리트의 발달이 흔한 중부 부분(그림 4, 10, 12), 그리고 붉은색과 녹회색의 조립사암 및 사질이암 내에 응회암이 협재된 상부 부분으로 구분된다(그림 2).

연구지역 남부 및 동남부에 넓게 분포하는 안산암질 래필리 응회암은 고성층을 피복하며 안산암과 화강암에 의하여 관입되어 있다. 암회색 내지 녹회색 안산암질 래필리 응회암의 기질부에는 반상 안산암, 비현정질 안산암, 응회암 등으로 이루어진 래필리들이 다량 함유되어 있으며, 일부 진동층 및 고성층의 녹색사암과 붉은색 이암의 파편들이 관찰되기도 한다. 안산암류는 그 산상이 다양하며 연구지역 도처에 분포한다. 일부는 래필리 응회암이 분출되는 동안에 용암류로서 분출하여 고성층을 피복하거나 래필리

응회암 중에 협재되어 있기도 하고 암맥, 암상, 암주상으로 발달되어 있다(그림 3). 암맥상으로 관입한 안산암류는 치밀한 조직을 가지는 괴상을 나타내지

만 암상 및 암주상의 관입암체는 반상조직의 특징을 보인다. 또한 안산암류 관입암체 주변에는 대소규모의 단열대들이 발달하는 것(그림 3)으로 보아 안산암

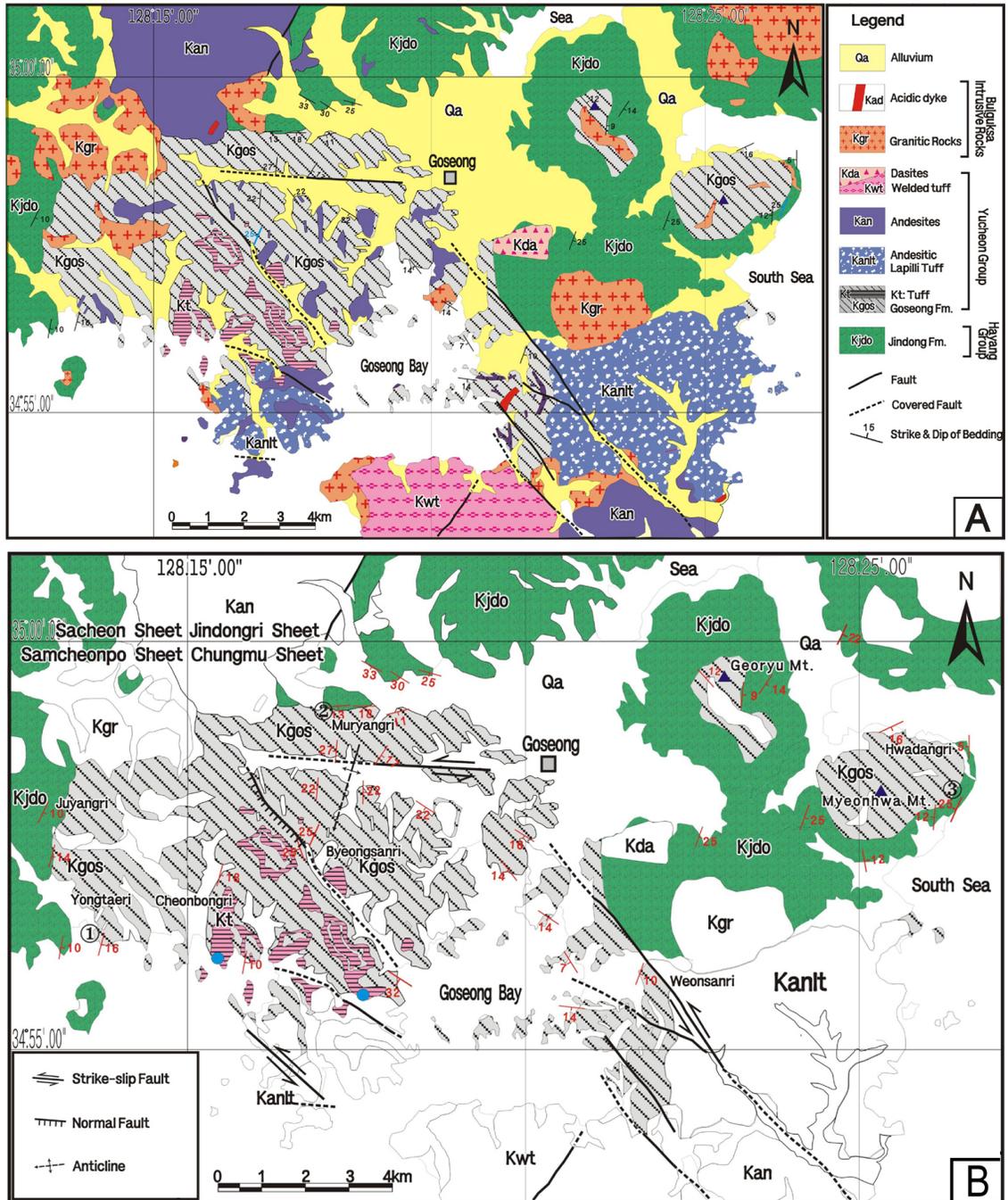


Fig. 1. Geological (A) and structural (B) maps of study area (modified after Chang *et al.*, 1983).

질 래필리 응회암의 화산활동이나 지각변형운동 과정에서 형성된 구조적 약대를 따라 이들 마그마가 관입한 것으로 보인다. 연구지역인 고성읍 남동부에 분

포하는 석영안산암류는 반상조직이 현저한 암석으로 사장석의 정향배열 및 주상절리 등의 특징을 보여준다. 기존의 충무도폭에서는 화강섬록암으로 도시

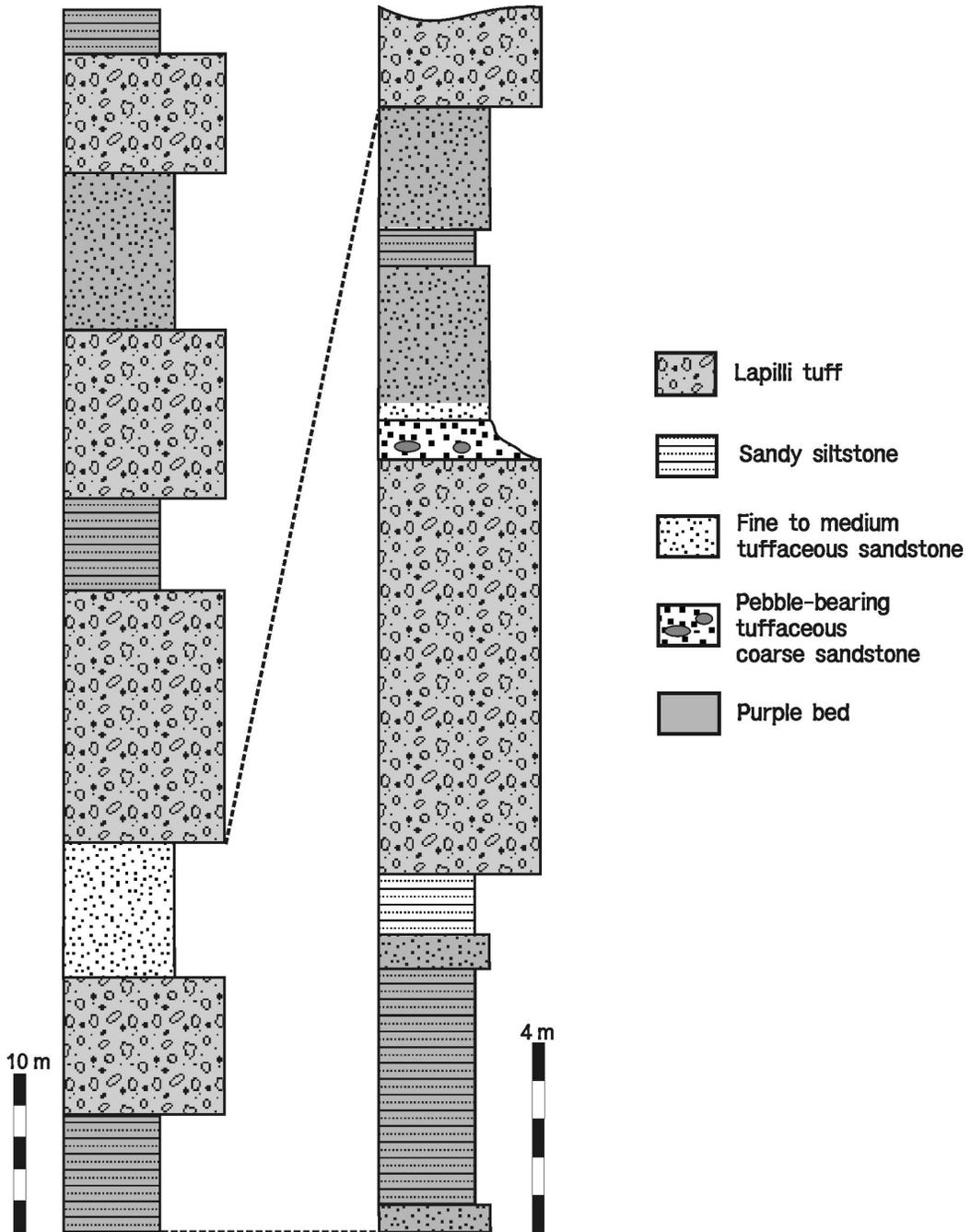


Fig. 2. Generalized representative profiles of the upper part of the Goseong Formation.

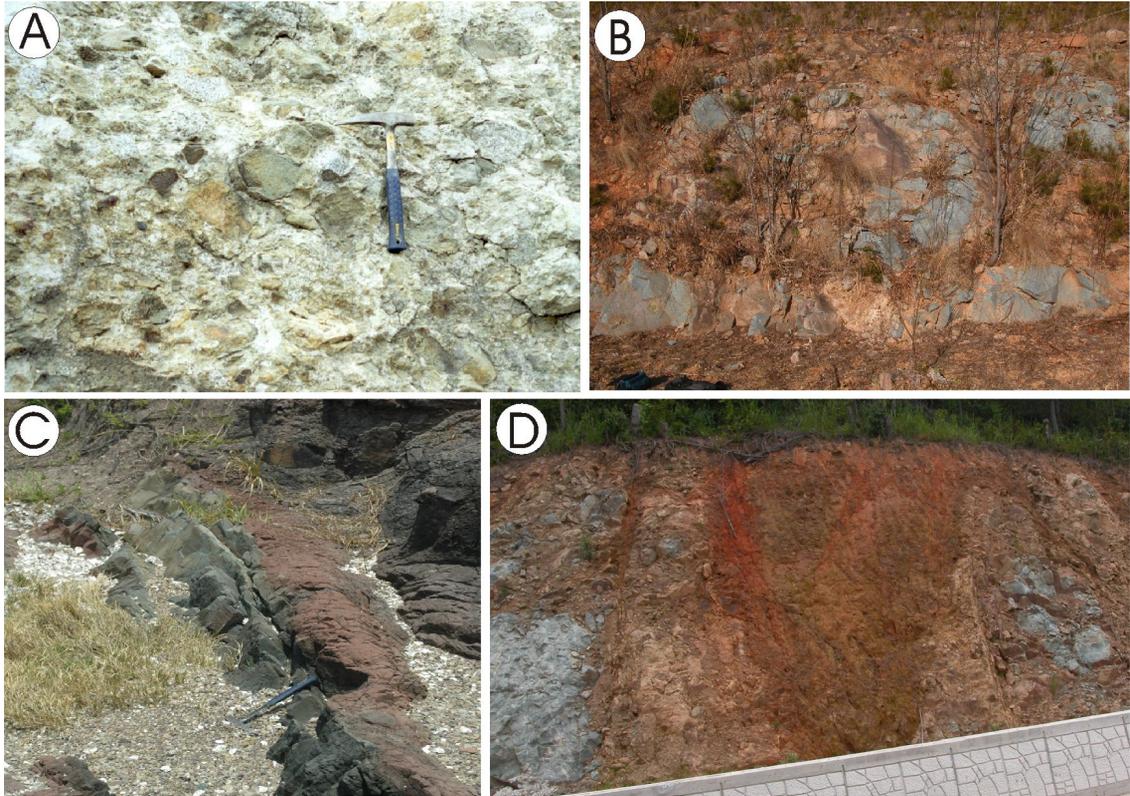


Fig. 3. Occurrence of the andesitic rocks in the Goseong Formation. A, Lapilli tuff with lapilli of porphyritic andesite, aphanitic andesite and some fragments of green sandstone and purple sandy siltstone. B, Intrusive andesite as stock form. C, Intrusive andesites as sill form. D, NW-trending fault contact between the Goseong Formation and andesites showing a flower structure.

된 지역이다.

연구 지역 곳곳에 분포하는 불국사 관입암류는 대부분 중립질 내지 세립질의 각섬석-흑운모 화강암 혹은 화강섬록암으로 하양층군 및 유천층군의 암석을 관입하여 주위의 암석을 혼펠스화시켰으며 암체 내에는 수직절리 및 다양한 파쇄대, 산성암맥과 석영맥들이 발달되어 있다.

장태우 외(1983a)는 고성층이 다량의 화산물질을 함유하고 진동층과는 퇴적양상이 상이함을 들어 고성층을 유천층군 하부지층으로 간주하여 마산도폭(김중환·김정택, 1963)의 정병산층과 부산·가덕도폭(장태우 외, 1983b)의 다대포층과 대비시켰다. 한편 장기홍 외(1984)는 진동도폭(박노영외, 1963)의 증산층을 기저에 수 m 두께의 역암이 있고 붉은색셰일로 구성됨을 들어 고성층의 하위층원에 대비한 바

있다. 이와 같은 대비가 타당하다면 고성층은 삼천포도폭의 동부에서부터 부산 지역까지 넓게 분포되어 있음을 추정해 볼 수 있을 것이다. 지층대비와 더불어 상기한 유천층군 화산암류와 화강암류에 대한 K-Ar 방사성 연대자료(좌용주·박정미, 1996)를 보면 안산암류 관입암체가 57.8 ± 1.8 Ma, 각섬석-흑운모 화강암이 63.7 ± 1.4 Ma를 가리키며 화강암류에 대한 Rb-Sr 연대자료(좌용주, 1998)는 66.4 ± 6.2 Ma와 71.3 ± 6.8 Ma를 나타내어 본 지역의 화성활동이 백악기 말 내지 제3기 초에 일어났음을 알 수 있다.

3. 고성층

최소한 650 m이상의 두께를 가진 붉은색 및 녹회색의 응회질퇴적암과 녹회색 및 암회색의 사암과 실

트스톤, 그리고 응회암, 소량의 역암으로 구성된 고성층은 충무도폭에서 처음으로 명명된 지층으로 하한은 진동층과 접이적이어서 그 경계를 설정하기 곤란하며 대체로 녹색 내지 붉은색의 응회질세일, 녹색 응회질사암 혹은 응회질역암의 산출로부터 그 기저를 삼고 있다(장태우 외, 1983a). 서측 인접부의 삼천포도폭(지정만 외 1983)에서는 진동층의 최상부를 화산쇄설물을 많이 함유한 세일 및 사암으로 기술하여 동측의 충무도폭으로 연장되는 지층으로 기재하고 있어, 두 지질도 사이에는 하위의 진동층과 상위의 고성층에 대한 명확한 층서적 경계가 설정되어 있지 않은 상황이다. 따라서 이 연구에서는 고성층의 일반적인 암석 구성, 지질구조, 퇴적층 구성, 기존의 연대측정 자료 등을 바탕으로 연구지역 진동층과 고성층의 공간적 분포, 경계부 특성, 전반적인 지질구성, 고환경, 지질연대 등에 대하여 기술 하였다.

3.1 공간적 분포

고성층은 서측의 삼천포 도폭으로부터 노출되기 시작하여 충무 도폭의 고성읍 이서지역에 대규모 분포하고, 고성읍 이동지역인 거류산 및 면화산 일원에 소규모로 산재되어 분포한다(그림 1). 남측을 제외한 모든 지역에서는 하위의 진동층과 접하여 있으며 남측에서는 고성층 상위의 화산암류에 피복되어 그 연속성을 알 수 없는 상황이다. 이러한 고성층의 주 분포지는 기존 지질도폭들과 다소 상이하며 마름모꼴 내지 타원형의 거시적인 공간분포를 나타낸다. 이들 두 지층이 접하는 경계부일원에서 두 지층의 자세는 서부에서 북북동 주향에 남동쪽으로 $10^{\circ} \sim 16^{\circ}$ 정도로 경사되어 있어 연구지역 이서지역의 경상누층군 하양층군의 지층의 자세와 거의 유사한 방향으로 연속되어 있다. 북측 경계부에서 두 지층은 서북서 내지 동서 주향에 남서 내지 남쪽으로 $11^{\circ} \sim 33^{\circ}$ 정도로 경사되어 비슷한 방향을 보이나, 서측 경계부와는 상이한 방향을 나타낸다. 동측 경계부에서는 진동층이 북동 주향에 남동쪽으로 $12^{\circ} \sim 25^{\circ}$ 로 경사된 반면, 고성층은 북서 주향에 남서쪽으로 $7^{\circ} \sim 14^{\circ}$ 로 경사되어 있어 단층운동 및 화강암류의 관입으로 인한 지층의 경동운동이 있었음을 시사하여 준다. 한편 고성층 분포지의 중앙부 즉 상부지층으로 올수록 층리면은 퇴적 동시성 혹은 이후의 국지적인 습곡 및 단층운동과 화성암류의 분출 및 관입의 영향으로 다

양한 방향을 나타낸다. 이러한 층리면의 분포는 고성층이 접시모양의 향사구조를 띠며 분포되어 있음을 시사하여 준다.

3.2 암질 구성

고성층은 암질구성에 있어서 크게 하부와 중부 및 상부의 세 부분으로 구분된다. 하부층은 대부분 녹색 내지 잡색의 응회질사암, 역암, 이암 그리고 붉은색의 응회질 사질이암 내지 실트스톤 등으로 이루어져 있으며, 전반적으로 1 m 내외에서 수 m 두께의 층으로 나타난다. 그러나 동부에 나타나는 하부층은 비교적 세립질이며 단위 퇴적층의 두께도 얇고 응회질 성분도 적은 양상을 띠어, 부분적으로 진동층과 유사한 암상을 나타내기도 한다. 하부층의 하부에 분포하는 조립질사암 내에서는 사층리가 흔히 관찰되며, 상부에는 붉은색이 우세한 사질이암층이 나타난다. 이 붉은색층 내에서는 2~3매의 담록색 내지 담회색의 래필리 응회암이 2~5 m의 두께로 산출되며, 부분적으로 유상구조가 관찰된다.

중부층은 고성층 가운데 가장 붉은색이 우세한 지층으로 조립질 및 세립질 사암과 사질이암으로 구성되며, 대부분 세립질 사암과 사질이암에서 붉은색이 나타난다(그림 4). 이 붉은색 퇴적층에서는 공룡알 화석의 산출이 보고된 바 있다(양승영, 2000; Paik *et al.*, 2006). 또한 중부층에서는 쇄설성퇴적암맥과 퇴적기원 변형구조 등이 관찰된다. 상부층에서는 녹색 내지 암회색의 세립질사암, 역암, 붉은색의 사질이암이 주로 나타나며, 녹색 내지 담록색을 띠는 응회암층이 고성층 최상부에 4매 협재되어 있다. 이들 응회암의 래필리들은 대체적으로 용결되어 있으며 층상구조가 나타난다.

연구지역의 고성층 주 분포지에 나타나는 단층은 무량리 일원의 동서 주향의 좌수향 주향이동단층을 제외하고는 대체로 평행하게 발달하는 북서 주향의 단층들이 지배적이다. 이들 단층들의 대부분은 좌수향의 주향이동성이나, 삼산면 병산리 일원에 노출된 북서 방향의 것은 남서지괴가 남서방향으로 이동한 정단층이며 일련의 퇴적동시성 성장단층으로 여겨진다. 또한 지층의 자세로부터 고성층의 주 분포지는 무량리에서 병산리를 잇는 지역이 작은 배사부를, 고성만 서측 일원은 작은 향사부를 이루며 이들 습곡축은 지층경사에 따라 남쪽으로 경사(plunge)하는 형

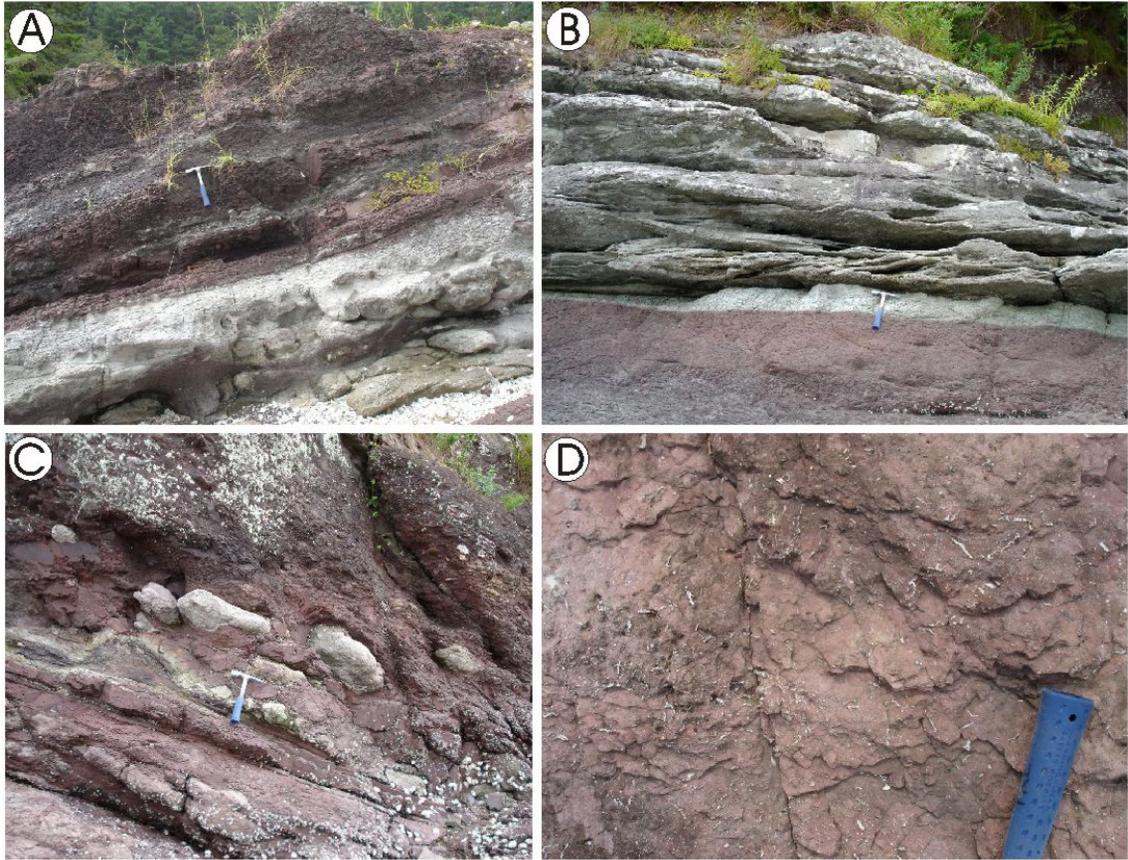


Fig. 4. Occurrence of the middle part of the Goseong Formation. A. Fining-upward profile consisting of channel sandstone (lower) and floodplain mudstone (upper). B. Thinning-upward profile of channel sandstone (upper) with erosive base on floodplain purple mudstone. C. Calcrite nodules in floodplain purple mudstone. D. Rootlet casts filled with calcite in floodplain purple mudstone.

태이다. 이와 같이 고성층 분포지는 경계부에서 중앙부로 갈수록 습곡 및 요곡되어 있으며, 다수의 단층들이 발달한다. 이러한 현상은 고성층 퇴적후 본 지역에 발달한 화산활동 및 화강암류의 심성활동과 함께 후기 백악기 경상분지에 작용한 지각변형운동과 밀접한 관련이 있을 것으로 여겨진다.

3.3 진동층과 고성층의 경계부 특성

풍화작용과 식생의 피복으로 인해 진동층과 고성층의 직접적인 경계부는 관찰되지 못하였으나, 경계부와 근접한 일부 지역의 퇴적층에서 진동층과 고성층의 변화특성이 관찰되었다. 이들 경계부 근접 지역에서 나타나는 가장 큰 변화는 퇴적환경의 변화에 따른 암상 변화로 지역별로 차이를 보인다. 경계부 근

접 지역의 고성층에는 전반적으로 역질층이 빈번히 발달되어 있으며, 이 중 대표적인 역질층 발달지점은 그림 1에 표시되어 있다. 하일면 용대리 남부 해안을 중심으로 서측인 해포 및 중촌 지역에는 대체적으로 균일층리를 이루는 회색 내지 암회색의 세립사암과 이암의 호층이 발달되어 있으며, 이 퇴적층에는 응회질사암이 간헐적으로 협재되어 있다(그림 5, 6). 이와 함께 해포지역의 퇴적층에는 공룡발자국이 산출된다(그림 6). 이와 같은 해포 및 중촌 지역 퇴적층의 발달특성은 주로 호수연변부퇴적층으로 이루어진 진동층의 퇴적특성을 나타낸다. 한편 해포 지역의 동측인 돌끝 해안 지역에는 서측 지역과는 달리 불균일층리를 가지는 응회질의 함력사암과 붉은색의 사질 이암의 호층이 반복되어 나타난다. 응회질사암은 하

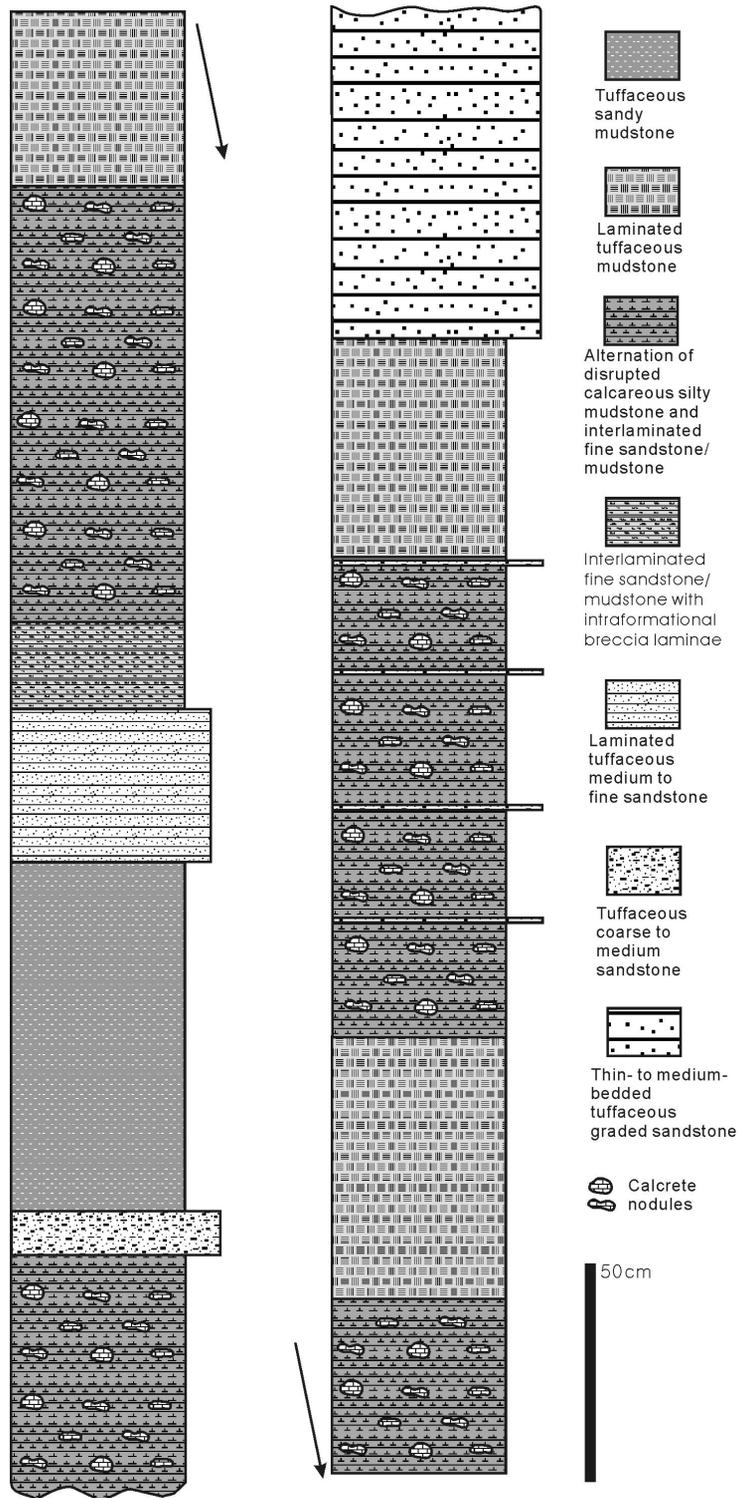


Fig. 5. Stratigraphic sections of the Jindong Formation near the easternmost boundary with the overlying Goseong Formation at Joongchonri.

위의 이암층 위에 침식기저면을 가지며 수십 cm 내지 1 m 이상의 두께로 발달하며, 상부로 가면서 점차 세립화되어 다시 이암층으로 접이되는 양상을 띤다

(그림 7, 8). 이암 내에서는 캘크리트 단괴가 산출되며, 버티졸고토양 기원의 방해석으로 충전된 얇은 균열구조가 부분적으로 수반되어 있다(그림 8). 이와

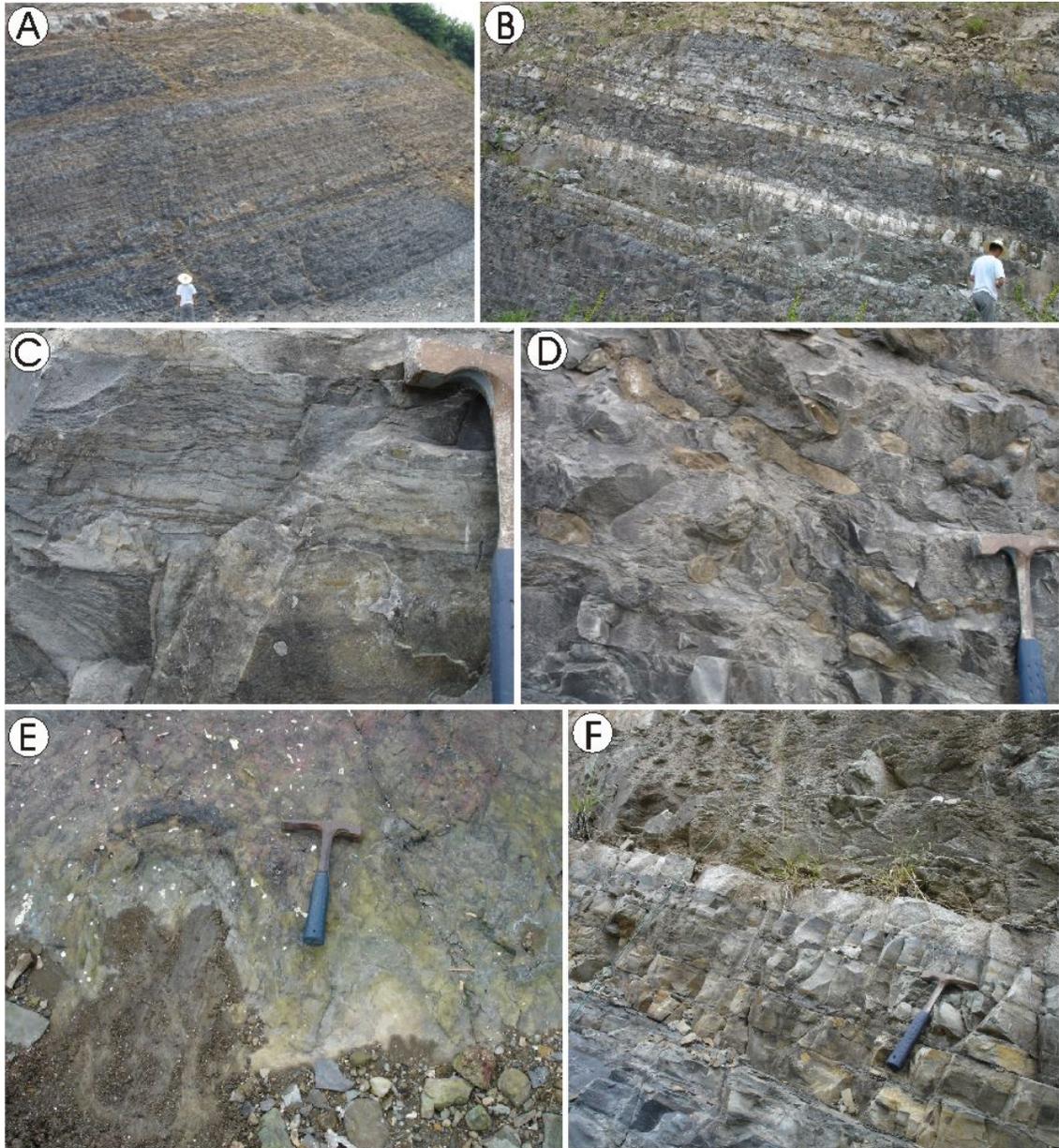


Fig. 6. Occurrence of the Jindong Formation near the easternmost boundary with the overlying Goseong Formation at Joongchonri. A. Even-bedded lake margin deposits with alternation of fine sandstone to siltstone and mudstone. B. Even-bedded lake margin deposits with alternation of tuffaceous sandstone and calcareous mudstone. C. Disrupted lake margin deposits with alternation of fine sandstone to siltstone and mudstone. D. Calcrete nodules in calcareous mudstone. E. Dinosaur footprint on lake margin deposits. F. Tuffaceous sandstone (upper) on lake margin deposits.

같은 돌끝 해안 지역의 퇴적특성은 하성환경의 퇴적 산물로 이루어진 고성층의 퇴적특성을 나타낸다. 따라서 서쪽 경계부에서 고성층의 하한은 균일한 층리

가 발달한 회색 내지 암회색의 호수연변부퇴적층이 사라지고 두껍게 발달한 응회질사암과 붉은색을 띠는 사질 이암층의 호층이 출현되는 부분으로 설정될

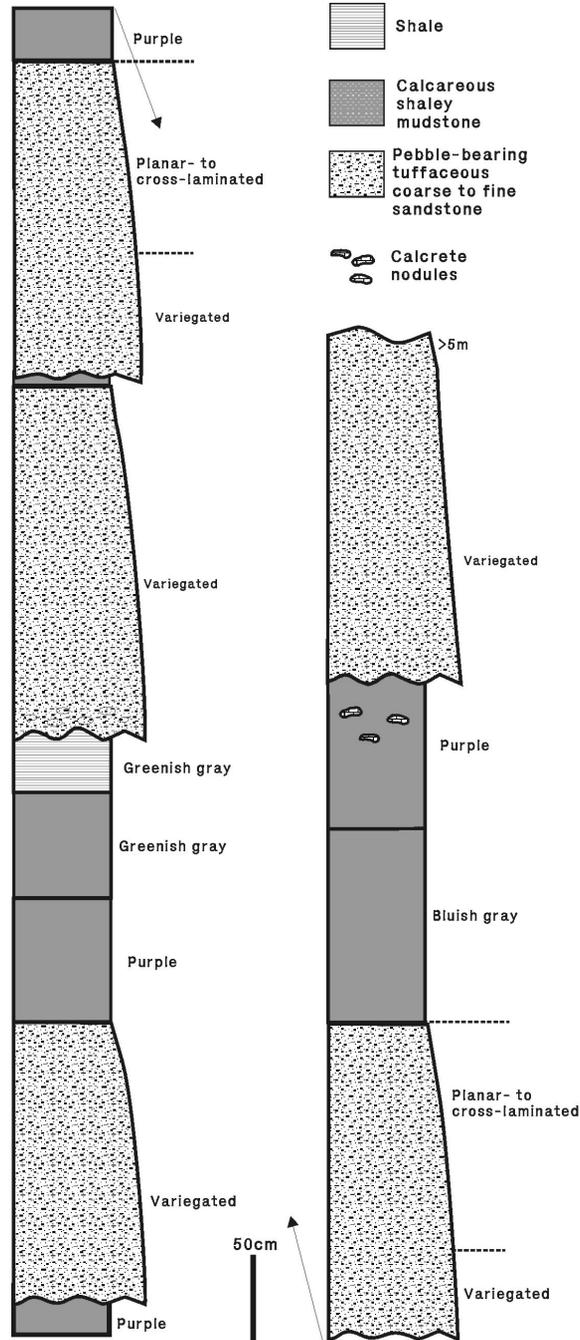


Fig. 7. Stratigraphic sections of the lower part of the Goseong Formation near the westernmost boundary with the underlying Jindong Formation at Yongdaeri.

수 있다.

연구지역 북쪽 및 동쪽에서 두 지층의 경계부(그림 1의 ②, ③지역)는 서쪽 경계부와 달리 붉은색의

사질이암과 하성기원의 역암의 출현 없이 화산쇄설성 역암이 녹회색 실트스톤과 암회색 이암의 호층으로 구성된 진동층 상위에 놓이는 특징을 보여준다.

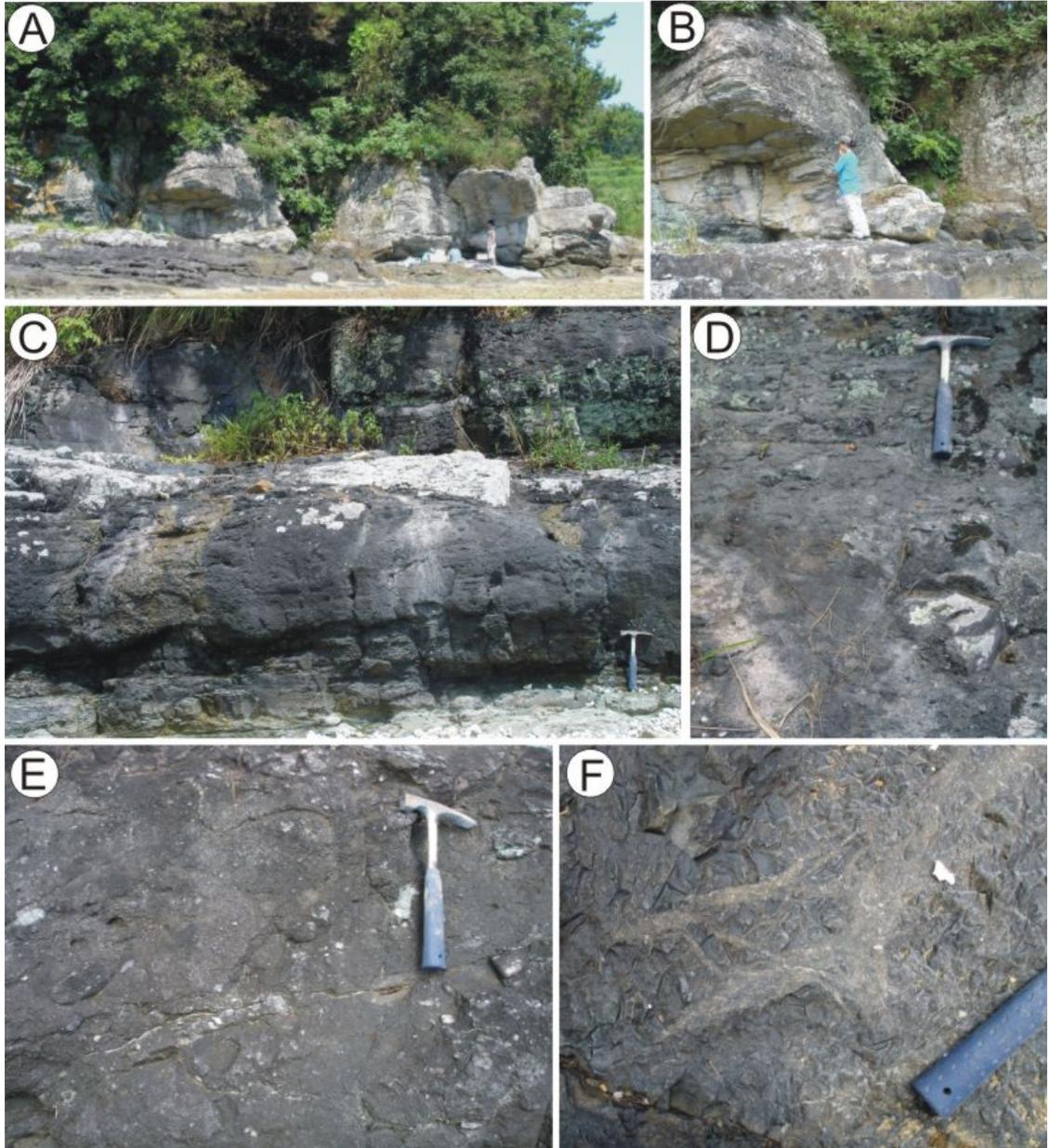


Fig. 8. Occurrence of the Goseong Formation near the westernmost boundary with the underlying Jindong Formation at Yongdaeri. A. Overall view showing uneven bedding of fluvial deposits. B. Lenticular- and cross-bedded tuffaceous channel sandstone beds on floodplain purple mudstone. C. Tuffaceous sandstone beds with erosive base on floodplain purple mudstone. D. Graded tuffaceous sandstone beds with pebbly deposit in the lower part and planar- to cross-bedded deposit in the upper part. E. Mudstone pebble-bearing tuffaceous sandstone. F. Polygonal and reticulate thin cracks filled with calcite in floodplain purple mudstone.

이들 역은 서쪽 경계부에 비하여 그 크기가 작고 상향 세립의 점이층리를 보인다. 또한 이들 역중 화산성은 원마도가 양호하나 진동층의 것들은 아각 내지 각형을 띤다. 한편 고성층 주분포지의 동쪽 원산리 일원에서의 진동층과 고성층의 경계부는 직접적인 접촉부는 나타나지 않으나 단층경계로 추정된다.

고성층의 상한은 지질구조 측면에서 주 분포지 중앙부에 분포하는 최상부 응회암층으로 인지되나 지형 및 노두여건상 직접적인 노출지는 나타나지 않으며, 그 이외의 지역에서는 고성층의 상한이 산출되지 않는다. 고성층 상위의 지층인 안산암질 래필리 응회암 혹은 용결응회암과는 경사부정합 혹은 단층접촉을 나타낸다.

4. 퇴적특성

고성층의 대표적인 퇴적층 구성을 파악하기 위하여 대체적으로 고성층의 중부층이 분포되어 있는 고성읍 월평리 해안의 3개 지점, 삼산면 판곡리 1개 지점 및 삼산면 병산리 1개 지점의 퇴적특성이 조사되었다(그림 9).

4.1 고성읍 월평리 지역

월평리 해안에서 서남측으로 길게 돌출되어 발달된 지역의 해안에는 고성층의 퇴적층이 비교적 연속

적으로 노출되어 있으며, 이 퇴적층은 대체적으로 남측 방향으로 10도 내외의 경사를 가지고 있다. 이 지역의 퇴적층은 전반적으로 응회질을 띠는 사암과 붉은색 또는 녹회색의 이암이 교호로 이루어져 있으며, 이암 및 응회질사암에서는 공룡알화석이 산출된다.

4.1.1 제 1지점

산상: 제 1지점은 이 지역의 남측 해안지역으로, 응회질함력조립사암, 석회암편사암, 응회질의 중립 내지 세립사암, 응회질의 세립사질이암, 세일질이암, 쳐어트질이암 등으로 구성되어 있다(그림 10, 11A-D). 1지점 퇴적층 내에서 가장 조립질인 응회질의 함력조립사암은 중상부에 1매가 발달되어 있다. 이 사암은 U자형의 하도구조를 충진한 상태로 발달되어 있으며, 중심부의 두께는 약 1 m이다. 이 사암층의 기저에는 침식경계가 잘 나타나며, 내부에는 사층리가 발달되어 있다. 함유된 역들은 원마도가 비교적 양호하며 쳐트역들이 주를 이룬다. 한편 하도 중심부에서 멀어짐에 따라 이 사암층은 사암과 세일의 교호층으로 변화하며, 상부로는 붉은색의 사질이암으로 점이 되는데, 이 경계부에 알껍질편들이 산재되어 나타난다. 석회암편사암은 1지점 퇴적층 내의 중부에 약 20 cm의 두께로 1매가 발달되어 있다. 이 사암은 전남 보성의 백악기 공룡알화석층에 발달된 석회암편사암처럼(Paik *et al.*, 2004) 조립 내지 세립의 결정질석

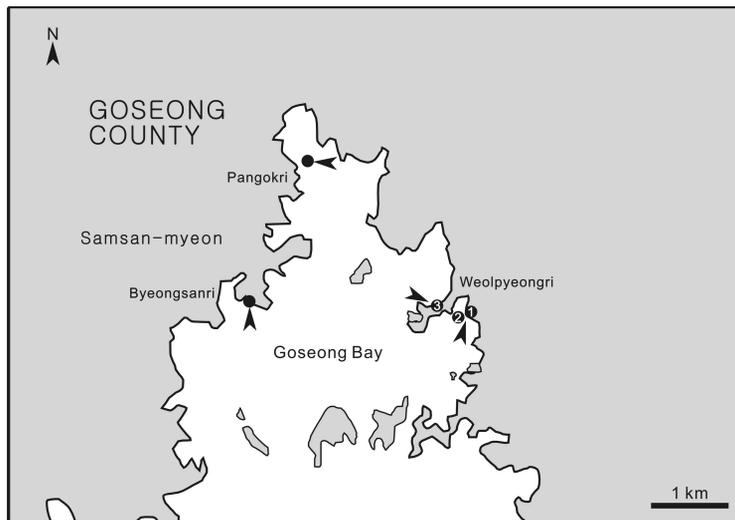


Fig. 9. Location map of the measured sections in study area.

회암편으로 이루어져 있다. 대체적으로 녹회색을 띠는 응회질의 중립 내지 세립사암은 일반적으로 수십 cm의 두께를 가지나, 하부에 발달된 사암은 1 m에 달한다. 이들 사암은 전반적으로 하위 이암과의 경계는 뚜렷한 반면 상위 이암과의 경계는 점이적인 양상을 띤다. 일부 사암은 아래로 또는 위로 불룩한 형태의 렌즈상 발달을 보인다. 이들 사암의 분급은 불량한 편이며, 화산암편들이 흔히 함유되어 있다.

응회질의 세립사질이암 또는 세일질이암은 전술한 응회질사암층과 교호되어 발달되어 있으며, 대체적으로 붉은색을 띤다. 이 이암층은 수십 cm에서 1 m 이상까지 다양한 두께를 가지며, 켈크리트 단괴를 혼

히 함유한다. 켈크리트 단괴는 직경 수 mm 내지 수십 cm의 크기를 보이며, 일부에서는 단괴의 성장에 의한 렌즈상 또는 층상의 켈크리트가 발달되어 있다. 이들 켈크리트 내에서는 환상균열, 방해석으로 충전된 불규칙 공극, 미세관 공극, 펠로이드 등의 고토양 조직이 관찰된다. 하부에 발달된 이암층에 공룡알껍질편층이 발달되어 있으며, 확인불명의 작은 척추동물 뼈조각이 이 이암층에서 관찰되었다. 쳐트질이암은 약 10 cm의 두께로 하부에 1매 발달되어 있으며, 응회질퇴적물의 재결정작용에 의한 것으로 여겨진다.

하부의 붉은색 이암층에서 산출되는 공룡알 껍질

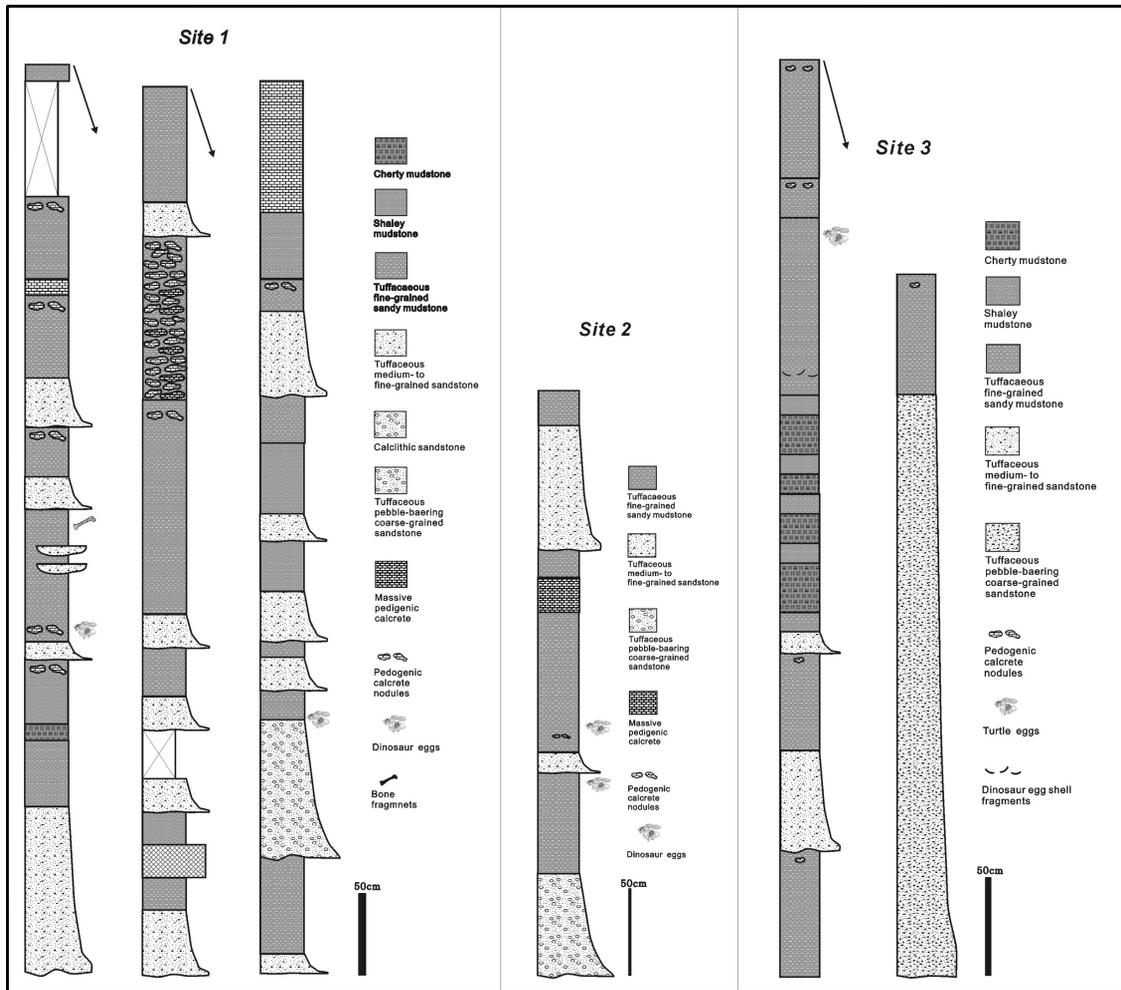


Fig. 10. Stratigraphic sections of the middle part of the Goseong Formation at Weolpyeongri.

은 3개의 무더기로 이루어져 있으며, 서로 간에 약 30 cm와 70 cm의 간격을 두고 있다. 이 중 2개의 무더기에는 직경 약 30 cm의 범위에 알 껍질들이 집중되어 분포되어 있으며, 한 무더기에는 알 껍질들이 산재되어 나타난다. 전반적으로 알 껍질들은 층리에 대체적으로 평행한 방향으로 놓여 있다. 한편 알 껍질

과 주위 이암과의 사이에는 방해석이 얇은 막을 이루며 형성되어 있으며, 알 껍질층에는 수 cm 크기의 켈크리트 단괴가 발달되어 있다. 중상부에 발달한 사암과 상위 이암과의 경계부에서 산출되는 알 껍질 또한 깨진 파편들이 산재된 상태로 나타난다. 이 알 껍질들은 두께 약 4 cm와 길이 약 70 cm의 범위에 집중

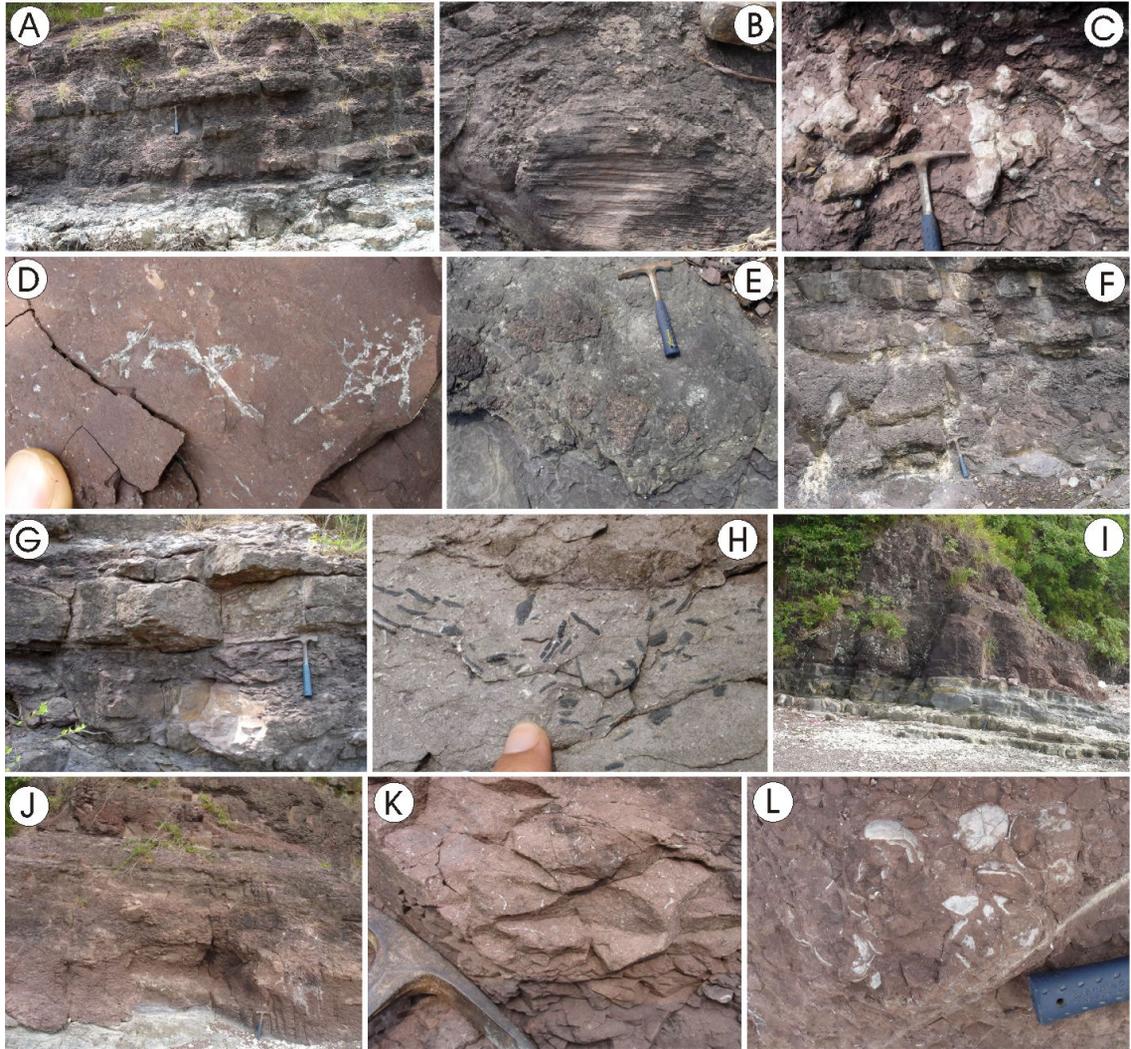


Fig. 11. Occurrence of the Goseong Formation at site 1 (A-D), site 2 (E-H), and site 3 (I-L) of Woelpyeongri. A. Floodplain deposits with alternation of fine sandstone and shaly mudstone. B. Planar- to cross-lamination in fine sandstone bed. C. Irregular to nodular pedogenic calcretes in floodplain mudstone. D. Vertebrate bone fragments in floodplain mudstone. E. Pebble-bearing coarse sandstone of channel deposit. F. Dinosaur egg-bearing floodplain mudstone (lower) with fine sandstone beds (upper). G. Lenticular to bedded pedogenic calcretes in floodplain mudstone. H. Dinosaur egg shell fragments in tuffaceous sandstone. I. Floodplain mudstone with alternation of mudstone and tuffaceous fine sandstone. J. Nodular pedogenic calcretes in floodplain mudstone. K. Rootlet casts filled with calcite in floodplain mudstone. L. Turtle egg shell fragments in floodplain mudstone.

되어 있으며, 일부 알 껍질들은 부분적으로 원형 내지 타원형의 분포를 보인다. 하부층에서 산출되는 알 껍질들처럼 중상부의 알 껍질들 또한 대체적으로 층리에 평행한 방향으로 놓여 있다.

해석: 제 1지점에 발달된 퇴적층의 전반적인 퇴적 특성은 이 퇴적층이 하성평원에서의 퇴적산물임을 지시하여 준다. 1지점에 반복되어 나타나는 석회질 고토양화된 이암층은 비교적 건조한 기후조건의 범람원환경에서 형성된 퇴적층으로 해석되며, 이 이암층 사이에 간헐적으로 협재되는 수십 cm 내지 1 m 내외의 응회질사암층은 독터짐(crevasse) 기원의 하도 또는 범람퇴적층으로 해석된다. 한편 수 m의 두께를 가지는 하도사암층의 발달이 1지점의 퇴적층에 부재한 점은 1지점의 퇴적층이 발달된 기간에 이 지역에는 대규모 하도의 발달이 이루어지지 않았음을 시사하여 준다.

1지점의 이암층 내에서 산출되는 알 껍질들이 층리에 대체로 평행한 파편상태로 산재되어 나타남은, 알이 깨진 후에 유수에 의한 재동작용이 있었음을 지시하여 준다. 그러나 이들 알 껍질들이 이암 내에서 산출되며, 산포된 범위가 넓지 않고, 이와 함께 부분적으로 원형 내지 타원형의 분포가 나타남은 알 껍질들이 동지로부터 먼 거리로 이동한 것이 아니라, 동지 부근에 재퇴적된 산물임을 시사하여 준다. 한편 알 껍질이 산출된 이암이 석회질고토양으로 이루어져 있음은 알 껍질의 보존에 퇴적 이후의 석회질고토양화가 중요한 역할을 하였음을 지시하여 준다.

4.1.2 제 2지점

산상: 제 2지점은 1지점의 서단에서 동측으로 약 20 m 떨어진 지점으로 이 지점에 노출된 퇴적층은 1지점 퇴적층의 상부에 해당하는 퇴적층이다. 2지점에 발달된 퇴적층의 기저는 1지점의 상부에 발달된 소규모 하도기원의 응회질함력조립사암이며, 이 위에 응회질의 중립 내지 세립사암, 응회질의 세립사질이암, 층상의 켈크리트 등이 발달되어 있다(그림 10, 11E-H). 붉은색의 이암 내에서는 공룡알화석이 산출되며, 이 이암에는 부분적으로 켈크리트 단괴가 산출된다.

해석: 제 2지점에 발달된 퇴적층의 퇴적특성은 1지점과 동일한 양상으로, 2지점의 퇴적층 또한 하성평원상의 범람원퇴적층이다. 이 범람원퇴적층 내에

서 산출되는 알화석은 이들이 이암 내에서 산출되며 주위에 산재된 알 껍질들이 관찰되지 않고 부분적으로 집중되어 있는 것으로 미루어, 이 알화석들이 유수에 의해 이동되어 퇴적된 것이 아니라 거의 제자리 기원의 것으로 해석된다. 이와 함께 2지점 알화석의 보존 또한 석회질고토양화작용이 주요한 역할을 담당한 것으로 여겨진다.

4.1.3 제 3지점

산상: 제 3지점은 북측 해안지역으로, 이 지점에 노출된 퇴적층의 상부에 1매의 거북알화석층이 발달되어 있다. 3지점에 발달된 퇴적층은 응회질함력조립사암, 응회질의 중립 내지 세립사암, 응회질의 세립사질이암, 세일질이암, 쳐어트질이암 등으로 구성되어 있으며(그림 10, 11I-L), 이와 같은 암석구성은 석회암편사암과 층상켈크리트의 발달이 없는 점을 제외하고는 1지점과 유사한 구성이다.

3지점 퇴적층의 상부에 발달한 응회질의 함력조립사암은 녹회색을 띠며, 1지점과는 달리 사암층이 중첩되어 약 3 m 정도의 두께로 발달되어 있다. 이 사암층에는 판상층리와 사층리가 발달되어 있다. 응회질의 중립 내지 세립사암은 3지점 퇴적층의 하부에 10 내지 50 cm의 두께로 발달되어 있다. 이 사암 또한 녹회색을 띠며, 내부에는 판상 내지 사엽층리가 발달되어 있다. 응회질의 세립사질이암은 전반적으로 붉은색을 띠며, 켈크리트 단괴를 부분적으로 함유한다. 3지점에 발달된 알화석층 또한 1 및 2지점과 마찬가지로 응회질의 세립사질이암에서 산출된다. 3지점의 알들은 일정한 방향 없이 무더기상으로 산출되며, 껍질이 모두 방해석으로 재결정화되어 있음이 특징이다. 이 알화석 주위의 이암에는 방해석으로 채워진 실뿌리 기원의 미세관형공극들이 수반되어 있으며, 하부에는 공룡알껍질편들이 드물게 산재되어 있다. 한편 세일질이암은 붉은색 또는 녹회색을 띠며, 켈크리트를 거의 함유하지 않는다. 3지점의 퇴적층에는 10 내지 20 cm 내외의 두께를 가지는 쳐어트질이암이 세일질이암과 함께 수회 반복되어 나타남이 특징이다. 이 쳐어트질이암은 전반적으로 녹회색을 띠며, 부분적으로 석회질이 혼재되어 있는 양상을 보인다.

해석: 제 3지점에 발달된 퇴적층의 전반적인 퇴적 특성은 1지점과 마찬가지로 이 퇴적층이 하성평원에

서의 퇴적산물임을 지시하여 준다. 3지점의 퇴적층이 1지점과 다른 점은 3 m 두께의 하도사암층이 발달되어 있는 것과 쳐어트질이암이 수회 반복되어 있는 점이다. 따라서 3지점의 퇴적기간 동안에는 이 지역에 중규모의 하천이 발달하였던 것으로 해석되며, 알화석층 하위에 반복되어 나타나는 쳐어트질이암은 당시의 범람원 주변지역에서 화산분출이 간헐적으로 일어났었음을 시사하여 준다. 한편 3지점의 알화석층 또한 1지점과 마찬가지로 석회질고토양으로 이루어져 있음은 알 껍질의 보존에 퇴적 이후의 석회질고토양화가 중요한 역할을 하였음을 지시하여 준다.

4.2 삼산면 지역

고성군 삼산면의 남측 해안지역에는 고성층의 퇴적층이 단속적으로 노출되어 있으며, 이 퇴적층에서

도 공룡알화석이 산출된다.

4.2.1 판곡리 지점

산상: 이 지점에는 응회질 사암과 세립사질 내지 실트질이암이 반복되어 발달되어 있으며, 이암층에서는 공룡알이 산출된다(그림 12, 13A-E). 대체적으로 응회질사암은 3가지 유형의 산상을 보인다. 즉 10 내지 20 cm의 사암층이 여러 매 중첩되어 1 내지 2 m의 사암층을 이루며 발달된 유형, 수십 cm의 두께를 가지며 이암층 내에 간헐적으로 협재된 유형, 10 cm 내외의 두께로 이암층 내에 렌즈상으로 발달된 유형 등이다.

이 중 응회질사암이 중첩된 유형은 상부로 가면서 층의 두께가 감소되는 상향박층화 유형 및 상부로 가면서 점차 두꺼워지는 상향후층화 유형의 두 가지 산

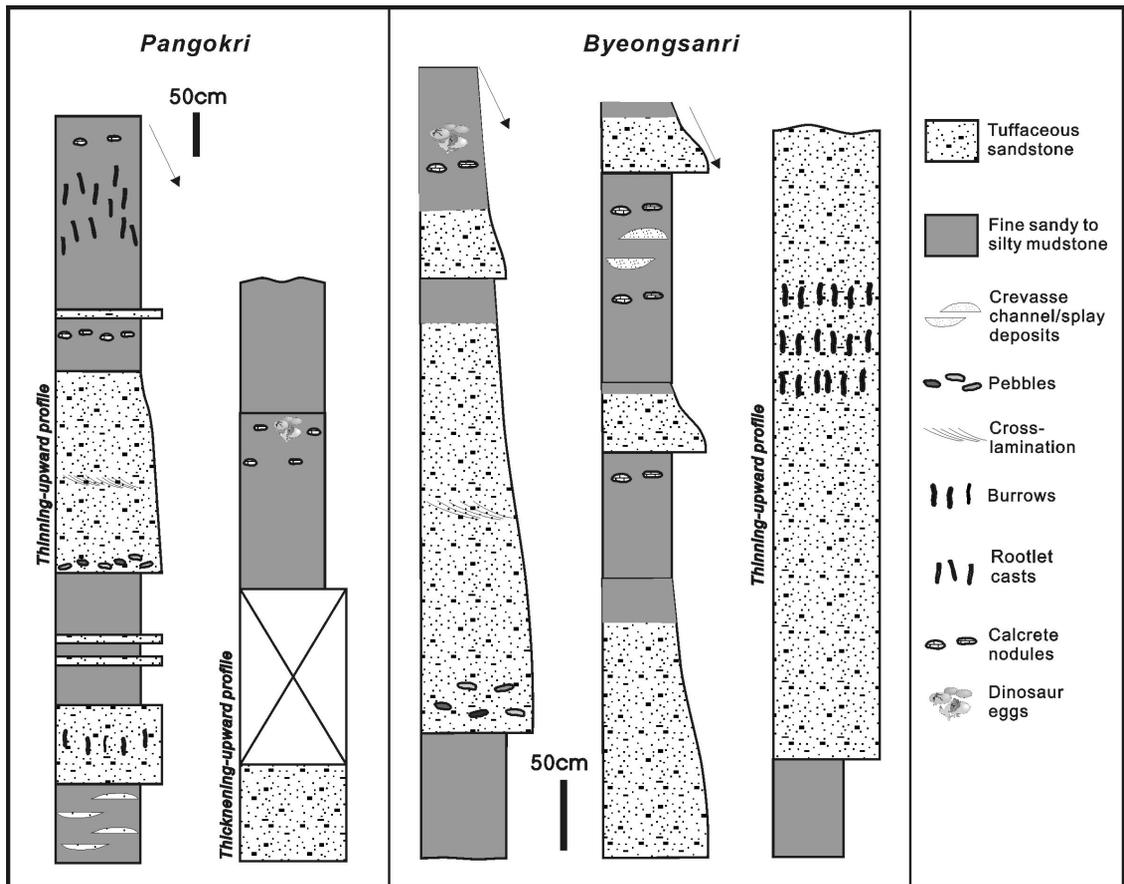


Fig. 12. Stratigraphic sections of the middle part of the Goseong Formation at Pangokri and Byeongsanri.

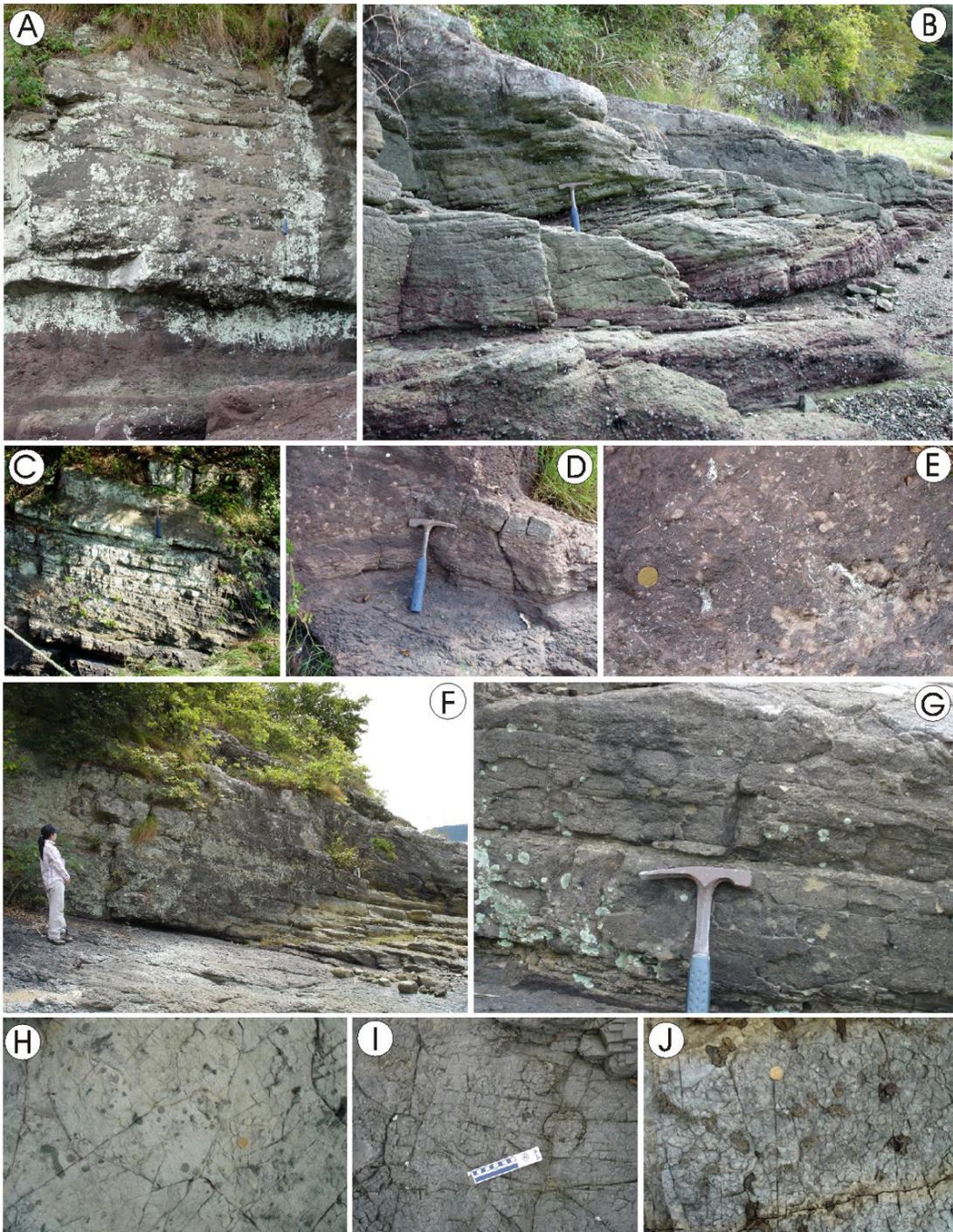


Fig. 13. Occurrence of the Goseong Formation at Pangokri (A-E) and Byeongsanri (F-J). A. Fining- and thinning-upward channel sandstone beds on floodplain mudstone. B. Planar- to cross-bedded lenticular channel sandstone beds. C. Thickening-upward crevasse splay sandstone beds. D and E. Pedogenic nodular calcrites in floodplain mudstone. Calcite-filled rootlet cavities are associated with the nodules (E). F. Channel sandstone beds on floodplain mudstone. G. Planar- to cross-bedding in channel sandstone beds. H. Subcircular burrows and trails on sandstone bed. I. Dinosaur egg clutch in floodplain mudstone. J. Nodular calcrites in floodplain mudstone.

상을 보인다. 상향박층화 응회질사암층의 경우 2 m 이상의 두께를 이루며, 하위의 이암층과는 뚜렷한 침식경계를 가진다. 이 사암층의 기저 및 하부에는 잔자갈들이 산재되어 있으며, 일부 평력들은 층리에 대체로 평행한 방향의 배열을 보인다. 이 사암층의 중부에는 사층리가 발달되어 있으며, 부분적으로 곡상사층리의 발달을 보인다. 상향후층화 응회질사암층은 1 m 내외의 두께를 이루며, 하부에 판상사층리가 발달되어 있다. 이 사암층의 일부에는 1 cm 내외 크기의 석회질결핵체가 발달되어 있다. 한편 렌즈상으로 나타나는 응회질사암은 불룩한 하부와 평탄한 상부를 가지는 것과 이와는 반대로 평탄한 하부와 불룩한 상부를 가지는 두 가지 유형으로 발달되어 있으며, 비교적 횡적인 연장성을 가지며 판상으로 발달된 응회질사암에서는 부분적으로 생흔구조가 관찰된다. 전반적으로 응회질사암의 사립은 화산암편, 이암편, 석영 및 장석 등의 쇄설성사립 등으로 이루어져 있으며, 일부에서는 잔존된 유리질조직이 관찰된다. 판상의 형태를 가지는 층내 기원의 이암편의 경우 평력과 마찬가지로 층리에 대체로 평행한 배열을 보인다.

이암층은 대체적으로 붉은색을 띠나 부분적으로 녹회색을 띠며, 녹회색질의 이암층에서는 공룡알이 산출된다. 이암은 전반적으로 석회질을 띠며, 내부에는 캘크리트 단괴들이 부분적으로 발달되어 있다. 일부 이암에는 스페라이트로 충전된 미세관형구조가 집중적으로 발달되어 있으며, 이 관형구조의 벽을 따라 박층의 엽층사미크라이트가 발달되어 있다. 이 이암에서는 부분적으로 각력화현상과 환상균열구조가 관찰된다. 이암층에서 산출되는 공룡알은 비교적 집중되어 있으며, 특별한 배열특성은 나타나지 않는다. 이들 알은 전반적으로 깨진 상태로 산출되나 대체적으로 알의 형태를 유지한 상태로 산출되며, 알껍질의 주위에는 방해석으로 이루어진 1 내지 2 mm 두께의 각이 부분적으로 형성되어 있다.

해석: 판곡리 지점에 발달된 퇴적층의 전반적인 퇴적특성은 월평리 지점과 마찬가지로 이 퇴적층이 하성평원에서의 퇴적산물임을 지시하여 준다. 판곡리 지점 퇴적층에 발달된 상향박층화를 보이는 중첩된 사암층은 전형적인 하도에서 포인트바에 이르는 퇴적환경의 퇴적산물로서, 퇴적 당시 이 지점에는 사행하천이 발달하였음을 지시하여 준다. 이 사행하천

의 하도사암층 하위 및 상위에 발달된 이암층은 범람원환경의 퇴적산물로서, 이 이암층에 실뿌리기원의 관형구조와 환상균열이 발달된 캘크리트가 산출함은 범람원지역에 이질퇴적물이 퇴적된 후 어느 정도의 석회질토양화작용이 일어났음을 지시하여 준다. 이는 당시의 기후조건이 비교적 건조하였음을 시사하여 준다. 한편 범람원기원의 이암층에 간헐적으로 협재되어 있는 렌즈상의 사암은 홍수 시에 일어난 독터집현상에 의해 이루어진 퇴적층으로 해석되며, 알화석층 하위에 발달된 상향후층화를 보이는 사암 중첩층은 하도로부터 비교적 근거리에서 퇴적된 독터집퇴적층으로 해석된다. 한편 판곡리 지점의 알화석층 또한 월평리 지점과 마찬가지로 석회질고토양으로 이루어져 있음은 알 껍질의 보존에 퇴적 이후의 석회질고토양화가 중요한 역할을 하였음을 지시하여 준다.

4.2.2 병산리 지점

산상: 이 지점 또한 삼산리 지점과 마찬가지로 응회질 사암과 세립사질 내지 실트질이암이 반복되어 발달되어 있으며, 이암층에서 공룡알이 산출된다(그림 12, 13F-I). 응회질사암은 2가지 유형의 산상, 즉 중첩된 사암층 및 이암층 내에 간헐적으로 협재되는 사암층으로 나타난다.

중첩된 사암층은 두께 1 m에서 5 m 이상에까지 이르며, 대체적으로 상향박층화 및 상향세립화 양상을 띤다. 이들 중첩사암층의 하부에는 역들이 산재되어 있으며, 중부에는 판상층리 또는 사층리가 발달되어 있다. 조사된 퇴적층의 상부에 발달된 두께 5 m 이상을 가지는 중첩사암층의 중상부에는 연속된 3매의 사암층 표면에 생흔화석이 산출된다. 이 중 하부층에는 생흔화석이 드물게 나타나나, 중부 및 상부층에는 생흔화석이 표면적의 10 내지 20%를 차지하며 발달되어 있다. 생흔화석은 층에 수직으로 발달한 깊이가 얇은 생흔구조와 성층면에 평행한 생흔구조로 이루어져 있으며, 이들 생흔구조의 직경은 대체적으로 1 cm 내외를 보인다. 성층면을 따라 발달한 생흔구조의 경우, 대부분 직선 내지 아직선형이나 일부에서는 꺾인 형태의 생흔이 관찰되며, 내부에 엽층리가 발달한 메니스케이트(meniscate)형 생흔구조가 부분적으로 나타난다. 이암층 내에 간헐적으로 협재되어 있는 응회질사암의 경우, 두께는 수십 cm의 규모이

다. 이 사암은 판상으로 나타나거나 일부에서는 렌즈상으로 나타난다. 렌즈상 사암의 경우, 삼산면 지점의 퇴적층에서와 마찬가지로 불룩한 하부와 평탄한 상부를 가지는 것과 이와는 반대로 평탄한 하부와 불룩한 상부를 가지는 두 가지 유형으로 발달되어 있다.

이암은 대체적으로 붉은색을 띠나 부분적으로 녹회색을 띠며, 삼산면 지점과 마찬가지로 녹회색질의 이암층에서 공룡알이 산출된다. 이암은 전반적으로 석회질을 띠며, 내부에는 켈크리트 단괴들이 부분적으로 발달되어 있다. 이들 켈크리트에서는 환상균열이 부분적으로 관찰된다. 삼산면 지점과 마찬가지로 이암층에서 산출되는 공룡알은 비교적 집중되어 있으나, 특별한 배열특성은 나타나지 않는다. 이들 알은 전반적으로 깨진 상태로 산출되나, 대체적으로 알의 형태를 유지한 상태로 보존되어 있다.

해석: 병산리 지점에 발달된 퇴적층의 전반적인 퇴적특성은 전술한 여러 지점과 마찬가지로 이 퇴적층이 하성평원에서의 퇴적산물임을 지시하여 준다. 즉 병산리 지점 퇴적층 역시 하도 기원의 상향세립화 내지 상향박층화를 보이는 사암 중첩층이 발달되어 있고, 이와 함께 이들 하도 기원 사암 사이에 부분적으로 석회질고토양화된 범람원기원의 이암층이 발달된 양상은 사행하천의 일반적인 퇴적특성이다. 한편 이 지점의 상부에 발달한 하도 및 포인트바 기원의 사암 중첩층 내에 생란현상이 흔히 나타남은 당시의 하천 및 주변에 어느 정도의 무척추동물군이 서식하였음을 지시하여 준다. 병산리 지점의 알화석층 또한 다른 지점들과 마찬가지로 석회질고토양으로 이루어져 있음은 알 껍질의 보존에 퇴적 이후의 석회질 고토양화가 중요한 역할을 하였음을 지시하여 준다.

5. 층서적 고찰 및 결론

고성층은 전술한 바와 같이 이 지역의 도폭조사자들에게 의해 유천층군의 지층으로 대비되었다(장태우 외, 1983a). 고성층에 대한 자기층서학적 연구는 강희철 · 김인수(2000)에 의해 이루어졌으며, 고성층에 대한 직접적인 연대측정 자료는 전무하나 고성층을 관입한 화강암류나 고성층 하위의 진동층 내의 화산성 물질들에 대한 연대자료를 비롯하여 고성층의 연대를 추정할 수 있는 다수의 자료들이 있는 상황이다.

강희철 · 김인수(2000)는 고성층 11개 지점에서

고지자기 연구를 실시하여 고성층이 최소한 3번의 자기극성변화를 보이는 결과를 얻었으며, 이로부터 고성층의 지질시대를 후기 Albian에서부터 초기 Maastrichtian으로 제시하였다. 이러한 결과는 고성층의 퇴적이 최대 약 30 Ma동안 지속된 지층으로 이는 고성층의 층후나 암상 등을 고려할 때 너무 오랜 기간에 해당한다. 한편 고성층과 층서적으로 접하여 있는 진동층의 지질시대는 백악기 후기인 Cenomanian에서 Campanian까지 이르는 것으로 여겨진다. 이는 진동층 내에 발달된 일차적인 기원의 화산쇄설성 퇴적암의 K-Ar 연령인 8,400만년 내지 8,500만년(김현주, 백인성, 2001)과 진동층 하위에 있는 구산동응회암의 저콘 U-Pb 연대인 9,600만년 내지 9,700만년 및 진동층을 관입한 화강암의 저콘 U-Pb 연대인 8,000만년(좌용주 외, 2004)으로부터 유추된 것이다. 만일 고성층이 진동층의 상위 지층이라면 고성층의 지질시대는 Campanian 이후에 해당될 것이다.

강희철 · 김인수(2000)에 의한 고지자기연구에서 나타나는 역자화 층준을 전체 고성층의 층준에 대비하여 보면 중부 층준 1개와 상부 층준 2개로 최소 3회의 역자화 층준이 발견된다. 따라서 하양층군의 절대연대 측정 자료와 Ogg (1995)의 자기층서표를 함께 고려할 때(그림 14), 고성층의 역자화 지층은 Campanian 후기의 역자화 구간에 속할 확률이 가장 높은 것으로 판단되며, 이로부터 고성층 전체의 퇴적시기는 약 81 내지 71 Ma 범위를 가질 것으로 추정된다.

한편 장태우 외(1983b)는 암질의 유사성에 근거하여 부산일원의 다대포층이 본 연구지역의 고성층에 대비될 것으로 제시하였으나 고성층은 경상분지의 본체의 일부인 반면, 다대포층은 본체로부터 격리되어 있어 이들 층서관계를 상호 대비하기에는 다소 무리가 있다. 다대포층에서 실시한 자기층서학적 연구(김인수, 1988)는 하부다대포층의 2개 시편에서 역자화가 관찰되고 암상의 유사성을 근거로 다대포층의 층위가 하양층군의 하부인 Barremian에서 Aptian이며 대구지역의 칠곡층, 의성지역의 일직층, 후평동층에 대비되는 것으로 보았다. 또한 고성일원에서의 고자기학적 연구(강희철 · 김인수, 2000)에서도 여러 번의 지구자기장 역전을 경험한 고성층과 그렇지 못한 다대포층 그리고 이들 지층을 관입 · 분출한 안산암류들의 자기극성의 상이함을 들어 대비의 가능성이 희박함을 제시하였다. 그러나 최근 고성층과 다대

포층에서 발견된 공룡알 화석의 산출특성(Paik and Huh, 2005) 및 고성층과 다대포층 암질의 유사성을 고려할 때, 이들 두 지층의 대비 가능성이 높을 것으로 판단된다. 즉 다대포층에서 발견된 역자화 층준은 Campanian 초기의 역자화 구간에 속하며 고성층의 역자화 층준들은 앞서 언급한 바와 같이 Campanian 후기에 대비될 가능성이 높기 때문이다.

하양층군과 유천층군의 경계는 경사부정합으로 제시되어 있으며(장기홍, 1975; 장기홍 외, 1984; 유인창 외, 2006), 연구 지역 내의 하양층군 진동층과 유천층군 고성층의 경계는 점이적인 정합관계로 제시되어 있다(장태우 외, 1983a). 이 연구를 통해 진동층과 고성층의 직접적인 접촉관계를 확인할 수 있는 노두는 관찰되지 못하였다. 따라서 진동층과 고성층

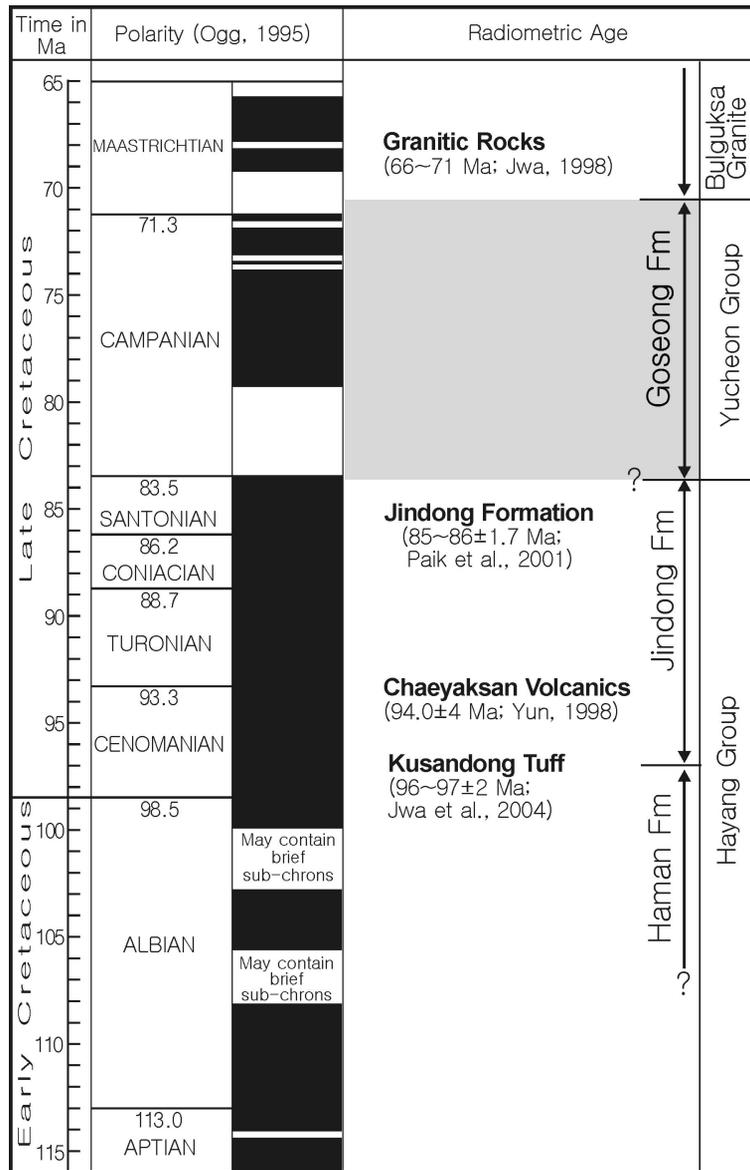


Fig. 14. Stratigraphic correlation based on radiometric and polarity data with the worldwide geomagnetic polarity time scale (Ogg, 1995).

이 정합적 또는 부정합적 관계인지에 대해서는 명확하게 판정하기가 어려우나, 진동층과 고성층의 공간적인 분포경향, 주향과 경사, 암상 등을 고려할 때 고성층의 퇴적작용은 진동층 퇴적작용의 연장선에서 이루어지지 않는 것으로 여겨진다.

일반적으로 경상분지 남부 지역의 경상누층군 하부에 해당하는 신동층군과 하양층군의 퇴적층은 경상분지가 진화해가면서 커다란 지각운동이나 이에 따른 시간적 불연속 없이 퇴적환경의 변화에 의해 암상을 달리해가며 퇴적된 것으로 알려져 있다(Choi, 1985). 즉 분지의 지속적인 침강 및 확장과 기후변화에 따라 상부로 가면서 대체적으로 층적선상지퇴적층-하성퇴적층-호성퇴적층의 순으로 변화하는 일련의 퇴적체가 반복되어 형성된 것으로 해석되었다(엄상호 외, 1983; Choi, 1985, 1986).

퇴적환경의 측면에서 진동층에서 고성층으로의 변화는 호성층에서 하성층으로의 변화를 나타낸다. 이는 진동층 퇴적시기에서 고성층 퇴적시기로 바뀔 때에 기후변화, 퇴적속도 또는 지반운동에 의한 이 지역의 퇴적조건이 변화하였을 시사하여 준다. 진동층에서 고성층으로의 퇴적상 변화처럼 호성층에서 하성층으로 변화한 경우는 신동층군의 최상부인 진주층과 하양층군의 최하부인 칠곡층과의 경계에서 나타난다. 이 경우, 두 지층간의 퇴적상 변화는 기후변화 즉 평균 강우량의 장기적인 감소에 따른 퇴적환경의 변화로 해석되었다(Choi, 1985). 이에 따라 진주층과 칠곡층은 정합적인 관계를 가지며, 전반적으로 유사한 주향과 경사를 이루고 공간적으로도 대체로 평행하게 발달되어 있다. 그러나 진동층과 고성층의 경우에는 주향과 경사가 서로 다를 뿐 아니라, 공간적인 분포에 있어서도 진동층과 고성층은 서로 간에 평행관계를 보이지 않는다. 이는 진동층에서 고성층으로의 퇴적환경 변화가 기후변화에 의한 것이 아님을 지시하여 주며, 대신 진동층의 퇴적과 고성층의 퇴적 사이에 이 지역에 국부적인 지반운동이 일어났을 가능성이 있음을 시사하여 준다.

진동층은 호수분지의 유형 중 분지의 퇴적공간이 분지를 채운 물과 퇴적물의 부피보다 큰 이른바 미충진호수분지(underfilled lake basin)(Carroll and Bohacs, 1999; Bohacs *et al.*, 2000)로 해석되었다(Paik and Kim, 2006). 이와 같은 미충진호수분지에서 하성퇴적층으로 이루어진 고성층의 퇴적특성으

로 변화하기 위해서는 과충진호수분지(Overfilled lake basin)(Carroll and Bohacs, 1999; Bohacs *et al.*, 2000)로 변화되어야 하는데, 이를 위해서는 퇴적물의 공급량이 증가되거나 지반운동에 의해 분지의 공간이 축소되어야 한다. 진동층의 경우 상부로 가면서 응회질사암층의 발달빈도가 증가하는 경향을 보이는 퇴적속도가 점진적으로 증가되었음을 시사하여 준다. 즉 진동호수분지가 점차 충진되면서, 화산활동의 증가와 단층운동 등에 의해 진동층의 발달지역이 국부적으로 용기되어 과충진호수분지로 바뀌에 따라 이 지역에 붉은색층을 협재하는 하성퇴적층인 고성층의 발달이 이루어진 것으로 여겨진다. 이와 같은 진동층과 고성층 퇴적시기 사이의 분지특성의 변화는 유인창 외(2006)에 의해 제시된 경상분지 발달 5단계 중 80~70 Ma 동안에 일어난 북서방향의 단층운동이 발생한 변형 II단계의 의한 결과로 추정된다.

이상과 같은 고성층의 층서적 발달특성으로 미루어 고성층과 진동층과의 층서적 관계는 경사부정합의 관계인 것으로 여겨진다. 한편 경상분지 동남부 지역에는 이 연구에서 소개된 고성층 이외에도 통영 지역의 장평리층과 부산 지역의 대대포층 등이 유천층군의 지층으로 설정되어 있다. 이들 유천층군 지층들은 하위에 있는 신동층군 및 하양층군의 지층들과는 발달 자세나 공간적인 분포특성에 있어서 많은 차이를 나타낸다. 따라서 앞으로 백악기 후기 동안의 경상분지 진화특성을 보다 구체적으로 이해하기 위해서는 이들 유천층군 퇴적층들에 대한 퇴적지질학적 연구가 보다 심층적으로 이루어져야 할 것이다.

사 사

이 연구는 2005년도 한국과학재단 특정기초연구(R01-2005-000-10060-0)의 연구비 지원에 의해 이루어졌으며, 이에 감사드린다. 이 논문을 읽고 유익한 지적과 조언을 하여 주신 한국지질자원연구원의 김유봉 박사님과 권영인 박사님께 감사드리며, 이와 함께 이 연구의 수행을 위해 야외와 실내에서 많은 수고를 하여 준 부경대학교 환경지질과학과 지구고환경연구실의 소운환, 이정은, 김나영, 조경오, 김숙주, 이호일, 박승현 등의 연구실원들에게도 고마움을 전한다.

참고문헌

- 강희철, 김인수, 2000, 경상분지 남단 고성지역의 백악기 유천층군에 대한 고자기 연구. 한국지구과학회지, 21, 663-674.
- 김인수, 1988, 부산지역 백악기 다대포층에 대한 고자기학적 연구: 그의 층서적, 지구적 의의. 지질학회지, 24, 211-233.
- 김중환, 김정택, 1963, 한국지질도 1:50,000 마산도폭 및 설명서. 한국동력자원연구소.
- 김찬수, 박계현, 백인성, 2005, 백악기 신라역내 화산암류의 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 연대 및 해양층군의 퇴적시기에 대한 고찰. 암석학회지, 14, 38-44.
- 박노영, 지정만, 1963, 한국지질도 1:50,000 진동리도폭 및 설명서. 한국동력자원연구소.
- 양승영, 2000, 경남 고성군 프로젝트 야외조사에서 발견된 몇 가지 사실. 한국고생물학회 정기총회 및 제 16차 학술발표회 초록집, p. 17.
- 엄상호, 최현일, 손진담, 오재호, 곽영훈, 신성천, 윤현수, 1983, 경상분지의 경상누층군에 대한 지질 및 지화학적 연구. 한국동력자원연구소 연구보고 36, 124 p.
- 유인창, 최선규, 위수민, 2006, 한반도 동남부 백악기 경상분지의 형성과 변형에 관한 질의. 자원환경지질, 39, 129-149.
- 장기홍, 이우대, 이영길, 서승조, 오규영, 이창훈, 1984, 경상속 유천층군 기저의 부정합. 지질학회지, 20, 41-50.
- 장태우, 황상구, 이동우, 오인섭, 김학천, 김의홍, 1983a, 한국지질도 1:50,000 충무도폭 및 설명서. 한국동력자원연구소.
- 장태우, 강필중, 박석환, 황상구, 이동우, 1983b, 한국지질도 1:50,000 부산·가덕도폭 및 설명서. 한국동력자원연구소.
- 좌용주, 박정미, 1996, 경상분지 고성지역의 화성암류에 대한 암석학적 연구 I. 주성분원소 지구화학과 K-Ar 방사성 연대. 자원환경지질학회지, 29, 561-573.
- 좌용주, 1998, 경상분지 고성지역의 화성암류에 대한 암석학적 연구 II. 미량원소 지구화학과 Rb-Sr 방사성 연대. 자원환경지질학회지, 31, 473-483.
- 좌용주, 이용일, Yuji Orihashi, 2004, 구산동 응회암과 진동화강암에서 산출되는 저콘에 대한 U-Pb 연대와 진동층 퇴적시기에 대한 고찰. 대한지질학회 추계학술발표회 초록집, p. 73.
- 지정만, 김형식, 오인섭, 김학천, 1983, 한국지질도 1:50,000 삼천포도폭 및 설명서. 한국동력자원연구소.
- 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., Kelts, K.R. (Eds.), Lake Basins Through Space and Time. AAPG Studies in Geol. 46, pp. 3-33.
- Carroll, A.R., Bohacs, K.M., 1999. Stratigraphic classification of ancient lakes: balancing tectonic and climatic controls. Geology 27, 99-102.
- Chang, K.H., 1975, Cretaceous stratigraphy of southeast Korea. Journal of the Geological Society of Korea, 11, 1-23.
- 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.
- Koto, B., 1903, An orographic sketch of Korea. Jour. Coll. Sci. Imp. Univ. Tokyo, 19-1, 1-61.
- Ogg, J.G., 1995, "Magnetic Polarity Time Scale of the Phanerozoic", In Global Earth Physics, AGU Regegence Shelf 1, edited by Thomas J. Ahrens, p. 240-270.
- Paik, I.S., Huh, M. and Kim, H.J., 2004, Dinosaur egg-bearing deposits (Upper Cretaceous) of Boseong, Korea: occurrence, Palaeoenvironments, taphonomy, and preservation, Palaeogeography, Paleoclimatology, Palaeoecology, 205, 155-168.
- Paik, I.S. and Huh, M., 2005, Paleoenvironments and preservation of dinosaur egg-bearing deposits in South Korea. Annual meeting (2005) of Geological Society of America abstracts with programs, p. 138.
- Paik, I.S. and Kim, H.J., 2006, Playa lake and sheetflood deposits of the Upper Cretaceous Jindong Formation, Korea: Occurrence and paleoenvironments. Sedimentary Geology, 187, 83-103.

투 고 일 : 2006년 8월 21일

심 사 일 : 2006년 8월 27일

심사완료일 : 2006년 10월 30일