

## 경주시 와읍리 부근의 감포역암에 발달한 석화목층의 산상 및 고환경

백인성<sup>1,\*</sup> · 김경식<sup>2</sup> · 김현주<sup>1</sup> · 정은경<sup>2</sup> · 이호일<sup>1</sup> · 강희철<sup>1</sup>

<sup>1</sup>부경대학교 지구환경과학과

<sup>2</sup>전북대학교 생명과학과

### 요 약

경주시 양북면 와읍리 부근의 어일분지 내 장기층군 감포역암 퇴적층에 발달한 석화목층과 이에 수반된 퇴적층을 대상으로, 석화목층의 산상과 석화목의 보존 특성에 대한 연구가 수행되었으며, 이로부터 연구지역의 고환경이 해석되었다. 석화목층은 감포역암 내 암편질 내지 화산재응회암층(팔조리응회암)에 발달되어 있으며, 석화목층을 비롯한 연구지역의 퇴적층은 망상하천과 망상평원의 환경이 발달한 가운데 화쇄류층의 퇴적과 이의 재동이 간헐적으로 일어나는 환경의 퇴적층으로 해석되었다. 석화목은 이 응회암층의 하부 층준에 집중되어 산출되었으며, 퇴적단면(약 300 m<sup>2</sup>)에서 60여개의 석화목이 확인되었다. 석화목의 장축 방향과 층상 및 산재 배열 특성은 화산분출의 중심부가 남동측에 위치하였으며, 석화목층의 퇴적은 화산분출 중심부로부터 비교적 먼 거리에서 이루어졌음을 시사해 준다. 한편 석화목층에서 산출된 석화목들에 대한 감정 결과, 자작나무과의 서어나무속(*Carpinus*), 느릅나무과의 느티나무속(*Zelkova*), 무환자나무과의 단풍나무속(*Acer*)(우점종), 장미과의 벚나무속(*Prunus*), 아욱과의 레베시아속(*Reevesia*) 등 총 5과 5속의 나무 종류가 확인되었으며, 이는 나자식물이 부재하는 냉온대성의 아니아이형 식물상(Aniai-type Flora)에 해당한다. 위와 같은 연구지역 석화목층의 퇴적특성과 고식물상 특성을 바탕으로, 석화목층은 화쇄류를 동반한 화산분출 시, 냉온대성의 습윤한 조건의 산지에 생육하거나 고사되어 있던 피자식물 나무들이 화쇄류에 의해 저지대로 운반되어 매몰되면서 쌓인 것으로 해석된다. 이와 함께 감포역암의 식물상이 아니아이 식물상에 해당함은 감포역암이 전기 마이오세의 지층임을 지시해 준다. 한편 현재까지 국내에서의 신생대층 석화목 대상 연구는 시공간적으로 혼합된 고식물상 자료를 바탕으로 하였지만, 이 연구는 단일한 시공간에서 산출되는 고식물상 자료를 토대로 분석된 것임으로, 한반도 마이오세 고환경 해석에 보다 신뢰도가 높은 결과를 나타낸다.

**주요어:** 감포역암, 팔조리응회암, 석화목층, 잎화석, 피자식물, 아니아이형 식물상, 화쇄류퇴적층, 고환경

**In Sung Paik, Kyungsik Kim, Hyun Joo Kim, Eun-Kyoung Jeong, Ho Il Lee and Hee-Cheol Kang, 2016, Occurrences and paleoenvironments of the petrified wood-bearing deposits in the Gampo Conglomerate, Waeup-ri, Gyeongju, Korea. Journal of the Geological Society of Korea. v. 52, no. 1, p. 1-13**

**ABSTRACT:** Paleoenvironments of the petrified wood-bearing deposits in the Gampo Conglomerate of the Janggi Group in the Eoil Basin are interpreted on the basis of the occurrences, preservation, and paleovegetation of the petrified wood deposits and the associated deposits. The petrified wood deposits occur in the lithic to ash tuff (Paljori Tuff), and the petrified wood deposits and the associated deposits are interpreted to have been deposited on braided rivers with braided plains with intermittent deposition of pyroclastic flows and their reworking. The petrified woods are concentrated in the lower horizon of the tuff deposits, and over 60 specimens are recognized in the section of 300 m<sup>2</sup>. The long axis orientations, subparallel distribution to the bedding, and scattered occurrence of the petrified woods suggests that the volcanic center was located in the southeast and the petrified woods were deposited far from the volcanic center. 5 families and 5 genera of fossil woods are identified in the petrified wood deposits. They include *Carpinus*, *Zelkova*, *Acer* (dominant genus), *Prunus*, and *Reevesia*, assigned to the cool-temperate Aniai Flora. The occurrences and paleovegetation of the petrified wood-bearing deposits indicate that the petrified woods were deposited by pyroclastic flows transporting angiosperm trees vegetated on cool-temperate and humid mountainous areas. The geological age of the Gampo Conglomerate can be correlated to Early Miocene, considering the paleoflora of the petrified deposits assigned to the Aniai Flora. Whereas the Miocene paleoflora data of Korean

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

peninsula by previous studies are based on mixed specimens in time and space, the paleoflora data in this study are synchronous and from the specific horizon, which is more valuable to interpret the Miocene paleoenvironments in Korean peninsula.

**Key words:** Gampo Conglomerate, Paljori Tuff, petrified wood deposits, leaf fossils, angiosperms, Aniai Flora, pyroclastic flow, paleoenvironments

(In Sung Paik, Hyun Joo Kim, Ho Il Lee and Hee-Cheol Kang, Department of Earth and Environmental Sciences, Pukyong National University, Busan 48513, Republic of Korea; Kyungsik Kim and Eun-Kyoung Jeong, Department of Biological Sciences, Chonbuk National University, Jeonju 54896, Republic of Korea)

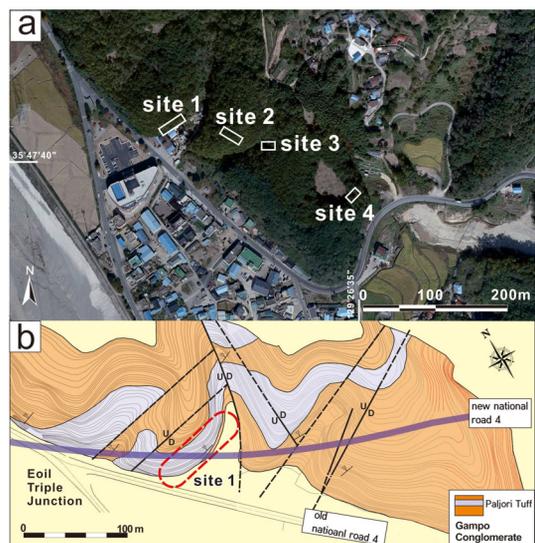
## 1. 서 언

포항 지역 이남에 발달된 육성기원의 신생대 마이오세 분지에 퇴적된 지층들은 지역에 따른 암상 변화 및 지질구조의 복잡성에 따라, 각 분지에서의 층서확립 및 각 지역 간 층서대비에 논란이 내재되어 있는 상태이나, 최근에 이루어진 이들 각 분지 내의 암석 및 지질구조에 대한 체계적 연구를 바탕으로 이들 육성분지들의 지구조적 특성과 형성과정보다 구체적으로 제시되었다(Yoon, 2010; Kim *et al.*, 2011; Jung *et al.*, 2012; Son *et al.*, 2013; Sung *et al.*, 2013; Yoon *et al.*, 2014). 이들 마이오세 육성퇴적층에서는 잎과 나무의 식물화석들이 많이 산출되며, 이들 식물화석들에 대한 고식물상, 보존특성, 화석화과정 등에 대한 연구 자료는 동해 확장 시기인 마이오세 동안의 보다 입체적인 한반도 고환경 해석과 층서대비에 유용한 자료가 될 수 있다.

이들 식물화석 중 잎화석에 대해서는 Huzioka (1972)에 의해 식물상 연구가 이루어진 바 있으며, 최근에는 금광동층 산출 잎화석의 화석화과정과 곤충 손상 흔적에 대한 고환경적 연구가 이루어진 바 있다(Paik *et al.*, 2010, 2012). 잎화석에 대한 고식물학적 관심이 비교적 오래 전부터 기울여진 것과는 달리 석화목에 대한 고식물학적 연구는 비교적 근래에 이루어지기 시작했으며(Jeong *et al.*, 2003, 2004, 2009; Kim *et al.*, 2008; Lim *et al.*, 2010), 최근에는 Paik *et al.* (2011)에 의해 장기층군에 발달한 석화목층의 보존특성 및 화석화과정이 구체적으로 연구된 바 있다. 석화목의 산출 특성은 고생대와 고기후 등의 고환경 해석에 다각적으로 적용되고 있는 추세에 있어(Colombi and Parrish, 2008; Matysová *et al.*, 2010; Scott, 2010; Gulbranson and Ryberg, 2013; Elliot Jr. and Foster, 2014), 국내 마이오세 육성퇴적층에 드물지 않

게 산출하는 석화목들의 산출특성에 대한 퇴적지질학적 연구가 보다 발전적으로 이루어질 필요성이 있다.

이 연구에서는 경주시 양북면 와읍리 부근에 노출된 어일분지 퇴적층 중 장기층군 감포역암(그림 1) 내 팔조리응회암에 발달한 석화목층과 이에 수반된 퇴적층을 대상으로, 석화목층의 산상과 석화목의 보존특성에 대한 연구가 수행되었으며, 이로부터 연구지역의 고환경을 해석하였다. 연구 대상 석화목층은 이 지역에서의 도로확장공사 과정에서 새로이 노출된 절토면에 나타난 것으로, 부산지방국토관리청의 도움으로 이 절토면으로부터 석화목의 수습이 이루어졌다. 국내의 신생대층에서 산출되는 석화목의 고식물학적 자료들은 여러 층군으로부터 혼합적으로 획득된 표본들을 대상으로 구축된 것이기 때문에 시공간적으로 혼합된 고식물상의 자료였으나, 이 연



**Fig. 1.** Location (a) and geological map (modified after Chwae *et al.* (1988) and Son (1998)) (b) of study area.

구에서는 연구 지역 팔조리응회암 퇴적층의 절도면에서 확인된 석화목층을 대상으로 이루어진 것으로, 특정 시기의 연구 지역 고식물상과 이를 바탕으로 한 고환경을 이해하는 데에 직접적인 자료가 되며, 마이오세 동안의 한반도 고생태 및 고환경 이해에도 일조할 수 있는 자료가 될 수 있을 것이다.

## 2. 지질개관

동해가 활발히 확장되던 신생대 마이오세 동안 한반도 동해안을 따라 형성된 퇴적분지들은 북평분지(Kim, 1970)를 제외하고는 양산단층과 울산단층을 기준으로 동편 지역에만 분포한다(Son, 1998). 이 분지들은 북으로부터 영해분지, 포항분지, 장기분지, 와읍분지, 어일분지, 하서분지, 정자분지, 울산분지로 구분되며(Lee *et al.*, 1992; Son and Kim, 1994; Son, 1998; Son *et al.*, 2000a, 2000b, 2002), 연구자에 따라서는 와읍, 어일, 하서 그리고 정자분지를 합쳐 어일분지(Kim, 1970)로, 포항분지 이남의 모두를 묶어 양남분지(Yoon, 1988)라 부르기도 한다.

연구지역 일대에 분포된 어일분지는 분지 서쪽에 인접한 와읍분지(Son *et al.*, 2000b)와는 단층접촉을 하며 백악기 퇴적암, 팔레오세의 화강암과 산성질 화산암, 전기 마이오세 안산암과 산성질 응회암 등의 기반암으로 둘러 싸여 있다(Chwae *et al.*, 1988; Jin *et al.*, 1988, 1989; Kim *et al.*, 1995). 어일분지는 길이 12 km, 최대 폭 5 km로 북서 및 남동 경계부에는 북동 또는 동북동 방향의 주향을 갖는 정단층들이, 북동 및 남서 경계부에는 북서 방향의 주향을 갖는 우수향 주향-경사 이동단층들이 분포한다. 이와 함께 어일분지는 북북서 방향의 분지내부 단층에 의해 북동 방향의 축을 갖는 두 개의 반지구형 소분지(북동소분지와 남서소분지)로 구분되며(Son, 1998; Son *et al.*, 2000a), 연구지역은 어일분지의 북동소분지에 속한다.

어일분지를 채우고 있는 퇴적층은 하부로부터 장기층군에 포함되는 감포역암과 어일층, 그리고 연일층군에 포함되는 송전층으로 구성되며(Chwae *et al.*, 1988; Kim *et al.*, 2005), 특히 감포역암과 어일층에는 화산활동을 지시하는 산성의 응회암(팔조리응회암)과 현무암질 용암류(어일현무암)가 협재되어 있어 어일분지의 건층(key bed) 역할을 한다.

최하부 지층인 감포역암은 기반암을 부정합으로 피복하며 전반적으로 역암이 우세하나 1-5 m 두께의 사암, 실트암, 이암, 갈탄층 등을 협재하고, 상부층으로 갈수록 역암이 우세해지는 경향을 띤다. 역암의 역들은 분급이 불량한 편이며, 원마도는 아각형에서 원형 정도를 보인다. 역의 성분은 석영장석반암, 안산암, 석영안산암질 응회암, 안산암질 응회암, 화강암, 혼펠스 등의 기반암류로 구성된다. 감포역암의 퇴적환경은 Jeong *et al.* (2006)에 의해 삼각주-충적선상지-호수 및 망상하천의 시스템으로 해석되었다.

감포역암의 최상부에 나타나는 데사이트질 조성의 산성 응회암(이하 팔조리응회암)은 약 2-15 m의 두께를 가지며 북동-남서 방향으로 7 km 이상 연장되어 나타나고, 분지내부의 정단층에 의해 반복 노출되어 있다. 팔조리응회암은 어일분지의 건층으로, 낙하 응회암으로 추정되었으나(Son *et al.*, 2000a; Lee *et al.*, 2004) 최근의 퇴적학적 연구에 의해 화산쇄설물의 일차 및 이차 퇴적작용이 여러 차례 반복되어 만들어진 복합퇴적층으로 해석되었다(Jeong *et al.*, 2006; Kwon *et al.*, 2011). 팔조리응회암의 연대는 상-하위 지층의 연대 자료(Lee *et al.*, 1992; Kim *et al.*, 2005)를 토대로 18-24 Ma 사이로 제시되었다(Jeong *et al.*, 2006).

감포역암을 정합적으로 피복하는 어일층은 현무암질 화산활동에 의한 화산쇄설물로 주로 구성되며 상부로 갈수록 호성 퇴적환경을 지시하는 퇴적물(Lee, 1976)이 포함된다. 어일층의 상부와 하부에 협재된 현무암질 용암류에 대한 K-Ar 절대연령이 각각 19.2-18.7 Ma와 20.4-19.3 Ma로 알려져(Lee *et al.*, 1992; Song *et al.*, 1998) 어일층은 마이오세 초기의 지층으로 여겨진다. 어일분지 최상부 지층인 송전층은 화산쇄설물이 포함되지 않은 퇴적암으로 어일층을 부정합적으로 피복하며, 역암, 각력암, 사암 등의 3개 지층 단위로 구분된다(Son *et al.*, 2000a). 한편 연구지역 남쪽부 남서소분지에 분포하는 상부의 사암층에서 산출된 연체동물 화석의 연대는 중기 마이오세로 대비되었다(Yoon, 1976).

## 3. 석화목층

### 3.1 퇴적지질

석화목층이 발달한 지역은 감포역암(Chwae *et*

al., 1988)이 분포하는 지역으로, 석회목층은 갑포역 암 내 응회암층(Son *et al.* (2000a)의 팔조리응회암)에 발달되어 있다(그림 2a). 이 지역 일대의 지층에 대해서 Tateiwa (1924)와 Kim (1970)은 어일분지 장기층군의 어일층으로 분류하였으며, Yoon (1992)은 양남분지 장기층군의 전동층으로, Chang *et al.* (2007)

는 어일분지 장기층군의 노동리역암으로 분류하였다. 이와 함께 1:25,000 어일 지질도폭(Chwae *et al.*, 1988)에서는 어일분지 어일층군의 갑포역암 내에 발달한 응회암이 분포하는 것으로 나타나있다. Chwae *et al.* (1988)은 어일층군을 하부로부터 갑포역암, 어일 현무암 및 현무암질 응회암, 분통골 화산암류로 세

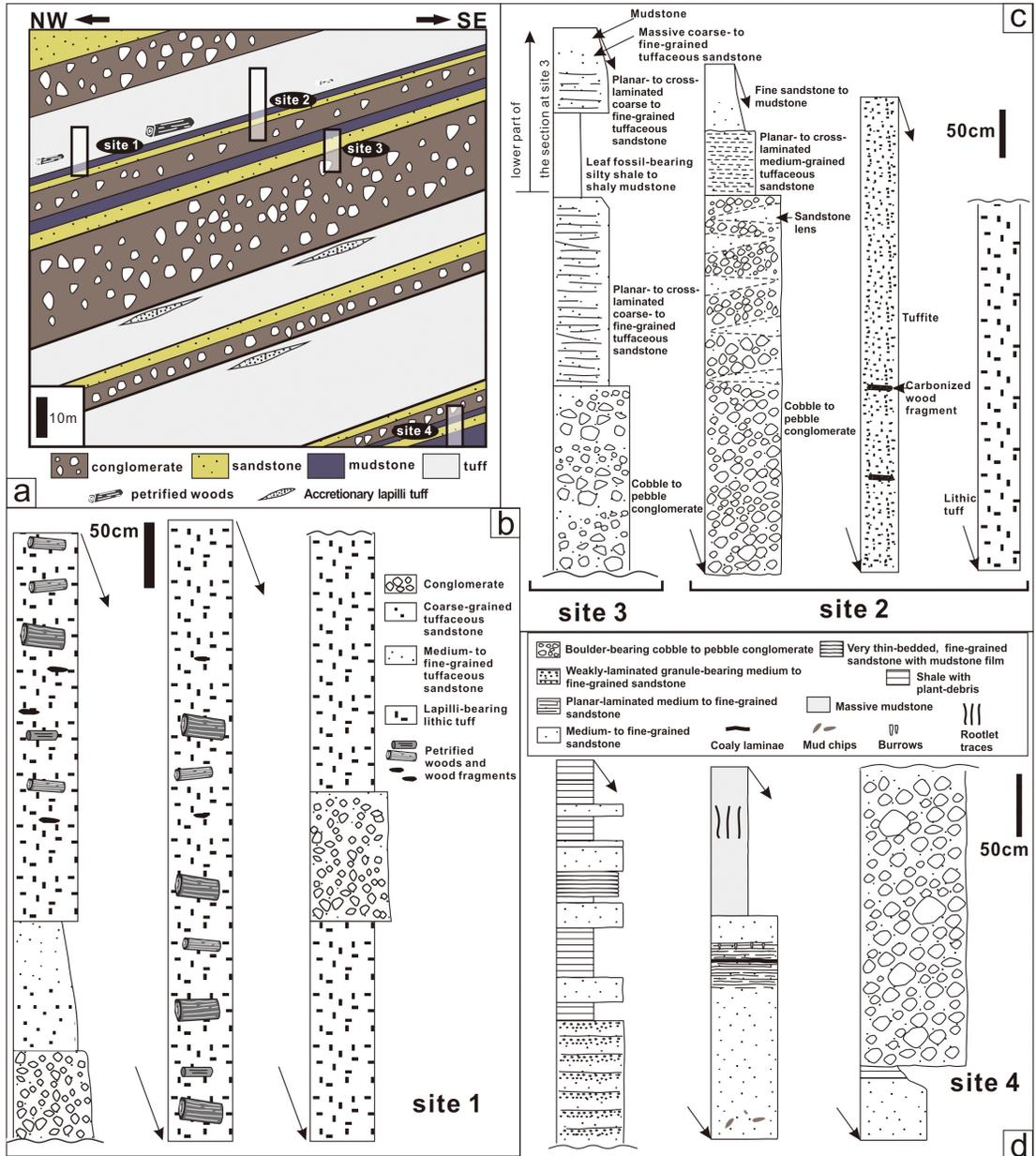


Fig. 2. Generalized stratigraphic sections of study area (a), and stratigraphic sections at sites 1 (b), 2 and 3 (c), and 4 (d).

분하였고, 그 중 어일층군의 기저를 이루는 감포역암의 상부에 대체로 10 m 내외의 층후를 보이며 연속성이 비교적 양호한 응회암층이 1-3회 내재하는 것으로 기재하였다.

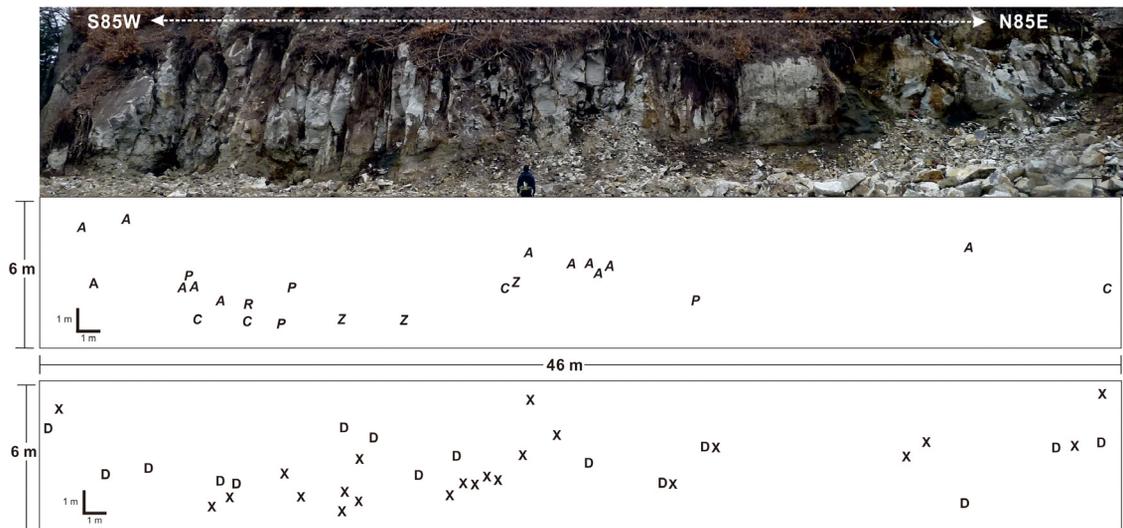
이 응회암은 화산재응회암 또는 암편질 라필리응회암이며, 지역에 따라 쇄설성 퇴적물양의 횡적인 증가가 일어나 응회질 사암 내지 응회질 역암으로 변하는 것으로 보고되어 있다(Chwae *et al.*, 1988). Son *et al.* (2000a)은 이 응회암을 어일분지 장기층군의 감포역암 내에 발달한 팔조리응회암으로 명명하였다. 연구 대상 석화목층 발달 지역 부근에 분포하는 퇴적층은 감포역암의 최상부 층군과 팔조리응회암으로, 전반적으로 역암, 사암, 이암, 응회암 등으로 이루어져 있다(그림 2a).

연구 지역에서의 석화목층을 함유한 응회암은 역암렌즈가 국부적으로 수반된 응회질사암층 위에 놓여 있으며, 응회암의 하부는 라필리를 함유한 암편질응회암으로 이루어져 있다. 이 응회암은 상부로 가면서 유리질 사립을 함유한 화산재응회암으로 변화하는 양상을 띤다. 이와 함께 응회암 내에는 1 m 내외 두께의 역암이 협재되어 있다(그림 2b). 이 응회암층 하위에 발달된 역암은 대체적으로 분급이 양호한 사질 기질에 입자지지의 역들이 무질서하게 퇴적된 양상을 띠며, 렌즈상 내지 켜기상으로 나타나고

사암이 층상 또는 렌즈상으로 협재되어 있다. 이 응회암층의 상위에는 다시 역암층이 두껍게 나타난다.

한편 석화목층 발달 노두(그림 1a의 1지점) 이외에 연구 지역 부근의 세 지점(그림 1a)에서 이 지역 감포역암 퇴적층의 특성이 추가적으로 파악되었으며, 이들 지점의 퇴적층 발달 특성은 다음과 같다. 2지점은 1지점 퇴적층의 연장부에 해당한다. 이 지점의 퇴적층 하부에는 식물잎편 화석들이 산출되는 이질암이 나타나며, 그 위에 응회질사암이 발달하고, 중부에는 사암렌즈를 협재한 왕자갈 내지 잔자갈역암이 우세하게 나타난다. 상부로 갈수록 응회질 퇴적물이 증가하면서 응회질암(tuffite) 및 암편질응회암으로 변화하며(그림 2c), 응회질암 내에서는 부분적으로 탄화된 석화목 파편(보존상태 불량)이 드물게 산출된다. 3지점은 2지점으로부터 동북동으로 약 50 m 이격되어 있는 지점으로 2지점 퇴적층의 하부 및 그 하위의 퇴적층이 나타나며(그림 2c), 이질암층에서는 2지점과 마찬가지로 식물잎편 화석들이 산출된다. 이 지점의 하부에는 석화목을 함유하지 않은 응회암층이 나타나며, 이 응회암층의 상부에는 부가상라필리응회암(accretionary lapilli tuff)이 렌즈상으로 산출된다.

최하부 층군 지점인 4지점의 퇴적층은 전반적으로 사암과 이질암의 교호층, 그리고 그 위에 놓이는



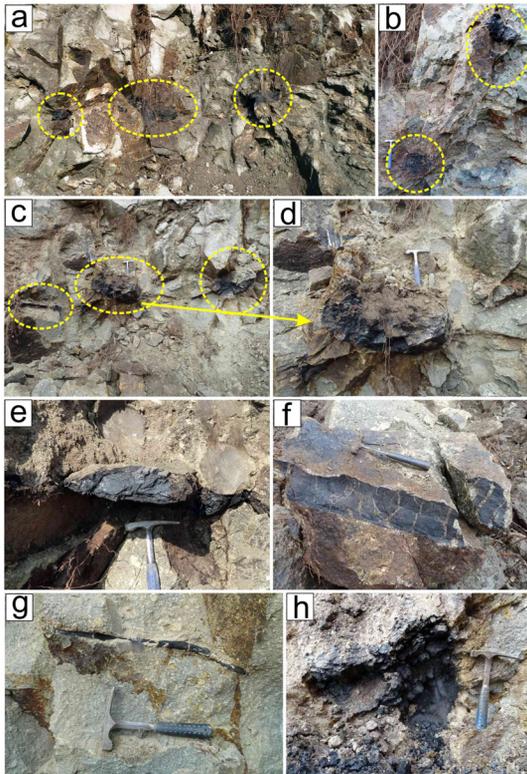
**Fig. 3.** Sectional outcrop view in study area and distribution map of the petrified woods in section, showing the dominance of *Acer*.

역암층으로 이루어져 있다(그림 2d). 하부에 나타나는 교호층은 대체로 판상의 층으로 나타나며, 이질암은 박층 또는 수십 cm 내지 1 m 내외의 두께로 나타난다. 사질층에서는 수직형의 서관구조가 부분적으로 관찰되며, 이질층에는 식물편 또는 식물뿌리흔적이 나타난다. 상부에 나타나는 역암층은 침식기저면을 가지며 발달하고, 대체로 층리와 분급이 불량하다. 한편 상부 역암층의 역들(3-10 cm 정도 크기)은 주로 백악기 내지 신생대 초기에 속하는 응회암과 셰일, 사암 등이며 화강암질과 석영질 역들이 일부 나타나고, 아원형 내지 아각형을 이룬다.

### 3.2 석화목 산상 및 보존 특성

#### 3.2.1 산상

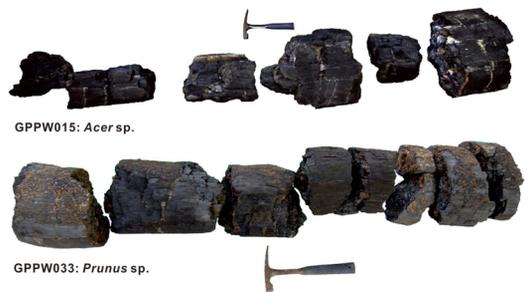
연구 지역의 절토면에서 총 61개의 석화목이 확인되었다(그림 3). 나무줄기의 형태가 어느 정도 유지되어 있는 석화목의 경우 전반적으로 가지가 붙어



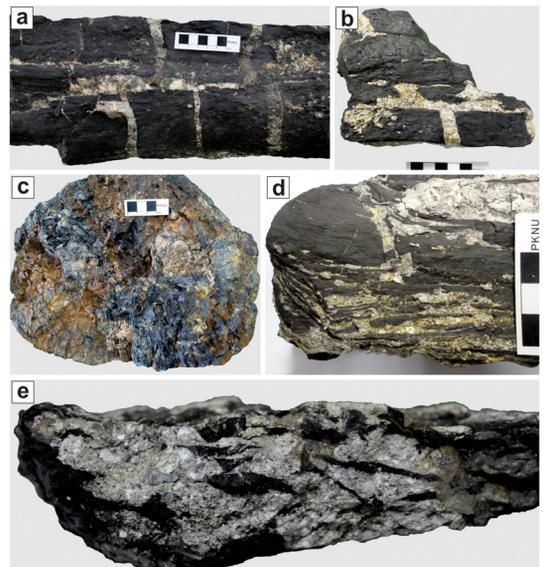
**Fig. 4.** Occurrences of the petrified woods (dotted circles) in lithic tuff at study area, showing subparallel distribution (a,b), elliptical shape due to compaction (c,d,e), transverse cracks (f,g), and carbonization (h).

있지 않은 상태로 산출하며, 다짐작용의 영향으로 형태가 약간 타원상을 띠고, 일부 석화목은 부분적으로 쪼개진 상태로 산출된다(그림 4, 5). 이와 함께 이들 석화목에서는 나이테의 변형 또는 균열 등의 기록이 나타나며, 석화목들의 내부에는 균열이 흔히 발달되어 있다(그림 6, 균열 특성에 대해서는 후술). 이 중 나무의 조직이 어느 정도 보존되어 있는 총 44개의 석화목 표본에 대해 고식물학적 동정이 이루어졌다.

석화목은 전술한 응회암 하위의 역질사암층 바로 위에 놓인 10 m 내외 두께의 암편질응회암층의 하부 5 내지 6 m의 두께 구간에 집중되어 산출하며(그



**Fig. 5.** Petrified woods as stems from the study area. Orthogonal and radial cracks filled with lithic tuff are shown.



**Fig. 6.** Orthogonal (a,b), radial (c), tabular (d), and irregular (e) cracks filled with lithic tuff observed in the petrified woods of study area.

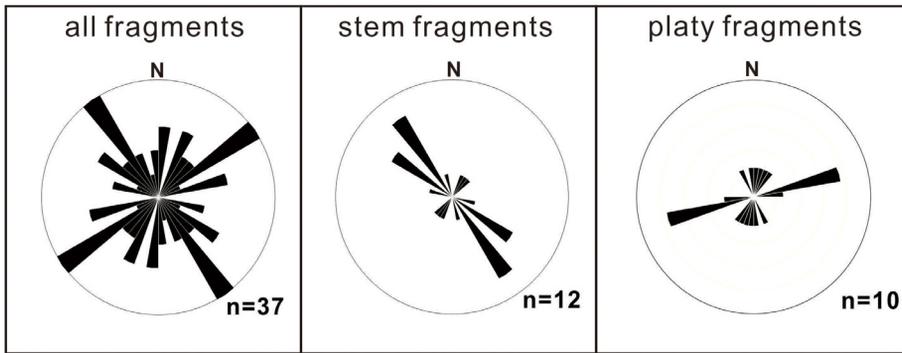


Fig. 7. Rose diagrams of the orientation of long axes of the examined petrified woods.

림 2b), 이 응회암 하위의 함력사암층 상부와 상위의 응회암층 기저부에서도 수 cm 내지 수십 cm 길이의 석화목편이 국부적으로 관찰된다. 이들 석화목은 대체적으로 상당부분이 탄화된 상태로 보존되어 있어, 전반적으로 검은색으로 나타난다(그림 4, 5). 이와 같은 탄화상태의 보존으로 인해 대부분의 석화목들에는 균열이 흔히 발달되어 있다(그림 6).

석화목이 집중되어 산출되는 응회암층 내의 석화목은 전반적으로 직경 수십 cm, 길이 수십 cm에서 최대 4 m 이상의 통나무편(그림 5)과 직경 수 cm의 가지편 등으로 산출하며, 대체적으로 석화목 산출 구간 중 하부보다는 중부에서 산출하는 석화목들이 크기가 평균적으로 큰 경향을 보인다. 이와 같은 산출 특성은 연구 대상 석화목층이 Paik *et al.* (2011)에 의해 장기층군 신정리층에서 구분된 석화목층 유형 중 A1 유형(수 m 이상의 두께를 가지는 응회암 내에 통나무 상태의 석화목이 수 cm 이상의 두께를 가지는 판상의 석화목편을 부분적으로 수반하며 산출되고, 석화목은 전체 층 중 하부 층준에 산재되어 산출하며, 상부에 산출하는 석화목일수록 평균적으로 크기가 증가하는 양상을 보임)에 해당함을 지시한다. 한편 통나무편의 경우 대체로 원통상 또는 부분적인 압착에 의한 타원형의 형태로 보존되어 있다(그림 4, 5).

이들 석화목은 대체로 층리에 평행한 방향으로 산재되어 나타나는 반면, 하위의 함력사암층에서 관찰된 일부 석화목편은 층리에 거의 수직인 방향으로 산출한다. 장축의 발달이 뚜렷한 석화목들의 장축 방향에 대한 측정 결과, 전반적으로 모든 방향으로 산재하는 양상이 나타나나, 대체로 북서-남동과 북

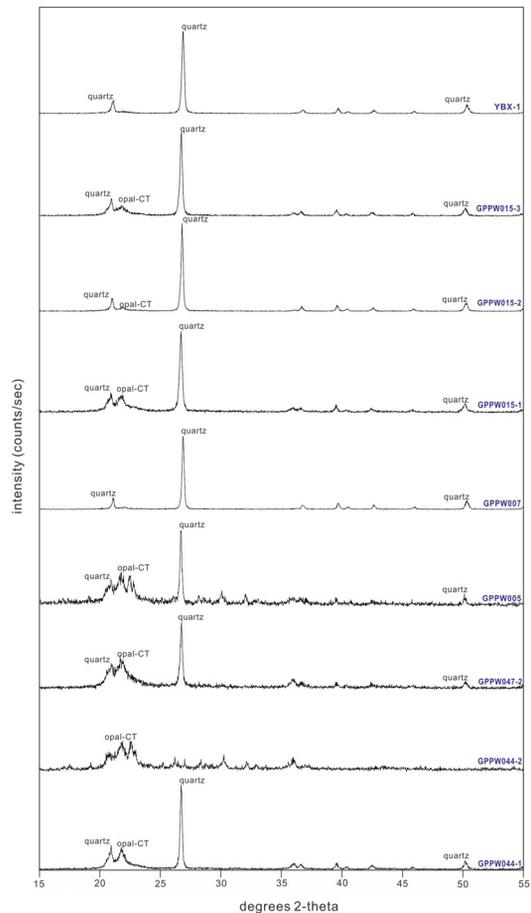


Fig. 8. X-ray diffraction patterns of the petrified wood samples from the Gampo Conglomerate in study area.

동-남서 방향이 우세한 경향을 보인다(그림 7). 이 중 통나무형 석화목과 크기가 상대적으로 큰 중상부 층준 석화목들의 장축 방향은 북서-남동의 방향이 우

세하게 나타난다. 이와 함께 나무줄기의 직경이 좁아지는 나무의 위쪽 부분이 북서 방향으로 놓여 있는 경향을 보이며, 이와 같은 북서로 향한 방향은 이 지역 퇴적층의 경사방향과 일치한다.

### 3.2.2 보존 특성

산출된 석화목의 석화특성을 파악하기 위한 엑스선 회절분석 결과, 규화광물은 대부분 석영과 opal-CT로 이루어진 것으로 나타났다(그림 8). 이와 같은 석화 특성은 장기분지 신정리층 석화목의 분석결과(Paik *et al.*, 2011)와 대체로 유사한 양상이다.

한편 석화목 내에는 석영 또는 퇴적물로 충전된 다양한 형태와 특성의 균열이 나타난다(그림 6). 대체로 균열의 폭은 1 mm 내외에서 수 cm, 길이는 1 cm 내외에서 20 cm 내외이며, 석화목의 장축에 평행, 수직, 방사상 등 다양한 방향성을 보인다. 이와

함께 다짐작용에 의한 균열의 부분적인 변형과 각력화작용이 나타나며, 규칙균열들의 경우 나무줄기의 규화정도가 높은 중앙(심재부)까지 발달하는 반면, 불규칙 균열들은 주로 탄화된 외곽(변재부)에 분포하는 특성을 보인다. 이러한 특징들은 신정리층의 석화목에서 나타나는 균열의 특성(Paik *et al.*, 2011)과 유사성을 가진다.

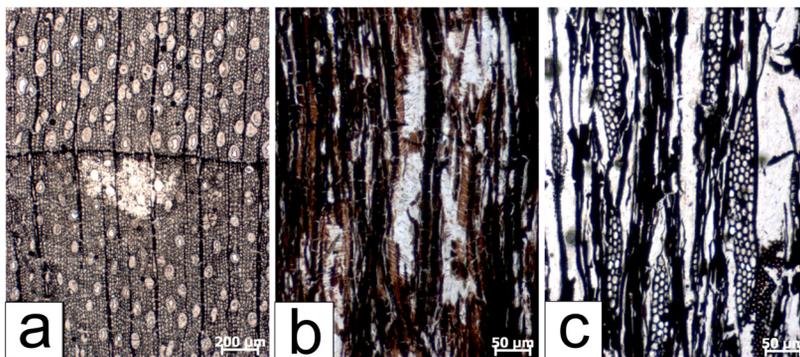
한편 교결물로 충전된 균열은 규칙 균열의 형태, 즉 종방향으로 발달한 세맥, 횡방향으로 발달한 세맥, 방사상으로 발달한 세맥의 형태로 나타난다. 이들은 흔히 렌즈상으로 발달하며, 1 mm 내외에서 크게는 2-3 mm의 폭을 가지며 나타난다. 이러한 균열들은 퇴적물 충전 균열이 드물게 발달하는 석화목에서 흔히 산출되는 경향을 보이나, 때때로 퇴적물 충전 균열과 함께 산출되기도 한다.

## 4. 석화목

보존 상태가 비교적 양호한 44개의 석화목들에 대해 삼단면 즉, 횡단면(cross section), 방사단면(radial section), 접선단면(tangential section)의 박편을 제작하여 해부학적 형질을 관찰한 결과, 자작나무과의 서어나무속(*Carpinus*), 느릅나무과의 느티나무속(*Zelkova*), 무환자나무과의 단풍나무속(*Acer*), 장미과의 뽕나무속(*Prunus*), 아욱과의 레베시아속(*Reevesia*) 등 총 5과 5속의 석화목이 확인되었다(확인된 모든 개체가 피자식물이며 나자식물은 포함되어 있지 않음)(표 1). 이들 중 단풍나무속(그림 9)이 우점종으로 나타났으며(이들 석화목들에 대한 상

**Table 1.** Floral assemblage of the Gampo Conglomerate in study area.

Families	Genera	No.	%
Betulaceae	<i>Carpinus</i> sp.	5	20
Ulmaceae	<i>Zelkova</i> sp.	3	12
Sapindaceae	<i>Acer</i> sp.	12	48
Rosaceae	<i>Prunus</i> sp.	4	16
Malvaceae	<i>Reevesia</i> sp.	1	4
Dicotyledonous woods	diffuse-porous (unidentified)	(19)	-
5 families	5 genera	25 (44)	100



**Fig. 9.** Photomicrographs of *Acer* sp. (GPPW042). (a) Cross section showing distinct growth ring and almost solitary vessels. (b) Radial section showing helical thickening of vessels wall. (c) Tangential section showing 3-5 cells wide homocellular ray.

세한 고식물학적 기재에 대해서는 논문 투고 중), 이들 단풍나무 화석들은 석화목 산출층에서 대체로 중상부 층준에 집중되어 나타나는 경향을 보이는데(그림 2), 이는 산출된 단풍나무 화석들의 크기가 다른 나무들의 화석에 비해 대체로 큰 것이기인한다.

## 5. 고환경

### 5.1 퇴적 특성이 지시하는 고환경

어일분지는 동해 형성과정에 이루어진 인리형 분지로서, 이 분지에는 충적선상지, 망상하천을 포함한 하성환경, 호성환경 등의 육성환경이 주로 발달하였으며(Jeong *et al.*, 2006; Kwon *et al.*, 2011), 분지발달 후기에는 천해환경이 부분적으로 발달된 것으로 해석되었다(Yoon, 1982; Yun *et al.*, 1989). 연구지역의 퇴적층들은 망상하천 기원으로 해석되었으며(Kwon *et al.*, 2011), 전술한 연구지역 4개 지점의 퇴적층 발달특성(그림 2, 3), 즉 하부로부터 응회질사암층과 이암층의 판상교호 및 괴상의 역암층 발달 - 응회질사암층과 이질암층의 판상 교호/역암과 사암의 렌즈상 교호층/응회질암과 암편질응회암 발달 - 응회질 합력사암층(부가상라필리응회암층 협재)위에 응회질암, 암편질응회암, 라필리응회암, 역암 발달 등의 퇴적특성은 망상하천과 망상평원의 환경이 발달한 가운데에 화쇄류층의 퇴적과 이의 재동이 간헐적으로 일어나는 환경이었음을 뒷받침해 준다(Jeong *et al.*, 2006; Kwon *et al.*, 2011).

한편 연구지역 석화목층 및 수반된 퇴적층에서의 한대와 온대 및 난대성 종류 석화목들의 혼합 산출, 규모가 큰 견열이나 버티줄고도양을 비롯한 고도양 발달의 부재, 척추동물 화석의 부재 등의 특성은 장기층군 신정리층에 발달한 석화목층의 발달특성(Paik *et al.*, 2011)과 유사한 것으로, 다음과 같은 고환경 조건, 즉 이들 나무들이 생육하였던 기원 산지에 고도에 따라 난대중에서 한대중까지 나타날 수 있을 만큼의 고산지대 발달, 열악한 분지 내 식생, 비교적 빠른 퇴적 속도 등의 퇴적 조건(Paik *et al.*, 2011)을 지시한다.

전술한 석화목의 장축 방향 특성은 석화목들이 퇴적될 당시에 나무줄기 파편들이 남동에서 북서 방향으로 운반되어 왔음을 지시해 주는 것으로 화산분출의 중심부가 남동측에 위치하였음을 시사해 주며, 이와 같

은 방향 특성은 연구 지역 화쇄류층의 퇴적특성으로부터 해석된 결과(Jeong *et al.*, 2006)와 일치한다. 한편 통나무형 석화목은 북서-남동의 방향을, 판상의 석화목들은 북동-남서의 장축 방향을 보임은 이들 석화목들이 미끌림과 함께 굴림의 양상으로도 이동이 되었음을 시사해 준다. 즉 석화목 양끝의 직경이 다르거나 타나는 통나무형 석화목들의 경우에는 대체로 미끌림의 상태로 운반되었고, 석화목 양끝의 직경에 차이가 거의 없는 가지상 또는 파편상의 석화목들은 주로 굴림의 상태로 운반이 되었을 것으로 해석된다.

한편 연구지역 석화목들에서 제자리 기원의 서 있는 상태의 석화목이나 통나무화석의 집단 산출이 나타나지 않으며, 산출된 석화목편들의 길이가 대부분 수 m 이상을 넘지 않음은 이들 석화목층의 퇴적이 화산 분출 중심부로부터 비교적 먼 거리에 위치하였음을 지시해 준다. 이와 함께 산출된 석화목의 장축 방향들이 비교적 분산되어 있는 산상 또한 화산분출 중심부로부터 비교적 먼 거리에 위치하였음을 뒷받침해 준다. 그럼에도 불구하고 석화목 내에 퇴적물로 충전된 불규칙 또는 방사상의 균열이 형성되어 있음은 퇴적 당시 화산재가 가지고 있는 열이 잔존된 상태에서 퇴적이 이루어졌음을 시사한다(Scott, 2010).

### 5.2 고식물상이 지시하는 고환경

신생대 신제3기 마이오세의 전기에 해당하는 포항 장기분지의 하부함탄층과 그 상위인 상부함탄층에서 산출되는 석화목에 대한 연구가 수행되어(Jeong *et al.*, 2004, 2009; Lim *et al.*, 2010), 하부함탄층은 냉온대를 지시하는 아니아이형 식물상(Aniai-type Flora)으로, 상부함탄층은 아니아이형 식물상과 난온대를 지시하는 다이지마형 식물상(Daijima-type Flora)의 이행형 식물상(transition-type flora)으로 보고된 바 있다.

연구지역 산출 석화목의 경우, 전술한 바와 같이 무환자나무과(단풍나무과)가 절반 이상을 차지하며 자작나무과와 느릅나무과 등이 나타난다. 따라서 연구지역 석화목 식물상은 장기분지의 하부함탄층 식물상과 매우 유사한 조성을 보이며, 이는 전형적인 냉온대를 지시하는 아니아이형 식물상에 해당한다. 우점속으로 나타나는 단풍나무속 개체들의 직경은 다양하며(최대 60 cm 정도), 이는 단풍나무 종류가 소교목에서 교목에 이르기까지 매우 다양하였음을

시사한다. 한편 단풍나무를 비롯하여 모두 피자식물 로만 이루어진 연구지역 석화목의 고식물상 특성은 퇴적 당시 연구지역 부근의 산지에는 다수의 단풍나무 종류가 우점한 쌍자엽식물로만 구성된 수목상이 발달하였음을 지시해 준다.

**5.3 고환경 종합**

이들 연구지역 퇴적층의 퇴적특성과 고식물상의 특성을 종합적으로 고려할 때, 퇴적 당시인 마이오세 초기 당시 연구지역의 고환경은 다음과 같이 요약될 수 있다.

연구지역은 산기슭부의 완사면에서 저평지에 이르는 곳에 발달한 망상하천과 망상평원의 지형으로 이루어진 곳이었으며, 당시 주변 산지의 사면과 계곡부에는 무환자나무과(단풍나무과)를 비롯한 냉온대성의 자작나무과, 느릅나무과, 장미과 등의 나무들이 생육하였고, 일부 양지 바른 저지대에 아욱과의 난온대성 나무가 생육하였을 것이다. 연구지역의 퇴적 당시 기후는 전반적으로 냉온대성인 가운데에 비교적 습윤한 편이었을 것으로 해석된다. 비록 적

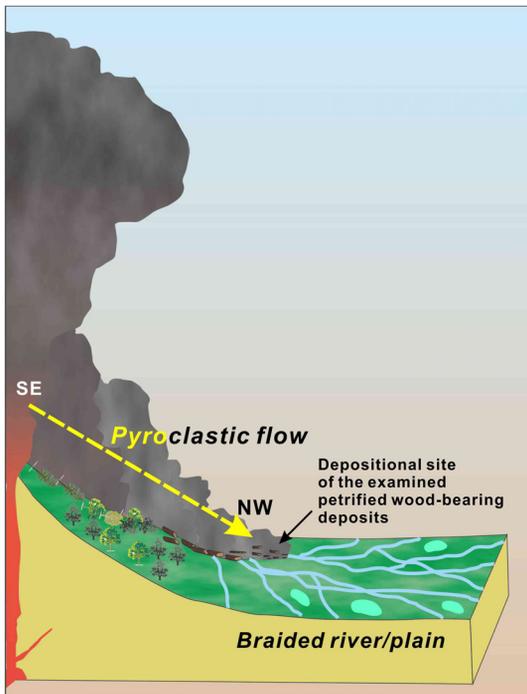
은 개체이지만 석화목에서 곤충에 의한 천공구조가 전혀 관찰되지 않음은 당시의 기후조건이 비교적 한랭하였음을 뒷받침해 준다.

한편 연구지역 지층의 지질시대(마이오세 초기)와 고식물상(냉온대성)이 연구지역보다 북측에 위치한 장기분지의 금광동층과 전반적으로 유사함에도 불구하고, 연구지역의 퇴적층에서 난온대성의 아욱과 레베시아속의 석화목이 산출됨은 연구지역이 냉온대성과 난온대성이 혼재하는 기후적 경계부에 위치했을 가능성을 시사해 준다(Jeong *et al.*, 2011).

이 지역에서 일어난 화산분출의 경우, 초기에는 화산재 분출에 의한 구름의 형성과 강우를 동반한 화산재 낙하에 의한 퇴적이 일어났으며, 이후 일시적으로 화산분출활동이 약화되었다가, 이후 화쇄류를 동반한 화산분출이 발생하여, 이 때 산지에 생육하거나 고사되어 있던 나무들이 저지대로 운반되어 매몰된 것으로 해석된다(그림 10).

**6. 결 론**

- 1) 경주시 양북면 와읍리 부근에 노출된 감포역암 내의 암편질 내지 화산재응회암층(팔조리응회암의 일부)의 퇴적단면(약 300 m<sup>2</sup>)에서 60여개의 석화목이 함유된 석화목층의 발달이 확인되었다.
- 2) 석화목은 이 응회암층의 하부 5 내지 6 m의 두께 구간에 집중되어 산출되었으며, 부분적으로 탄화된 가운데에 대부분 석영과 opal-CT의 광물로 규화되어 있다.
- 3) 석화목층을 비롯한 연구지역의 퇴적층 특성은 퇴적 당시 망상하천과 망상평원의 환경이 발달한 가운데에 화쇄류층의 퇴적과 이의 재동이 간헐적으로 일어나는 환경이었음을 지시해 준다.
- 4) 석화목의 장축 방향 특성은 퇴적 당시에 석화목들이 남동에서 북서 방향으로 운반되어 왔음을 지시해 주며, 화산분출의 중심부가 남동측에 위치하였음을 시사해 준다. 이와 함께 석화목들의 층상 및 산재 배열과 비교적 분산된 장축 방향 등은 석화목층의 퇴적이 화산분출 중심부로부터 비교적 먼 거리에서 이루어졌음을 시사해 준다.
- 5) 보존 상태가 비교적 양호한 44개의 석화목들에 대한 감정 결과, 자작나무과의 서어나무속(*Carpinus*),



**Fig. 10.** Schematic diagram showing the depositional setting of the petrified wood-bearing deposits in study area.

느릅나무과의 느티나무속(*Zelkova*), 무환자나무과의 단풍나무속(*Acer*), 장미과의 벚나무속(*Prunus*), 아욱과의 레베시아속(*Reevesia*) 등 총 5과 5속의 나무 종류가 확인되었으며, 이들 중 단풍나무속이 우점종으로 나타났다. 이 식물상은 냉온대성의 아니아아 식물상에 해당하며, 이는 감포역암이 전기 마이오세의 지층임을 지시하는 것이다.

- 6) 퇴적 당시 연구지역 부근의 높지 않은 산사면이나 계곡에는 나자식물이 부재한 가운데에 피자식물로만 이루어진 식생이 발달한 것으로 해석된다.
- 7) 연구지역의 석화목층은 강우를 동반한 초기 화산분출 이후, 일시적으로 화산분출활동이 약화되었다가, 이후 화쇄류를 동반한 화산분출 시, 산지에 생육하거나 고사되어 있던 나무들이 화쇄류에 의해 저지대로 운반되어 매몰되면서 쌓인 것으로 해석된다.

## 사 사

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2015년)에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드린다. 한국지질자원연구원 전희영 박사님과 익명의 심사위원님, 그리고 충북대학교 이동찬 교수님(편집위원)의 세심한 검토와 유익한 도움말이 이 논문의 내용과 논리의 개선에 큰 도움이 되었으며, 이에 감사를 드린다. 아울러 이 연구를 위해 현장과 실내에서 좋은 도움을 준 김정민 석사와 김성영 석사, 설원경 군에게도 고마움을 전한다.

## REFERENCES

- Chang, T.W., Jeong, J.H. and Chang, C.J., 2007, Tectonics of the Tertiary Eoil and Waep basins in the southeastern part of Korea. *The Journal of Engineering Geology*, 17, 27-40 (in Korean with English abstract).
- Chwae, U.C., Hwang, J.H., Yun, U. and Kim, D.H., 1988, Geological report of the Eoil sheet, 1:25,000. Korean Institute of Energy and Resources, 41 p (in Korean with English abstract).
- Colombi, C.E. and Parrish, J.T., 2008, Late Triassic Environmental Evolution in Southwestern Pangea: Plant Taphonomy of the Ischigualasto Formation. *Palaios*, 23, 778-795.
- Elliot Jr., W.S. and Foster, J.D., 2014, Petrified wood of southwestern Oregon: Implications for Cenozoic climate change. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 402, 1-11.
- Gulbranson, E.L. and Ryberg, P.E., 2013, Paleobotanical and geochemical approaches to studying fossil tree rings: Quantitative interpretations of paleoenvironment and ecophysiology. *Palaios*, 28, 139-140.
- Huzioka, K., 1972, The Tertiary floras of Korea. *Journal of Mining College, Akita University Series A*, 5, 1-83.
- Jeong, E.K., Kim, K., Kim, J.H. and Suzuki, M., 2003, Comparison of Korean and Japanese Tertiary fossil wood floras with special references to the genus *Wataria*. *Geosciences Journal*, 7, 157-161.
- Jeong, E.K., Kim, K., Kim, J.H. and Suzuki, M., 2004, Fossil woods from Janggi Group (Early Miocene) in Pohang Basin, Korea. *Journal of Plant Research*, 117, 183-189.
- Jeong, E.K., Kim, K., Paik, I.S. and Kim, H.J., 2011, Firstly reported *Reevesia* (Malvaceae) fossil wood from the Eoil Basin (Gampo area) in Gyeongju, Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 47, 199-204 (in Korean with English abstract).
- Jeong, E.K., Kim, K., Suzuki, M. and Kim, J.W., 2009, Fossil woods from the Lower Coal-bearing Formation of the Janggi Group (Early Miocene) in the Pohang Basin, Korea. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 153, 124-138.
- Jeong, J.O., Kwon, C.W. and Sohn, Y.K., 2006, The Paljori Tuff in the Miocene Eoil Basin, SE Korea: primary and secondary volcanoclastic sedimentation in a fluvio-lacustrine setting. *Journal of the Geological Society of Korea*, 42, 175-197 (in Korean with English abstract).
- Jin, M.S., Kim, S.J. and Shin, S.C., 1988, K/Ar and fission-track datings for volcanic rocks in the P'ohang-Kamp'o area. *KIER Research Report KR-87-27*, Korea Institute of Energy and Resources, 51-88 (in Korean with English abstract).
- Jin, M.S., Kim, S.J., Shin, S.C. and Lee, J.Y., 1989, K/Ar and fission-track datings for granites and volcanic rocks in the southeastern part of the Korean Peninsula. *KIER Research Report KR-88-6D*, Korea Institute of Energy and Resources, 53-84 (in Korean with English abstract).
- Jung, S., Kim, M.C., Cho, H., Son, M. and Sohn, Y.K., 2012, Basin fills and geological structures of the Miocene Yangpo subbasin in the Janggi-myeon, Pohang, SE Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 48, 49-68 (in Korean with English abstract).
- Kim, B.K., 1970, A study on the Neogene Tertiary deposits in Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 6, 77-96 (in Korean with English abstract).

- Kim, G.S., Kim, J.Y., Jung, K.K., Hwang, J.Y. and Lee, J.D., 1995, Rb-Sr Whole rock geochronology of the granitic rocks in the Kyeongju-Gampo area, Kyeongsangbugdo, Korea. *Journal of Korean Earth Science Society*, 16, 272-280 (in Korean with English abstract).
- Kim, J.S., Son, M., Kim, J.S. and Kim, J., 2005,  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  Ages of the Tertiary dike swarm and volcanic rocks, SE Korea. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 14, 93-107 (in Korean with English abstract).
- Kim, K., Jeong, E.K., Sun, B.Y. and Lee, J., 2008, New record of fossil woods from the Janggi Group in Pohang, Korea. *Journal of the Paleontological Society of Korea*, 24, 135-147 (in Korean with English abstract).
- Kim, M.C., Kim, J.S., Jung, S., Son, M. and Sohn, Y.K., 2011, Bimodal volcanism and classification of the Miocene basin fill in the northern area of the Janggi-myeon, pohang, southeast Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 47, 585-612 (in Korean with English abstract).
- Kwon, C.W., Jeong, J.O., and Sohn, Y.K., 2011, Sedimentary records of rift to pull-apart tectonics in the Miocene Eoil basin, SE Korea. *Sedimentary Geology*, 236, 256-271.
- Lee, H.K., Moon, H.S., Min, K.D., Kim, I.S., Yun, H. and Tetsumaru, I., 1992, Paleomagnetism, stratigraphy and geologic structure of the Tertiary Pohang and Changgi basins; K-Ar Ages for the volcanic rocks. *Journal of the Korean Institute Mining Geology*, 25, 337-349 (in Korean with English abstract).
- Lee, J.H., Yun, S.H. and Koh, J.S., 2004, Petrography of the Miocene volcanic rocks of the Eoil Basin, southeastern part of Korean peninsula. *Journal of the Petrological Society of Korea*, 13, 64-80 (in Korean with English abstract).
- Lee, Y.G., 1976, Fossil diatoms in the upper part of the Eoil Formation, Eoil area, Gyeongsangbuk-do, Korea. *Journal of the Korean Institute of Mining Geology*, 9, 77-84.
- Lim, J.D., Jeong, E.K., Kim, K., Suzuki, M., Paik, I.S. and Kim, H.M., 2010, Miocene woods of the Janggi Basin in Korea: Implications for paleofloral changes. *Geosciences Journal*, 14, 11-22.
- Matysová, P., Rössler, R., Götz, J., Leichmann, J., Forbes, G., Tayler, E.L., Sakala, J., and Grygar, T., 2010, Alluvial and volcanic pathways to silicified plant stems (Upper Carboniferous-Triassic) and their taphonomic and palaeoenvironmental meaning. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 292, 127-143.
- Paik, I.S., Kang, H.C., Kim, H.J., Lee, H.I., Kim, K. and Jeong, E.K., 2010, The Geumgwangdong Formation of the Janggi Group, Pohang area: Stratigraphy, occurrences, and fossil leaf deposits. *Journal of the Geological Society of Korea*, 46, 535-552 (in Korean with English abstract).
- Paik, I.S., Lee, H.I., Kang, H.C., Kim, K., Jeong, E.K., Kim, J. and Kim, H.J., 2011, Fossil woods from the early Miocene Sinjeongri Formation, Ocheon, Pohang City: Occurrence, preservation, and taphonomy. *Journal of the Geological Society of Korea*, 47, 613-633 (in Korean with English abstract).
- Paik, I.S., Kim, H.J., Kim, K., Jeong, E.K., Kang, H.C., Lee, H.I. and Uemura, K., 2012, Leaf beds in the Early Miocene lacustrine deposits of the Geumgwangdong Formation, Korea: Occurrence, plant-insect interaction records, taphonomy and palaeoenvironmental implications. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 170, 1-14.
- Scott, A.C., 2010, Charcoal recognition, taphonomy and uses in palaeoenvironmental analysis. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 291, 11-39.
- Son, M., 1998, Formation and evolution of the Tertiary Miocene Basins in Southeastern Korea: structural and paleomagnetic approaches. Ph.D. thesis, Pusan National University, 233 p (in Korean with English abstract).
- Son, M., Chong, H.Y. and Kim, I.S., 2002, Geology and geological structures in the vicinities of the southern part of the Yonil tectonic line, SE Korea. *Journal of the Geological Society of Korea*, 38, 175-197 (in Korean with English abstract).
- Son, M. and Kim, I.S., 1994, Geological structures and evolution of the Tertiary Chongja Basin, southeastern margin of the Korean Peninsula. *Economic and Environmental Geology*, 27, 65-80 (in Korean with English abstract).
- Son, M., Kim, I.S., Lee, D., Lee, J.D., Kim, J.S. and Paik, I.S., 2000b, Geological characteristics in the eastern part of the Ulsan Fault area, Korea: Structural geology and anisotropy of magnetic susceptibility (AMS) in the Tertiary Miocene Waup Basin, *Journal of the Geological Society of Korea*, 36, 195-216 (in Korean with English abstract).
- Son, M., Seo, H.-J. and Kim, I.-S., 2000a, Geological Structures and Evolution of the Miocene Eoil Basin, Southeastern Korea. *Geosciences Journal*, 4, 73-88.
- Son, M., Song, C.W., Kim, M.C., Cheon, Y., Jung, S., Cho, H., Kim, H.G., Kim, J.S. and Sohn, Y.K., 2013, Miocene crustal deformation, basin development, and tectonic implication in the southeastern Korean Peninsula. *Journal of the Geological Society of Korea*, 49, 93-118 (in Korean with English abstract).
- Song, S.H., Lee, H.K. and Yun, H.S., 1998, Petrogenesis of the Tertiary volcanic rocks from the southeastern part of Korea. *Journal of Mineralogy, Petrology and Economic Geology*, 93, 441-461.
- Sung, C., Cheon, Y., Son, M., Sohn, Y.K. and Kim, J.S., 2013, Formation and evolution of the Miocene Ipcheon

- Subbasin in Yangbuk-myeon, Gyeonju, SE Korea. Journal of the Petrological Society of Korea, 22, 19-34 (in Korean with English abstract).
- Tateiwa, I., 1924, 1:50,000 Geological Atlas of Chosen, No.2, Ennichi, Kuryuho and Choyo sheets. Geol. Surv. Chosen (in Japanese).
- Yoon, S., 1976, Geology and paleontology of the Tertiary Pohang Basin, Pohang District, Korea. Part II. Paleontology (Mollusca), No. 1, Systematic Description of Bivalvia. Journal of the Geological Society of Korea, 12, 1-22.
- Yoon, S., 1982, Tertiary stratigraphy of the Eoil Basin, Korea. Journal of the Geological Society of Korea, 18, 173-180 (in Korean with English abstract).
- Yoon, S., 1988, Tertiary stratigraphy of the Southern Korean Peninsula. Korea Science and Engineering Foundation research report, 25-63 (in Korean).
- Yoon, S., 1992, Geology of the Tertiary Yangnam and Pohang Basins, Korea. Bulletin of the Mizunami Fossil Museum, 19, 13-31.
- Yoon, S., 2010, Tectonic history of the Tertiary Yangnam and Pohang Basins, Korea. Journal of the Geological Society of Korea, 46, 95-110 (in Korean with English abstract).
- Yoon, S.W., Kim, M.C., Song, C.W. and Son, M., 2014, Basin-fill lithostratigraphy of the Early Miocene Haseo Basin in SE Korea. Journal of the Geological Society of Korea, 50, 193-214 (in Korean with English abstract).
- Yun, H., Paik, K.H. and Chang, S.K., 1989, Paleocology of the Eoil Basin based on the organic and calcareous microfossils. Journal of the Paleontological Society of Korea 5, 65-90 (in Korean with English abstract).

---

Received : December 9, 2015

Revised : January 10, 2016

Accepted : January 13, 2016