

# 포항 분지 장기층군의 하부 및 상부 함탄층(마이오세)의 화석목재에 나타난 고환경 요인

박노태<sup>1</sup> · 김종헌<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>서대전고등학교, 302-850, 대전시 서구 월평길 226

<sup>2</sup>공주대학교 지구과학교육과, 314-701, 충남 공주시 신관동 182

## Paleoenvironmental Factor on the Fossil Woods from the Lower and Upper Coal-bearing Formations of the Janggi Group (Miocene) of Korea

No-Tae Park<sup>1</sup> and Jong-Heon Kim<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup>Seodaejeon High School, Daejeon 302-850, Korea

<sup>2</sup>Department of Earth Science Education, Kongju National University, Chungnam 314-701, Korea

**Abstract:** A paleobotanical study of the fossil woods has been carried out from the Tertiary Janggi Group, Pohang Basin. Three species belonging to three genera of *Ulmus* sp., *Prunus* sp., and *Acer* sp. were identified from the Lower Coal-bearing Formation, and two species of two genera of *Taxodioxylon* sp. and *Fagus hondoensis* (Watari) from the Upper Coal-bearing Formation. As our specimens are mostly poorly preserved, it is difficult to give clear specific names, but mostly are all characteristic constitutional elements of the Miocene fossil woods in Korea. The values of mean sensitivity measured from the fossil woods of Lower and Upper Coal-bearing Formations are 0.367 and 0.370 respectively, but they are more than 0.30. Based on the present two data mentioned above, it stands to reason that there were many changes in the water supply to the roots of the woods or having influence to some degree each year because of the seasonal changes in rainfall.

**Keywords:** Pohang Basin, Janggi Group, fossil woods, mean sensitivity

**요약:** 포항 분지 제3기 장기층군에서 산출된 화석목재의 고식물학적 연구가 수행되었다. 하부 함탄층의 화석목재는 *Ulmus* sp., *Prunus* sp., and *Acer* sp.의 3속 3종으로, 상부 함탄층의 화석목재는 *Taxodioxylon* sp.와 *Fagus hondoensis* (Watari)의 2속 2종으로 각각 동정되었다. 연구에 사용한 표본은 조직의 보존성이 좋지 않아서 종의 동정까지는 어렵지만, 이들은 모두 한국 마이오세 화석목재의 특징적인 구성 요소들이다. 하부 및 상부 함탄층에서 채집한 화석목재의 나이테를 분석하여 얻어진 평균민감도 값은 0.367과 0.370로 비슷하지만, 이들은 0.30보다는 약간 높다. 현재의 두 그룹의 자료만으로 판단하면, 뿌리에 대한 물의 공급은 계절적인 강수량의 변화에 의해 매년 어느 정도 제한을 받았거나 물 공급에 있어 다양한 변화가 있었던 것으로 추정된다.

**주제어:** 장기층군, 포항분지, 화석목재, 평균민감도

## 서론

포항 분지에 분포하는 제3기 마이오세의 퇴적암은 하부의 장기층군과 상부의 연일층군으로 구분된다. 전자는 육성기원의 퇴적층이고 후자는 해성기원의 퇴적층으로 알려져 있다(윤선, 1998). 장기층군과 연일

층군에서 화석목재를 비롯한 식물화석이 많이 산출되고 있지만, 이들에 대한 국내 연구자들의 연구는 극히 미미하다. 포항 지역에서 산출되는 화석잎에 대한 연구는 Huzioka(1972)의 총괄적인 연구 이후, Lee (1975), 전희영(1982), Kim(2005, 2008), 김종헌과 최성일(2008), 김종헌 외(2009)에 의해 단편적으로 연구가 수행되었다. 그리고 화석목재에 대한 연구는 최근에 이르러 국내 연구자들에 의해 활발한 연구가 수행되었다(Jeong, 2009; Jeong et al., 2003, 2004,

\*Corresponding author: jongheon@kongju.ac.kr

Tel: 81-41-850-8298

Fax: 81-41-850-8299

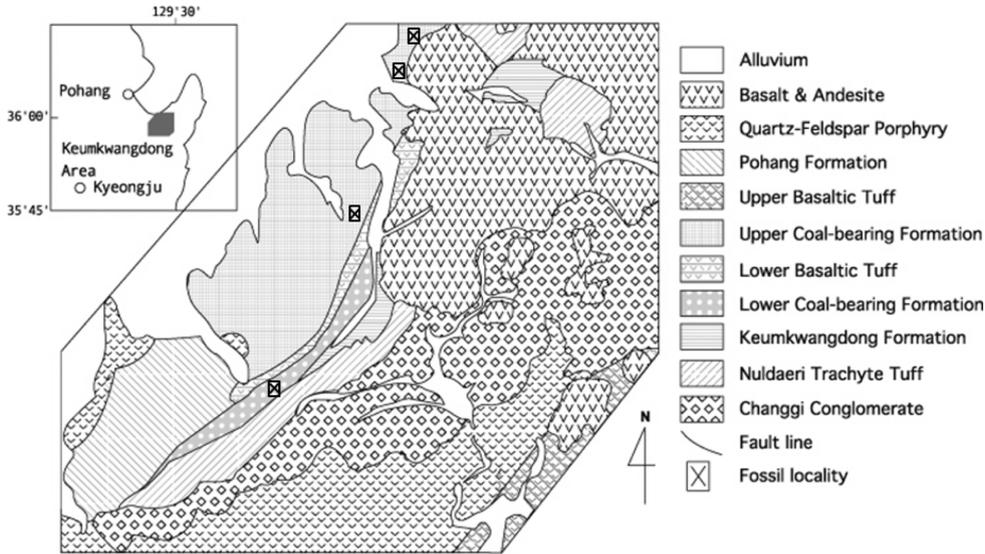


Fig. 1. Geological map of study area (Kim et al., 1975) and fossil locality.

2009; 김경식 외, 2008; 김종현, 2008; Lim et al., 2010; 박노태, 2010).

포항 지역에서 많이 산출되는 화석식과 화석목재에 대한 연구는 한반도 마이오세의 고식물상과 고환경에 대한 보다 상세한 정보를 제공해 줄 수 있다는 점에서 매우 중요하다. 특히 화석목재에 나타나는 나이테는 고기후와 밀접한 관계가 있다. 화석목재는 목재가 퇴적물 속에 묻혀있는 동안 받게 되는 화석화 과정에서 물속에 용해되어 있던 여러 종류의 무기물들이 목재의 세포를 치환하거나 세포의 내강 또는 간극에 침전되어 고화된 것이다(e.g. 김종현, 2008). 이 과정에서 목재의 해부학적 구조가 잘 보존되는 경우가 많고 이를 통해 목재의 수종을 비교적 정확히 동정할 수 있을 뿐만 아니라 과거 환경에 대한 정보를 얻을 수 있다. 온대 지역에서 자라는 나무는 일반적으로 유관속 형성층의 활동에 의해 매년 새로운 조직이 형성되며, 이 조직은 나이테로 보존되면서 성장하는 연도의 기후변화를 반영하게 된다. 그러나, Chaloner and Creber(1973)가 이미 언급한 바와 같이, 열대 지역, 특히 열대우림 지역에서 자라는 나무에는 나이테가 분명치 않거나 인식할 수 있는 주기적 계절성이 전혀 나타나지 않는다(Richards, 1952). 그렇지만 나이테의 형성은 계절적 주기성에 관계없이 외부 환경 요인에 의해서도 나타나는 경우가 있다(Creber, 1977). 나이테가 없는 화석목재는 Unger (1847)가 고생대 지층에서 처음 보고하였고, Antevs

(1953)는 후에 그것을 계절성이 없는 기후에서 성장한 것으로 해석하였다. 이후 나이테와 고기후와의 관계에 대해서 많은 연구가 수행되었다(e.g. Chaloner and Creber, 1973; Creber, 1977; Creber and Chaloner, 1984). 이러한 점에서 화석목재에 나타나는 나이테는 고기후 변화의 증거로서 매우 중요한 의미를 갖는다.

본 연구는 포항 분지에 분포하는 장기층군의 하부 및 상부 함탄층에서 채집한 화석목재의 특징을 기재하고, 이들의 횡단면에 나타나는 나이테 분석을 통해 나무가 성장하던 당시의 고환경 요인을 해석해 보고자 한다.

## 연구 지역의 지질

포항 퇴적 분지는 경북 영일군의 동부 지역에 위치하며 영일만을 중심으로 대략 북북동-남남서 방향으로 분포하고 남한에 분포하는 제3기 퇴적 분지 중에서 규모가 가장 크다. 경·위도상 동경 129°15'-129°30', 북위 36°00'-36°10'의 범위를 차지한다. 포항 분지의 지질은 백악기 경상누층군의 퇴적암류 및 화성암류와 이들을 부정합으로 피복하고 있는 이암, 사질이암, 셰일, 사암, 역질사암 및 역암으로 구성된 제3기 퇴적층으로 구성된다.

포항 분지의 제3기층은 Tateiwa(1924)에 의해 연일, 구룡포 및 감포 지역이 처음 조사된 이래, 많은 국내

의 학자들에 의해 연구가 수행되었다. 포항 분지의 마이오세 지층은 암상 구분의 어려움과 분지의 가장 자리에서 중심으로 가면서 생기는 퇴적상의 변화 때문에 학자마다 층서구분이 서로 다르다. 윤선(1998)은 양남 분지의 제 3기층을 하부로부터 범곡리층군, 장기층군 및 연일층군으로 구분하였으며, 범곡리층군을 최하위층군으로 놓은 것은 기존 연구자들의 층서구분과 다르다. Yun(1986)은 범곡리층군을 다시 하부로부터 와읍리응회암층, 안동리역암층, 장항층으로 구분하고, 장기층군은 청천리역암층, 오천층으로 구분하였다. 여기에서는 Kim et al.(1975)의 층서구분을 따라 장기층군, 범곡리층군, 연일층군으로 구분하였다. Kim et al.(1975)에 의하면, 장기층군은 하부 장기층군, 중부 장기층군, 상부 장기층군으로 구분되며, 이들은 서로 부정합 관계이다.

화석목재는 중부 장기층군에 해당하는 하부 함탄층과 상부 함탄층에서 채집되었다. 두 층은 금광동 지구와 장기 지구의 넓은 지역에 걸쳐 분포하며, 주로 사암, 셰일, 백색 응회암, 역암 및 수매의 갈탄층으로 구성되고 백색응회암층이나 갈탄층에서 화석목재가 산출된다. 연구 지역의 지질도는 Fig. 1과 같다.

## 연구 방법

2008년 3월부터 2009년 6월까지 5차례에 걸쳐 포항 분지 장기층군을 조사하고 15개의 화석목재를 채집하였다. 그중에서 보존 상태가 좋은 5개의 표본을 선정하여 목재해부학적 연구를 통하여 분류를 했다. 먼저, 화석목재를 횡단면(cross or transverse section), 방사단면(radial section), 접선단면(tangential section)으로 절단한 다음, 각 단면 방향의 박편을 제작하여 광학현미경으로 관찰하고 수종을 동정하였다. 횡단면은 목재의 축에 직각이 되도록 잘라낸 단면이며, 방사단면은 중심부의 수(pith)를 통과하여 방사방향으로 절단한 면이고, 접선단면(tangential section)은 연륜에 접선이 되도록 절단한 단면을 말한다. 방사단면과 접선단면은 수중에 따라 그 특징이 확연히 구분된다 (Greguss, 1972; Barefoot and Hankins, 1982). 한편, 쌍자엽식물의 2기 목부에서는 도관이 특이한 구조로 배열되어 있기 때문에 이를 이용하여 식물의 속이나 종의 동정에 사용된다(김우갑 외, 1993).

나무가 성장함에 따라 나타나는 나이테의 폭은 환경적 요인 등으로 인해 매년 성장하는 폭이 일정하지 않다. 이런 인접연륜간의 연륜변동성을 알아보기 위해 연륜연대학(Dendrochronology)에서 널리 사용되는 평균민감도 측정 방법을 사용하였다(Douglass, 1928; Schulman; 1956; Fritts, 1963; Fürst, 1963). 평균민감도는 연륜변동이 어느 정도 있는가를 알아보기 위해 고안된 것이며, 인접한 연륜들 사이의 폭의 크기를 측정하여 인접연륜간의 연륜변동성을 나타내는 것이다. 평균민감도 측정을 위한 식은 Douglass (1928)가 아래와 같은 식(1)을 처음으로 고안하였다. 그 후 Schulman(1956)과 Fürst(1963)가 새롭게 수정한 수식(ii)을 제안하였다. 여기에서는 Douglass가 제안한 수식(i)을 사용하여 평균민감도를 측정하였다.

$$\text{Mean sensitivity} = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^{t=n-1} \left| \frac{2(x_{t+1} - x_t)}{x_{t+1} + x_t} \right|, \text{ (i)}$$

$$\text{Mean sensitivity} = \frac{1}{n-1} \frac{\sum_{t=1}^{t=n-1} |x_{t+1} - x_t|}{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n x_t}, \text{ (ii)}$$

$x$ : growth ring width,  $t$ : year number of the ring,  $n$ : number of rings

## 연구 결과

### 화석목재의 분류

5개의 화석목재에 대한 연구 결과, 나자식물에 속하는 구과류의 1종과 피자식물에 속하는 쌍자엽식물의 4종이 식별되었으며 Table 1과 같이 5과 5속 5종(4개의 미지정종 포함)으로 동정되었다.

**Table 1.** List of fossil woods from the Lower and Upper Coal-bearing Formations

Family	Species	Formation
Taxodiaceae	<i>Taxodioxylon</i> sp.	Upper Coal bearing Formation
Fagaceae	<i>Fagus hondoensis</i> (Watari)	Upper Coal bearing Formation
Ulmaceae	<i>Ulmus</i> sp.	Lower Coal bearing Formation
Roaceae	<i>Prunus</i> sp.	Lower Coal bearing Formation
Aceraceae	<i>Acer</i> sp.	Lower Coal bearing Formation

### 평균민감도 측정

5개 표본의 횡단면에서 나이테의 폭과 수를 측정 한 결과는 Table 2와 같다. 이 자료를 Douglass의 수식 (i)을 이용하여 구한 평균민감도 값은 Table 3과 같다. 하부 및 상부 함탄층의 화석목재에서 구한 평균민감도 값은 두 그룹 모두 0.37로 나타났다.

**Table 2.** Width of growth rings of fossil woods in this study

Growth ring no.	Width of growth rings (mm)				
	JP-1	JP-2	JP-3	JP-4	JP-5
1	1.5	0.2	1.2	0.7	0.4
2	1.1	0.1	1.1	1.1	0.4
3	1.1	0.2	0.6	0.3	0.3
4	0.9	0.3	0.8	0.8	0.5
5	0.4	0.9	1.3	1.4	0.4
6	0.8	1.3	1.2	0.9	0.9
7	0.9	1.2	0.8	1.4	0.5
8	0.5	1.8	0.6	0.9	0.8
9	0.3	1.1	1.0	1.1	1.1
10	0.7	0.5	1.3	1.3	1.2
11	1.1	1.3	1.5	0.7	0.8
12	1.3	1.5	1.2	0.8	1.1
13	2.2	1.6	1.3	1.3	0.8
14	1.1	1.9	0.8	0.9	1.1
15	0.7	1.1	0.4	1.1	1.3
16	0.3	1.4	1.1	1.5	0.5
17	1.3	1.2	0.8	0.8	0.7
18	1.6	0.9	0.5	0.6	0.6
19	1.7	0.4	0.3	1.1	
20	0.9	1.2	0.9	1.4	
21	0.2	1.5	1.1	1.3	
22	1.4	1.6	1.4		
23	0.9	1.3	1.5		
24	1.4	0.9	1.2		
25	1.3	1.4			
26	1.5	1.3			
27	1.7	1.7			
28	0.9	1.5			
29	1.6	1.1			
30	1.0	1.3			
31	1.3	1.1			
32	1.8	0.9			
33	1.5	0.9			
34	1.5	0.9			
35	1.8	0.8			
36	1.4	0.9			
37	1.6	0.9			
38	1.5	0.7			
39	1.4				
40	1.1				
41	1.2				
42	1.2				

**Table 3.** Measurement of mean sensitivity of fossil woods in this study

Formation	Sample No.	Mean sensitivity
Upper Coal-bearing Formation	JP-1	0.39
	JP-2	0.35
	average	0.370
Lower Coal-bearing Formation	JP-3	0.35
	JP-4	0.41
	JP-5	0.34
	average	0.367

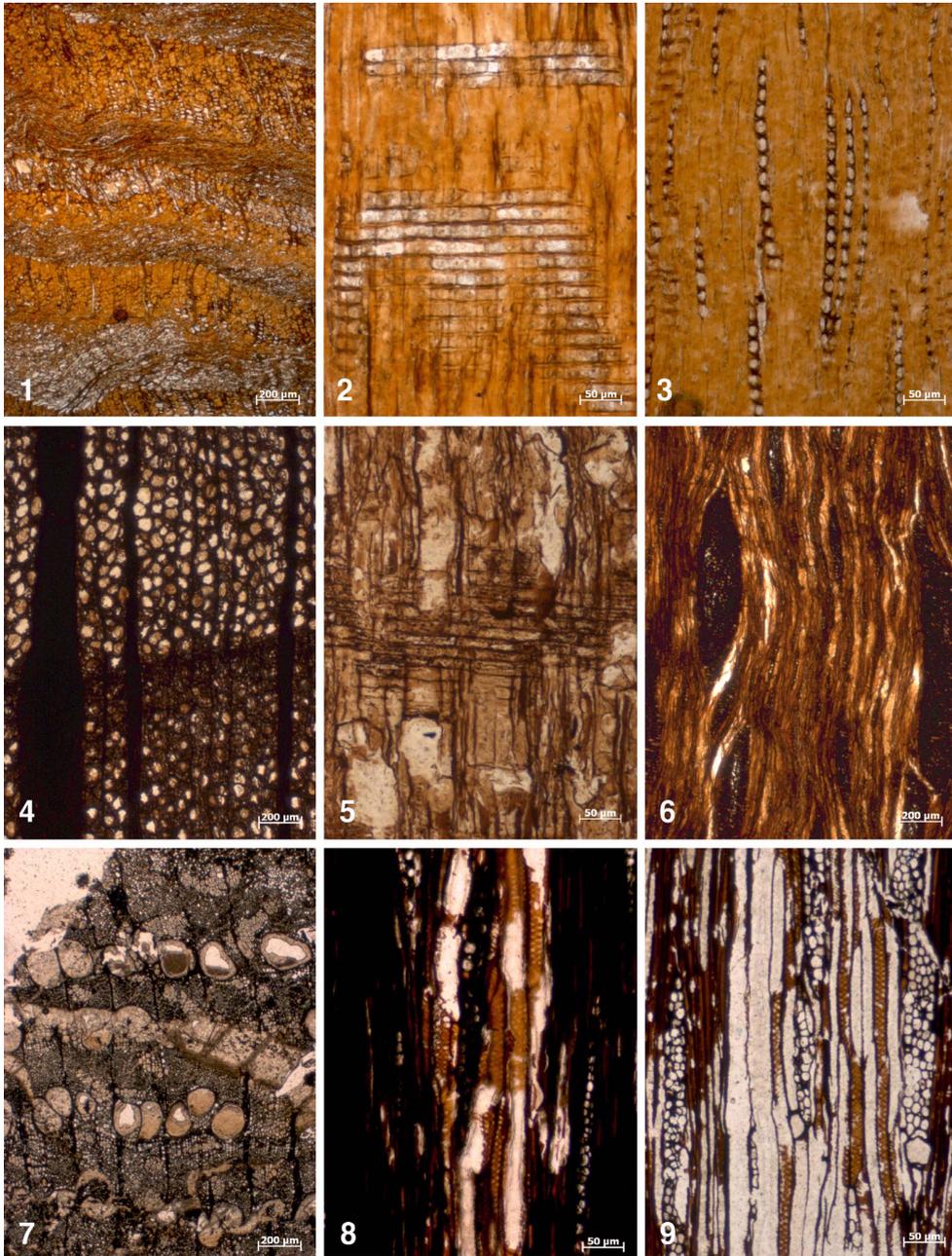
### 화석목재의 구성과 특징

*Taxodioxyton* sp.

Pl. 1, Figs. 1-3

특징: 이 화석목재는 나자식물의 낙우송과에 속하며, 가도관과 측방향유조직, 방사유조직으로 구성되어 있다. 횡단면에서 나이테가 뚜렷하게 나타나지만 보존상태가 양호하지 못하여 춘재의 특징은 확인할 수 없다. 정상수지도는 없으나 상처수지도를 가지고 있다. 방사조직은 단열이지만 드물게 부분적인 2열이 나타난다.

비고: *Taxodioxyton*속은 현생 구과류의 낙우송과 (Taxodiaceae)와 측백나무과(Cupressaceae)의 재목에 해부학적 특징이 유사한 화석목재에 대하여 설정된 형태속(form genus)이며, *Taxodioxyton*속 이외에도 구과류의 현생속들과 비슷한 화석목재의 형태속에는 *Sequoiodendron*, *Cupressinoxylon*, and *Metasequoioxylon* 등이 있다(Stewart and Rothwell, 1993). 현생의 낙우송과와 측백나무과의 목재는 해부학적 특징이 서로 비슷하다. 따라서, Seward(1919)는 현생의 낙우송과와 측백나무과의 특징을 보여주는 모든 화석목재에 대해 *Cupressinoxylon*의 형태속명을 사용하였고, *Taxodioxyton*속을 *Cupressinoxylon*속의 아속으로 취급하였다. 또한, Kräusel(1949)은 *Sequoioxylon*속을 *Taxodioxyton*속에 포함시켰으며, Basinger(1981)은 *Metasequoioxylon*을 *Taxodioxyton*속에 소속시켰다. 이러한 점에서 김경식 외(2004)가 이미 언급한 바와 같이, *Taxodioxyton*속에는 많은 분류군들이 설정되어 있어 혼란이 초래되기도 한다. 그러나, 김경식 외(2004)에 의하면, *Taxodioxyton*속은 주축유조직이 많이 나타나기 때문에 다른 속들과 쉽게 구분이 된다.



**Plate 1.** 1-3. *Taxodioxylon* sp. 1 (JP-1): 1: Transverse section showing distinct growth rings and traumatic resin canals. 2: Radial section showing tracheids, ray parenchyma and cross-field pits. 3: Tangential section showing uniseriate rays. 4-6. *Fagus hondoensis* (Watari) Watari (JP-2): 4: Transverse section showing diffuse-porous wood with numerous narrow vessels. 5: Radial section showing homocellular rays: 6: Tangential section showing uniseriate and wide compound rays. 7-9. *Ulmus* sp. (JP-3): 7: Transverse section showing ring-porous wood with wide vessels and latewood vessels in cluster. 8: Tangential section showing helical thickening in narrow vessels. 9: Tangential section showing 1-6 cells wide homocellular rays with crystal.

그리고 방사계가 단열이지만 부분적으로 양열일 경우도 많고, 기도관 방사벽 벽공은 원형의 유연벽공이

분리하여 일열로 배열하거나 양열로 배열하고 양열일 경우에는 대생배열을 하는 특징을 갖기 때문에

*Cupressinoxylon*속과 구별이 가능하다.

*Taxodioxyton*속은 주로 백악기와 제3기의 지층에서 많이 산출되고 있지만 (Taylor and Taylor, 1993), 가장 오래된 *Taxodioxyton-Cupressinoxylon*형의 화석목재는 후기 쥐라기에서 알려져 있다(Vaudois and Privé, 1971). 동아시아의 중생대 지층에는 적어도 7종이 알려져 있는데(Kim et al., 2002), 그중 *Taxodioxyton* cf. *nithongii* Nishida and Nishida와 *T. albertense* (Phenallow) Shimakura의 2종은 우리나라의 전남 해남군 우항리와 진도군에 분포하는 백악기 지층에서도 각각 산출이 알려져 있다(Kim et al., 2002). 그리고 우리나라의 신생대 제3기 마이오세의 장기층군에서도 3종이 알려져 있는데, *Taxodioxyton* sp.가 장기층군의 하부 함탄층에서, *T. cunninghamioides*와 *T. sequoianum*의 2종이 상부 함탄층에서 각각 알려져 있다(Lim et al., 2010).

*Fagus hondoensis* (Watari) Watari

Pl. 1, Figs. 4-6

특징: 이 화석목재는 쌍자엽식물의 너도밤나무과 너도밤나무속에 속한다. 횡단면에서 나이테와 산공재가 뚜렷하게 나타난다. 도관의 직경은 작고 수가 많으며 거의 독립적으로 밀집하여 분포하나 나이테 끝으로 갈수록 밀도가 낮아지는 경향이 있다. 방사단면에서 도관의 천공관은 단순천공관과 계단상천공관이 모두 나타나며, 주축 유조직은 산재한다. 절선단면에서 방사유조직은 동성방사조직으로, 단열, 다열, 복합방사계를 모두 가지고 있다.

비고: Watari(1941)는 일본 시마네현의 제3기층에서 산출된 화석목재를 *Fegonium hondoense* Watari로 기재했지만, 후에 *Fagus hondoensis* (Watari) Watari로 속명을 변경하였다(Watari, 1952). 이종은 장기층군의 하부 함탄층과 상부 함탄층에서도 산출되고 있다(Lim et al., 2010). 우리나라의 제 3기층에는 6종의 너도밤나무 잎화석이 알려져 있는데, 장기층군에서는 유일하게 *Fagus antipofi* Heer 1종만이 산출되고 있다(Huzioka, 1972). 화석목재와 잎화석은 직접적인 증거는 없지만 서로 유연관계가 있을 것으로 추정된다.

*Ulmus* sp.

Pl. 1, Figs. 7-9

특징: 본 화석목재는 쌍자엽식물의 느릅나무과 느릅나무속에 속한다. 횡단면에서 나이테가 뚜렷하게 나타나고 환공재가 나타나며 춘재의 대형도관은 1-2열로 배열한다. 도관의 직경은 매우 크고 대부분 독립적으로 분포한다. 추재의 소형도관은 집단을 이루고 있으며 도관의 내벽에 나선비후가 나타난다. 춘재와 추재의 도관 모두 단순천공관을 갖는다. 방사유조직은 동성 방사조직으로 폭은 1-6열이며 세포내에 결정을 가지고 있는 경우가 있다.

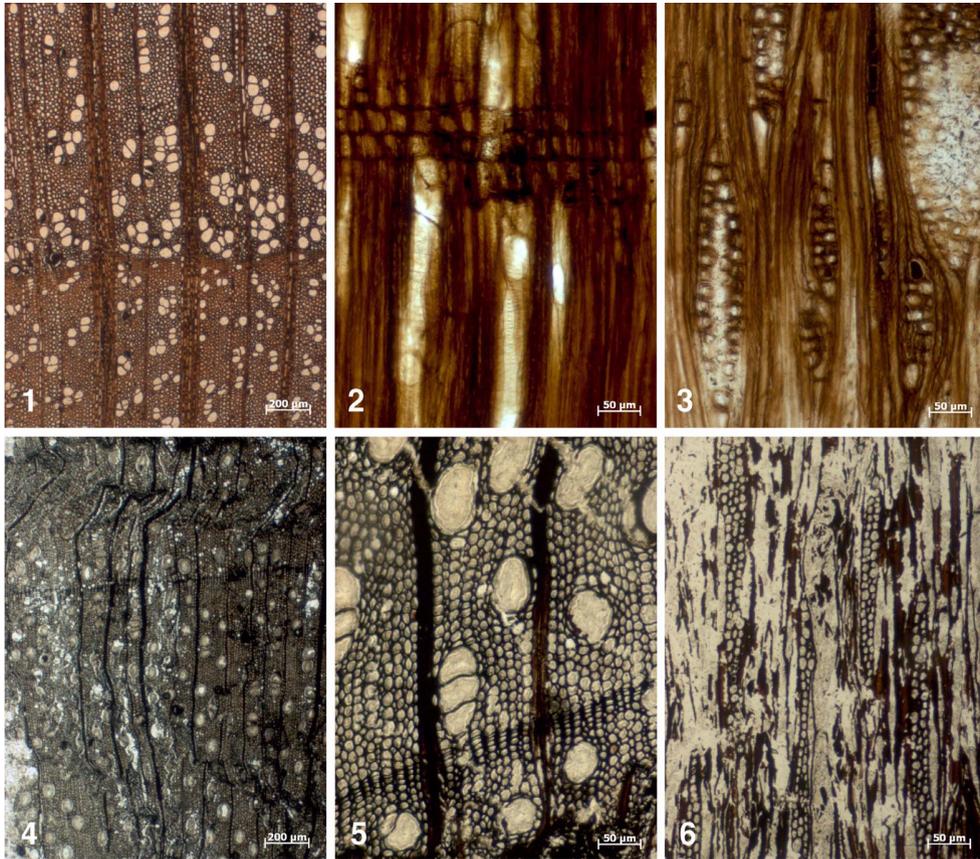
비고: *Ulmus*속은 장기층군의 하부 함탄층에서 *Ulmus crystallophora* Watari와 *U. sp.*의 2종의 화석목재가 알려져 있다(Jeong et al., 2009; Lim, et al., 2010). 전자는 일본의 야마가타현의 마이오세 지층에서도 공통종으로 산출되고 있다(Watari, 1952). 우리나라의 제3기층에서는 총 2종의 느릅나무 잎화석이 알려져 있는데, 그중에서 *Ulmus shiragika* Huzioka (Huzioka, 1972)가 장기층군에서 산출되고 있다.

*Prunus* sp.

Pl. 2, Figs. 1-3

특징: 본 화석목재는 쌍자엽식물의 장미과 벚나무속에 속한다. 횡단면에 나이테와 산공재가 뚜렷하게 나타난다. 도관의 직경은 작으며, 독립 또는 2-수개가 복합하여 분포하며 나이테 끝으로 갈수록 도관의 직경은 작아지고 밀도도 낮아지는 경향이 있다. 도관의 천공관은 단순천공관이며, 내벽에는 나선비후가 나타난다. 방사유조직은 이성방사조직으로 방사조직의 폭은 단열 또는 2-10열로 나타난다.

비고: 벚나무속의 화석목재는 우리나라의 제3기층에서 매우 귀하게 산출된다. 현재까지 *Prunus densiporousum* Jeong, Kim and Suzuki의 1종이 장기층군의 하부 함탄층에서 최근에 보고되었다(김경식 외, 2008; Jeong, 2009; Lim et al., 2010). 이번에 발견된 *Prunus* sp.는 장기층군에서 두 번째의 기록이다. 장기층군에서 벚나무속의 잎화석은 *Prunus endoana* Huzioka가 북



**Plate 2.** 1-3. *Prunus* sp. (JP-4): Transverse section showing diffuse-porous wood with numerous vessels and distinct growth rings. 2. Radial section showing simple perforation plate and helical thickening in vessels. 3. Tangential section showing multiseriate rays. 4-6. *Acer* sp. (JP-5): Transverse section showing diffuse-porous wood. 5: Transverse section showing solitary and triple vessels and distinct growth rings. 6. Tangential section showing 1-4 cells wide rays.

한의 함진동 식물군에서 기재된 바가 있지만(Huzioka, 1972), 잎화석은 현재까지 장기층군에서 기록되지 않았다.

*Acer* sp.

Pl. 2, Figs. 4-6

**특징:** 본 화석목재는 쌍자엽식물의 단풍나무과 단풍나무속에 속한다. 횡단면에서 산공재와 나이테가 뚜렷하게 나타난다. 도관의 직경은 작으며 대부분 독립 또는 2-4개가 복합하여 분포한다. 도관의 천공판은 단순천공판이며, 내벽에는 나선비후가 나타난다. 방사유조직은 동성방사조직으로 방사조직의 폭은 1-4 열로 나타난다.

**비고:** 단풍나무속의 화석목재는 장기층군에서 *Acer minokamoensis* Kim and Suzuki, *A. momijiyamense* Takahashi and Suzuki, *A. pohangensis* Jeong and Kim, and *A. sp.*의 5종이 알려져 있지만(Jeong, 2009; Jeong et al., 2009; Lim et al., 2010), 현재의 *Acer* sp.와의 비교는 자료가 불충분하여 곤란하다. 한편, 단풍나무속의 잎화석은 우리나라의 제3기층에서 18종 이상이 알려져 있으며, 극히 다종다양하다. 장기층군에서는 *Acer ezoanum*을 비롯하여 *A. fatsiaefolium*, *A. nordenskioldi*, *A. rotundatum*, 그리고 *A. subpictum*의 5종의 잎화석이 산출되고 있다(Huzioka, 1972).

**토 의**

화석목재의 고식물학적 의미: Lim et al.(2010)에 의

하면, 현재까지 장기층군의 하부 및 상부 함탄층에서 보고된 화석목재는 총 15과 20속 32종에 이른다. 이 중에서 나자식물의 구과류는 2과 3속 6종이며, 피자식물의 쌍자엽식물은 13과 17속 26종이다. 전체적으로 보면 구과류보다 쌍자엽식물이 압도적으로 많다. 이번에 확인된 화석목재는 하부 함탄층에서 3속 3종의 쌍자엽식물과, 상부 함탄층에서 1속 1종의 구과류 및 1속 1종의 쌍자엽식물로 구성된다. 이들은 모두 기존에 보고된 화석종들이며 새로이 산출된 것은 없다. 하부 및 상부 함탄층의 화석목재가 비록 5종에 불과하지만 쌍자엽식물의 수가 구과류보다 훨씬 많다는 점은 기존의 연구 결과와 비슷하다.

Huzioka(1972)는 우리나라의 장기식물군과 연일식물군을 연구하고 전자를 일본의 Aniai형 식물군에, 후자를 Daijima형 식물군에 각각 대비시켰다. Aniai형 식물군은 일본 Akita(秋田)현을 비롯한 북부 지역에 분포하며, 그 시대는 마이오세 초기(20-24 Ma)이고, 연평균기온이 10-15°C로서 광엽수 혼교의 낙엽광엽수림으로 구성된 특징을 갖는다(Huzioka, 1964; Tanai, 1991). Daijima형 식물군은 일본 북부의 여러 곳에 분포하며 난온대 내지 아열대의 기후를 나타내고, 그 시대는 중신세 초기말의 16-18 Ma로 알려져 있다(Tanai, 1991). 그러나, 최근에 하부 및 상부 함탄층의 화석목재에 대한 연구 결과는 장기식물군 전체가 Aniai형 식물군이라는 기존의 견해와 다르다. 즉, 하부 함탄층의 화석목재는 냉온대의 기후를 나타내고 일본의 Aniai형 식물군에 비슷하다는 것은 같지만(Jeong et al., 2009), 상부함탄층의 화석목재는 하부 함탄층의 그들과 조성 및 기후가 다르다(Lim et al., 2010). Lim et al.(2010)에 의하면, 하부 함탄층의 화석목재는 모두 낙엽성으로 구성되어 있으나, 상부 함탄층의 화석목재는 상록성의 수종을 포함하고 있고, 전체적으로 난온대 내지 아열대의 기후를 나타낸다. 상부 함탄층의 화석목재는 상록성의 수종을 포함한다는 점에서 연일식물군과 비슷하지만, 후자는 대부분이 산공재의 수종으로 되어 있다는 점에서 다르다. 이같은 관점에서 Lim et al.(2010)은 상부 함탄층의 화석목재가 하부 함탄층의 식물군에서 연일식물군으로 변해가는 중간형태의 전이형이라는 것을 처음으로 언급하였다. 따라서, Huzioka(1972)의 연구 이래, 장기식물군 전체가 일본의 Aniai형 식물군에 대비된다는 것이 일반적인 생각이었지만, 화석목재의 연구에 의해 하부 및 상부 함탄층의 사이를 경계로 해서

식물군의 조성 및 기후가 달라진다는 연구는 기존의 연구에서 진일보한 연구결과로 판단된다.

본 연구에서 얻어진 하부 함탄층의 화석목재는 느릅나무과의 *Ulmus* sp., 장미과의 *Prunus* sp., 단풍나무과의 *Acer* sp.가 포함되며 이들은 전형적인 온대형 식물에 속한다. 상부 함탄층에는 낙우송과의 *Taxodiodylon* sp.와 참나무과의 *Fagus hondoensis* (Watari) Watari가 산출되나 이들로서는 수량이 적어 큰 의미를 찾기 어렵지만, 이들은 모두 난온대 내지 아열대의 기후를 지시하는 종이다(Lim et al., 2010). 특히 너도밤나무속에 속하는 *Fagus hondoensis* (Watari) Watari는 일본의 제3기층에서도 산출하고 있다(Watari, 1952; Lim et al., 2010). 그러나, 현생의 너도밤나무속은 1속 10여종이 북반구의 온대 및 아열대 지역에 분포하는데, 우리나라에는 울릉도에 1종이 있을 뿐이다(고강식, 1997). 이것은 너도밤나무속이 마이오세 이후 우리나라에서 울릉도를 제외하고 모두 멸종된 것을 의미한다. 그 이외에도 금광동의 화석일과 *Wataria* 속을 비롯한 많은 화석목재의 속·종이 지리적 및 위도상으로 상당히 떨어져 있는 일본의 북부 서해안 지역에 분포하는 제3기 식물군과 유사성이 높고 공통종이 많이 나타난다(Huzioka, 1972; Jeong et al., 2003, 2009; 김경식 외, 2008; Lim et al., 2010). 이것은 제3기의 마이오세 동안에 포항 지역이 일본의 북부 지역과 고지리적으로 가까운 지역에 위치해 있었다는 것을 지지하는 증거의 하나로 볼 수 있다.

나이테 분석에 의한 고환경 요인: 형성층 세포의 분열성장 활동에는 일정한 주기가 존재한다. 온난대 지방에서 봄, 여름에 걸쳐서 활발하게 분열, 성장하여 형성된 목부 세포는 일반적으로 크고 세포벽이 얇은 춘재(earlywood)를 형성한다. 늦은 여름부터 가을에 걸쳐 형성되는 목부 세포는 춘재에 비해 작고, 세포벽도 두꺼운 추재(latewood)를 형성한다. 이런 불연속적 현상이 나이테를 만들어낸다. 나이테는 여름과 겨울이 나타나는 온대 기후에서 정확히 1년 주기로 나타난다. 그에 반해 적도 지방에서 나무의 성장은 중위도 지역에 비해 주기적이지 않고 나이테에는 범람이나 기타 외부 환경 요인에 의해 연관되어 나타나는 경우가 있다(Creber, 1977). 즉, 나이테가 생기는 데 반드시 자연적으로 1년이 필요한 것이 아니며 환경적 요인도 나이테 형성에 많은 영향을 미친다는 것이다. 일반적으로 침엽수림에서 춘재(earlywood)에

서 추재(latewood)로 되는 사이에 두꺼운 나이테가 생기며 온대 지방의 나이테는 계절별로 세포의 크기를 급격히 변화시키므로 잘 나타난다. 따라서, 나이테의 존재는 일반적으로 온대의 계절성이 있는 기후 하에서 만들어진 것을 의미한다(Chaloner and Creber, 1973; Creber and Chaloner, 1984).

나이테 연구의 이용은 간단히 나무의 나이를 밝히는 것에서부터 삼림과 과거 환경의 추정에 이르기까지 다양하게 적용된다. 그리고 연륜연대학(dendrochronology) 분야를 비롯하여 넓게는 고고학 분야에서도 이용될 뿐만 아니라 연륜기후학(dendroclimatology)에서도 널리 활용되고 있다(Creber, 1977). Creber(1977)에 의하면, 나이테를 측정하고 대비함으로써 같은 시대의 기상자료를 얻을 수 있고, 이를 바탕으로 고기후의 재건이 가능하다. 이러한 연구 분야를 추정연륜기후학(extrapolatory dendroclimatology)이라 한다. 그리고, 나이테 이외의 조직 등을 조사함으로써 나무가 성장할 때의 기후를 재건할 수 있는 데, 이것을 해석적 연륜기후학(interpretative dendroclimatology)이라 한다. 제4기 기후를 연구하는 연구자들은 규화목으로 지질학적 시간 규모를 이용해 해석하기도 한다. Creber(1977)는 나무가 성장하는 동안 여러 환경적 요인이 영향을 주지만 가장 큰 영향은 성장하는 동안의 물 공급과 온도 요인이며, 그 중에서도 물 공급이 가장 큰 영향 요인이라고 하였다. Henry(1931)는 비록 미국 아칸사스(Arkansas)의 연간강수량이 예년 강수량의 96%에 해당한다고 해도 매달의 강수량은 나이테 분석 결과 달랐음을 확인하였다. 그리고 Schulman(1951)은 땅위를 흐르는 빗물과 나이테와의 사이에도 깊은 상관관계가 있음을 확인하였다. 이들 연구에서 사용된 평균민감도 값은 연륜의 수와 인접한 연륜들 사이의 폭에 의해 측정된 것으로 인접연륜간 연륜변동성을 나타내는 것이다. 평균민감도 값이 크면 연륜폭 변동이 크다는 것을 의미하며 환경인자의 변화량이 컸다고 해석할 수 있다(Fritts, 1966). 특히, 나무 성장의 가장 큰 환경요인인 뿌리에 대한 물의 공급을 간접적으로 시사한다고 볼 수 있다.

Douglass(1928)는 연속되는 나이테에서 폭의 변화가 없거나 또는 약간 있는 경우를 “complacent”라 하고, 넓이 변화가 다양한 경우를 “sensitive”라는 용어를 사용하였다. Creber(1977)에 의하면, 대부분의 평균민감도 값은 0-0.6의 범위에 있는데, 평균민감도 값이 0.3 이하로 낮은 경우를 “complacent”, 0.3 이상

인 경우를 “sensitive”라고 정하였다. 평균민감도 값이 0.3 미만인 경우는 나무의 물 공급 환경이 매년 일정하거나 다양한 변화가 없음을 의미하며, 0.3 이상인 경우는 나무에 대한 물의 공급이 매년 제한되고 다양한 변화가 있는 상태를 의미한다. 또한 0.6인 경우는 물의 평균 공급량이 극도로 제한되거나 물의 보급 환경이 상당히 다양함을 지시한다. 산악지방의 나무들은 얇은 토양에서 자라 높은 평균민감도 값을 갖는다.

하부 함탄층의 3개의 표본에서 구한 평균민감도 값은 Table 3과 같이 0.34에서 0.41의 범위에 있고 전체 평균은 약 0.367이다. 그리고 상부 함탄층의 2개의 표본에서 구한 평균민감도 값은 0.35에서 0.39의 범위에 있고 전체 평균은 0.370이다. 두 층의 화석목재에서 구한 평균민감도 값은 거의 비슷하지만 모두 기준치인 0.30보다 약간 높다. 표본의 수가 적어 대표성을 갖기에는 부족하지만 현재의 자료로 판단하는 한, 하부 및 상부 함탄층이 퇴적 될 당시, 나무의 뿌리에 대한 물의 공급이 매년 자유롭지 못하고 다양한 변화가 있었음을 의미한다. 이것은 물의 공급이 현재와 같이 계절적으로 제한을 받았던 것으로 해석된다. 여기에서 문제는 두 층이 퇴적될 당시 냉온대 기후 그리고 난온대-아열대 기후의 차이가 있음에도 불구하고(Jeong et al., 2009), 두 층의 화석목재에서 구한 평균민감도 값이 서로 비슷하게 나온 이유가 자료의 부족에 기인한 것인지, 실제로 그러했던 것인지에 대한 확인이 필요하다.

## 결론

포항 분지 제3기 장기층군의 하부 및 상부 함탄층에서 산출된 5개의 화석목재에 대한 해부학적 특징과 나이테 분석을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 화석목재는 5과 5속 5종(4개의 미지정종 포함)으로 동정되었으며, 1개의 구과류와 4개의 쌍자엽식물로 구성된다.
2. 층별로는 하부 함탄층에서 3속 3종의 쌍자엽식물이, 상부 함탄층에서 1속 1종의 구과류 및 1속 1종의 쌍자엽식물이 식별되었다. 이들은 모두 기존에 보고된 화석종들이며 새로이 산출된 것은 없다.
3. 하부 및 상부 함탄층의 화석목재에서 구한 평균민감도 값은 각각 0.367과 0.370로 거의 비슷하지만 0.30보다는 약간 높다. 이것은 재목이 성장할 당시

뿌리에 대한 물의 공급이 매년 현재와 같이 어느 정도 계절적으로 제한을 받았음을 의미하는 것으로 해석된다.

## 참고문헌

- 고강식, 1997, 유관속식물분류학. 세문사, 서울, 648 p.
- 김경식, 정은경, 김종현, 2004, 목재화석. 이광춘, 이성주, 최덕근, 이종덕, 윤혜수, 이응남(편집), 한국 고생물. 한국고생물학회 창립 20주년 기념, 한국고생물학회, 399-429.
- 김경식, 정은경, 선병윤, 이재동, 2008, 포항 장기층군에서 산출된 미기록 화석목재. 고생물학회지, 24, 135-137.
- 김우갑, 박홍덕, 정병갑, 1993, 식물형태 · 해부학. 아카데미서적, 서울, 143-160.
- 김종현, 2008, 포항 분지의 제3기 장기층군에서 산출된 규화목의 산출상태와 구성광물. 한국지구과학학회지, 29, 531-538.
- 김종현, 이성복, 안지민, 이혜인, 홍헌술, 2009, 포항 분지의 마이오세 연일층군의 두호층에서 산출된 *Albizia*의 열매 화석. 한국지구과학학회지, 30, 10-18.
- 김종현, 최성일, 2008, 포항분지의 마이오세 장기층군의 금광동층에서 산출된 메타세콰이아(*Metasequoia*) 화석에 대한 고찰. 한국지구과학학회지, 29, 319-327.
- 박노태, 2010, 포항 분지 제3기 장기층군에서 산출된 규화목 연구를 통한 고환경 해석. 공주대학교 교육대학원 석사학위논문, 37 p.
- 윤 선, 1998, 신생대층. 이종혁, 원종관, 김정환, 이창진(편집), 한국의 지질, 대한지질학회, 서울, 274-321.
- 전희영, 1982, 포항지역에 분포하는 제3기층군의 고식물군 연구. 한국동력자원연구소. 조사연구보고, 제14호, 7 p.
- Antevs, E., 1953, Tree rings and seasons in past geological eras. Tree ring Bulletin, 1953, 17-19.
- Barefoot, A.C. and Hankins, F.W., 1982, Identification of modern and Tertiary woods. Oxford University Press, NY, USA, 189 p.
- Basinger, J.F., 1981, The vegetative body of *Metasequoia milleri* from the Middle Eocene of British Columbia. Canadian Journal of Botany, 59, 2379-2410.
- Chaloner, W.G. and Creber, G.T., 1973, Growth rings in fossil woods as evidence of past climate. In Tarling, D.H. and Runcorn, S.K. (eds.), Implications of continental drift to the earth sciences. Academic Press, London, England, 425-437.
- Creber, G.T., 1977, Tree rings: A natural data-storage system. Biological Reviews, 52, 349-383.
- Creber, G.T. and Chaloner, W.G., 1984, Influence of environmental factors on the wood structure of living and fossil trees. The Botanical Review, 50, 357-448.
- Douglass, A.E., 1928, Climatic cycles and tree growth. Carnegie Institution of Washington Publication 2, Washington, USA, 289 p.
- Fritts, H.C., 1963, Computer Programs for Tree-Ring Research. Tree Ring Bulletin, 25, 2-7.
- Fritts, H.C., 1966, Growth rings of trees: Their correlation with climate. Science, 154, 973-979.
- Fürst, O., 1963, Vergleichende Untersuchungen über räumliche und zeitliche Unterscheide interannueller Jahringbreitenschwankungen und ihre Auswertung. Flora, 153, 469-508.
- Greguss, P., 1972, Xylotomy of the living Conifers. Akademiai Kiado, Budapest, Hungary, 172 p.
- Henry, A.J., 1931, The calendar year as a time unit in drought statistics. Monthly Weather Review, 59, 150-154.
- Huzioka, K., 1964, The Aniai type flora of Akita Prefecture, and the Aniai-type floras in Honshu, Japan. Journal of Mining College Akita University, Series A, 3, 1-105.
- Huzioka, K., 1972, The Tertiary flora of Korea. Journal of Mining College Akita University, Series A, 5, 73-103.
- Jeong, E.K., 2009, The comparison of the Miocene fossil wood floras between Korea and Japan. Unpublished Ph. D. dissertation, Tohoku University, Sendai, Japan, 130 p.
- Jeong, E.K., Kim, K., Kim, J.H., and Suzuki, M., 2003, Comparison of Korean and Japanese Tertiary fossil 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., 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 Paleobotany and Palynology, 153, 124-128.
- Kim, B.K., Cheong, C.H., and Kim, S.J., 1975, Stratigraphic studies on the lignite-bearing strata distributed in the Yeongil district, North Gyeongsang-do, Korea. Journal of Geological Society of Korea, 11, 240-252.
- Kim, J.H., 2005, Fossil *Albizia* legume (Mimosaceae) from the Miocene Duho Formation of the Yeonil Group in the Pohang area, Korea. Journal of the Korean Earth Science Society, 26, 166-171.
- Kim, J.H., 2008, A new species of *Acer* samaras from the Miocene Yeonil Group in the Pohang Basin, Korea. Geosciences Journal, 12, 331-336.
- Kim, K., Jeong, E.K., Huh, M., and Paik, I.S., 2002, Some coniferous woods from the Cretaceous of Korea. Geosciences Journal, 6, 131-140.
- Kräusel, R., 1949, Die fossilen Koniferen-Hölzer. Palaeontographica B, 89, 83-203.
- Lee, W.J., 1975, Discovery of the Miocene *Kalopanax* leaf

- from the Geumgwangdong Formation, Southeastern Korea. University Journal, Busan National University, Natural Science Series, 20, 47-52.
- Lim, J.D., Jeong, E.K., Kim, K., 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.
- Richards, R.W., 1952, *The Tropical rain forest*. Cambridge University Press, Cambridge, England, 450 p.
- Schulman, E., 1951, Definitive dendrochronologies: A progress report. *Tree-Ring Bulletin*, 18, 10-18.
- Schulman, E., 1956, Dendroclimatic changes in semi-arid America. *Tree-Ring Bulletin*, 40, 59-63.
- Seward, A.C., 1919, *Fossil plants*. Vol. IV. Cambridge University Press, England, Reprint, NY, Macmillan (Hafner Press), 1969, 543 p.
- Stewart, W.L. and Rothwell, G.W., 1993, *Paleobotany and the evolution of plants*. 2nd ed., Cambridge University Press, England, 521 p.
- Tanai, T., 1990, Tertiary vegetational changes in East Asia. *Bulletin of National Science of Museum, Tokyo*, 7, 117-122. (in Japanese)
- Tanai, T., 1991, Tertiary climatic and vegetational changes in the northern Hemispheres. *Journal of Geography*, 100, 951-966. (in Japanese)
- Tateiwa, I., 1924, *Geological Atlas of Chosen*, no. 2, Eunnichi, Kyuryuho and Choyo sheets. Geological Survey of Chosen (Korea), 1-6, 3 maps.
- Taylor, T.N. and Taylor, E.L., 1993, *Biology and evolution of fossil plants 4*. Prentice Hall, NJ, USA, 982 p.
- Unger, D.F., 1847, *Über den Grund der Bildung der Jahrelagen dicotyler Holzpflanzen*. *Botanical Zeitschr*, 5, 265-272.
- Vaudois, N. and Privé, C., 1971, Révision des bois fossiles de Cupressaceae. *Palaeontographica B*, 134, 61-86.
- Watari, S., 1941, Studies on the fossil woods from the Tertiary of Japan II. Fossil woods from the River Nesori, Namiuti village, and the River Hiranuka, Kozuya village, Ninohe district, Iwate Prefecture. *Japanese Journal of Botany*, 11, 417-438.
- Watari, S., 1952, Dicotyledonous woods from the Miocene along the Japan Sea side of Honshu. *Journal of the Faculty of Science, University of Tokyo, Section III*, 6, 97-134.
- Yun, H., 1986, Emended stratigraphy of the Miocene Formation in the Pohang Basin, part 1. *Journal of Palaeontological Society of Korea*, 2, 54-69.

---

2010년 5월 4일 접수  
 2010년 7월 30일 수정원고 접수  
 2010년 8월 18일 채택