

한반도 중서부 지역의 후빙기 식생 변천사

장병오¹ · 양동윤² · 김주용² · 최기룡^{1*}

¹울산대학교 자연과학대학 생명과학부, ²한국지질자원연구원

Postglacial Vegetation History of the Central Western Region of the Korean Peninsula

Jang, Byeong-O¹, Dong-Yoon Yang², Ju-Yong Kim² and Kee-Ryong Choi^{1*}

¹Department of Biological Sciences, University of Ulsan, Ulsan 680-749, Korea

²Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea

ABSTRACT: A sediment core from the Cheollipo arboretum (36° 47' 57"N, 126° 09' 04"E) was studied for pollen analysis in order to reconstruct postglacial vegetational change and environmental changes around the central western region of the Korean Peninsula. The record shows four pollen assemblage zones: Zone CHL-I, *Quercus* stage (ca. 9,300~6,200 yr BP); zone CHL-II, *Quercus-Pinus* stage (ca. 6,200~4,600 yr BP); zone CHL-III, *Pinus-Quercus* stage (ca. 4,600~1,160 yr BP); zone CHL-IV and *Pinus* stage (ca. 1,160 yr BP-present). During the 9,300~8,500 yr BP, the early Holocene, researchers have guessed a piece of cool-temperate northern/altimontane mixed coniferous and deciduous broad-leaved forest. Between 8,500~4,600 yr BP the *Quercus* dominated the landscape of study area and the established dates of this typical cool-temperate central/montane deciduous broad-leaved forest vegetation might be ca. 6500 yr BP, and then the *Pinus* developed around the site at ca. 5,700 yr BP. The abrupt increase of *Pinus* and NAP (non-arboreal pollen) after ca. 1,100 yr BP indicates the vegetation changes due to human activities. From the dynamics of the *Chenopodiaceae* pollen indicating salt marsh and freshwater pollen flora such as *Typha*, *Trapa*, *Nymphaoides* and so forth, we suggest that the tidal flat was altered into freshwater lake around 6,500 yr BP.

Key words: Central western region, Pollen analysis, Postglacial, Vegetation history

서 론

식생은 다양한 요인에 의해 역동적으로 변한다. 인간의 간섭이 배제된 상태에서 식생 변화는 기후 변화가 가장 큰 요인으로 작용하며 한반도에 현존하는 식생형은 주로 온도에 의해 결정된다(Yim and Kira 1975). 식생 변화를 유발시키는 요인 역시 온도의 변동이 가장 크게 작용하고, 국지적으로 습도, 토양 환경의 변화, 유역의 변화 등에 의해 결정될 것으로 사료된다. 그러므로 식생의 변화 과정을 명확히 밝히면 기온을 중심으로 한 한반도의 광역적 기후 변화와 국지적인 환경 변화를 추적하는 자료로 활용될 수 있다. 화분 분석을 통한 지역 식생 변천에 대한 규명은 식생 변천 그 자체가 갖는 과학적인 성과와 함께, 지역의 기후 변화와 국지적 생태 조건 변화를 개관하는데 소중한 자료를 제공할 것으로 기대된다.

최종 빙기 동안 한반도는 빙하의 직접적인 내습을 받지 않았다. 그 당시 동해안(Yasuda et al. 1980)과 남서부 지역(최 등 2005)에서 *Picea*, *Larix*, *Abies*, *Pinus* (subgen. *Haploxyton*, 오엽송)

등과 같은 수종이 연속, 안정적으로 출현하는 것으로 보아 냉온대 북부/고산지 식생이 유지되는 소림으로 판단된다. 이에 반해 당시 서해 지역은 초지 상태의 개활지를 유지하였다는 견해도 있다(이와 유 2001). 이 지역이 당시에 다른 어떤 지역보다 대륙의 영향을 더 강하게 받았을 것임은 충분히 짐작할 수 있지만, 식생 개황에 대한 견해는 더욱 섬세한 화분 분석 연구를 통하여 검증, 보완될 필요가 있을 것으로 판단된다. 최종 빙기 이후 해수면 상승으로 서해가 현재와 같은 해수면을 유지하게 된 시점은 약 7,900 cal yr BP (before present)로 알려져 있다(Kim and Kennett 1998). 기온이 온난해지고 해수면이 상승하는 후빙기 때 서해는 대단히 역동적인 식생 변화를 겪었을 것이다. 그러나 후빙기를 전후한 서해 지역의 식생 개황이 어떠한지는 명확하지 않다. 서해안 지역은 전형적인 저지대로서 빙기부터 홀로세에 이르기까지 다양한 유형의 크고 작은 습지가 형성되었을 것으로 추정된다. 그러나 해침과 인간의 간섭으로 인하여 원형을 갖추고 있는 저습지는 존재하지 않는다. 한반도에서 화분 분석을 통한 식생 변천을 규명한 사례는 Yamazaki(1940) 이후 상당한 자료가 축적되어 가고 있다. 한편 조사지 인근에

* Corresponding author; Phone: +82-52-259-2397, e-mail: pollen@ulsan.ac.kr

서 오(1971), 박(1990) 및 Yi et al.(1996) 등이 화분 분석을 실시한 바 있으나, 식생 변천을 논하기에는 불분명한 점이 많아 논의에서 제외하였다. 또한 국지적, 광역적 식생 변천사를 연대 측정(radiocarbon dating)을 통한 시간축 위에서 논의된 사례는 아직도 부족하므로 지속적인 자료의 축적이 요구되고 있다.

본 연구는 한반도 중서부 지역에 해당하는 천리포 수목원내의 농경지에서 채집된 퇴적물을 이용, 화분 분석을 통해 홀로세 기간 동안의 식생 변천 과정을 개관하고자 실시되었다. 한편 이러한 식생의 변화를 주도한 지역적, 광역적 기후의 변화와 국지적인 환경의 변화에 대한 고찰도 아울러 수행하였다.

조사지 개요

화분 분석을 위한 CL-4 시추공 시료는 충청남도 태안군 소원면 의항리 천리포 수목원내 논바닥에서 획득하였다(36° 47' 57"N, 126° 09' 04"E). 이 지점에서 서쪽 약 200 m부터 서해이다(Fig. 1). 연구 지역의 기후 현황은 서산 기상대의 1968~2005년 38년간의 자료를 이용하였다. 그 결과 연강수량은 약 1,244 mm, 월강수량이 100 mm 이상인 달은 6~9월로서 이 시기 강수량은 연강수량의 약 65%(약 811 mm)를 초과하였다. 이는 한반도가 동아시아몬순(동아시아 여름 계절풍)의 영향으로 인한 6~7월 장마, 9월 가을 장마와 8~9월 태풍의 영향으로 이 시기에 강수가 집중된 결과이다. 반면 동절기(12~2월)는 연강수량의 약 7%(약 91 mm) 이하의 강수량을 나타내었다. 기온은 월평균 20°C 이상 되는 달이 6~9월이며, 평균 기온이 0°C 이하인 달은 1~2월이었다. 이는 무덥고 습한 여름과 춥고 건조한 겨울로 정리된다(Fig. 2). 또한 온량 지수(WI)와 한랭 지수(CI)는 각각 98.7, 17.6로서 연구 지역이 냉온대 남부 지역의 식생대에 해당함을 알 수 있다(Yim and Kira 1975).

재료 및 방법

퇴적물 채집은 천리포수목원 내의 논(해발고도 374 cm)에서 기계 시추기에 의해 이루어졌다. 지표 아래 약 539 cm까지 확보된 시추공 시료를 층위별 구분하여 총 121개의 분석용 시료를 채집해서 화분 분석에 이용하였다. 한편 층위를 고려하여 12개의 시료를 ^{14}C 연대측정에 이용하였다. 화분 분석을 위한 시료는 KOH-ZnCl₂-Acetolysis법을 이용하여 처리한 후 글리세린 젤리로 봉입(Erdtman 1960)하여 현미경하 400배로 검경하였다.

산출 화분·포자는 과 또는 속 별로 Trees(고목화분), Shrubs(관목화분), Herbs(초본화분), Spores(포자류)로 구분하였다. 산출 화분수는 고목화분 출현수 기준 300립 이상 검경하였다. 검경 결과 93종류의 화분상이 확인되었다. 이중 주요한 과, 속 화분·포자의 출현율은 고목화분수를 모수로 하여 백분율(%)로 계산하였고, 화분율을 화분 변천도(pollen diagram)에 나타내었다. 또한 전체 화분 출현수를 모수로 하여 Trees, Shrubs, Herbs, Spores의 출현율 역시 백분율(%)로 계산하여 화분변천도에 통합하였다.

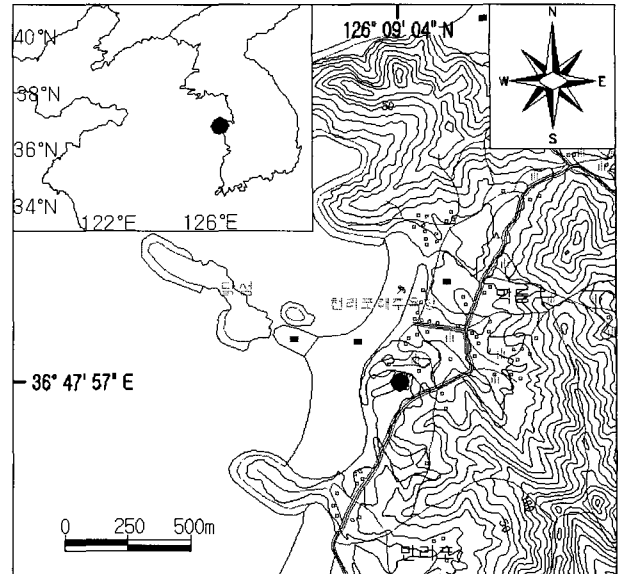


Fig. 1. Topographic map of study area and CL-4 coring site.

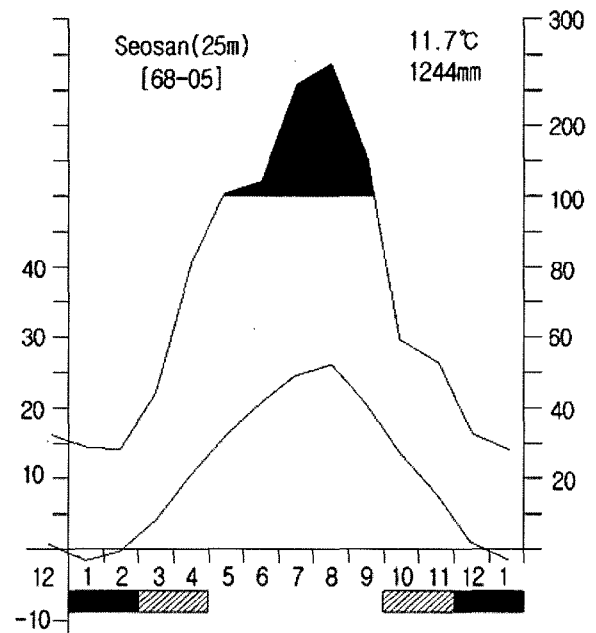


Fig. 2. Climate diagram of Seosan during 1968~2005.

결 과

연대 측정 및 퇴적물의 특징

^{14}C 연대 측정은 서울대학교 기초과학교육연구 공동기기원 AMS연구실에 위탁하여 측정하였으며, 그 결과는 Table 2, Fig. 3과 같다.

CL-4 시추공에 대한 퇴적물 분석을 통하여 4개의 단위(unit)로 구분되었다(Fig. 4). 해발 고도 -165~0 cm(Unit 1, 두께 165 cm)

의 퇴적물은 모래가 많이 포함되어 있는 실트질로서 퇴적물의 색깔은 주로 dark greenish grey이었다. 퇴적물의 하층부(해발고도 -100 cm 이하)는 해안가에서 흔히 볼 수 있는 굵은 모래가 퇴적되었고, 상부로 갈수록 모래의 입경은 점점 작아지고, 식물

Table 1. The pollen flora of the study site

Trees	Shrubs	Herbs
<i>Abies</i> *	<i>Alnus</i> *	<i>Aconitum</i> , <i>Alisma</i> , <i>Anemone</i> , <i>Aretmisia</i> *
<i>Acer</i> *	Araliaceae	<i>Astilbe</i> , <i>Bistorta</i> , <i>Brasenia</i>
<i>Aucuba</i>	<i>Calicarpa</i>	Caryophyllaceae, Chenopodiaceae*
<i>Betula</i> *	<i>Clerodendron</i>	<i>Clematis</i> + <i>Caltha</i> , Compositae*
<i>Carpinus</i> *	<i>Corylus</i> *	Cyperaceae*, <i>Eriocaulon</i> , <i>Fagopyrum</i> *
<i>Castanea</i> *	<i>Elaeagnus</i>	Gramineae*, <i>Haloragis</i> , <i>Impatiens</i>
<i>Celtis</i>	<i>Hydrangea</i>	<i>Isopyrum</i> , Juncaceae, <i>Justicia</i>
<i>Cornus</i>	<i>Ilex</i>	<i>Leonurus</i> type, Liliaceae, <i>Lysimachia</i>
<i>Fraxinus</i> *	<i>Lespedeza</i>	<i>Lythrum</i> , <i>Menyanthes</i> , <i>Monochoria</i>
<i>Juglans</i> *	<i>Ligustrum</i>	Moraceae, <i>Murdania</i> , <i>Nymphoides</i> *
<i>Phellodendron</i>	<i>Lonicera</i>	Onagraceae, Other Labiatae
<i>Picea</i>	<i>Meliosma</i>	Other Leguminosae, Other Polygonaceae
<i>Pinus</i> *	<i>Myrica</i>	Other Rosaceae, Other Saxifragaceae
<i>Platycarya</i> *	<i>Rhododendron</i>	<i>Ottelia</i> , <i>Parnassia</i> , <i>Patrinia</i> , <i>Persicaria</i>
<i>Pterocarya</i>	<i>Rhus</i>	<i>Plantago</i> , <i>Polygonum</i> , <i>Ranunculus</i>
<i>Quercus</i> *	<i>Salix</i> *	<i>Rumex</i> , <i>Sagittaria</i> *, <i>Sanguisorba</i>
<i>Stewartia</i> *	<i>Stephylla</i>	<i>Thalictrum</i> , <i>Trapa</i> , <i>Typha</i> *, Umbelliferac
<i>Tilia</i> *	<i>Symplocos</i>	<i>Utricularia</i> , <i>Vicia</i>
<i>Tsuga</i>	<i>Tripterigium</i>	SPORES
<i>Ulmus</i> & <i>Zelkova</i> *	<i>Vitis</i>	
		Monolete type spores*, Trilete type spores*

* is represented in the pollen diagram.

Table 2. Radiocarbon dates from core CL-4

Sample No.	Material	Altitude (cm)	Radiocarbon age (yr BP)
CL-4-01	Sediment bulk	307	1,410 ± 40
CL-4-02	Plant fragment	276	1,840 ± 70
CL-4-03	Sediment bulk	248	2,430 ± 110
CL-4-04	Sediment bulk	211	4,560 ± 80
CL-4-05	Sediment bulk	120	5,660 ± 30
CL-4-06	Sediment bulk	68	5,820 ± 150
CL-4-07	Sediment bulk	63	6,050 ± 40
CL-4-08	Sediment bulk	21	6,330 ± 40
CL-4-09*	Sediment bulk	-4	8,060 ± 160
CL-4-10*	Plant fragment	-24	6,640 ± 40
CL-4-11*	Plant fragment	-66	6,130 ± 100
CL-4-12	Sediment bulk	-144	8,920 ± 150

* is discarded for the construction of age curve.

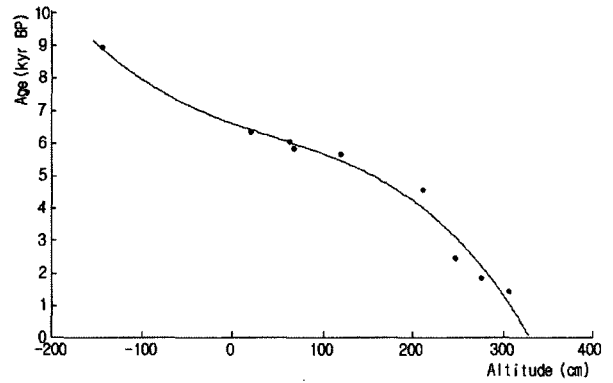


Fig. 3. Age-depth model for core CL-4 based on nine radiocarbon dates.

유체가 발견되기 시작하였다. 이러한 사실로 미루어 볼 때 본 시추공의 하층부는 마치 조간대와 비슷한 퇴적 환경으로 추정된다. 연대 측정의 결과는 하층부 퇴적 상태가 매우 불안정하였음을 짐작하게 한다. 해발 고도 0~210 cm(Unit 2, 두께 210 cm)는 대체로 점토질로 이루어진 퇴적물이고, 비교적 안정적인 퇴적 상태를 보였다. 토색은 olive black이 우세하였다. 해발 고도 210~312 cm(Unit 3, 두께 102 cm)는 점토와 실트질이었고, 토색이 brownblack으로 변하였으며, 굵은 모래가 다시 나타나는 것으로 보아 토양의 침식에 의한 외부 기원 퇴적물의 양이 증가하였던 것으로 사료된다. 해발 고도 312~374 cm(Unit 1, 두께 62 cm)는 하층부에 굵은 모래가 나타났고 그 상부는 실트질과 점토질이었다. 토색은 redish black이었다.

화분대

수목 및 비수목 화분 출현율의 동태를 통하여 4개의 화분대로 구분되었다(Fig. 5)

Quercus Zone(CHL-I, 해발 고도 -162~55 cm, Sample no. 121~73)

화분대 CHL-I은 한반도의 주요한 낙엽 활엽수인 *Quercus* 출현율이 87%이상 높게 출현하는 것이 특징이다. 반면 *Pinus* 출현율은 바닥층 부근에서는 12~17%였지만, 상층부에서는 12% 미만의 낮은 출현율을 보였다. 바닥층 부근은 *Pinus* 화분의 보존 상태가 불량하여 온전한 모양을 유지한 화분이 별로 없었다. 초본류인 Gramineae, Cyperaceae는 바닥층 부근에서는 20~30%의 비교적 높은 출현율을 보였지만, 상층부로 가면서 점점 줄어들어 10% 미만의 낮은 출현율을 보였다. Chenopodiaceae, Monolet spore의 출현율 역시 바닥층 부근에서 30% 이상의 출현율을 보였고, 상층부로 갈수록 점점 감소하였다. 본 화분대는 AP(arboreal pollen, 수목화분)중에서 *Quercus*가 압도적인 높은 출현율을 보였고, NAP(non-arboreal pollen, 비수목화분), 중 초본류 화분이 상층부로 갈수록 점점 줄어드는 것이 특징이다. 즉 전체 화분수 대비 AP 출현율이 바닥층(-162 cm)에서 0 cm까지는 35~

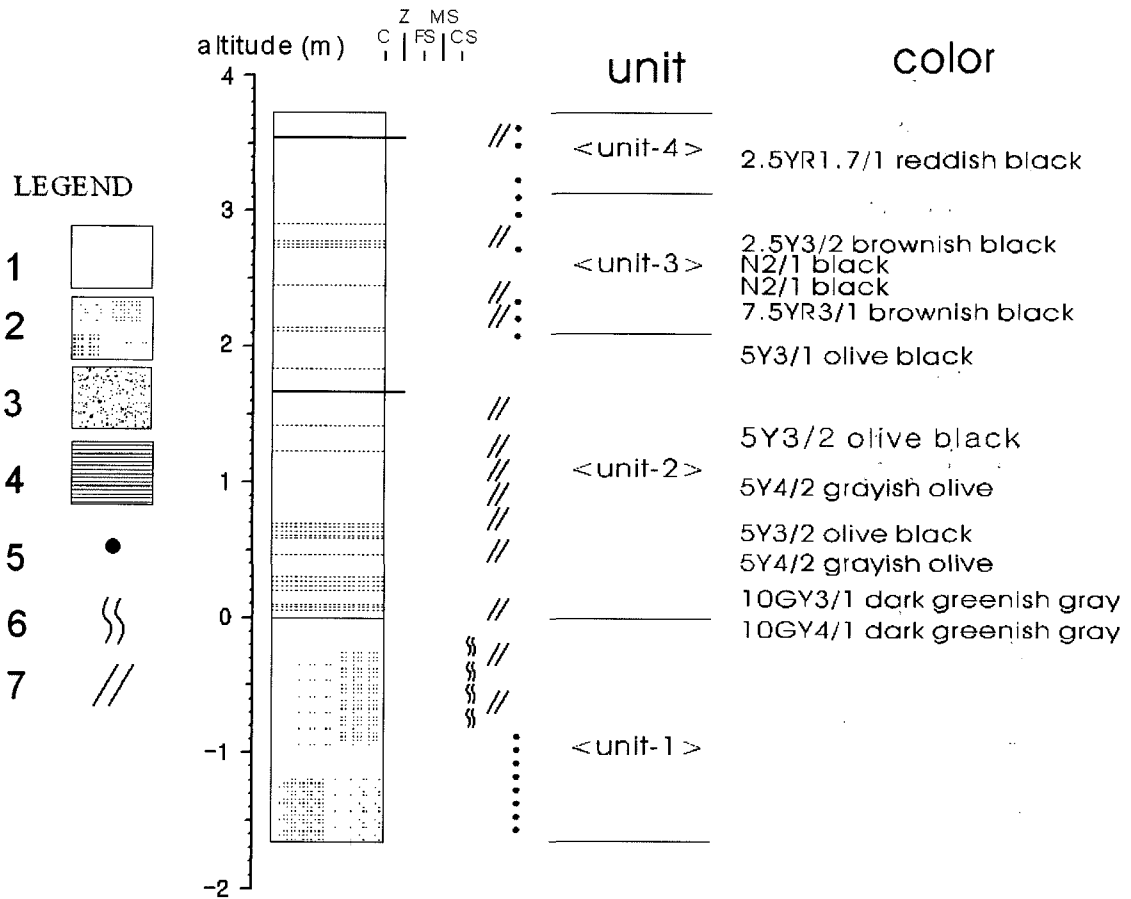


Fig. 4. Simplified stratigraphic section of core CL-4.

1: clay (c), 2: silt (z), 3: sand (fs, ms, cs), 4: planar lamination 5: pebble, 6: hiatus, 7: plant material.

50% 내외의 출현율을 보였지만 herbs와 spores의 출현율이 각각 20~30%로 상대적으로 출현율이 높았다. 그러나 상층부로 갈수록(0~50 cm) AP의 출현율이 증가하여 75% 이상 도달하였다. 본 CHL-I을 지나면서 *Pinus*의 출현율이 서서히 증가하기 시작하였다.

Quercus-Pinus Zone(CHL-II, 해발 고도 55~204 cm, Sample no. 72~39)

CHL-II는 전 시기 아주 낮게 출현하던 *Pinus*가 높게는 30%까지 출현율을 나타내었다. *Quercus*는 60% 미만 출현율을 보이는 경우도 있기는 하지만, 여전히 60~70%로 높은 출현율을 보였다. *Carpinus*, *Fraxinus*, *Ulmus* & *Zelkova*는 낮은 출현율이지만 다른 화분대에 비하여 상대적으로 연속적이고 안정적인 출현율을 나타내었다. 반면 *Betula*는 낮은 출현율을 보였으며, 1% 미만의 출현율을 보이는 경우도 있었다. Gramineae, Cyperaceae을 포함한 herbs와 spores의 출현율은 대단히 낮게 유지되었다. 한편 수생식물인 *Nympoides* 출현율이 본 CHL-II에서 다른 화분대보다 높게 나타났고, CHL-I 후반부에 출현한 *Trapa*와 *Typha*가 꾸준히 출현하였다. 반면 *Chenopodiaceae*는 매우 낮은 출현율을

나타내었다. CHL-II를 지나면서 *Pinus*가 급격히 증가하였다.

Pinus-Quercus Zone(CHL-III, 해발 고도 204~314 cm, Sample 38~12)

CHL-III는 *Quercus*의 급격한 감소와 *Pinus*의 증가가 가장 큰 특징이다. 또한 CHL-III 시작 지점에서 *Alnus*와 *Carpinus*의 일시적인 감소가 확인되었다. 전 시기 20~30%의 출현율을 보이던 *Pinus* 출현율이 급격히 증가하여 최고 80%에 이른 반면, *Quercus*는 12%까지 급격히 감소하였다. CHL-III 상층부에서 *Quercus* 출현율이 회복되어 30~50% 이상 출현하는 점이 특이하다. CHL-III의 초분류 화분 출현율 동태에서 가장 특이한 것은 Cyperaceae 출현율이 돌연 급격히 증가하였다는 점이다. 또한 부엽식물인 *Trapa*, *Nympoides*가 출현하지 않은 반면, 정수 식물인 *Typha*는 꾸준히 출현하였다. CHL-III를 지나면서 퇴적물의 조성에서 일시적으로 사질이 증가하고 Gramineae의 출현율이 갑자기 증가하였다.

Pinus zone(CHL-IV, 해발 314~362 cm, Sample no. 11~1)

CHL-III에서 급격히 증가하였다가 일시 감소하였던 *Pinus*가

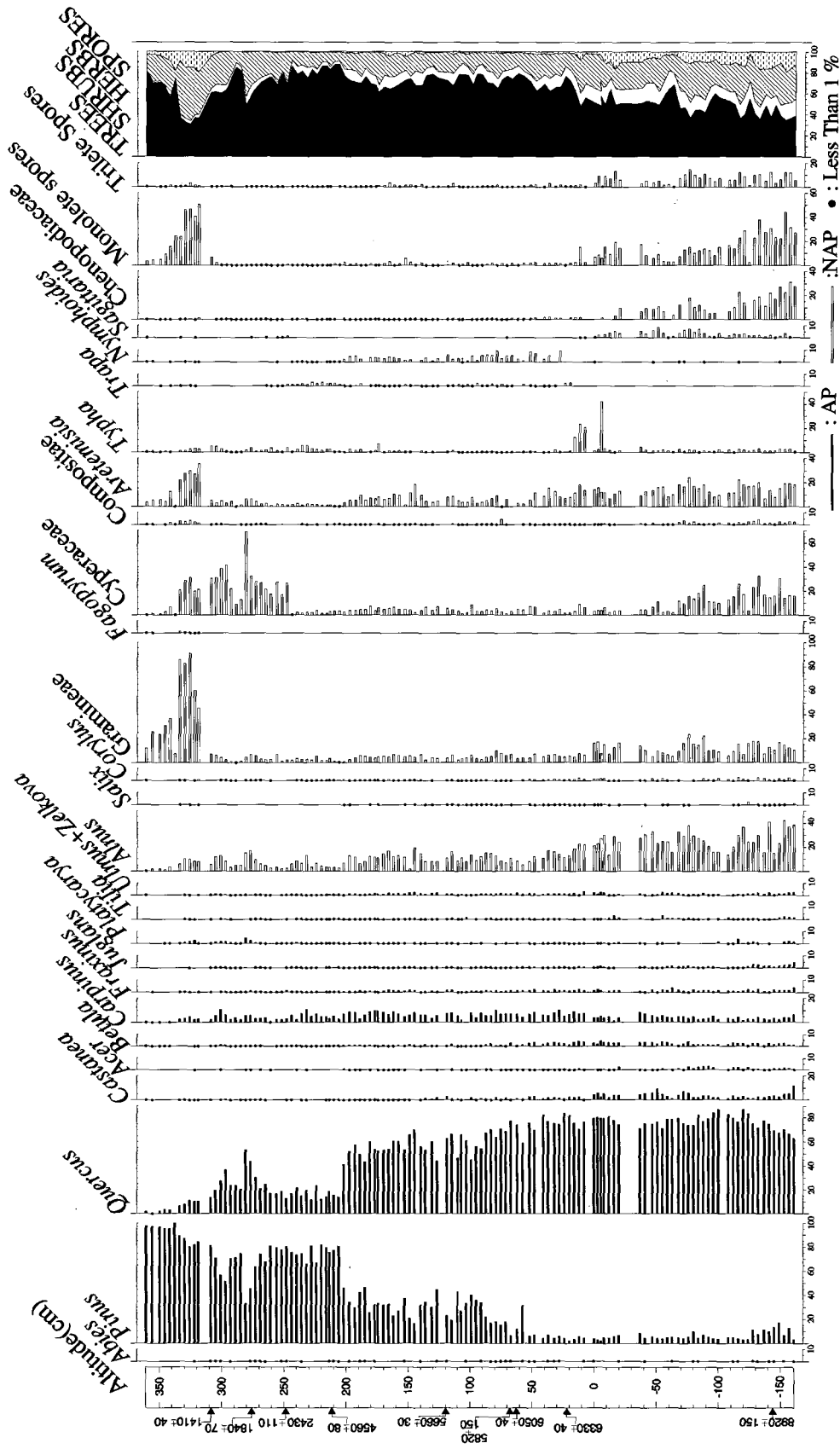


Fig. 5. The pollen percent diagram of selected taxa for the core CL-4. The percentage calculation based on the total arboreal pollen.

본 화분대 CHL-IV로 접어들어서 90% 이상 출현하였다. 반면 *Quercus*, *Carpinus* 등 낙엽활엽수의 출현율은 매우 낮게 나타났다. CHL-III 초반부에서 AP의 출현율 감소가 확인되었다. 이는 Gramineae 출현율의 갑작스런 증가에 기인하고, 상층부로 갈수록 AP 출현율이 회복되는 것은 *Pinus* 출현율 증가에 기인한다. 본 CHL-IV에서는 Gramineae뿐만 아니라 *Artemisia*, Spores의 출현율도 급격히 증가하여 30%를 상회하였다. 한편 본 화분대에서 *Fagopyrum*이 최초로 출현하였다. 또한 이전 화분대(CHL-III)에서 돌연 출현하지 않았던 *Trapa*, *Nymphaeoides*가 1% 미만이지만 다시 출현하였다.

고 찰

냉온대 낙엽활엽수림의 성립

본 연구에서는 안타깝게도 중부 서해안 저지대에서 최종 빙기(The last glacial)에서 만빙기(The late glacial)에 이르는 식생 개황에 관해서는 개관할 수 없었다. 그러나 퇴적물의 바닥층 부근에서 *Pinus*의 감소와 *Quercus*의 증가가 확인되고, 전체 화분수 대비 교목의 화분이 차지하는 비율이 50%를 넘지 못하고 있다. 이를 통하여 적어도 약 9,000 yr BP까지는 한반도 중부 서해안 주변 지역은 냉온대 북부/고산지 식생의 단편을 간직하고 있었던 것으로 판단된다. 또한 이러한 식생의 상관 역시 남서부 지역의 식생 개황(최 등 2005)과 유사하게 소림 상태였을 것으로 추정된다. 최종 빙기 이후 해수면 상승으로 현재와 유사한 상태의 해수면을 유지하는 7,900 cal. yr BP(Kim and Kennett 1998)까지 범지구적으로 몇 번의 한랭한 시기가 있었으므로 냉온대 중부/산지형 식생으로의 이행은 상당히 지체되고 소림 상태의 냉온대 북부/고산지형 식생형 단편이 연구 지역 주변에 상당히 오랜 기간 동안 형성되었을 것으로 사료된다. 그 이후의 식생변화는 본격적인 냉온대 중부/산지형 식생이 자리를 잡는 시기이다. 연구 지역에서 *Quercus*를 중심으로 한 냉온대 중부/산지형 낙엽활엽수림이 완성되는 시기는 6,300 yr BP로 판단된다. 이러한 결과는 한반도 남동부 지역의 무제치늪의 6,700 yr BP(최 2001)과 비슷하지만 약간 늦게 완성되었음을 알 수 있다. 약 8,500~6,200 yr BP 동안의 식생의 개황과 변동은 비교적 온난하고 습윤한 기후 환경으로 변화, 유지되는 가운데 *Quercus*를 중심으로한 식생형이 형성, 우점하는 시기로 판단된다.

계절성(seasonality)의 강화와 식생 변화

연구 지역에서 약 6,200 yr BP이후에 미묘한 식생 변화가 감지된다. 이전 시기까지 비교적 높은 출현율을 보였던 *Alnus*의 출현율이 약간 감소한 반면, *Pinus*가 소폭 증가하고 있다. 이러한 *Pinus*의 증가는 한반도 중서부 지역의 다른 연구(최 1993)와 동해안 지역의 분석 결과에서도 공통적으로 나타나는 현상이다(Yasuda et al. 1980, Fujiki and Yasuda 2004). 그러나 이러한 변화의 양태도 약간 차이가 있다. 즉, 동해안 지역은 *Pinus*의 증

가폭이 큰 반면 서해안 지역은 크지 않다. 이는 최(1997)가 지적한 바와 같이 서해안 지역 전반에 광범위하게 발달한 저지대 습지식생에서 *Alnus*가 상대적으로 중요한 위치를 차지하였던 반면, 동해안 지역은 광범위한 저지대 습지가 발달하지 않았으므로 *Alnus*가 식생 변화에 차지하는 상대적 위치는 미미했기 때문에 나타난 결과로 보인다.

장과 김(1982)은 한반도에서 7,500~4,000 yr BP를 기후 최적기(Hypsithermal period)로서 *Quercus*, *Pinus* subgen. *diploxylon*, *Carpinus*의 증가를 온난한 기후로 인한 결과로 보았다. 이러한 견해에 대하여 일정 부분 동의하지만, 본 연구에서 6,200 yr BP이후의 *Pinus*의 증가는 Fujiki and Yasuda(2004)가 지적한 바와 같이 계절성(seasonality)의 강화가 더 큰 역할을 했을 것으로 사료된다. 이와 같은 판단의 근거로 약 6,000 yr BP를 전후하여 한반도 주변과 범지구적인 기후의 변화가 곳곳에서 확인되며(An et al. 2000, Jian et al. 2000, An et al. 2004, Mayewski et al. 2004, Lim et al. 2005, Ji 2005), 이러한 변화는 한반도를 중심으로 판단하면 계절성의 강화로 요약된다. 즉, 이 시기는 여름 계절풍이 한반도 주변 지역에 가장 강하게 영향을 미친 시기이기도 하지만, 강한 겨울 계절풍의 영향을 받은 시기이기도 하다. 그러므로 이전보다 기온의 연교차가 더 크고, 강수량이 여름에 더욱 집중되어 나타났던 시기였을 것으로 보인다. 이러한 기후 환경의 변화로 *Pinus densiflora*와 같은 넓은 생태 적응 범위를 갖는 수종이 서서히 연구 지역 주변에 생육할 수 있는 환경이 조성된 것으로 보인다. 그러나 그 영향력은 동해안 지역보다 약했고, 이 시기를 기점으로 한반도는 동서 지역에서 냉온대림의 분화가 일어난 것으로 사료된다. 한편 연구 지역이 갖는 지리적 특수성으로 인하여 사구의 형성과 같은 지형 변화로 인한 *Pinus thunbergii*의 생육으로 인하여 *Pinus* 화분 출현율이 증가했을 가능성을 완전히 배제할 수는 없다.

6,200~4,600 yr BP동안 전반적인 식생 개황은 지역적으로 *Quercus*의 우점, 국소적으로는 습지 주변에는 *Alnus* 우점, 들출암각지, 건조한 산사면 또는 해안선에 *Pinus*가 생육하는 식생으로 요약된다. 이는 전형적인 냉온대 중부/산지형 식생이 유지되고 있었던 시기로 사료된다.

환경의 악화에 따른 식생의 변화

약 4,600 yr BP를 지나면서 식생에 갑작스러운 변화가 일어난다. 이 시기는 범지구적으로 한랭한 기후가 지배적으로 나타나는 시기이다. 동아시아에서 여름 계절풍이 갑작스럽게 약화(Morrill et al. 2003)되고, 중국에서 강수량 최적 지역이 양쯔강 중·하류 지역으로 남하하고(An et al. 2000), 제주도에서 겨울 계절풍 강도를 지표하는 풍성 먼지 증가(Lim et al. 2005)가 약 4,600 yr BP에 근접하여 확인된다. 또한 한반도의 기후에 영향이 큰 쿠로시오 해류(Kuroshio Current)도 이 시기 근처에서 일시적으로 약화된다(Jian et al. 2000). 이러한 외부 정황을 미루어 볼 때, 한반도를 중심으로 한 기후는 갑작스럽게 한랭-건조한 기후로 변하였던 것으로 사료된다. 식생 개황 역시 *Pinus*의

갑작스런 증가와 *Quercus*, *Alnus*의 감소로 나타난다. 한반도에서 *Pinus*의 증가는 대부분 인간의 간섭의 결과로 인식되고 있다. 그러나 본 연구에서는 약 4,600 yr BP에 *Pinus*는 갑작스럽게 증가하지만, 고목화분 출현율은 감소하지 않고, 벼과를 비롯한 초본류 화분의 동태에 큰 변화가 없다. 이와 같은 화분상의 동태는 기후 변화로 인한 식생 변화의 반영이지 인간 간섭의 결과로 보이지는 않는다. 한편 영산강 봉산들 퇴적물에 대한 화분분석(최 등 2005)에서는 약 4,600 yr BP에 *Oryza type* 화분의 증가를 통하여 농경의 시작을 확인할 수 있다. 이러한 정황을 종합할 때, 농경의 시작과 기후 환경의 변화 사이에는 깊은 관련이 있음을 시사하는 반면, *Pinus* 화분의 증가와 자연에 대한 인간의 간섭 사이에는 직접적인 관련성은 적다는 것을 알 수 있다.

인간 간섭과 식생 변화

약 1,100 yr BP의 식생 변화에서 가장 큰 특징은 이전 시기 약간 회복 기미를 보이던 냉온대 중부/산지형 낙엽활엽수림의 완전한 파괴이다. 이 현상은 *Pinus*의 압도적인 우위와 괴필이라는 표현이 적절한 수준으로 *Quercus*가 감소하고 *Gramineae*, *Artemisia*, *Cyperaceae*를 중심으로 한 초본류 화분의 급증, *Monolelet spore*의 급증으로 확인된다. 또한 이 시기에 경작종인 *Fagopyrum*이 출현하기 시작한다. 고목화분의 감소, 벼과를 중심으로 한 초본 화분의 증가, 발작물 도입종인 *Fagopyrum*의 출현 등은 벼농사를 중심으로 한 농경 시작과 인간의 자연에 대한 간섭이 뚜렷하게 증가했음을 지시한다.

연구 지역에서 1,100 yr BP 이후 식생 변화는 인간의 간섭에 의한 삼림의 파괴와 경작지 확대 결과로 인한 연구 지점과 주변의 광범위한 지역의 저지대 및 저지대 습지가 농경지로 이용되었을 것으로 사료된다.

퇴적물과 화분상(pollen flora)을 통한 퇴적 환경의 변화

연구 지점의 퇴적물 분석과 화분 분석은 이 지점이 역동적인 수생 천이 계열을 겪었음을 간접적으로 확인할 수 있다. 초본류 화분과 포자는 산포 범위가 넓지 않은 관계로 국지적인 환경 특성을 알려 주는 지표로 활용된다. 그러므로 이들 수종의 화분 출현율 동태를 통하여 연구 지점의 수생 천이 계열을 확인할 수 있다. 즉, CHL-I에서 높은 출현율을 보이던 *Chenopodiaceae*는 해발고도 0 cm에 근접하면서 매우 낮은 출현율을 보인다. 반면 담수성인 *Trapa*, *Typha*, *Nymphoides*가 출현한다. 이는 연구 지점이 6,500 yr BP경 해수의 영향으로부터 벗어나 담수호로 변화했음을 의미한다.

담수호에서 안정적인 퇴적현상은 약 4,000년 정도 지속되었던 것으로 보인다. 그 후 CHL-III에서 *Cyperaceae*가 갑자기 증가하고, *Trapa*, *Nymphoides*가 출현하지 않는다. 이는 담수호에서 육화가 진행되어 저층 습원에서 중층 습원으로의 변화가 일어난 것으로 사료된다. 그 이후 CHL-IV에서 인간의 간섭으로 수생천이가 중단되고 농경지로 변화하여 현재에 이른 것으로 판단된다.

결론

천리포 수목원 퇴적물의 화분 분석으로 서해안 중부 지역의 홀로세 기간 동안 식생 변천을 연구하였다. 그 결과 4개의 화분대로 구분되었다. 연구 지역에 냉온대림이 완성된 시점은 6,300 yr BP로 추정된다. 8,500~6,200 yr BP 동안은 비교적 온난하고 습윤한 기후가 유지되는 가운데 *Quercus*를 중심으로 한 냉온대 중부/산지형 낙엽활엽수림이 형성되었다. 그 이후 *Pinus*가 연구 지역 주변 해안선 또는 건조한 산지 능선과 들출 암각지에 생육을 시작하였고 4,600 yr BP까지 이 상황은 유지되었다. 이를 통하여 8,500~4,600 yr BP 동안 *Quercus*가 우점하는 전형적인 냉온대 중부/산지형 식생이 유지되고 있었던 시기임을 알 수 있다. 4,600 yr BP 이후 *Pinus*의 갑작스런 증가는 동아시아 여름 계절풍의 약화로 인한 한랭-건조한 기후로의 갑작스런 환경 변화를 지표하며, 이 현상은 약 1,800 yr BP까지 지속되었던 것으로 판단된다. 이후 전반적으로 AP는 감소하나 *Pinus*는 오히려 증가하고, 초본류와 포자류가 증가하고 경작종인 *Fagopyrum*이 출현하는 1,100 yr BP 이후는 인간 간섭으로 인한 식생 변화만 확인할 수 있었다. 한편 초본류 화분의 동태를 통하여 염습지-담수호-저습지로 습지 환경 변화를 확인하였다.

적요

한반도 서해안 중부 지역의 식생 변천사 규명을 위해 천리포 수목원 퇴적물의 방사성 탄소 연대 측정과 화분 분석을 실시하였다. 그 결과 약 9,300 yr BP 이후 현재까지 식생 변천사를 규명하였다. 분석 결과를 통하여 바닷층부터 표층까지 4개의 주요한 화분대가 설정되었다: Zone CHL-I, *Quercus* stage(ca. 9,300~6,200 yr BP); zone CHL-II, *Quercus-Pinus* stage(ca. 6,200~4,600 yr BP); zone CHL-III, *Pinus-Quercus* stage(ca. 4,600~1,160 yr BP); zone CHL-IV, *Pinus* stage(ca. 1,160 yr BP-present). 홀로세 초기 약 9,000~8,500 yr BP 동안 한랭한 기후의 영향으로 냉온대 북부/고산지형 침엽-낙엽혼합림의 단편을 확인할 수 있었다. 약 8,500~6,000 yr BP 동안 *Quercus*를 중심으로 한 냉온대 중부/산지형 낙엽활엽수림이 절대적으로 우세한 식생이 유지되고 있었으며, 이러한 식생형의 완성 시기는 약 6,500 yr BP 전후로 판단된다. 천리포 수목원 주변에 *Pinus*가 생육하기 시작한 시기는 약 5,700 yr BP 이후로 사료된다. 약 1,100 yr BP 이후 *Pinus*의 증가와 비수목화분의 갑작스러운 증가는 인간의 간섭에 의한 식생 변화로 보인다. 염습지의 주요한 표정종인 *Chenopodiaceae* 화분 동태를 통하여 염습지에서 담수호로 변화한 시기는 약 6,500 yr BP 이후인 것으로 추정된다.

사사

퇴적물채집에 큰 도움을 주신 공주대학교 사범대학 지리교육과 최성길, 박지훈 교수, 한서대학교 이은복 교수 및 천리포

수목원 관계자분들에게 깊은 감사를 드린다.

인용문헌

- 박인근. 1990. 천리포 수목원의 이탄의 화분분석. 한국생태학회지 13: 311-320.
- 오지영. 1971. 평택지구 토탄의 화분분석. 한국식물학회지 14: 126-133.
- 이명석, 유강민. 2001. 제4기 후기 황해 주변부의 식생 변화에 따른 화분기록과 기후 변화. 한국지질학회지 37: 365-374.
- 장정희, 김준민. 1982. 영랑호, 월함지 및 방어진의 제4기 이후의 식피의 변천. 식물학회지 25: 37-53.
- 최기룡. 1993. 중부지방 저지의 식생사와 인간간섭에 관하여. 한국자연보존협회연구보고서 12: 31-36.
- 최기룡. 1997. 한반도 후빙기 식생 변천사. 자연보존 100: 28-33.
- 최기룡. 2001. 무제치늪 화분분석연구. 한국제4기학회지 1: 13-20.
- 최기룡, 김기현, 김종원, 김종찬, 이기길, 양동윤, 남옥현. 2005. 영산강유역 범람원 화분분석연구. 한국생태학회지 28: 37-43.
- An CB, Feng Z, Tang L. 2004. Environmental change and cultural response between 8,000 and 4,000 cal. yr BP in the western Loess Plateau, northwest China. *J Qua Sci* 19: 529-534.
- An Z, Porter SC, Kutzbach JE, Xihao W, Suming W, Xiaodong L, Xiaoliang L, Weijian Z. 2000. Asynchronous Holocene optimum of the East Asian monsoon. *Quat Sci Rev* 19: 743-762.
- Erdtman G. 1960. The acetolysis method. *Svensk botanist tidskrift*. 54: 561-564.
- Fujiki T, Yasuda Y. 2004. Vegetation history during the Holocene from Lake Hyangho, northeastern Korea. *Quat Internat* 123-125: 63-69.
- Ji S, Xingqi L, Sumin W, Matsumoto R. 2005. Palaeoclimatic changes in the Qinghai Lake area during the last 18,000 years. *Quat Internat* 136: 131-140.
- Jian Z, Wang P, Saito Y, Wang J, Pfaumann U, Oba T, Cheng X. 2000. Holocene variability of the Kuroshio Current in the Okinawa Trough, northwestern Pacific Ocean. *Earth Planetary Sci Let* 184: 305-319.
- Kim JM, Kennett JP. 1998. Paleoenvironmental changes associated with the Holocene marine transgression, Yellow Sea (Hwanghae). *Marine Micropaleontol* 34: 71-89.
- Lim J, Matsumoto E, Kitagawa H. 2005. Eolian quartz flux variations in Cheju Island, Korea, during the last 6,500 yr and a possible Sunmonsoon linkage. *Quat Res* 64: 12-20.
- Mayewski PA, Rohling EE, Stager JC, Karlén W, Maasch KA, Meeker LD, Meyerson EA, Gasse F, van Krevelend S, Holmgren K, Lee-Thorp J, Rosqvist G, Rack F, Staubwasser M, Schneider RR, Steig EJ. 2004. Holocene climate variability. *Quat Res* 62: 243-255.
- Morrill C, Overpeck JT, Cole JE. 2003. A synthesis of abrupt changes in the Asian summer monsoon since the last deglaciation. *The Holocene* 13: 465-476.
- Yamazaki T. 1940. Beitrage zur verwandlung der Baunarten im sudlichen Teile von Korea durch die Pollenanalyse. *Japanese Forest Soc* 22: 17-29 (in Japanese).
- Yasuda Y, Tsukada M, Kim JM, Lee ST, Yim YJ. 1980. The environment changes and the agriculture origin in Korea. *Japanese Ministry of Education Overseas Research Reports*. pp. 1-19 (in Japanese).
- Yi MS, Kim JM, Kim JW, Oh JH. 1996. Holocene pollen records of vegetation history and inferred climatic changes in a western coastal region of Korea. *J Paeont Soc Korea* 12: 105-114.
- Yim YJ, Kira T. 1975. Distribution of forest vegetation and Climate in korean peninsula. I. Distribution of some indices of thermal climate. *Jap J Ecol* 25: 77-88.

(2006년 11월 25일 접수; 2006년 12월 18일 채택)