

<Technical Report>

표층퇴적물의 현생화분을 이용한 고식생 및 정량적 고온도 복원을 위한 연구방법 소개

김동욱^{1,2} · 이상현^{1,3,*} · 이은미¹ · 전창표¹ · 김용미³ · 김진철¹ · 최한우¹ · 한 민¹ · 임현수²

¹한국지질자원연구원 국토지질연구본부

²부산대학교 지질환경과학과

³과학기술연합대학원대학교 석유자원공학과

요 약

이 연구는 남해안 일대(위도 33°00'~35°00', 경도 125°21'~129°30')의 지형, 기후 및 식생군락의 특성이 반영된 화분의 산출특성을 파악하기 위해 현생화분을 채집하여 현재 분석 중에 있다. 이를 위해 인위적 교란이 적은 8곳의 저수지를 선정하여 저수지 퇴적물과 사면 퇴적물 채집기 및 풍매화 화분 포집기를 각각 설치하였다. 저수지 퇴적물 채집기는 월별 저수지 유역의 지형특성과 식생군락에 따라 현생화분의 이동 메커니즘이 어떻게 반영되는지를 조사할 목적으로 설치하였으며, 사면 퇴적물 채집기는 강우기 동안 저수지를 둘러싼 사면을 따라 저수지에 유입되는 현생화분과 퇴적물의 양을 측정하기 위해 설치하였다. 풍매화 화분 포집기는 저수지가 위치하고 있는 지역의 계절별 풍향, 풍속, 지형에 따라 현생화분의 이동경로 및 거리를 파악하기 위해 설치하였다. 추가적으로 저수지 유역 내 고도(100 m)에 따라 분포하는 식생과 고도별 현생화분 산출특성과의 관계를 분석하기 위해 고도별 표층시료를 채집하였다. 이 연구는 2017년 4월 저수지 퇴적물 채집기 설치를 시작으로 2년간의 자료 수집을 실시하였으며, 설치한 채집기 및 표층시료에서 산출될 분석결과는 연구지역의 기후환경과 현생화분 산출특성 간의 관계를 더 올바르게 해석할 수 있도록 할 것이다. 이 연구결과는 남해안 지역의 고화분 분석 자료를 이용한 고식생 및 정량적 고온도를 복원하는데 기초자료로 활용될 것이다.

주요어: 현생화분 모니터링, 화분 채집, 화분 산포, 화분 운반, 화분 보존력

Dongwook Kim, Sangheon Yi, Eunmi Lee, Changpyo Jun, Yongmi Kim, Jin Cheul Kim, Han Woo Choi, Min Han and Hyounsoo Lim, 2020, An introduction of modern pollen analogue methods for reconstruction of paleovegetation and pollen-based quantitative paleotemperature. Journal of the Geological Society of Korea. v. 56, no. 1, p. 85-99

ABSTRACT: This study aims to identify the assemblages characteristics of modern pollen driven by topography, climate and vegetation over the southern South Korea (33°00'-35°00'N, 125°21'-129°30'E). To do this, experiments and analyses are underway using several different modern pollen traps in reservoirs with little human impacts. Anemophilous pollen trap, and hydrophilous and entomophilous pollen trap were installed in eight reservoirs over E-W transect. Reservoir sediment trap collecting water-driven pollen was installed to study the relationship between modern pollen assemblages, and topography, climate, and vegetation around reservoirs. Collecting samples that are being monitored every month for two years are expected to provide the seasonal variation in water-borne pollen transport around the reservoir basin. Anemophilous (wind-driven) pollen traps were equipped at each reservoir bank. Analyzed dataset will provide the wind transportation mechanisms such as wind speed, wind direction, and topography in catchment area. Mountain slope sediment trap was set up to investigate how much pollen and sediments input the reservoir from the slope when heavy rainfall take place. In addition, surface soil samples with every 100 m in altitude are taken around the reservoir basin. The comprehensive pollen dataset will make a better understanding the relationship between modern vegetation and climatic eco-environments in study area. Finally this study will contribute to reconstruct properly vegetation dynamics response to climate changes in southern area of South Korea.

Key words: modern pollen monitoring, pollen trap, pollen distribution, pollen transportation, pollen preservation

* Corresponding author: +82-42-868-3135, E-mail: shyi@kigam.re.kr

(Dongwook Kim, Sangheon Yi, Eunmi Lee, Changpyo Jun, Jin Cheul Kim, Han Woo Choi and Min Han, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 34132, Republic of Korea; Dongwook Kim and Hyoungsoo Lim, Department of Geological Sciences, Pusan National University, Busan 46241, Republic of Korea; Sangheon Yi and Yongmi Kim, Department of Petroleum Resources Technology, Korea University of Science and Technology, Daejeon 34113, Republic of Korea)

1. 서론

화분은 육상 유관속식물의 생식기관으로 복합유기질인 “스포로폴레닌”이란 껍질로 구성되어 물리·화학적인 변질작용에 내구성이 강하여 퇴적물 내에 오랫동안 보존된다(Traverse, 2007). 모식물은 생태학적으로 생육지의 자연기후환경에 지배를 받음으로써 이들이 생산한 화분은 당시 퇴적지역의 기후환경을 직접적으로 반영한다. 그리하여 퇴적물로부터의 화분분석은 과거의 기후와 퇴적환경 복원을 가능토록 한다. 그러나 식물종류별 화분생산량과 보존력, 화분산포 방법과 범위, 이동 방법과 기작 등의 차이로 인하여, 퇴적물에서의 화분분석 자료를 과거 식생천이와 기후변화 해석에 적용시킬 때에는 보정해야 할 여러 요소가 존재한다. 최근에는 화분분석을 통한 신뢰성이 제고된 과거 식생천이와 퇴적환경 해석 및 온도-강수량의 정량적인 수치자료 생산이 요구되고 있다. 이를 위해서 표층-지중시료의 현생화분 분석(surface and subsurface modern pollen analogue)과 함께 위치-기후-생태정보 자료 구축(D/B)에 많은 노력을 하고 있다(Chen *et al.*, 2010).

지난 수십 년 동안 한국에서도 여러 분야에서 화분연구가 활발히 수행되었으며, 대부분은 정성적이며 상대적인 기후변화 해석과 이에 따른 식생변천사를 복원하는 것이었다(Yoon, 1997; Yi, 2008; Yi *et al.*, 2008; Park, 2013; Park *et al.*, 2014). 최근에는 강원도와 제주도 습지퇴적층에서 수행된 화분연구는 연구지역의 기후정보와 지형특성이 반영된 현생화분군집의 기본정보를 이용하여 퇴적물로부터 분석한 화분결과로 정밀한 시계열적 식생천이 복원과 정량적인 고온도 수치자료를 생산한 유일한 연구이다(Park, 2011).

앞서 언급한 바와 같이 화분연구를 통하여 요구되는 보다 정확·정밀한 고식생 복원과 정량적 고온도 자료를 생산하기 위해서는 정확하고 세부적인 현생화분 연구 자료가 필수적이다. 그러나 아직까지 한반도의 기후-지형특성과 연계된 현생화분 산출특성에 관한 연구 자료는 턱 없이 부족한 상황이다. 이를 위해 한국지질자원연구원에서는 한반도 남부지역(위

도 33°00'~35°00', 경도 125°21'~129°30')의 저수지 8곳을 선정하여 현생화분 모니터링 연구를 수행하였다. 이는 한반도 남부지역의 현생화분군집 산출특성과 이에 영향을 끼치는 수문-지형학적 요인분석을 통한 상관성을 파악하여 자료의 D/B를 구축하는 것을 목적으로 한다. 이 논문에서는 현생화분 모니터링 연구 방법을 소개하고자 한다.

2. 국외 선행연구

과거의 식생을 복원하기 위해서는 현재의 지형, 기후 및 식생 자료 같은 환경 자료가 바탕이 되어야 한다. 국외 연구사례에는 이미 지형 및 기후적인 요소와 식생 간의 관계를 정립하고 이를 응용한 사례들이 많이 있다(Stebich *et al.*, 2015; Tian *et al.*, 2017; Torres *et al.*, 2019). 과거의 온도-강수량의 정량적인 수치자료를 구축하거나 고기후를 시계열적 이고 정밀하게 복원하는 것을 예로 들 수 있다. 국내에서도 한반도의 과거 환경 및 식생을 복원하기 위해 현생 자료에 대한 확보가 시급하다. 이를 위해 이번 연구에서는 기초자료를 생산할 뿐만 아니라, 이미 국외에서 조사된 다양한 사례들을 참고하여 자료를 더 효율적으로 사용할 수 있는 방법을 찾고자 한다.

2.1 지형 - 식생 관계

지형에 따른 식생의 변화는 국지적인 범위에서 전 지구 범위까지 다양하다. 근접한 지역이라도 고도에 따라 식생이 변화하기도 하며, 위도에 따라서 자생할 수 있는 식생이 구분되기도 한다. 뿐만 아니라 지형에 맞는 기후적 요인이 발생하여 더 다양한 식생의 변화를 불러오기도 한다. 요인에 따라 다양하게 분포하는 식생을 자료화하기 위해서는 객관화된 체계적인 방법이 필요하다. Chen *et al.* (2010)의 연구 사례를 보면 자료 구축을 위해 지형적 요인, 식생의 특징 등을 나열한 후 코드화 하여 정리한 바이옴(Biome)을 확인 할 수 있다(표 1). 식생구조(Structure), 우점 식물기능타입(Dominant Plant Functional Types), 특성종(Characteristic taxa), 분포지역(Distribution)

Table 1. Detailed characteristics of biomes (Chen *et al.*, 2010).

Biome	Structure	Dominant PFT (s)	Characteristic taxa	Terminology used in the Chinese literature for equivalents	Distribution in China
Cold deciduous forest	More or less open canopy forest, medium to tall cold-deciduous malacophyll broad-leaved trees, with a rich understory of shrubs, forbs and mosses in moist habitats or a depauperate understory of shrubs and lichens in dry habitats	Boreal deciduous needle-leaved trees, boreal cold-deciduous malacophyll broad-leaved trees	<i>Larix, Betula</i>	Cold-temperate deciduous needle-leaved forest	northern Daxingan Mountains, Tianshan and Altai Mountains and subalpine regions around the southeastern Tibetan Plateau
Cold evergreen needle-leaved forest	Closed canopy forest of evergreen needle-leaved trees with a rich understory of shrubs, forbs and mosses	Boreal evergreen needle-leaved trees	<i>Abies sibirica, A. fabri, Picea obovata, P. purpurea</i>	Cold-temperate evergreen needle-leaved forest; taiga	Daxingan and Changbai Mountains; Wutai, Yan, Luliang and Taihang Mountains; Qinling and Daba Mountains; Altai, Tianshan, Qilian, Helan and Yin Mountains; and eastern and southern slopes of the Tibetan Plateau, 1100-4300 m
Cool-temperate evergreen needle-leaved and mixed forest	Closed to open canopy forest of evergreen needle-leaved trees and deciduous broad-leaved trees	Cool-temperate evergreen needle-leaved trees, boreal cold-deciduous malacophyll broad-leaved trees	<i>Pinus sylvestris</i> var. <i>mongolica, Betula, Populus</i>	Cold mixed forest	High mountains in northeastern, western and southwestern China
Cool evergreen needle-leaved forest	Closed to open canopy forest of evergreen needle-leaved trees	Boreal and cold-temperate evergreen needle-leaved trees	<i>Abies nephrolepis, Picea jezoensis, P. schrenkiana, Pinus, Sabina</i>	Cool conifer forest	Daxingan Mountains, Altai Mountains, eastern high slope of the Tibetan Plateau
Cool mixed forest	Closed to open canopy forest with evergreen needle-leaved trees and deciduous broad-leaved trees	Boreal and cold-temperate evergreen needle-leaved trees, temperate spring-forst tolerant cold-deciduous malacophyll broad-leaved trees	<i>Pinus koraiensis, Larix, Abies, Picea, Betula, Tilia, Fraxinus, Acer</i> (northeast China); <i>Tsuga, Abies, Picea, Acer, Betula, Pinus</i> (high mountains in southwest China)	Cool-temperate mixed conifer broad-leaved forest	Changbai, Xiaoxingan and Zhangguangcai Mountains; high mountains in southwestern China and southern Tibetan Plateau

Table 2. Summary of the dominant plant types and of climatic requirements of biomes (Stebich *et al.*, 2015).

	Biome name and abbreviation	Dominant plant functional types	Climatic requirements
TEDE	Temperate deciduous forests	Temperate summer green, cool-temperate conifer, boreal summer green	Cool winters (Mtco from -2 to 0°C) and areas with colder winters (down to -15°C) where conditions are too dry for boreal evergreen conifers; high (> 1200) GDD requirement, which indirectly excludes TEDE from regions with a very low seasonal temperature range and cold summers;
COMX	Cool mixed forest	Temperate summer green, cool-temperate conifer, boreal summer green, boreal evergreen conifer	Occurring poleward of the TEDE biome in climates with moderately cold winters (Mtco from -2°C to -15°C to -26°C); high (> 1200) GDD requirement and sufficient precipitation for boreal evergreen conifers (moisture index below 0.75);
COCO	Cool coniferous forests	Cool-temperate conifer, boreal summer green, boreal evergreen conifer	Mtco of -15 to -19°C separating the winter temperature tolerances of temperate summer greens and cool-temperate conifers; can also occur in climates with milder winters (-2 to -15°C), where the growing season is not warm enough for temperate deciduous trees (GDD from 900 to 1200);
TAIG	Taiga	Boreal summer green, boreal evergreen conifer	Cold winters (-19°C to -35°C) extending to somewhat warmer in maritime climates with GDD < 900 and moisture index > 0.75;
STEP	Steppe	Cool grass and shrub	Cool summers (Mtwc below 22°C) and low, precipitation (i.e. moisture index below 0.65)

등 여러 요인들로 구성되어 있으며 자세히 기술되어 있다. Stebich *et al.* (2015)의 연구사례는 또 다른 형태의 바이옴(표 2)을 생산하였는데 비교적 간단한 구성으로 이루어진 것을 확인 할 수 있다. 이는 표 2가 그림 1을 생산하기 위한 기초자료이므로, 그림 1에 불필요한 구성 자료는 배제하였음을 의미한다. 그림 1에서는 바이옴 자료에 개방된 지형(Landscape openness)환경에서의 식생 종 자료를 추가하여 시계열과 기후환경에 따른 바이옴의 변화를 나타내었다. 이 그림에서는 지난 12,000년 동안 전 지구적으로 잘 알려진 기후 사건(Climate Event)들이 각 바이옴마다 어떠한 영향을 끼쳤는지 확인 할 수 있다. 이번 연구에서는 연구지역이 국지적으로 분포하는 점을 고려하여 자세한 구성의 바이옴을 생산할 필요가 있으며, 바이옴을 구성하기 위한 정밀하고 사실적인 환경자료가 요구된다.

2.2 기후 - 식생 관계

식생 변화에 영향을 끼치는 요인으로 지형적 요인만큼이나 중요한 요인은 기후적 요인이다. Lee *et al.* (2017)의 연구에서 한반도 난온대림 분포지역의 북쪽 경계가 한랭지수 -10°C·month 값의 등치선과 일치하는 것을 확인 할 수 있다. 또한, 상록활엽수림의 분포지역은 연평균기온 11~15°C, 한랭지수 -10~-15°C·month, 연평균 강수량 900~1,500 mm로 알려져 있다. 정해진 기후 범위를 벗어나면 해당 식생은 생존 할 수 없기 때문에 식생 분포에 있어 기후적 요인이 상당히 지배적으로 작용하는 것을 확인 할 수 있다. 이러한 기후-식생 관계는 이미 고기후, 식생 복원 등 여러 분야에서 다양한 방법으로 연구되고 있으며(Cao *et al.*, 2014; Stebich *et al.*, 2015; Tian *et al.*, 2017), 상대적인 분석뿐만 아니라 정량적인 분석까지 연구되고 있다(Park, 2011; Wen *et al.*,

2013). 예를 들면, 고도별로 산출되는 화분 종의 가중 평균(Weighted averaging)을 활용하여 화분-고도간의 관계를 도출하는 Plant Transform Function (PTF) 연구를 통해 고온도를 정량적으로 복원 가능하다(Park, 2011). 그림 2에서는 식생 중 별로 기후의 변동에 어떤 영향을 받는지를 조사한 Tian *et al.* (2017)의 연구사례를 보여주고 있는데 그래프의 색은 각각 다른 시대를 의미하며[Blue (9 ka), Green (6 ka), Red (0 ka)] 세로축은 종의 출현율, 가로축은 연평균강수량(Mean Annual Precipitation, Pann or MAP)과 최난월평균기온(Mean Warmest Month (July) Temperature, Mtw)의 값을 의미한다. 그래프를 통해 식생 종과 시대, 기후 간의 상관관계를 확인할 수 있다. 또한 Stebich *et al.* (2015)은 화분분석을 통해 연평균강수량(Pann)과 최난월평균기온(Mtw)이 현재와 어느 정도 차이가 있었는지를 시계열적으로 제시하였다(그림 3). 국내에서도 많은 기후변화 연구가 진행되어 왔지만(Kang, 1994; Choi and Moon, 2008; Park *et al.*, 2008), 기후-식생을 연계하여 조사

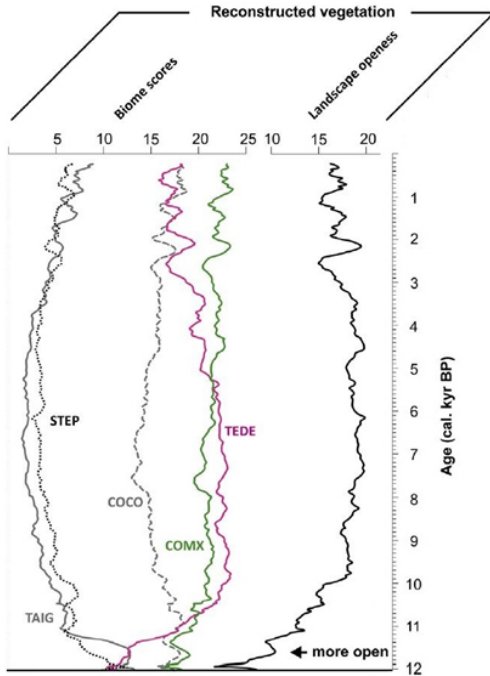


Fig. 1. The change of biome scores with age. Their climatic requirements are summarized in Table 2 (Stebich *et al.*, 2015). TEDE: Temperate deciduous forests, COMX: Cool mixed forest, COCO: Cool coniferous forests; TAIG: Taiga, and STEP: Steppe.

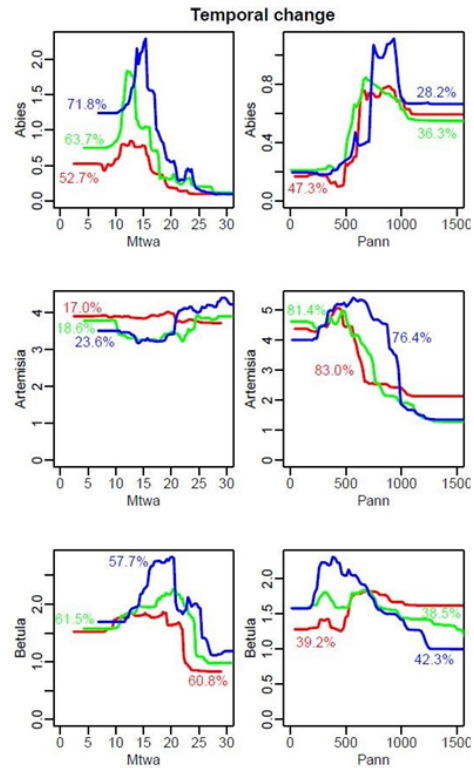


Fig. 2. Temporal changes modelled pollen responses to climate (Mean Annual Precipitation, Pann or MAP; Mean Warmest Month (July) Temperature, Mtw), and climate influences on pollen. Different colors represent results of 9 ka (blue), 6 ka (green), and 0 ka (red) (Tian *et al.*, 2017).

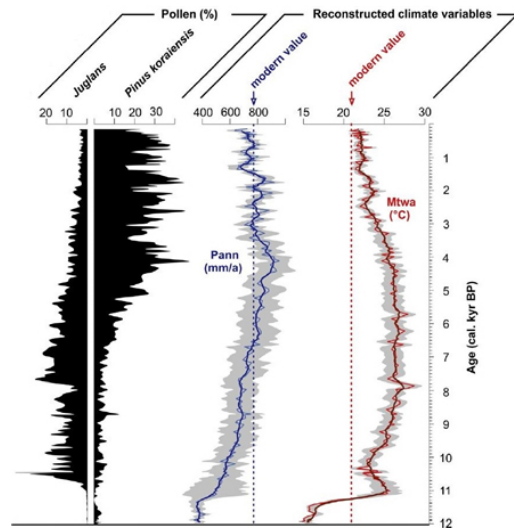


Fig. 3. The change of Pann, Mtw, and pollen data with age (Stebich *et al.*, 2015).

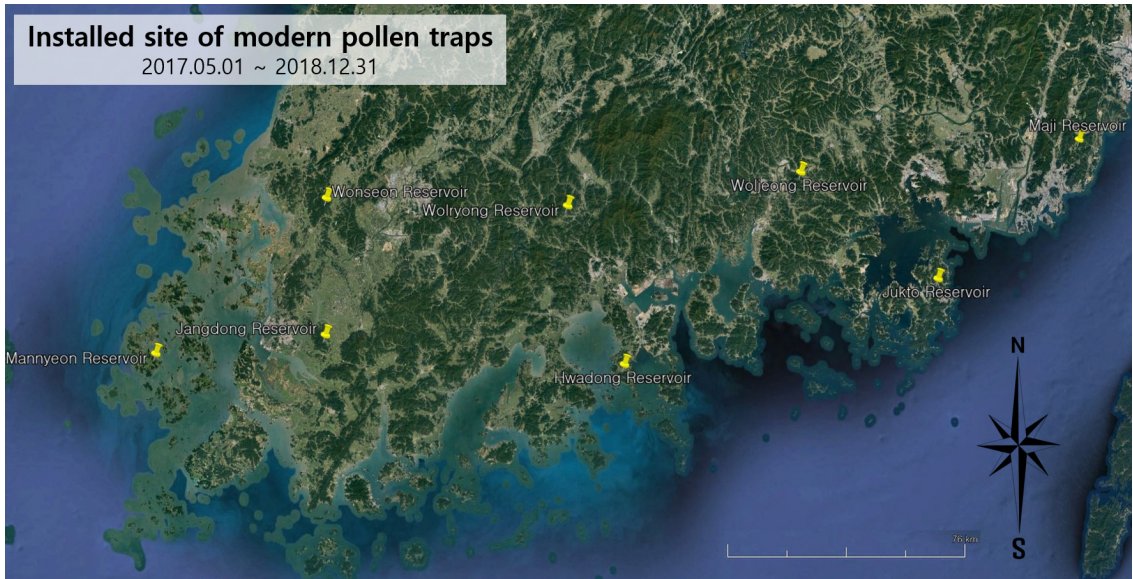


Fig. 4. Location of eight reservoirs over E-W transect in southern South Korea.

한 사례가 부족한 상황이다. 이번 연구에서는 앞서 언급한 여러 기후 자료(MAP or Pann, Mtw)를 정리하고, PTF방법을 이용하여 현생화분 산출특성에 따른 정량적인 기온자료를 생산하는 연구를 수행할 계획이다. 그리고 연구의 최종단계에서는 기후-식생 자료와 화분산출에 따른 고온도의 정량적 복원 등을 그림 1, 3과 같은 시계열적 자료로 제시하는 것을 목표로 한다.

3. 연구지역

연구지역은 한반도의 남해안 일대(위도 33°00'~35°00', 경도 125°21'~129°30')에 위치하는 8곳의 저수지로 선정하였다(그림 4). 남해안 지역은 여름철 강수량이 다른 지역보다 많은 지역으로 분류되며, 기후와 식생은 여름철 찾아오는 열대저기압과 장마에 큰 영향을 받는다. 연 평균기온이 제주와 더불어 가장 높으며, 봄철 강수량 또한 다른 지역은 대부분 200 mm 내외인 것에 반해 남해안 지역에는 400 mm가 넘는 곳이 많다(Park, C.Y. et al., 2009; Park, J.C. et al., 2010). Lee et al., (2005)의 연구에 의하면 한국의 기후지역은 식생과 작물의 분포를 이용하여 크게 4개로 구분된다. 연구지역은 남부 기후지역 남쪽 부분과 남해안-도서 기후지역 남해안 부분을 포함하고 있으며(그림 5), 상록활엽수림, 낙엽활엽수림, 침엽

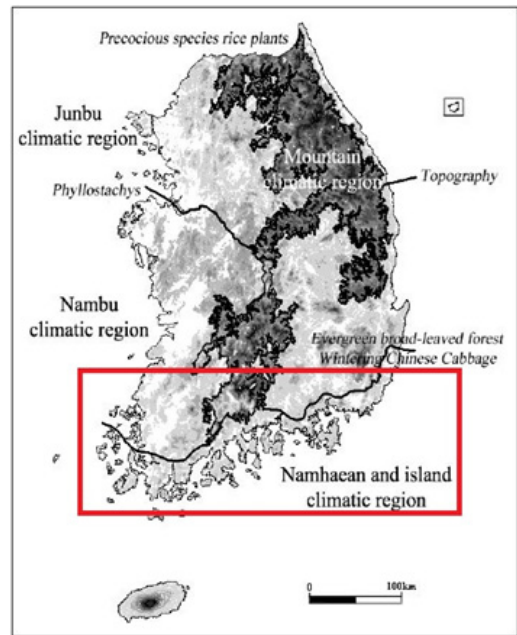


Fig. 5. The primary division of climatic region. Italic words (e.g., evergreen broad-leaved forest) indicate the index of climatic division (Lee et al., 2005).

수림 등 다양한 식생이 대부분 혼효림의 형태로 형성되어 있다. 하지만 과거 활발하게 진행되었던 인공림 조성사업으로 인해 연구지역의 기후환경에 맞는 자연림과 다소 차이가 있다. 풍향은 계절풍이나

Table 3. Topography (GPS), climate and vegetation over the eight reservoirs.

Reservoir		Maji	Jukto	Woljeong	Hwadong	
Location		129°10'18.63"E, 35°16'48.72"N	128°40'18.70"E, 34°54'16.22"N	128°11'51.90"E, 35°12'6.79"N	127°59'13.63"E, 34°67'83.74"N	
Altitude (reservoir/max.)		160 m / 361 m	67 m / 310 m	107 m / 469 m	63 m / 362 m	
Mtann (°C) /Pann (mm)		14.7 / 1349	15.1 / 1778.6	15.1 / 1778.6	14.9 / 1578.7	
Reservoir vegetation	N. F.	Conifer	<i>Pinus densiflora</i> , <i>Pinus thunbergii</i> , <i>Chamaecyparis obtusa</i>	<i>P. thunbergii</i> , <i>C. obtusa</i>	<i>P. densiflora</i>	<i>P. thunbergii</i>
		Broad leaf	<i>Phyllostachys bambusoides</i> , other broadleaf trees	<i>Quercus</i>	<i>Quercus</i> , other broadleaf trees	<i>Quercus</i> , other broadleaf trees
	S. F.	Conifer	<i>Pinus rigida</i> , <i>C. obtusa</i>	<i>P. rigida</i> , <i>C. obtusa</i>	<i>P. densiflora</i> , <i>C. obtusa</i>	<i>P. rigida</i> , <i>C. obtusa</i>
		Broad leaf	<i>Populus deltoides</i>	-	-	-
Reservoir		Wolryong	Jangdong	Wonseon	Mannyeon	
Location		127°23'53.13"E, 35°6'27.04"N	126°34'2.57"E, 34°45'21.36"N	126°34'4.27"E, 35°7'36.31"N	125°58'52.00"E, 34°42'2.37"N	
Altitude (reservoir/max.)		160 m / 361 m	67 m / 310 m	163 m / 370 m	129 m / 206 m	
Mtann (°C) /Pann (mm)		12.7 / 1532.4	14.4 / 1363.3	13.1 / 1378	13.8 / 1516.2	
Reservoir vegetation	N. F.	Conifer	<i>P. densiflora</i>	<i>P. densiflora</i>	<i>P. densiflora</i>	<i>P. densiflora</i> , <i>P. thunbergii</i>
		Broad leaf	<i>P. bambusoides</i> , <i>Quercus</i>	<i>P. bambusoides</i> , <i>Quercus</i>	<i>Quercus</i> , other broadleaf trees	other broadleaf trees
	S. F.	Conifer	<i>P. rigida</i> , <i>C. obtusa</i>	<i>P. rigida</i> , <i>C. obtusa</i>	<i>C. obtusa</i>	<i>P. thunbergii</i> , <i>P. rigida</i>
		Broad leaf	<i>Castanea crenata</i> , <i>Acer pictum</i>	-	<i>Q. acutissima</i> , <i>Liriodendron tulipifera</i>	-

*Mtann: Mean annual temperature, Pann: annual Precipitation, N.F.: Natural forest, S.F.: Secondary forest.

해륙풍이 연구지역 전체에 큰 영향을 끼치지만, 지역적으로는 저수지의 특성상 산곡풍의 영향을 자주 받는다. 저수지는 부산(마지저수지), 거제(죽토저수지), 진주(월정소류지), 여수(화동저수지), 순천(월용저수지), 영암(장동제), 함평(원선2제), 신안(만년1제)에 위치한다(그림 6 a-h). 저수지는 인위적인 영향이 적으며, 남해안 일대 내륙지방과 해안지방을 고려하여 선정하였다. 각 저수지별 특징은 표 3과 같다.

4. 연구방법

국내에서는 이와 같은 연구가 많이 이루어지지 않아 모니터링을 계획하고 채집기를 설치하는데 있어 국외 연구사례에서 제시된 방법들을 많이 참고하였다(Birks and Birks, 1980; Birks, 1985; Traverse, 2007; Poska, 2013; Wen *et al.*, 2013; Wei and Zhao, 2016; Zhang *et al.*, 2016; Quamar, 2019; Torres *et*

al., 2019). 연구지역 사전답사를 통해 각 저수지별 지형 및 식생을 파악하고, 지형적 요인의 차이가 적은 위치를 선정하여 채집기를 설치하였다. 또한 화분을 분석하는데 있어 추가적으로 발생할 수 있는 변수를 줄이기 위하여 채집기별 크기와 재질을 통일시켰다.

4.1 저수지 퇴적물 채집기

저수지 퇴적물 채집기는 지름이 40 cm에 철타로 구성된 채집기, 지름 41 cm인 채집기 뚜껑, 부표, 부표와 채집기를 연결하는 5~6 m의 밧줄로 구성되어 있다(그림 7). 채집기 설치에 앞서, 저수지의 전반적인 수심을 측정하여 유속이 빠르지 않으며 5 m 이내 일정한 수심을 보이는 지점을 선정한다. 선정된 지점의 수심과 좌표를 측정하고 채집기와 부표를 밧줄로 연결한 후 저수지 바닥에 채집기를 설치한다. 이때 채집기가 기울어지지 않도록 조심하며, 유속에 떠밀려 쓰러지지 않도록 바닥 깊숙이 박힐 수 있게 설치한다. 설치를 완료하면 퇴적물이 충분히 퇴적될 수 있도록 한 달간 방치한다. 채집기를 수거 할 때

에는 먼저 밧줄을 통해 채집기 뚜껑을 닫고, 채집기가 기울어지지 않게 천천히 끌어올려 수거과정에서 시료가 유실되지 않도록 한다. 수거된 채집기 내 퇴적물의 상태를 기록하고 채집된 퇴적물 및 상층액을 모두 시료 수거용 플라스틱 통(38×18×39 cm)에 옮겨 담는다. 빈 채집기는 깨끗이 세척 후 기존에 설치한 위치에 다시 재설치하여 한 달간 방치한다. 위 작업을 반복하며 저수지에 퇴적되는 퇴적물을 모니터링 한다(그림 8).

4.2 풍매화 화분 포집기

풍매화 화분 포집기는 100 μm와 10 μm 그물 크기 나일론 체(100 μm & 10 μm mesh-size nylon sieve)로 구성된 포집기, 포집기를 걸어줄 T자형 철타결이 그리고 포집기를 지지할 2~3 m 높이의 철타지지대로 구성되어 있다(그림 9). 포집기 설치 장소는 사방이 트여있어 풍매화 화분의 유입이 용이하며, 바람이 잘 불어오는 장소(제방)로 선정한다. 먼 저 지지대가 바람에 쓰러지지 않도록 바닥에 단단히

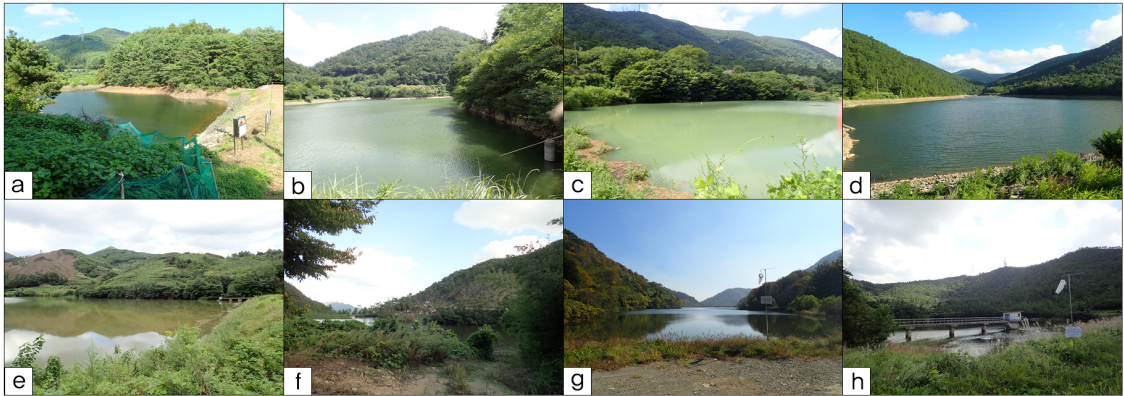


Fig. 6. View of the eight reservoirs. a: Maji, b: Jukto, c: Woljeong, d: Hwadong, e: Wolryong, f: Jangdong, g: Wonseon, and h: Mannyeon.

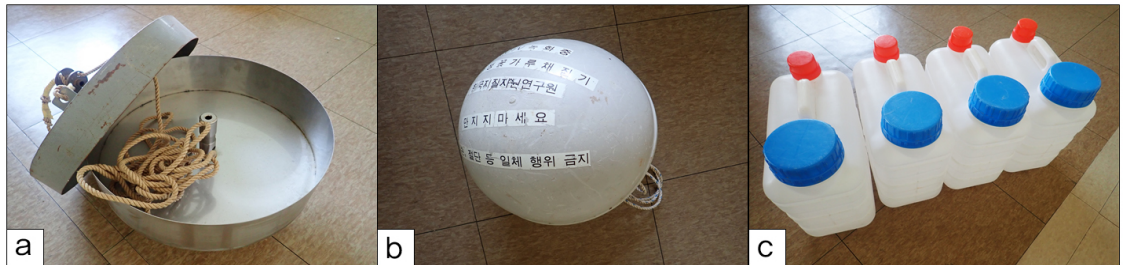


Fig. 7. Equipments for reservoir sediment trap. a: trap, b: Buoy, c: Plastic container.

고정하여 설치한다. 지지대 위에 회전이 가능한 T자형 철제걸이를 설치하고, T자 한 쪽 끝에 나일론 체로 만들어 진 포집기를 설치한다. 풍향계와 같은 원리로 바람이 불어오는 방향에 맞춰 포집기가 회전하게 되며, 바람을 따라 유입된 풍매화 화분이 포집기 내 포집된다. 포집기는 분기마다 수거하며, 현장에서 포집물만 수거하기 어려우므로 새 포집기와 교체하는 방식을 이용한다. 증류수와 붓을 이용하여 포집기와 포집물을 분리하고, 포집물은 건조 후 보관, 포집기는 세척 후 다음 수거 때 사용한다(그림 10).

4.3 사면 퇴적물 채집기

사면 퇴적물 채집기는 가로×세로×높이가 100×100×25 cm인 사각 플롯(plot)과 사면을 따라 흐르는 시료를 채집할 길이 96 cm의 시료 통, 물은 흘러보내고 시

료만 건져줄 10 μm 메시 크기의 나일론 체로 구성되어 있다(그림 11). 표층에 위치한 화분은 먼저 저수지 유역 내, 저수지와 가깝고 식생이 우거지지 않아 강수의 유입이 용이한 곳을 선정한다. 경사가 너무 가파르면 심한 강우에 의해 채집기가 파손되거나 시료가 유실 될 수 있으므로 경사가 45° 이상인 장소는 피한다. 장소가 선정되면 사각 플롯 한 면에 존재하는 퇴적물 배출구가 경사 아랫방향에 위치하도록 설치한다. 퇴적물이 강우와 함께 배출될 때 시료유실이 발생하지 않도록, 배출구 아래 빈틈이 생기지 않게 시료 통을 설치한다. 시료 통에 배수구멍을 뚫고 10 μm 그물 크기 나일론 체(10 μm mesh-size)를 덮어 물은 흘러나가고 걸러진 시료만 시료 통에 남을 수 있도록 한다. 시료는 건기와 우기가 지나는 시기에 맞춰 채집하며, 붓과 시료봉투를 이용하여 현장

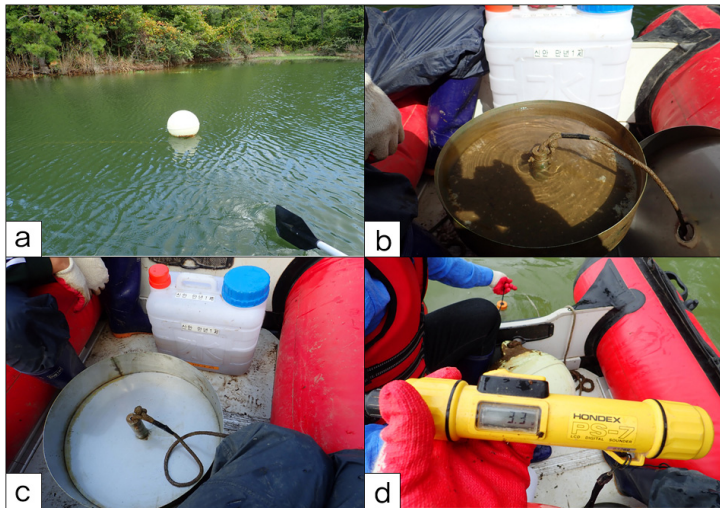


Fig. 8. Installing and collecting process of reservoir sediment trap. a: Buoy connecting the sediment trap before sediments collecting, b: Retrieving sediments, c: Clean-up trap after sediments collecting, and d: Measuring water depth of trap location on bottom of reservoir floor using the gauger (model: Hondex PS-7, LCD Digital Sounder).



Fig. 9. Equipments for anemophilous (wind-driven) pollen trap. a: Trap, b: T-shaped trap holder, c: Ladder used to retrieve pollen trap.

에서 시료채집을 실시한다(그림 12).

4.4 표층시료 채집

동일한 부피의 시료를 채집하기 위하여 가로×세로×높이가 10×10×2.5 cm인 사각 플롯(plot)과 모종삽을 준비한다. 저수지 유역 내 고도가 가장 높은 지

역을 선정하고 이를 고도 100 m 단위로 구분한다. 등산로나 구조물 같은 인위적인 영향을 받지 않았으며, 되도록 수목이 우거지지 않은 열린 공간을 채집 지역으로 선정한다. 표층의 식생 및 낙엽을 걷어내고 사각 플롯을 표층에 박아 틀의 부피와 동일한 양만큼만 토양시료를 채집한다. 모든 시료의 동일한 부

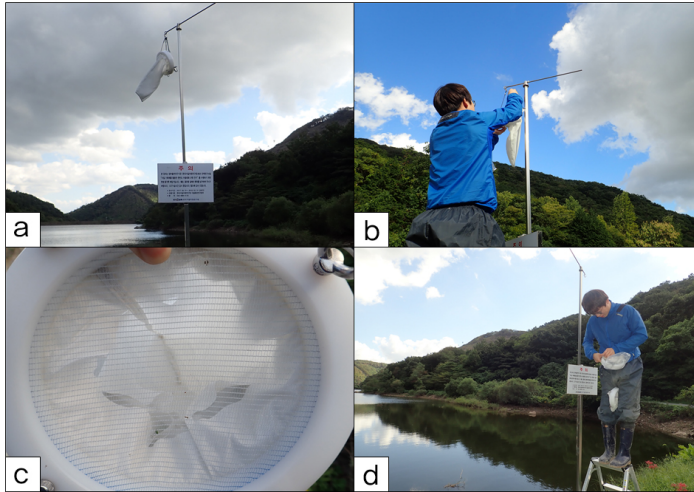


Fig. 10. Installing and collecting process of anemophilous (wind-driven) pollen trap. a: Installed trap, b: Retrieving trap, c: Check the pollen grains trapped in 10 µm mesh-size nylon sieve, and d: Reinstalling new trap.



Fig. 11. Equipments for mountain slope sediment trap. a: Metal plot, b: sediment trap, and c: 10 µm mesh-size nylon sieve for sediment collecting.



Fig. 12. Installing and collecting process of mountain slope sediment trap. a and b: Install a plot, and c: Retrieving the pollen and sediments.

피를 확보하기 위해서는 시료를 사각 플롯에 담긴 채로 시료 봉투에 수거 한다. 표층시료 채집은 장마가 오기 전, 후로 실시하며, 채집한 시기 해당 지역의 온도, 강수량 등 기후조건을 함께 기록한다(그림 13).

4.5 실험 및 분석

각 채집기에서 회수된 시료는 현미경 분석을 위해 200 μm 그물 크기의 체를 이용한 습식체질, 염산(HCl) 반응처리, 불산(HF) 반응처리, 습식체질(10 μm ~100 μm), 아세트산분해, 비중액 처리, 부틸알코올을 이용한 탈수작용, 박편제작 실험 순서로 진행된다. 습식체질(200 μm) 후 동일한 실험조건을 갖추기 위해 5 g 또는 10 g의 표본시료를 채취한다. 화분동정 단계에서 표본시료의 총 화분 양(pollen concentration)을 계산하기 위해 각 시료마다 Lycopodium tablet 2 알(5 g 시료는 1알)을 주입한다(Stockmarr, 1971). 시료 내 석회질교결물질을 제거하기 위해 35~40 ml 염산(30% 농도)에 반응처리 한 후 24시간 이상 반응을 기다린 다음 증류수로 3차례 세척한다. 그리고 규질교결물질을 제거하기 위해 35~40 ml 불산(30~40% 농도)에 반응처리 한 후 24시간 이상 반응처리 하고 증류수로 3차례 세척한다. 세척이 끝난 시료는 한 번 더 습식체질(10 μm ~100 μm)을 실시한 후 아세트산분해를 실시한다. 아세트산분해를 위해 아세트산 무수물($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_3$)과 황산(H_2SO_4)을 9:1 비율로 섞은 혼합액을 사용하며 90 $^{\circ}\text{C}$ 의 중탕기에서 4분 동안 열처리하여 반응을 촉진시킨다. 장시간 반응 할 경우 시료 내 화분이 변질될 수 있으므로 시간을 엄수하며, 세척 단계에선 사용한 혼합액이 시료에서 완전히 제거 될 수 있도록 여러 번 실시한다. 세척이 완료되면 수분을 최대한 제거한 후 2.0의 비중을 가진 비중액을 이용하여 비중 2.0 보다 무거운 시료는 제거한다.

비중액 세척을 위해 염산으로 1차례 세척, 증류수로 3차례 세척을 실시한 후 부틸알코올을 이용하여 시료 내 수분을 완전히 제거한다. 탈수된 화분은 글리세린 젤리를 이용하여 슬라이드 글라스에 고정시키고, 커버 글라스를 덮어 화분 박편제작을 완료한다. 광학현미경을 통해 각 시료마다 300개의 화분 개수를 세어 화분동정을 실시한다(그림 14).

5. 토 의

5.1 저수지 퇴적물 채집기

저수지 유역 내 퇴적물의 유동은 하천, 바람, 사태 등 다양한 경로를 통해 발생한다. 그 중 하천은 많은 양의 퇴적물을 지속적으로 이동시키며 저수지 내 퇴적물 주공급원 역할을 한다. 저수지 퇴적물 채집기는 유수에 따라 저수지로 유입된 퇴적물이 저수지 내에 퇴적될 때, 저수지 바닥에 위치한 채집기에도 동일하게 퇴적되는 원리로 시료를 채집한다. 한 달 간격으로 모니터링 하며, 기후 및 환경 변화에 따라 달라지는 퇴적물의 양과 채집기 내에서 나타나는 퇴적형태 등을 기록하는데 목적을 두고 있다. 보통 저수지 퇴적물 채집기는 다른 채집기보다 더 많은 양의 시료를 제공하고 시료의 형태가 기후 및 환경 변화 영향을 많이 받기 때문에 시료분석결과 양질의 자료가 생산될 것으로 보인다. 또한 저수지 유역 내 상류에서 저수지까지 하천을 따라 내려오며 근처에 위치하는 식생환경에서 퇴적물을 공급 받기 때문에 저수지 퇴적물에는 저수지 유역 내 식생군락을 반영하는 현생화분 자료가 내포되어 있다. 이를 근거로 하면 저수지 퇴적물 시료에서는 기후 및 환경 변화를 반영하는 현생화분 산출특성을 파악 할 수 있다, 저수지별 인위적 및 자연적인 기후환경 변화와 현생



Fig. 13. Equipments for collecting surface soil samples. a: Sampler, b and c: Sampling location acquisition using Global Positioning System (Model: Trimble R2).

화분 산출특성 간의 관계를 분석하면 그 연관성을 상관관계식으로 도출 할 수 있을 것으로 예상된다.

5.2 풍매화 화분 포집기

대부분의 퇴적물은 바람을 통해서 멀리 이동하기 쉽지 않지만, 황사나 화분과 같이 μm 단위의 크기를 가진 경우 풍속에 따라 수 백 km 까지 이동이 가능하다(Xu *et al.*, 2016). 연구지역 또한 바람에 날려 온 퇴적물의 영향을 지속적으로 받고 있으며, 이는 충분히 저수지 유역 내 현생화분 산출분석에 영향을 끼칠 것으로 보인다. 회전하는 철제걸이에 걸린 포집기는 바람이 불면 풍향계와 같은 원리로 바람이 불어오는 방향에 맞춰 회전하게 되며, 바람을 따라 이동하던 화분이 포집기 내에 포집되는 원리로 시료를 채집한다. 채집된 화분의 양을 분석하고, 분석결과를 저수지 유역 현생화분 산출결과에 대입하여 풍매화 화분 산출 값을 보정하는데 목적을 두고 있다. 이 자료가 현생화분 산출특성에 반영되면 좀 더 정확한 자료를 생산해 낼 수 있을 것으로 기대된다. 이외에도 풍매화 화분 포집기 생산 자료는 풍매화 화분의 이동 메커니즘을 조사하는데 이용될 수 있다. 물론 양질의 결과를 생산하기 위해서는 한반도의 자세한 지형자료를 고려하고 월별강수량, 풍향, 풍속과 같은 상세한 기후자료가 뒷받침되어야 한다, 하지만 한반도 지형에 맞는 풍매화 화분 이동 메커니

즘 조사 자료가 아직 없기 때문에 처음 시도를 할 수 있다는 점에서 의미가 있을 것으로 생각된다.

5.3 사면 퇴적물 채집기

앞서 말한 바와 같이 저수지에 퇴적되는 퇴적물의 상당한 부분은 하천을 통해 유입된다. 하천에 가까운 식생일수록 화분을 하천에 보내기가 유리하고, 멀어질수록 하천까지 도달하지 어려워져 인근 사면에 안착하게 되는데(Xu *et al.*, 2016), 이는 저수지 퇴적량의 차이로 나타난다. 저수지 퇴적물에 함유된 화분은 대부분 하천을 따라 유입된 것이지만, 인근 사면에 산포된 화분들 또한 강수에 의해 사면을 따라 소량이지만 저수지로 유입된다. 사면 퇴적물 채집기는 단위면적을 제한하여 강수를 따라 사면에서 저수지로 유입되는 현생화분의 양을 조사하고, 현생 화분 산출 특성에 얼마큼 영향을 미치는지 파악하기 위해 설치하였다. 저수지 유역 내 실제 식생분포와 하천 근처 식생분포 차이가 현생화분 산출특성 결과에 미치는 영향을 분석하면, 식생환경과 현생화분 산출특성 간의 상관관계를 도출 할 때 정확한 자료 생산에 도움 될 것으로 예상된다.

5.4 표층시료 채집

화분은 과거 식생 및 기후를 복원하는데 있어 매우 유용한 지시자 중 하나이다(Traverse, 2007). 그

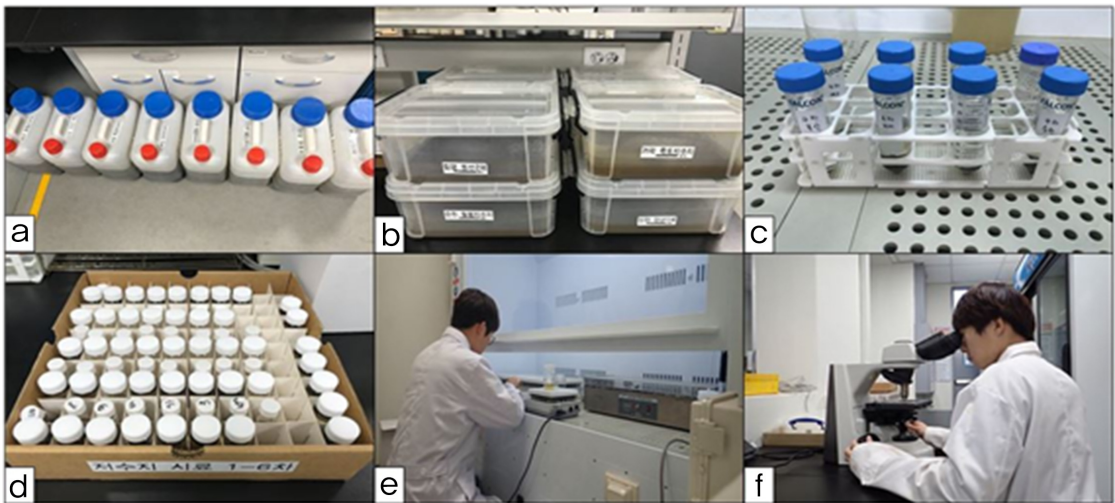


Fig. 14. Chemical pretreatments in pollen laboratory and pollen identification with optical microscope. a: Sediments, b: Residual sediments after 100 μm sieving. c: Samples after centrifuging and sieving with 10 μm , d: Residues after chemical pretreatments, e: Making slide, and f: Screening check the slide.

중 표층에 있는 화분을 채집하여 고온도를 복원하는 연구가 세계적으로 많이 진행되어 왔는데, 최근 국내에서도 표층시료를 통해 고온도를 복원하는 연구가 진행된 바 있다(Park, 2011). 이 연구를 선례로 하여 한반도 남부지역에 위치한 저수지 유역의 고온도를 복원하기 위해 저수지 유역 내 고도별 표층시료를 채집하였다. 고도별로 산출된 화분과 고도별 온도 추정 값을 기반으로 하는 Plant Transform Function 방법을 이용한 고온도의 정량적 복원 연구는 아직 국내에서 많이 연구되지 않아 더 의미가 있을 것으로 생각된다. 고도별로 채집한 화분의 산출특성은 정량적 고온도 수치자료 생산 외에도 고도에 따른 식생변화와 연관이 있기에(Chen *et al.*, 2017) 저수지 퇴적물 시료에서 생산된 현생화분 산출특성 자료와 비교 분석이 가능할 것으로 생각된다. 이번 연구를 통해 생산된 자료는 저수지 유역뿐만 아니라 추후 한반도 남부지역 전체의 정량적 고온도 복원 및 현생화분 산출특성 연구를 진행하는데 있어 기반이 될 것이라 생각한다.

6. 결론

퇴적물로부터 산출된 화분 연구는 과거의 기후와 식생 복원을 가능하게 한다. 이를 이용한 한반도의 고기후와 고환경 복원하는 연구는 지금까지 수차례 진행되어 왔으며 대부분 정성적인 결과자료를 생산하였다, 하지만 화분분석 자료의 정확성을 높이기 위해서는 과거 식생천이와 퇴적환경 해석 및 온도-강수량의 정량적인 수치자료 생산이 요구된다. 또한 화분기반의 시계열적 정량 온도 및 강수량 자료는 타 분야(예, 고기후 모델링)에서 활용될 수 있는 매우 중요한 기초자료가 될 것이다.

한반도 남부지역의 정량적 온도 및 강수량 수치자료를 생산하기 위해 인위적 영향이 적은 8곳의 저수지를 선정하여 표층퇴적물의 현생화분 조사 및 식생환경 모니터링을 실시하였다. 저수지 퇴적물 채집기, 풍매화 포집기, 사면 퇴적물 채집기를 설치하여 시료를 채집하였고 저수지 유역 내 고도별 표층시료를 추가로 채집하였다. 저수지 퇴적물 시료는 대부분 저수지로 유입되는 하천 퇴적물로 구성되어 있으며 저수지 유역의 기후 및 식생 환경정보를 잘 반영하고 있다. 풍매화 포집기 시료는 바람에 따라 이동

하는 미세물질 및 풍매화로 구성되어 있으며 저수지 유역 내 퇴적물에 풍매화가 어느 정도 영향을 끼치는지 조사하는데 목적을 두고 있다. 사면 퇴적물 시료는 하천이 아닌 저수지 사면을 따라 저수지로 유입되는 시료를 조사하기 위해 설치하였다. 고도별 표층시료는 한반도 남부지역 고온도의 정량적 복원을 위해 채집하였으며 추가적으로 저수지 유역 내 고도별 현생화분 산출특성을 보여줄 것으로 기대된다. 시료채집 외에도 저수지 주변에 대한 월별 모니터링을 실시하여 식생의 자연적 및 인위적 변화를 기록하였고, 현지식생 조사 및 문헌 조사를 통해 바이옴을 분석하고 있다.

본 연구는 현재 진행 중에 있으며 추후 기대되는 결과자료는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 각 채집기 시료를 분석하여 현생화분 종을 동정하고 산출특성을 파악한다. 저수지 퇴적물 시료의 자료를 중심으로 하여 산출특성 자료를 도출하고 풍매화 화분 포집기 및 사면 퇴적물 시료의 분석 결과를 통해 도출된 자료를 보정하여 화분분석의 정확성과 정밀성을 높인다.
- 2) 월별 모니터링 및 식생조사 자료를 분석하여 각 저수지 별 바이옴을 정립한다. 이번 연구뿐만 아니라 추후 이 지역의 기본 식생자료로 사용될 수 있도록 상세하고 정확한 자료를 생산한다.
- 3) 고도별 산출 화분과 추정 온도 자료에 대한 상관분석을 실시하여 이 지역의 고온도를 복원하기 위한 자료를 구축한다. 고도별 화분 산출 결과는 저수지 유역 내 고도별 식생환경을 나타내기 때문에 바이옴 생산에 참고 자료로 사용할 것이다.
- 4) 바이옴과 현생화분 산출특성 간의 상관관계를 분석하여, 결과를 정량적인 상관관계식으로 도출한다. 이번 연구의 최종 목표는 오차와 변수를 최소화하여 객관적이고 정량적인 자료를 생산하는 것이다.

이번 연구를 통해 획득되는 자료는 앞으로 한국에서 화분연구의 정밀성과 신뢰성을 제고하는데 크게 기여할 것으로 생각한다.

감사의 글

이 연구는 한국지질자원연구원의 주요과제인 “지

질 기록체를 활용한 한반도 아열대화 규명 연구: 중기 홀로세 기후-특성 평가(GP2017-013)의 일환으로 수행되었다. 이 논문의 심사과정을 통하여 논문의 질적 향상에 도움을 주신 익명의 심사위원께 진심으로 감사드립니다.

REFERENCES

- Birks, H.J.B., 1985, Numerical Methods In Quaternary Pollen Analysis. Academic Press, p. 317.
- Birks, H.J.B. and Birks, H.H., 1980, Quaternary Palaeoecology. London, Edward Arnold, p.289.
- Cao, X.Y., Herzschuh, U., Telford, R.J. and Ni, J., 2014, A modern pollen-climate dataset from China and Mongolia: Assessing its potential for climate reconstruction. Review of Palaeobotany and Palynology, 211, 87-96.
- Chen, X.M., Huang, X.Z., Wu, D., Zhang, X.N., Dodson, H., Zhou, A.F. and Chen, F.H., 2017, Modern pollen assemblages in topsoil and surface sediments of the Xingyun Lake catchment, central Yunnan Plateau, China, and their implications for interpretation of the fossil pollen record. Review of Palaeobotany and Palynology, 241, 1-12.
- Chen, Y., Ni, J. and Herzschuh, U., 2010, Quantifying modern biomes based on surface pollen data in China. Global and Planetary Change, 74, 114-131.
- Choi, E.S. and Moon, I.J., 2008, The Variation of Extreme Values in the Precipitation and Wind Speed during 56 Years in Korea. Journal of the Korean Meteorological Society, Atmosphere, 18, 397-416.
- Kang, I.S., 1994, The Scenario of Temperature Change in Korea Associated with Global Warming (I). Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences, 30, 247-260.
- Lee, E.M., Yi, S.H., Jo, K.N. and Kim, Y.M., 2017, Modern pollen morphological taxonomic characteristics of climate-sensitive species in Korean Peninsula. Journal of the Geological Society of Korea, 53, 833-844 (in Korean with English abstract).
- Lee, S.H., Heo, I.H., Lee, K.M. and Kwon, W.T., 2005, Classification of Local Climatic Regions in Korea. Journal of the Korean Meteorological Society, 41, 983-995 (in Korean with English abstract).
- Park, C.Y., Choi, Y.E., Moon, J.Y. and Yun, W.T., 2009, Classification of Climate Zones in South Korea Considering both Air Temperature and Rainfall. Journal of the Korean Geographical Society, 44, 1-16 (in Korean with English abstract).
- Park, C.Y., Moon, J.Y., Cha, E.J., Yun, W.T. and Choi, Y.E., 2008, Recent Changes in Summer Precipitation Characteristics over South Korea. Journal of the Korean Geographical Society, 43, 324-336 (in Korean with English abstract).
- Park, J., 2011, A modern pollen-temperature calibration data set from Korea and quantitative temperature reconstructions for the Holocene. The Holocene, 21, 1125-1135.
- Park, J., 2013, Mid- and Late-Holocene Climate Change in South Korea. Journal of climate research, 8, 127-142 (in Korean with English abstract).
- Park, J., Lim, H.S., Lim, J.S. and Park, Y.H., 2014, High-resolution multi-proxy evidence for millennial- and centennial- scale climate oscillations during the last deglaciation in Jeju Island, South Korea. Quaternary Science Reviews, 105, 112-125.
- Park, J.C., Yang, K.C. and Jang, D.H., 2010, The Movement of Evergreen Broad-Leaved Forest Zone in the Warm Temperate Region due to Climate Change in South Korea. Journal of climate research, 5, 29-41 (in Korean with English abstract).
- Poska, A., 2013, Pollen methods and studies | Surface samples and trapping. Encyclopedia of Quaternary Science (Second Edition), p. 839-845.
- Quamar, M.F., 2019, Surface pollen distribution from Akhnoor of Jammu District (Jammu and Kashmir), India: implications for the interpretation of fossil pollen records. Palynology, 1-10, doi.org/10.1080/01916122.2019.1568317
- Stebich, M., Rehfeld, K., Schlütz, F., Tarasov, P.E., Liu, J. and Mingram, J., 2015, Holocene vegetation and climate dynamics of NE China based on the pollen record from Sihailonwan Maar Lake. Quaternary Science Reviews, 124, 275-289.
- Stockmarr, J., 1971, Tablets with Spores used in Absolute Pollen Analysis. Pollen et Spores, 13, 615-621.
- Tian, F., Cao, X.Y., Dallmeyer, A., Zhao, Y., Ni, J. and Herzschuh, U., 2017, Pollen-climate relationships in time (9 ka, 6 ka, 0 ka) and space (upland vs. lowland) in eastern continental Asia. Quaternary Science Reviews, 156, 1-11.
- Torres, G.R., Perez, C.F. and Lupo, L.C., 2019, Altitudinal patterns of wind transport and deposition of Yungas tree pollen in northwestern Argentina: Implications for interpreting the Quaternary fossil record. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 520, 66-77.
- Traverse, A., 2007, Paleopalynology: Second Edition. Springer, p. 813.
- Wei, H.C. and Zhao, Y., 2016, Surface pollen and its relationships with modern vegetation and climate in the Tianshan Mountains, northwestern China. Veget Hist Archaeobot, 25, 19-27.
- Wen, R., Xiao, J., Ma, Y., Feng, Z., Li, Y. and Xu, Q., 2013, Pollen-climate transfer functions intended for temper-

- ate eastern Asia. *Quaternary International*, 311, 3-11.
- Xu, Q.H., Zhang, S.R., Gaillard, M.J., Li, M.Y., Cao, X.Y., Tian, F. and Li, F.R., 2016, Studies of modern pollen assemblages for pollen dispersal-deposition- preservation process understanding and for pollen-based reconstructions of past vegetation, climate, and human impact: A review based on case studies in China. *Quaternary Science Reviews*, 149, 151-166.
- Yi, S., 2008, Palynological study of late Quaternary lacustrine- and wetland-deposits for paleoclimatic reconstruction: A general review. *Journal of the Geological Society of Korea*, 44, 105-117 (in Korean with English abstract).
- Yi, S., Kim, J.Y., Yang, D.Y., Oh, K.C. and Hong, S.S., 2008, Mid- and Late-Holocene palynofloral and environmental change of Korean central region. *Quaternary International*, 176-177, 112-120.
- Yoon, S.O., 1997, The Holocene Environmental Change and Reconstruction of the Palaeogeography at Ilsan Area with the Special Reference to Pollen Analysis. *Journal of the Korean Geographical Society*, 32, 15-30.
- Zhang, S.R., Xu, Q.H., Gaillard, M.J., Cao, X.Y., Li, J.Y., Zhang, L., Li, Y.C., Tian, F., Zhou, L.P., Lin, F.Y. and Yang, X.L., 2016, Characteristic pollen source area and vertical pollen dispersal and deposition in a mixed coniferous and deciduous broad-leaved woodland in the Changbai mountains, northeast China. *Veget Hist Archaeobot*, 25, 29-43.
-
- Received : November 26, 2019
Revised : January 5, 2020
Accepted : January 6, 2020