

(기술노트) 주진천 하류역의 퇴적물에서 산출되는 화분과 와편모조류 군집 특성

이상현*, 이진영, 한민, 임재수, 전창표
한국지질자원연구원 국토지질연구본부

(Technical note) Pollen and dinoflagellate cyst assemblages from the surface sediments of the lower reach of the Jujin Stream

Sangheon Yi*, Jin-Young Lee, Min Han, Jaesoo Lim, Chang-Pyo Jun
Geology Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

요 약 : 곰소만을 접하고 있는 주진천 하류역의 표층시료로부터 향산화 유기질로 이루어진 해성 와편모조류와 염습지 식물의 화분 산출 특성을 이용하여 주진천에 바닷물의 최대 유입한계유역을 파악하였다. 이들의 상대적인 산출비를 통하여 주진천 하류역에서는 연안 해역, 기수역 및 담수역으로 더욱 세분하였다. JJR-41~JJR-36 정점구간에서 와편모조류의 풍부한 출현은 이 구간이 연안해역임을 잘 반영한다. JJR-35~JJR-5 정점구간에서는 해성 와편모조류와 냇가 또는 염습지 식물의 화분(예, 갈대속, 사초과)이 함께 출현하는 것으로 보아 기수역 환경을 나타낸다. 와편모조류가 JJR-4 정점까지 산출되는 것으로 보아 만조 시 바닷물이 이곳까지 최대 유입하는 한계 유역일 가능성이 높은 것으로 해석된다. 이러한 해석은 해발고도기반의 만조 시 바닷물이 유입할 수 있는 최대 분포역을 나타낸 가상 침수도와 비교적 잘 부합된다.

주요어 : 화분, 와편모조류, 주진천 하류역

Abstract : The maximum upper limit of seawater inflow can be recognized by the acid-resistant dinoflagellate cysts and salt-marsh pollen encountered from surface samples in the lower reach of Jujin Stream facing Gomso Bay. Based on their relative yield ratio, the downstream area of Jujin Stream could be further subdivided into coastal marine, brackish-upper limit brackish, and freshwater environments. The abundance of dinoflagellate cysts from JJR-41 to JJR-36 sites reflects that this area is a coastal marine. In the section between JJR-35 and JJR-5 sites, dinoflagellate cysts associated with pollen derived from riparian or salt-marsh (e.g., reeds and sedges) appear to reflect the brackish environments. It may be indicated that dinoflagellate cysts appear up to the JJR-4 site, which is the maximum upper limit where seawater flows up to this point at high tide. This analysis is relatively well corresponding to the hypothetical inundation map showing the maximum flooding area where seawater can flow at high tide.

Key words : Pollen, Dinoflagellate cysts, Lower reach of Jujin Stream

1. 서론

한반도의 서해안은 대조차(macro tidal regime, 약 9m 조차)의 조간대 지역으로 이곳에 접하는 강 하구연(estuary) 또는 하구(river mouth)들은 조수에 의해 수질(염분도, 영양유입), 퇴적작용 및 생태환경 등이 복합적으로 영향을 받는 곳이다. 서해안의 중부에 위치한 주진천 역시 곰소만의 남쪽연안과 접하고 있으며 조수의 영향을 강하게 받는 지역이다. 그리하여 조수간만에 따른 하천 유역의 환경 생태와의 상관성을 파악하고 이해하는데 이상적인 곳 중의 하나라고 할 수 있다.

스포로폴레닌(sporopollenin)이란 항산화 유기질 껍질로 구성된 육성기원의 화분과 해성기원의 외편모조류는 이러한 이유로 조간대 또는 하구연 등지의 연안 퇴적물속에도 화학적으로 견고하게 잘 보존된다(Traverse, 1988). 특히 바닷물의 염분도에 민감한 염습지 식물의 생육 분포지(González and Dupont, 2009; Jun et

al., 2010)와 외편모조류(Marret and Zonneveld, 2003; Obrezkova and Pospelova, 2019)의 군집 특성은 강(하천) 하류역에서 조수의 영향범위를 파악하는데 좋은 지표자가 될 수 있다(Hao et al., 2020; Mudie et al., 2002).

본 연구지역인 주진천 하류역은 행정구역상으로 전북 고창군 부안면 용산리 일대이다(Figure 1). 주진천의 유역 면적은 229.3km³이고, 유로 길이는 29.3km이다. 고창군 고수면은사리에 위치한 구황산(500m)에서 발원하는 주진천은 상류역에서는 북서쪽으로, 중류역부터는 북쪽으로 흐르다가 최종에는 곰소만으로 유입된다. 지형학적으로 주진천의 중·상류역은 대부분 농경지이고, 하류역은 대부분 산지로 형성되어 있다. 주진천 유역의 동쪽에는 소요산, 방문산, 문수산으로 이어지는 분수령을 경계로 갈곡천 유역 및 전남 장성군 북일면이 위치하는 황룡강 유역과 접해 있다. 남쪽으로는 구황상, 삼태봉, 왕제산을 분수령으로 황룡강 유역 및



Figure 1. Surface sampling sites for the modern palynomorph analysis along the lower reach of the Jujin Stream.

Table 1. Surface sampling sites for modern palynomorphs analysis along the lower reach of the Jujin Stream.

Sample Name	Latitude (N)	Longitude (E)	Altitude (m)	Tide level (m)	Date of survey
JJR01	35° 28' 21.4826"	126° 37' 26.2527"	7.500	469	2017-03-23 10:30
JJR02	35° 28' 43.2104"	126° 36' 35.6813"	5.526	548	2017-03-27 15:56
JJR03	35° 29' 46.0296"	126° 36' 4.3064"	2.724	359	2017-03-27 17:33
JJR04	35° 29' 50.7547"	126° 36' 03.9009"	2.981	589	2017-03-27 15:21
JJR05	35° 29' 57.3973"	126° 36' 04.8866"	2.589	479	2017-03-23 11:58
JJR06	35° 30' 02.4343"	126° 36' 08.4120"	2.219	482	2017-03-23 11:46
JJR07	35° 30' 00.4191"	126° 36' 17.6810"	1.916	481	2017-03-23 11:22
JJR08	35° 29' 58.8895"	126° 36' 23.2513"	2.810	322	2017-03-27 17:51
JJR09	35° 29' 57.1488"	126° 36' 36.7330"	1.679	451	2017-03-22 11:09
JJR10	35° 29' 58.7751"	126° 36' 44.3829"	2.070	458	2017-03-22 10:54
JJR11	35° 30' 00.8048"	126° 36' 51.7235"	2.499	435	2017-03-22 11:23
JJR12	35° 30' 06.9292"	126° 36' 53.6382"	2.194	427	2017-03-22 11:33
JJR13	35° 30' 13.5976"	126° 36' 47.8726"	2.433	461	2017-03-22 10:33
JJR14	35° 30' 22.3528"	126° 36' 44.6656"	2.968	412	2017-03-22 12:02
JJR15	35° 30' 25.0565"	126° 36' 38.7599"	2.747	404	2017-03-15 14:05
JJR16	35° 30' 27.0907"	126° 36' 33.1544"	2.372	443	2017-03-15 14:21
JJR17	35° 30' 29.9118"	126° 36' 25.6973"	2.991	476	2017-03-15 14:37
JJR18	35° 30' 31.9233"	126° 36' 15.9266"	2.842	502	2017-03-15 14:48
JJR19	35° 30' 31.6959"	126° 36' 11.3941"	1.742	524	2017-03-15 15:00
JJR20	35° 30' 33.0748"	126° 36' 01.1970"	1.880	569	2017-03-15 15:27
JJR21	35° 30' 36.0658"	126° 35' 54.6656"	2.276	268	2017-03-21 13:42
JJR22	35° 30' 41.3980"	126° 35' 49.9217"	1.370	270	2017-03-21 13:50
JJR23	35° 30' 47.4356"	126° 35' 48.2488"	1.668	267	2017-03-21 13:57
JJR24	35° 30' 54.4995"	126° 35' 47.6375"	1.527	254	2017-03-21 14:15
JJR25	35° 31' 01.1132"	126° 35' 51.1019"	1.212	253	2017-03-21 14:22
JJR26	35° 31' 05.7074"	126° 35' 53.8149"	0.601	255	2017-03-21 14:26
JJR27	35° 31' 11.7082"	126° 35' 56.0567"	0.665	260	2017-03-21 15:49
JJR28	35° 31' 18.3055"	126° 35' 56.5391"	0.742	263	2017-03-21 15:43
JJR29	35° 31' 24.7354"	126° 35' 56.9394"	0.792	260	2017-03-21 15:37
JJR30	35° 31' 31.3397"	126° 35' 55.8969"	0.388	258	2017-03-21 15:31
JJR31	35° 31' 36.9029"	126° 35' 53.3270"	0.238	258	2017-03-21 15:27
JJR32	35° 31' 43.1289"	126° 35' 49.5062"	0.445	255	2017-03-21 15:18
JJR33	35° 31' 47.1979"	126° 35' 45.3705"	0.481	253	2017-03-21 15:07
JJR34	35° 31' 53.2050"	126° 35' 37.8902"	1.039	311	2017-03-22 14:43
JJR35	35° 31' 57.8124"	126° 35' 34.4959"	0.579	307	2017-03-22 14:49
JJR36	35° 32' 03.8177"	126° 35' 34.6627"	0.735	301	2017-03-22 15:01
JJR37	35° 32' 09.8598"	126° 35' 37.2017"	0.244	303	2017-03-22 15:06
JJR38	35° 32' 14.5657"	126° 35' 44.3169"	0.922	295	2017-03-22 15:16
JJR39	35° 32' 20.3258"	126° 35' 47.6459"	0.932	288	2017-03-22 16:15
JJR40	35° 32' 28.4867"	126° 35' 52.9259"	0.027	291	2017-03-22 15:45
JJR41	35° 32' 34.0940"	126° 35' 53.1793"	0.539	283	2017-03-22 16:00

대산천 유역과 접하고 있다. 유역의 서쪽으로는 한제산, 청룡산, 경수산으로 연결되는 분수령을 경계로 해리천 유역과 접해 있고, 북쪽으로는 서해와 접하면서 심원면 용기리에서 서해로 유입된다(Digital Gochang Grandculture, <http://gochang.grandculture.net>). 유역의 지질은 주로 퇴적암류인 경상계 유천층군, 변성암류인 소백산변성암 복합체, 화성암류인 대보화강암류 및 편마상화강암 등이 분포되어 있다. 유천층군은 유역 하류에 있는 청룡산을 정점으로 동서 방향으로 유역을 등분한 하류역에 넓게 분포한다(Koh et al., 2013).

본 연구의 목적은 주진천 하류역의 표층 퇴적물에서 분석한 유기질 물질로 구성된 화분과 와편모조류의 군집특성을 통하여, 만조 시 조수의 최대 유입범위를 파악하는 것이다. 그리하여 향후 제4기 연안습지 퇴적층을 분석할 경우, 이들의 군집특성은 과거 해수면 변동에 따른 연안환경변화를 추적하고 복원하는데 유용한 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

2. 시료 및 연구방법

본 연구는 다목적용 분석시료를 획득하기 위해서 주진천 하류역의 약 10km 구간 내에 200m 간격으로 50개의 정점을 선정하고 Topcon사 GPS로 위치와 고도를 측량하였다(Figure 1 and Table 1). 선정된 정점은 2017년 3월 21~22일 동안 선박을 이용하여 하도 인접 지점에서 시료를 채취하였다. 시료는 표층으로부터 약 3cm 깊이에서 한 정점당 50ml conical tube에 5개씩을 채취하였다.

총 41개의 표층 퇴적물 시료는 유기질 기원의 화분과 와편모조류를 분석하기 위해 다음과 같이 전처리를 수행하였다. 제일 먼저 건조된 퇴적물 5g을 50ml conical tube에 담고, 통계처리용 석송속 포자(Lycopodium, 27,637 spores/1 tablet) 2알을 투입하였다.

Lycopodium은 탄산염물질에 의해 응집되어 있기 때문에 시료에 원활히 혼입되도록 하기 위해서 염산반응 전 투입을 권장한다(Mertens et al., 2012). 화분과 와편모조류의 추출을 위한 전 처리 습식실험은 Moore et al. (1991)의 표준방법에 따랐다. 퇴적물의 탄산염 광물을 제거하기 위해 35% 염산(HCl) 반응 후 증류수 세척을 하였고, 규산염 광물 제거를 위해 45% 불산(HF)으로 처리 후 또한 증류수 세척을 실시하였다. 염·불산 반응처리가 완료된 시료는 100µm, 10µm 금속 체(metal sieve)와 초음파 세척기를 이용하여 습식체질을 하였고, 걸러진 시료 중 불필요한 잔여 유기물(organic residues) 등을 제거하기 위해 10% 수산화칼륨(KOH) 수용액 반응을 거쳤다. 이후 염화아연 비중액(ZnCl₂, 2.0g/cm³)을 이용해 유기물을 무기물(2.5g/cm³)로부터 분리하고, 최종적으로 에탄올(99%)과 부틸알콜(99%)을 이용해 잔여수분을 완전히 제거(dehydration)하였다. 최종 잔여 유기물은 글리세린 젤리(Glycerin Jelly)를 이용하여 슬라이드(박편)를 제작하였고, Leica DM6B 광학현미경을 이용해 400배율로 관찰하였다. 화분과 와편모조류의 통계 분석을 위해서는 각 슬라이드 당 투입한 Lycopodium이 250개체 수에 도달할 때까지 화분과 와편모조류를 검경한 후, 결과자료는 Tilia Software(Grimm, 2011)을 이용하여 이들의 산출빈도를 표현하였다.

3. 결과

주진천 표층 퇴적물로부터 유기질 껍질로 이루어진 미생물체를 분석한 결과, 육성기원 화분, 담수조류 그리고 해성기원의 와편모조류 등이 다양하게 산출되었다(Figures 2 and 3).

화분에는 소나무속(*Pinus*)과 참나무속(*Quercus-Lepidobalanus*)이 우점으로 산출되었다. 그 외에도 침엽수에 속하는 개잎갈나무속(*Cedrus*), 삼나무속(*Cryptomeria*), 솔송나무속

이상현, 이진영, 한민, 임재수, 전창표

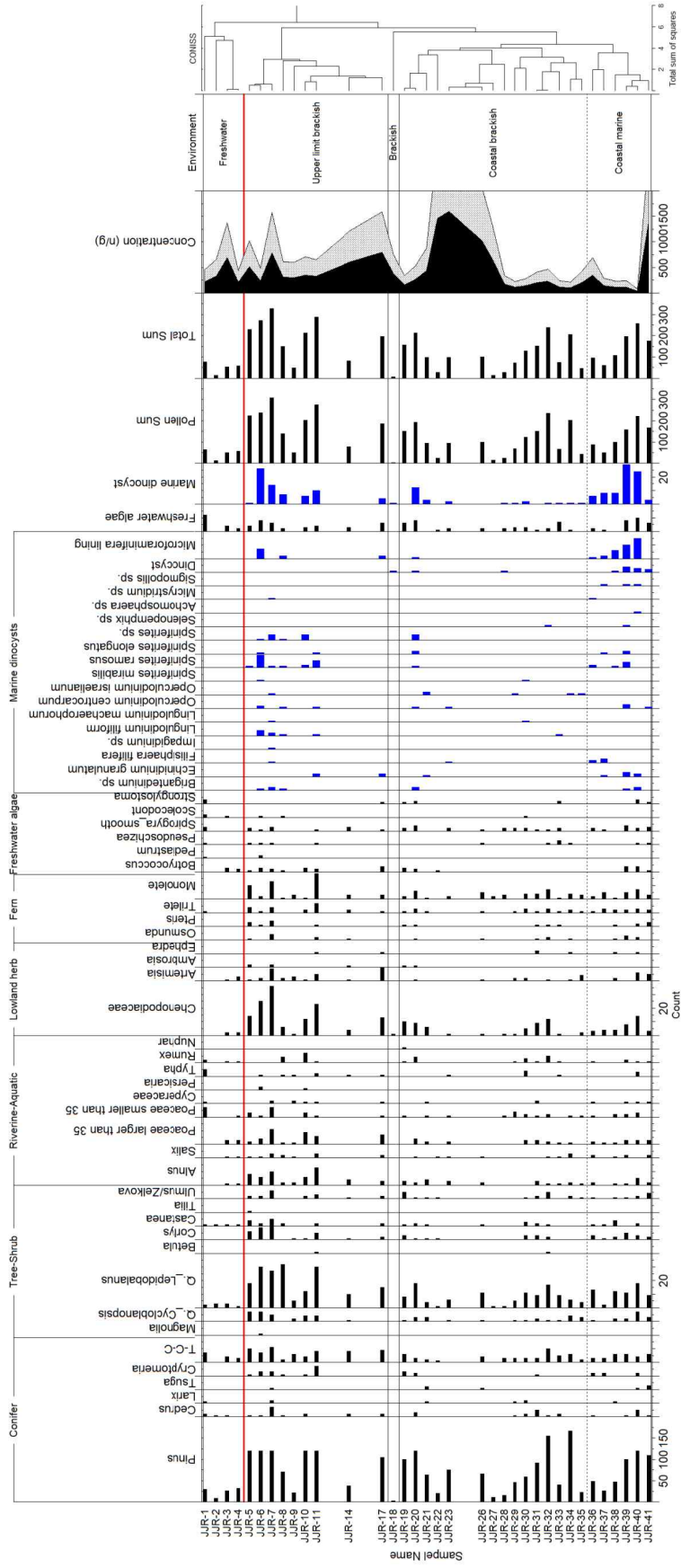


Figure 2. Modern palynomorph occurrence indicating the relevant aquatic environments of the lower reach of the Jujin Stream. The horizontal red line between JJR-4 and JJR-5 may reflect an upper limit of brackish during the highest tides.

(기술노트) 주진천 하류역의 퇴적물에서 산출되는 화분과 와편모조류 군집 특성

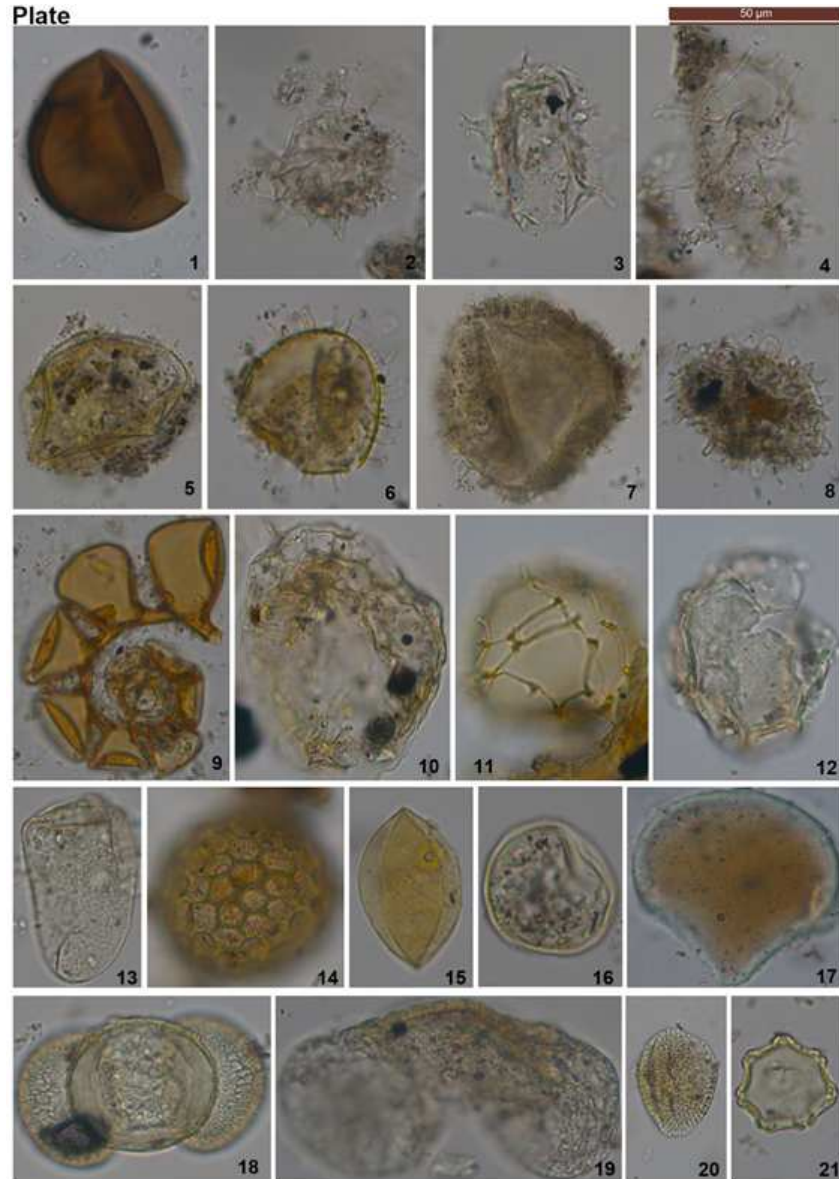


Figure 3. Microscopic photos of modern palynomorphs of the lower reach of the Jujin Stream. 1-12, coastal mesohaline dinoflagellate cyst; 13-17 & 20-21, pollen of riparian tree and grass; 18-19, montane conifer. 17, phytolith of a reed.

(*Tsuga*), 낙엽송속(*Larix*), 낙우송과-측백나무과(Taxodiaceae-Cupressaceae) 등이 비교적 풍부하게 산출되었다. 낙엽활엽수에는 목련속

(*Magnolia*), 가시나무속(*Quercus-Cyclobalanopsis*), 밤나무속(*Castanea*), 피나무속(*Tilia*), 느릅나무속/느티나무속(*Ulmus/Zelkova*) 등이 풍부하게

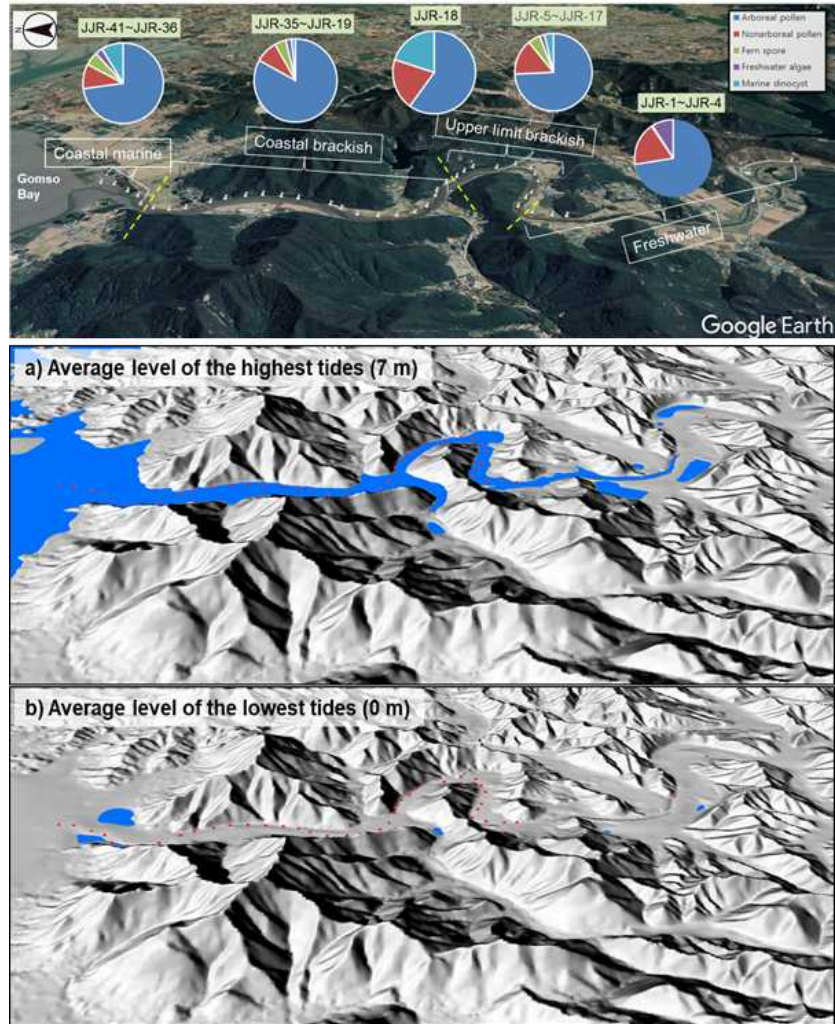


Figure 4. Proportional occurrence of terrestrial pollen and marine dinoflagellate cysts along the surface sediments of the lower reach of the Jujin Stream. (a-b) Tide-controlled inundation and exposure of the river bed of the lower reach of the Jujin Stream.

산출되었다. 호습윤성인 관목(shrub) 및 풀(grass)에는 오리나무속(*Alnus*), 버드나무속(*Salix*), 화본과(Poaceae), 재배벼(*Oryza sativa*), 사초과(Cyperaceae), 여뀌속(*Persicaria*), 부들속(*Typha*), 연꽃속(*Nuphar*), 수영속(*Rumex*) 등이 산출되었다. 저지대성 풀 종류에는 쭉속

(*Artemisia*), 명아주과(Chenopodiaceae), 돼지풀속(*Ambrosia*) 등이 있다. 이에 반해 와편모조류에서는 다양도(diversity)는 18종으로 비교적 높지만 풍성도(abundance)는 상대적으로 낮게(15~27개체) 나타났다.

주진천 표층 퇴적물에서 산출된 화분과 와편

모조류의 농집도(concentration, n/g)는 대부분의 전체 시료에서 낮게 평가되었는데, 기수역으로 판단되는 유역구간(특히, JJR-23~JJR-19)에서는 비교적 높게 나타났다. 화분과 담수조류는 모든 정점에서 산출된 반면, 외편모조류는 JJR-41~JJR-5 정점에서만 산출되었다(Figures 2 and 4).

4. 토의 및 결론

본 연구에서는 산출된 화분, 담수조류 및 외편모조류의 군집특성 등을 기반으로 하는 시료간의 생물상 유사성(cluster)을 평가하기 위해서 Tilia Software(Grimm, 2011)의 CONISS 통계기법을 활용하였다. 그 결과 크게 5개의 생태환경분대(eco-environment zone)를 설정할 수 있었다(Figure 2). 이는 주진천 하류역 내에서도 생태적 환경을 더 세분할 수 있음을 잘 보여주는 것으로 간주할 수 있다.

전체 시료에서는 소나무속(*Pinus*)이 우점으로 산출하는 것은 현재 주진천 주변에 곰솔(*Pinus thunbergii* Parl.)이 주로 생육하는 것으로 보아, 이 들로부터 공급된 화분이 가능성이 매우 높다. 또한 갈대속, 사초과 같은 염습지 식물의 화분과 *Brigantidium* sp., *Echinidinium granulatum*, *Selenopemphix* sp. 같은 종속 영양 종(heterotrophs taxa)의 외편모조류(Barreto et al., 2021)의 산출비율은 시료에 따라 편차를 보여준다. 즉, 주진천과 지류가 합류하는 정점 및 농경지와 접한 정점에서는 이들의 산출량이 증가하는 경향성을 보여준다. 이는 아마도 지류로부터 유입되는 담수(염분도 영향)와 농경지로부터 공급되는 영양염류의 영향이 이들의 산출량을 높이는 것으로 판단된다. 이런 현상은 생물과 환경생태의 역학적인 관련성을 아주 잘 나타내므로 주목할 필요가 있다. 또한 Microforaminiferal linings는 주로 연안-기수역 환경(coastal to brackish environment)에

서 서식하는 것으로 알려져 있는데(Tyszka et al., 2021). 본 연구에서는 특히 곰소만에 접하는 정점에서 아주 풍부하게 산출되는 것을 볼 수 있다.

주진천 표층시료로부터 유기질 껍질로 이루어진 외편모조류와 염습지 식물의 화분산출 특성을 이용하여 바닷물의 최대 유입한계유역을 파악할 수가 있었다. 요약하면 다음과 같다. 주진천 하류역에서는 다시 연안 해역, 기수역, 그리고 담수역으로 더욱 세분할 수가 있었다(Figures 2 and 4). JJR-41~JJR-36 정점구간에서는 해성 외편모조류가 풍부하게 출현하는 것으로 보아 연안해역임을 잘 반영한다. JJR-35~JJR-5 정점구간에서는 외편모조류와 넷가-염습지 식물의 화분(갈대속, 사초과)이 함께 출현하는 것으로 보아 기수역 환경을 잘 나타낸다고 볼 수 있다. 마지막으로 외편모조류가 JJR-5 정점까지 출현하는 것으로 보아 만조 시 바닷물이 이곳까지 최대로 유입하는 한계 유역일 가능성이 높은 것으로 간주된다.

이러한 해석은 해발고도기반의 만조 시 바닷물이 유입할 수 있는 최대 분포역을 나타낸 가상 침수도와 비교적 잘 부합하는 것으로 나타났다(Figure 4). 보다 상세한 해석은 향후 다른 분석 결과자료들과 비교 검토를 필요로 한다.

감사의 글

본 연구는 한국지질자원연구원 기본과제인 “국토지질조사 및 지질도·지질주제도 작성 발간(GP2020-003)”의 일환으로 수행되었다. 논문의 심사과정에서 건설적인 조언을 해 주신 익명의 심사위원께 감사를 드린다.

Reference

Barreto, C.F., da Silva de Freitas, A.,
Silveira de Souza, T.C., Bevilacqua

- de Toledo, M., Spadano Albuquerque, A.L., Baptista Neto, J.A., Monteiro da Fonseca, E., Silva, C.G., 2021, Land-sea correlation in southeastern Brazil during the last 7.4 cal ka BP: Vegetational, climatic and oceanographic inferences, *Quaternary International*, 602, 30-38.
- González, C., Dupont, L.M., 2009, Tropical salt marsh succession as sea-level indicator during Heinrich events, *Quaternary Science Reviews*, 28, 939-946.
- Grimm, E., 2011, Tilia 1.7.16 Software. Illinois State Museum, Research and Collection Center, Springfield, IL.
- Hao, X., Ouyang, X., Zheng, L., Zhuo, B., Liu, Y., 2020, Palynological evidence for Early to Mid-Holocene sea-level fluctuations over the present-day Ningshao Coastal Plain in eastern China, *Marine Geology* 426, 106213.
- Jun, C.P., Yi, S., Lee, S.J., 2010, Palynological implication of Holocene vegetation and environment in Pyeongtaek wetland, Korea, *Quaternary International*, 227, 68-74.
- Koh, H.J., Kwon, C.W., Park, S.I., Park, J., Kee, W.-S., 2013. Geological Report of the Julpo and Wido-Hawangdeungdo Sheets (1:50,000). Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources. <https://doi.org/10/22747/data.20210701.4185>.
- Marret, F., Zonneveld, K.A.F., 2003, Atlas of modern organic-walled dinoflagellate cyst distribution, *Review of Palaeobotany and Palynology*, 125, 1-200.
- Mertens, K.N., Price, A.M., Pospelova, V., 2012, Determining the absolute abundance of dinoflagellate cysts in recent marine sediments II: Further tests of the Lycopodium marker-grain method, *Review of Palaeobotany and Palynology*, 184, 74-81.
- Moore, P.D., Webb, J.A., Collison, M.E., 1991, *Pollen Analysis* (2nd. Edition). Blackwell Scientific Publications, Oxford, UK.
- Mudie, P.J., Rochon, A., Aksu, A.E., Gillespie, H., 2002, Dinoflagellate cysts, freshwater algae and fungal spores as salinity indicators in Late Quaternary cores from Marmara and Black seas, *Marine Geology*, 190, 203-231.
- Obrezkova, M.S., Pospelova, V.Y., 2019, Distribution of Diatoms and Dinocysts in Surface Sediments from the East Siberian and Chukchi Seas, *Paleontological Journal*, 53, 790-794.
- Traverse, A., 1988, *Paleopalynology*. Unwin Hyman, Boston.
- Tyszka, J., Godos, K., Goleń, J., Radmacher, W., 2021, Foraminiferal organic linings: Functional and phylogenetic challenges, *Earth-Science Reviews*, 220, 103726.

(기술노트) 주진천 하류역의 퇴적물에서 산출되는 화분과 와편모조류 군집 특성

2021년 9월 1일 접수

2021년 11월 1일 수정

2021년 11월 2일 승인