

한강유역 저습지 퇴적물에서의 제4기 고생태 및 고기후연구

류은영^{1,‡} · 김정찬² · 이성주¹¹경북대학교 지질학과²한국지질자원연구원 지질환경재해연구부

요 약

한강하류 하남지역의 2개의 시추코어(UD1과 UD2)에서 산출되는 규조화석군집의 변화를 이용하여 후기 제4기 고환경변화를 연구하였다. UD1과 UD2의 125개의 시료로부터 산출된 31속 160종의 규조화석은 주로 담수종과 담수-반염수종으로 이루어져 있다. 규조분석결과, UD1과 UD2는 퇴적환경과 퇴적시기에 있어 서로 차이를 보이지만 두개의 시추코어 모두 기후변화에 의한 한강하류에서의 고환경변화를 잘 보여준다. UD2의 경우 최후빙하기(LGM)에 해당하는 약 17000년전에는 규조화석이 산출되지 않는데, 이는 한랭건조기후로 인해 습지가 발달하지 못했기 때문으로 해석된다. 하지만, 이후 간빙기로 들어서면서 강수량 증가로 강수위가 높아지면서 하천의 유로변동이 일어났고, 이로 인해 상당히 넓은 범람원이 형성되고 하천주위에 배후습지가 발달하였다. 따라서 간빙기동안 하남지역의 고환경은 온대성의 습윤한 기후하에 유량이 풍부한 한강 하류의 연안지역에서 상당한 수심을 갖는 습지환경으로 변화하였으며, 또한 이러한 호소성 퇴적환경은 오랫동안(UD1: 약 6000~1800 년전, UD2: 약 15000~3800 년전) 유지된 것으로 보인다. *Gyrosigma acuminatum*의 산출로 미루어 볼 때, 하남지역은 조석간만의 차이로 인한 해성의 영향을 받은 것으로 보인다.

주요어: 한강유역 저습지, 규조화석, 토탄층, 고환경, 고기후, 제4기

Eunyoung Ryu, Jeong Chan Kim and Seong-Joo Lee, 2008, Paleoecological and paleoclimatic studies of the Quaternary riverine sediments in the Han River. Journal of the Geological Society of Korea. v. 44, no. 1, p. 33-46

ABSTRACT: Diatom study in the lower Han River (Hanam area) provides evidence for paleoclimatic and paleoenvironmental changes during the Late Quaternary. One hundred sixty species are identified belonging to 31 genera, from the analysis of 125 samples from UD1 and UD2. The fossil diatom assemblages are mainly composed of freshwater and brackish water forms. Diatom results suggest that water level and nutrient content fluctuated through time. In addition, there was a difference between UD1 and UD2 in terms of the deposition time. Water level in UD2 dropped at 19000 yr BP leading to the development of *Fragilaria*. At 17 ka, the environment was too dry for most diatom to persist, and this period coincides with the LGM (Last Glacial Maximum), a period of increased aridity and cooler conditions in the central Asia region. Deep wetland levels are reported for the period ca. 15 ka. Throughout the Late Quaternary diatom assemblages underwent several changes linked to fluctuate fluvial conditions. These changes coincide with the progressive peatland development and the regional geomorphic condition. As slightly higher salinity was observed in the diatom record and especially presence of *Gyrosigma acuminatum*, the basin is thought to have experienced slightly marine influence such as tidal one. Diatom assemblages together with the sedimentological analysis indicate that the depositional environments have changed from river to backswamp during the Late Quaternary, which were resulted from fluvial processes directly linked to climate.

Key words: Han River riverine wetland, fossil diatom, peat, paleoenvironment, paleoclimate, Quaternary

(Eunyoung Ryu and Seong-Joo Lee, Department of Geology, Kyungpook National University, Daegu, 702-701, Korea; Jeong Chan Kim, Geological and Environmental Hazards Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Gwahang-no 92, Yuseong-gu, Daejeon, 305-350, Korea)

[‡] Corresponding author: Tel. +82-53-950-5354, E-mail. eyryu@knu.ac.kr

1. 서론

최근 범세계적인 지구환경변화연구 경향에 발맞추어 한국에서도 지표환경변화에 관한 체계적인 연구가 절실히 요구되고 있다. 한국 주변해역에서의 기후, 해수면, 퇴적 등 지구환경변동요소의 기록은 동해, 서해, 남해의 해저퇴적층에 양호하게 보존되어 있는 것으로 밝혀졌다. 또한, 산지-구릉지, 습지, 호소, 해안평야, 고고유적지 등 다양한 육상지표환경에서도 과거의 기록이 잘 보존되어 있다. 특히, 기후변화는 당시의 지표환경 뿐만 아니라 지형조건에 따른 각 지역에서의 인류의 생활환경과 생태계에도 영향을 주었다. 인간이 생활하고 있는 지표환경은 과거의 기후변화에 의해 끊임없이 변화하여 왔으며, 그러한 변화과정은 미고결 퇴적층에 기록으로 남아 있어 과거의 지표 지질환경 변화 추적은 미래의 지표지질환경 변화 예측에 필요한 기본 자료로 제공된다. 따라서 과거의 고기후 및 고환경을 복원하기 위해서는 다양한 지표환경퇴적층에서 과거동안의 기후와 환경변천과정을 분석하여 변화를 복원하는 것이 필요하다. 특히 하천 주변의 지형변화는 해수면의 변동의 영향을 받으며, 이러한 해수면 변화는 기후변화와 관련되어 있다. 해수면 변화에 따른 지형변화 과정에서 하천과 하구 주변에는 주로 퇴적작용이 우세하게 나타나는 저습지가 발달하게 된다. 이러한 저습지의 퇴적물은 해수면 변동, 과거 기후와 식생, 인류활동의 흔적, 태풍, 홍수와 같은 일시적인 환경변화 등 지표조건과 관련된 기록을 잘 보존하고 있는 매체로서 매우 중요하다.

한강유역의 퇴적물은 해수면 변동, 과거 기후와 식생, 인류활동의 흔적, 태풍, 홍수와 같은 지표조건과 관련된 기록을 잘 보존하고 있는 저습지로 매우 중요한 곳이다. 한강은 1970년대 이후 골재채취로 하폭이 엄청나게 넓어진데다가 수중보의 건설로 마치 호소와 같은 하천으로 변했지만 그 이전에는 조석의 영향을 많이 받는 하천이었다. 또한 한강 하류로 흘러드는 대부분의 지류는 과거에는 곡류하천이었으며 이들 지류의 하류에는 하천의 유로변경과 관련하여 하도의 크기에 비해 상당히 넓은 범람원이 형성되어 있다. 한강 하류의 범람원은 자연제방과 배후습지가 잘 발달되어 있다(권혁재, 1974).

본 연구지역의 퇴적층에 대한 연구 및 지형형성에

관한 연구는 이미 수행되었다. 김종연 외(2005, 2006)는 한강하류지역의 하남시 덕풍동과 신장동 일대의 충적층을 대상으로 퇴적층의 층서를 규명하고 연대측정의 결과를 바탕으로 형성시기를 논의하였고 연구지역의 퇴적층을 크게 한강의 하상퇴적층과 점이퇴적대 그리고 곡지형 퇴적층으로 구분하였다. 본 연구에서는 고생물학적인(규조) 결과와 퇴적학적인 결과를 이용하여 연구 지역의 고환경과 고기후를 해석하고자 한다.

특히 본 연구대상인 규조는 수온과 염도가 매우 높은 곳을 제외하고는 모든 수성환경에서 서식하며 수 십년의 세대주기를 가지는 화분 (pollen)과는 달리 매우 짧은 세대주기로 인해 계절별, 년별 세기별 변화를 잘 나타내기 때문에 최근에는 규조화석을 이용한 기후변화연구가 활발히 진행되고 있는 추세이다. 규조화석군집의 변화와 기후와 관련된 변화들과의 대비를 통해 해수면변동, 수위변화, 영양염류유입, 강수량, 인간간섭과 관련된 변화를 추측할 수 있다(이영길 외, 1994, 1995; 황상일 외, 1997; 류은영 외, 2003, 2005, 2007; Hustedt, 1930; Taylor *et al.*, 1990; Vos and de Wolf, 1993; Kosugi, 1988; Gasse and Campo, 2001; Marchetto *et al.*, 2004; Sylvestre *et al.*, 2004; Gurel and Yildiz, 2007).

본 연구의 목적은 한강하류에 해당하는 하남지역의 미고란시추코어(undisturbed core sample) 퇴적물에서 산출되는 규조화석의 군집변화를 이용해서 한강의 발달과 관련하여 후기 제4기 동안의 한강 하류유역의 고습지의 형성 및 발달사를 규명하고 고기후 변화를 추적하는데 있다.

2. 연구 지역

연구지역은 행정구역상 경기도 하남시 풍산동과 신장동 일대로 한강변에 위치하고 있으며 한강의 하중도(河中島)인 미사섬의 맞은편에 위치하고 있다(그림 1). 동쪽 창우동 방향으로는 덕풍천이, 서쪽 강동구 방향으로는 망월천이 흐르고 있다. 연구대상 지역은 팔당댐-팔당대교 구간의 팔당 협곡을 중심으로 보았을 때 한강의 하도와 직선상으로 연결되는 지역이다. 즉, 현재의 한강은 한강의 퇴적지형인 미사등을 우회하여 외부 및 덕소쪽으로 흐르고 있지만, 하도의 곡류를 감안하지 않는다면 팔당 협곡을 통과한 과거 특정

시기의 한강이 연구 대상지역을 통과하여 현재의 가래여울, 구산동쪽으로 흘렀을 가능성이 있다. 플라이스토세의 퇴적층이 현재의 한강 하도가 아닌 팔당 협곡과 가래여울을 잇는 선을 따라 직선상으로 나타나고 있으며 그 안쪽으로 층적층이 잘 분포하고 있다. 플라이스토세의 퇴적층이 단구화된 하천 퇴적층으로 본다면 단구가 층적층에 의해 고립된 양상을 보여준다. 연구지역 주변 구릉들의 기반암은 경기편마암복합체의 화강암질편마암, 호상편마암 그리고 혼성편마암이 주를 이루고 있으며 부분적으로 운모편암이 나타나고 있다(김중연 외, 2006). 하남시 풍산동 일대의 현재 지형은 1980년대에 이루어진 “한강종합개발사업”에 의해 인위적으로 훼손되었으며, 따라서 자연현상에 의한 과거의 지형을 추론하기에는 많은 어려움이 있다.

3. 연구방법

3.1 시료 획득 및 퇴적상 기재

경기도 하남시 풍산동에 분포하는 제4기 퇴적층을 대상으로 다양한 분석 및 연구를 위해 총 5개의 지점으로부터 미교란(undisturbed, UD) 시추코어를 채취하였다(그림 1). 이번 연구에서는 5개의 시추코어 중 UD1(37° 32′ 48.29″, 127° 12′ 38.30″ 고도

23.743 m)과 UD2 (37° 32′ 43.67″ 127° 12′ 34.09″ 고도 22.967 m)를 대상으로 분석을 실시하였다. 퇴적상 기재는 실험실에서 육안 및 토양색 측정기 SPAD-503 (Minolta Co. Ltd., Japan)과 Munsell soil charts (1975)를 이용하여 색상을 관찰하였다. 퇴적구조, 조직기재, 구성성분 관찰 등의 방법으로 실시하였으며, 필요한 경우에는 박편을 제작하여 현미경하에서 퇴적구조, 조직, 구성광물 등을 확인하였다. 퇴적물의 입도를 측정하기 위하여 0.02~2000µm의 측정범위를 갖는 Mastersizer 2000(Malvern Instruments, Ltd., Worcestershire, UK) 장비를 이용하여 Laser Diffraction 방법으로 입도분석을 실시하였다(Beuselinck *et al.*, 1998). 필요 구간에서 입도 분석을 위한 부시료를 채취하여 2000 µm 이하의 fraction만 선별하였으며, 이를 과산화수소수(H₂O₂)에 반응시켜 유기물을 제거하였다(Anderson, 1963). 또한 아세트산나트륨(CH₃COONa) 용액에 아세트산(CH₃COOH)을 첨가하여 pH를 5로 맞추고, 이를 시료와 교반 반응시켜 탄산염을 제거하였다(Rabenhorst *et al.*, 1984). 이온수로 시료를 세척한 후에는 수산화나트륨(NaOH)을 이용하여 pH를 10으로 맞추고 피로인산나트륨(Na₄P₂O₇) 용액을 첨가, 교반 분산하여 입도분석을 실시하였다.

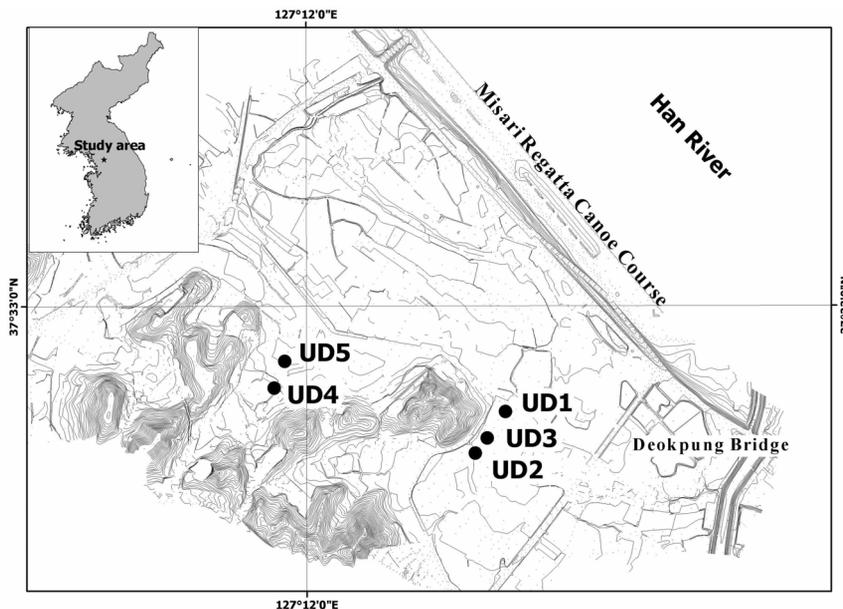


Fig. 1. Topographic map of the study area showing locations of undisturbed cores (UD1~UD5). In this study, two cores (UD1 and UD2) were analyzed in terms of lithological description, age dating and diatom analysis.

3.2 구조 분석

미교란 시추코어 UD1에서 64개의 시료, UD2로부터 61개의 시료로부터 5cm 간격으로 구조분석을 실시하였다. 이들 중 93개의 시료에서 구조가 산출되었다. 구조화석의 현미경 관찰을 위한 시료 처리와 박편제작은 다음과 같다. 퇴적물 내의 공극수 함량을 제거하기 위하여 시료를 60°C 건조기에서 24시간 건조시켜 시료 1g을 취하여 100cc 비이커에 담고 유기물 분해, 탄산염 분해 및 퇴적물 분해를 용이하게 하기 위하여 15% 과산화수소(H₂O₂) 30cc를 넣은 후 발포가 일어날 때 까지 가열하여 식힌다. 다시 10% 염산(HCl) 10cc를 가하여 10분간 더 가열한 후 24시간 정치시킨다(구조각의 미세한 구조가 파손될 우려가 있을 경우는 염산처리를 생략한다). 퇴적물이 가라앉은 후, 경사법을 이용하여 퇴적물 위에 있는 물을 제거하고 다시 증류수를 붓고 잘 휘저은 후 24시간 정치하여 침전된 퇴적물위의 물은 다시 경사법으로 따라 버린다. 동일한 방법을 퇴적물 내의 산(acid)성분이 완전히 제거될 때까지 여러 번 반복한다. 증류수를 첨가하여 휘저어 섞어 15초간 정치시킨 후, 경사법을 이용하여 잔류현탁액은 다른 비이커에 옮기고 나머지 쉐설성 무기물은 버리며, 동일 방법을 4-5회 실시한다. 0.01N의 비로인산나트륨(Na₄P₂O₇)을 첨가하여 원심분리기를 이용, 1700 rpm에서 1분간 상부의 물이 투명해질 때 까지 조작을 반복하여 점토 물질을 완전히 제거한 후 보존병(10cc plastic vial)에 보관한다. 잔류현탁액 10cc 중 0.5cc를 취하여 잘 섞은 후 20배의 현탁액을 만든다. 그런 다음 40x20 mm의 커버글라스에 희석시킨 현탁액 0.5cc를 떨어 뜨려 구조각이 대류에 의해 이동되지 않도록 저온(60°C)에서 건조시킨 후, canada balsam을 사용하여 박편을 제작하였다. 구조의 감정은 주로 고배율(500-1000배)의 생물현미경 하에서 수행하였다. 관찰 대상은 중심구조목(Order Centrales)에 속하는 것은 중심부를 포함한 구조각이 2/3 이상 보이는 구조각을 1개체로 간주하였다. 그러나 우상구조목(Order Pennales)은 구조각의 한쪽 정부(apical end)가 나타나는 1/2의 각을 1/2 개체로 산정하였다. 통계처리를 위한 시료별 구조의 산정은 메케니컬 스테이지(mechanical stage)를 이용하여 임의의 주사선상(측선간격: 0.5 mm, 측선길이: 20 mm)에 나타나는 휴면포자이외의 모든 구조각이 200개에 도달할 때

까지 관찰하였다. 상대적 구조밀도는 주사선상의 수를 기준하였다. 구조각이 산출되지 않은 시료도 결과를 위해 통계 처리했으며, 파편은 남아 있으나 감정이 불가능한 구조가 포함된 층은 구조 출현이 없는 것으로 처리하였다. 구조의 우점종의 선정은 조사지점에서 출현종의 상대빈도를 기준으로 선정하였다. 구조 감정과 생태는 Patrick and Reimer (1966), Catalogue of diatom (1985-1994), Atlas der Diatomaceen-Kunder (1984), Kosugi (1988), Round *et al.*(1990) 등을 참고하였으며 감정된 구조 개체수는 백분비로 변환하여 산출도표를 만들었다. 도표 상에서 비슷한 경향을 보이는 종들은 하나의 그룹으로 처리했다. 예를 들면 *Aulacoseira* complex (*A. distance*, *A. granulata*, *A. islandica*), *Fragilaria* (*F. construens*, *F. construens* var. *venter*, *F. brevistriata*, *F. pinnata*), *Cymbella* (*C. minute*, *C. trugida*, *C. turmida*, *C. cuspidata*), *Epithemia* (*E. sores*, *E. turgida*, *E. zebra*), *Eunotia* (*E. pectinalis*, *E. prarupta*, *E. serra*), *Gomphonema* (*G. acuminatum* var. *coronata*, *G. intricatum*, *G. parvulum*, *G. truncatum*) 이다.

3.3 연대측정학적(AMS ¹⁴C) 분석

퇴적층의 층서를 확립하고 정확한 퇴적기작 및 퇴적환경을 해석하기 위하여 가속질량분석기(Accelerator Mass Spectrometer, AMS)를 이용한 ¹⁴C 연대측정을 실시하였다. 이 AMS 방법은 Cs 이온빔으로 graphite로 바꾸어진 탄소 시료를 조사하여 탄소를 음이온 상태로 만들고, 이를 가속하여 ¹⁴C, ¹³C, ¹²C 원자의 수를 직접 측정하는 방법이다(Kim *et al.*, 2000). 연대측정을 위한 시료는 주로 식물 파편과 sediment bulk 등이며, 서울대학교 기초과학교육연구 공동기기원(kiki.snu.ac.kr)에 설치된 4130-Tandetron AMS/multipurpose beam line(MPS) 장비(High Voltage Engineering Europa, HVEE, Netherlands)를 이용하였다. 연대측정 결과는 표 1에 표시하였다.

4. 연구 결과

4.1 퇴적상 기재

4.1.1 UD1

미교란 시추코어 UD1은 총 3.83 m의 퇴적물로 구

Table 1. AMS ^{14}C age data for the UD1 and UD2 core.

sample No.	lab. No.	altitude (m)	material	conventional ^{14}C Age (^{14}C yrBP)
UD1 116	SNU06-310	19.583	peat	1660±50
UD1 129	SNU06-311	19.453	peat	1700±50
UD1 144	SNU06-314	19.283	sediment bulk	1990±50
UD1 174	SNU06-315	19.003	sediment bulk	4520±50
UD1 197	SNU06-324	18.773	sediment bulk	5660±50
UD2 18	SNU06-325	19.727	sediment bulk	3820±60
UD2 41	SNU06-326	19.307	sediment bulk	4440±50
UD2 52	SNU06-327	19.087	sediment bulk	15100±70
UD2 93	SNU06-328	18.717	sediment bulk	16070±120
UD2 122	SNU06-329	18.227	sediment bulk	16440±60
UD2 347	SNU06-330	18.497	sediment bulk	20000±60
UD2 374	SNU06-331	17.227	sediment bulk	21580±180

성되며, 암상에 따라 5개의 암상단위로 구분 된다(그림 2).

Unit 1-I는 최상부로부터 86 cm 구간까지로서 주로 괴상의 올리브회색(2.5Y 4/1 - 5Y 4/1)의 mud로 구성되며, 특별한 퇴적구조는 관찰되지 않는다. 검은 색으로 탄화된 식물파편이 포함되어 있다.

Unit 1-II는 86~165 cm 구간까지의 massive peat-like sediments로 구성된다. 이 구간은 대체로 검은색에 가까운 어두운 색(N 2/0)을 띠고 있으며, 식물물질을 많이 함유하고 있지만, 중부인 139~146 cm 구간에서는 유기물의 함량이 다소 감소하는 양상을 보여주기도 하며, 139 cm 구간에서 두께 약 1~2 mm의 담색의 박층이 협재한다.

Unit 1-III는 165~274 cm 구간까지의 퇴적물로 주로 괴상의 olive-gray(2.5 Y 4/2) mica-bearing muds로 구성되는데, 상부에는 대체로 유기물이 풍부하다가 하부로 가면서 mica의 함량이 점차적으로 증가하는 경향이 있다. 약 214.5 cm 구간에서는 두께 1~2 mm의 모래층이 협재한다.

Unit 1-IV는 274~344 cm 구간까지의 퇴적물로 구성되는데, 상부는 2매의 모래층(274~283 cm 및 284~289 cm)으로 구성된다. 상부 모래층은 주로 세립질의 모래로 구성되며, 괴상의 구조를 보여준다. 반면, 하부의 모래층은 점이층리를 보여주며, 층의 하부는 중립질 내지 조립질의 모래로 구성된다. 이 구간의 하부는 층리가 잘 발달된 암회색(5Y 3/1)의 실트 내지 세립질 모래로 구성된다.

Unit 1-V는 344 cm~383 cm구간으로 UD1의 최하부를 구성하는 구간이다. 이 구간은 전체적으로 극세립 암회색의 점토광물로 구성되어있으며 색상은 5Y 3/1에서 10 YR 3/1에 이르기까지 다양하게 나타난다.

4.1.2. UD 2

미교란 시추코어 UD2는 총 3.8 m의 퇴적물로 구성되며, 암상에 따라서 Unit 2-I, 2-II, 2-III, 2-IV 등 4개의 암상단위로 구분된다(그림 2).

Unit 2-I는 최상부로부터 95 cm 구간까지이다. 이 구간은 black mud 내지 peat-like sediments로 구성되며, 약간의 암상변화를 보여준다. 상부인 0~18 cm 구간은 검은색(N 3/0)의 괴상의 점토로 구성되어 있다. 이들은 유기물과 함께 세립질의 점토광물로 구성되지만 간혹 석영과 장석 등으로 구성된 모래입자를 다량 포함하기도 한다. 중간구간에 해당하는 18~68cm 구간은 peat-like sediments로 구성되는데, 이들은 갈색(10YR 3/1) 내지 검은색(N 3/1)을 띠며, 식물파편을 포함한 유기물을 많이 함유하고 있는 것이 특징이다. 44~50 cm 구간에서는 약 6 cm 두께의 모래층이 협재되어 있다. Unit 2-I의 하부에 해당하는 68~95 cm 구간은 다시 검은색(N 3/0-N 4/0)을 띠는 괴상의 검은색 점토로 구성되며 입자의 크기가 상부구간보다 훨씬 세립질이다.

Unit 2-II는 95~186 cm 구간까지로 laminated silts, banded mud, micaceous silty mud 등으로 구

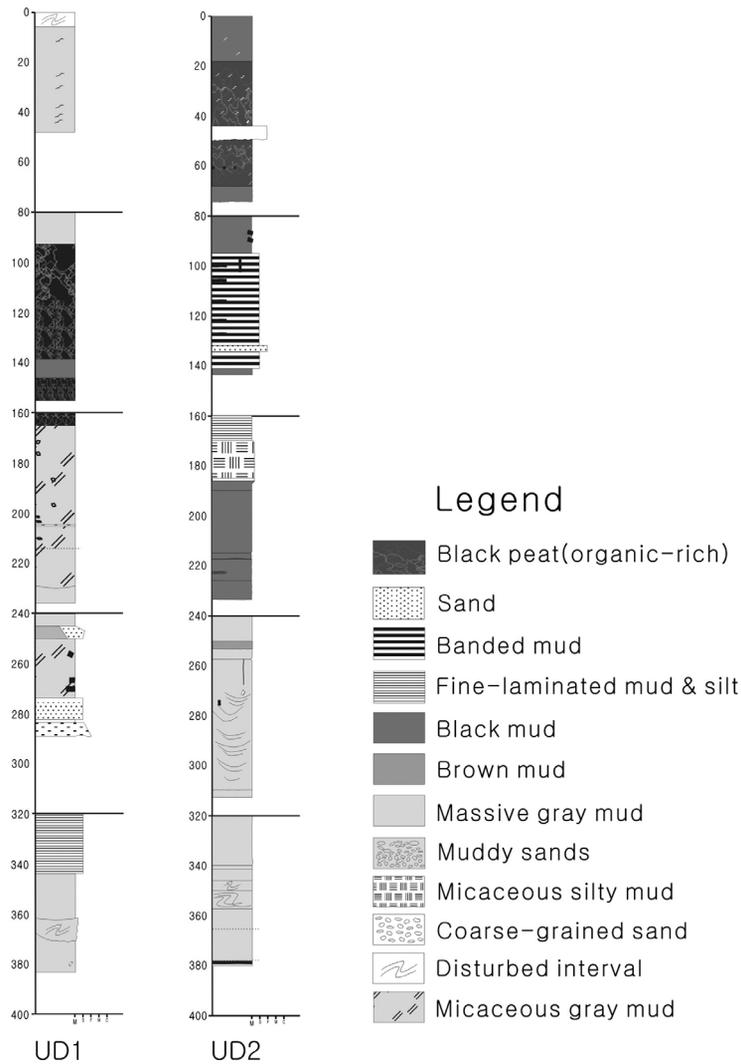


Fig. 2. Simplified stratigraphic sections of UD1 and UD2.

성된다. 이 구간의 상부에 해당하는 95~170 cm 구간은 전체적으로 엽리구조의 발달을 보여주는 laminated silts 혹은 banded mud로 구성되어 있다. 132~134 cm 구간에서는 두께 2cm의 세립질 모래층이 협재한다. 이 구간의 하부에 해당하는 170~186 cm 구간의 구성성분은 상부와 큰 차이가 없으나 괴상으로 보인다.

Unit 2-III는 186~240 cm 구간으로서 전체적으로 괴상의 검은색 점토로 구성되며, 색상은 전체적으로 N 3/0으로 일정하다. 이 구간은 주로 극세립질의 점토광물로 구성되어 있다.

Unit 2-IV는 240 cm에서 최하부인 380 cm 구간까지로 색상에 있어서는 담회색 계열(10 YR 3/1, 5GY 3/1, 5Y 3/1)의 극세립질의 점토광물로 구성되어 있다.

4.2 구조화석분대 및 고환경

총 125개의 시료 중 32개의 시료를 제외한 나머지 95개의 시료에서 구조각이 산출되었다. 연구결과 31속 160종의 구조가 감정되었으며 시료 당 종 다양도와 풍성도는 시료에 따라 다양하게 나타났다. 전체 구조군집은 주로 담수종(freshwater species)이며

반염수종(brackish water species)도 함께 산출되었고 해성종(marine species)도 소량 산출되었다. 반염수-담수종은 UD1 보다 UD2에서 풍부하게 산출되었다.

본 연구지역에서 가장 우점으로 산출되는 종은 *Aulacoseira granulata*, *Fragilaria construens*, *Gyrosigma acuminatum* 이며, *Fragilaria virescens* v. *subsalina*, *Navicula menisculus*, *N. lanceolata*, *Cymbella minute*, *C. turmida*, *C. turgida*, *Eunotia pectinalis*, *E. praeurupta*, *Epithemia sorex*, *E. turgida*, *E. zebra*, *Stauroneis anceps*, *Pinnularia gibba*, *P. viridis*, *Tabellaria fenestrata*도 풍부하게 산출되었다.

4.2.1 규조화석분대 UD1

총 64개의 시료중 최상부 (100~0 cm, Elevation: 23.743~23.24 m)와 중간구간 (320~230 cm, Elevation: 23.243~22.67 m)에서는 규조가 산출되지 않았다. 전체 규조군집조성은 주로 담수종과 담수-반담수종이며 해수종은 소량 산출 되었다. UD1 시료에서 가장 풍부하게 산출되는 종은 *Aulacoseira granulata*, *A. distance*, *Cymbella minute*, *C. turmida*, *C. turgida*, *Eunotia pectinalis*, *E. serra*, *Fragilaria construens*, *Gomphonema acuminatum* v. *coronata*, *Gyrosigma acuminatum*, *Epithemia sorex*, *E. turgida*, *E. zebra*, *Hantzschia amphioxys*, *Navicula pupula*, *Stauroneis anceps*, *Pinnularia gibba*, *Tabellaria fenestrata* 이다. 규조화석군집의 산출을 근거로 3개의 규조화석분대(Diatom assemblage Zone)가 설정되었고 2개의 무화석대도 인지되었다(그림 3). 각 규조화석군집분대의 군집조성은 하부에서 상부의 층준의 순서로 설명하였다.

규조분대 I (380~320 cm, Elevation: 16.913~17.713 m)

본 군집대는 주로 담수종, 담수-반염수종으로 이루어져 있다. 풍성도와 다양도가 높은 것이 특징이다. 우점으로 산출되는 종은 *Gyrosigma acuminatum*, *Fragilaria construens*, *Epithemia turgida*, *E. sorex*, 이고 그외 *Hantzschia amphioxys*, *Gomphonema acuminatum* v. *coronata*, *G. truncatum*, *Cymbella minute*, *Eunotia pectinalis*, *Meridion circulare*, *Tabellaria fenestrata*, *Neidium affine*, *N. iridus*,

*Pinnularia gibba*도 풍부하게 산출되었다. 이들 대부분이 저서종으로 수심이 얇은 호수 혹은 연못가, 혹은 물의 흐름이 잔잔한 하천가 수생식물의 뿌리(epiphytic)와 바위(periphitic)에 붙어사는 착생종들로 이루어져 있다. *Gyrosigma acuminatum*, *Epithemia sorex*, *E. turgida*, *Rhopalodia gibberula*는 반염수종으로 다소 염도의 변화를 보이는 수심이 얇은 잔잔한 호수 혹은 하천가에서 사는 저서종이다. 강 혹은 하천의 지시종인 *Meridion circulare*도 산출된다(Ludlam et al., 1996). 온대 습윤지역의 영양(nutrient) 유입이 풍부한(mesotrophic-eutrophic) 곳에서 흔하게 산출되는 호알칼리성종으로 알려진 *Cymbella minute*, *Cymbella turmida*, *Epithemia zebra* 도 함께 산출되므로(Ludlam et al., 1996) 본 분대가 퇴적될 당시의 환경은 다소 한냉 건조한 기후하에서도 습윤 기후가 나타나는 강의 연안지역으로 추정할 수 있다. 그러나 본구간의 상부로 갈수록 젖은 바위나 이끼에 붙어서 사는 종인 *Eunotia praeurupta*와 육성 환경을 지시하는 종인 *Hantzschia amphioxys*가 증가하므로 강의 수심이 점점 낮아졌음을 알 수 있다(Ludlam et al., 1996).

Barren zone (320~230 cm 17.713~18.5 m)

수심이 점점 낮아져 퇴적층이 대기중에 장기간 노출되어 규조화석이 산화된 것으로 보인다.

규조분대 II (230~134cm, Elevation: 18.5~19.5 m)

본 군집대는 담수부유성종인 *Aulacoseira* spp. (18~90%)가 폭발적인 증가를 보이는 것이 특징이다. 풍성도와 다양도는 하부구간보다 높다. *Eunotia pectinalis*, *Actiniella brasiliensis* var. *curta*, *Cymbella cuspidata*, *C. minute*, *Gomphonema acuminatum* v. *coronata*, *G. intricatum*, *G. parvulum*, *G. truncatum*, *Navicula pupula*, *Pinnularia gibba*, *P. viridis*, *Stauroneis anceps*, *S. phoenicenteron*, *Tabellaria fenestrata* 도 함께 산출된다. *Actiniella brasiliensis*, *Eunotia pectinalis*, *Stauroneis anceps* 와 같이 호산성(acidic)이며 부영양(eutrophic)소택지에서 서식하는 종들이 하부구간에 비해서 상부로 갈수록 증가하고 있다. 일반적으로 비교적 수심이 낮고 잔잔한(standing) 연못가 혹은 강가 바위에 붙어사는 저서

종인 *Gomphonema auminatum* v. *coronata*, *G. intricatum*, *G. parvulum*, *G. truncatum*, *Navicula pupula*, *Pinnularia gibba*, *P. viridis*, *Stauroneis anceps*, *Cymbella minute* 도 본 구간에서 풍부하게 산출된다 (Hendey, 1964). 해수종인 *Diploneis smithii* 와 하구역(estuary)의 사질의 기수퇴적층에서 발견되는 *Caloneis brevis* 도 소량이지만 함께 산출된다. 따라서 본분대가 퇴적될 당시의 환경은 해성의 영향을 조금 받은 하천가 저지대의 웅덩이 혹은 수심이 깊은 소택지환경으로 판단된다.

규조분대 III (134~100 cm, Elevation: 19.5~19.7 m)

본 군집대는 풍성도와 다양도가 매우 낮다. *Eunotia pectinalis*, *E. serra*, *Gomphonema intricatum* 가 우점으로 산출되며 *Eunotia valida*, *Pinnularia gibba*, *Stauroneis anceps* 도 함께 산출된다. *Eunotia pectinalis*, *E. praerupt*, *E. serra*는 부착종(epiphytic)으로 다소 한랭 건조한 기후의, 영양분의 유입이 거의 없는(oligotrophic-dystrophic) 소택지(swamps, bogs)에서 흔한 종으로 알려져 있다 (Buzer, 1981; Haggart, 1986; Mölder and Tynni, 1943). 따라서 본 규조분대가 퇴적될 당시의 환경은 다소 한랭 건조 기후하의 강가 저지대 수심이 얇은 소택지 환경이다.

무화석대 (barren zone, 100~0 cm, Elevation: 19.7~20.743 m)

본 구간은 수심이 점점 낮아져 육성환경으로 바뀌었기 때문에 규조화석이 산출되지 않는다.

4.2.1 규조화석분대 UD 2

총 61개의 시료중 160~45 cm, Elevation: 19.1~20.8 m에서는 규조가 산출되지 않았다. 전체 규조군집은 주로 담수종이며 담수-반염수종과 해수종도 소량 산출 되었다. 규조군집조성은 UD1과 비슷하다. 가장 우점으로 산출되는 종은 *Aulacoseira granulata*. *Fragilaria construens*, *F. virescens* v. *subsalina*, *Gyrosigma acuminatum*, *Navicula menisculus* 이며 *Amphora libyca*, *Caloneis silicula*, *C. bacillum*, *Cymbella minute*, *C. turmida*, *C. turgida*, *Epithemia sorex*, *E. turgida*, *E. zebra*, *Eunotia pectinalis*, *Hantzschia amphioxys*, *Navicula pupula*, *Neidium affine*, *Stauroneis anceps*, *Pinnularia gibba*, *P. macro-*

stauron, *P. viridis*, *P. borealis*도 풍부하게 산출된다. 해수저서종인 *Diploneis smithii*는 하부구간에서 소량 산출된다. 규조군집의 산출을 근거로 4개의 화석 규조분대(Diatom assemblages Zone)와 1개의 무화석대가 인지되었다(그림 4). 각 규조화석군집분대의 군집조성은 하부에서 상부의 층군의 순서로 설명하면 다음과 같다.

규조분대 I (380~320 cm, Elevation: 17.76~17.167 m)

본 군집대에서는 풍성도와 종다양도가 높다. *Gyrosigma acuminatum* (15-45%)이 가장 풍부하게 산출되며 그 외 *Amphora libyca*, *Caloneis silicula*, *C. bacillum*, *Cymbella minute*, *C. turmida*, *C. turgida*, *Epithemia sorex*, *E. turgida*, *E. zebra*, *Hantzschia amphioxys*, *Pinnularia* spp., *Rhopalodia gibba*, *Stauroneis anceps*도 함께 산출된다. 가장 우점으로 산출되는 *Gyrosigma acuminatum* 는 호알칼리성의 기수종으로 해성의 영향을 받은 곳에서 사질의 퇴적면에 붙어 이동하면서 사는 저서종이다. *Diploneis smithii* 도 소량이지만 꾸준하게 산출되고 해수부유성종인 *Paralia sulcata* 가 1개가 발견되었다. 본 분대에서는 하천의 지시종인 *Epithemia sorex* 가 풍부하게 산출 되는 것이 특징이다. 또 영양이 풍부한(mesotrophic-eutrophic)곳에서 서식하는 호알칼리성종으로 알려진 *Cymbella minute*, *Epithemia zebra*, *Cymbella turmida*, *Gomphonema parvulum* 가 산출된다. 그러나 상부로 갈수록 육성종(aerophilic taxa)으로서 건조기후를 지시하는 종인 *Pinnularia borealis*, *P. gibba*, *P. viridis*, *Hantzschia amphioxys*, *Navicula mutica* 가 증가한다. 이와 같이 습윤 기후를 나타내는 종과 건조 기후를 나타내는 종이 동시에 산출되므로 온대기후하의 어느 정도 강수량을 기록하는 큰강의 연안지역으로 강수위는 높았고 유속은 빨랐으며 해성의 영향도 받은 것으로 추정할 수 있다.

규조분대 II (290~160 cm, Elevation: 18.41~19.08 m)

본 규조분대에서는 풍성도와 종다양도가 다른 구간에 비해 높다. 담수-반염수종이면서 부착종(epilithic)인 *Fragilaria construens* (< 55%)가 가장 우점종으로 산출되며 *Amphora libyca*, *Caloneis sili-*

cula, *C. bacillum*, *C. schroderi*, *Cymbella minute*, *C. cuspidata*, *C. turmida*, *C. turgida*, *Epithemia sorex*, *E. turgida*, *E. zebra*, *Gyrosigma acuminatum*, *Rophalodia gibba*, *Stauroneis anceps*, *Tabellaria fenestrata* 도 산출된다. *F. construens* 와 *F. brevistriata* 는 담수 내지는 약간 염도의 변화를 보이는 흐름이 거의 없는 조용한 곳에서 대량으로 번식하는 종이다 (Buzer, 1981; Haggart, 1986; Mölder and Tynni, 1943). 또한 이들은 최종빙하기 이후 현세 초기, 조수의 영향을 거의 받지 않으면서 다소 염도 변화를 보이는 수심이 낮은 소택지 환경에서도 발견되며, 해발 고도가 높은 산간호수에서도 발견된다(Miller, 1971; Smol, 1983; Yabe *et al.*, 2004). 또한 매우 수심이 낮은 곳(very shallow lake)에서 산출되는 종으로 해성의 영향을 전혀 받지 않은 곳에서 산출되는 종이다 또한 강이나 호수수위가 낮아져 물의 화학 성분이 급격하게 변화할 때 풍부하게 산출되는 종이다. 따라서 강의 수위변화로 급격한 환경변화가 있었던 강의 연안 지역임을 추정할 수 있다.

구조분대 III (230~160 cm, Elevation: 19.08~18.5 m)

본 구조분대의 군집조성은 구조분대 II 와 비슷하다. 그러나 *Navicula menisculus* 가 풍부하게 산출된다. *Hantzschia amphioxys*, *Navicula lanceolata*, *N. bacillum*, *Neidium affine*, *Pinnularia gibba* 와 같은 육성종이 하부구간보다 많이 산출된다. *Navicula lanceolata*, *N. menisculus*, *N. elginensis*, *Caloneis bacillum* 와 같은 반염수성이면서 사질의 퇴적층에서 사는 종과 해수종인 *Diploneis smithii* 와 *Cocconeis placentula* 가 하부구간보다 많이 산출 되므로 해성의 영향을 받았던 것으로 나타났다.

무화석대 (barren zone)(160~40 cm, Elevation: 20.5~19.08 m)

구조화석이 산출되지 않은 것은 구조가 서식하기에 부적합한 환경이었을 것으로 추정된다.

구조분대 IV (40~0 cm, Elevation: 20.967~20.5 m)

본 분대에서는 풍성도와 종다양도가 다른 구간에 비해 낮은 편이다. 담수부유성종인 *Aulacoseira* spp. 가 가장 우점 (25~94%)으로 산출된다. 그 외 *Eunotia pectinalis*, *E. pectinalis v. subsalina*, *Actinella brasi-*

liensis, *Amphora libyca*, *Stauroneis phoenicanteron*, *Pinnularia gibba*, *Cyclotella meneghiniana*, *Cymbella cuspidata*, *Actinella brasiliensis* 가 소량 산출된다. 본 구간에서는 *Aulacoseira* 가 폭발적인 증가를 보이는 것이 특징이다. 또 호수에서 습지로 전이될 때 나타나는 *Eunotia pectinalis*, *Eunotia pectinalis v. ventralis*가 다른 구간에 비해 풍부하게 산출되나 하부구간에서 풍부하게 산출되던 부착종들은 소량 산출된다. 따라서 대기중에 노출되었던 강의 연안 지역이 강수량의 증가로 수심이 깊은 웅덩이나 소택지 환경으로 바뀐 것으로 추정된다.

5. 토의

UD1과 UD2의 코어퇴적물의 구조분석결과, 산출되는 구조군집조성은 거의 비슷하나 깊이에 따른 차이를 보이고 있다. UD1과 UD2의 하부구간에서 풍부하게 산출되는 *Gyrosigma acuminatum*는 호알칼리성의 반염수종으로 사질의 퇴적면에 붙어 이동하면서 사는 저서종이다. 이종은 유속이 빠른 강가에서 흔하게 발견된다(Vos and de Wolf, 1993). 또한 하천의 지시종인 *Epithemia sorex*, *Meridion circularae*, *Hannaea arcus* 가 산출된다(Ludlam *et al.*, 1996). 따라서 UD1과 UD2의 하부구간이 퇴적될 당시의 환경은 큰강의 연안 지역으로 강수위는 높았고 유속은 빨랐음을 추정할 수 있다. 그러나 UD1의 구조분대 I의 상부로 갈수록 *Pinnularia borearis*, *Hantzschia amphioxys*, *Navicula mutica* 와 같은 육성종(aerophilic taxa)이 증가하는데, 이것은 건조기후로 인해 유량이 크게 줄어들어 하천 수위가 점점 낮아져 하천의 연안이 대기중에 노출되었기 때문이다. 왜냐하면 본 구간의 상부구간은 구조화석이 산출되지 않는 무화석대 구간으로 퇴적층 또한 황갈색의 모래층이 협재되어 있다. 이 황갈색 모래층은 급격한 환경변화를 의미하는데, 모래층이 두드러지는 지역은 과거 한강의 하상이었던 지역은 아니고 흐름이 있는 하천 주변의 저에너지 환경, 즉 유로변동에 따라 한강변에 나타나는 point bar 혹은 자연제방에 속했던 지역일 가능성이 있다(김종연 외, 2005). 그러나 상부구간인 구조분대 II에서는 담수부유성종인 *Aulacoseira* 가 풍부하게 산출된다. 이종은 웅덩이 혹은 소택지 이탄층의 지시종으로 알려져 있다 (Wolin and

Duthie, 2000). 따라서 구조분대 II가 퇴적될 당시의 환경은 하천 주변의 소규모의 웅덩이, 즉 하천의 유로변경 혹은 에너지가 감소하면서 생긴 우각호로 추정된다. 한강하류로 흘러드는 대부분의 지류는 지금은 직강공사로 유로가 반듯하게 퍼졌지만 과거에는 전형적인 곡류하천이었다. 곡류하천(meander)은 경사가 완만하고 유로변동을 자유롭게 한다. 곡류하천에서도 point bar 쪽은 수심이 얕아진다. 넓은 범람원을 관류하는 하천은 거의 예외없이 심하게 곡류한다. 하천은 곡류대의 너비를 대체로 일정하게 유지하는 가운데서 모양이 매우 불규칙한 물굽이들을 만들게 되는데, 우각호는 이런 곳에서 발달하기 때문이다(권혁재, 1974). 이후 구조분대 III에서는 다소 한랭한 기후하의 빈영양 호수 혹은 소택지 (oligotrophic-dystrophic swamps, bogs) 에서 발견되는 종인 *E. serra* 와 온대기후에서 어느 정도 강수량을 기록하는 습윤한 지역의 소택지에서 산출되는 종인 *Cymbella minute*, *Cymbella turmida*, *Epithemia zebra*, *Gomphonema parvulum*가 함께 산출되므로 수위가 낮아져 소택지로 바뀐 것을 알 수 있다(그림 3). 따라서 UD1이 퇴적될 당시의 한강은 유량의 풍부하고 유속이 빠른 곡류하천으로 유로변동에 따라 나타나는 point bar를 거쳐 흐름이 거의 없는 웅덩이, 즉 우

각호(oxbow lake)를 경험한 뒤, 이후 강수량 증가로 한강하류의 지류에 상당히 넓은 범람원이 형성되면서 자연제방과 배후습지를 형성했을 것으로 추정된다. 배후습지의 수심은 처음에는 매우 깊었으나 건조기후로 인해 점점 얕아져 육성환경으로 변화되었을 것으로 판단된다(그림 5).

UD2 퇴적환경은 UD1과는 약간의 차이가 있다. UD2의 하부구간인 구조분대 I 은 UD1과 마찬가지로 수위가 높고 유량이 풍부한 큰강의 연안지역이다. 그러나 구조분대II에서 구조분대III로 갑자기 바뀐다. 퇴적층 또한 점토층 (mud)에서 이탄층으로 변하므로 퇴적환경이 갑자기 바뀐 것을 알 수 있다. 구조분대II에서 우점으로 산출되는 *Fragilaria construens*는 수심이 매우 얕은 소택지 혹은 유속이 매우 낮은 하천가 수생식물의 뿌리와 바위에 부착되어 사는 종이다. 따라서 구조분대 II와 구조분대 III가 퇴적될 당시 환경은 수심이 매우 낮아진 것을 알 수 있다. 본 구간은 연대측정결과 약 18000 년전으로 최후빙하기(LGM)에 대비된다. 최후빙하기동안 해수면이 100 m로 하강하면서 강의 수위도 매우 낮아져 연안지역이 거의 노출되었을 것이다. 플라이스토세 기후변동과 관련된 충적단구가 한강하류에서 널리 분포하는 것으로 나타나는데, 권혁재(1974)에 의

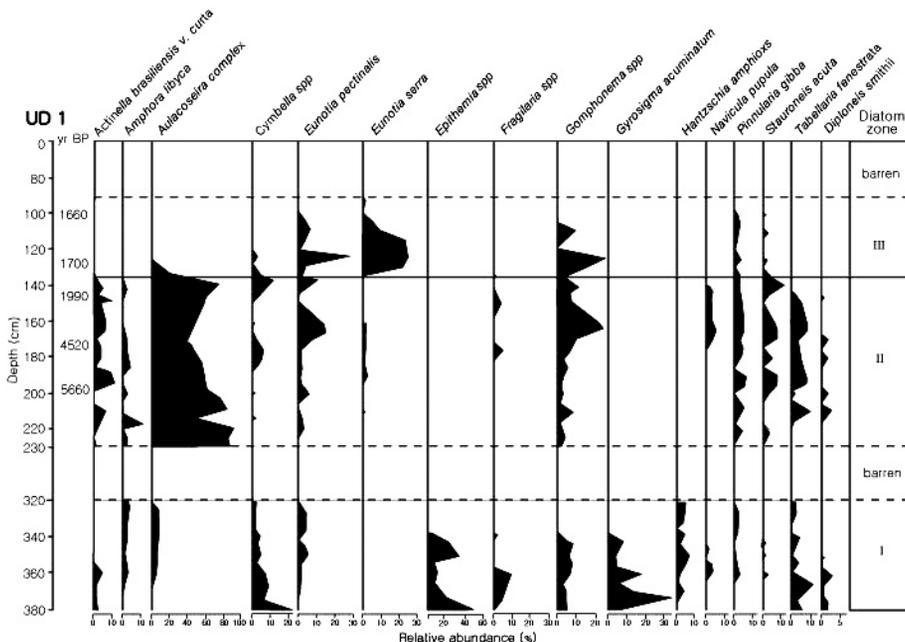


Fig. 3. Result of diatom analysis for the UD1.

하면 한강 하류 하남시 신장동에 너비 1 km 내의 길이 4 km의 단구가 형성되어 있다고 한다. 하안단구는 보통 하곡에 토사가 두껍게 쌓인 후 하천의 침식력이 부활되어 하도가 다시 깊게 파일 때 형성된다. 이런 현상은 건조기후가 습윤기후로 바뀔 때 일어날 수 있다. 유량의 증가로 하천의 침식력이 왕성해져 하도가 깊게 파이면 그 이전의 범람원은 단구로 변하게 된다. 빙하기 동안 해수면이 하강하면 해수면이 상승한 간빙기에 형성된 범람원에 하도가 깊게 파이며, 이 범람원은 단구로 변하게 된다. 이런 단구는 간빙기가 돌아와 해수면이 다시 상승한 후에도 없어지지 않고 새로 형성된 범람원 위에 남는다. 구조분대 III에서 육성종인 *Hantzschia amphioxys*가 증가하므로 구조분대 II보다 수심이 더욱 낮아진 것을 알 수 있다. 수심이 매우 낮아졌음에도 반담수종이면서 사질의 퇴적층에서 사는 종인 *Navicula lanceolata*, *N. menisculus*, *N. elginensis*, *Caloneis bacillum*와 해수종인 *Diploneis smithii*와 *Cocconeis placentula*가 산출된다. 최후빙하기 동안 해수면이 매우 낮아졌음에도 불구하고 이들 종이 산출되는 것은 연구지역까지 조석의 영향이 미쳤던 것으로 추정된다. 이후 약 2000년 동안 구조화석이 산출되지 않다가 구조분대 IV에서 담수부유성종인 *Aulacoseira*가 급증한다. *Aulacoseira*

가 급증한 것은 간빙기동안 온난 다습한 기후로 강수량이 증가하면서 넓은 범람원이 형성되면서 수심이 매우 깊은 배후습지를 형성했기 때문이다. 이런 호소환경은 오랫동안 지속되었을 것으로 판단된다.

구조분석결과 *Aulacoseira*의 산출을 근거로 UD1에서는 약 6000~1800년 전까지 UD2에서는 15100~3820년 전까지 호소환경을 유지한 것으로 나타났다(그림 3, 4와 5). 홍수발생시 덕풍천으로 유입되는 유수가 한강으로 빠져나가지 못하고 지체되면서 대규모 저습지 환경을 조성하였으며, 특히 한강의 수위가 현재보다 상당히 높은 경우 혹은 자연제방의 고도인 15 m를 넘어서는 경우 일단 범람한 물의 유출이 저지되면서 사실상 호소환경을 장기간 지니고 있었을 가능성이 크다. 김종연 외 (2006)의 연구에 의하면 연구지역인 하남시 풍산동 일대는 한강의 직접적인 영향만큼 덕풍천의 범람에 의한 영향을 강하게 받은 지역이며 특히 하류부에 있어서 창우천과 덕풍천이 한강과 합류하는 지역에서의 한강의 자연제방의 형성과 자연제방에 의해 격리된 상당한 깊이의 습지가 존재했을 가능성이 있는 것으로 추정했다. *Aulacoseira*가 급증하는 UD1의 구조분대 II와 UD2의 구조분대 IV에 해당하는 퇴적층에서 호소성 환원층인 청회색 및 녹회색 이토층이 발견되는데, 이는 수심이 깊은

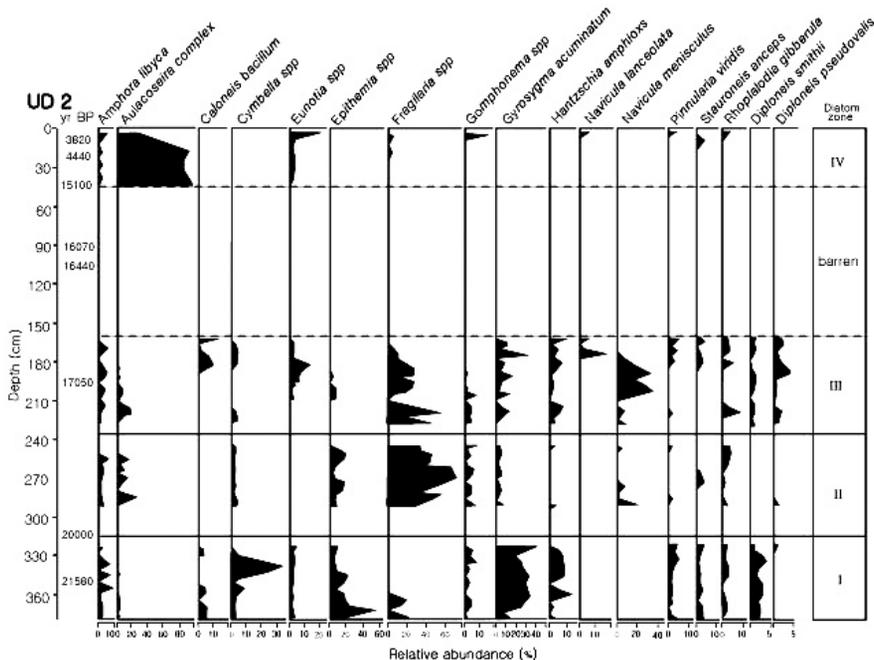


Fig. 4. Result of diatom analysis for the UD2.

호소환경이 오랫동안 지속되었음을 의미한다. 따라서 하남시 연구지역내 퇴적층에서 발견되는 이탄층은 현재의 해수면보다 높은 고도에 위치하고 있기 때문에 일산지역과 같이 해수의 영향을 직접 받은 지역이 아니라 소택지 환경에서 유기물이 다량 집적되어 형성된 것으로 여겨진다(Buzer, 1981; Haggart, 1986; Mölder and Tynni, 1943; Wolin and Duthie, 2000). 하부구간에서 풍부하게 산출되는 반담수종인 *Gyrosigma acuminatum*와 소량이지만 *Diploneis smithii*, *Cocconeis placentula* 와 같은 해수종이 산출되는 것은 해수면변동에 의해 해수의 영향을 직접 받은 것이 아니라 강수량이 풍부한 시기에 연구지역까지 조석의 영향이 미쳤기 때문인 것으로 판단된다. 한강은 1970년대 이후 골재채취로 하폭이 엄청나게 넓어지는데다가 수중보의 건설로 마치 호소와 같은 하천으로 변했지만 그 이전에는 마포까지 조석의 영향이 미쳤던 것으로 나타났다(권혁재, 1974).

구조분석결과 한강하류지역인 하남지역의 고환경변화는 하천의 유로 변동 즉 하천의 에너지 변화와 기후변화와 관련이 있는 것으로 나타났다. 홍수시에는 한강 지류의 범람에 의한 영향을 강하게 받은 지역이며, 한강의 합류부에서 자연제방에 의해 격리된 상당한 깊이의 습지가 존재하였고, 이 호소환경을 오

랫동안 유지한 것으로 나타났다 (그림 5).

6. 결론

한강유역 저습지의 고환경 변화를 규명하기위해 하남시 풍산동일대 한강하류 저습지 UD1 과 UD2의 시추퇴적물에서 구조분석을 실시하였다. 구조화석 분석결과 31속 160종의 구조화석이 감정되었다. 구조화석군집조성은 대부분 담수, 담수-반염수종으로 이루어져 있다. 구조화석분석 결과 연구지역은 큰강의 연안에서 하천의 에너지 변화와 관련하여 하천하류 합류부에서 발달하는 광범위한 범람원과 배후습지성 환원환경의 퇴적상을 보이며 다양한 하천퇴적환경을 거친 것으로 나타났다. 한강 하류의 연안지역에서 유로변동에 의한 point bar, 우각호를 형성한 뒤 건조기후로 인한 육성환경으로 바뀌었다가 이후 강수량의 증가로 상당한 수심을 갖는 소택지환경으로 변화하였으며 이 호소성 퇴적환경을 오랫동안 유지한 것으로 나타났다. 하남시 풍산동 일대에 발견되는 이탄층은 해수면변동에 의해 형성된 것이 아니라 하천배후에 대규모의 습지가 형성되고 흐름이 정체되면서 유기물이 집적되어 형성된 것으로 판단된다.

사 사

이 논문을 심사하고 좋은 의견을 주신 윤혜수 교수님과 이희일 박사님께 깊은 감사를 드린다. 본 연구를 위한 시료는 한국지질자원연구원의 기본사업인 “한반도 단주기/돌발 지구환경변화 과거 복원 및 미래예측 기반 구축” 과제 일환으로 획득한 시료이다. 시료를 제공해준 지질자원연구원에 감사드린다.

참고문헌

권혁재, 1974, 지형학. 498p.
 김종연, 김주용, 2005, 하남시일대 한강하류 하천퇴적층의 연구 I, 한국지형학회지, 12, 43-54.
 김종연, 김주용, 양동윤, 윤현수, 이상현, 김정찬, 남옥현, 오근창, 김진관, 2006, 하남시일대 한강하류 하천퇴적층의 연구 II, 한국지형학회지, 13, 55-73.
 류은영, 류병재, 윤혜수, 이성주, 2003, 구조화석군집을 이용한 동해울릉분지의 후기 제4기 고환경, 지질학회지, 39, 183-198
 류은영, 남옥현, 양동윤, 김주용, 2005, 한국 서해연안 습

UD1			UD2		
Age yr BP	Environment	Diatom zone	Age yr BP	Environment	Diatom zone
	terrestrial cold, dry	barren	3820 →	deep backswamp cold- temperate, wet	IV
			4440 →		
1660 →	peat bog cold, dry	III	15100 →	terrestrial cold, dry	barren
1700 →			16070 →		
	deep backswamp /oxbow lake cold- temperate, wet	II	16440 →	very shallow river/ swamp cold, dry	III
4520 →			17050 →		
5660 →	point bar cold, dry	barren		shallow river cold, dry	II
			20000 →		
	fluvial /river temperate, wet	I	21580 →	fluvial / river temperate, wet	I

Fig. 5. Paleoenvironmental and climatic changes in the study area.

- 지의 구조 및 고환경 연구, 지질학회지, 41, 227-239.
- 류은영, 남옥현, 양동운, 김주용, 이성주, 2007, 평택고습지 구조 및 고환경 연구, 지질학회지, 43, 167-181.
- 이영길, 박용안, 최진용, 1994, 한국 서해 남양만 북서부 조간대 퇴적층의 퇴적상과 미고생물학적 연구, 고생물학회지, 10, 26-40.
- 이영길, 박용안, 최진용, 1995, 한국 서해 만경강-동진강 하구역 및 연안역 조간대 퇴적층의 퇴적상과 미고생물학적 연구, 한국해양학회지, 30, 77-90.
- 황상일, 윤순옥, 조화룡, 1997, Holocene 중기에 있어서도 대천유역의 퇴적환경변화, 대한지리학회지, 32, 403-420.
- American Museum of Natural History, 1985-1994, Catalogue of Diatoms. Book 1-11, Micropaleontology Press.
- Anderson, J.U., 1963, An approved pretreatment for mineralogical analysis of samples containing organic matter. Journal series No. 172, New Mexico State University Agricultural Experiment Station, Las Cruces, New Mexico, USA. 8 p.
- Beuselinck, L., Govers, G., Poesen, J., Degraer, G., Froyen, L., 1998, Grain-size analysis by laser diffractometry: comparison with the sieve-pipette method. Catena 32, 193-208.
- Buzer, J.S. 1981, Diatom analyses of sediments from Lough Ine, Co. Cork, Southwest Ireland. New Phytologist 89, 511-533.
- Gasse, F., Campo, E.V., 2001, Late Quaternary environmental changes from a pollen and diatom record in the southern tropics (lake Tritrivakely, Madagascar). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 167, 287-308.
- Gurel, A., Yildiz, A., 2007, Diatom communities, lithofacies characteristic and paleoenvironmental interpretation of Pliocene diatomite deposits in the Ihlara-Selime plain (Aksaray, Central Anatolia, Turkey). Journal of Asian Earth Science 30(1), 170-180.
- Harggart, B.A. 1986, Relative sea-level change in the Beaully Firth, Scotland. Boreas 15, 191-207.
- Hendey, N.I., 1964, An introductory account of the smaller algae of British coastal waters. Fishery Investigations Series VI, HMSO, London, 317 p.
- Hustedt, F., 1930, Die Kieselalgen Deutschlands, Osterreichs und der Schweiz mit Berücksichtigung der ubrigen Lander Europas yowie der angrenyenden Meeresgebiete. Rabenhorst, L. (Ed), Krzptogamenflora von Deutschland, Osterreich und der Schweiz. V. 7, Pt. 1: Leipzig (Akademische Verlagsgesellschaft).
- Kim, J.C., Lee, C.H., Kim, I.C., Park, J.H., Cheoun, M.K., Kim, Y.D., Moon, C.B., 2000, Anew AMS facility in Korea. Nuclear Instruments and Methode in Physics B-172, 13-17.
- Kosugi, M., 1988, Classification of living diatom assemblages as the indicator of environments, and its application to reconstruction of paleoenvironments. The Quaternary Research 27, 1-20.
- Ludlam, S.D., Feeney, S., Douglas, M.S.V., 1996, Changes in the importance of lotic and littoral diatoms in a high arctic lake over the last 191 years. Journal of paleoclimatology 16, 184-204.
- Marchetto, A., Lami, A., Musazzi, S., Massaferro, J., Langone, L., Guilizzoni, P., 2004, Lake Maggiore (N. Italy) trophic history: fossil diatom, plant pigment, and chironomids, and comparison with long-term limnological data. Quaternary International 113, 97-110
- Miller, U., 1971, Diatom floras in the sediments at Leveaniemi. Sveriges Geologiska Undersokning, C 658, 104-163.
- Mölder, K., Tynni, R. 1943, Studien uber die Ökologie und Geologie der Bodendiatomeen in der Pojo-Bucht. Annales Botanici Societatis Zoologicae-Botanicae Fennicae Vanamo 18, 1-204
- Patrick, R., Reimer, C., 1966, The diatoms of the United States. Academy of National Science of Philadelphia, Monographs 13, 1-688.
- Pilskaln, C.H., Johnson, R., 1991, Seasonal signals in Lake Malawi sediments. Limnology and Oceanography 36, 544-557.
- Rabenhorst, M.C., Wilding, L.P., West, L.T., 1984, Identification of pedogenic carbonates using stable isotopic and microfabric analysis. Soil Science Society of American Journal 48, 125-132.
- Round, F.E., Crawford, R.M., Mann, D.G., 1990, The Diatoms, Cambridge University Press, Cambridge, UK, 747 pp.
- Schmit, A. (Ed.) 1984, Atlas der Diatomaceen-Kunde, Band 1. Tafel 1-144
Atlas der Diatomaceen-Kunde, Band 1. Tafel 145-380
Atlas der Diatomaceen-Kunde, Band 1. Tafel 381-480
- Smol, J.P., 1983, Paleophycology of a high arctic lake near Cape Herschel, Ellesmere Island. Canadian Journal of Botany 61, 2195-2204.
- Sylvestre, F., Guiral, D., Debenay, J.P., 2004, Modern diatom distribution in mangrove swamps from the Kaw Estuary (French Guiana). Marine Geology 208, 281-293.
- Tappan, H., 1980, The paleobiology of plant protists. San Francisco: W.H. Freeman and Company San Francisco, 567-677.
- Taylor, G., Gasse, F., Walker, P.H., Morgan, P.J., 1990, The paleoecological and paleoclimatic significance of Miocene freshwater diatomite deposits from southern

- New South Wales, Australia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 77, 127-143.
- Vos, P.C., de Wolf, H., 1993, Diatoms as a tool for reconstructing sedimentary environments in coastal wetlands; methodological aspects. *Hydrobiologia* 269/270, 285-296.
- Yabe, H., Yasui, S., Urabe, A., Takahama, N., 2004, Holocene paleoenvironmental changes inferred from the diatom records of the Echigo Plain, central Japan. *Quaternary International* 115-116, 117-130.
- Wolin, J.A., Duthie, H.C., 2000, Diatom as indicators of water level change in freshwater lakes. In: Eugene F. Stoermer, Smol, J.P., *The diatoms: Applications of the environmental and earth science*. Cambridge University 183-202.

투 고 일 : 2007년 8월 20일

심 사 일 : 2007년 10월 10일

심사완료일 : 2007년 11월 27일