Korean J. Environ. Biol. 25(1) : 16~26(2007)

한강하류의 환경학적연구 IX. 인공기질을 이용한 부착돌말류의 천이와 요인분석

박 성 환 · 이 진 환*

상명대학교 자연과학대학 생명과학과

Environmental Studies in the Lower Part of the Han River IX. Succession of Epilithic Diatoms on the Artificial Substrate and Factor Analysis

Sung Hwan Park and Jin Hwan Lee*

Department of Life Science, Sangmyung University, Seoul 110-743, Korea

Abstract - To study the succession of epilithic diatoms on the artificial substrate, we investigated environmental factors and the diatom assemblages biweekly from Mar. 2004 to Feb. 2005 at 2 stations in the lower part of the Han River. A total of 60 taxa, representing 2 orders, 3 suborders, 8 families, 17 genera, 51 species, 7 varieties and 2 forms were identified, and mean number of species were 19 species in spring, 20 in summer, 22 in autumn and 22 in winter. Standing crops of epilithic diatoms varied extensively by months and stations; mean values of those were 3.2×10^4 cells cm^{-2} in spring, 1.9×10^4 in summer, 1.7×10^4 in autumn and 1.8×10^5 in winter. Chlorophyll *a* concentrations were also similarly showed as variations of the diatom assemblages. Succession of the diatoms in St. 1 was as follows; *Melosira varians, Fragilaria capucina, Cyclotella comta, Nitzschia palea* in spring, *Fragilaria capucina* in summer, *Aulacoseira granulata* var. *angustissima* in autumn, *Aulacoseira granulata* var. *angustissima* and *Melosira varians, Cymbella minuta* in winter. In station 2, *Aulacoseira granulata* and *Nitzschia palea* dominated in spring as a pioneer in early stage of succession, *Fragilaria capucina* in summer, and *Nitzschia palea* in winter. According to Canonical Correspondence Analysis (CCA), there showed similar to that of succession of epilithic diatoms within St. 1 and St. 2, and they were not changed by stations but seasons. *Nitzschia palea* belonged to saprophilous taxa correlated with nitrogen sources and suspended solids. Meanwhile, *Fragilaria capucina* and *Cymbella minuta* included in xenosaprobic taxa show correlation with DO and pH. Eurysaprobic taxa correlated with all environmental factors.

Key words : artificial substrate, CCA, epilithic diatoms, factor analysis, Han River, succession

서 론

한강은 강원도, 충청북도, 경기도, 서울을 거쳐 서해로 유입되는 국가하천으로 총 유로연장이 약 514 km, 유역면적이 약 26,279 km^2에 달한다. 또한 우리나라 전 인구의 40% 이상이 생활용수, 공업용수, 농업용수 등으로 사용하며, 섬진강, 낙동강, 금강, 영산강과 함께 국내 5대강 중의 하나이다. 이같은 한강은 주변도시의 확대와 인구증가로 인한 주변 지 · 하천의 오염원 유입이 수질을 악

* Corresponding author: Jin Hwan Lee, Tel. 02-2287-5152, Fax. 02-394-9585, E-mail. jhlee@smu.ac.kr

화시켜 사회문제로 대두되고 있으며, 특히 팔당대교부터 행주대교에 이르는 하류역에는 왕숙천, 중랑천, 탄천, 안양천 및 불광천 등의 지·하천이 유입되어 수질오염을 가중시키고 있다.

부착조류는 수중생태계의 기초 생산자로서 다른 대형 식물이나 동물군집에 비하여 수질환경의 변화에 민감할 뿐만 아니라 다양한 기질에 부착하여 서식하기 때문에 수질을 판정하는 지표로 널리 이용되고 있다(McCormick and Stevenson 1998). 이들의 생육분포를 확인함으로써 특정지역의 물리적인 환경에 적응하여 군집을 형성하는 생물군의 생태적 지위를 이해함은 물론 수질의 장단기적인 영향에 의한 축적효과를 파악할 수 있고, 조류군집의 시·공간적 천이나 변화를 근거로 장래의 수환경을 예측 가능하게 한다(Fjerdingstad 1964; Watanabe 1977). 하천의 생물학적 수질판정에는 부착조류군집과 수서곤충이 가장 많이 이용되어 왔으나, 부착조류는 세대 길이가 짧아 단기간에 수질을 평가하는 좋은 수단이 되고 있다(Watanabe 1981). 특히, 돌말류(diatoms)는 수계의 제반 환경에 따라 정량적 변화를 보이며, 초기 서식 시기부터 채집시까지 수 환경 변화를 종합적으로 반영할 수 있는 특성을 가지고 있어 수중생태계의 이해를 위해서 가장 활발히 조사되고 있다(Czarnecki and Blinn 1978; Dixit and Smol 1995; O'Connell *et al.* 1997; Laing *et al.* 1999). 국내에서도 1990년대 이후 이 분야의 연구가 낙동강, 금강, 섬진강 및 대구주변 하천에서 활발히 이루어지고 있으나(Choi and Chung 1990; 이와 김 1996; 최 등 1998; 김 1999; 김 등 2000; 이 등 2000; 최 등 2004), 한강하류유역에서는 연구가 활발하지 못한 편이다.

따라서 본 연구는 한강 하류역에서 인공기질을 이용한 부착돌말류의 계절적 천이를 규명하고, 이에 미치는 환경영향인자를 밝혀내며, 부착돌말류와 환경과의 관련성을 통계학적으로 이해하려고 한다.

재료 및 방법

1. 조사정점 및 기간

본 연구는 한강 하류역에서 2004년 2월부터 2005년 2월까지 1년간 격주 간격으로 2개의 정점을 선정하여 실시하였다. 정점 1은 팔당대교 아래에 자갈로 이루어진 수심 50 cm의 바닥에, 정점 2는 영동대교 아래로 수심 50 cm에 모래로 이루어진 바닥에 기질을 각각 설치하였다(Fig. 1). 부착기질 설치는 외부의 인위적 영향을 받지 않으며, 광량이 바닥까지 침투할 수 있는 곳으로 선정하였다. 인공기질의 수거는 채집시마다 3배수로 채집하여 정량 및 정성분석을 하였다. 다만, 집중 강우 시에는 채집의 어려움으로 정점 1에서는 16회, 정점 2에서는 11회 수행하였다.

2. 인공기질

암반 부착 돌말류(epilithic diatoms)의 천이를 관찰하기 위해 강(1998)의 방법을 변형하여 겉 표면이 세라믹으로 코팅된 점토 재질의 인공기질(2.4×4 cm)을 사용하였고, 타일의 크기에 맞는 아크릴틀(60×30 cm)을 제작하여 타일을 부착하였다(Fig. 2).

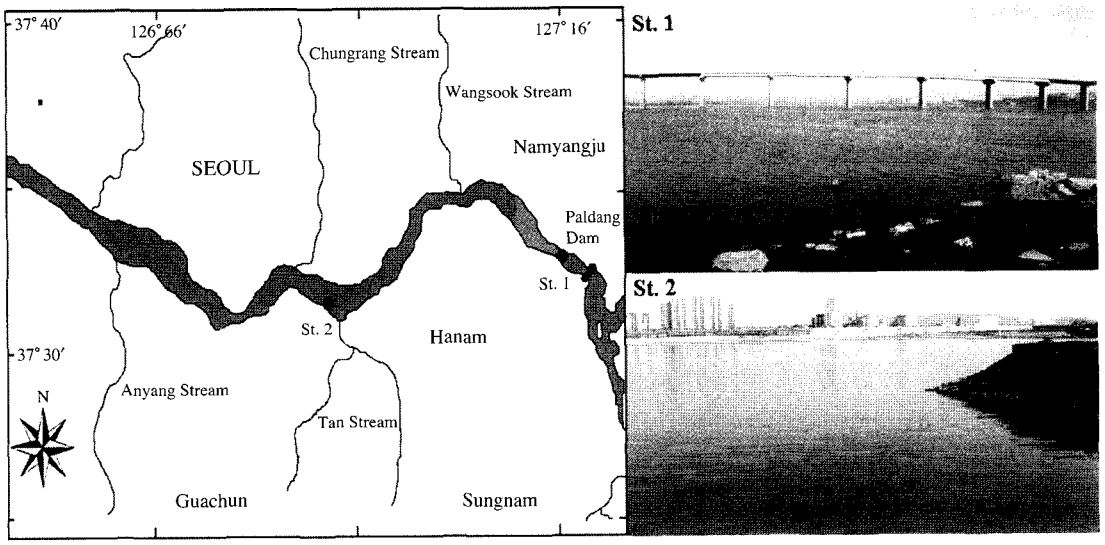

Fig. 1. A map showing the sampling station in the lower part of the Han River.

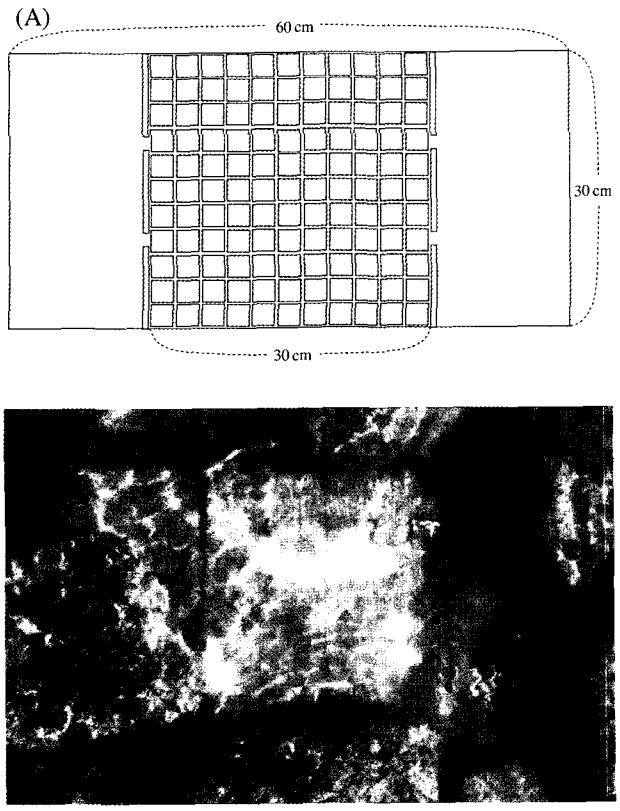

Fig. 2. Schematic diagram of the artifical substrate holder (A) and Experiment of growth of epilithic diatoms established in the lower part of the Han River (B) River.

3. 환경요인 측정

수온과 용존산소량, 전기전도도 및 pH는 정해진 2개 정점에서 휴대용 T-S meter (Model 550A, 63, YSI)로 측정하였다. BOD와 COD는 APHA (1995)의 방법에 의하여, 부유물질 (suspended solids)은 사전에 무게를 측정한 0.45 μm nitrocellulose membrane (HA type, Millipore)에 시수 500 mL를 여과 후 이를 항량이 될 때까지 건조시켜 무게를 측정하여 구하였다 (APHA 1995). 영양염류 (NH_4-N, NO_3-N, NO_2-N, PO_4-P, SiO_2-Si)의 분석은 0.45 μm polycarbonate membrane (GTTP type, Millipore)으로 여과한 시료를 자동영양염류분석기 (Flowsystem IV, Alpkam)로 정량하였다. Chlorophyll *a*는 수거한 기질을 90% acetone으로 냉암소에서 24시간 동안 색소를 추출하여 UV/VIS Spectrophotometer (UV-1700, Shimadzu)에서 흡광도를 측정한 후 농도를 정량하였다 (Franson 1989).

4. 암반부착조류

부착조류의 정량과 정성분석은 수거한 기질을 부드러운 솔을 이용하여 증류수로 씻으면서 폴리에틸렌병에 담아 최종 양을 50 mL로 한 후 Lugol's 용액으로 고정하였다. 정량분석은 고정한 시료 0.1 mL를 취하여 Palmer-Maloney chamber에 넣고 광학현미경 (Axioskop 40, Zeiss) ×400에서 3회 계수한 후 평균치를 단위면적당 현존량으로 산출하였다. 부착조류의 동정은 광학현미경 ×400 ~ ×1,000하에서 수행하였고, 소형 돌말류의 동정을 위하여 세포내 유기물을 제거하여 (Hasle and Fryxell 1970), 주사전자현미경 (JSM 5600 LV, Jeol)을 이용하여 동정 및 사진을 촬영하였다.

5. 통계분석

환경요인의 변동에 따른 두 정점별 차이를 파악하기 위하여 paired t-test로 각 조사시기에 따라 환경 요인들의 평균값 사이의 차이를 검정하였다. 부착돌말류와 환경요인과의 관계는 Canonical Correspondence Analysis (CCA)를 이용하여 분석하였다 (Ter Braak 1986, 1987). 이 분석법은 각 출현종들 사이의 유사성 거리를 계산하여 각 개체간의 상대적 거리를 위치화 시켜 배열한 공간에서 각 개체의 배열과 측정된 환경요인 (variables) 사이에 가장 높은 상관관계를 갖는 모형을 겹쳐서 최종적으로 axis 1과 axis 2 상에서 정점과 종을 동시에 배열하고, 군집자료와 환경요인의 관계를 나타내었다. 이때, 최소변인 (minimum variances)에 의하여 의미를 부여할 수 있게 군집을 나누었다. 이 과정에서 각각의 축 (axis)에 대해 종수에 따라 희소종에 따른 영향 축소 (Down-weight rare)를 실시하여 높은 빈도의 출현종에 대한 빈도를 가중시켰다. 이와 같이 새롭게 생성된 종의 점수 (species scores)와 환경요인들 사이에 회귀분석을 수행하였고, 환경요인과 CCA 좌표축들 사이의 상관관계로부터 환경요인들의 중요성을 평가하였다. 여기서 사용된 통계 프로그램은 SAS (version 9.0, Statistical Analysis System)를 사용하였고, CCA 분석은 MVSP (version 3.1, Kovach Computing Services) 프로그램을 사용하였다.

결 과

1. 물리 · 화학적 환경요인

본 조사기간 중 수온은 최저 0.3°C (2005년 1월 30일, 정점 1)에서 최고 25.3°C (2004년 8월 15일, 정점 2)로 계절별 양상이 뚜렷하였으며, 정점 간 차이는 거의 없었다 (Table 1). pH는 최저 6.6 (2004년 7월 21일, 정점 1)에서 최고 9.1 (2004년 3월 14일, 정점 1)로 여름철 풍수기

Table 1. Biweekly variations of physicochemical factors in the lower part of the Han River from Feb. 29, 2004 to Feb. 27, 2005

Factors	Water temperature (°C)		pH		Conductivity (μs cm^{-1})		DO (mg L^{-1})		COD (mg L^{-1})		BOD (mg L^{-1})		Suspended solids (mg L^{-1})		NO_2-N (μM)		NO_3-N (μM)		NH_4-N (μM)		PO_4-P (μM)		SiO_2-Si (μM)	
Date\Station	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Feb. 29 2004	3.5	5.1	7.7	7.6	85.5	171.5	10.3	8.9	7.3	8.9	4.7	8.8	11.0	54.3	0.65	1.67	17.78	40.56	16.70	16.44	0.51	2.24	40.31	60.66
Mar. 14	5.0	7.8	9.1	8.2	100.8	163.3	10.5	8.9	6.5	7.4	4.2	9.2	12.0	15.3	2.99	1.14	18.95	47.07	21.58	28.61	1.06	3.91	2.60	13.39
Mar. 28	7.3	10.4	8.3	8.0	98.8	168.7	10.3	9.0	6.4	8.3	3.6	7.2	9.0	32.0	0.85	1.23	19.52	29.11	20.27	30.15	0.98	1.75	1.94	0.47
Apr. 11	11.2	13.7	8.4	8.2	125.7	202.7	9.0	8.7	4.8	7.4	3.0	6.8	7.3	20.7	2.17	3.08	14.02	28.22	20.59	22.16	1.42	2.85	0.68	26.71
Apr. 25	12.8	15.7	8.2	8.0	125.9	193.1	8.8	7.6	4.0	6.4	1.3	6.9	5.3	29.0	2.68	1.29	22.95	28.40	27.69	30.29	1.28	1.99	7.49	9.98
May 9	15.0	16.4	7.2	7.4	140.9	91.8	7.3	5.9	3.2	7.2	2.0	5.1	12.3	21.7	3.83	2.05	21.06	34.99	35.98	40.27	1.41	4.34	4.14	10.01
May 23	16.6	18.3	8.0	7.6	130.7	189.2	8.5	7.0	1.4	7.0	2.3	6.6	6.7	44.3	0.71	1.63	21.20	41.52	25.04	44.82	1.40	2.39	15.23	30.37
Jun. 5	20.8	21.5	8.9	7.9	138.4	171.1	10.0	7.3	3.6	6.6	1.6	3.7	7.0	19.3	1.99	3.69	23.32	37.46	24.96	28.71	1.75	2.40	10.65	12.16
Jun. 19	18.2	19.2	7.6	7.7	165.6	197.7	8.1	7.8	4.4	7.6	1.8	2.6	7.7	15.3	1.25	2.06	24.60	33.32	26.30	24.48	1.44	2.00	5.65	4.65
Jul. 5	19.4	20.3	7.4	7.4	136.3	160.7	6.9	5.7	4.2	13.2	0.4	6.0	20.0	36.3	1.72	8.08	24.43	44.34	23.98	36.32	1.75	2.33	83.44	72.58
Jul. 21	19.1	20.0	6.6	7.3	114.6	147.9	8.1	7.3	10.8	4.3	0.7	2.5	47.3	40.0	1.35	1.82	26.79	32.21	37.15	53.76	1.95	2.36	21.06	49.37
Aug. 2	22.2	22.7	7.5	7.6	118.5	135.7	7.9	6.7	5.4	4.1	1.4	1.6	6.3	16.7	1.55	1.71	27.43	38.46	30.37	31.12	0.76	1.22	71.41	85.70
Aug. 15	23.5	25.3	7.3	7.2	104.6	181.4	7.0	5.3	2.8	4.7	0.0	3.4	7.7	16.3	1.47	2.06	29.18	32.83	49.65	48.61	1.24	2.88	1.64	10.31
Aug. 29	20.6	21.1	7.6	7.5	118.1	148.8	7.9	7.4	4.3	4.7	5.3	8.0	30.0	28.7	1.54	0.90	23.88	21.69	50.95	66.51	1.83	2.41	28.00	33.01
Sep. 19	21.8	21.9	7.4	7.2	112.9	161.0	7.3	6.8	1.4	3.1	1.6	2.4	8.3	13.3	1.19	2.22	29.91	34.66	24.06	36.44	1.53	3.26	6.19	20.70
Oct. 3	20.4	20.2	8.4	7.1	111.7	147.5	10.0	6.7	3.4	6.9	3.2	3.5	8.0	26.3	0.60	1.67	25.52	29.05	17.30	32.76	1.23	1.49	12.00	29.08
Oct. 17	15.6	17.2	8.2	7.5	102.5	165.2	8.9	7.2	3.8	7.2	0.8	4.8	8.7	17.3	0.05	2.44	17.91	25.88	31.21	42.60	1.54	5.88	54.66	58.22
Oct. 31	13.3	15.6	8.3	7.5	108.2	185.2	10.1	7.3	4.4	6.3	2.0	4.9	9.7	15.7	3.52	4.06	13.84	26.46	33.04	47.83	3.91	5.40	25.34	17.87
Nov. 28	8.7	10.2	7.9	7.6	107.9	121.0	11.2	10.4	4.2	7.0	1.6	6.1	17.0	11.7	3.12	1.30	20.77	38.18	32.36	32.68	1.73	1.83	17.55	35.98
Dec. 12	7.0	8.2	8.6	7.5	101.5	160.0	14.1	11.5	4.2	8.2	1.2	3.6	3.7	22.7	4.01	4.60	11.77	34.98	29.89	33.52	0.94	2.98	8.16	18.21
Dec. 27	3.2	3.3	8.0	7.6	62.5	145.3	13.2	12.4	2.2	8.7	3.8	4.2	3.0	14.7	1.61	1.69	16.06	34.98	25.64	45.88	0.15	3.96	3.11	10.80
Jan. 16 2005	0.9	1.9	7.8	7.4	90.7	154.6	13.6	12.9	4.2	7.1	0.3	2.1	4.3	12.0	4.66	4.74	18.18	31.64	35.64	47.91	1.10	3.17	15.32	24.72
Jan. 30	0.3	1.2	8.2	7.7	106.9	160.2	15.4	13.2	3.6	7.8	1.4	1.0	6.0	42.3	1.43	2.83	8.56	16.13	23.18	27.33	0.98	5.34	1.98	4.60
Feb. 13	0.4	3.0	8.4	7.9	103.7	173.3	15.0	13.0	5.0	9.4	1.6	4.4	6.0	16.0	4.18	0.06	14.92	34.38	10.03	32.42	0.66	5.24	7.51	3.16
Feb. 27	1.6	2.0	9.0	8.2	94.9	149.1	21.1	18.3	4.1	6.7	3.1	2.3	19.0	11.0	0.82	0.23	14.25	26.13	22.24	46.21	5.48	3.07	1.50	3.05
Mean	12.3	13.7	8.0	7.6	112.3	161.8	10.4	8.9	4.4	7.0	2.1	4.7	11.3	23.7	2.00	2.33	20.27	32.91	27.83	37.11	1.52	3.07	17.90	25.83

에 6.6~7.7로 비교적 낮았고, 갈수기에는 7.2~9.1로 상대적으로 높았다. 정점별로는 탄천의 영향을 받는 정점 2에서 낮은 값으로 정점간 차이를 보였다($p<0.05$). 전기전도도는 최저 63 μS cm^{-1}(2004년 12월 27일, 정점 1)에서 최고 203 μS cm^{-1}(2004년 4월 11일, 정점 2)의 범위로, 겨울철에 평균 114 μS cm^{-1}보다 봄철에 평균 162 μS cm^{-1}로 증가하였다. 또한 정점별로 정점 1에서 평균 111 μS cm^{-1}로 정점 2의 평균 165 μS cm^{-1}보다 낮았다($p<0.01$). 용존산소의 월별 변화는 최저 7.0 mg L^{-1}(2004년 7월)에서 최고 10.9 mg L^{-1}(2005년 2월)로 여름철에 낮고 겨울철에 높았다. COD는 월별 최저 2.3 mg L^{-1}(2004년 9월)에서 최고 8.1 mg L^{-1}(2004년 7월)을 보였고, 정점 2에서 높았다($p<0.01$). BOD의 월별 변화는 최저 1.1 mg L^{-1}(2005년 1월)에서 최고 6.7 mg L^{-1}(2004년 2월)이었고, 정점 2에서 높아 COD와 유사하였다($p<0.01$). 부유물질(SS)은 최저 3.0 mg L^{-1}(2004년 12월 27일, 정점 1)에서 최고 54.3 mg L^{-1}(2004년 2월 29일, 정점 2)로 여름철 풍수기인 7월부터 8월에 6.3~47.3 mg L^{-1}의 범위로, 다른 계절의 3.0~44.3 mg L^{-1} 범위에 비해 높았으며, 정점 1(평균 11.3 mg L^{-1})보다 정점 2(평균 23.7 mg L^{-1})에서 급격히 증가하였다($p<0.01$). NO_2-N은 최저 0.05 μM(2004년 10월 17일, 정점 1)에서 최고 8.08 μM(2004년 6월 5일, 정점 2)의 범위로 나타났으며, 정점간의 차이가 거의 없었다. NO_3-N은 최저 8.56 μM(2005년 1월 30일, 정점 1)에서 47.07 μM(2004년 3월 14일, 정점 2)의 범위였으며, 월별 변화는 1월에 최저 18.63 μM에서 7월에 최고 31.94 μM이었다($p<0.01$). NH_4-N은 최저 10.03 μM(2005년 2월 13일, 정점 1)에서 최고 66.51 μM(2004년 8월 29일, 정점 2)의 범위로 나타났고, 월별 변화는 7월 중순부터 8월 중순까지 30.37~66.51 μM의 범위로 나머지 조사계절의 10.03~47.91 μM 범위에 비해 상대적으로 높은 값을 보였으며, 특히 정점 2에서 급격한 증가를 보였다($p<0.01$). PO_4-P는 최저 0.15 μM(2004년 12월 27일, 정점 1)에서 최고 5.88 μM(2004년 10월 17일, 정점 2)을 보였으며($p<0.001$), SiO_2-Si은 최저 0.47 μM(2004년 3월 28일, 정점 2)에서 최고 83.44 μM(2004년 6월 5일, 정점 1)로 7월부터 8월 초까지 21.06~85.70 μM로 나머지 조사계절의 0.47~58.22 μM에 비해 상대적으로 높은 농도를 보였으나, 정점간의 차이는 나타나지 않았다.

2. 부착돌말류의 개체수 변동과 우점종의 천이

본 조사기간 동안 출현한 돌말류는 60종류로 2목 3아목 8과 17속 51종 7변종 2품종으로 구성되어 있었다. 출현종수는 최저 9종(2004년 3월 14일, 정점 1)에서 최고 28종(2005년 1월 26, 정점 1)까지 다양하게 변화하였으며, 계절별 평균 종수는 봄철에 19종류, 여름철에 20종류, 가을철에 22종류, 겨울철에 22종류로 변화폭은 그리 크지 않았다. 정점별 평균 종수는 정점 1에서 22종, 정점 2에서 17종으로 정점 1에서 다양한 출현종수를 보였다.

부착돌말류의 현존량은 최저 1.8×10^4 cells cm^{-2}(2004년 3월 14일, 정점 2)에서 최고 5.4×10^5 cells cm^{-2}(2004년 5월 23일, 정점 1)로 큰 변화폭을 보였으며(Fig. 3), 계절별 평균 현존량은 봄철에 3.2×10^5 cells cm^{-2}, 여름철에 1.9×10^5 cells cm^{-2}, 가을철에 1.7×10^5 cells cm^{-2}, 겨울철에 1.8×10^5 cells cm^{-2}로 봄철에 가장 높았다. 정점별 평균 현존량은 정점 1에서 2.6×10^5 cells cm^{-2}, 정점 2에서 2.1×10^5 cells cm^{-2}로 정점간의 큰 차이를 나타내지 않았다.

Chlorophyll *a*의 농도는 최저 3.0 mg m^{-2}(2005년 1월

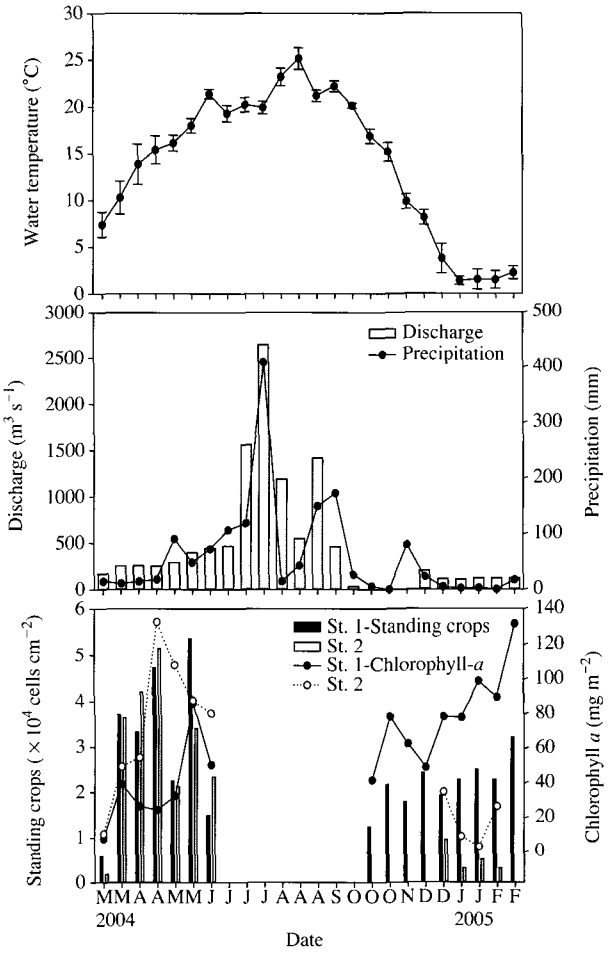

Fig. 3. Biweekly variations of water temperature, discharge, precipitation, chlorophyll *a* and epilithic diatom abundances in the lower part of the Han River.

30일, 정점 2)에서 최고 132.6 mg m^{-2}(2004년 4월 25일, 정점 2)로 변화의 폭이 매우 컸으며, 계절별로는 착생초기인 봄철 초기(2004년 3월 14일~4월 11일)에 평균 31.6 mg m^{-2}, 봄철 중기이후(4월 25일~5월)에 78.7 mg m^{-2}, 초여름철(6월 5일)에 65.5 mg m^{-2}, 가을철(10~11월)에 60.9 mg m^{-2}, 겨울철(12월~2005년 2월)에 59.8 mg m^{-2}로 착생초기를 제외한 봄철에 가장 높은 농도를 보였다.

우점종에 의한 천이는 정점 1에서 착생초기인 봄철초기(2004년 3월 14일~4월 11일)에 *Melosira varians, Fragilaria capucina, Cyclotella radiosa*, 봄철 중기이후(4월 25일~5월)에는 *Nitzschia palea*, 초여름(6월 5일)에는 *Fragilaria capucina*, 가을철(10~11월)에는 *Aulacoseira granulata* var. *angustissima*, 겨울철 중기(12월~2005년 1월)까지는 가을철과 비슷한 양상으로 *Aulacoseira granulata* var. *angustissima*와 *Melosira varians*가 우점하였고, 2005년 2월에는 *Cymbella minuta*로 연중 천이계열이 형성되었다. 정점 2에서는 착생초기인 봄철(2004년 3월 14일)에는 *Aulacoseira granulata*, 그 이후(3월 28일~5월)에는 *Nitzschia palea*, 초여름(6월 5일)에는 *Fragilaria capucina*, 겨울철(12월~2005년 2월)에는 다시 *Nitzschia palea*의 순으로 정점 1보다 천이계열의 변화가 크지 않았다(Fig. 4).

3. CCA 분석

CCA분석을 수행하여 조사시기 및 부착돌말류의 구조와 분포를 규명 후, 이에 따른 환경영향 요인을 파악하였다. CCA분석에서 얻어진 고유치(eigenvalues)는 axis 1과 axis 2가 각각 0.333과 0.172의 값을 가졌다. 그리고 axis 1과 axis 2는 전체 변수의 총변동의 각각 17.4%와 8.9%를 차지하여 전체 부착돌말류 분산의 26.4%를 이들 두 axis으로 설명할 수 있었다. 또한 종-환경관계(species-environmental correlation)에 axis 1과 axis 2는 각각 0.945와 0.936으로 높은 유의성을 보였고, 자료 분산의 46.2%를 이들 두 axis로 설명할 수 있었다.

CCA로 얻어진 Fig. 5-A를 보면 계절 변화가 조사시기와 환경요인에 따라 axis 1을 중심으로 왼쪽으로 봄철(Group I), 오른쪽으로 가을(Group II)과 겨울철(Group III)로 구분되었다. 즉, Group I은 주로 봄철로 수온, 전기

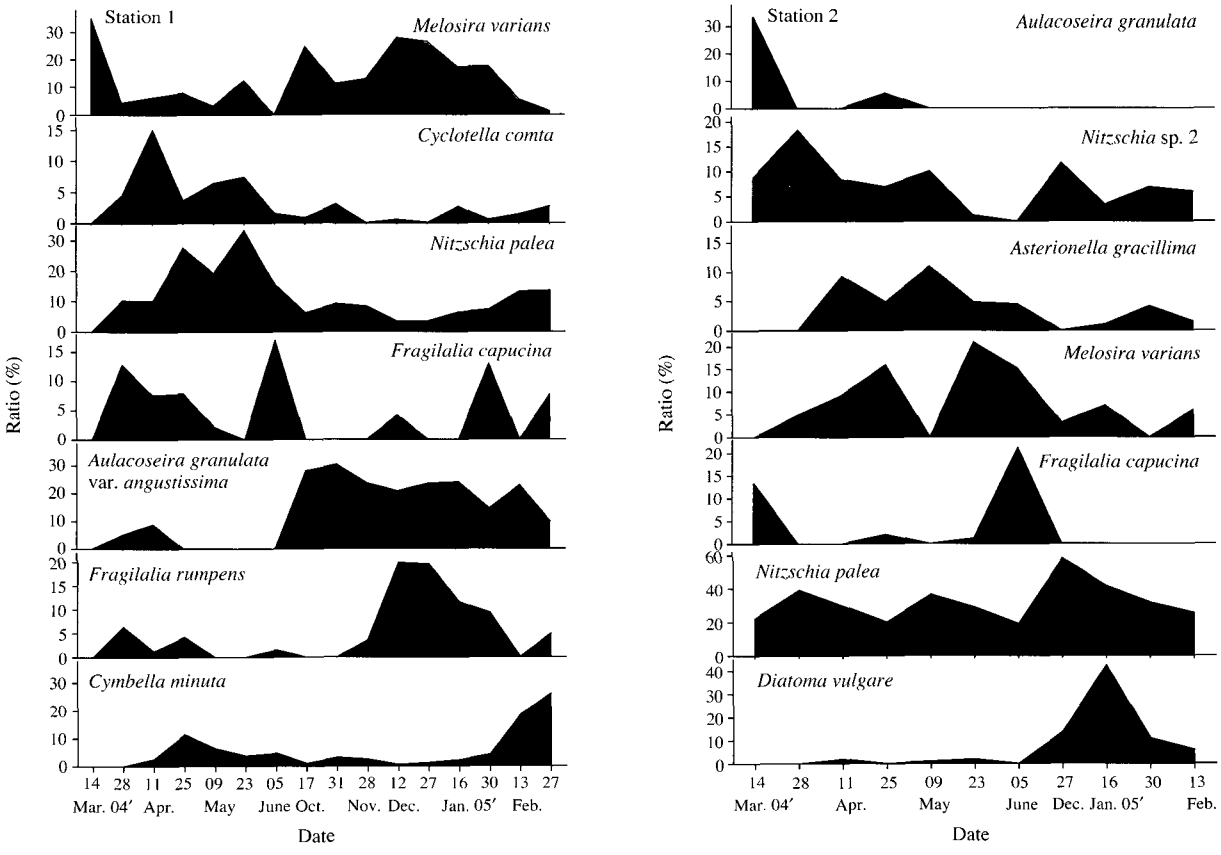

Fig. 4. Biweekly variations of dominant epilithic diatoms in the lower part of the Han River.

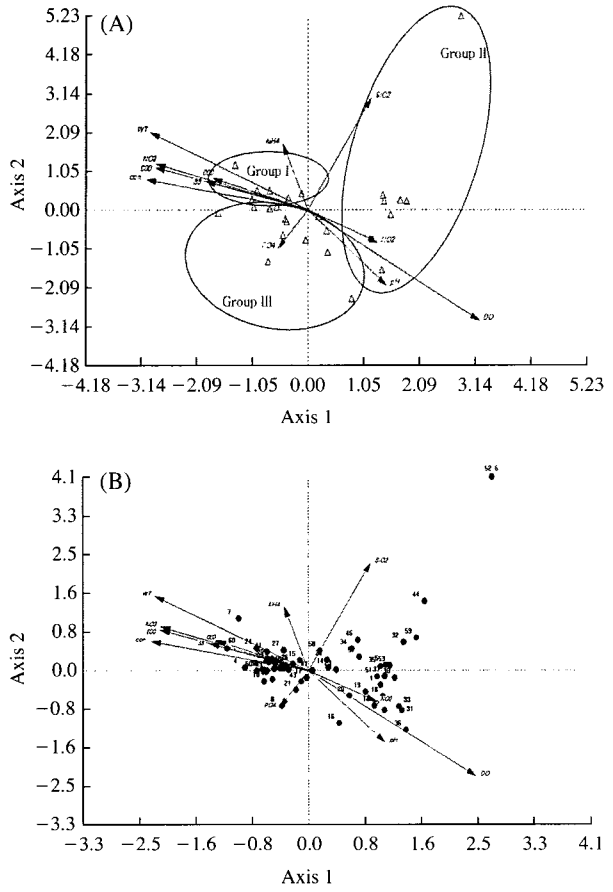

Fig. 5. CCA biplot showing relationship among the sampling times (A), epilithic diatoms (B) and measured environmental factors in the lower part of Han River. (W.T: Water Temperature; Con.: Conductivity; DO: Dissolved Oxygen; COD: Chemical Oxygen Demand; BOD: Biochemical Oxygen Demand; SS: Suspends Solid; Taxon numbers are listed in Table 2).

전도도, 부유물질, COD, BOD, NO_3-N, NH_4-N 등과 높은 상관성을 보였고, 이 그룹에서는 *Gomphonema* 속과 *Asterionella* 속이 주로 분포하고 있었다(Table 2). Group II는 주로 가을에서 초겨울철로 이 기간에는 DO, pH, SiO_2-Si와 밀접한 관련을 보였고, *Aulacoseira* 속, *Diatoma* 속, *Navicula* 속, *Nitzschia* 속, *Synedra* 속 등 다양한 종들이 분포하고 있었다. Group III은 주로 늦겨울에서 봄철까지로 PO_4-P, pH, 전기전도도 등과 관련이 있고, 이 그룹은 상대적으로 긴 기간의 범위로 *Aulacoseira* 속, *Cymbella* 속, *Navicula* 속, *Nitzschia* 속, *Synedra* 속 등 다양한 종들이 출현하였다.

CCA 변수점수(variables score)에 따른 종 조성의 분포를 보면 호오염성군(saprophilous taxa)에 속하는 종들은 주로 질산염계열의 영양염과 부유물질 등과 상관성을 가지며 Group I에 분포되어 있었다(Fig. 5-B; Table 2). 호

Table 2. CCA of measured epilithic diatoms during the study periods in the lower part of the Han River (SP: Saprophilous taxa; ER: Eurysaprobic taxa; SX: Xenosaprobic taxa, Watanabe *et al.* 1988)

Taxon no.	Taxon name	Ecological group	CCA variable scores	
			Axis 1	Axis 2
1	*Achnanthes* sp.	–	1.051	−0.312
2	*Asterionella formosa*	SX	−0.530	0.247
3	*Asterionella gracillima*	SX	−0.484	0.179
4	*Aulacoseira granulata*	ER	−0.927	0.059
5	*Aulacoseira granulata* var. *angustissima*	ER	1.130	0.121
6	*Aulacoseira granulata* var. *angustissima* f. *spiralia*	ER	2.676	4.111
7	*Aulacoseira granulata*	ER	−1.019	1.099
8	*Cocconeis placentula*	ER	−0.389	−0.759
9	*Cocconeis scutellum*	ER	−0.651	0.009
10	*Cocconeis* sp.	–	−0.646	−0.230
11	*Cyclotella radiosa*	SP	−0.485	0.046
12	*Cyclotella meneghiniana*	SP	2.676	4.111
13	*Cyclotella* sp.	–	0.960	−0.753
14	*Cymbella affinis*	ER	0.291	0.056
15	*Cymbella leptoceros*	ER	−0.122	0.215
16	*Cymbella minuta*	SX	0.450	−1.124
17	*Cymbella turgidula* var. *nipponica*	ER	−0.028	−0.154
18	*Cymbella* sp.	–	1.084	−0.552
19	*Diatoma elongatum*	ER	0.831	−0.458
20	*Diatoma vulgare*	ER	0.594	−0.543
21	*Fragilaria capucina*	SX	−0.180	−0.421
22	*Fragilaria crotonensis*	ER	−0.580	0.173
23	*Fragilaria rumpens*	ER	0.404	0.020
24	*Gomphonema olivaceum*	ER	−0.755	0.472
25	*Gomphonema parvulum*	ER	−0.359	0.052
26	*Gomphonema* sp.	–	−0.227	0.138
27	*Melosira italica*	ER	−0.360	0.431
28	*Melosira varians*	ER	0.269	0.221
29	*Melosira* sp.	–	−0.603	−0.004
30	*Navicula caterva*	ER	1.258	−0.160
31	*Navicula cocconeiformia*	ER	1.361	−0.855
32	*Navicula cryptocephara*	ER	1.385	0.600
33	*Navicula cryptotenella*	ER	1.320	−0.767
34	*Navicula gregaria*	ER	0.632	0.468
35	*Navicula lanceolata*	ER	1.048	0.088
36	*Navicula minima*	SP	1.420	−1.270
37	*Navicula pseudolanceolata*	SX	1.112	−0.123
38	*Navicula* sp.	–	−0.290	0.017
39	*Neidium affine*	ER	−0.598	0.242
40	*Nitzschia acicularis*	ER	−0.502	0.037
41	*Nitzschia amphibia*	ER	−0.606	0.394
42	*Nitzschia dissipata*	SX	1.107	−0.850
43	*Nitzschia frustulum*	ER	−0.106	−0.239
44	*Nitzschia fruticosa*	ER	1.693	1.467
45	*Nitzschia palea*	SP	−0.370	0.046
46	*Nitzschia sigma*	ER	0.718	0.641
47	*Nitzschia* sp. 1	–	0.058	−0.006
48	*Nitzschia* sp. 2	–	−0.327	0.105
49	*Stephanodiscus hantzshii*	ER	−0.525	−0.190
50	*Stephanodiscus hantzshii* f. *tenuis*	ER	−0.752	−0.004
51	*Synedra acus*	ER	1.001	−0.132
52	*Synedra acus* var. *angustissima*	ER	2.676	4.111
53	*Synedra acus* var. *radians*	ER	1.186	0.105
54	*Synedra delicatissima*	ER	−0.651	0.009
55	*Synedra ulna*	ER	−0.409	0.051
56	*Synedra ulna* var. *amphirhynchus*	ER	−0.671	0.022
57	*Synedra* sp.	–	0.740	0.290
58	*Surirella minuta*	ER	0.167	0.423
59	*Surirella* sp.	ER	1.574	0.692
60	*Thalassiosira* sp.	ER	−1.186	0.467

청수성군(xenosaprobic taxa)에 속하는 종들은 DO, pH 등과 상관성을 가지며 Grouop II와 III에 주로 분포하고 있었다. 광적응성(eurysaprobic taxa)군에 속하는 종들은 모든 환경요인들과 상관성을 보이며, 전 계절에 골고루 분포되어 있었다.

고 찰

수온은 부착조류의 분포 및 계절적 천이에 영향을 주는 주요인으로 전형적인 온대지방의 온도로 정점 간 차이를 보이지 않았으며, 2001~2002년 한강 하류의 수온 변화와 유사하였다(정 등 2004). pH는 풍수기인 여름철에 6.6~7.7로 낮고 갈수기인 겨울철에 7.2~9.1로 상대적으로 높은 양상을 나타내었다. 일반적으로 pH는 조류의 광합성에 따른 CO_2의 소비에 따라 크게 영향을 받고 있으며, 여름철에 높고 겨울철에 낮은 것이 일반적인 현상이다(Horne and Goldman 1994). 이는 우리나라 대부분의 호소에서 같은 양상을 나타내고 있다(한 등 1993; 김 등 2000). 그러나 한강은 여름철 집중강우에 따라 수중의 부유 식물플랑크톤의 성장에 제한을 주어 낮은 pH를 보였으며(정 등 2004; 권 등 2006), 정점별로는 정점 1이 정점 2에 비해 높은 양상을 나타내었다. 전기전도도는 계절별 차이는 나타나지 않았으나 정점 2에서 더 높았으며, 정 등(2004)에서와 마찬가지로 pH의 변동과 탄천의 유입에 따른 영향으로 파악된다. 영양염류 중 질소와 인은 식물플랑크톤의 성장에 필요한 주요 원소중의 하나로 DIN (NO_2+NO_3+NH_4)의 평균 농도는 61.2 μM로 계절 간 차이가 아닌 정점 간 차이를 나타냈는데, 정점 2에서 더 높은 농도를 보였다. 인산염의 농도도 DIN과 같이 계절별 변화에 대한 차이를 보이지 않았으나, 탄천의 영향에 따라 정점 2에서 높았다. 그러나 규산염은 계절 및 정점 간 차이를 보이지 않고 부착조류와는 상관성을 나타내지 않았으나, 부유성 식물플랑크톤($r=-0.398$, $p<0.01$) 및 강수량($r=0.278$, $p<0.01$)과 상관성을 나타내어 위 두 가지 인자에 의해 큰 영향을 받고 있음을 알 수 있었다(권 등 2006). 수질의 오염도를 나타내는 BOD 및 COD의 농도는 각각 평균 3.4 mg L^{-1}, 5.5 mg L^{-1}로 수질 3등급에 속하였다(Forsberg and Rylimg 1980). 계절별로는 봄철과 여름철 풍수기 이후에 수질이 좋아졌으며, 겨울철에 다시 악화되는 양상이었다. COD는 집중강우를 보인 여름철을 제외하고 큰 변화를 보이지 않았다. 이와 같이 계절별 한강 하류의 수질의 판정에 있어 집중강우가 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다. 또한 정점 간에는 탄천의 영향을 받는 정점 2에서 뚜렷이 높은 양상으로 탄천의 유기오염수의 유입이 큰 영향을 미치고 있음을 시사하고 있다. 따라서 본 조사수역은 탄천의 영향에 따라 정점 간 특성이 있었으며, 여름철 집중강우에 따라 수계의 특성이 변화하였다.

본 연구에서 부착돌말류의 평균 현존량은 2.3×10^5 cells cm^{-2}로 2~3개월 간격으로 현존량 증감을 나타내고 있었으며, 정점별로는 정점 1과 정점 2에서 각각 평균 2.6×10^5 cells cm^{-2}와 2.1×10^5 cells cm^{-2}를 나타내어 정점 1에서 더 높은 부착조류의 현존량을 나타내었다. 이와 같이 수질이 악화되어 있는 정점 2에서 정점 1에 비해 낮은 현존량을 보였는데, 수질이 악화되면 종 기질 특이성이 선택적으로 높아져 일부의 종들만이 높은 우점률을 보이는 양상을 나타내며(Blinn *et al.* 1980; Antoine and Benson-Evans 1985), 또한 저질 특이성에 따라 정점 2에 비해 정점 1의 저질상이 높은 부착조류 현존량을 나타내고 있다고 판단된다(Uehlinger 1991). 그러나 한강 하류는 여름철 집중강우에 따라 큰 영향을 미치고 있어 빠른 유속에 의해 부착밀도가 상대적으로 낮아짐을 알 수 있었다. 이는 토교저수지나 금호강 등에서는 집중강우에 따라 큰 영향을 미치지 않으나(정 등 1993; 한 등 2002), 본 조사지역인 한강, 금강, 한탄강 등 하천에서는 집중강우가 현존량의 변동에 크게 기여를 하고 있음을 알 수 있었다(김 등 2000; 김 2004).

우점종에 의한 부착돌말류는 정점 1에서 봄철에는 *Melosira varians*(초봄) 및 *Nitzschia palea*(봄철), 여름에는 *Fragilaria capucina*, 가을철에는 *Aulacoseira granulata* var. *angustissima*(가을철), 겨울철에는 *Melosira varians*(겨울철) 및 *Cymbella minuta*(늦겨울)까지의 천이를 보였으며, 정점 2에서 봄철에 *Aulacoseira granulata* 및 *Nitzschia palea*에서 여름에 *Fragilaria capucina*, 겨울철에 다시 *Nitzschia palea*(겨울철)로 천이계열을 형성하였다. 이와 같이 정점 간 우점종의 변화에서 상대적으로 정점 1이 정점 2에 비해 다양한 우점종 조성을 보이고 있었는데, 이는 정점 1의 저질상태(암반 및 자갈)에 의해 부착조류의 다양성을 증가시키는 중요 요인이 되었을 것이라 사료된다(Uehlinger 1991). 또한 정점 1은 광적응성인 *Melosira varians, Aulacoseira granulata* var. *angustissima*, 호청수성종인 *Fragilaria capucina, Cymbella minuta*와 호염성종인 *Nitzschia palea*가 두루 우점하면서 천이를 보이는 반면, 저질이 사질로 되어 있는 정점 2는 우점종의 천이양상이 단조롭고 대부분이 대표적 호염성종인 *Nitzschia palea*가 주 우점하는 천이양상을 보였다. 이와 같이 정점 2는 부영양된 탄천의 유입에 따라 악화된 수질을 나타내며, 이에 따라 단조로운 우점종의 천이양상 및 낮은 현존량을 나타내고 있었으며, 상

대적으로 정점 1은 높은 현존량 및 다양한 우점종을 보이고 있다고 판단된다.

환경요인과 생물학적요인에 대한 조사정점간 변화를 볼 때, 환경요인에서는 정점 2가 악화된 구별된 수역으로 판명되었다. 또한 생물학적 요인에서는 전체 현존량의 변동별 구분은 나타나지 않았으나, 주요 우점종인 *Cymbella minuta*와 *Aulacoseira granulata* var. *angustissima*는 각각 호청수성종과 광적응성종으로 평균적으로 정점 1에서 높게 나타나면서 정점 2와 구별을 보여 다른 우점종들에 비해 수질 지표를 명확하게 구분하고 있었다.

CCA 분석결과 조사시기와 환경요인에 따라 3개 그룹으로 구분되었는데, 부착돌말류의 천이와 유사한 양상으로 출현하는 것을 알 수 있었다. 이는 돌말류의 종 조성 분포가 정점간의 차이가 아닌 계절(조사시기)에 따라 변하는 것을 보여 주는 것이다.

CCA 변수 점수(variables score)에 따른 호오염성군(Sa-prophilous taxa)에 속하는 종들은 주로 Group I에 분포하며 질산염계열의 영양염과 부유물질 등과 상관성을 가지고 있었고, 호청수성군(Xenosaprobic taxa)에 속하는 종들은 주로 Group II와 III에 분포하며 DO, pH 등과 상관성을 가지고 있었다. 또한, 광적응성(Eurysaprobic taxa)군에 속하는 종들은 모든 환경요인들과 상관성을 보이며, 전 계절에 골고루 분포되어 있었다. 호오염성종들은 영양염과 부유물질 농도가 높은 수역에서 높은 출현빈도 및 밀도를 보이고 있으며, 호청수성 종들은 높은 DO와 pH 등의 깨끗한 수역에서 주로 나타나는 것을 보여주는 것으로(Watanabe *et al.* 1988; Dixit and Smol 1995), 정점 간에 나타난 주요 출현종의 분포와 측정된 환경요인에 따라 호오염성종이 주로 우점한 정점 2에서 정점 1에 비해 더 오염된 수역임을 확인하였다. 천이계열의 호청수성군에서 주로 우점한 *Fragilaria capucina*와 *Cymbella minuta*는 오염에 매우 민감하고(Lange-Bertalot 1979), 주로 알칼리성 수역과 빈영양수역에 분포하며(Patrick and Reimer 1966; Krammer and Lange-Bertalot 1991), 최적 pH는 7.4~8.2의 높은 pH에서 서식한다(Cholnoky 1968). 또한, 호오염성군에서 주로 우점한 *Nitzschia palea*는 높은 내성을 갖고, 강부수성수역에 분포하며(Lange-Bertalot 1979; Round 1981; Antoine and Benson-Evans 1986), 최적 pH는 4.3~8.6으로 낮은 pH에서 서식한다(Cholnoky 1968). 이는 CCA 분석결과에서 나타난 결과와 유사한 분포이다.

본 연구결과 한강 하류의 부착돌말류는 상대적으로 양호한 수질을 가지고 있는 정점 1에서 다양한 생물상을 나타내고 있었으며, 탄천의 영향을 받는 정점 2는 상대적으로 수질이 악화되어 호오염성 종들이 정점 1에 비해 높은 분포를 나타내고 있었다. 맑은 수질에서 주로 출현하는 *Cymbella minuta* (O'Connell *et al.* 1997; Laing *et al.* 1999)는 본 조사기간 중 정점 1에서 높은 밀도로 출현하고 있었으며, 상대적으로 오염이 가중된 정점 2에서는 거의 출현하지 않아, 한강 하류의 오염에 따른 지표성을 나타내고 있었다.

적 요

본 연구는 한강하류역에서 인공기질을 이용하여 부착돌말류의 계절적 천이를 규명하고, 환경요인과 부착돌말류의 관련성을 통계학적으로 규명하기 위하여, 2004년 2월부터 2005년 2월까지 1년간 매 격주간격으로 2개 정점에서 환경요인과 부착돌말류를 조사하였다. 조사 결과 수온은 전형적인 온대지방의 기후를 나타냈고, pH는 갈수기인 겨울철에 상대적으로 높게 나타났다. 전기전도도, 질소, 인 등은 정점 간 차이를 보여 정점 2에서 높은 값을 나타냈으며, 규산염은 계절 및 정점 간 차이가 거의 없었으며, BOD와 COD는 수질 3등급에 속하였다. 환경요인과 생물학적요인 및 우점종의 변화에 대한 조사정점간의 차이를 변량 분석(ANOVA)한 결과 환경요인에서는 정점 2에서 수질이 더 악화되었으나, 생물학적 요인에서는 전체 현존량의 변동별 구분은 나타나지 않았다.

돌말류는 60종류 2목 3아목 8과 17속 51종 7변종 2품종이 출현하였으며, 계절별로는 봄철에 19종류, 여름철에 20종류, 가을철에 22종류, 겨울철에 22종류로 변화폭이 크지 않았고, 정점 2보다 정점 1에서 다양하였다. 부착돌말류의 평균 현존량은 2.3×10^5 cells cm^{-2}로 2~3개월 간격으로 계절별 변화를 보였으며, 정점 1에서 더 높았다. Chlorophyll *a*의 농도는 3.0~132.6 mg m^{-2}로 변화의 폭이 매우 컸으며, 부착돌말류의 착생초기인 봄철에 가장 높은 농도를 보였다. 우점종에 의한 부착돌말류는 정점 1에서 봄철에는 *Melosira varians* (초봄) 및 *Nitzschia palea* (봄철), 여름에는 *Fragilaria capucina*, 가을철에는 *Aulacoseira granulata* var. *angustissima* (가을철), 겨울철에는 *Melosira varians* (겨울철) 및 *Cymbella minuta* (늦겨울)까지의 천이를 보였으며, 정점 2에서 봄철에 *Aulacoseira granulata* 및 *Nitzschia palea*에서 여름에 *Fragilaria capucina*, 겨울철에 다시 *Nitzschia palea* (겨울철)로 천이계열을 형성하였다.

CCA분석에서 환경요인에 따라 봄철, 가을철, 겨울철로 구분되었다. 이는 부착돌말류의 천이와 유사한 양상

이었으며, 돌말류의 종 조성 분포가 정점간의 차이가 아닌 계절에 따라 변하였다. 또한 호오염성군에 속하는 *Nitzschia palea*는 주로 질소원과 부유물질 등과 상관성을 가지며, 호청수성군에 속하는 *Fragilaria capucina*와 *Cymbella minuta*는 DO, pH 등과 상관성을, 광적응성군에 속하는 종들은 모든 환경요인들과 상관성을 보였다. 따라서 한강 하류의 부착돌말류는 상대적으로 양호한 수질을 가지고 있는 정점 1에서 다양한 생물상을, 탄천의 영향을 받는 정점 2는 상대적으로 수질이 악화되어 호오염성 종들이 높은 분포를 나타내고 있었다. 또한 부착돌말류 중 *Cymbella minuta*는 다른 부착돌말류에 비해 강한 오염지표성을 나타내고 있었다.

사 사

본 연구는 상명대학교 교내 연구비로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

강정훈. 1998. 해수 중 인공기질표면에 대한 미세조류의 부착과 성장에 관한 연구. 석사학위논문. 서울대학교 대학원. pp. 137.

권오윤, 정승원, 이진환. 2006. 한강하류의 환경학적 연구 VIII. 한강하류역에서 식물플랑크톤 변동에 영향을 미치는 요인. 한국육수학회지. 39:340-351.

김용재. 1999. 부착규조군집에 의한 포천천의 수질평가. 한국육수학회지. 32:135-140.

김용재. 2004. 한탄강의 돌 부착조류 군집의 시, 공간 동태. Algae. 19:15-22.

김지환, 이석준, 오희목. 2000. 금강 부착조류 군집의 동태. Algae. 15:287-279.

이경보, 김백호, 이덕배, 김재덕, 최민규. 2000. 섬진강 수계 수질과 부착조류에 대한 생태학적 연구. 한국환경농학회지. 19:276-283.

이정호, 김용재. 1996. 낙동강 수계 댐호의 부착규조 및 영양단계 평가. 환경생물. 14:18-28.

정승원, 이진환, 허회권. 2004. 한강하류의 환경학적 연구 VI. 부영양화요인의 통계적 해석, 한국육수학회지. 37:78-86.

정 준, 최재신, 이정호. 1993. 부착규조군집의 유기오탁 지수(DAIpo)에 의한 금호강의 수질 평가, 한국육수학회지. 26:165-178.

최재신, 김한순, 강만도. 1998. 신천의 부착규조군집의 계절적 동태. 한국육수학회지. 31:235-240.

최철만, 박연규, 문성기. 2004. 인공기질 부착조류에 의한 대천의 수질평가. 환경생물. 22:242-245.

한명수, 유재근, 유광일, 공동수. 1993. 팔당호의 생태학적 연구 1. 수질의 년변화: 과거와 현재. 한국육수학회지. 26:141-149.

한명수, 최영길, 김세화, 이 경, 유광일, 이후랑, 홍성수, 김영옥. 2002. 철원북방 DMZ 내의 중영양호 토교저수지의 생태학적 연구 5. 경안천(팔당호)과 토교저수지에서 식물플랑크톤의 크기별 현존량과 Chlorophyll *a*의 계절 변동. 환경생물. 20:91-99.

AHPA, AWWA, WPCF. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater, 19th ed. APHA, Washington D.C., pp. 1100.

Antoine SE and K Benson-Evans. 1985. Colonisation rates of benthic algae on four different rock substrata in the River Ithon, Mid Wales, U.K. Limnologica. 16:307-313.

Antoine SE and K Benson-Evans. 1986. The epipelic algal flora of the River Wye System, Wales, U.K. 21. Alpha phyla and species population dynamics. Internationale Revue der gesamten Hydrobiologie. 71:813-839.

Blinn DW, A Frederickson and V Korte. 1980. Colonisation rates and community structure of diatoms on tree different rock substrata in a lotic system. Br. phycol. J. 15:303-310.

Choi JS and J Chung. 1990. An assessment of water quality by epilithic diatoms of Namchun water system. Kor. J. Phycol. 5:173-191.

Cholnoky BJ. 1968. Die Ökologie der Diatomeen in Binnengewässern. pp. 699. Lehre (Cramer).

Czarnecki DB and DW Blinn. 1978. Diatoms of the Colorado River in Grand Canyon National Park and vicinity. Bibl. Phycol. 38:1-182.

Dixit SS and JP Smol. 1995. Diatom evidence of past water quality change in Adirondack seepage lakes (New York, U.S.A.). Diatom Research. 10:113-129.

Fjerdingstad E. 1964. Pollution of streams estimated by benthal phytomicroorganism. I. A saprobic system communities of organism and ecological factors. Int Revue Hydro Biol. 49:63.

Forsberg C and SO Rylimg. 1980. Eutrophication parameters and tropic state indics in 30 Swedish waste receiving lake. Arch Fur Hydrobiol. 89:189-207.

Franson MAH. 1989. Periphyton. pp.10-54. In Mary Ann H. Frason[eds.], Standard methods; the examination of water and wastewater. American Public Health Association.

Hasle GR and GA Fryxell. 1970. Diatoms: cleaning and mounting for light and electron microscopy. Trans. am. Microsc. Soc. 89:469-474.

Horne AJ and CR Goldman. 1994. Limnology. 2nd ed. McGrew-Hill, New York. pp. 576.

Krammer K and H Lange-Bertalot. 1991. Bacillariophyceae. Centrales, Fragilariaceae, Eunotiaceae. In: Süβwasserflora von Mitteleuropa (H. Ettl, J. Gerloff, H. Heynig and D. Mollenhauer, eds), 2/3. Fischer, Stuttgart and New York.

Laing TE, R Pienitz and JP Smol. 1999. Freshwater diatom assemblage from 23 lakes located near Norilsk, Siberia: a comparison with assemblages from other circumpolar treeline regions. Diatom Research. 14:285-305.

Lange-Bertalot H. 1979. Pollution tolerance of diatoms as a criterion for water quality estimation. Nova Hedwigia, Beiheft. 64:284-304.

McCormick PV and RJ Stevenson. 1998. Periphyton as a tool for ecological assessment and management in the Florida Everglades. J. Phycol. 34:726-733.

O'Connell JM, ED Revie and JP Smol. 1997. Assessment of water quality using epiphytic diatom assemblages on Cladophora from the St. Lawrence River (Canada). Diatom Research. 12:55-77.

Patrick R and C Reimer. 1966. The diatoms of the United States I. Monograph of the Academy of the Natural Sciences, Philadelphia. 1:688.

Round FE. 1981. The ecology of algae. pp. 629. Cambridge University Press, Cambridge.

Ter Braak CJF. 1986. Canonical correspondence analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. Ecology. 67:1167-1179.

Ter Braak CJF. 1987. Ordination. *In*: Data Analysis in Community and Landscape EcologyI (R.H.G. Jongman, C.J.F. ter Braak & O.F.R. van Tongeren, eds), 91-173. Pudoc, Wageningen, The Netherlands.

Uehlinger U. 1991. Spatial and temporal variability of the periphyton biomass in a prealpine river (Necker, Switzerland). Arch. Hydrobiol. 123:219-237.

Watanabe T. 1977. Water pollution og Kanzaki river on Osaka prefecture and the diatom flora of the bottom mud on the river bed. Nara. Hydrobiol. 6:27-65.

Watanabe T. 1981. Pollution spectrum of taxon that is composed epilithic diatom community. Res. Rep. Envir. Sc. B121-R12-10:34-43.

Watanabe T, K Asai and A Houki. 1988. Numerical index of water quality using diatom assemblage. In: 'Biological monitoring of Environmental Pollution' (eds M Yasuno & BA Whitton), pp. 179-192. Tokai University Press.

Manuscript Received: November 10, 2006
Revision Accepted: December 29, 2006
Responsible Editor: Hwan-Goo Yeo