

## 저온기 부영양 수계 구조군집의 유입능

윤성애 · 김난영 · 김백호 · 황순진\*

(건국대학교 생명환경과학대학 환경과학과)

Relative Immigration Activity of the Hibernial Diatom Community in Eutrophic Waters. Yoon, Sung-Ae, Nan-Young Kim, Baik-Ho Kim and Soon-Jin Hwang\* (Department of Environmental Science, Konkuk University, Seoul 143-701, Korea)

To understand the relative immigration activities (RIA) of hibernial diatom community in Lake Ilgam (at the station with and without macrophyte) and River Han (at the station with different current and nutrient), a natural and artificial bed substrate was deposited from 15 to 29 January 2008. For the study period, both waters comprised huge biomass of diatom, over 75% of total abundance. Nutrients in water column, ash-free dry matter (AFDM) and chlorophyll-*a* (Chl-*a*) concentration in substrates were decreased with increasing of current in rivers, while in lakes the macrophyte largely affected the diatom community and water quality. Algal RIA in rivers was high at stations with high concentration of nutrient, AFDM and Chl-*a*, and in high nutrients and no macrophytes in lakes, respectively. The species showing a higher RIA was *Nitzschia amphibia* in rivers and *Aulacoseira italica* in lakes, while the dominant species were *Navicula* sp. in rivers and *Syndera acus* in lakes, suggesting no relationship between water algal biomass and its RIA. These results suggest that the RIA of stream diatom community depends exclusively on the current, while the planktonic diatom in lake was of the macrophyte.

**Key words :** immigration, hibernial diatom community, artificial substrates, stream, lake, macrophyte

### 서 론

구조류는 수생태계 1차 생산자로서 생물학적 요인과 이화학적 요인에 의해서 독특한 군집을 형성한다 (Wetzel, 1996; Marcus, 1980). 수중 내 구조류의 군체화는 박테리아와 함께 초기 microfouling process에 관여하는데 (심 등, 1998), 매우 짧은 시간 내에 기질에 부착하여 군체를 이루고 (Sieburth, 1975; Cuba and Blake, 1983; 강 등, 1998), 이들은 기질의 1차 생물막 (biofilm)으로서 대형 고착생물의 먹이원 또는 새로운 미소서식지의 형성을 유도한다 (Caron and Sieburth, 1981; Meenakumari and

Nair, 1994). 대개 군체화 초기에는 박테리아와 구조류가 주로 우점하는데 (Callow, 1993), 유속이나 다른 환경요인에 의하여 구조군집 특성이 결정되며, 이들의 유입능에 따라 군집의 천이과정이 결정된다 (최 등, 1999).

조류의 유입능은 수중에 분포하는 식물플랑크톤이 기질로 부착되는 상대적인 양 또는 정도를 의미하며, 주로 수중 내 현존량과 밀접한 관계를 갖기 때문에, 조류의 현존량에 영향을 주는 요인들, 1) 유속 및 영양염 등의 환경적 요인, 2) 조류를 포식하거나 분해하는 생물적 요인, 그리고 3) 조류 종간의 먹이에 대한 경쟁 및 세포형태 등에 의하여 크게 좌우된다 (Stevenson and Peterson, 1989).

또한 하천에서 조류유입능은 유속, 영양염 또는 빛에

\* Corresponding author: Tel: 02) 450-3748, Fax: 02) 456-5062, E-mail: sjhwang@konkuk.ac.kr

**Table 1.** Physical and physicochemical characteristics of the study station on 15 day of deposition of substrate.

	River Han			Lake Ilgam	
	JR	CG	MP	PM	AM
Width (m)	89	27	78	—	—
Depth (cm)	13	18	38	56	53
Current (cm s <sup>-1</sup> )	15	30	11	—	—
Substrate (%)	B : C : P : G : S (1 : 1 : 1 : 4 : 3)	B : C : P : G : S (3 : 1 : 2 : 1 : 3)	B : C : P : G : S (1 : 2 : 1 : 1 : 5)	C : P : G : St (1 : 1 : 3 : 5)	C : P : G : St (1 : 1 : 3 : 5)
Temp. (°C)	9.6	1.5	9.0	6.1	4.4
DO (mg L <sup>-1</sup> )	12.0	18.4	14.0	11.5	13.6
pH	8.1	8.3	7.8	8.3	8.0
COD (mg L <sup>-1</sup> )	30.6 (1.7)	19.4 (1.5)	33.8 (0.5)	23.4 (0.1)	27.3 (1.4)
BOD (mg L <sup>-1</sup> )	9.6 (0.0)	2.8 (0.0)	10.2 (0.0)	3.5 (0.4)	4.6 (0.4)
NO <sub>2</sub> -N (mg L <sup>-1</sup> )	0.063 (0.0)	0.002 (0.0)	0.056 (0.0)	0.015 (0.0)	0.013 (0.0)
NO <sub>3</sub> -N (mg L <sup>-1</sup> )	4.7 (0.0)	2.6 (0.0)	4.6 (0.0)	2.5 (0.0)	2.9 (0.0)
NH <sub>3</sub> -N (mg L <sup>-1</sup> )	2.30 (0.5)	0.01 (1.0)	1.94 (4.1)	0.03 (1.3)	0.02 (1.8)
TN (mg L <sup>-1</sup> )	12.7 (0.2)	4.5 (0.0)	12.6 (0.5)	2.9 (0.0)	3.3 (0.0)
SRP (μg L <sup>-1</sup> )	210.3 (6.0)	1.4 (0.0)	188.4 (20.0)	25.8 (3.0)	28.1 (2.0)
TP (μg L <sup>-1</sup> )	2000.0 (0.0)	10.0 (0.0)	2170.0 (0.3)	30.0 (0.0)	30.0 (0.0)

JR: Jungrang stream, CG: Cheonggye stream, MP: Merged point with both streams, PM: Presence of macrophyte, AM: Absence of macrophyte

Numbers in parenthesis: Standard deviation

B: Boulder (> 256 mm), C: Cobble (62 ~ 256 mm), P: Pebble (16 ~ 64 mm), G: Gravel (2 ~ 16 mm), S: Sand (0.1 ~ 2 mm), St: Silt (< 0.1 mm)

크게 영향을 받기 때문에 유속이 거의 없는 호수나 정수 역보다는 비교적 낮으며 (최 등, 1999), 호수에서는 식물 플랑크톤의 성장, 사멸, 침강 등의 과정 동안 주로 빛이나 탁도 등에 의해 결정되기 때문에 하천보다 비교적 높고 (정 등, 1996), 수생식물이나 부유성 기질 분포에 따라 차이를 나타낸다 (전 등, 2007).

본 연구는 유속 및 영양염 조건이 서로 다른 하천 (한강수계)과 수생식물이 잘 발달된 호수 (일감호)를 대상으로, 수계에 존재하는 자연기질 및 임의로 제작한 인공기질을 각각 이용하여 저온기 동안 규조군집의 특성 및 유입능을 이해하고자 2008년 1월 중 결빙되지 않은 시기에 집중적인 조사를 실시하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사지점 및 기간

실험은 규조류가 우점한 겨울철 시기인 2008년 1월 15일부터 29일까지 15일간 2회 실시하였다. 조사지점은 하천 3개 지점 (JR, CG, MP)과 호수 2개 지점 (PM, AM)을 선정하였으며, 하천은 육안으로 물리적 특성 및 유기물 부착정도 등을 고려하여 수질의 차이를 보일 것으로 예상되는 한강수계 치천 3개 지점으로, JR은 장안철교에서 상류로 약 100 m 떨어진 중랑천 하류이고, CG는 마장

2교에서 하류로 약 100 m 떨어진 청계천 하류이며, MP는 성동교에서 하류로 약 100 m 떨어진 중랑천과 청계천이 합류하는 지점이다. 호수는 수심이 얕고 (평균 약 56 cm) 부영양 상태인 도심 인공호 (일감호, 서울)의 2개 지점으로, PM 지점은 바닥에 수생식물 (어리연꽃: *Nymphoides indica*)이 잘 발달하였고, AM 지점은 수생식물이 전혀 분포하지 않았다 (Table 1).

### 2. 환경요인 측정

수온, 용존산소, pH, 전기전도도, 탁도는 YSI-6920 MDS (Yellow Springs Instruments, USA)로, 유속은 유속계 (Swoffer, USA)로 현장에서 직접 측정하였다. BOD는 Winkler 법, COD는 Mn 법으로 각각 분석하였다 (환경부, 1997). 영양염 (NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, TN, SRP, TP) 및 AFDM (Ash-free dry matter), Chl-*a* (Chlorophyll-*a*) 분석은 Standard Methods (APHA, 1995)에 따랐다.

### 3. 조류군집 및 유입능 조사

조류 채집은 200 mL 플라스틱 용기에 시료를 담아 Lugol 용액으로 고정하였다. 정량분석은 고정된 시료 1 mL를 취하여 Palmer-Maloney chamber에 넣고 광학현미경 (Zeiss, Germany) 400배하에서 2회 계수한 평균치를 단위면적당 현존량으로 산출하였다.

기질 내 규조류의 채집은 인공기질의 경우, 유약 바른 타일 (7.4×7.4 cm)을 사용하였으며, 외부의 인위적 영향을 크게 받지 않고, 빛이 바닥까지 도달할 수 있는 곳으로 선정하여 수평으로 설치하였다. 하천에서는 하상 위에 기질을 직접 설치한 반면, 호수에서는 기질의 회수성을 높이기 위해 물의 이동이 원활한 50×30 cm basket에 넣고 기질 간의 충돌을 방지하기 위해 일정 간격을 유지한 후 줄을 매달아 바닥에 설치하였다.

자연기질의 경우, 조사 정점의 수면하에서 가장 보편적인 상태를 지니고 있는 것으로 추정되는 지름 15~20 cm 정도의 평평한 자연석을 선정하여 가로, 세로 5 cm의 고무판을 사용하여 상표면의 25 cm<sup>2</sup>를 솔로 긁어 채집하였다. 또한 인공기질의 경우 인공기질 상표면의 54.8 cm<sup>2</sup>를 솔로 긁어 채집하였다. 채집된 시료는 유기물 제거를 위하여 황산으로 처리하고, 충분히 흔들어 골고루 섞은 후 가로, 세로 1.8 cm의 cover glass에 1 mL을 취하여 공기 중에 건조시켜 규조류의 피각만 남게 하였다. 건조된 cover glass의 시료는 slide glass에 밀봉하여 표본으로 제작한 후 한 슬라이드 당 200개체씩 계수하였다. 조류의 동정은 정 (1993), Krammer and Lange-Bertalot (2007) 등을 참고하였다. 부착조류의 개체수 산정은 위상차현미경 (Zeiss, Germany)을 이용하여 1,000배하에서 실시하였다.

상대적인 유입능 (relative immigration activity)은 단위시간당 기질에 부착되는 조류 세포의 상대적인 비율을 의미한다 (Stevenson and Hashim, 1989).

$$RIA = (ni/Ns) / (ni/Nw)$$

(ni=수중 및 기질 내 동일 종, Ns=기질 내 조류의 총 개체수, Nw=수중 내 조류의 총 개체수)

유입능 수치에 따라 유입속도를 알아 볼 수 있으며, 유입능 수치 1을 기준으로 0~1일 경우 기질 내 종 유입 속도가 비교적 느린 것이고, 1 이상일 경우 유입 속도가 비교적 빠른 것이다 (Stevenson and Peterson, 1989).

## 결 과

### 1. 환경요인

환경요인은 지점에 따라 조금씩 차이를 보였고, 기질 설치 이후 15일 째 실시하였다. 한강의 경우 JR이 비교적 넓은 하폭(약 89 m)과 낮은 수심(약 13 cm)을 보였고, CG가 비교적 좁은 하폭(약 27 m)과 빠른 유속(약 30 cm s<sup>-1</sup>)을 보였다. 또한 MP가 비교적 깊은 수심(약 38 cm)

과 느린 유속(약 11 cm s<sup>-1</sup>)을 보였다. 일감호의 경우 PM과 AM은 하상이 주로 빨로 되어 있고, 수심이 약 50 cm 정도로 비슷하였다 (Table 1).

DO는 모든 조사지점에서 10 mg L<sup>-1</sup> 이상이었고, pH는 7.84~8.33의 중성범위였다 (Table 1). COD는 한강의 MP, 일감호의 AM에서 높게 나타났으며, 한강의 경우 각각 JR 30.6 mg L<sup>-1</sup>, CG 19.4 mg L<sup>-1</sup>, MP 33.8 mg L<sup>-1</sup>로 나타났고, 일감호의 경우 각각 PM 23.4 mg L<sup>-1</sup>, AM 27.3 mg L<sup>-1</sup>으로 나타났다. BOD는 한강의 MP, 일감호의 AM에서 높게 나타났으며, 한강의 경우 각각 JR 9.6 mg L<sup>-1</sup>, CG 2.8 mg L<sup>-1</sup>, MP 10.2 mg L<sup>-1</sup>로 나타났고, 일감호의 경우 각각 PM 3.5 mg L<sup>-1</sup>, AM 4.6 mg L<sup>-1</sup>으로 나타났다. NO<sub>2</sub>-N는 한강의 JR, 일감호의 PM에서 높게 나타났으며, 한강의 경우 각각 JR 0.063 mg L<sup>-1</sup>, CG 0.002 mg L<sup>-1</sup>, MP 0.056 mg L<sup>-1</sup>으로 나타났고, 일감호의 경우 각각 PM 0.015 mg L<sup>-1</sup>, AM 0.013 mg L<sup>-1</sup>으로 나타났다. NO<sub>3</sub>-N는 한강의 JR, 일감호의 AM에서 높게 나타났으며, 한강의 경우 각각 JR 4.7 mg L<sup>-1</sup>, CG 2.6 mg L<sup>-1</sup>, MP 4.6 mg L<sup>-1</sup>으로 나타났고, 일감호의 경우 각각 PM 2.5 mg L<sup>-1</sup>, AM 2.9 mg L<sup>-1</sup>로 나타났다. NH<sub>3</sub>-N은 한강의 JR, 일감호의 PM에서 높게 나타났으며, 한강의 경우 각각 JR 2.30 mg L<sup>-1</sup>, CG 0.01 mg L<sup>-1</sup>, MP 1.94 mg L<sup>-1</sup>로 나타났고, 일감호의 경우 각각 PM 0.03 mg L<sup>-1</sup>, AM 0.02 mg L<sup>-1</sup>로 나타났다. TN은 한강의 JR, 일감호의 AM에서 높게 나타났으며, 한강의 경우 각각 JR 12.7 mg L<sup>-1</sup>, CG 4.5 mg L<sup>-1</sup>, MP 12.6 mg L<sup>-1</sup>으로 나타났고, 일감호의 경우 각각 PM 2.9 mg L<sup>-1</sup>, AM 3.3 mg L<sup>-1</sup>으로 나타났다. SRP는 한강의 JR, 일감호의 AM에서 높게 나타났으며, 한강의 경우 각각 JR 210.3 µg L<sup>-1</sup>, CG 1.4 µg L<sup>-1</sup>, MP 188.4 µg L<sup>-1</sup>로 나타났고, 일감호의 경우 각각 PM 25.8 µg L<sup>-1</sup>, AM 28.1 µg L<sup>-1</sup>로 나타났다. TP는 한강의 MP에서 높게 나타났고, 일감호에서 PM과 AM이 동일하게 나타났으며, 한강의 경우 각각 JR 2000.0 µg L<sup>-1</sup>, CG 10.0 µg L<sup>-1</sup>, MP 2170.0 µg L<sup>-1</sup>으로 나타났고, 일감호의 경우 각각 PM 30.0 µg L<sup>-1</sup>, AM 30.0 µg L<sup>-1</sup>으로 나타났다.

### 2. 조류군집의 특성

#### 1) 종조성

한강에서 출현한 조류는 모든 지점과 기질에서 총 4강 6목 11과 21속 37종으로 나타났다 (Table 2). 이 중에서 규조류가 32종 (86.5%)으로 가장 많이 출현하였고, 녹조류 2종 (5.4%), 남조류 2종 (5.4%), 유글레나류 1종 (2.7%)을 차지하였다. 수중 내 출현 규조류는 총 11속 16종 중

**Table 2.** Phytoplankton and benthic diatom communities in three tributaries of the River Han.

Species	JR				CG				MP			
	NS	W	AS	W	NS	W	AS	W	NS	W	AS	W
<i>Ach. lanceolata</i>	-	-	-	-	997	-	160	-	-	-	1288	-
<i>Ach. lanceolata</i> var. <i>rostrata</i>	-	-	452	-	-	-	40	-	-	-	-	-
<i>Achnanthes</i> sp.	3638	-	4972	7500	-	-	2321	-	-	-	16317	-
<i>Ankistrodesmus</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5000	-	-
<i>Ast. formosa</i>	-	-	-	5000	-	7500	40	15000	2677	5000	14170	2500
<i>Aul. granulata</i>	-	-	-	-	199	-	40	-	15167	-	29199	-
<i>Aul. italica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	1487	2500	1288	-
<i>Chl. ellipsoidea</i>	-	-	-	5000	-	-	-	-	-	2500	-	-
<i>Coc. placentula</i> var. <i>euglypta</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1718	-
<i>Cyc. dubius</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	297	-	7300	-
<i>Cycl. meneghiniana</i>	-	2500	226	2500	-	-	-	-	-	5000	-	-
<i>Cycl. stelligera</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1718	2500
<i>Cyclotella</i> sp.	546	7500	6328	-	3192	7500	3321	447500	892	-	-	-
<i>Cym. lacustris</i>	5821	-	452	-	598	-	80	-	-	-	859	-
<i>Cym. tumida</i>	-	-	226	-	598	-	240	-	11003	-	38217	-
<i>Dia. vulgare</i>	-	-	452	2500	-	-	-	-	297	-	859	-
<i>Eunotia</i> sp.	1455	-	-	-	598	-	400	-	2082	-	4294	-
<i>Fra. capucina</i>	-	-	-	-	-	-	80	-	-	-	-	-
<i>Fra. crotonensis</i>	-	-	-	-	-	-	80	-	595	-	429	-
<i>Fra. vaucheriae</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1288	-
<i>Fragilaria</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2500
<i>Gom. angustum</i>	6366	-	9492	-	3591	-	600	-	595	-	4723	-
<i>Gom. parvulum</i>	1091	-	-	-	1396	-	360	-	-	-	-	-
<i>Gom. pseudoaugur</i>	2001	-	2260	-	199	-	160	-	-	-	-	2500
<i>Gom. quadripunctatum</i>	1637	-	2938	-	1197	-	560	-	-	-	-	-
<i>Merismopedia</i> sp.	-	-	-	2500	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Nav. decussis</i>	-	-	226	-	-	-	40	-	297	-	-	-
<i>Nav. goeppertiana</i>	2365	2500	2938	5000	199	-	680	-	-	-	429	-
<i>Nav. pupula</i> var. <i>capitata</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	429	2500
<i>Navicula</i> sp.	43108	-	98989	-	8776	-	23888	-	6542	-	34782	5000
<i>Nit. amphibia</i>	-	-	16046	-	-	-	240	-	892	-	36070	2500
<i>Nitzschia</i> sp.	182	-	-	-	199	-	-	-	-	-	429	2500
<i>Oscillatoria</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2500	-	2500
<i>Sta. acuta</i>	364	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Surirella</i> sp.	-	-	-	-	-	-	-	2500	-	-	-	-
<i>Syn. ulna</i>	1273	-	678	2500	2394	-	-	2500	2379	-	4723	-
<i>Trachelomonas</i> sp.	-	2500	-	2500	-	7500	-	15000	-	35000	-	-

JR: Jungang stream, CG: Cheonggye stream, MP: Merged point with both streams, NS: Natural substrates, AS: Artificial substrates, W: Water

*Ach.*: *Achnanthes*, *Ast.*: *Asterionella*, *Aul.*: *Aulacoseira*, *Chl.*: *Chlorella*, *Coc.*: *Cocconeis*, *Cyc.*: *Cyclostephanos*, *Cycl.*: *Cyclotella*, *Cym.*: *Cymbella*, *Dia.*: *Diatoma*, *Fra.*: *Fragilaria*, *Gom.*: *Gomphonema*, *Nav.*: *Navicula*, *Nit.*: *Nitzschia*, *Sta.*: *Stauroneis*, *Syn.*: *Synedra*

*Cyclotella* 속 3종, *Navicula* 속 3종, *Nitzschia* 속 2종 등이 출현하였으며, 종수 및 개체수 평균은 각각 JR이 7종, 1,400 cells mL<sup>-1</sup>, CG가 4종, 80,400 cells mL<sup>-1</sup>, MP가 15종, 3,100 cells mL<sup>-1</sup>를 차지하였다. 자연기질 내 출현 구조류는 총 14속 23종으로 *Gomphonema* 속 4종, *Navicula* 속 3종 등이었고, 종수 및 개체수 평균은 각각 JR이 13종, 5,300 cells cm<sup>-2</sup>, CG가 14종, 1,700 cells cm<sup>-2</sup>, MP

가 14종, 3,200 cells cm<sup>-2</sup>을 차지하였다. 자연기질 내 출현 우점종은 JR이 *Navicula* sp. (61.7%), *Gomphonema angustum* (9.1%), CG가 *Navicula* sp. (36.4%), *Gomphonema angustum* (14.9%), MP가 *Aulacoseira granulata* (33.6%), *Cymbella tumida* (24.3%) 등으로 나타났다. 인공기질 내 출현 구조류는 총 14속 19종 중 *Gomphonema* 속 4종, *Nitzschia* 속 4종 등으로 나타났고, 종수 및 개체

**Table 3.** Phytoplankton and benthic diatom community in the eutrophic lake, Lake Ilgam (Seoul).

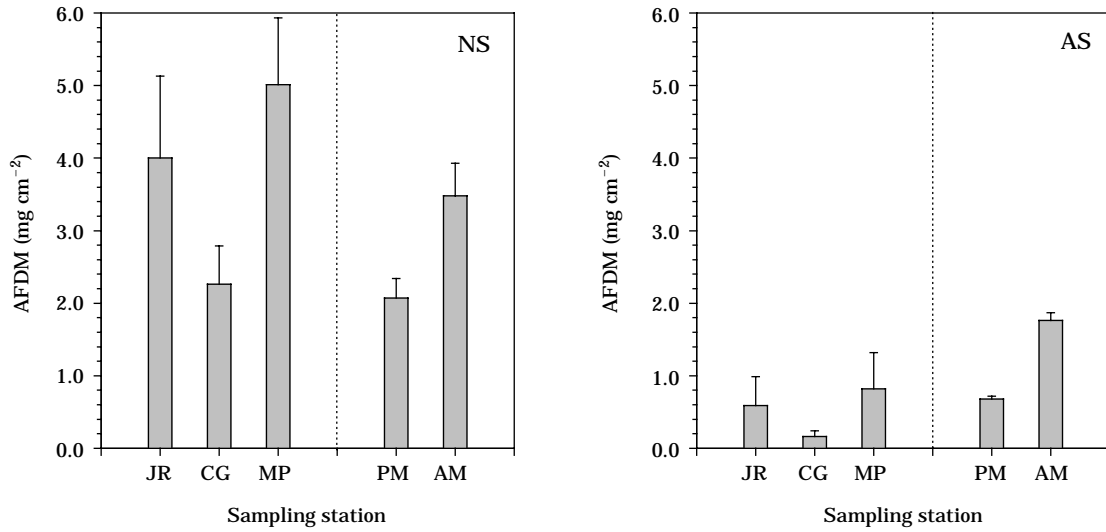
Species	PM				AM			
	NS	W	AS	W	NS	W	AS	W
<i>Achnanthes</i> sp.	243	2500	1149	—	287	—	126	—
<i>Ankistrodesmus</i> sp.	—	7500	—	7500	—	2500	—	2500
<i>Ast. formosa</i>	243	—	36	—	—	—	126	—
<i>Aul. granulata</i>	—	—	36	—	—	—	252	—
<i>Aul. italica</i>	426	2500	72	2500	11208	7500	1385	2500
<i>Chl. ellipsoidea</i>	—	2500	—	2500	—	—	—	—
<i>Cosmarium</i> sp.	—	7500	—	—	—	—	—	—
<i>Cycl. meneghiniana</i>	—	—	503	—	—	—	1007	—
<i>Cycl. stelligera</i>	—	—	72	—	862	2500	2015	—
<i>Cyclotella</i> sp.	—	2500	—	5000	—	—	—	—
<i>Cym. subaequalis</i>	—	—	—	—	287	—	126	—
<i>Cym. tumida</i>	—	—	—	—	1293	5000	252	—
<i>Dia. vulgare</i>	—	—	—	—	—	—	252	—
<i>Eunotia</i> sp.	2130	—	4271	—	14226	—	8184	—
<i>Fra. crotonensis</i>	61	—	36	457500	—	—	—	—
<i>Gom. angustum</i>	669	—	431	—	1581	—	881	5000
<i>Gom. parvulum</i>	—	—	3913	—	—	—	—	—
<i>Gom. pseudoaugur</i>	—	2500	—	—	575	5000	252	—
<i>Gom. quadripunctatum</i>	—	2500	—	—	—	—	—	—
<i>Gom. truncatum</i>	—	—	—	—	—	—	126	—
<i>Nav. cuspidata</i>	—	—	—	—	—	—	126	—
<i>Nav. goeppertiana</i>	—	—	36	—	144	—	126	—
<i>Nav. pupula</i> var. <i>capitata</i>	—	—	718	—	—	—	4155	—
<i>Navicula</i> sp.	—	17500	36	5000	144	2500	—	—
<i>Nit. amphibia</i>	—	—	36	—	—	—	—	—
<i>Nitzschia</i> sp.	—	—	—	—	—	—	126	—
<i>Pediastrum</i> sp.	—	2500	—	2500	—	2500	—	2500
<i>Polyedriopsis</i> sp.	—	—	—	—	—	10000	—	10000
<i>Sc. aculeato-granulatus</i>	—	125000	—	5000	—	30000	—	40000
<i>Sc. acutus</i>	—	112500	—	10000	—	15000	—	15000
<i>Sta. acuta</i>	—	—	—	—	—	—	252	—
<i>Syn. acus</i>	3225	228750	6964	—	49862	—	52003	—
<i>Syn. ulna</i>	61	—	—	—	—	677500	—	847500

PM: Presence of macrophyte, AM: Absence of macrophyte, NS: Natural substrates, AS: Artificial substrates, W: Water  
*Ast.*: Asterionella, *Aul.*: Aulacoseira, *Chl.*: Chlorella, *Cycl.*: Cyclotella, *Cym.*: Cymbella, *Dia.*: Diatoma, *Fra.*: Fragilaria, *Gom.*: Gomphonema,  
*Nav.*: Navicula, *Nit.*: Nitzschia, *Sc.*: Scenedesmus, *Sta.*: Stauroneis, *Syn.*: Synedra

수 평균은 각각 JR이 15종, 9,700 cells cm<sup>-2</sup>, CG가 19종, 1,700 cells cm<sup>-2</sup>, MP가 21종, 9,500 cells cm<sup>-2</sup>을 차지하였다. 인공기질 내 출현 우점종은 각각 JR이 *Navicula* sp. (67.5%), *Gomphonema angustum* (6.5%), CG가 *Navicula* sp. (71.7%), *Cyclotella* sp. (10.0%), MP가 *Cymbella tumida* (19.1%), *Nitzschia amphibia* (18.0%) 등으로 출현하였다.

일감호에서 출현한 조류는 모든 지점과 기질에서 총 2강 4목 11과 18속 33종 출현하였다. 이 중에서 규조류가 26종 (78.8%)으로 가장 많이 출현하였고, 녹조류 7종 (21.2%)을 차지하였다 (Table 3). 수중 내 출현 규조류는 총 7속 12종 중 *Gomphonema* 속 3종, *Cyclotella* 속 2종,

*Navicula* 속 1종 등이 출현하였고, 종수 및 개체수 평균은 각각 PM이 8종, 66,200 cells mL<sup>-1</sup>, AM이 7종, 172,700 cells mL<sup>-1</sup>을 차지하였다. 자연기질 내 출현 규조류는 총 10속 14종 중 *Synedra* 속 2종, *Aulacoseira* 속 1종 등이었고, 종수 및 개체수 평균은 각각 PM이 8종, 800 cells cm<sup>-2</sup>, AM이 11종, 7,300 cells cm<sup>-2</sup>을 차지하였다. 자연기질 내 출현 우점종은 각각 PM이 *Synedra acus* (45.7%), *Eunotia* sp. (30.2%), AM이 *Synedra acus* (62.0%), *Eunotia* sp. (17.7%)가 각각 출현하였다. 인공기질 내 출현 규조류는 총 13속 23종 중 *Navicula* 속 3종, *Cyclotella* 속 2종, *Gomphonema* 속 2종 등으로 나타났고, 종수 및 개체수 평균은 각각 PM이 15종, 1,200 cells cm<sup>-2</sup>, AM이 19



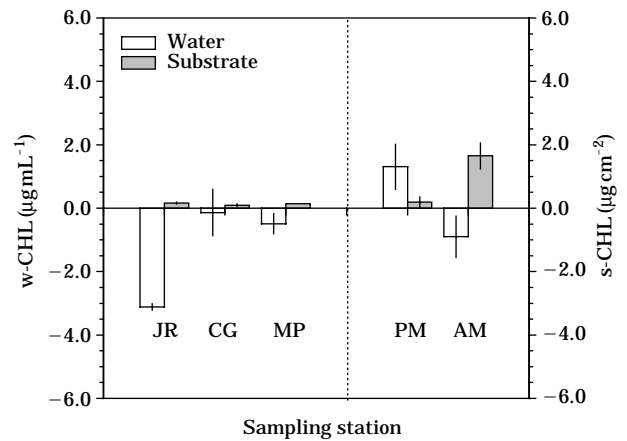
**Fig. 1.** Concentrations of ash-free dry matter (AFDM) of and natural and artificial substrates in the study station. JR: Jungrang stream, CG: Cheonggye stream, MP: Merged point with both streams, PM: Presence of macrophyte, AM: Absence of macrophyte, NS: Natural substrates, AS: Artificial substrates.

중, 3,700 cells cm<sup>-2</sup>을 차지하였다. 인공기질 내 출현 우점종은 각각 PM이 *Synedra acus* (38.0%), *Eunotia sp.* (23.3%), AM이 *Synedra acus* (72.5%), *Eunotia sp.* (11.4%)가 출현하였다.

**2) 생물량**

유기물 (AFDM)은 자연기질 내 유기물이 인공기질 내 유기물보다 한강에서 약 7배 가량 높게 나타난 반면, 일감호에서 약 2배 가량 높게 나타났다 (Fig. 1). 또한 한강과 일감호의 유기물은 각각 한강이 MP, JR, CG, 일감호가 AM, PM 순으로 높게 나타났다. 자연기질 내 유기물은 한강과 일감호 평균 각각 3.8 mg cm<sup>-2</sup>, 2.8 mg cm<sup>-2</sup>로 나타났다. 한강의 경우 JR 4.0 mg cm<sup>-2</sup>, CG 2.3 mg cm<sup>-2</sup>, MP 5.0 mg cm<sup>-2</sup>으로 나타났고, 일감호의 경우 PM 2.1 mg cm<sup>-2</sup>, AM 3.5 mg cm<sup>-2</sup>로 나타났다. 또한 인공기질 내 유기물은 한강과 일감호 평균 각각 0.5 mg cm<sup>-2</sup>, 1.2 mg cm<sup>-2</sup>로 나타났다. 한강의 경우 JR 0.6 mg cm<sup>-2</sup>, CG 0.2 mg cm<sup>-2</sup>, MP 0.8 mg cm<sup>-2</sup>로 나타났고, 일감호의 경우 PM 0.7 mg cm<sup>-2</sup>, AM 1.8 mg cm<sup>-2</sup>로 나타났다.

Chl-a는 인공기질 설치 15일 동안 수중과 인공기질의 변화폭이 유사하지 않은 것으로 나타났다 (Fig. 2). 수중의 Chl-a는 한강의 경우 전 지점이 감소하였고, 일감호의 경우 AM이 감소하였으며, 인공기질의 Chl-a는 한강의 경우 JR, MP, CG 순으로, 일감호의 경우 AM, PM 순으로 높게 나타났다. 수중의 Chl-a는 인공기질 설치 15일 동안 변화폭이 각각 한강의 경우 JR 3.1 µg L<sup>-1</sup>, CG 0.1 µg



**Fig. 2.** Differences in the concentrations of chlorophyll-a (CHL) between 15 days of water and artificial substrates. JR: Jungrang stream, CG: Cheonggye stream, MP: Merged point with both streams, PM: Presence of macrophyte, AM: Absence of macrophyte, NS: Natural substrates, AS: Artificial substrates, W: Water, S: Substrate.

L<sup>-1</sup>, MP 0.5 µg L<sup>-1</sup>으로 나타났으며, 일감호의 경우 각각 PM 1.3 µg L<sup>-1</sup>, AM 0.9 µg L<sup>-1</sup>로 나타났다. 기질 Chl-a는 인공기질 설치 15일 동안 변화폭이 각각 한강의 경우 JR 0.2 µg cm<sup>-2</sup>, CG 0.1 µg cm<sup>-2</sup>, MP 0.1 µg cm<sup>-2</sup>으로 나타났으며, 일감호의 경우 각각 PM 0.2 µg cm<sup>-2</sup>, AM 1.7 µg cm<sup>-2</sup>로 나타났다.

**Table 4.** Relative immigration activities of diatom communities in the study station.

Species	Morph	River Han						Lake Ilgam			
		JR		CG		MP		PM		AM	
		NS	AS	NS	AS	NS	AS	NS	AS	NS	AS
<i>Achnanthes</i> sp.	M	—	0.16	—	—	—	—	7.11	—	—	—
<i>Ast. formosa</i>	A	—	—	—	0.04	0.68	0.71	—	—	—	—
<i>Aul. italica</i>	C	—	—	—	—	0.76	—	12.46	0.78	14.11	7.14
<i>Cycl. meneghiniana</i>	C	—	0.02	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>Cycl. stelligera</i>	C	—	—	—	—	—	0.09	—	—	3.26	—
<i>Cyclotella</i> sp.	C	0.02	—	0.40	0.11	—	—	—	—	—	—
<i>Cym. tumida</i>	B	—	—	—	—	—	—	—	—	2.44	—
<i>Dia. vulgare</i>	A	—	0.04	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>Fra. crotonensis</i>	A	—	—	—	—	—	—	—	0.00	—	—
<i>Gom. angustum</i>	B	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.27
<i>Gom. pseudoaugur</i>	B	—	—	—	—	—	—	—	—	1.09	—
<i>Nav. goeppertiana</i>	B	0.20	0.14	—	—	—	—	—	—	—	—
<i>Nav. pupula</i> var. <i>capitata</i>	B	—	—	—	—	—	0.02	—	—	—	—
<i>Navicula</i> sp.	B	—	—	—	—	—	0.87	—	0.20	0.54	—
<i>Nit. amphibia</i>	B	—	—	—	—	—	1.80	—	—	—	—
<i>Nitzschia</i> sp.	B	—	—	—	—	—	0.02	—	—	—	—
<i>Syn. acus</i>	A	—	—	—	—	—	—	1.03	—	—	—
<i>Syn. ulna</i>	A	—	0.06	—	—	—	—	—	—	—	—

JR: Jungrang stream, CG: Cheonggye stream, MP: Merged point with both streams, PM: Presence of macrophyte, AM: Absence of macrophyte, NS: Natural substrates, AS: Artificial substrates, A: Araphid, M: Monoraphid, B: Biraphid, C: Centric  
*Ach.*: *Achnanthes*, *Ast.*: *Asterionella*, *Aul.*: *Aulacoseira*, *Cycl.*: *Cyclotella*, *Cym.*: *Cymbella*, *Dia.*: *Diatoma*, *Fra.*: *Fragilaria*, *Gom.*: *Gomphonema*, *Nav.*: *Navicula*, *Nit.*: *Nitzschia*, *Syn.*: *Synedra*

### 3. 규조류 유입능

한강과 일감호에서 기질(자연기질, 인공기질) 내로 유입을 보인 종수는 각각 13종, 9종으로 나타났다 (Table 4). 한강에서 자연기질과 인공기질 내 평균 유입능은 각각 0.41, 0.31이었고, 유입을 보인 종수는 각각 4종, 12종이었다. 또한 일감호에서 자연기질과 인공기질 내 평균 유입능은 각각 5.26, 2.08이었고, 유입을 보인 종수는 각각 7종, 4종이었다. 평균 유입능은 한강의 자연기질에서는 지점에 상관없이 *Aulacoseira italica* (0.76), *Asterionella formosa* (0.68), *Cyclotella* sp. (0.40) 등의 순으로 나타났고, 인공기질에서는 지점에 상관없이 *Nitzschia amphibia* (1.80), *Navicula* sp. (0.87), *Asterionella formosa* (0.71) 등의 순으로 나타났다. 또한 일감호의 자연기질에서는 지점에 상관없이 *Aulacoseira italica* (14.11, 12.46), *Achnanthes* sp. (7.06), *Cyclotella stelligera* (3.26) 등의 순으로 나타났고, 인공기질에서는 지점에 상관없이 *Aulacoseira italica* (7.14), *Gomphonema angustum* (2.27) 등의 순으로 나타났다.

지점별 유입능은 자연기질의 경우, 한강에서는 JR이 0.11 (0.02~0.20), CG가 0.40 (0.40), MP가 0.72 (0.68~0.76), 일감호에서는 각각 PM이 6.87 (7.11~12.46), AM

이 4.29 (0.54~14.11) 등으로 나타났다. 또한 인공기질의 경우, 한강에서는 JR이 0.09 (0.02~0.16), CG가 0.07 (0.04~0.11), MP가 0.58 (0.02~1.80), 일감호에서는 PM이 0.33 (0.00~0.78), AM이 4.71 (2.27~7.14) 등으로 나타났다 (Table 4).

조사기간 동안 규조류 형태와 유입능은 각각 우상형의 단배선 (monoraphid) 3.63, 중심형 (centric) 3.56, 우상형의 복배선 (biraphid) 0.87, 우상형의 무배선 (araphid) 0.37 순으로 나타났다. 중심형 배선을 나타낸 종은 *Aulacoseira* 속, *Cyclotella* 속이 출현하였고, 단배선은 *Achnanthes* 속, 복배선은 *Cymbella* 속, *Gomphonema* 속, *Navicula* 속, *Nitzschia* 속, 무배선은 *Diatoma* 속, *Fragilaria* 속, *Synedra* 속이 출현하였다.

### 고찰

일부 항목을 제외하고 영양염과 Chl-*a*가 한강지점의 JR, 일감호 지점의 AM에서 높게 나타났다. 환경요인은 TP를 제외하고 한강지점에서 JR, MP, CG 순으로 높게 나타났고, 일감호 지점에서 NO<sub>2</sub>-N과 NH<sub>3</sub>-N을 제외하고 AM, PM 순으로 높게 나타났다. 기질 내 Chl-*a*는 한강지



점에서 JR, MP, CG 순으로 높게 나타났고, 일감호 지점에서 AM, PM 순으로 높게 나타났다.

기질 내 규조류 개체수 평균은 한강지점의 JR이 많고, 일감호 지점의 AM이 많았으나, 출현 우점종은 한강지점의 JR, CG가 일치하고, 일감호 지점의 PM, AM이 일치하였다. 기질 내 규조류 개체수 평균은 한강지점에서 JR, MP, CG 순으로 나타났고, 일감호 지점에서 AM, PM 순으로 나타났다. 우점종은 모든 기질에서 한강지점의 JR과 CG는 *Navicula sp.*와 *Gomphonema angustum*으로 일치하였으나, MP는 *Cymbella tumida*가 출현하였고, 일감호 지점의 PM과 AM은 모두 *Synedra acus*와 *Eunotia sp.*로 일치하였다.

규조류의 평균 유입능은 높을수록 한강지점의 경우 영양염 및 Chl-*a* (현존량)가 높았고, 유속이 낮았으며, 일감호 지점의 경우 수생식물의 유무에 따라 차이가 나타났다. 또한 규조류의 배선 형태에 따라 차이가 나타났다. 한강 지점의 유입능은 *Nitzschia amphibia* (1.80)를 제외하고 기질 내 중 유입 속도가 1 이하 (0.02~0.87)로 느리게 나타났으며, 유입능 평균은 JR, CG, MP 순으로 영양염과 Chl-*a*가 높았고, 유속이 낮아 Stevenson and Peterson (1991)과 Stevenson (1984)의 결과와 일치하였다. 또한 Chl-*a*는 규조류의 개체수와 밀접한 연관(심 등, 1999)이 있으며, 규조류 개체수가 많을수록 유입능 수치가 높아지는데 (Stevenson and Shaharum, 1989), Chl-*a*가 많을수록 유입능 수치가 높았던 본 결과와 일치하였다. 일감호 지점의 유입능은 일부 몇 종을 제외하고 유입 속도가 1 이상 (1.03~14.11)으로 빠르게 나타났고, 유입능 평균은 AM, PM 순으로 높을수록 영양염 및 Chl-*a*가 높았다. 이는 수생식물이 분포한 AM 지점의 영양염이 많기 때문인 것으로 사료되며, 최 등(2007)의 보고에 의하여 수생식물 발달이 영양염 제거에 효과적인 것으로 밝혀진 바 있다.

유입을 보인 규조류의 배선 형태는 조사기간 동안 단배선 형태와 중심형 형태가 가장 높게 나타났다. 중심형 형태가 높게 나타난 것은 Stevenson and Peterson (1989)과 심 등(1998)의 겨울철 결과와 유사하였으나, 우상형 배선에서 단배선, 복배선, 무배선 순으로 나타난 결과는 일치하지 않았다. 한강지점에서 가장 높은 유입능 수치(0.71)를 보인 종은 *Asterionella formosa*로 세포 각의 길이가 40~130  $\mu\text{m}$  정도의 길쭉한 형태이고, 주로 주영양이나 부영양 수역에 흔히 출현하는 종(정, 1993)이었으며, 일감호 지점에서 가장 높은 유입능 수치(14.11)를 보인 종은 *Aulacoseira italica*로 주로 부영양화된 저수지나 호수 등에 서식하는 종(정, 1993)이었다.

## 적 요

저온기 부영양 수계의 규조군집 특성과 이들의 유입능을 이해하기 위하여, 2008년 1월 15~29일까지 한강과 일감호에 인공기질을 15일 동안 설치하고, 환경요인과 규조류 유입능을 각각 조사하였다. 조사결과, 유속이 높을수록 수중의 영양염은 감소하였으나 설치된 기질의 유기물과 Chl-*a*는 유사한 변화 패턴을 나타냈다. 두 수계에서 가장 높은 빈도를 보인 우점 조류는 각각 *Navicula sp.* (한강)와 *Synedra acus* (일감호)이었으며, 가장 높은 유입능을 보인 조류는 각각 *Nitzschia amphibia* (한강)와 *Aulacoseira italica* (일감호)로 나타났다. 한강에서 조류의 유입능은 영양염, 유기물, Chl-*a* 등이 높고 유속이 낮을수록 높게 나타났으며, 일감호에서는 영양염이 높고 수생식물이 없는 곳에서 높았다. 결국, 저온기 규조류의 유입능은 하천에서는 영양염과 유속, 호수에서는 수생식물의 발달 여부에 따라 크게 영향을 받는 것으로 사료되었다.

## 사 사

본 연구는 농림부 핵심 전략 연구과제 “생물조절(먹이연쇄)를 통한 농업용저수지 수질관리 기법개발”(306009-03-2-CG000)에 의해 수행되었습니다. 본 연구를 위하여 시료 채집과 자료 정리에 도움을 주신 물환경생태연구실원들께 감사드립니다.

## 인 용 문 헌

- 강정훈, 조병철, 심재형, 최중기. 해수에 잠긴 인공기질 표면에 먼저 부착된 박테리아가 규조류의 부착에 미치는 영향. 한국해양학회지 **3**: 271-275.
- 심재형, 강정훈, 조병철, 김웅서. 1998. 해수에 잠긴 인공기질 표면에서 미세조류의 부착과 성장: I. 부착 및 천이. 한국해양학회지 **3**: 249-260.
- 심재형, 강정훈, 조병철, 김웅서, 배세진. 1999. 해수에 잠긴 인공기질 표면에서 미세조류의 부착과 성장: II. 엽록소와 일차생산력. 한국해양학회지 **4**: 136-143.
- 전남희, 박혜경, 변명섭, 최명재. 2007. 인공 수초재배섬에서 세균의 활성화와 세균 군집 구조. 한국물환경학회지 **23**: 676-682.
- 정연태, 최민규, 김백호, 위인선, 이종빈. 1996. 수질오염 판정을 위한 기법 개발 (I) 부착조류 군체화에 미치는 기질특이성 연구. 환경생물 **14**: 95-111.



- 정 준. 1993. 한국담수조류도감. 아카데미서적, 496p.
- 최명재, 변명섭, 박혜경, 전남희, 윤석환, 공동수. 2007. 팔당호 인공 수초재배섬에서 수생식물의 생장 특성 및 영양염류 제거량. *물환경학회지* **23**: 474-483.
- 최중기, 양은진, 이원제, 윤원득, 심재형. 1999. 인천 연안 미세 오손생물 군집 형성과 원생동물의 영향. *한국해양학회지* **4**: 349-362.
- 환경부. 1997. 수질오염공정시험법. 동화기술, 서울.
- APHA. 1995. Standard methods for the examination of water and wastewater, 18th Ed. American Public Health Association. Washington, D.C.
- Callow, M.E. 1993. A review of fouling in freshwaters. *Biofouling* **7**: 313-327.
- Caron, D.A. and J.M. Sieburth. 1981. Disruption of the primary fouling sequence on fiber glass-reinforced plastic submerged in the marine environment. *Applied and Environment Microbiology* **41**: 268-273.
- Cuba, T.R. and N.J. Blake. 1983. The initial development of a marine fouling assemblage on a natural substrate in a subtropical estuary. *Botanica Marina* **26**: 259-264.
- Krammer, K. and H. Lange-Bertalot. 2007. Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd 2/1: Bacillariophyceae 1. Teil: Naviculaceae, 876p. *In*: Elsevier Book Co., Germany.
- Krammer, K. and H. Lange-Bertalot. 2007. Süßwasserflora von Mitteleuropa, Bd 2/1: Bacillariophyceae 1. Teil: Bacillariaceae, Epithemiaceae, Surirellaceae, 596p. *In*: Elsevier Book Co., Germany.
- Marcus, M.D. 1980. Periphytic community response to chronic nutrient enrichment by a reservoir discharge. *Ecology* **61**: 387-399.
- Meenakumari, B. and N.B. Nair. 1994. The effects of slime film on barnacle settlement, p. 3-9. *In*: Recent Developments in Biofouling Control (Thompson, M.F, R. Nagabhushanam, R. Sarojini and M. Fingerma, eds.). Balkema, Rotterdam.
- Sieburth, J.M. 1975. Microbial Seascapes, 319p. Univ. Park. Press, Baltimore. MD. USA.
- Stevenson, R.J. 1984. How currents on different sides of substrates in streams affect mechanisms of benthic algal accumulation. *Internationale Revue der Gesamten Hydrobiologie* **69**: 241-262.
- Stevenson, R.J. and C. Peterson. 1989. Variation in benthic diatom (Bacillariophyceae) immigration with habitat characteristics and cell morphology. *Journal of Phycology* **25**: 120-129.
- Stevenson, R.J. and H. Shaharum. 1989. Variation in diatom community structure among habitats in sandy streams. *Journal of Phycology* **25**: 678-686.
- Stevenson, R.J. and S. Hashim. 1989. Variation in diatom community structure among habitats in sandy streams. *Journal of Phycology* **25**: 678-686.
- Tanner, C.C. and J.P. Sukias. 1995. Accumulation of organic solids in gravel-bed constructed wetlands. *Water Science and Technology* **32**: 229-239.
- Wetzel, R.G. 1996. Benthic algae and nutrition cycling in lentic freshwater ecosystems. In: Algal Ecology, p. 641-647. *In*: Freshwater Benthic Ecosystems (Stevenson, R.J., M.L. Bothwell and R.L. Lowe, eds.). Academic Press, New York.

(Manuscript received 5 June 2008,  
Revision accepted 6 September 2008)