

한강하류의 환경학적 연구 V. 식물플랑크톤 군집 대발생의 특징

정승원 · 이진환* · 유종수¹

(상명대학교 자연과학부, 한국해양대학교 해양과학기술연구소¹)

Environmental Studies of the Lower Part of the Han River V. Blooming Characteristics of Phytoplankton Communities

Seung Won Jung, Jin Hwan Lee* and Jong Su Yoo¹

Division of Natural Science, Sangmyung University, Seoul 110-743 and

¹Research Institute of Marine Science and Technology, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

Ecological characteristics of phytoplankton communities were investigated biweekly at 6 stations from Feb. 2001 to Feb. 2002 at the lower part of the Han River. During the study, a total of 267 taxa which were composed of 114 green algae, 104 diatoms, 22 blue-green algae, 13 chrysophytes and 2 dinoflagellates were observed. The standing crops of phytoplankton communities were ranged from 1.30×10^6 cells·l⁻¹ to 37.47×10^6 cells·l⁻¹. The dominant species were 11 taxa including *Pediastrum duplex*, *Scenedesmus quadricauda* in green algae, *Osillatoria limosa*, *Microcystis aeruginosa*, *Merisomorpedia* sp., *Phormidium* sp. in blue-green algae, and *Asterionella gracillima*, *Aulacoseira granulata*, *Fragilaria crotonensis*, *Stephanodiscus hantzschii* f. *tenuis*, *Synedra acus* in diatoms. *Asterionella gracillima* and *Stephanodiscus hantzschii* f. *tenuis* were abundant at every station from winter to spring. *Stephanodiscus hantzschii* f. *tenuis* occupied the highest dominant ratio and standing crop. From summer to autumn, dominant species were *Aulacoseira granulata* at all stations and blue-green algae such as *Osillatoria limosa*, *Microcystis aeruginosa*, *Merisomorpedia* sp. at some stations. These 4 species were mostly present at the lower stations 4, 5, 6 and very few at the upper stations 1, 2, 3.

Key Words: blooms, dominant species, Han River, phytoplankton community, standing crops

서 론

한국은 1970년대 이후 경제성장과 함께 도시의 확대와 인구의 집중화로 주변 하천의 수질도 함께 악화되어 왔다. 한강은 서울특별시, 경기도, 강원도, 충청도를 지나며, 전 인구의 40% 이상이 식수, 산업용수, 농업용수 등으로 사용하고 있는 주요 하천이다. 그러나 한강 주변 도시의 확대와 인구증가는 궁극적으로 수질의 악화를 초래하였고, 이는 환경적 차원을 넘어 사회적 문제로 대두되고 있다. 최근 한강은 높은 수자원의 활용도에 따른 수질의 관심이 집중되면서 물리, 화학, 지질, 생물학적 연구가 활발히 이루어져 왔는데, 특히

수서 생태계 내에서의 중요 기초생산자의 역할을 하는 식물플랑크톤은 수질 변화에 민감하게 반응을 하여, 수환경을 평가하는데 중요한 자료로 이용되고 있으며 (Stoermer and Ladewski 1978; 김 1996), 많은 연구자들에 의해 분류, 기초생산력, 현존량과 종조성, 생물 지표성 등의 연구가 수행되어져 왔다(서울특별시 1990; 유와 임 1990; Lee and Yoon 1994; 이와 장 1997).

한편 한강 유역에 대한 연구는 팔당호를 포함하여 주로 중·상류 지역에서 집중적인 연구가 수행되었으나(정과 이 1981; 이와 정 1983; 이 1985; Cho et al. 1989; 김과 김 1990; 한 등 1993; 한 등 1995; 장과 전 1996; 박 등 2000), 상대적으로 하류에 대한 연구는 빈약한 실정이다(서울특별시 1990; 유와 임 1990; Lee and Yoon 1994; 이와 장 1997; 김 등 1998). 특히 중·하류에서 유입되는 점·비점 오염원과 하류

*Corresponding author (jhlee@smu.ac.kr)

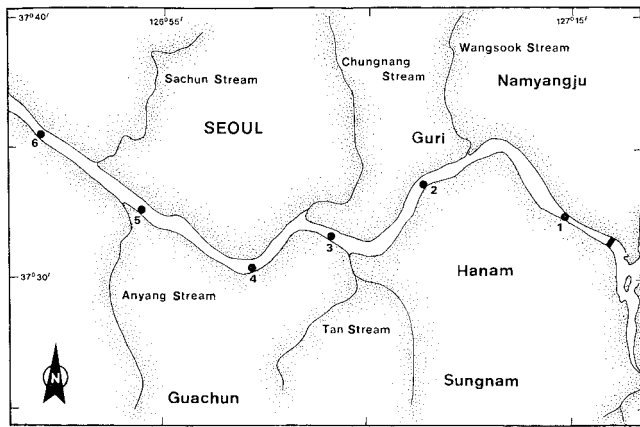


Fig. 1. A map showing the sampling stations at the lower part of the Han River.

로 직접 유입되는 유기오염원에 따른 식물플랑크톤의 거동에 대한 조사가 미흡한 실정이다. 이는 최근 한강 하류 수역이 서울 시민의 휴식공간과 수자원으로서의 중요성이 강조되면서 그 필요를 더하게 되었다.

본 연구는 팔당댐에서 행주대교 사이의 한강 하류를 중심으로 유입오염원에 따른 식물플랑크톤의 정성·정량적인 연변동을 조사하였으며, 특히 주요 개체군간의 계절적 천이와 대발생에 대한 상관성을 파악하여 한강 하류유역의 식물플랑크톤 군집동태의 특성을 규명하고자 하였다.

재료와 방법

본 연구는 한강하류의 6개 지점을 선정하여, 2001년 2월부터 2002년 2월까지 격주 간격으로 시료를 26회 채집하였다 (Fig. 1). 정점 1은 팔당대교 아래, 정점 2는 암사동 시민공원 주변, 정점 3은 영동대교 아래, 정점 4는 반포대교 아래, 정점 5는 성산대교 아래, 그리고 정점 6은 행주대교 아래 각각 설정하였다.

식물플랑크톤의 정량과 정성분석을 하기 위한 시료는 플랑크톤 넷트(mesh size 20 μ m)와 1l용 폴리에틸렌 병을 사용하여 표층수에서 채집한 후 현장에서 중성 formalin과 glutaraldehyde로 각각 고정 후 실험실로 운반하였다. 시료의 정량과 정성분석은 이와 장(1997)에 따랐다. 다만 광학현미경에서 동정이 어려운 돌말류의 경우 Hasle and Fryxell(1970)의 방법을 변형하여 세포내 유기물을 강산으로 제거한 후 주사전자현미경(Jeol, JSM-5600LV)으로 관찰하였다. 또한 외부골격이 약한 와편모조류, 녹조류, 유글레나조류 경우는 Reimann et al.(1980)의 방법을 변형하여 고정 후 Critical Point Dryer(SPI, CPD-dryer)로 건조시켜 주사전자현미경으로 검경·동정하였다.

결과

종조성

본 조사기간 중 출현한 식물플랑크톤군집은 녹조류 114종류, 돌말류 101종류, 남조류 22종류, 유글레나조류 10종류, 황금색조류 13종류, 황록색조류 5종류, 와편모조류 2종류 등 총 267분류군으로 구성되어 있었다(Table 1). 출현분류군 중 녹조류인 *Scenedesmus*속 25종, 돌말류인 *Gomphonema*속 14종 등 2속의 분류군별 출현종이 가장 많이 나타났다. 계절별 출현양상은 최저 16종(2001년 4월 7일, 정점 6)에서 최고 56종(2001년 10월 20일, 정점 3)으로 변화폭이 매우 컸으며, 겨울철에 평균 28종으로 적은 출현종수를 보인 반면, 가을철에는 평균 39종으로 비교적 다양하였다. 분류군별 출현양상을 보면, 녹조류의 월별 변화는 최소 2종(2001년 4월 7일, 정점 4; 2002년 1월 26일, 정점 4, 5; 2월 9일, 정점 1)에서 최고 28종(2001년 7월 13일, 정점 1)까지 변화 폭이 컸으며, 계절별로는 가을철에 14종으로 가장 다양한 출현양상을 보였고 겨울철에는 평균 3종으로 낮게 출현하였다. 정점별 변화는 정점 1에서 6까지 평균 9-10종으로 큰 차이가 나타나지 않았다. 돌말류는 최소 8종(2002년 1월 26일, 정점 4)에서 최고 32종(2001년 7월 28일 정점 4)을 보였고, 계절별 출현양상은 18-22종의 전 계절에 걸쳐 유사한 양상을 보였으나, 7월과 10월에 22종으로 높게 나타났다. 유글레나조류와 와편모조류는 전체적으로 1-2종으로 낮은 출현종수를 보였고, 남조류는 계절별로 늦여름철인 8-9월에 주로 출현하였다. 식물플랑크톤의 전반적인 출현양상은 봄철부터 서서히 증가하다가 가을철에 가장 높은 양상을 보였으며, 특히 돌말류와 녹조류가 우세하게 출현하였다.

현존량과 계절별 대발생종

조사기간 중 식물플랑크톤 현존량은 최저 1.30×10^6 cells·l⁻¹(2001년 5월 5일, 정점 1)에서 최고 37.47×10^6 cells·l⁻¹(2001년 3월 10일, 정점 6)까지 28배 이상의 큰 변화폭을 보였다(Fig. 2). 정점별로는 정점 1에서 평균 2.91×10^6 cells·l⁻¹을, 정점 6에서 평균 9.00×10^6 cells·l⁻¹을 보여 한강 하류로 내려 갈수록 높은 현존량을 보였고, 계절변화는 봄철에 평균 10.12×10^6 cells·l⁻¹을, 여름철에 5.34×10^6 cells·l⁻¹을, 가을철에 5.26×10^6 cells·l⁻¹을, 겨울철에 7.76×10^6 cells·l⁻¹로 겨울철과 봄철에 *Stephanodiscus hantzschii* f. *tenuis*의 대발생에 따라 높은 현존량을 나타내었다(Fig. 3).

식물플랑크톤 현존량이 10^6 cells·l⁻¹ 이상의 주요 분류군별 대발생종을 보면, 녹조류인 *Pediastrum duplex*, *Scenedesmus quadricauda*가 출현하였고, 남조류는 *Osillatoria limosa*, *Microcystis aeruginosa*, *Merisomorpedia* sp., *Phormidium* sp.로 4

Table 1. Number of species of phytoplankton communities at the lower part of the Han River

St. Class	'01	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	'02	F	Mean												
	24	10	23	07	21	05	17	04	16	30	13	28	11	25		07	22	09	20	03	20	02	15	29	12	26	09
1 Chlorophyceae	4	5	6	7	8	11	8	6	9	8	28	7	18	15	9	20	10	9	6	4	6	3	6	5	7	2	9
Euglenophyceae	1	3	-	-	1	-	-	2	1	1	-	-	3	-	2	-	-	-	-	-	-	-	1	1	1	-	1
Dinophyceae	1	2	1	-	1	-	1	-	-	-	-	1	-	-	1	1	2	1	1	1	1	2	1	2	3	1	1
Bacillariophyceae	23	22	24	26	16	21	24	23	22	18	18	26	16	15	21	18	13	24	12	12	17	21	15	11	15	19	19
Cyanophyceae	2	3	-	1	-	-	-	2	1	3	3	-	-	1	4	5	3	3	3	1	3	4	1	3	1	2	2
Others	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	3	1	-	2	-	-	5	3	1	
Total	32	36	31	34	26	32	33	33	33	30	49	34	37	31	37	44	29	37	25	19	27	32	24	22	32	27	6
2 Chlorophyceae	3	6	5	9	7	8	13	12	14	10	12	3	20	18	9	13	24	16	16	5	10	5	1	5	3	4	10
Euglenophyceae	1	1	-	1	-	-	-	1	1	1	-	1	1	1	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	5
Dinophyceae	1	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	-	1	2	1	2	-	2	2	1	5	1	
Bacillariophyceae	16	21	20	20	19	25	21	22	24	26	16	23	22	23	23	18	21	18	12	14	10	16	16	16	17	18	19
Cyanophyceae	1	3	1	1	1	2	1	2	3	-	-	-	1	1	1	3	3	4	-	4	2	4	1	3	1	1	2
Others	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	1	-	3	-	-	-	-	-	1	-	4	3	1
Total	22	33	28	31	27	35	35	37	42	37	29	28	45	43	36	34	52	40	30	24	24	25	21	26	26	31	6
3 Chlorophyceae	4	5	7	8	7	5	7	10	17	9	17	4	18	13	12	14	20	25	17	9	8	5	5	4	3	-	10
Euglenophyceae	2	1	1	1	-	-	1	1	-	-	3	3	-	1	-	-	-	1	-	-	-	1	1	-	-	-	1
Dinophyceae	-	2	1	-	2	-	-	-	-	-	1	-	-	-	1	3	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1
Bacillariophyceae	15	19	18	23	19	23	22	25	24	24	28	30	15	19	21	20	28	22	20	14	16	22	24	17	11	20	21
Cyanophyceae	1	-	-	1	-	-	1	2	2	-	1	2	1	1	5	1	4	5	6	3	2	3	3	4	1	-	2
Others	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1	2	-	2	1	1	1	1	3	3	1
Total	22	27	27	33	28	28	31	38	44	33	50	39	34	34	39	38	54	56	46	29	28	33	36	29	20	24	6
4 Chlorophyceae	3	3	5	2	9	4	9	14	20	6	20	7	13	3	7	16	21	21	18	9	6	5	4	3	2	5	1
Euglenophyceae	3	3	1	2	-	-	1	1	1	1	2	1	-	-	-	1	-	-	-	-	1	-	1	1	-	1	1
Dinophyceae	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	2	-	3	2	1	2	2	1	3	2	5	1
Bacillariophyceae	21	16	22	17	14	20	15	22	26	21	22	32	24	30	22	16	20	22	16	10	19	19	16	14	8	22	20
Cyanophyceae	4	3	2	1	-	-	2	2	1	-	-	2	-	-	2	4	5	5	1	1	2	3	2	2	2	4	2
Others	-	1	-	1	1	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	1	2	3	1	2	2	4	2	3	3	1
Total	31	27	31	23	24	24	27	40	49	28	45	42	37	33	31	39	47	53	40	22	32	31	28	25	17	40	4
5 Chlorophyceae	3	3	2	3	8	9	9	16	19	8	19	8	13	18	10	18	20	13	11	11	8	4	7	4	2	6	10
Euglenophyceae	3	-	1	-	1	-	1	-	-	-	2	2	-	1	-	1	-	-	-	-	1	1	1	1	-	-	1
Dinophyceae	1	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	2	-	-	-	1	1	2	2	2	3	4	1
Bacillariophyceae	14	19	18	15	12	11	13	18	16	16	13	20	16	24	21	17	17	24	20	14	20	22	19	20	11	18	17
Cyanophyceae	3	2	1	-	-	-	2	1	1	-	1	1	2	1	1	4	1	3	2	2	2	-	1	1	1	4	1
Others	-	-	-	-	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	1	1	2	1	1	1	2	1	2	4	2	1
Total	24	25	22	19	21	21	26	36	36	24	35	31	31	44	36	43	39	42	34	29	32	31	31	30	21	34	5
6 Chlorophyceae	3	1	5	3	9	10	8	17	16	10	23	5	21	21	17	19	22	10	15	10	4	6	9	4	7	8	11
Euglenophyceae	2	1	1	1	-	1	2	1	1	1	2	1	-	3	1	-	1	-	1	1	1	1	1	-	1	1	1
Dinophyceae	1	1	1	-	-	-	-	-	1	-	1	-	1	1	3	3	-	1	1	1	1	2	2	2	4	6	1
Bacillariophyceae	13	20	17	12	10	13	10	22	21	16	17	23	19	26	25	17	25	30	21	15	17	21	20	13	12	18	18
Cyanophyceae	-	-	1	-	-	2	1	1	-	1	3	-	-	3	2	5	5	2	-	1	2	2	5	5	1	6	2
Others	1	-	-	-	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	2	4	2	3	4	4	1	4	-	1
Total	20	23	25	16	20	27	22	41	39	28	46	29	41	54	48	45	53	45	42	30	28	36	41	25	29	39	6

종류가 나타났으며, 돌말류는 *Asterionella gracillima*, *Aulacoseira granulata*, *Fragilaria crotonensis*, *Stephanodiscus hantzschii f. tenuis*, *Synedra acus* 등 5종류로 구성되어, 전체 11종의 우점종이 관찰되었다(Fig. 4).

계절별 대발생 양상을 보면, 봄철에 *Stephanodiscus hantzschii f. tenuis*, *Asterionella gracillima*가 제1, 2우점종을 차지하였으나, 제1우점종인 *Stephanodiscus hantzschii f. tenuis*는 늦은 봄으로 갈수록 우점율이 점차 낮아지는 양상을 보였다.

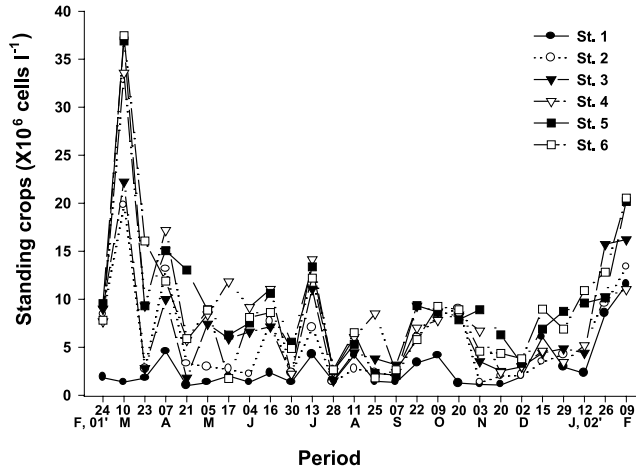


Fig. 2. Biweekly variations of the standing crops of phytoplankton communities at the lower part of the Han River.

여름철에는 *Aulacoseira granulata*가 평균 28.50%로 제1우점종을 보였고, 남조류인 *Osillatoria limosa*와 *Microcystis aeruginosa*가 각각 평균 3.86%와 3.32%를 차지하여 제2, 3우점종으로 나타났다. 여름철 대발생종의 특징은 봄철의 대발생종인 *Stephanodiscus hantzschii f. tenuis*와 *Asterionella gracillima*의 우점율이 점차 낮아지는 반면, *Aulacoseira granulata*, *Osillatoria limosa*, *Microcystis aeruginosa*의 우점율이 증가하였고, 정점별로는 하류로 갈수록 남조류의 우점율이 높아지는 양상을 보였다. 가을철에는 *Aulacoseira granulata*가 24.29%로 제1우점종을 차지하였고, 남조류인 *Merisomorpedia sp.*가 11.66%로 제2우점종을 차지하는 양상을 보여, 여름철과 유사하였다. 특히 10월 중순 이후부터는 봄철의 대발생종인 *Stephanodiscus hantzschii f. tenuis*와 *Asterionella gracillima*가 우점하는 양상을 보였다. 겨울철의 대발생 양상은 *Stephanodiscus hantzschii f. tenuis*와 *Asterionella gracillima*가 각각 70.36%와 2.93%로 *Stephanodiscus hantzschii f. tenuis*의 절대적인 우점을 보였다. 각 정점별 변화는 그리 크지 않았으며, 봄철과 유사하였다.

고 찰

수중생태계에서 식물플랑크톤의 종조성이나 현존량의 변화는 수환경의 변화에 따라 변동하기 때문에 수질을 판정하는 지표로 이용할 수 있다(Harper 1992). 따라서 식물플랑크톤 현존량과 우점종의 시·공간적인 변화에 따른 변동을 파악함으로써 본 조사수역의 영양화 상태를 파악할 수 있다.

본 연구에서 출현한 식물플랑크톤군집은 총 267분류군이 있었다. 1995-1996년에 한강 하류에서 돌말류 82종류, 녹조류 50종류, 와편모조류 1종, 유글레나조류 3종류, 규질편모조류 1종, 황갈색편모조류 1종, 그리고 남조류 7종류 등 총 145분류군이 보고되었으며(이와 장 1997), 1996년에는 총 369분류

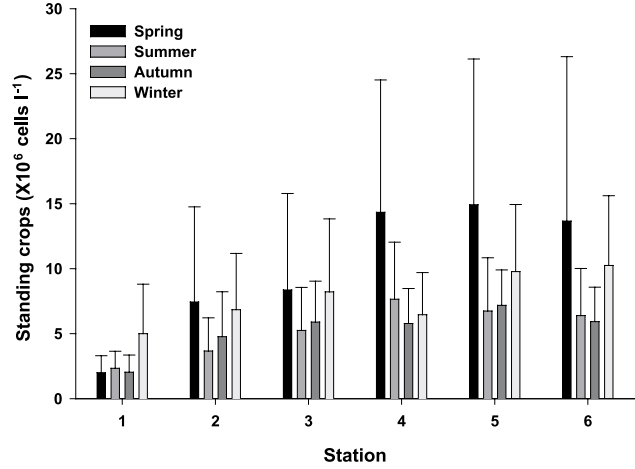


Fig. 3. Seasonal variations of the standing crops of phytoplankton communities at the lower part of the Han River.

군으로 녹조류가 152종류, 돌말류가 130종류, 남조류가 37종류, 유글레나조류가 29종류, 황색편모조류가 12종류, 와편모조류가 7종류, 그리고 황녹조류 2종류를 분류하였다(김 등 1998). 본 연구와 기존 연구결과를 비교 할 때 한강하류에서는 녹조류의 출현비율이 높아지고 있었다.

수중환경의 변화와 식물플랑크톤 군집의 변동에 따른 중요한 척도가 되는 현존량은 평균 $7.06 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 높은 현존량을 나타내었다. 식물플랑크톤 현존량의 평균 계절적 변화는 봄철에 $10.12 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{l}^{-1}$, 여름철에 $5.34 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{l}^{-1}$, 가을철에 $5.27 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{l}^{-1}$, 겨울철에 $7.78 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{l}^{-1}$ 로, 일반적인 수화 발생 기준인 $5 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{l}^{-1}$ 을 상회하는 수치로(Horne and Goldman 1994), 정 등(2003)의 본 조사수역에서 질소원과 인산원의 환경요인에 비교해 볼 때, 과영양화수역에 따른 식물플랑크톤 대발생이 전 계절에 걸쳐 발생하고 있었다.

기존의 조사와 비교 하면 1960년대부터 1980년대 중반까지 본 수역에서 겨울철에 $10^6 \text{ cells} \cdot \text{l}^{-1}$ 이상의 식물플랑크톤 현존량은 거의 보이지 않았으나(심과 최 1978), 서울특별시(1990)에 의하면 1989년 11월부터 1990년 8월까지 평균 $2.3 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{l}^{-1}$ 를 나타내었는데, 특히 겨울철인 12월에 $1.5 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{l}^{-1}$ 의 대발생을 나타낸 것을 비롯하여, 1989년 12월에 팔당대교 아래에서 $5 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{l}^{-1}$, 성산대교 아래에서 $3.1 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{l}^{-1}$, 뒤이어 1990년 1월과 2월에 $0.9-2.1 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{l}^{-1}$ (팔당대교)에서 최고 $5.6 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{l}^{-1}$ (한남대교 아래)까지 식물플랑크톤의 대발생 현상을 보고하였다. 또한 유와 임(1990)도 12월에 $7.2 \times 10^7 \text{ cells} \cdot \text{l}^{-1}$ 의 대발생을 보고하였으며, 서울특별시(1994)는 1993년 6월과 8월의 $3.0-8.4 \times 10^5 \text{ cells} \cdot \text{l}^{-1}$ 의 식물플랑크톤 현존량을 제외하고 조사기간 중 $10^6 \text{ cells} \cdot \text{l}^{-1}$ 이상을 보였고, 특히 1993년 11월에서 1994년 2월까지 $1.6-14.2 \times 10^6 \text{ cells} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 겨울철 대발생을 보였다. 이

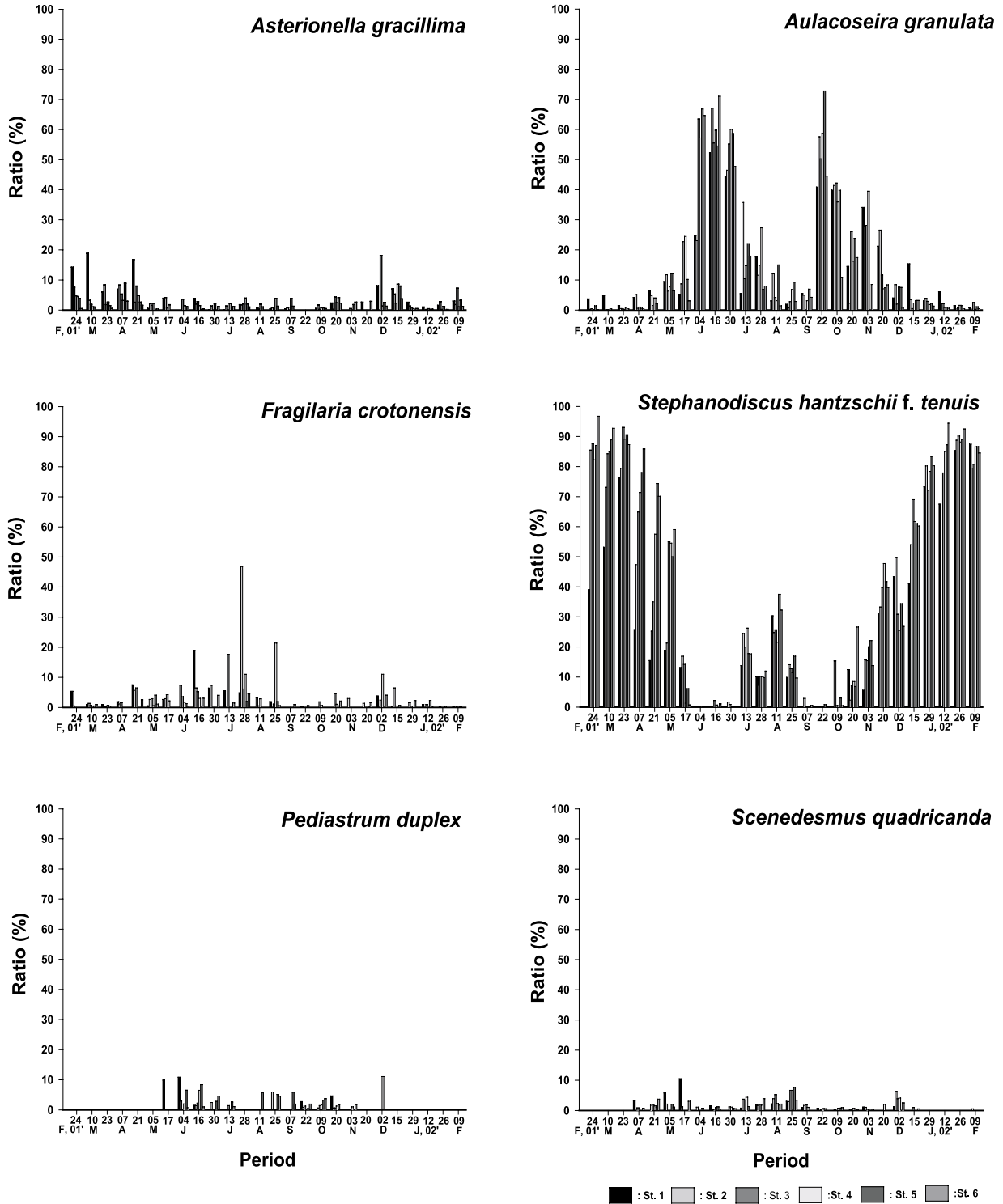


Fig. 4. Biweekly variations of the dominant species of phytoplankton communities at the lower part of the Han River.

와 장(1997)도 7월을 제외한 조사기간중 10^6 - 10^7 cells·l⁻¹로 식물플랑크톤 대발생이 항상 일어난다고 보고하였으며, 김 등(1998)은 7월에 최저치인 2.0×10^5 cells·l⁻¹에서 1월에 최고치인 1.7×10^7 cells·l⁻¹의 현존량을 보고하였다. 기존의 연구와 비교하면 여름철에 낮은 현존량을 보이는 반면 겨울철

에 대발생 양상을 나타내었다.

식물플랑크톤군집은 수온이 상승할수록 증가하는 경향을 보이거나(Heinle 1969), 본 조사수역에서 여름철의 집중강우로 많은 유량과 짧은 체류시간에 의해 식물플랑크톤 현존량이 희석되어 낮아지며, 상대적으로 건기인 동절기에는 부영양

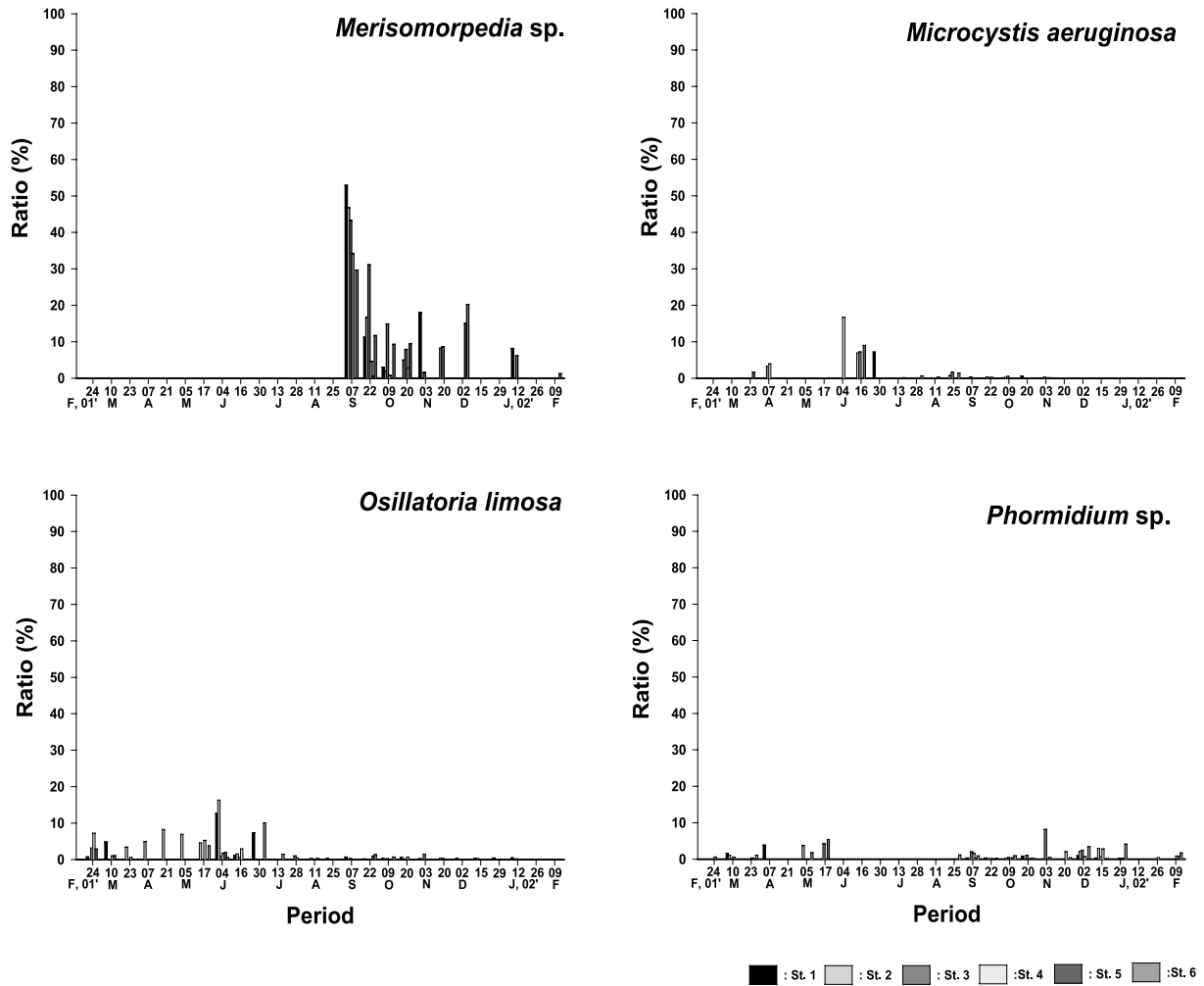


Fig. 4. Continued.

화 수역에서 긴 체류시간에 따라 식물플랑크톤 대발생을 보인 것으로 파악되어(정 등 2003), 한강하류에서 겨울철에 높고 여름철에 상대적으로 낮은 식물플랑크톤 현존량의 변동은 유량과 유속의 영향이 크게 기여한다고 사료된다.

정 등(2003)의 한강하류의 물리화학적 환경요인 변화와 본 연구의 식물플랑크톤 현존량의 정점별 변화를 보면, 팔당댐의 방류량에 직접적인 영향을 받는 정점 1(팔당대교)은 $2.91 \times 10^6 \text{ cells} \cdot l^{-1}$ 을 보였고, 탄천의 영향을 받는 정점 3(영동대교)은 $6.92 \times 10^6 \text{ cells} \cdot l^{-1}$ 을, 안양천의 영향을 받는 정점 5(성산대교)는 $9.55 \times 10^6 \text{ cells} \cdot l^{-1}$ 을 보여 하류로 향할수록 유입하천의 영양염류와 유기물질 유입에 따른 식물플랑크톤 현존량이 증가하는 것을 볼 수 있었다. 김(1996)은 팔당호에서 현존량이 $1.66 \times 10^6 \text{ cells} \cdot l^{-1}$ 에서 $1.21 \times 10^7 \text{ cells} \cdot l^{-1}$ 로 본 조사의 정점 1의 식물플랑크톤 현존량과 유사하여 동일 수체에 따른 영향이라 판단되며, 김 등(1998)의 연구에서 과영양화 수역인 탄천과 안양천에서 식물플랑크톤의 대발생되는 현존량을 비교했을 때, 한강 하류 유입하천의 유기물 유입양이 크다는 것을 시사하고 있었다.

본 조사기간 중 대발생종은 겨울철과 봄철에 돌말류인 *Stephanodiscus hantzschii f. tenuis*와 *Asterionella gracillima*였다. *Stephanodiscus hantzschii f. tenuis*는 최대 성장온도가 13°C 이나, 수온이 3°C 정도의 온도에서도 다른 적정 환경요인의 유입되면 충분한 성장을 보인다고 하였다(신 1998). 이와 같이 낮은 수온에서 변동은 1993년 12월, 1994년 1, 2월에 *Stephanodiscus hantzschii f. tenuis*가 우점하는 양상을 나타내었다. 이와 장(1997)의 1996년 1월 조사와 김 등(1998)과, 이 등(2002)의 겨울철 조사에서도 우점하는 양상을 나타내어 *Stephanodiscus hantzschii f. tenuis*는 수온이 낮은 겨울철 부영양화 수역에서 우점적으로 생육하는 종이였다. *Asterionella gracillima*는 본 조사시 봄철에 우점하는 양상을 나타냈으며, 1987년 2월과 1990년 1, 2월과(자연보호중앙협의회 1987; 서울특별시 1990), 유와 임(1990)의 4월과 5월, 이와 장(1997)의 6월에서도 주로 우점하는 양상을 나타내었다. Hutchinson(1967)은 *Asterionella sp.*가 온대지역의 부영양화 수역에서 출현하는 종이라 하였고, Stoermer *et al.*(1985)은 봄철에 높은 증가율을 나타내는 것으로 보고하였다. 여름철과

가을철은 돌말류인 *Aulacoseira granulata*와 남조류인 *Osillatoria limosa*, *Microcystis aeruginosa*, *Merismorpedia* sp.가 우점하는 양상을 보였다. 주요 우점종인 *Aulacoseira granulata*는 늦봄, 여름, 가을철에 주요 우점종으로 출현하였음을 보고하였고 (유와 임 1990), Lee and Yoon(1996)도 한강 수계에서 높은 빈도로 출현한다고 보고하였다. 또한 이와 장(1997)도 1995년 6, 7, 10월과 1996년 5월과 6월에 주요 우점한다고 보고하였으며, 김 등(1998)은 봄철부터 우점한다고 보고하였다. Hutchinson(1967)과 Stoermer et al.(1985)은 *Aulacoseira granulata*가 부영양호의 지표종으로서 수온의 영향을 크게 받지 않는 것으로 보고하였다. 또한 늦여름철과 가을철의 부분적 우점을 한 남조류 *Osillatoria limosa*, *Microcystis aeruginosa*, *Merismorpedia* sp.는 팔당호에서 1997년 6월부터 10월까지 주로 우점하였고(박 등 2000), 이 등(2002)은 1998년 8월과 10월에 우점한다고 보고하였다. 남조류는 부영양화된 정체 수역에서 수온에 의해 수화가 크게 좌우되지만, 한강 하류는 부영양화 수역이나, 수온이 상승하는 여름철 몬순기후에 따른 집중강우에 의한 유량의 짧은 체류시간으로 남조류의 수화에 크게 영향을 미치지 못하는 것으로 판단된다.

일반적으로 부영양화된 호소에서 나타나는 식물플랑크톤의 계절적 천이는 소형 편모조류(겨울), 돌말류(봄), 녹조류(늦봄), 남조류(여름, 초가을), 돌말류(가을)의 주기성을 보인다(Wetzel 1983; Reynolds 1984). 특히 부영양성 호소의 경우 여름철에 녹조류와 남조류의 대발생이 일어나며 봄철 역시 높은 현존량을 가진다고 알려져 있다(Sze 1986). 그러나 1980년대 후반부터 한강하류에서 계절별로 대발생을 일으키는 종은 크게 6종으로, 겨울철에는 *Stephanodiscus hantzschii* f. *tenuis*의 대폭발의 양상을 보였고, 봄철에는 *Asterionella gracillima*가 대발생을 하였으며, 여름과 가을철에는 남조류인 *Osillatoria limosa*, *Microcystis aeruginosa*와 *Merismorpedia* sp.가 부분적 대발생 양상과, 돌말류인 *Aulacoseira granulata*가 우점을 하는 양상을 보이고 있었다. 따라서 부영양화수역인 한강하류는 짧은 체류시간에 따라 전반적인 남조류의 대발생은 부분 억제가 되며, 현재와 같은 수질이 계속된다면 위 6종의 식물플랑크톤 대발생이 주도할 것으로 보이고, 특히 *Stephanodiscus hantzschii* f. *tenuis*의 대폭발 양상에 따라 겨울철에 최고치의 현존량을 보일 것이라 판단된다.

참고문헌

김동섭, 김범철. 1990. 팔당호의 일차생산. 한국육수학회지 23: 167-179.
김범철, 안태석, 조규송. 1988. 한강수계 인공호의 부영양화에 관한 비교 연구. 한국육수학회지 21: 151-163.

김용재. 1996. 팔당호의 식물플랑크톤 군집의 생태학적 고찰과 지표 종을 이용한 영양단계 평가. 한국육수학회지 29: 323-345.
김용재, 김명운, 김상중. 1998. 한강 중·하류 수계에서 식물플랑크톤 군집의 생태학적 특성. 한국조류학회지 13: 331-338.
김정균. 1972. 하계 한강하류의 식물플랑크톤의 분류와 해수지표성. 한국육수학회지 5: 31-41.
박혜경, 정원화, 권오상, 류재근. 2000. 팔당호에서 남조류 및 남조류생산 독성물질의 계절변동. 한국조류학회지 15: 29-35.
서울특별시. 1990. 한강생태계 조사연구 보고서, 586 pp.
서울특별시. 1994. 한강생태계 조사연구, 640 pp.
신재기. 1998. 낙동강 부영양화에 따른 담수조류의 생태학적 연구. 인제대학교 대학원 박사학위논문, 202 pp.
심재형, 최중기. 1978. 한강하류에 있어서 부유성 조류 군집의 구조 및 기능변화에 관한 연구. 한국해양학회지 13: 31-41.
유광일, 임병진. 1990. 한강하류계의 식물플랑크톤 군집과 수질 오염지표에 대하여. 한국육수학회지 23: 267-277.
이경. 1985. 팔당댐 침수수역 식물플랑크톤의 수직 분포. 한국식물학회지 29: 117-127.
이경, 정영호. 1983. 한강 중심수역의 규조류에 대한 계절적 소장과 분포에 따른 상관관계. 성심여대 논문집 14: 37-47.
이정호, 박종근, 김은정. 2002. 국내 주요 호수의 식물플랑크톤 종 조성 및 영양단계 평가. 한국조류학회지 17: 275-281.
이진환, 장만. 1997. 한강하류의 환경학적 연구 II. 식물플랑크톤의 동태. 한국육수학회지 30: 193-202.
이학동. 1977. 한강수의 오염도에 따른 오수생물학적 연구. 한국육수학회지 10: 47-51.
자연보존중앙협의회. 1987. 한강생태계 조사연구보고서, 350 pp.
장윤경, 진숙례. 1996. 팔당댐 담수수역의 식물 플랑크톤에 관한 연구 II. 식물 플랑크톤 종 조성의 변화. 한국조류학회지 11: 217-229.
정영호, 심재형, 이민재. 1965. 한강의 Microflora에 관한 연구(제1보): 한강하류의 식물플랑크톤과 해수의 영향. 한국식물학회지 4: 47-69.
정영호, 이경. 1981. 팔당댐 수역을 중심으로 한 식물플랑크톤의 현존량과 생산력. 자연보존연구보고서 3: 383-390.
정승원, 이진환, 허회권. 2003. 한강 하류의 환경학적 연구 IV. 부영양화 요인의 통계적 접근. 한국육수학회지 (인쇄중).
한명수, 어운열, 유재근, 유광일, 최영길. 1995. 팔당호의 생태학적 연구 2. 식물플랑크톤의 군집구조의 변화. 한국육수학회지 28: 335-344.
한명수, 유재근, 유광일, 공동수. 1993. 팔당호의 생태학적 연구 1. 수질의 연변화: 과거와 현재. 한국육수학회지 26: 141-149.
Cho K.S., Kim B.C., Heo W.M., and Cho S.J. 1989. The Succession of phytoplankton in Lake Soyang. Kor. J. Limnol. 22: 179-189.
Harper D. 1992. Eutrophication of freshwaters: Principles, problems and restoration. Chapman & Hall, London. 327 pp.
Hasle G.R. and Fryxell G.A. 1970. Diatoms cleaning and mounting for light and electron microscopy. Trans. Am. Microscop. Soc. 89: 469-474.
Heinle D.R. 1969. Effects of elevated temperature on zooplankton. Chesapeake Sci. 10: 186-209.
Horne A.J. and Goldman C.R. 1994. Limnology. McGraw-Hill, Inc., New York. 576 pp.
Hutchinson G.E. 1967. A Treatise on limnology. Vol. II. Introduction to lake biology and the limnoplankton. John Wiley and Sons, New York. 1115 pp.

- Lee K. and Yoon S.K. 1994. Morphologic accounts of the diatom genus *Aulacoseira*, the dominant of the Han River. *Korean J. Phycol.* **9**: 135-143.
- Lee K. and Yoon S.K. 1996. A study on the phytoplankton in the Paldang Dam Reservoir III. The changes of diatom community structure. *Algae* **11**: 277-283.
- Reimann B.E.F., Duke E.L. and Floyd G.L. 1980. Fixation, embedding, sectioning and staining of algae for electron microscopy. In: Gantt E. (ed.), *Handbook of phycological methods. Developmental and cytological methods*. Cambridge Univ. Press, Cambridge. pp. 285-303.
- Reynolds C.S. 1984. Phytoplankton periodicity: the interactions of form, function and environmental variability. *Freshwater Biol.* **14**: 111-114.
- Stoermer E.F. and Ladewski T.B. 1978. *Phytoplankton association in Lake Ontario during IFYGL*. Univ. Michigan, Great Lakes Res. Div. Pub. 64 pp.
- Stoermer E.F., Wolin J.A., Schelske C.I. and Conley D.J. 1985. An assesment of ecological changes during the recent history of Lake Ontario based on siliceous algae microfossils preserved in the sediments. *J. Phycol.* **21**: 257-276.
- Sze P. 1997. *A biology of the algae*. 3rd ed. McGraw-Hill Publ., Boston. 278 pp.
- Wetzel R.G. 1983. *Limnology*. 2nd ed. Saunders Coll. Publ., Philadelphia. 767 pp.

Received 3 November 2003

Accepted 26 November 2003