

한강하류의 환경학적 연구
VII. 식물플랑크톤군집의 장기간 변화와 전망

이진환* · 정승원

(상명대학교 자연과학대학 자연과학부)

Environmental Studies in the Lower Part of the Han River
VII. Long Term Variations and Prospect of the Phytoplankton Community

Jin Hwan Lee* and Seung Won Jung

Division of Natural Sciences, Sangmyung University, Seoul 110-743, Korea

The literature review on the dynamics of the phytoplankton communities in terms of species composition, standing crops, abundant species and dominant species in the lower part of the Han River from 1940s to 2000s was conducted for the prospective prediction of their succession patterns. Total of 326 taxa were identified and they belonged to 47 blue-green algae, 139 green algae, 12 euglenoids, 126 diatoms, 6 dinoflagellates and 2 silicoflagellates. Composition of phytoplankton communities were 83.6% diatoms, 10.5% blue-green algae and 5.3% green algae in the middle of 1960s, whereas those were 43.2% diatoms, 40.7% green algae and 13.6% blue-green algae in the 1990s. Before 1990s, *Synedra ulna*, *Melosira varians*, *Cymbella tumida*, *Synedra acus*, *Cymbella ventricosa*, *Navicula cryptocephala*, *Nitzschia palea*, *Aulacoseira granulata*, *Gomphonema parvulum* and *Cymbella affinis* were most frequent, while those after 1990 were *Asterionella formosa*, *Asterionella gracillima*, *Aulacoseira granulata*, *Aulacoseira granulata* var. *angustissima*, *Chlorella vulgare*, *Fragilaria crotonensis* and *Synedra ulna*. Phytoplankton blooms were frequent from winter to the late spring and rare in summer due to heavy rain and discharge. Seasonal variations of the dominant species were fairly obvious; *Asterionella gracillima* and *Aulacoseira granulata* in spring, *Aulacoseira granulata* and *Aulacoseira granulata* var. *angustissima* in summer and autumn, *Asterionella gracillima* and *Stephanodiscus hantzschii* in winter. Recently blue-green algae, *Microcystis*, *Aphanocapsa*, *Dactylococcopsis* have been more abundant than those of the previous reports. Based on the current situations, *Stephanodiscus hantzschii* f. *tenuis*, *Asterionella gracillima*, *Aulacoseira granulata* and blue-green algae will be more abundant and blooms of those species will be more frequent.

Key Words: blooms, dominant species, Han River, long-term, phytoplankton, prospect, variations

서 론

한강은 총 유로연장 약 514 km, 유역면적 약 26,279 km²에 달하는 국가하천(하천법·시행령과 시행규칙 제2조)이다. 한강은 수도권 2,000만 시민의 상수도 원수로 사용되며, 그 외에도 공업용수와 농업용수 등으로 이용되는 중요 수자원이다. 한강은 1960년대 이후 서울과 수도권의 인구집중화와 산업화가 빠르게 진행되면서 본류로 오염원의 유입이 급

상승하여 수질오염이 심각한 상태이다. 1980년대에 들어서 한강종합 개발사업의 일환으로 하류역에서 수행된 하천정비 사업은 인위적인 수변환경 변화를 초래하여 생태계의 급격한 변화가 일어나게 되었다.

강 하류역은 육지로부터 공급되는 담수와 해양으로부터 유입되는 해수가 혼합되는 곳으로서 물리, 화학, 생물학적 요소가 복잡하게 상호작용을 한다(Pritchard 1967; Simpson et al. 1982). 특히 일차생산자인 식물플랑크톤군집의 생산이 활발하고, 계절적 변화양상이 뚜렷하여 하류역 생태계에 관한 연구가 집중되고 있다(Wetzel 1983; 이와 장 1997; 정 등 2003).

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

한강 하류역에 대한 식물플랑크톤의 연구는 비교적 일찍이 이루어졌으며(佐藤 1940), 1960년대는 주로 종 조성에 대하여 수행되었다(정 등 1965; 정 1969; 정과 심 1969; 김 1972). 1970년대와 1980년대에는 식물플랑크톤군집의 정성분석뿐만 아니라 정량조사가 이루어져 종 다양성 지수를 도입하여 생태계를 분석하였다(이 1977; 심과 최 1978; 연세대학교 열대의학연구소 1978; 서울특별시 1987; Lee and Lee 1988). 1990년대에 들어서 한강개발 전·후 하구의 환경변화와 생태계 종합조사를 하면서 식물플랑크톤의 종조성, 현존량의 변화, 우점종, 생태지수에 의한 오염도 판별, 기초생산력 등의 연구가 이루어졌다(인하대학교 해양과학기술연구소 1990; 권 1990; 서울특별시 1990; 유와 임 1990; 서울특별시 1994; Lee and Yoo 1994; 한국전력공사 1996; 이와 장 1997; 김 등 1998). 2000년대 이르러서는 식물플랑크톤군집에 대한 대발생의 특징을 규명하였다(정 등 2003).

본 연구는 현재까지 연구된 문헌과 현장조사와 저자들의 지견을 통하여 한강 하류역에 있어서 식물플랑크톤의 종조성, 현존량, 우점종, 대발생 원인종 등의 년별 변화를 밝히며, 아울러 향후 전망을 하는데 목적이 있다.

재료와 방법

한강하류 생태계에서 1960년대부터 현재까지 수행된 식물플랑크톤에 관한 문헌을 망라하여 연도별 출현종의 종조성, 현존량, 우점종, 계절 대표종 등을 파악하였다.

2004년 3월부터 2004년 6월까지 2주 간격으로 본 수역의 6개 지점을 선정하여 식물플랑크톤 시료를 채집하였다(정 등 2003). 식물플랑크톤의 정성과 정량 분석을 위한 시료는 각각 플랑크톤 넷트(mesh size 20 μm)와 1 l 용 폴리에틸렌 병을 사용하여 표층수에서 채집하였다. 시료는 현장에서 즉시 중성 formalin과 glutaraldehyde로 고정한 후 실험실로 운반하였다. 운반된 시료는 실험실에서 침전법에 의해 상등액을 제거하여 농축된 시료를 균일하게 섞은 후 Sedwick Rafter counting chamber를 이용하여 계수하였다. 정성분석을 위하여 농축된 시료 적당량을 slide glass 위에 놓고 광학현미경 $\times 400$ - $\times 1000$ 하에서 검경·동정하였다. 광학현미경에서 동정이 어려운 돌말류는 Hasle and Fryxell(1970)의 방법을 변형하여 세포내 유기물을 강산으로 제거한 후 주사전자현미경(JEOL, JSM-5600LV)으로 관찰하였다. 외부골격이 약한 와편모조류, 녹조류, 유글레나조류 등은 Reimann *et al.* (1980)의 방법을 변형하여 고정 후 Critical Point Dryer(SPI, CPD-dryer)로 건조시켜 코팅(coating)한 후 주사전자현미경으로 검경하고 동정하였다.

결과와 고찰

연대별 식물플랑크톤 출현 양상

1960년대까지: 한강하류에 있어서 식물플랑크톤군집에 관한 연구는 최초로 일본인 佐藤(1940)이 1939년 11월 19일 한강 인도교 상류 500 m 지점에서 수온, 수심, 투명도와 함께 식물플랑크톤군집을 조사하였는데 남조류 2종류, 돌말류 3종류, 녹조류 5종류의 출현을 보고하였다. 정 등(1965)은 한강하류의 식물플랑크톤과 해수의 영향을 규명할 목적으로, 1965년 5월부터 9월까지 식물플랑크톤 171종류를 동정하였으며, 이 중 83.6%가 돌말류이고, 10.5%가 남조류, 5.3% 녹조류 그리고 0.9%가 와편모조류였다고 밝혔다. 정(1969)은 김포군 전류리를 포함하는 한강하구 감조수역의 식물성플랑크톤의 연구에서 총 268종류를 동정하였으며, 이 중 남조류가 1.6%, 녹조류 2.8%, 와편모조류 0.7%, 돌말류가 95.5%였다.

1970년대: 이(1977)는 한강의 오염도에 따른 오수 생물학적 연구에서 남조류 8종류, 돌말류 10종류, 녹조류 10종류, 편모조류 4종류 등 총 32종을 동정하였고, 이들을 이용하여 한강의 오염정도를 분석한 결과 염창교와 김포수역을 각각 α -와 β -polysaprobic 수역이라 하였다. 심과 최(1978)는 서울수도권 수자원의 수질보존과 개발에 관한 연구에서 한강하류의 식물플랑크톤군집은 356종류였으며, 분류군별 구성비는 돌말류 55.8%, 녹조류 29.5%, 남조류 9.3%, 유글레나조류 2.5% 기타 편모조류가 2.8%였다고 보고하였다. 월별 우점종은 돌말류의 *Aulacoseira* (= *Melosira*) *islandica*, *Aulacoseira italica*, *Asterionella gracillima*, *Diatoma hiemale* f. *gracialis* 등과 녹조류의 *Micractinium pusillum*, *Coelastrum reticulatum*, *Pandorina morum* 등이었다. 연세대학교 열대의학연구소(1978)는 한강의 상·중·하류의 생태학적 조사를 하였으며, 하류에서 식물플랑크톤군집은 남조류 3종류, 돌말류 9종류, 녹조류 9종류를 보고하였다.

1980년대: 서울특별시가 자연보호중앙협의회에 의뢰한 “한강생태계 조사연구”에서는 하류역에서 식물플랑크톤 188종류를 동정하였으며, 이 중 돌말류를 포함한 황색편모조류가 71%, 녹조류 16%, 남조류 9%, 와편모조류 3%, 유글레나조류 1%였다(서울특별시 1987). 식물플랑크톤 우점종은 *Aulacoseira granulata*, *A. islandica*, *Asterionella gracillima* 등이었고, 92종류의 오염지표종이 출현하여 빈부수성의 오염정도를 나타내었다. 인하대학교 해양과학기술연구소(1990)에서는 “한강하구 개발에 의한 하구환경 변화의 연구와 개발이전의 환경과의 비교” 연구에서 식물플랑크톤 118종의 출현이 확인되었고, 이 중 돌말류 51종(43.22%), 녹조류 48종류(40.68%), 남조류 16종류(13.56%), 와편모조류 2종

류(1.70%), 유글레나조류 1종류(0.85%)의 구성비를 밝혔다. 우점종은 봄철에 *Closterium juncidum*, 여름철에 *Actinastrum hantzschii*와 *Aulacoseira islandica*, 가을철에 *Aulacoseira islandica*, 겨울철에 *Closterium intermedium* 등이었다. 유와 임(1990)은 한강 하류역에서 식물플랑크톤군집과 수질오염지표성에 대하여 연구한 결과 190종류를 동정하였다. 이 중 남조류 28종류, 녹조류 80종류, 돌말류 74종류, 와편모조류 3종류 그리고 유글레나조류 5종류로 각각 구성되어 있었다. 한편 우점종은 대부분의 계절에 돌말류 *Aulacoseira granulata* var. *angustissima*였으나 1990년 12월에는 녹조류 *Gloeothece linearis*였고, 1월과 2월에는 돌말류 *Asterionella gracillima*였다.

1990년대: 서울특별시(1994)는 1993년 6월부터 1994년 4월까지 한강 하류의 12개 정점에서 돌말류 70종류, 녹조류 43종류, 남조류 13종류, 편모조류 12종류 그리고 유글레나 7종 등 총 145종류를 보고하였다. 식물플랑크톤 우점종은 6월에 *Aulacoseira granulata*와 *Aulacoseira granulata* var. *angustissima*가, 8, 9, 11월에는 *Aulacoseira granulata*, 12월에는 *Stephanodiscus hantzschii*였다. 이와 장(1997)은 1995년 6월부터 1996년 6월까지 6회에 걸쳐 주로 갈수기에 한강 하류의 7개 정점에서 식물플랑크톤의 종조성, 현존량과 우점종을 파악하였다. 즉, 식물플랑크톤군집은 돌말류 82종류, 녹조류 50종류, 남조류 7종류, 유글레나조류 3종류, 와편모조류, 황갈색편모조류, 규질편모조류 각각 1종씩 총 145분류군이었고, 조사기간 중 매월 모든 정점에서 출현한 대표종은 *Asterionella gracillima*, *Aulacoseira granulata*, *Fragilaria crotonensis*, *Synedra ulna*, *Scenedesmus longispina* 등 5종이었다.

2000년대: 정 등(2003)은 2001년 2월부터 2002년 2월까지 격주간으로 한강 하류의 6개 정점에서 출현한 식물플랑크톤군집은 녹조류 114종류, 돌말류 101종류, 남조류 22종류, 유글레나조류 10종류, 황금색조류 13종류, 황록색조류 5종류, 와편모조류 2종류 등 총 267분류군을 보고하였다. 출현 분류군 중 녹조류인 *Scenedesmus*속 25종, 돌말류인 *Gomphonema*속 14종 등 2속의 분류군별 출현종이 가장 많이 나타났다. 계절별 우점종은 봄철에 *Stephanodiscus hantzschii* f. *tenuis*와 *Asterionella gracillima*였으나, *Stephanodiscus hantzschii* f. *tenuis*는 늦은 봄으로 갈수록 우점율이 점차 낮아졌으며, 여름과 가을철에는 *Aulacoseira granulata*가 우점하였다. 그러나 10월 중순 이후부터는 봄철의 우점종은 *Stephanodiscus hantzschii* f. *tenuis*와 *Asterionella gracillima*였다. 겨울철에는 *Stephanodiscus hantzschii* f. *tenuis*가 70.4%로 절대적인 우점을 보였다.

2004년 3월부터 6월까지 격주간의 조사결과 식물플랑크톤은 녹조류 23종류, 돌말류 35종류, 남조류 9종류, 유글레나조류 4종류, 와편모조류 3종류 등 총 74분류군이 출현하

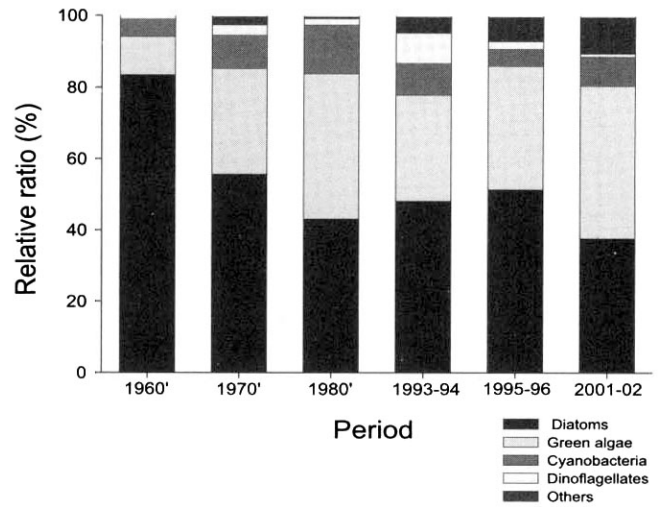


Fig. 1. The changes of the relative contribution of phytoplankton groups in the lower part of the Han River for last 40 years.

였다. 출현 분류군의 월별 변화는 녹조류와 돌말류는 조사기간 후반에 들어 출현종수가 점차 감소하였다. 월별 우점종은 3월에 *Stephanodiscus hantzschii* f. *tenuis*가, 4-5월에는 *Asterionella gracillima*가, 6월에는 *Fragilaria crotonensis*였다.

출현종의 조성

기존의 문헌과 본 조사를 통한 한강 하류에서 해방이후 2004년까지 출현한 식물플랑크톤군집은 총 332분류군으로 남조류 47종류, 녹조류 139종류, 유글레나조류 12종류, 돌말류 126종류, 규질편모조류 2종류 그리고 와편모조류 6종류로 구성되어 있었다. 다만, 심과 최(1978)는 1977년 6월부터 1978년 5월까지 매월 하류의 7개 정점에서 356종류가 동정되었다고 보고하였으나, 종 목록이나 분류체계가 없어 어떤 종이 출현하였는지 확인할 수 없었다. 출현 분류군을 연도별로 살펴보면 1987년에는 184분류군, 1990년에 170분류군, 그리고 1994년에는 133분류군이 출현하여 점차 출현종수가 감소되었다(서울특별시 1994). 한편 1995년 6월부터 1996년 6월까지 1년간 6회 현장조사에서는 규조류 82종류, 녹조류 50종류, 와편모조류 1종, 유글레나조류 3종류, 규질편모조류 1종 그리고 남조류 7종류 등 145분류군이 동정되어 1994년의 결과와 유사하였다(이와 장 1997). 정 등(2003)은 1년간 격주간의 26회 조사에서 267종을 보고하였는데, 이 결과는 본 수역에서 1980년 말부터 1990년대 까지 감소하다가 다시 증가하는 양상을 알 수 있었다.

본 조사 수역에서 출현한 식물플랑크톤의 종의 분류군별 조성 변화는 1978년에 돌말류가 55.8%로 현저히 감소되었으나, 녹조류는 29.5%로 지난 10년보다 5배 이상 증가하였다(심과 최 1978). 한편 1990년에 돌말류는 38.9%로 더욱 감소

Table 1. Yearly variations of the phytoplankton standing crops from June 1977 to June 2004 in the lower part of the Han River

Month	Range (Min. - Max.) ($\times 10^6$ cells $\cdot l^{-1}$)	Mean ($\times 10^6$ cells $\cdot l^{-1}$)	References
Jun. 1977	3.49	3.49	심과 최(1978)
May 1987	4.25 - 18.65	12.77	서울특별시(1987)
Jul.	1.75 - 7.51	5.03	
Dec. 1989	1.72 - 30.82	13.92	서울특별시(1990)
Jan. 1990	1.09 - 2.07	1.49	
Feb.	0.39 - 1.60	1.12	
Apr.	1.20 - 2.34	1.89	
May	1.53 - 4.14	2.17	
Dec. 1993	5.13 - 12.52	7.65	
Jan. 1994	3.01 - 31.92	22.37	
Feb.	8.88 - 56.35	35.70	
Mar.	5.08 - 23.24	12.12	
Jun. 1995	5.31 - 10.12	7.85	이와 장(1997)
Oct.	3.80 - 5.98	4.72	
Jan. 1996	1.84 - 2.21	2.16	
Jun.	8.71 - 15.41	13.08	
Feb. 2001	3.79 - 69.33	27.30	정 등(2003)
Mar.	1.77 - 90.77	31.05	
Apr.	1.01 - 180.02	40.41	
May	1.30 - 82.40	20.39	
Jun.	1.34 - 11.05	5.59	
Jul.	1.38 - 46.74	15.80	
Aug.	2.01 - 60.70	16.40	
Sep.	1.66 - 54.23	22.49	
Oct.	11.21 - 80.82	32.22	
Nov.	1.29 - 92.51	17.50	
Dec.	4.79 - 31.16	15.06	
Jan. 2002	7.64 - 41.62	17.06	
Feb.	14.61 - 132.98	44.65	
Mar. 2004	4.12 - 11.71	6.84	
Apr.	1.30 - 7.01	3.82	
May	3.02 - 9.89	6.11	
Jun.	2.20 - 5.43	3.29	

되었으며, 녹조류는 42.1%로 증가하였고, 남조류도 14.7%로 약간 증가하였다(유와 임 1990). 정 등(2003)은 녹조류가 42.7%, 돌말류가 37.8%, 남조류가 8.24%로 유와 임(1990)의 결과와 유사한 양상을 나타내었으며, 본 조사에서는 봄철과 초여름에 돌말류가 우점하는 양상을 보였다. 따라서 30여년 전과 현재의 출현 분류군의 변화는 돌말류에서 녹조류와 남조류로 점차 바뀌어가고 있음을 알 수 있었다(Fig. 1).

식물 플랑크톤 현존량의 연도별 변화

한강 하류역에서 식물플랑크톤 현존량의 연도별 변화는 Table 1과 같다. 1977년 6월에 3.49×10^6 cells l^{-1} 이었으며(심과 최 1978), 1987년 5월에는 $4.25-18.65 \times 10^6$ cells l^{-1} 를 보여 봄철 대발생이 매우 심하였다(서울특별시 1987). 1989년 1월부터 5월까지 하류의 전 수역에서 $1.72-30.82 \times 10^6$ cells l^{-1} 로 대발생이 일어났으며(유와 임 1990), 1990년 1월부터 5월까지 하류의 전 수역에서 $1.12-2.17 \times 10^6$ cells l^{-1} 범위의 높은 현존량을 나타내었다(서울특별시 1990). 이는

Table 2. Seasonal variations of phytoplankton dominant species from June 1977 to June 2004 in the lower part of the Han River

Season	Dominant species	
spring	Diatoms	<i>Asterionella gracillima</i> , <i>Aulacoseira granulata</i> , <i>Cyclotella comta</i> , <i>Fragilaria crotonensis</i> , <i>Stephanodiscus hantzschii</i> f. <i>tenuis</i>
	Green algae	<i>Chlorella vulgare</i> , <i>Scenedesmus dimorphus</i> , <i>S. longispina</i>
summer	Diatoms	<i>Asterionella formosa</i> , <i>A. gracillima</i> , <i>Aulacoseira ambigua</i> , <i>A. granulata</i> , <i>A. italica</i> , <i>Fragilaria crotonensis</i> , <i>Nitzschia holsatica</i> , <i>Stephanodiscus hantzschii</i> f. <i>tenuis</i> , <i>Synedra affinis</i>
	Green algae	<i>Scenedesmus dimorphus</i> , <i>S. longispina</i> , <i>Pediastrum duplex</i> , <i>Westella botryoides</i>
autumn	Diatoms	<i>Asterionella formosa</i> , <i>A. gracillima</i> , <i>Aulacoseira granulata</i> , <i>Cyclotella meneghiniana</i> , <i>Fragilaria crotonensis</i> , <i>Melosira varians</i>
	Green algae	<i>Pediastrum duplex</i> , <i>Scenedesmus longispina</i>
winter	Diatoms	<i>Asterionella formosa</i> , <i>A. gracillima</i> , <i>Cylcotella comta</i> , <i>Stephanodiscus hantzschii</i> f. <i>tenuis</i>
	Green algae	<i>Schroederia setigera</i>

1993년 12월부터 이듬해 3월까지 겨울철 식물플랑크톤 대발생이 계속적으로 유지되었다(서울특별시 1994). 이와 장(1997)은 $2.14\text{--}13.08 \times 10^6$ cells l^{-1} 로 여름철인 6월에 *Microcystis aeruginosa*의 대발생에 따른 높은 현존량을 보고하였다. 정 등(2003)은 $5.34\text{--}10.12 \times 10^6$ cells l^{-1} 로 봄철에 높은 현존량을 나타내었는데, *Stephanodiscus hantzschii* f. *tenuis*와 *Asterionella gracillima*가 높은 현존량에 기여하였다. 이번 조사에서 현존량은 최저 1.29×10^6 cells l^{-1} (2004년 4월 25일, 정점 1)에서 최고 11.71×10^6 cells l^{-1} (2004년 3월 28일, 정점 6)까지 10배 이상의 차이를 보였으며, 강 하류로 내려갈수록 높은 현존량을 나타내었다. 계절변화는 봄철에 평균 5.59×10^6 cells l^{-1} 을, 여름철인 6월에 3.29×10^6 cells l^{-1} 로 봄철에 높은 현존량을 보였다.

한강 하류역에서 식물플랑크톤 현존량은 1970년 이전의 자료가 없어 직접 비교하기 어려웠으며, 1970-1980년대에는 조사가 활발하지 않았으나 보고된 현존량은 높은 편이었다(이 1977; 심과 최 1978). 한편 하류역에서 1980년대 이후 식물플랑크톤 현존량이 10^6 cells l^{-1} 이상의 대발생은 계절에 상관없이 발생되고 있었으며, 특히 겨울철부터 늦봄까지 대발생의 빈도가 높았다. 본 수역에서 식물플랑크톤 대발생은 7월부터 9월에는 남조류인 *Microcystis aeruginosa*에 의한 대발생이 일부분에서 나타내었다. 이와 같은 특징적인 대발생 양상은 신곡 수중보의 건설로 하류 유역이 호수와 같은 성격을 띄어 유속이 느리고 오염물질의 정체가 오래 지속되고 일조량이 좋아 갈수기인 겨울철부터 늦봄까지 *Stephanodiscus hantzschii* f. *tenuis*와 *Asterionella gracillima*같은 저온에서 출현하는 돌말류의 대발생의 원인이 되었다(신 1998). 반대로 홍수기에는 빠른 유속에 따라 영양염류와 부유 식물플랑크톤 군집이 모두 희석되거나 씻겨 내려가기 때문에 오히려 대발생은 드물게 나타내었다(이와 장 1997; 정 등 2003). 따

라서 한강 하류역의 식물플랑크톤 현존량의 계절적 소장은 갈수기와 홍수기의 유량에 의해 영향을 크게 받는다고 할 수 있다.

우점종의 변화

한강 하류에 있어서 1970년대 후반부터 2004년 6월까지 식물플랑크톤 우점종의 연도와 계절 변화는 Table 2와 같다. 즉, 1978년 2월과 5월에는 돌말류와 녹조류인 *Asterionella gracillima*와 *Pandorina morum*이 각각 우점종이었다. 1986년과 1987년 11월에 우점종은 모두 *Aulacoseira islandica*였으며, 1987년 2월부터 7월까지, 그리고 1990년 1월부터 5월까지 모두 *Asterionella gracillima*이었다. 여름철인 1987년 7월과 1990년 7-8월에 각각 *Aulacoseira granulata*와 *Aulacoseira granulata* var. *angustissima*가 우점하였으나, 가을철인 1990년 9-10월에 *Aulacoseira italica*가 우점하여 계절적 천이가 뚜렷하였다. 한편 여름철부터 가을철까지 같은 종이 우점하여 한강 하류역에서 특징적인 출현양상을 보였다. 즉, 1993년 6월부터 11월까지, 1995년 6월부터 10월까지, 1996년 5월부터 6월까지, 2000년 6월부터 7월까지, 2001년 6월부터 10월까지 *Aulacoseira granulata*가 우점하였다. 한편 겨울철인 1993년 12월부터 이듬해 2월까지, 1996년 1월, 2001년 11월부터 2001년 3월까지, 2004년 3월과 4월에 *Stephanodiscus hantzschii* f. *tenuis*가 우점하여 계절적 변화가 명확하였다. 따라서 한강하류역에 있어서 식물플랑크톤 우점종은 봄철에 *Asterionella gracillima*와 *Stephanodiscus hantzschii* f. *tenuis*, 여름철과 가을철에는 *Aulacoseira granulata*와 *Aulacoseira granulata* var. *angustissima*, 겨울철에 *Stephanodiscus hantzschii* f. *tenuis*, *Asterionella gracillima*가 우점하여 계절의 특징이 비교적 명확하였다.

전 망

1970년대 이후 한강하류 수서생태계는 수질오염으로 식물플랑크톤군집의 구성과 출현비율은 돌말류에서 녹조류와 남조류로 바뀌고 있으며, 신곡 수중보 건설 이후 기수적 조건의 하구로서의 특성을 잃고 호수 환경으로 바뀌어 해산 식물플랑크톤은 출현이 거의 없었다. 식물플랑크톤 현존량은 계절에 상관없이 매우 높아 대발생이 빈번하며 심지어 녹조(綠潮)현상을 보이고 있었다. 최근의 식물플랑크톤 우점종인 *Aulacoseira granulata*, *Stephanodiscus hantzschii* f. *tenuis*, *Asterionella gracillima*, *Fragilaria crotonensis* 등이 차지하는 비율이 지속적으로 높아질 전망이다. 이와 같은 예는 수질이 악화되어 있는 낙동강에서 1991년부터 1997년의 조사에서도 잘 나타나 있다(Cho et al. 1993; Lee et al. 1993; Cho and Shin 1995; 조 등 1998; Cho and Shin 1999). 한강수질이 현재보다 더욱 악화되면 식물플랑크톤의 종조성은 훨씬 단조로워지며, 유기물 오염수역에서 대량 증식되며 현재 낙동강 수계에서 녹조현상의 원인종인 남조류 *Microcystis*, *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Dactylococcopsis*속의 종들이 증가할 것이며(신과 조 1997; 조와 신 1997), 녹조류의 *Scenedesmus*, *Closterium* 등이 대량 번식할 것으로 전망된다. 또한 겨울철 우점종인 *Stephanodiscus hantzschii* f. *tenuis*는 저온기에 부영양화 수역에서 출현하는 종이 지속적으로 우세하게 출현할 것으로 판단된다(신 1998).

사 사

본 연구는 2004년도 상명대학교 자연과학연구소 연구비에 의하여 수행되었음.

참고문헌

권순기. 1990. 한강하류 및 하구에서 부유성 규조류군집의 생태학적 연구. 인하대학교 석사학위 논문. 89 pp.
 김용재, 김명운, 김상중. 1998. 한강 중·하류 수계에서 식물플랑크톤 군집의 생태학적 특성. *Algae* 13: 331-338.
 김정균. 1972. 하계 한강하류의 식물성플랑크톤의 분류와 해수지표성. *한국육수학회지* 5: 31-41.
 서울특별시. 1987. 한강생태계 조사연구 보고서. 자연보호중앙협의회. 350 pp.
 서울특별시. 1990. 한강생태계 조사연구 보고서. 서울 시립대학교 수도권개발연구소. 586 pp.
 서울특별시. 1994. 한강생태계 조사연구. 서울시정개발연구원. 640 pp.
 신재기. 1998. 낙동강 부영양화에 따른 담수조류의 생태학적 연구. 인제대학원 대학원 박사학위논문. 202 pp.
 신재기, 조경제. 1997. 낙동강 수계에서 남조류 *Microcystis*의 분포와 개체군 변동. *Algae* 12: 283-290.
 심재형, 최중기. 1978. 한강하류에 있어서 부유성 조류군집의 구조

및 기능변화에 관한 연구. *한국해양학회지* 13: 31-41.
 연세대학교 열대의학연구소. 1978. 자연보호를 위한 한국 주요 하천의 생태학적 기초조사 연구. 연세대학교 열대의학연구소 보고서. 48 pp.
 유광일, 임병진. 1990. 한강하류계의 식물플랑크톤 군집과 수질오염 지표에 대하여. *한국육수학회지* 23: 267-277.
 이진환, 장 만. 1997. 한강하류의 환경학적 연구. II. 식물플랑크톤의 동태. *한국육수학회지* 30: 197-202.
 이학동. 1977. 한강수의 오염도에 따른 오수 생물학적 연구. *한국육수학회지* 10: 47-51.
 인하대학교 해양과학기술 연구소. 1990. 한강하구 개발에 의한 하구 환경 변화의 연구와 개발 이전의 환경과의 비교. 인하대학교 해양과학기술 연구 보고서.
 정영호. 1969. 한강의 Microflora에 관한 연구(제3보). 한강하구 감조수역의 환경조건과 식물성 plankton. *학술원 논문집* 8: 59-130.
 정영호, 심재형. 1969. 한강하구의 기수역 유형에 관한연구. *한국식물학회지* 12: 35-42.
 정영호, 심재형, 이민재. 1965. 한강의 Microflora에 관한 연구. 제1보: 한강하류의 식물성 plankton과 해수의 영향. *한국식물학회지* 8: 7-29.
 정승원, 이진환, 유종수. 2003. 한강 하류의 환경학적 연구 V. 식물플랑크톤 군집 대발생의 특징. *Algae* 18: 255-262.
 조경제, 신재기. 1997. 낙동강 중·하류에서 무기 N·P 영양염의 변동. *한국육수학회지* 30: 85-95.
 조경제, 신재기, 광승국, 이옥희. 1998. 담수산 *Stephanodiscus*속 규조류의 오염지표성 평가. *한국육수학회지* 31: 204-210.
 한국전력공사. 1996. 서울화력 온배수의 영향 저감대책 연구. 한국해양연구소 BSPI 00213-943-3.
 Cho K.J. and Shin J.G. 1995. Persistent blooms of diatoms *Stephanodiscus hantzschii* f. *tenuis* and *S. parvus* in the Naktong River. *Korean J. Phycol.* 10: 91-96.
 Cho K.J. and Shin J.G. 1999. Population dynamics of diatom genus *Aulacoseira* in the Naktong River. *Algae* 14: 247-253.
 Cho K.J., Chung I.K. and Lee J.A. 1993. Seasonal dynamics of phytoplankton community in the Naktong River estuary. *Korean J. Phycol.* 8: 15-28.
 Hasle G.R. and Fryxell G.A. 1970. Diatoms cleaning and mounting for light and electron microscopy. *Trans. Am. Microscop. Soc.* 89: 469-474.
 Lee J.A., Cho K.J., Kwon O.S. and Chung I.K. 1993. A study on the environmental factors in the Naktong estuarine ecosystem. *Korean J. Phycol.* 8: 29-36.
 Lee J.H. and Lee E.H. 1988. A taxonomic study of the genus *Cyclotella*, Bacillariophyceae, in Korean water. *Korean J. Phycol.* 3: 133-145.
 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.
 Pritchard D.W. 1967. What is an estuary: physical view point. In: Lauff G.H. (ed.), *Estuaries*. American Ass. Advance Sci., Washington.
 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*, Cambridge Univ. Press. pp. 285-303.

- Simpson J.H., Tett P.B., Argote-Espinoza M.L., Edwards A., Jones K.J. and Savidge G. 1982. Mixing and Phytoplankton growth around an island in a stratified sea. *Cont. Shelf Res.* **1**: 15-31.
- Wetzel R.G. 1983. *Limnology*. 2nd ed. Saunders Coll. Publ., Philadelphia. 767 pp.

佐藤月二. 1940. 初冬に於ける漢江の河流プランクトン. 陸水學
雜紙 **10**: 128-130.

Received 23 December 2004

Accepted 30 December 2004