

## 한탄강의 식물플랑크톤 군집의 계절적 변화

김 옹 재

(대전대학교 생명과학과)

Seasonal Variation of Phytoplankton Community in the Hantan River. Kim, Yong-Jae (Department of Life Science, Natural Science, Daejin University, Pochun, Kyunggi, 487-711, South Korea)

This study was conducted to investigate a seasonal variation of phytoplankton communities at 6 stations in the Hantan River from November, 2001 to August, 2002. Electric conductivity gradually increased from the upper reaches to the down reaches. DO differed not much from the upper reaches to down reaches, but it decreased at the station where the pollutants inflowed. T-N and T-P concentrations were high at station 4~6. Chlorophyll-a concentration gradually increased at the mid and down reaches. It was high in May but decreased in August by the heavy rains. Phytoplankton communities were identified a total 354 taxa composed of 99 genus, 320 species, 19 varieties, 3 forma and 12 unidentified species. There were 135 taxa of Chlorophyceae, 134 taxa of Bacillariophyceae, and the other taxa were Euglenophyceae, Cyanophyceae, Xanthophyceae, Chrysophyceae and Dinophyceae. Standing crops ranged from 8,600 to 337,100 cells/mL and it was lower in August than May by the rains. Dominant species included *Achnanthes alteragracillima*, *Achnanthes convergens*, *Achnanthes minutissima* and *Cymbella minuta* var. *silesiaca* which were the saproxenous species at the upper reaches, and were *Cyclotella meneghiniana*, *Chlamydomonas pseudopertyi* and *Nitzschia palea* which were saprophilous and eutrophic species at the down reaches. The correlation coefficients between phytoplankton standing crops and EC, BOD and T-N, T-P was 0.68, 0.60, 0.60 and 0.70, respectively. All correlation coefficients between Chlorophyceae and EC, BOD and T-P were higher than 0.6. *A. convergens* were negative correlations with EC and BOD, but *N. palea* were positive with EC, BOD, T-N and T-P.

Key words : Hantan River, Phytoplankton, saprophilous, saproxenous species, correlation coefficient

### 서 론

하천에 서식하는 식물플랑크톤은 진정 부유성의 형태를 갖는 종류, 저서성인 것이 피 부착물로부터 탈락되어 일시적으로 부유성인 종류 그리고 피부착물에 부착할 수 있는 자루 또는 부착기관을 형성하여 생육하는 저서

성의 부착조류로 구성되어 있다. 하천에서 성공적으로 생육할 수 있는 개체군은 그들의 생장률이 떠나려가는 세포의 손실을 능가해야만 한다(Sze, 1998). 하천의 식물플랑크톤은 대부분 진정 부유성과 일시적 부유성으로서 수심이 얇고 유속이 빠른 하천일 경우 하천의 바닥이나 주변의 피 부착물로부터 탈리되어 부상한 결과 높은 출현도를 나타내는 경우가 있다(이 등, 2002). 이와

\* Corresponding author: Tel: 031) 539-1851, Fax: 031) 539-1850, E-mail: yjkim@daejin.ac.kr

같은 식물플랑크톤은 간단한 체제와 현미경적 크기의 식물군으로 수중 생태계의 일차 생산자로서 하천 생태계의 구조 변화에 민감하게 반응하여, 어떤 단일 생물군보다 수 환경 변화의 지표성에 있어 중요하게 활용되고 있다 (Canter-Lund and Lund, 1996).

우리 나라 하천의 식물플랑크톤에 대한 연구는 수도권의 각종 수자원으로 이용되는 한강(정 등, 1965; 정과 이, 1978; 정과 이, 1981; 김 등, 1998), 영남지역의 주요 수자원인 낙동강(Kim and Lee, 1991; Cho *et al.*, 1993; Lee *et al.*, 1994; 신 등, 1996; 조와 신, 1997; 이 등, 2002) 등에 편중되어 있다. 그러나 최근에는 금강 및 영산강 등 대형하천 뿐만 아니라 소형하천에도 관심을 가지고 연구를 수행하고 있다(조 등, 1995; 김 등, 1999; 이와 윤, 2002; 한 등, 2002).

한탄강은 북한지역과 경기북부지역을 관류하는 임진강 수계의 주요하천이다. 본 하천은 철원지역에서 발원하여 경기도 양주군에서 임진강에 합류하여 서해안으로 유입되며 한탄강의 지천으로는 영평천, 포천천 및 신천 등이 있다. 본 하천은 경기 북부지역에 각 중 용수를 공급하는 주요 수자원이지만 갈수기에 수량이 적어 강물의 흐름에 의한 자정작용이 매우 부족한 실정에 있다. 또한 최근에는 하천 주변에 소도시와 산업체의 집중화로 수질 오염은 가중되고 있다(경기북부환경운동연합, 1997). 이와 같은 한탄강에 대한 연구는 거의 없는 실정이며 한탄강의 지천인 영평천, 포천천 및 신천 등에서 부착 규조류에 대한 보고가 있고(김, 1999; 김 등, 1999; 김, 2001), 임진강에 대한 연구보고는 이와 윤(2002)이 있을 뿐이다.

본 연구는 식물플랑크톤 군집의 계절별 및 계절별 분포를 조사하여 장기적으로 한탄강의 댐 건설 이후의 하천 수 환경 모니터링에 있어 비교할 수 있는 기초자료로 이용하고자 한다.

## 재료 및 방법

한탄강을 대상으로 식물플랑크톤 군집의 분포를 조사하기 위해 2001년 11월부터 2002년 8월까지 6개의 정점을 선정하여 계절별로 실시하였다. 한탄강의 조사 정점 1은 강원도 철원군 동송읍 상진리, 정점 2는 강원도 철원군 동송읍 대위리, 정점 3은 강원도 철원군 영북면 소화산리, 정점 4는 경기도 연천군 연천읍 문암동, 정점 5는 경기도 연천군 연천읍 궁평리 그리고 정점 6은 경기도 연천군 전곡읍 전곡에 선정하였다.

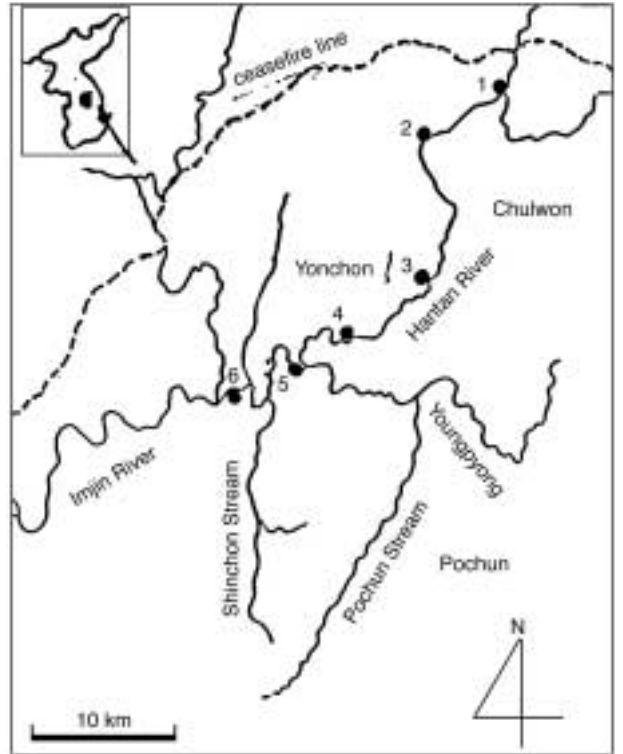


Fig. 1. A map showing at each station in the Hantan River.

수온과 전기전도도는 WTW-LF 91 EC meter로, pH는 HI 8314 meter를 사용하여 현장에서 직접 측정하였다. DO와 BOD<sub>5</sub>는 Winkler azaid법으로 측정하였다. 엽록소 농도는 시료 1 L를 채수한 다음 실험실에서 원시료 25 mL를 전처리 과정없이 cuvette에 넣어 fluorometer (bbe moldaenke algae analyser)로 측정하였다. 총질소와 총인 분석은 APHA (1992)와 수질오염·폐기물 공정시험방법(환경부, 1995)에 준하였다.

식물플랑크톤의 시료는 1 L polyethylen 병으로 정량 채집하여 lugol's solution을 넣어 고정하고 자연 침전법에 의거하여 본 시료를 50 mL로 농축시킨 후 종을 동정, 분류하였다. 식물플랑크톤의 현존량은 농축된 시료 1 mL를 취해 Sedgwick-Rafter chamber에서 계수하여 산정하였다. 부유성 규조류는 농축된 시료 중 일부를 취하여 permanganate method (Hendey, 1977)에 의거하여 세정한 후 pleurax로 봉입하여 영구표본을 제작하여 광학현미경 하에서 동정, 분류하였다. 부유성 규조류의 현존량은 S-R chamber에서 계수하여 규조강의 총 현존량을 산출하고, 영구표본에서 각 종의 상대빈도를 계산한 후, 각 종의 현존량을 산정하였다. 군집의 우점종은 현존

**Table 1.** Environmental factors at 6 stations in the Hantan River.

Month	Factors\Station	1	2	3	4	5	6
2001. Nov.	Water. Temp (°C)	1.6	2.4	4.5	5.1	3.7	5.6
	EC (μS/cm)	87.0	158.0	122.0	155.0	510.0	446.0
	pH	7.7	7.6	7.6	7.7	8.2	7.9
	DO (mg/L)	10.3	10.5	11.1	9.7	10.4	11.6
	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	0.6	2.2	0.8	0.9	1.6	5.7
	Total-N (μg/L)	1400	2900	1700	2400	5500	4500
	Total-P (μg/L)	4	7	7	11	38	25
	Chlorophyll- <i>a</i> (μg/L)	0.1	0.2	0.1	1.5	4.7	5
2002 Feb.	Water. Temp (°C)	0.6	3.5	2.0	1.7	1.7	4.2
	EC (μS/cm)	81.8	149.7	115.8	153.3	361.0	235.0
	pH	7.1	7.0	7.0	7.3	8.0	7.8
	DO (mg/L)	11.1	10.7	13.2	13.0	10.7	13.1
	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	0.4	1.5	2.1	3.9	0.6	1.9
	Total-N (μg/L)	1100	2900	2200	3400	5200	5500
	Total-P (μg/L)	14	17	14	35	34	38
	Chlorophyll- <i>a</i> (μg/L)	0.4	1.5	2.1	3.9	5.7	5.4
2002 May	Water. Temp (°C)	19.8	24.3	22.3	22.5	25.5	25.4
	EC(μS/cm)	74.6	139.5	110.9	149.6	310.0	411.0
	pH	9.3	7.9	8.2	9.0	9.2	9.5
	DO (mg/L)	8.9	11.0	11.1	12.4	11.9	12.1
	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	0.9	2.4	2.7	5.5	3.5	4.4
	Total-N (μg/L)	1100	2500	1800	2900	3100	3400
	Total-P (μg/L)	9	11	13	14	98	98
	Chlorophyll- <i>a</i> (μg/L)	0.6	3.8	1.9	13.9	18.6	15.9
2002 Aug.	Water. Temp (°C)	22.4	20.3	23.3	23.2	24	24.8
	EC (μS/cm)	61.9	83.2	72.5	78.0	173.7	115.5
	pH	7.1	6.9	7.6	6.6	6.6	6.6
	DO (mg/L)	9.4	9.0	9.5	8.7	8.9	8.2
	BOD <sub>5</sub> (mg/L)	0.4	1.0	0.2	1.1	1.5	0.7
	Total-N (μg/L)	1400	2300	2000	2400	4400	3100
	Total-P (μg/L)	2	2	3	18	64	37
	Chlorophyll- <i>a</i> (μg/L)	0.4	0.9	0.5	1.0	1.1	1.3

량 중에 평균 현존량을 상회하는 종들 중에 최대 현존량을 나타내는 종으로 하였다. 출현종의 현존량을 기본 자료로 하여 Shannon-Weaver (1963)의 종 다양성 지수, Simpson (1949)의 우점도 지수를 구하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 환경요인의 분석

환경요인들 중에 수온은 0.6~25.5°C의 범위이며, 겨울인 2002년 2월에 최저였고 5월에 최고였다. 수온은 우리 나라 기온변화에 따른 계절적인 변화를 하였다. 전 기전도도는 61.9~510.0 μS/cm의 범위로서 2002년 8월에 정점 1에서 최저였고 2001년 11월에 최고였다(Table 1). 본 요인은 상류에서 하류로 갈수록 최대 5배 이상까

지 증가하였다. 이것은 중, 하류 정점에 합류되는 주변 지천의 오염물질 유입에 의한 영향 때문이다.

pH는 6.6~9.5의 범위로서 2002년 8월에 정점 4에서 가장 낮았고 5월에 정점 6에서 가장 높았다(Table 1). DO는 8.2~13.2 mg/L의 범위로서 8월에 정점 6에서 최저였고 2월에 정점 3에서 최고였다(Table 1). BOD<sub>5</sub>는 0.4~5.7 mg/L의 범위로서 2002년 8월에 정점 1에서 가장 낮았고 2001년 11월에 가장 낮았다(Table 1). 총질소는 2002년 2월과 5월에 정점 1에서 1,100 μg/L로 최저였고 2001년 11월에 정점 5와 2002년 2월 정점 6에서 5,500 μg/L로서 최고였다(Table 1). 본 요인의 계절적 변화는 작았으나 상류부터 하류로 갈수록 증가폭이 컸다. 이것은 주변의 점원 및 비점원 오염원의 영향에 의한 것으로 추정된다. 총인의 농도는 2001년 11월에 정점 1에서 4 μg/L로 가장 낮았고, 2002년 5월에 98 μg/L으로

가장 높았다 (Table 1). 정점별 변화 경향은 매우 뚜렷하였으나 계절적 변화는 거의 없었다. 엽록소 *a* 농도는 2001년 1월에 정점 1과 3에서 0.1 µg/L로서 최저이고 5월에 18.6 µg/L로서 최고였다 (Table 1). 엽록소 농도는 상류에서 하류로 갈수록 점차 증가하는 양상을 나타내었다.

2. 식물플랑크톤 군집

1) 종조성

본 조사에서 동정 분류된 식물플랑크톤 군집은 총 354종류였으며 이들은 7강, 16목, 36과, 99속, 320종 19 변종 3품종 및 12미동정종으로 구성되어 있다. 이들 중에 녹조강과 규조강이 각각 135종류 및 134종류로 대부분의 군집을 구성하고 있으며 유글레나강과 남조강이 각각 38종류와 33종류로 조사되었다. 황녹색조강, 황갈색편모조강 및 와편모조강이 0.6~2.5%의 범위로서 낮은 비로 출현하였다. 2001년 11월에는 총 165종류로 규조강 (51.5%)과 녹조강 (33.3%), 2002년 2월에는 총 158종류로서 규조강 (46.8%)과 녹조강 (29.7%), 5월에는 총 222종류로서 규조강 (40.7%), 녹조강 (38.7%) 그리고 8월에는 236종류로서 규조강 (41.1%)과 녹조강 (37.7%)으로 조성되어 있고 나머지 강은 10% 이하로 출현하였다.

각 정점별 출현 종수는 40~154종류로서 정점 1에서 최저이며 정점 6에서 최대였다. 또한 상류에서 하류로 갈수록 종수가 증가하였다. 종수는 수온이 낮은 2월에 가장 적었으며 수온이 높아지는 5월과 8월에 증가하는 계절변화를 나타내었다 (Fig. 2).

조사 동안 모든 정점에 출현하는 종류는 규조강의 *Achnanthes convergens*, *Achnanthes minutissima*, *Cymbella minuta* var. *silesiaca* 및 *Fragilaria vaucheria* 등 4종류와 녹조강의 *Monoraphidium contortum*, *Scenedesmus acutus* 및 *Scenedesmus spinosus* 등 3종류였다. 규

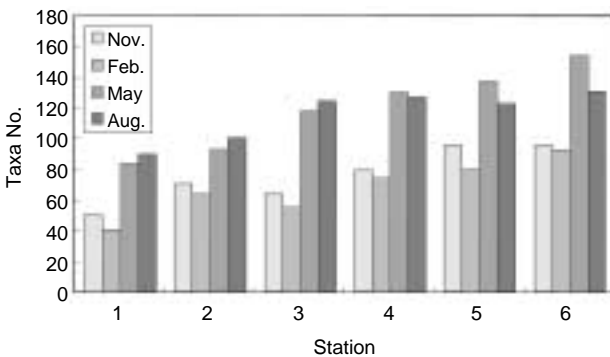


Fig. 2. Changes of taxa number of phytoplankton communities at each station in the Hantan River.

조강 중의 이들 종은 부착성으로 국내 하천의 식물플랑크톤에서 상류 수역에서 출현빈도가 다소 높다 (Lee et al., 1995; 노 등, 1991; 김 등, 1995; 신, 1996; 이, 1998; 이와 윤, 1999; 이와 윤, 2000; 이 등, 2002). 일반적으로 수온이 낮은 겨울과 상류 정점에서 규조강의 종류가 많고 (Blum, 1960; Williams, 1964; Whitton, 1984), 여름과 하류 정점에서 녹조강의 Chlorococcales목에 속하는 종류와 남조강의 종류가 많은데 (Schmitz, 1954; Knöpp, 1960; Whitton, 1984) 본 조사에서도 상류 수역과 11월과 2월에 규조강의 종수가 많았으며 여름과 하류에서 녹조강의 종수가 증가하였다.

2) 현존량 및 우점종

식물플랑크톤의 현존량은 8,600~337,100 cells/mL의 범위로서 2001년 11월에 최저였고 2002년 5월에 정점 5에서 최대였다 (Fig. 3). 조사 동안 계절적 및 각 정점간의 현존량의 차이는 매우 뚜렷하였다. 보편적으로 겨울과 상류보다 여름과 중, 하류 수역에서 현존량이 3~10배 높은 경향이 있다 (Fig. 3). 규조강은 총 현존량의 36.2~93.9%의 범위로서 가장 높은 비를 점유하였으며 그 다음이 녹조강, 남조강 및 유글레나강의 순이었다 (Figs. 3, 4).

각 강별 현존량의 변화에서, 2001년 11월과 2002년 2월에 정점 1~3에서 규조강은 총 현존량의 80% 이상이었고, 중, 하류 수역인 정점 4~6에서 64% 이상의 높은 비를 점유하였다. 그러나 녹조강, 유글레나강 및 남조강 등은 0~22% 이하로서 상대적으로 낮은 비로 조성되어 있다. 5월에 녹조강의 현존량은 총 현존량의 변화 경향과 같이 상류에서 하류로 갈수록 증가하여 정점 5에서 최대였다. 남조강의 현존량은 녹조강과 규조강보다 적었지만 변화 경향은 녹조강과 동일하였고 정점 5에서 최

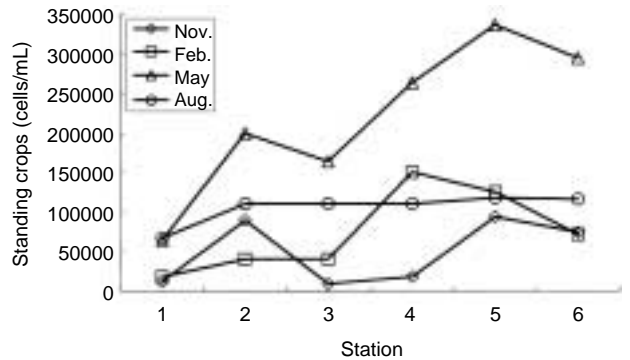
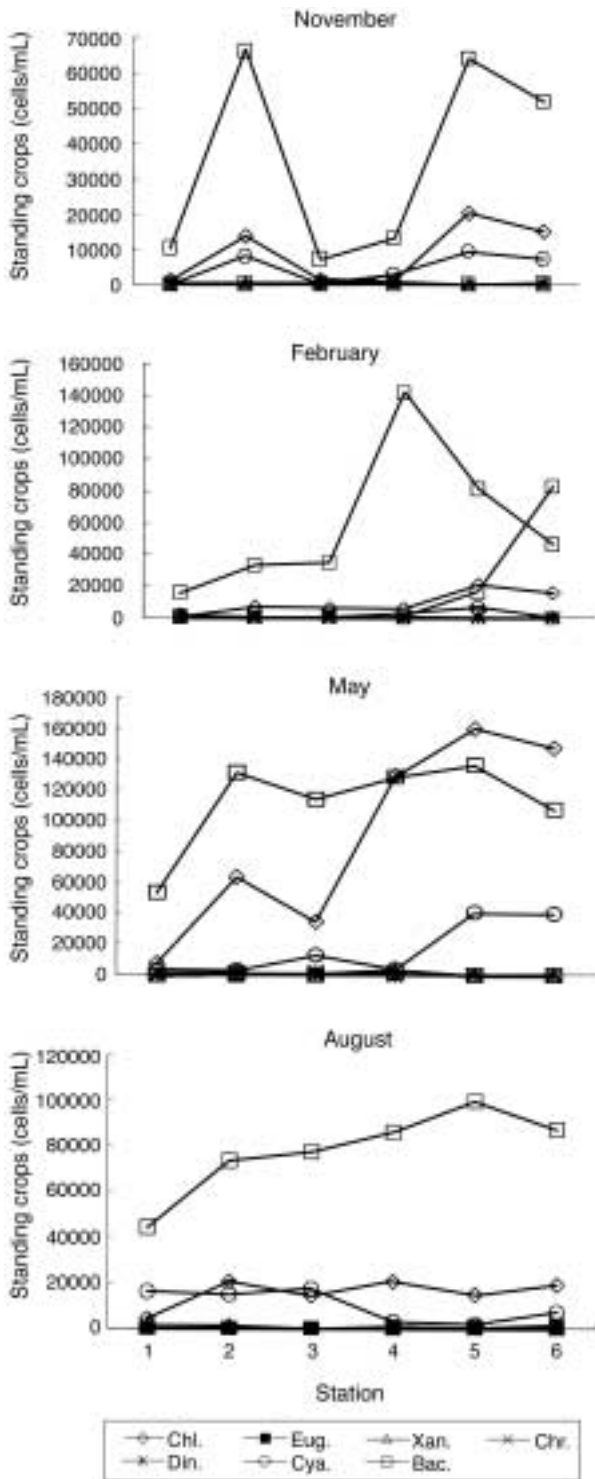


Fig. 3. Changes of standing crops (cells/mL) of phytoplankton communities at each station in the planed place of the dam lake in the Hantan River.



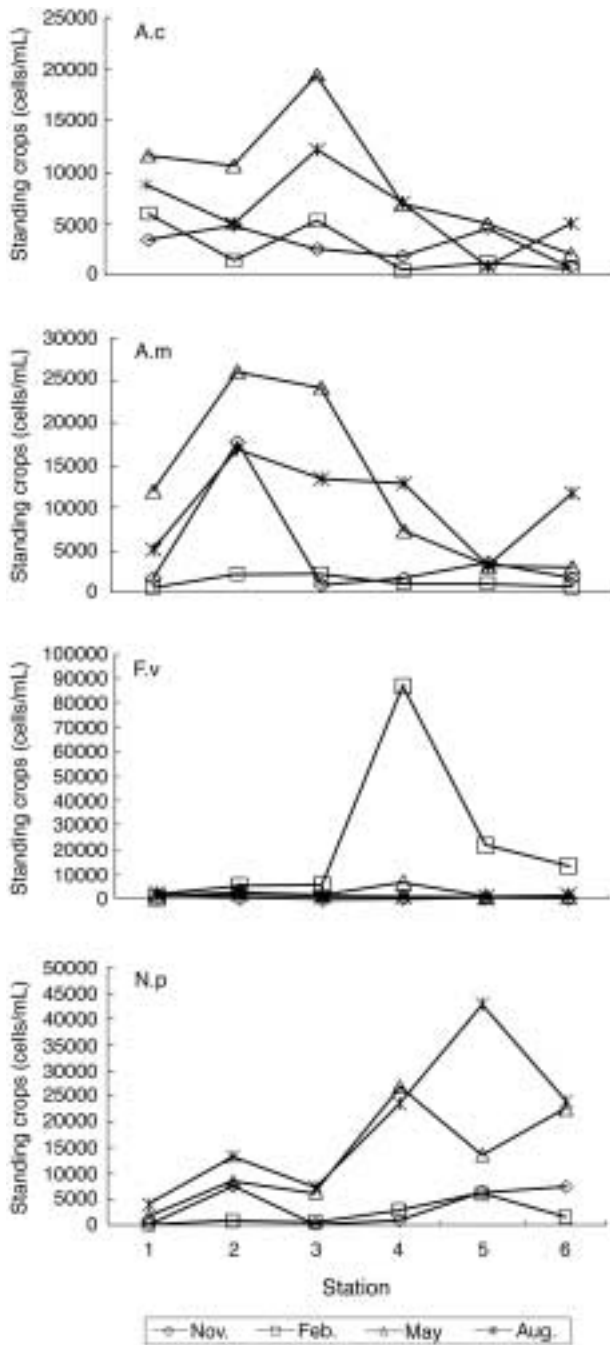
**Fig. 4.** Changes of standing crops (cells/mL) of each class of phytoplankton communities at each station in the Hantan River. Chl: Chlorophyceae, Eug: Euglenophyceae, Xan: Xanthophyceae, Chr: Chryso-phyceae, Din: Dinophyceae, Cya: Cyanophyceae, Bac: Bacillariophyceae.

**Table 2.** Dominant species of phytoplankton communities in the Hantan Rivre (%).

Month	November, 2001	
Station	1	<i>Achnanthes convergens</i> (30.4)
	2	<i>Achnanthes minutissima</i> (20.1)
	3	<i>Achnanthes convergens</i> (29.1)
	4	<i>Gomphosphaeria lacustirs</i> (17.4)
	5	<i>Cyclotella meneghiniana</i> (14.2)
	6	<i>Cyclotella meneghiniana</i> (24.4)
Month	February, 2002	
Station	1	<i>Achnanthes convergens</i> (32.8)
	2	<i>Cymbella minuta v. silesiaca</i> (25.6)
	3	<i>Achnanthes alteragracillima</i> (25.4)
	4	<i>Fragilaria vaucheria</i> (58.5)
	5	<i>Fragilaria vaucheria</i> (17.7)
	6	<i>Fragilaria vaucheria</i> (19.0)
Month	May, 2002	
Station	1	<i>Achnanthes alteragracillima</i> (23.2)
	2	<i>Scenedesmus spinosus</i> (21.1)
	3	<i>Achnanthes minutissima</i> (14.9)
	4	<i>Chlamydomonas pseudopertyi</i> (27.9)
	5	-
	6	<i>Chlamydomonas pseudopertyi</i> (20.9)
Month	August, 2002	
Station	1	<i>Oscillatoria amoena</i> (13.4)
	2	<i>Achnanthes minutissima</i> (15.4)
	3	<i>Achnanthes minutissima</i> (12.5)
	4	<i>Nitzschia palea</i> (21.6)
	5	<i>Nitzschia palea</i> (37.0)
	6	<i>Nitzschia palea</i> (20.9)

대였다. 규조강의 현존량은 정점 2부터 6까지 비슷하였지만 종조성에서 차이를 나타내었다 (Fig. 4). 8월에는 총 현존량이 5월보다 약 2배 정도 감소하였다. 이것은 5월에 번성하던 녹조강 및 남조강의 현존량이 많은 경우에 의해 유실되어 감소하였기 때문이다 (Figs. 3, 4).

우점종은 Table 2와 같이 11종류로 구성되어 있으며 규조강이 7종류로 가장 많았다. 녹조강은 *Chlamydomonas pseudopertyi*, *Scenedesmus spinosus*였고, 남조강은 *Oscillatoria amoena* 등이었다. 2001년 11월에 우점종은 모든 정점에서 규조강의 종류로 구성되어 있다. 이들 중에 *Achnanthes convergens*와 *Achnanthes minutissima*는 부착규조류의 생태적 분류에서 호청수종 및 광적응성 종으로서 (Lange-Bertalot, 1979; Watanabe & Asai, 1990; 이, 1992) 상류 수역에서 높은 현존량을 보였으나



**Fig. 5.** Changes of standing crops (cells/mL) of the major species of phytoplankton communities at each station in the Hantan River A.c: *Achnanthes convergens*, A.m: *Achnanthes minutissima*, F.v: *Fragilaria vaucheria*, N.p: *Nitzschia palea*.

하류로 갈수록 점차 낮아지는 경향을 나타내었다(Fig. 5) 종류 수역인 정점 4에서 남조강의 *Gomphosphaeria lacustris*가, 하류인 정점 5와 6에서 *Cyclotella meneghiniana*

의 현존량이 각각 12,600 cells/mL와 18,000 cells/mL로서 우점종으로 조사되었다. 이들은 부영양 호수와 하천에서 우점종으로 출현하는 빈도가 높은 것으로 보고되고 있다(Hutchinson, 1967; Hynes, 1970; Wetzel, 1983; Reynolds, 1984, 1988; 김 등, 1998). 2002년 2월에는 규조강의 *A. convergens*, *Cymbella minuta* var. *silesiaca* 및 *Fragilaria vaucheria* 등이 우점종이었다(Table 2). *F. vaucheria*는 정점 4에서 최고로 증가하였으며 정점 5와 6에서 감소하였다(Fig. 5). 본 종은 넓은 생태 범위를 가지며 특히 저수온성종으로서 겨울에 높은 출현을 나타내는 것으로 이(1992)의 결과와 일치하였다.

5월에 우점종은 상류에서 하류까지 다양한 종으로 구성되어 있다(Table 2). 정점 1에서 호청수종인 *Achnanthes alteragracillima*, 정점 2와 3에서 *A. minutissima*가 우점을 하였다. 중, 하류 수역인 정점 4~6까지는 부영양 수질에서 번성하는 *C. pseudopertyi*가 우점종으로 출현하였지만 현존량은 높지 않았다. 단지 아우점종은 강부수성 수역에서 번성하는 *Nitzschia palea* 등이었다. 정점 5에서는 우점종이 없었다(Table 2). 이것은 모든 종이 평균 현존량 이하였으며 *C. meneghiniana*, *C. pseudopertyi*, *Navicula pupula*, *Navicula subminuscula* 및 *Nitzschia palea* 등이 약 7~9%를 점유하였다. 8월에는 정점 1에서 남조강의 *O. amoena*가, 정점 2와 3에서 *A. minutissima* 그리고 정점 4~6에서 *N. palea*가 우점종이었다(Table 2, Fig. 4). 본 조사시기에 강우의 영향으로 진정 부유성보다 부착성 종이 대부분이었으며 섬진강의 이와 윤(1999)의 결과와 유사하였다.

한탄강의 년중 식물플랑크톤은 가을과 겨울 그리고 상류에는 규조강의 종들이, 강우가 많지 않은 늦봄에 녹조강의 종들이 우점하는 양상을 보였으며 일반적인 하천의 식물플랑크톤 종구성의 변화와 유사한 경향을 보였다(Hutchinson, 1967; Fogg, 1975; 김 등, 1996; 이와 윤, 2000). 특히 상류 정점에서 *Achnanthes*속이, 하류 정점에서 *Nitzschia*속이 식물플랑크톤 군집의 주요 구성종이었다. 이들 종들이 모두 저서성의 생태적 특성을 가지는 것을 고려하면 수심이 얇은 강바닥과 빠른 유속에 의해 피 부착물로부터 탈리되어 높은 출현율을 나타내는 것으로 낙동강(이 등, 2002), 임진강(이와 윤, 2002), 섬진강(이와 윤, 1999)의 결과와 유사하였다.

하천의 담수조류는 진정 부유성, 임시 부유성 및 저서성으로 나누어진다. 한탄강의 식물플랑크톤은 상류 정점에서 대부분 임시 부유성이거나 저서성의 탈리에 의한 플랑크톤으로 조사된 바 있으며 하류에서는 진정부유성과 임시부유성 및 피부착물로부터 탈리에 의한 플랑크

톤 모두 포함하고 있다. 이와 같이 다양한 서식 환경에서 생육하는 식물플랑크톤은 다양한 환경요인에 의해 영향을 받고 있다(Hynes, 1970). 한탄강의 환경요인중에 전기전도도는 년중 정점별 평균이 정점 5에서 338.8  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 로 가장 높았고 정점 1에서 76.3  $\mu\text{s}/\text{cm}$ 로 가장 낮았다. 정점별 전기전도도의 변화와 식물플랑크톤의 현존량의 변화는 상관계수  $r=0.68$ 로 다소 높았다. BOD와의 상관계수는  $r=0.60$ , 총질소와 총인은 각각  $r=0.58, 0.7$ 로서 이들 역시 다소 높았다. 이들 요인들의 농도 증가에 따라 식물플랑크톤 현존량은 증가하였다. 식물플랑크톤 현존량과 전기전도도, BOD, 총인 및 총질소의 변화와의 상관성은 식물플랑크톤의 일반적인 연구결과와 유사하였다(Horn and Goldman, 1994).

식물플랑크톤 현존량과 엽록소 농도는  $r=0.8$ 로서 다소 높았고, 녹조강의 현존량과 엽록소의 관계가 0.84로서 다른 강보다 높았다. 엽록소의 농도는 녹조강의 생육 상태에 따라 엽록소의 농도가 밀접한 관계가 있는 것으로 해석된다. *Achnanthes convergens*의 현존량은 상류 정점에서 높았고, 하류로 갈수록 점차 감소하였다(Fig. 5). 본 종의 현존량과 전기전도도 및 BOD의 관계는 각각  $r=-0.6$  이상으로 역의 관계를 나타내었다. 그러므로 본 종은 오염에 민감한 반응을 나타내는 것으로 이(1992)의 결과와 유사하였다. 그러나 *A. minutissima*는 최상류보다는 정점 2와 3에서 현존량이 가장 높았고 하류로 갈수록 감소하였다. 본 종과 전기전도도 및 BOD는  $-0.5$  이하로서 낮은 역의 관계를 보였다. 이것은 오염에 대해 다소 내성이 있는 광적응성 종으로 보고되었다(Watanabe and Asai, 1990). *Nitzschia palea*의 현존량은 상류에서 하류로 갈수록 점차 증가하였다(Fig. 5). *N. palea*의 현존량과 전기전도도와 BOD는 각각  $r=0.8$  이상으로 높았는데 Watanabe and Asai (1990)는 이와 같은 결과로 강부수성 종으로 분류하였다. *N. palea*의 현존량과 총질소, 총인의 관계가 0.7 이상으로 다소 높았는데 이것은 오염에 대해 내성이 강하고 영양염 농도에 민감하게 반응하는 것으로 해석이 된다.

3) 우점도 및 다양도지수

다양도 지수는 0.86~1.61의 범위로서(Fig. 6-A) 2월에 정점 4에서 지수가 최소였다. 본 조사시기 및 정점의 출현종류 수 및 현존량 등은 다른 조사 시기와 다른 정점과 비슷하였으나 우점종인 *Fragilaria vaucheria*의 현존량이 총 현존량의 58.5%로서 다른 정점의 우점종보다 높았다. 또한 아우점종이 다른 정점에서는 1~3종류로 조사되었으나 본 정점에서는 출현하지 않았기 때문에

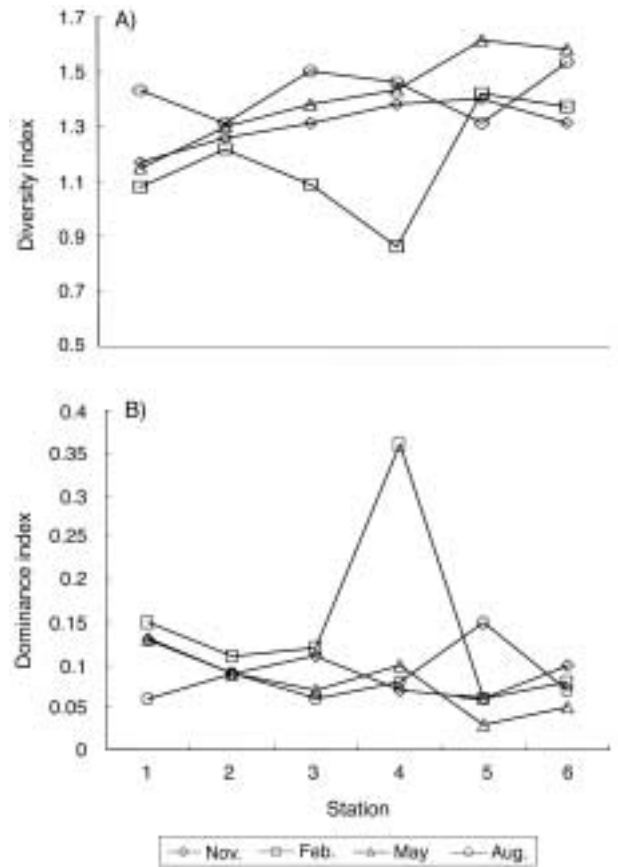


Fig. 6. Changes of diversity index (A) and dominance index (B) of phytoplankton communities in the Han-tan River.

지수가 낮았다. 5월에 정점 5에서 지수가 최대였는데 현존량 및 출현종이 다른 정점보다 많았으며 평균 현존량 이상을 점유하는 종이 조사되지 않았다.

우점도는 0.03~0.36의 범위로 매우 낮았다(Fig. 6-B). 11월부터 5월까지의 우점도 지수는 하류 정점보다 상류 정점에서 더 높았다. 이것은 호청수종인 *A. alter-gracillima*, *A. convergens*, *C. minuta* var. *silesiaca*, *F. vaucheria*와 광적응성종인 *A. minutissima* 등이 약 50% 이상을 차지하였기 때문이다. 그러나 하류 정점에서는 2월의 *F. vaucheria*를 제외한 우점종들은 부영양 수역에서 번성하는 종류로서 10~30%의 범위를 차지하였다. 그러므로 다양도 지수가 하류에서 낮아지는 경향을 나타내었다. 8월에는 선행의 조사시기와 다른 경향을 나타내었는데 이것은 집중호우 등의 영향으로 군집이 와해되거나 다른 정점 및 외부 수계로부터 유입된 조류에 의한 것으로 추정된다.

## 적 요

한탄강의 식물플랑크톤 군집의 분포를 조사하기 위해 2001년 11월부터 2002년 8월까지 6개의 정점을 선정하여 계절별로 실시하였다. 전기전도도는 상류에서 하류로 갈수록 증가하였다. 그러나 우기인 8월에는 전기전도도가 낮았다. 용존산소량은 전 정점에서 차이가 작았으나 오염물질이 유입되는 정점에서는 낮아지는 경향이 있었다. 총질소와 총인의 농도는 계절성보다 정점간의 차이가 뚜렷하였다. 엽록소 *a* 농도는 정점간의 차이 뿐만 아니라 계절적 변화를 나타내었다. 그러나 집중강우가 있었던 8월에는 낮았다. 식물플랑크톤은 총 354종류로서 99속 320종 19변종 3품종 및 12미동정종으로 구성되어 있다. 녹조강이 135종류, 녹조강이 134종류 그리고 나머지는 유글레나강, 남조강, 황색편모조강 등이었다. 현존량은 8,600~337,100 cells/mL로 계절적 및 정점간의 변화를 나타내었으며 특히 하류 수역에서 높았다. 우점종은 상류 수역에서 생태군중에 호청수종인 *Achnanthes alteragracillima*, *Achnanthes convergens* 및 *Cymbella minuta* var. *silesiaca*와 광적응성종인 *A. minutissima* 등이었고, 하류 수역에서는 호오탁성종 및 부영양상태에서 생육하는 *Cyclotella meneghiniana*, *Chlamydomonas pseudopertyi* 및 *Nitzschia palea* 등이었다. 식물플랑크톤 현존량과 전기전도도, BOD, 총질소 및 총인과의 상관관계는 0.6 이상으로 오염도 및 영양염 농도에 민감하게 반응하였다. 녹조강의 현존량과 전기전도도, 총인은 0.6 이상으로 높았으며, 엽록소 농도와의 상관계수는 0.84로서 높았다. *A. convergens*는 전기전도도, BOD와의 상관성이 -0.6으로 역의 관계인 반면에 *N. palea*는 0.8로서 정의 관계였다. *N. palea*와 총인, 총질소와의 상관계수는 0.7 이상으로 영양염 농도에 민감하게 반응하였다.

## 사 사

이 논문은 2001년도 대전대학교 학술연구과제 연구비 지원에 의해 연구되었음

## 인 용 문 헌

- 경기북부환경운동연합. 1997. 임진강, 한탄강 종합학술조사 사업보고서 57 pp.
- 김용재. 1999. 부착규조에 의한 포천천의 수질 평가, 한국육수학회지 **32**: 135-140.
- 김용재. 2001. 신천의 부착규조 군집을 이용한 유기오탁 평가, 한국육수학회지 **34**: 199-205.
- 김용재, 박은혜, 송승숙, 최부숙. 1999. 포천천의 식물플랑크톤 군집 분석, 대전대 환경연구소논문집 **1**: 51-68.
- 김용재, 최재신, 김도한, 정준. 1995. 임하호에서의 식물플랑크톤 군집의 생태학적 고찰, 한국육수학회지 **28**: 61-77.
- 김용재, 김명운, 김상중. 1998. 한강 중, 하류에서 식물플랑크톤 군집의 생태학적 특성, *Algae* **13**: 331-338.
- 김준태, 박유라, 조현실, 부성민. 1996. 금강 수계에서 식물플랑크톤의 군집 구조, 한국육수학회지 **29**: 187-195.
- 노경희, 김종홍, 정영철. 1991. 순천만으로 유입되는 동천과 이사천의 식물플랑크톤 군집의 종조성과 동태, 한국육수학회지 **24**: 153-163.
- 신성교, 박청길, 이수용. 1996. 낙동강에서 chlorophyll-*a*와 BOD의 상관관계, 한국수질보전학회지 **12**: 369-375.
- 신윤근. 1996. 섬강 상류의 식물플랑크톤상 연구, 한국육수학회지 **29**: 143-158.
- 이경, 윤숙경. 1999. 섬진강 중류 수역에 있어서 식물플랑크톤과 부착조류 군집의 계절적 변화, 한국육수학회지 **32**: 319-330.
- 이경, 윤숙경. 2000. 전남 광양의 수어천 수역에서 식물플랑크톤과 부착조류 군집의 계절적 변화, 한국육수학회지 **33**: 38-50.
- 이경, 윤숙경. 2002. 임진강 수계의 식물 플랑크톤 군집의 계절적 변화, 한국육수학회지 **35**: 111-122.
- 이정호. 1992. 광천(경상북도 울진군)의 부착규조에 대한 분류 및 생태적 연구, 경북대학교 박사학위논문 279pp.
- 이정호, 권정남, 양상용. 2002. 낙동강의 식물플랑크톤 군집의 계절변화, *Algae* **17**: 267-273.
- 정영호, 심재형, 이민재. 1965. 한강의 Micro-flora에 관한 연구(제1보), 한강 하류의 식물플랑크톤과 해수의 영향, 한국식물학회지 **8**: 7-29.
- 정영호, 이경. 1981. 팔당댐 수역을 중심으로 한 식물성플랑크톤의 현존량과 생산력, 자연보존연구보고서 **3**: 383-390.
- 정영호, 이인태. 1978. 남한강 상류 임계댐 축조예정지역의 식물플랑크톤에 관한 분류와 구계, 자연보존연구보고서 **13**: 183-204.
- 조경제, 신재기, 이진애, 문병용. 1995. 도시근교 하천 만경강의 식물플랑크톤 일생산 추정, 한국육수학회지 **28**: 101-110.
- 조경제, 신재기. 1997. 낙동강 중, 하류에서 무기 N, P 영양염의 변동, 한국육수학회지 **30**: 85-95.
- 한명수, 홍성수, 어윤열. 2002. 팔당호의 생태학적 연구 4. 경안천 하류의 영양염 및 입자태 유기물 거동과 식물플랑크톤 천이, 한국육수학회지 **35**: 1-9.
- 환경부. 1995. 수질오염·폐기물 공정 시험방법, 동화기술 565pp.
- APHA, AWWA, WEF. 1992. Standard methods for the



- examination of water and wastewater, 18th ed. American Public Health Association, Washington, DC.
- Blum, J.L. 1960. Algal populations in flowing waters. Spec. Publs. Pymatuning Lab. *Fld Biol.* **2**: 11-21.
- Canter-Lund, H. and J.W.G. Lund. 1996. Freshwater algae-their microscopic world explored-. Biopress Ltd, Bristol 360pp.
- Cho, K.J., I.K. Chung, and J.A. Lee. 1993. Seasonal dynamics of phytoplankton community in the Naktong River Estuary, Korea. *Kor. J. Phycol.* **8**: 15-28.
- Fogg, G.E. 1975. Algal cultures and phytoplankton ecology, 2nd ed. Univ. Wisconsin Press, London 175pp.
- Hendey, N.I. 1974. The permanganate method for cleaning freshly gathered diatoms. *Microscopy* **32**: 423-426
- Horne, A.J. and C.R. Goldman. 1994. Limnology. McGraw-Hill, Inc., New York 115pp.
- Hutchinson, G.E. 1967. A Treatise on Limnology. Vol. II. Introduction to Lake Biology and the Limnoplankton. John Wiley & Sons, New York, 1115 pp.
- Hynes, H.B.N. 1970. The Ecology of Running Waters, Liverpool Univ, Press, 555pp.
- Kim, J.W. and H.Y. Lee. 1991. A study on phytoplankton communities in the Reservoir of Naktong River Estuary. *Kor. J. Limnol.* **24**: 143-151.
- Knopp, H. 1960. Untersuchungen uber das Sauerstoff-Produktions-Potential von Flussplankton. *Schweiz. Z. Hydrobiol.* **22**: 152-166.
- Lange-Bertalot, H. 1979. Pollution Tolerance of diatoms as a Criterion for Water Quality Estimation. *Nova Hedwigia, Beih.* **64**: 285-304.
- Lee, J.A., K.J. Cho, O.S. Kwon, I.K. Chung, and B.Y. Moon. 1994. Primary production of phytoplankton in the Naktong Estuary. *Kor. J. Limnol.* **23**: 143-151.
- Reynolds, C.S. 1984. The ecology of freshwater phytoplankton, London, Cambridge Univ, Press, 384pp.
- Reynolds, C.S. 1988. Potamoplankton: Paradigms, Paradoxes and Prognoses. Algae and the Aquatic Environment (ed. F.E. Round) Biopress Ltd. Bristol 285-311.
- Schmitz, W. 1954. Phytoplankton-Massenentwicklung in Staubecken und Fliessgewässern. *Verh. int. Verein. theor. angew. Limnol.* **12**: 241-252.
- Shannon, E and W. Weaver. 1963. The mathematical theory of communication. Illinois Univ. Press, Urbana, 177 pp.
- Simpson, E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nat.* **163**: 1-688.
- Sze, P. 1998. A Biology of the Algae. 3rd ed. WCB/McGraw-Hill. New York 278pp.
- Watanabe, T. and K. Asai. 1990. Numerical simulation using diatom assemblage of organic pollution in streams and lakes. *Rev. Inquiry and Res. (Kansai Univ. Foreign Studies)* **52**: 99-139.
- Wetzel, R.G. 1983. Limnology. 2nd. ed. Sounders Coll. Publ., New York, 767pp.
- Whitton, B.A. 1984. Ecology of European Rivers. Blackwell Scientific Publ. Oxford. 609pp.
- Williams, L.G. 1964. Possible relationships between plankton-diatom species number and water quality estimates. *Ibid.* **45**: 809-823

(Received 19 Feb. 2003, Manuscript accepted 30 May 2003)