

하천수 (반월천, 동화천, 삼화천)의 시화인공습지 관류에 따른 개방수에서 식물플랑크톤 군집 동태

김 용 재

(대전대학교 생명과학과)

Dynamics of Phytoplankton Community in the Open Water Flowed Through the Shihwa Constructed Wetland from Streams (Banwoul, Donghwa and Samhwa stream). Kim, Yong Jae (Department of Life Science, Daejin University, Pochun, Kynggi 487-711, Korea)

The Shihwa constructed wetland was established for the treatment of severely polluted water from Banwoul, Donghwa and Samhwa streams. This study was focused on investigating dynamics of phytoplankton community at 5 stations of open waters in the Shihwa constructed wetland from October 2001 to July 2002. The concentration of T-N and T-P of inlet stations from the streams were decreased by flowed through the wetland. However, the TN/TP ratios at all stations were shown as a little over 16 indicating that the T-P plays an important role as a limitation factor. Phytoplankton communities were identified as a total of 413 taxa which were composed of 375 species, 21 varieties, 2 forma and 15 unidentified species. The standing crops of phytoplankton communities and chlorophyll-*a* concentrations ranged 330~36, 420 cells mL⁻¹ and 2.5~170.7 µg L⁻¹ respectively, and showed a decreasing tendency after flowing through the wetland at almost stations. Dominant species were 14 taxa at all stations which were *Euglena oblonga*, *Synura spinosa*, and etc. The species composition, standing crops and chlorophyll concentrations of phytoplankton communities appeared a distinct differences between open waters of inlet from stream and open waters flowed through the wetland. Theses results were affected from decreasing effects of TN, TP and SS by flowed through the wetland from inlet waters of streams.

Key words : dynamics, phytoplankton community, Shihwa constructed wetland, *Synura spinosa*

서 론

습지는 동, 식물 부양체제와 환경의 기능을 유지하는데 광범위한 역할을 수행해 왔으며, 수자원의 조절, 토양침식 방지, 각종 오염물질 흡수, 조류 및 어패류의 서식처로서 역할을 한다. 또한 인간의 여가 활동의 주된 장소이며 (Adamus and Stochwell, 1983; Heyman, 1988), 육지로부터

터 유입되는 각종 오염물질을 정화하는 기능을 갖는다. 습지가 각종 개발에 따른 소실 또는 변형됨으로서 습지로서의 기능을 수행하지 못하는 피해가 발생하고 있으며 (Braakhekke and Marchand, 1987), 그 중 습지 식물에 의해 자연 정화되어 오던 오수가 그대로 하천이나 호수로 유입되어 수질의 악화가 가속화되고 있다 (OECD, 1979). 도시근교의 습지는 어업과 농업을 위한 주된 자원의 보고이며, 물리, 화학적 처리와는 달리 2차적 오염 발

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

생이 없는 자연 수질정화 기능을 갖고 있어 낮은 비용으로 폐수를 처리할 수 있음을 보고하였다 (Ghosh and Sen, 1987).

방조제 건설에 따른 시화호 유역 내 인구 및 축산업의 증가, 환경기초 시설의 미비, 입주공장의 불법폐수 방류 등으로 본 호수의 수질오염 문제가 발생하였다. 이에 따라 96년 환경기초 시설 증설과 유입 오염원 차단 및 호소 내 수질개선을 주요내용으로 하는 시화호 수질개선 대책을 수립하여 추진해 온 결과 수질이 개선된 것으로 보고 되었으며 (KOWACO, 2002) 이러한 개선의 일환으로 본 호수의 상류 유입지천을 통해 유입되는 생활 및 축산폐수를 자연정화법으로 처리하기 위해 인공습지를 조성하였다 (KOWAKO, 2001).

습지내 개방수역과 수중의 갈대 생물막은 생산자인 식물플랑크톤과 부착조류, 소비자인 원생동물류와 수서곤충류 및 분해자인 세균류 등 다양한 생물 군집이 농축된 생태계로서 군집 간 상호관계를 통해 높은 자연 정화 능력을 가지고 있다 (Kadlec and Knight, 1996). 정체수역에서 식물플랑크톤의 현존량과 증식속도는 수역의 유량, 크기, 수심, 체류시간 및 수질에 의해 크게 좌우되며 또한 계절에 따라서도 달라진다 (Hwang *et al.*, 2000). 그리고 부착 미생물 군집은 증식속도가 빠르고 환경조건의 변화에 따라 대사활성의 변화가 크므로 부영양 수계의 생물막은 성장과 탈리를 단기간에 반복하기 때문에 현존량의 변화가 크며, 이 중 부착조류는 생산자임과 동시에 수중의 영양염을 흡수하여 저장하는 작용을 하는 것으로 나타났다 (Adamus and Stochwell, 1983).

공단 및 도시 하수의 유입에 따른 호수 등의 부영양화 방지를 위한 측면에서 수생식물, 부착조류 및 식물플랑크톤을 이용하여 자연 정화 기능을 수질 개선에 적용하고 양질의 수질관리를 하기 위한 연구가 국내외적으로 연구되고 있다 (Horn and Goldman, 1994; Kadlec and Knight, 1996; Jun, Watanabe and Kim, 1998). 그러나 이러한 연구는 소규모의 인공수로나 인공습지를 조성하여 연구한 것이며, 실제 시화 인공습지와 같이 여러 하천으로부터 유입되는 오염된 많은 하천수를 대단위 면적의 습지에서 연구된 것은 거의 없는 실정이다.

본 조사는 반월천, 동화천 및 삼화천의 오염된 하천수를 인공습지에 관류시킨 조건에서 환경변화와 함께 식물플랑크톤 동태를 조사함으로써 앞으로의 인공습지관리를 위한 기초 자료로 활용하는데 그 목적이 있다.

재료 및 방법

안산시와 반월공단 그리고 주변 농경지로부터 배출되어 반월천을 통해 정점 1과 2에 공급되며, 정점 3과 4는 동화천, 정점 5는 삼화천로부터 하천수가 유입되고 있는 인공습지의 개방수역에 5개의 정점을 선정하여 2001년 10월부터 2002년 6월까지 총 7회 식물플랑크톤 군집의 동태를 조사하기 위하여 시료를 채집하였다 (Fig. 1). 수온과 전기전도는 WTW-LF 91 EC meter로, pH는 HI8314 meter를 사용하여 현장에서 직접 측정하였다. 총인과 총질소의 분석은 APHA (1992)와 수질오염·폐기물 공정시험법 (환경부, 1995)에 준하였다. 엽록소 *a* 농도 ($\mu\text{g L}^{-1}$)는 시료 1 L 중에 25 mL를 bbe cuvette에 넣어 fluorometer (bbe moldaenke algae analysis)로 측정하였다.

식물플랑크톤의 시료는 1L용 폴리에틸렌 병을 이용하여 정량 채집하여 중성 formalin으로 고정하고 자연 침전시킨 후 siphon으로 상등액을 제거한 다음 50 mL로 농축시켰다. 농축된 시료를 광학 현미경 (Axioscop 20×300~2,000)하에서 동정 및 분류하였다. 현존량 (cells L^{-1})은 정량 채집 후 50 mL로 농축시킨 시료 1 mL를 취해 Sedgwick-Rafter chamber에서 계수하여 산출하였다. 부유성 구조류는 KMnO_4 법 (Hendey, 1979)으로 세정한 다음 영구표본을 제작하여 종을 동정하였고 현존량은 총 현존량 중에 구조류의 현존량을 영구표본의 각 종에 대

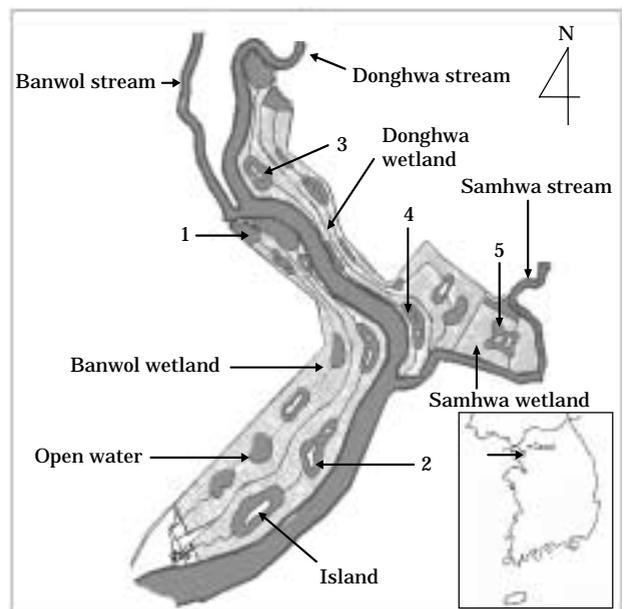


Fig. 1. Map showing the sampling stations in the Shihwa constructed wetland.

한 상대빈도에 대입하여 산출하였다. 우점종은 현존량 중에 평균 현존량을 상회하는 종들 중에 최대 현존량을 나타내는 종으로 선정하였다. 군집 구조를 분석하기 위하여 Simpson (1949)의 우점도 지수와 Shannon-Weaver (1963)의 종다양도 지수를 각 종의 현존량을 기초로 계산하였다.

결 과

1. 환경요인

수온은 평균 11.7~12.6°C의 범위로서 정점 2와 3에서 가장 낮았으며 정점 5에서 가장 높았고 변화 폭도 가장 컸다 (Table 1). pH는 평균 7.8~8.5의 범위로 약알칼리성이었고 변화 범위는 pH 6.2~9.1로서 정점 1에서 변화 폭이 가장 컸다 (Table 1). 전기전도도는 평균 0.69~3.00 (×1,000) μS cm⁻¹의 범위로서 정점 4에서 가장 낮았으며 정점 5에서 최고였다. 조사동안 변화 폭은 정점 5에서 가장 컸으며, 농도는 4.81 (×1,000) μS cm⁻¹로 가장 높았다. 본 정점은 다른 정점과 같은 시기에 매립되어 습지가 조성되었지만 습지의 개방수내에 전기전도도가 다른 정점보다 항상 높게 유지되었다 (Table 1).

총질소는 평균 4.4~21.3 mg L⁻¹의 범위였다. 반월천으로부터 유입된 정점 1에서 최대였으며 갈대습지를 관류한 후에 약간 감소하였다. 동화천의 정점 3에서는 4.5~7.8 mg L⁻¹였고 습지를 관류한 후인 정점 4에서 감소하였다. 5월과 6월을 제외한 다른 조사 시기에 호수 수질 기준에 의거하면 부영양상태였다 (Table 1). 총인은 평균 0.13~1.00 mg L⁻¹의 범위로서 정점 5에서 최저였으며 정점 1에서 최고였다. 조사 동안 정점 1에서 총인은

0.4~2.21 mg L⁻¹의 범위로 변화 폭이 컸다. 총인 역시 5월과 6월을 제외한 시기에 부영양상태였다. 반월천의 총인은 0.34~2.19 mg L⁻¹의 범위였다. 이와 같은 농도를 함유한 하천 수는 정점 1에서 0.4~1.00 mg L⁻¹의 범위였으며 갈대습지를 관류한 후 정점 2에서 0.45~0.91 mg L⁻¹의 범위로서 정점 1보다 감소하였다. 동화천의 총인 농도는 0.32~0.69 mg L⁻¹의 범위로서 반월천보다 낮았다. 또한 갈대습지를 관류한 후 정점 4에서 농도는 0.09~0.33 mg L⁻¹였다. 하천수가 정점 3에 유입된 후에는 0.22~0.45 mg L⁻¹였으며, 하천수 → 개방수역 → 인공습지를 관류하면서 총인의 농도가 감소하였다 (Table 1).

TN/TP비는 평균 20.9~36.8의 범위로서 Radfield의 비인 16 이상으로서 총인이 제한 영양염인 것으로 나타났다. 단지 4월에만 TN/TP비가 16 이하로 낮아졌는데 총인의 농도가 정점 1과 2에서 각각 2.21 mg L⁻¹과 1.61 mg L⁻¹였다. 이것은 총질소 농도의 변화가 거의 없었으나 총인의 농도만 증가함으로써 나타난 결과이다 (Table 1).

2. 식물플랑크톤 군집

인공습지의 식물플랑크톤은 총 413종류로서 7강, 16목, 6아목, 36과 110속, 375종, 21변종, 2품종 및 15미동정종으로 구성되어 있다. 이들 중에 녹조강이 241종류 (58.4%)였으며 규조강이 140종류 (33.9%)였다. 다음으로 유글레나강이 83종류 (20.0%), 남조강이 30종류 (7.3%), 황갈색조강이 15종류 (3.6%), 황녹색조강과 와편모조강이 각각 2종류 (0.5%)의 순으로 조사되었다. 월별 출현 종수는 2001년 10월에 총 228종류로서 212종, 11변종, 1품종 및 4미동정종이었고 각 정점에서는 69~122종류로 정점 3과 4에서 많았다. 11월에는 198종류였으며 54~120종류의 범위였으며, 정점 4에서 가장 많았다. 12월에는 총

Table 1. Environmental factors in the Shihwa constructed wetland from October 2001 to June 2002.

Station	Factors	Water temp. (°C)	pH	EC (μS cm ⁻¹ × 1,000)	TN (mg L ⁻¹)	TP (mg L ⁻¹)	TN/TP ratio
1	Mean	12.1 ± 7.3*	7.8 ± 1.0	1.4 ± 0.4	21.3 ± 2.4	0.9 ± 0.3	24.3 ± 7.6
	Range	4.0 ~ 22.3	6.2 ~ 9.1	0.5 ~ 2.1	13.9 ~ 30.6	0.4 ~ 1.5	11.4 ~ 34.8
2	Mean	11.7 ± 7.2	7.5 ± 0.4	1.7 ± 0.8	17.6 ± 6.4	0.9 ± 0.4	21.5 ± 9.1
	Range	2.3 ~ 20.7	6.8 ~ 7.0	0.5 ~ 2.5	10.1 ~ 27.9	0.5 ~ 0.9	10.1 ~ 33.2
3	Mean	11.7 ± 7.2	7.5 ± 1.0	1.5 ± 0.7	5.9 ± 1.1	0.2 ± 0.0	20.8 ± 19.8
	Range	3.4 ~ 21.3	6.9 ~ 8.5	0.3 ~ 2.0	4.5 ~ 7.8	0.2 ~ 0.3	17.1 ~ 33.9
4	Mean	12.0 ± 6.6	8.5 ± 1.1	0.7 ± 0.2	4.4 ± 1.5	0.2 ± 0.1	23.9 ± 5.2
	Range	4.0 ~ 20.5	7.2 ~ 10.2	0.4 ~ 0.9	2.2 ~ 6.7	0.1 ~ 0.3	16.2 ~ 29.4
5	Mean	12.6 ± 8.5	8.4 ± 0.1	3.0 ± 1.5	4.6 ± 2.0	0.1 ± 0.0	36.8 ± 24.1
	Range	2.0 ~ 22.1	7.4 ~ 8.7	1.1 ~ 4.8	2.3 ~ 7.9	0.1 ~ 0.2	16.4 ~ 42.3

*mean ± s.d., n = 7

125종류로 10월과 11월보다 적게 조사되었으며, 각 정점에서는 36~57종류의 범위로서 정점 3에서 최고였다. 2002년 2월에는 총 134종류였고 4월에는 150종류로서 정점 3과 4에서 최고의 출현 종수가 교대로 조사되었다. 5월과 6월에는 각각 197종류와 219종류로서 2001년 10월과 11월 조사 종류수와 비슷하였다. 정점별 종수는 역시 정점 3에서 최고였다 (Fig. 2). 조사 초기인 10월에 녹

조강, 유글레나강 및 규조강의 순이었다. 12월에 규조강은 증가하였고 녹조강과 유글레나강 등의 종수는 감소하였다. 5월에는 녹조강과 유글레나강의 종수가 증가하였다. 6월에는 녹조강의 종수가 증가하였다 (Fig. 2).

식물플랑크톤의 현존량은 2001년 10월에 1,750~6,500 cells mL⁻¹의 범위로서 정점 3에서 최대였다. 12월에는 정점 1과 2에서 현존량이 각각 36,420 cells mL⁻¹와

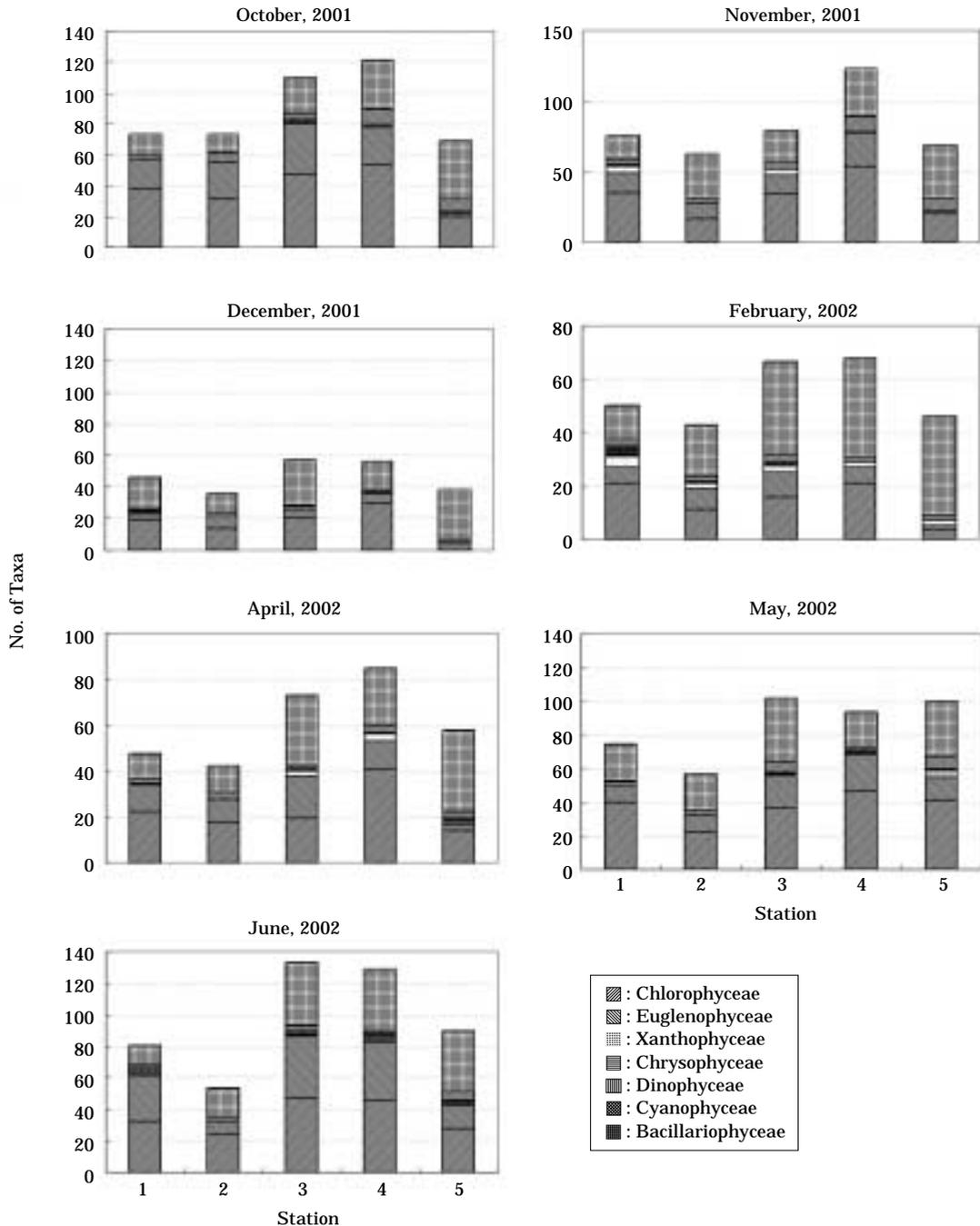


Fig. 2. Seasonal variations of taxa number of phytoplankton communities in the Shihwa constructed wetland.

26,440 cells mL⁻¹로 증가하였다. 2002년 2월에는 12월에 번성하던 *Synura*속이 정점 1과 2에서 급격하게 감소한 반면에 정점 3에서 현존량이 20,410 cells mL⁻¹로 증가하였다. 4월에 녹조강인 *Chlamydomonas*속, *Monoraphidium*속 등의 현존량이 증가함으로써 정점 1에서 2001년 12월에 이어 두 번째 증가현상이 나타났다 (Fig. 3). 5월에는 정점 1과 2에서 많은 강우에 의해 습지내의 생태계를 구성하고 있던 군집이 와해됨으로서 종구성 뿐만 아니라 현존량도 급격하게 감소였다. 6월에는 수 환경이 안정되면서 개방수역 내의 현존량도 점차 증가하였다 (Fig. 3). Horn and Goldman (1994)이 제시한 물꽃현상 기준에 의하면 본 수계는 2001년 10월부터 12월까지 정점 1~4에서, 2002년 2월에는 단지 정점 3에서만 발생하였다. 그리고 4월부터 6월까지 정점 1에서 물꽃현상이 발생하였다 (Fig. 3).

엽록소 a 농도는 2001년 10월에 유입정점인 1과 3에

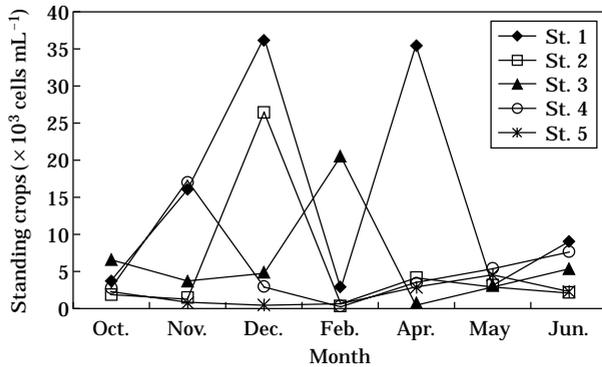


Fig. 3. Variations of standing crops (cells mL⁻¹) of phytoplankton communities in the Shihwa constructed wetland.

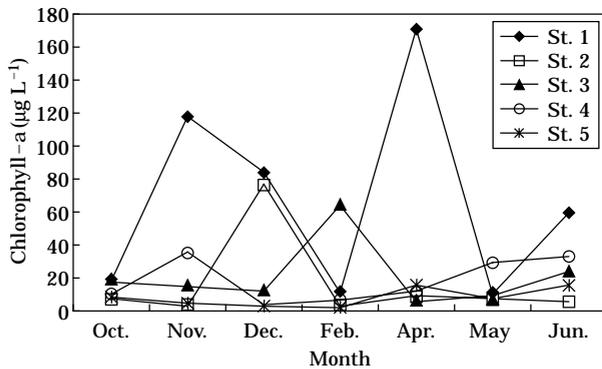


Fig. 4. Variations of chlorophyll-a (µg L⁻¹) concentration of phytoplankton communities in the Shihwa constructed wetland.

서 각각 18.7 µg L⁻¹과 17.5 µg L⁻¹였고 습지를 관류한 후인 정점 2와 4에서 각각 10 µg L⁻¹로 감소하였다. 2001년 11월에 엽록소 농도는 2.5~117.8 µg L⁻¹의 범위로서 10월보다 변화 폭이 컸다. 2001년 12월에는 *Synura*가 물꽃현상을 발생한 정점 1과 2에서 각각 83.9 µg L⁻¹와 76.8 µg L⁻¹로서 증가하였다. 2002년 2월에 정점 3에서 *Synura*속의 물꽃현상으로 엽록소 농도는 63.7 µg L⁻¹였다. 2002년 4월에 정점 1에서 녹조강의 *Monoraphidium*과 *Microactinium*속이 대발생하면서 엽록소 농도는 170.7 µg L⁻¹로 증가하였다. 2002년 6월에 엽록소 농도는 5.82~59.23 µg L⁻¹의 범위로서 전월보다 수배

Table 2. Dominant species of phytoplankton communities in the Shihwa constructed wetland.

Station	Dominant species (%)
Oct.	1 <i>Euglena oblonga</i> (51.7)
	2 <i>Cyclotella meneghiniana</i> (73.6)
	3 <i>Pandorina morum</i> (47.0)
	4 <i>Lyngbya angusta</i> (51.7)
	5 <i>Lyngbya angusta</i> (38.6)
Nov.	1 <i>Cyclotella meneghiniana</i> (47.2)
	2 <i>Nitzschia acicularis</i> (32.1)
	3 <i>Nitzschia acicularis</i> (39.0)
	4 <i>Nitzschia acicularis</i> (52.0)
	5 <i>Nitzschia palea</i> (21.3)
Dec.	1 <i>Synura spinosa</i> (92.2)
	2 <i>Synura spinosa</i> (94.4)
	3 <i>Synura spinosa</i> (77.1)
	4 <i>Nitzschia acicularis</i> (61.9)
	5 <i>Chlamydomonas pseudopertyi</i> (40.6)
Feb.	1 <i>Stephanodiscus hantzschii</i> (43.3)
	2 <i>Nitzschia palea</i> (68.9)
	3 <i>Synura spinosa</i> (80.8)
	4 <i>Nitzschia palea</i> (35.6)
	5 <i>Nitzschia palea</i> (21.9)
Apr.	1 <i>Monoraphidium contortum</i> (21.6)
	2 <i>Oscillatoria amphibia</i> (54.3)
	3 <i>Nitzschia acicularis</i> (19.1)
	4 <i>Cyclotella meneghiniana</i> (26.8)
	5 <i>Lyngbya angusta</i> (69.1)
May	1 <i>Cyclotella meneghiniana</i> (30.9)
	2 <i>Lyngbya angusta</i> (64.9)
	3 <i>Cyclotella meneghiniana</i> (19.8)
	4 <i>Ulothrix subconstricta</i> (50.1)
	5 <i>Lyngbya limnetica</i> (73.9)
Jun.	1 <i>Ochromonas elegans</i> (34.2)
	2 <i>Nitzschia palea</i> (37.9)
	3 <i>Synura spinosa</i> (14.3)
	4 <i>Nitzschia palea</i> (12.2)
	5 <i>Nitzschia palea</i> (13.1)

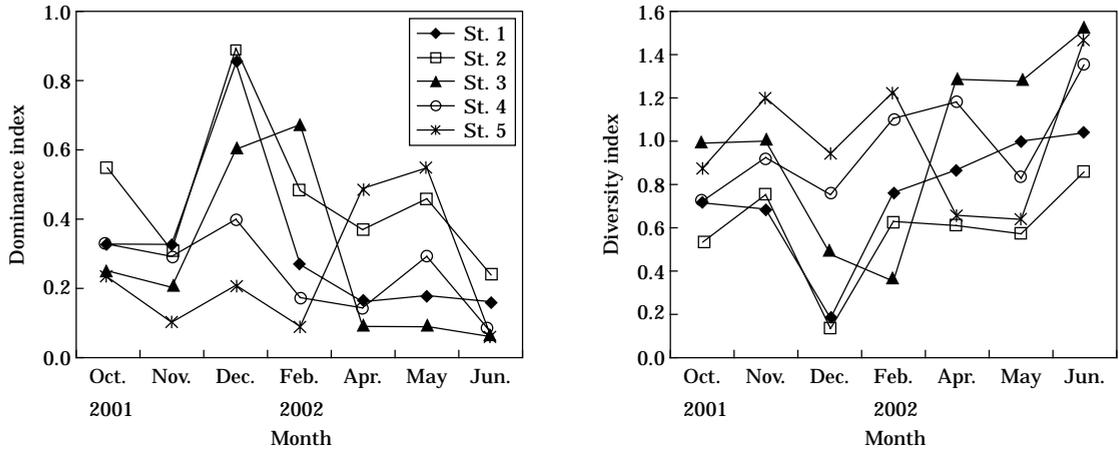


Fig. 5. Dominance index and diversity index of phytoplankton communities in the Shihwa constructed wetland.

증가하였다 (Fig. 4).

본 조사에서 우점종은 Table 2와 같이 2001년 10월에는 유글레나강의 *Euglena oblonga* 규조강의 *Cyclotella meneghiniana*, 녹조강의 *Pandorina morum* 그리고 남조강의 *Lyngbya angusta* 등 다양한 종이 우점을 하였다. 수온이 10°C 이하로 낮아지는 11월에 우점종은 유글레나강과 녹조강에서 규조강인 *Cyclotella meneghiniana*, *Nitzschia acicularis*와 *Nitzschia palea*로 변화되었다. 12월에 정점 1~3에서 황갈색조강의 *Synura spinosa*가 77.1~94.4%의 높은 비로 우점하였다. 수온이 낮은 2월에 수표면이 결빙되어 있는 정점 1, 2와 5에서는 *Synura spinosa*의 현존량이 급감한 반면에 규조강의 *Stephanodiscus hantzschii*와 *Nitzschia palea*가 우점종으로 출현하였다. 수온의 증가 등 수계의 물리적 조건이 변화되는 4월에 정점 1에서 녹조강의 *Monoraphidium contortum*이 우점종으로 조사되었으며 다른 정점들에서는 남조류와 규조류의 종들이 우점하였다. 5월에는 정점 1과 3에서는 *C. meneghiniana*가, 정점 2에서는 남조류의 *Lyngbya angusta*, 정점 4에서 녹조류인 *Ulothrix subconstricta*가 우점하였다. 6월에 정점 1에서 황갈색조강 중에 크기가 매우 작은 *Ochromonas elegans*가, 정점 3에서는 *S. spinosa*가 우점을 하였고 다른 정점에서는 규조강의 *N. palea*가 우점종으로 조사되었다 (Table 2).

인공습지내의 각 정점에서 식물플랑크톤 군집의 우점도는 0.06~0.89까지의 범위로서 전체적으로 낮았다. 이것은 각 정점에 따라 다양한 수 환경을 형성하고 있었으나 식물플랑크톤의 많은 분류군이 출현한 것에 기인한다. 정점 1에서는 2001년 10월부터 2002년 6월까지 0.16~0.85의 범위로 변화되었다. 본 정점에서 우점종으

로 출현한 *Euglena oblonga*가 10월 51.7%를 차지하였으나 단지 출현 분류군이 많았음을 의미한다. 그러나 12월에는 *Synura spinosa*가 92.2%의 높은 현존량을 나타냄으로서 우점도는 0.85로 높아졌다. 이 후에는 우점종이 50% 이상을 차지하는 종이 없기 때문에 우점도가 전반적으로 낮았다. 정점 2와 3에서도 *Synura spinosa*가 우점종으로 출현한 12월에 0.89, 0.60 등으로 증가하였다 (Fig. 5).

Shannon-Weaver 다양도 지수에 의한 인공습지의 식물플랑크톤 다양도는 0.13~1.51의 범위를 나타내었다. *Synura spinosa*가 우점종으로 출현한 시기에는 전반적으로 가장 낮은 다양도를 나타내었다. 또한 인공습지 내에 담수가 시작된 2001년부터 2002년 4월까지 다양도가 전체적으로 낮은 반면에 2002년 5월부터는 다양도가 높았다. 이것은 2001년 10월부터 담수가 되고 수계가 안정화 되면서 수계내의 물리화학적 환경요인에 적응한 식물플랑크톤의 분류군들이 번성을 한 반면에 5월에는 강우에 의한 많은 유입수가 습지내의 물리화학적 환경을 변화시켰을 뿐만 아니라 수계에 번성하던 식물플랑크톤이 유출수에 의해 교란됨으로서 수화 유발 종이 집중적으로 번성을 하지 못한 결과이다 (Fig. 5).

고 찰

수질의 관리 목적은 생물의 생육에 영향을 미치지 않으며 다양성을 유지시킬 수 있는 영양상태를 회복시키고 유지시키기 위한 것이다. 이것은 영양염 부하-영양적 반응 관계에 따라 적정 수준의 총인과 총질소의 농도를 저

감시하고 유지시킴으로 성취할 수 있다. 수질의 관리는 전적으로 과학적 및 기술적으로만 해결될 수는 없다. 즉, 경제적, 법적 및 정치적인 사고가 이들 문제를 해결할 수 있는 더욱 중요한 부분을 차지한다(OECD, 1979).

가속화되는 인위적 부영양화와 환경악화는 경제활동의 증가에 의한 영양염의 과부하로부터 온 결과이다. 수계의 가속화되고 바람직하지 않는 부영양화를 관리하는 것은 회복적 및 예방적인 영양염 부하 관리 기준을 위한 재정적 지원을 하는 것이다. 부영양화의 효과적 관리를 위해, 오염원의 배출유역을 하나의 단위로 설정하고 해당 수계보다도 상류에 위치하는 오염원 배출유역의 영양염 관리 기준을 관리함으로써 실제적인 수질 향상을 기대할 수 있다(Wetzel, 1983).

조류를 대발생을 일으키는 요인은 보편적으로 질소와 인으로 추정할 수 있다. 무기인의 농도가 $10 \mu\text{g L}^{-1}$ 이상의 농도일 때 유해성 조류의 대발생이 일어난다. 또한 질소도 $300 \mu\text{g L}^{-1}$ 이상일 때 인과 함께 조류의 생산성 증가를 유발한다. 농업배수는 평균질소와 인의 비가 18정도이며 하수는 더 많은 양의 인을 공급 한다(Haper and Stewat, 1987).

본 연구 조사 수역의 원수인 반월천, 동화천 및 삼화천은 농업, 공업, 축산 및 생활하수로서 총질소와 총인의 비는 평균 25.5 ± 13.2 ($n = 35$)이며 총질소나 총인의 농도는 부영양 수질 기준의 수배에 달하고 있다. TN/TP 비와 엽록소 *a* 농도와의 관계를 통해 조류 성장 제한 요소에서 $\text{TN/TP} < 10$ 및 $< 20 \text{ chl-}a \mu\text{g L}^{-1}$ 일 때 질소가 제한요인이었으며 $\text{TN/TP} > 17$ 및 $< 20 \text{ chl-}a \mu\text{g L}^{-1}$ 일 때 인이 제한요소로 작용한다(Chapra, 1979). 인공습지의 TN/TP 비는 전체 10.1~42.3의 범위이며 10월에는 정점 1과 3에서 그리고 11월에는 정점 2, 3과 5에서 인이 제한요인으로 작용하는 것으로 조사되었다. 이 외의 정점에서는 전자의 조건에 부합되는 조건은 없으며 두 요인이 조류 성장에 대해 제한요인으로 작용하지 않을 정도로 풍부한 것으로 사료된다. 이와 같은 높은 농도의 총질소와 총인의 농도는 물리적 환경요인의 영향을 받아 계절에 따라 우점종이 변화되며 수화를 유발시킨다.

호수, 저수지 그리고 연못 등에서 생육하는 식물플랑크톤의 계절적 천이는 불규칙적인 물리적 변동에 의해 교란될 수 있더라도, 군집의 변화 경향에 대한 예측이 가능하고 방향성이 있는 것으로 보고하고 있다(Sommer *et al.*, 1986). 온대 담수호에서 여름에 비해 상대적으로 일조시간이 짧고 수온이 낮은 봄과 가을에 규조류가 우점하고, 여름으로 갈수록 남조류의 생물량이 증가하는 것이 일반적인 현상이다(Sommer *et al.*, 1986). 본 연구에서 조

사된 식물플랑크톤 군집의 동태는 일반적으로 알려져 있는 호수, 저수지 등의 식물플랑크톤 군집구조 및 동태와는 차이를 나타내었다. 보편적으로 봄과 가을에 규조류의 종들이 우세를 나타내지만 본 조사에서는 각 정점에 따라 차이가 있지만 남조류, 남조류, 유글레나류와 규조류 등이 동시에 우점을 나타내었다. 또한 여름에는 남조류 등으로부터 남조류로 변화되는 것으로 알려져 있으나 인공습지의 개방수역에서는 규조류가 우점을 나타내었다. 이와 같이 본 조사 수역에서는 일반적인 변화 경향과는 매우 다른 동태를 나타냄으로서 예측과 방향을 알 수 없는 혼란스러운 군집을 이루고 있었다.

특히 인공습지가 조성된 개방수역에서 10월에 정점 1, 3과 4에서 *Euglena*속이 우점을 나타내며 물꽃현상을 발생시켰고 11월과 12월에는 정점 1에서 *Synura*속이 대발생하였다. 본 속들이 물꽃현상을 일으킨 12월에 정점 1과 3에서 인이 제한요인으로 작용했지만 *Euglena*속은 질소의 농도가 높은 정점에서 수화를 일으켰다. 그러므로 유글레나류는 수온이 낮은 겨울과 초봄 등 계절에 관계없이 부영양 수계에 출현하며 특히 유, 무기 질소가 풍부한 부영양 수계에서 물꽃현상을 유발한다(Takahashi, 1966; Munawar, 1972). 11월과 12월에 정점 1에서 대발생을 한 *Synura*속은 보편적으로 약산성의 호수에서 수온이 낮은 계절에 많이 출현하지만(Takahashi, 1966) 본 조사 정점에 생육하는 *Synura spinosa*는 수온이 낮은 계절에 pH 6.5~8.5의 조건의 부영양 수계에서 출현하였다. 일반적으로 부영양화된 호수나 하천에서 수온이 20°C 이상일 때 물꽃현상을 유발시키는 것으로 알려진 남조류의 *Microcystis*속과 *Anabaena*속 등은 N/P비가 낮고 수온이 높은 여름에 효율적 생장을 나타내며 수화를 유발한다(Reynolds and Walsby, 1975; Reynolds, 1984). 그러나 본 조사 수역은 담수가 된지 얼마 되지 않았고 조사 시기에는 계절적으로 남조류의 물꽃현상이 유발될 정도로 수온이 높지 않았기 때문으로 추정된다.

본 조사에서 인공습지를 관류하는 수질의 변화와 함께 식물플랑크톤 군집의 종조성, 현존량 및 엽록소 농도 등이 뚜렷한 변화를 나타내었다. 이와 같은 결과는 유입 정점과 인공습지의 갈대습지를 관류하면서 영양염류인 총인 및 총질소 등의 저감 효과에 따른 영향으로 사료된다.

적 요

인공습지를 이용한 오염수 처리를 위해 조성된 시화 인공습지의 개방수 정점에서 식물플랑크톤과 갈대 조성

지의 정점에서 갈대 부착 조류 군집의 동태에 대한 연구를 위해 5개의 정점을 선정하여 2001년 10월부터 2002년 6월까지 조사를 실시하였다. 반월천으로부터 유입된 오염수는 정점 1을 통해 갈대군락을 관류하면서 정점 2에서 저감 효과를 나타내었다. 총인/총질소 비는 모든 정점에서 16 이상을 약간 상회하였다. 본 수계는 인이 제한 영양염으로 작용하는 것으로 나타났다. 식물플랑크톤은 총 413종류로서 375종, 21변종, 2품종 및 15미동정이었다. 현존량은 330~36,420 cells mL⁻¹의 범위로 정점 5에서 최저였고 정점 1에서 최대였다. 현존량은 정점 1과 2, 정점 3과 4를 관류하면서 영양염류와 같이 감소되는 경향을 나타내었다. 엽록소 농도는 2.5~170.7 µg L⁻¹의 범위로 정점 1에서 최대였고 정점 5에서 최저였다. 엽록소 농도 역시 유입수부터 습지 관류후의 정점에서 뚜렷한 차이를 나타내었다. 우점종은 *Euglena oblonga*, *Synura spinosa* 등 14종류였으며 정점 1과 2에서는 부영양수역에서 출현율이 높은 종으로 구성되어 있다. 하천수가 유입되는 개방수역과 인공습지를 관류한 이후의 개방수역의 식물플랑크톤 군집은 뚜렷한 차이를 나타내었다. 이것은 습지를 관류하면서 물리화학적 환경변화에 따른 영향으로 사료된다.

사 사

“이 논문은 2005년도 대전대학교 학술연구지원비에 의한 것임.”

인 용 문 헌

- Adamus, P.R. and L.T. Stockwell. 1983. A method for wetland functional assessment: VII. 1. Critical review and evaluation concepts. US Dept. Transportation, Federal Highway Administration. Report FHWA IP: 82-83.
- Aizaki, M. 1980. Changes standing crop and photosynthetic rate attendant on the film development of periphyton in a shallow eutrophic river. *Jpn. J. Limnol.* **41**: 225-234.
- APHA. 1992. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 18th. Ed., American Public Health Association. Washington, DC.
- Braakhekke, W.G. and M. Marchand. 1987. *Wetlands: The community's wealth*. European Environment Bureau. Brussels. 24.
- Chapra, S.C. 1979. Applying phosphorus model for the Great Lakes. *J. Environ. Eng. Div. ASCE.* **103**: 147-161.
- Ghosh, D. and S. Sen. 1987. Ecological history of Calcutta's wetland conversion. *Environ. Conservation* **14**: 219-226.
- Haper, D.M. and W.D.P. Stewart. 1987. The effects of land use upon water chemistry, particularly nutrient enrichment, in shallow lowland lakes: comparative studies of three lochs in Scotland. *Hydrobiol.* **148**: 211-229.
- Hendey, N.I. 1979. The permanganate method for cleaning freshly gathered diatoms. *Microscopy* **32**: 423-426.
- Heyman, J.R. 1988. *Self-Financed Re-source Management: A direct approach to maintaining marine biological diversity*, Paper presented at workshop on economics, IUCN General assembly, 4-5 Feb. 1988, Costa Rica, 234-235.
- Horn, A.J. and C.R. Goldman. 1994. *Limnology*, McGraw-Hill, Inc., New York.
- Hwang, G.S., B.C. Kim, H.S. Kim and M.S. Jun. 2000. Water quality improvement by natural wetland. *Kor. J. Limnol.* **33**: 295-303.
- Jun, M.S., Y. Watanabe and B.C. Kim. 1998. The effects of dilution rate and temperature on phytoplankton growth in stream water. *Kor. J. Limnol.* **31**: 328-336.
- Kadlec, R.H. and R.L. Knight. 1996. *Treatment wetlands*, Lewis Publishers, Boca Raton, 893pp.
- KOWACO. 2001. *Monitoring in the Shihwa Constructed Wetland Project*. Korea Water Resources Corporation, 160pp.
- KOWACO. 2002. *Study on Operation and Management of Shihwa Constructed Wetland Project*. Korea Water Resources Corporation, 550pp.
- Munawar, M. 1972. Ecological studies of Euglenine in certain polluted and unpolluted environments. *Hydrobiol.* **39**: 307-320.
- OECD. 1979. *Eutrophication of Waters. Monitoring, Assessment and Control*. OECD Publ., 153pp.
- Reynolds, C.S. 1984. *The ecology of freshwater phytoplankton*. Cambridge Univ. Press. 384pp.
- Reynolds, C.S. and A.E. Walsby. 1975. Water-Blooms. *Biol. Rev.* **50**: 437-481.
- Shannon, C.E. and W. Weaver. 1963. *The Mathematical theory of communication*. Illinois Univ. Press, Urbana, 177pp.
- Shimpson, E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* **163**: 1-688.
- Sommer, U., Z.M. Gliwicz, W. Lampert and A. Duncan. 1986. The PEG-model of seasonal succession of plank-

tonic events in fresh waters. *Arch. Hydrobiol.* **106**: 433–471

Takahashi, E. 1966. Studies on General *Mallomonas*, *Synura* and other plankton in Freshwater with the Electron Microscope VI. Morphological and ecological observations on genus *Synura* in ponds and lakes in Yamagata

Prefecture. *Bull. Yamagata Univ. Agr. Sci.* **5**: 99–118
Wetzel, R.G. 1983. *Limnology*, Saunders Coll. Publ., New York, 767.

(Manuscript received 5 August 2005,
Revision accepted 6 September 2005)