

낙동강의 식물플랑크톤 군집의 계절 변화

이정호 · 권정남 · 양상용¹

(대구대학교 생물교육과, ¹국립환경연구원 낙동강물환경연구소)

Seasonal Variation of Phytoplankton Community in the Naktong River

Jung Ho Lee, Jung Nam Kwon and Sang Yong Yang¹

Department of Biology Education, Daegu University, Kyungbuk 712-714 and

¹Nakdong River Water Environment Laboratory, National Institute of Environmental Research, Daegu 702-170, Korea

A seasonal variation of phytoplankton community in the Naktong River was studied in seven sampling stations at monthly intervals from April 2000 to March 2001. Environmental factors such as conductivity, total phosphorus, total nitrogen and BOD were much higher at a lower reaches than the upper reaches. Especially, they rapidly increased at the st. 4 located near the discharge of the Kumho River. Total 239 taxa observed in the study were classified into 201 species, 22 varieties, 2 forma, 1 morphotype and 13 unidentified species belonging to 102 genera, 39 families, 17 orders and 8 classes. The phytoplankton standing crops were recorded a maximum of 33,389 cells · ml⁻¹ at the st. 7 in June and a minimum of 139 cells · ml⁻¹ at the st. 1 in September. The correlations between averages of the phytoplankton standing crops and some of environmental factors were investigated at each sampling station. The coefficients of correlation between average of the phytoplankton standing crops and BOD, T-N and T-P were 0.61, 0.45 and 0.47, respectively. In general the dominant species were *Achnanthes minutissima* Kütz., *Nitzschia fonticola* Grun., *Navicula cryptotenella* Lange-B in the upper reaches, *Microcystis aeruginosa* (Kütz.) Kütz. and *Stephanodiscus hantzschii* Grun. in the lower reaches.

Key Words: environmental factors, *Microcystis*, Naktong River, phytoplankton

서 론

식물플랑크톤은 수중생태계의 기초가 되는 1차생산자로서, 전체 생태계의 구조 변화 및 발전 방향을 결정지을 뿐만 아니라, 수질 환경 변화에도 민감하게 반응하여, 어떤 단일 생물군보다도 수환경 변화의 지표성에 있어 중요하게 활용되고 있다(Canter-Lund and Lund 1996). 그러므로 특정 수역의 현재는 물론 장래의 수환경 변화 양상을 파악하기 위해서는 당연히 식물플랑크톤의 면밀한 조사는 요구되지 않을 수 없으며, 낙동강과 같은 중요한 수자원의 경우에는 장기적 생태계 보전 및 수질 변화의 원활한 관리를 위해서는 식물플랑크톤의 조사는 더욱 그 중요도가 강조된다.

특히 부산광역시를 비롯한 영남지역의 생활용수 및 농공업용수의 취수원인 낙동강은 1992년 이후 매년 하절기에는 *Microcystis aeruginosa*를 중심으로한 남조류 수화 발생과, 또 동절기에는 규조류인 *Stephanodiscus*속과 *Aulacoseira*속의 대발생으로 인해 정수처리를 비롯한 각종 수자원 이용에 극심한 장애를 겪고 있다(최 등 2002). 따라서 낙동강의 식물플랑크톤을 중심으로한 전체 생태계의 구조와 균형에 대한 거시적인 조사는 효율적 수질관리의 목적을 달성하기 위해 필수적인 과정이 아닐 수 없다. 그러나 그와 같은 생태적 중요성에도 불구하고 낙동강의 식물플랑크톤에 관한 연구는 대부분이 하구역에 편중되어 이루어졌으며(Kim and Lee 1991; Cho et al. 1993; Lee et al. 1994; 신 등 1996; 박 등 1999; 최 등 2002), 본류 전체에 대한 연구는 부착규조에 관한 이 (1998)의 보고가 있을 뿐 식물플랑크톤 전체에 대한 연구로는 본 연구가 처음인 실정이다. 따라서 본 연구는 식

*Corresponding author (jungho@taegu.ac.kr)

Table 1. Comparison of the average of some environmental factors at seven stations between the year 1995 and 2000.

Factors	Year	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4	St. 5	St. 6	St. 7
BOD ($\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$)	1995	1.1	2.0	2.9	8.2	-	4.2	4.1
	2000	1.0	1.2	2.3	4.2	3.0	4.1	2.9
Conductivity ($\mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$)	1995	189	201	275	810	-	387	365
	2000	272	191	258	487	343	347	345

- 정점 2: 경상북도 상주시 사벌면 퇴강리(상풍교)
 정점 3: 경상북도 칠곡군 왜관읍 왜관리(왜관교)
 정점 4: 경상북도 고령군 성산면 삼대리(고령교)
 정점 5: 경상남도 창원군 남지읍 남지리(남지교)
 정점 6: 경상남도 창원시 하남읍 수산리(수산교)
 정점 7: 경상남도 양산시 물금읍 물금리(물금취수장)

시료의 채집은 2000년 4월부터 2001년 3월까지 매월 1회 실시하였다.

식물플랑크톤의 현존량 계수 등을 위한 정량조사 시료는 1 l용 플라스틱 채수병으로 수심 10-20 cm 범위에서 채집하여 Lugol's solution 또는 5% formalin으로 고정하여 사용했으며, 분류와 동정을 위한 정성조사 시료는 정량시료의 농축액과 NXXX 25 plankton net로 채수한 시료를 함께 사용하였다.

현존량 산정을 위하여 1 l의 정량시료를 48-72시간 침전시켜 상등액을 제거하여 적정량으로 농축한 뒤, 농축한 시료를 잘 혼합한 후 1 ml를 취해 Sedgwick-Rafter Chamber를 사용하여 Schoen(1988)의 방법으로 계수하였다.

식물플랑크톤은 Shannon-Weaver(1963)의 다양도 지수, Simpson(1949)의 우점도 지수, 그리고 Pielous(1966)의 균등도 지수를 산출하여 분석하였다.

환경요인 중 수온과 pH, DO, 전기전도도는 현장 수질측정기인 Quanta multiprobe(HYDROLAB)로 현장에서 측정하였으며, T-P와 T-N, chl-a, BOD 등은 수질오염 공정시험방법(환경부 1996)에 준하여 측정하였다. 또한 조사된 전기전도도와 BOD는 1995년의 총 등의 보고와 비교하여 낙동강의 수질변화를 고찰하였다.

결 과

환경요인

전기전도도는 2000년 4월에 정점 4에서 $747 \mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$ 로 가장 높게 나타났고, 2000년 9월에 정점 5에서 $101 \mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$ 로 가장 낮게 조사되었으며, 특히 정점 4에서 급격히 높아지는 양상을 보였다. BOD는 2000년 4월에 정점 4에서 $7.8 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 최고치를, 2000년 8월에 정점 2에서 $0.7 \text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 최저치

Fig. 1. Map showing sampling stations in the Naktong River.

물플랑크톤 군집의 년중 종구성과 출현도의 변화를 조사하여 낙동강 본류의 장기적 수환경 변화의 모니터링에 있어 비교 기초자료로 활용하고자 수행되었다.

재료 및 방법

낙동강은 총 유로연장이 525 km인 우리나라 최장 하천으로서, 특히 유역면적이 $23,895 \text{km}^2$ 에 달해 우리나라 전 국토의 24.1%를 차지하고 있다(한국수자원공사, 1996). 낙동강 유역에는 약 1천2백만의 인구와 함께 구미시와 대구시 등 수많은 도시가 형성되어 있을 뿐만 아니라 구미공단 등 각종 산업단지가 집중되어 있어 수질오염에 매우 취약한 실정이다(이 1998).

본 조사에서는 Fig. 1과 같이 낙동강의 상류에서 하류까지 본류 내 총 7개 조사 정점을 설정하여 조사하였으며, 각 정점이 위치한 행정지역명은 다음과 같다.

정점 1: 경상북도 봉화군 명호면 북곡리(청량교)

Fig. 2. Average of the environmental factors at seven stations in the Naktong River.

를 나타내었다(Table 1). T-N은 2001년 1월에 정점 4에서 $8.130 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 최고치를, 2001년 2월에 정점 2에서 $0.833 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 최저치를 나타내었다. T-P는 2000년 7월에 정점 7에서 $0.318 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 최고치, 2001년 1월에 정점 1에서 $0.004 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 최저치를 나타내었으며, 상류에서 하류로 갈수록 대체적으로 증가하는 양상을 보였다(Fig. 2). 금호강 유입 직후 지점인 정점 4에서 전기전도도와 BOD, T-N, T-P의 년중 평균값이 다른 정점에 비해 훨씬 높은 수치로 조사되었다(Fig. 2).

Fig. 3. Composition rate of Bacillariophyceae, Chlorophyceae and Cyanophyceae.

Fig. 4. Total number of species at seven stations in the Naktong River.

식물플랑크톤 군집 구조

출현종: 본 조사에서 출현한 식물플랑크톤은 총 239 taxa로서 8강 17목 2아목 39과 102속 201종 22변종 2품종 1 morphotype 및 13미동정종으로 분류되었다. 전 정점에서 강별 년중 구성비는 규조강이 49.2%, 녹조강 23.1%, 남조강 20.3%, 와편모조강 등 기타가 7.4%였다.

2000년 11월에서 2001년 3월까지의 규조류가, 2000년 5월에는 녹조류가, 2000년 6월과 8월에는 남조류가 다른 조류에 비하여 상대적으로 높은 구성비를 보였다(Fig. 3).

시기별 정점별 종수의 변화는 2000년 6월에 정점 6에서 106 taxa로 가장 많았고, 2000년 12월에 정점 1에서 17 taxa로 가장 낮게 나타났다. 월별 평균 출현종수는 2000년 7월에 82 taxa로 가장 높게 나타났고, 대체적으로 하계에 출현종수가 증가되는 경향을 볼 수 있었다(Fig. 4).

Fig. 5. Average of diversity index and dominant index in the Nakdong River.

Fig. 6. Seasonal variation of standing crops of phytoplankton at seven stations of the Nakdong River.

시기별 종다양도지수는 상류에서 하류로 갈수록 그 값이 대체로 감소하고, 우점도지수는 증가하는 경향을 나타내었다. 월별 평균 종다양도지수는 2000년 7월에 1.280으로 최대치를, 2001년 1월에 0.622로 최저치를 나타내고, 월별 평균 우점도지수는 2001년 1월에 0.449로 최대치를, 2000년 7월에 0.086으로 최저치를 나타내었다(Fig. 5).

현존량 및 우점종 변화: 시기별 정점별 현존량은 2000년 6월에 정점 7에서 33,389 cells·ml⁻¹로 가장 높았으며, 2000년 9월에 정점 1에서 139 cells·ml⁻¹로 가장 낮게 나타났다. 월별 평균 현존량은 고수온기가 시작되는 2000년 5월에 급격히 증가하기 시작하여 6월에 15,838 cells·ml⁻¹로 최대치를 보였으며, 2000년 12월에 1,741 cells·ml⁻¹로 최소치를 나타내었다(Fig. 6). 년중 정점별 평균 현존량은 상류인 정점 1에서 하류인 정점 7로 갈수록 증가하였다.

년중 정점별 평균 식물플랑크톤 현존량과 T-N 및 T-P의

Fig. 7. Changes of standing crops of *Microcystis* at station 7.

변화와의 상관성 조사의 결과 상관계수 R²값이 각각 0.45와 0.47로 비교적 낮은 상관성을 가지는 것으로 조사되었다.

국내 수계에서 남조류 수화의 대표적 원인 조류인 *Microcystis* 속의 경우, 본 조사기간 중 낙동강의 표층수온이 20°C가 넘기 시작하는 때인 2000년 5월에 하류역인 정점 6과 정점 7에서 처음 출현하기 시작하였다(Fig. 7).

정점별 우점종의 변화는 최상류역인 정점 1과 정점 2에서는 *Achnanthes minutissima*와 *Nitzschia fonticola*, *Navicula cryptotenella* 등의 규조강의 종들이 모든 계절의 우점종으로 조사되었다(Table 2). 정점 3에서는 2000년 5월과 9월에 *Dictyosphaerium pulchellum*, 2001년 1월부터 3월까지의 *Navicula cryptotenella*가 우점하였다(Table 2).

금호강 유입 직후인 정점 4에서는 년중 규조강과 남조강, 녹조강이 혼재하여 번갈아 우점을 이루는 양상을 보였는데, 2000년 9월과 10월에는 녹조강인 *Eudorina elegans*가 우점종으로 조사되었으며, 여름철인 2000년 8월에는 *Microcystis ichthyoblabe*가, 그리고 겨울철인 2001년 1월과 2월에는 *Stephanodiscus hantzschii*가 우점하는 것으로 나타났다(Table 2).

고 찰

본 조사에서 낙동강의 수질은 금호강 유입 직후 지점인 정점 4부터 급격히 오염도가 높아지는 것으로 조사되었다. 특히 정점 4는 전 조사기간에 걸쳐 전기전도도와 BOD, T-N, T-P치가 타 정점들에 비해 훨씬 높은 수치를 나타내었는데, 이는 대구시와 영천시 등 인구밀집 지역과 여러 공단을 관류하여 각종 하폐수의 대량 유입으로 오염 정도가 심한 금호강의 합류에 의한 결과로 유추된다(송 등 1995; 이 1998; 낙동강수질검사소 2000). 그러나 이와 같은 오염상황은 본 조사와 유사한 정점들에서 조사된 지난 1995년의 송 등

Table 2. Dominant species and standing crops of phytoplankton at seven stations in the Naktong River.

Station	Date		Dominant species	Standing crops (cells · ml ⁻¹)	Station	Date		Dominant species	Standing crops (cells · ml ⁻¹)
St. 1	2000	4	<i>Achnanthes minutissima</i>	1,728	St. 5	2000	4	<i>Scenedesmus opoliensis</i> var. <i>mononensis</i>	1,826
		5	<i>Achnanthes minutissima</i>	2,445			5	<i>Monoraphidium contortum</i>	1,523
		6	<i>Achnanthes minutissima</i>	1,410			6	<i>Aulacoseira ambigua</i>	3,313
		7	<i>Achnanthes minutissima</i>	913			7	<i>Eudorina elegans</i>	1,261
		8	<i>Cymbella affinis</i>	470			8	<i>Microcystis ichthyoblabe</i>	1,802
		9	<i>Achnanthes minutissima</i>	37			9	<i>Eudorina elegans</i>	1,450
	2001	2001	10	<i>Achnanthes minutissima</i>		539	10	<i>Eudorina elegans</i>	1,513
			11	<i>Aulacoseira granulata</i>		381	11	<i>Asterionella formosa</i>	1,617
			12	<i>Achnanthes minutissima</i>		680	12	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	1,170
			1	<i>Achnanthes minutissima</i>		226	1	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	1,122
			2	<i>Achnanthes minutissima</i>		854	2	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	4,452
			3	<i>Achnanthes minutissima</i>		956	3	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	8,029
St. 2	2000	4	<i>Encyonema silesiaca</i>	972	St. 6	2000	4	<i>Scenedesmus opoliensis</i> var. <i>mononensis</i>	1,048
		5	<i>Nitzschia fonticola</i>	4,564			5	<i>Monoraphidium contortum</i>	1,770
		6	<i>Encyonema silesiaca</i>	789			6	<i>Aulacoseira ambigua</i>	2,941
		7	<i>Nitzschia frustulum</i>	1,894			7	<i>Actinastrum fluviatile</i>	2,387
		8	<i>Nitzschia fonticola</i>	166			8	<i>Microcystis aeruginosa</i>	3,244
		9	<i>Nitzschia fonticola</i>	38			9	<i>Eudorina elegans</i>	1,760
	2001	2001	10	<i>Aulacoseira granulata</i>		1,198	10	<i>Ulothrix subtilissima</i>	1,450
			11	<i>Asterionella formosa</i>		479	11	<i>Asterionella formosa</i>	2,247
			12	<i>Navicula cryptotenella</i>		64	12	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	1,635
			1	<i>Navicula cryptotenella</i>		381	1	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	13,101
			2	<i>Encyonema silesiaca</i>		822	2	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	6,926
			3	<i>Navicula cryptotenella</i>		688	3	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	9,219
St. 3	2000	4	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	1,110	St. 7	2000	4	<i>Scenedesmus opoliensis</i> var. <i>mononensis</i>	384
		5	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	11,302			5	<i>Cryptomonas ovata</i>	1,261
		6	<i>Merismopedia glauca</i>	2,067			6	<i>Microcystis aeruginosa</i>	22,730
		7	<i>Actinastrum hantzschii</i>	2,803			7	<i>Microcystis aeruginosa</i>	1,934
		8	<i>Ulothrix subtilissima</i>	425			8	<i>Microcystis aeruginosa</i>	4,686
		9	<i>Nitzschia fonticola</i>	130			9	<i>Eudorina elegans</i>	1,331
	2001	2001	10	<i>Pseudanabaena limnetica</i>		1,323	10	<i>Ulothrix subtilissima</i>	4,971
			11	<i>Asterionella formosa</i>		505	11	<i>Asterionella formosa</i>	2,853
			12	<i>Oscillatoria</i> sp.		1,348	12	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	964
			1	<i>Navicula cryptotenella</i>		249	1	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	13,791
			2	<i>Navicula cryptotenella</i>		244	2	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	13,181
			3	<i>Navicula cryptotenella</i>		1,277	3	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	14,292
St. 4	2000	4	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	3,181	St. 7	2000	4	<i>Scenedesmus opoliensis</i> var. <i>mononensis</i>	384
		5	<i>Monoraphidium contortum</i>	1,258			5	<i>Cryptomonas ovata</i>	1,261
		6	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	2,510			6	<i>Microcystis aeruginosa</i>	22,730
		7	<i>Actinastrum fluviatile</i>	1,433			7	<i>Microcystis aeruginosa</i>	1,934
		8	<i>Ulothrix subtilissima</i>	1,717			8	<i>Microcystis aeruginosa</i>	4,686
		9	<i>Eudorina elegans</i>	1,232			9	<i>Eudorina elegans</i>	1,331
	2001	2001	10	<i>Eudorina elegans</i>		1,750	10	<i>Ulothrix subtilissima</i>	4,971
			11	<i>Asterionella formosa</i>		616	11	<i>Asterionella formosa</i>	2,853
			12	<i>Navicula cryptotenella</i>		382	12	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	964
			1	<i>Navicula cryptotenella</i>		234	1	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	13,791
			2	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>		2,107	2	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	13,181
			3	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>		10,498	3	<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	14,292

(1995)의 보고와 비교하면 다소 변화된 결과로 볼 수 있다. 즉 현재의 낙동강의 정점별 평균 BOD와 전기전도도 등은 Table 1과 같이 조사치가 1995년에 비해 감소하는 추이를 보였다. 특히 금호강 유입 직후인 정점 4에서는 평균 BOD는 $8.2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 에서 $4.2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 로, 전기전도도는 평균 $810 \mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$ 에서 $487 \mu\text{s} \cdot \text{cm}^{-1}$ 로 비교적 크게 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 금호강 유역 일대의 환경기초시설의 확충에 기인한 것으로 추측된다(낙동강수질검사소 2000).

낙동강의 년중 식물플랑크톤 군집의 종구성은 주로 하절기에는 남조강의 종들이, 그리고 나머지 계절에는 규조강이 우점을 이루는 양상을 보여 일반적인 하천에서의 식물플랑크톤 종구성의 변화와 낙동강의 식물플랑크톤 군집 구성의 변화가 대체로 일치하였다(Hutchinson 1967; Fogg 1975; 심과 최 1978; 심 등 1991). 또한 최상류역인 정점 1과 정점 2에서는 *Achnanthes*속과 *Navicula*속 등의 규조종이 식물플랑크톤 군집의 주요 구성종이었다. 이들 종들이 모두 저서성 생태 특성을 가지는 점을 감안할 때 주로 수심이 얕은 강바닥과 그 주변의 피부착물에 서식하는 저서성 규조종들이 빠른 유속에 의해 탈리되어 부상된 결과로 인해 높은 출현도를 나타낸 것으로 사료된다.

고수온기 낙동강 하류의 식물플랑크톤 군집의 가장 대표적 우점종인 *Microcystis*속은 본 조사기간 중 표층수온이 20°C 가 넘기 시작하는 때인 2000년 5월에 하류역인 정점 6과 정점 7에서 처음 출현하기 시작하였으며, 이러한 출현 양상은 *Microcystis*속의 일반적 생육 양상과 일치하는 것이다(Park and Watanabe 1996; 이 1999). 본 조사에서는 낙동강의 하류 모든 정점에서 *Microcystis* 속의 출현은 질소와 인의 농도와 상관성이 낮은 것으로 조사되었다. 이 결과는 낙동강 수계에서 남조류 *Microcystis*의 분포와 개체군 변동에 대한 심과 조(1997)의 연구 등 낙동강에서의 *Microcystis*의 생태에 대한 기존의 보고와 상이한 것으로서 향후 이에 대한 연구가 필요한 것으로 사료된다.

낙동강의 BOD치는 년중 정점별 평균이 정점 4에서 $4.2 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 가장 높았고, 정점 1에서 $1 \text{ mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 로 가장 낮게 나타났는데, 정점별 평균 BOD치의 변화에 따른 식물플랑크톤 현존량의 변화의 상관성은 상관계수 R^2 이 0.61로 다소 높게 나타나 BOD의 증가에 따라 식물플랑크톤 현존량이 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 본 연구에서는 총인과 총질소의 농도 변화와 식물플랑크톤의 현존량 변화와의 상관성이 식물플랑크톤의 생태에 대한 일반적인 연구 결과들과는 판이하게 상관계수 0.5 이하로 비교적 낮게 나타났다(Horne and Goldman 1994; 허 등 1995; 조와 신 1997). 이러한 결과는 이미 최 등(2002)에 의해서도 보고된 바 있는 것으로서, 낙동강의 영양염 수준이 식물플랑크톤의 생육에 충분한

농도를 년중 유지하여 총인과 총질소의 농도의 증감에 식물플랑크톤의 생육이 민감하게 반응하지 않기 때문에 이해될 수 있다.

사 사

본 연구는 2001년도 대구대학교 학술연구비 지원과 국립환경연구원 낙동강물환경연구소의 지원에 의해 수행되었다. 논문 교정에 수고를 아끼지 않으신 익명의 심사위원들께 감사사를 드린다.

참고문헌

- 김우현, 최애란, 이진애. 1999. 낙동강 수계의 Microcystin 분포. *Algae* 14: 237-246.
- 낙동강수질검사소. 2000. 낙동강수질조사연구. 대구. 320 pp.
- 박흥기, 정종문, 박재립, 홍용기. 1999. 낙동강 하류에서 식물플랑크톤 생산력과 수질 변화와의 관계. *한국환경과학회지* 8: 101-106.
- 송승달, 류승원, 이종욱, 채병수, 조영호, 고재기, 이정호, 정재영. 1995. 낙동강생태보고서. 영남자연생태보존회. 대구. 506 pp.
- 신성교, 박청길, 이수용. 1996. 낙동강에서 chlorophyll-a와 BOD의 상관관계. *한국수질보존학회지* 12: 369-375.
- 신재기, 조경재. 1997. 낙동강 수계에서 남조류 *Microcystis*의 분포와 개체군 변동. *Algae* 12: 283-290.
- 심재형, 신윤근, 이원호. 1991. 만경강 하류의 환경과 식물플랑크톤 군집. *한국육수학회지* 24: 45-54.
- 심재형, 최중기. 1978. 한강하류에 있어서 부유성 조류군집의 구조 및 기능변화에 관한 연구. *한국해양학회지* 13: 31-41.
- 이정호. 1998. 낙동강의 부착규조와 유기오탁 지수(DAIPo). *한국육수학회지* 31: 38-44.
- 이정호. 1999. 대청호의 년중 식물플랑크톤 군집 동태. *한국육수학회지* 32: 358-366.
- 조경재, 신재기. 1997. 낙동강 중·하류에서 무기 N·P 영양염의 변동. *한국육수학회지* 30: 85-95.
- 최애란, 오희목, 이진애. 2002. 낙동강 하류 수계의 독성 *Microcystis* 생태 연구. *Algae* 17: 171-185.
- 한국수자원공사. 1996. 수자원 백서. 수자원연구소. 대전. 579 pp.
- 허우명, 김범철, 황길순, 최광순, 박원규. 1995. 낙동강 수계의 인, 질소 및 chl-a 농도 분포. *한국육수학회지* 28: 175-181.
- 환경부. 1996. 공정시험방법. 동화기술. 서울. 683 pp.
- Canter-Lund H. and Lund J.W.G. 1995. Freshwater algae - their microscopic world explored -. Biopress Ltd, Bristol. 360 pp.
- Cho K.J., Chung I.K. and Lee J.A. 1993. Seasonal dynamics of phytoplankton community in the Nakdong River estuary, Korea. *Kor. J. Phycol.* 8: 15-28.
- Fogg G.E., 1975. Algal cultures and phytoplankton ecology, 2nd ed. Univ. Wisconsin Press, London. 175 pp.
- 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. 2. John Wiley and Sons, Inc., New York. 115 pp.
- Kim J.W. and Lee H.Y. 1991. A study on phytoplankton com-

- munities in the reservoir of Naktong River estuary. *Kor. J. Limnol.* **23**: 143-151.
- Lee J.A., Cho K.J., Kwon O.S., Chung I.K. and Moon B.Y. 1994. Primary production of phytoplankton in Naktong estuarine ecosystem. *Kor. J. Limnol.* **27**: 69-78.
- Park H.D. and Watanabe M.F. 1996. Toxic *Microcystis* in eutrophic lakes. In: Watanabe M.F., Harada K., Carmichael W.W. and Fujita H. (eds), *Toxic Micorocystis*. CRS Press, Boca Raton. pp. 56-77.
- Pielou E.C. 1966. The measurement of diversity in different types of biology collection. *J. Theoretical Biol.* **13**: 131-144.
- Schoen S. 1988. Cell counting. In: Christopher S.L., David J.C. and Bruno P.K. (eds), *Experimental Phycology A Laboratory Manual*. Cambridge University Press, London. pp. 16-22.
- Shannon E. and Weaver W. 1963. The mathematical theory of communication. Illinois Univ. Press. London. 177 pp.
- Simpson E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature*. **163**: 1-688.
-

Accepted 8 November 2002