한국환경농학회지 제26권 제2호 (2007)
Korean Journal of Environmental Agriculture Vol. 26, No. 2, pp. 159-170

연구보문

낙동강하류의 식물플랑크톤상과 군집구조

최철만 · 김진호* · 김원일 · 이종식 · 정구복 · 이정택 · 문성기[1)]

농촌진흥청 농업과학기술원 환경생태과 [1)]경성대학교 이과대학 생물학과

(2007년 5월 7일 접수, 2007년 6월 15일 수리)

Phytoplankton Flora and Community Structure in the Lower Nakdong River

Chul-Mann Choi, Jin-Ho Kim*, Won-Il Kim, Jong-Sik Lee, Goo-Bok Jung, Jeong-Taek Lee, and Sung-Gi Moon[1)]
(Division of Environment and Ecology, National Institute of Agricultural Science & Technology, Rural Development Administration, Suwon, 441-707, Korea, [1)]Department of Biology, Kyungsung University, Busan, 608-736, Korea)

ABSTRACT: This study was focused on the investigation of the phytoplankton flora and community structure for changing of water environment at the rivers in the lower part of Nakdong river. The samples for this study were collected every month from Jan. 2004 To Dec. 2004. the 196 species belonged to 94 genera were identified during this study periods. The number of species was recorded the maximum 124 taxa in summer and the minimum 69 taxa in winter. We observed the maximum taxa (92 taxa) at the site No. 20 and the minimum taxa (55 taxa) at the site No. 8, respectively. Among the phytoplankton communities, diatoms were dominated over 40% of total phytoplankton groups. Subdominant groups were green algae (over 20% of total phytplankton groups). During this study periods, the 60 species were investigated ecologically significant species (46 cosmopolitic species, 25 pollution indicator, 21 redtide causative species, 8 dominant species, and 7 frequently occurred species). According to the cluster analysis by similarity index, the study sites could be divided into 4 groups.

Key Words: Phytplankton flora, Nakdong river, Community structure

서 론

수생태계에서 식물플랑크톤은 1차생산자로서, 먹이사슬의 기초를 이루는 중요한 구성원으로서 역할을 한다. 그러므로 어떤 수역의 생태적 특성을 이해하기 위해서는 식물플랑크톤의 군집구조와 기능을 파악하는 것이 우선적으로 이루어져야 한다[1)]. 최근 강의 하류에서 발생하는 부영양화나 수화(水華)는 강의 상류나 그 주변 유역에서 과다한 영양염 유입과 밀접한 관련이 있다[2-3)]. 또한 이는 인근 연안 해역까지 영향을 미쳐 해양 환경 보존에도 많은 지장을 초래하고 있다. 그러므로 우리나라 강을 대상으로 한 식물플랑크톤의 연구는 최근까지 활발하게 진행 중인데, Park 등[4)]의 금호강의 식물플랑크톤 군집구조, Shin[5)]은 섬강 상류의 식물플랑크톤상 연구, Kim 등[6)]과 Lee 등[7)]은 금강 수계에서의 군집구조, Kim 등[8)]은 만경강 상류에서의 군집구조와 동태, Lee 등[9)]과 Jeon 등[10)]은 낙동강에서의 식물플랑크톤 군집구조, Lee 등[11)]은 임진강에서 식물플랑크톤 군집의 계절변화, Kim[12)]은 한탄강에서 군집의 계절변화, Park 등[13)]의 섬진강 하구에서의 식물플랑크톤 종조성 등이 있다. 우리나라 4대강 중의 하나인 낙동강은 부산과 인근 경남의 주요 상수원이지만, 최근 수질악화로 인하여 심각한 문제에 직면하고 있다. 본 연구지역인 낙동강하류는 부산 신항 건설, 가덕-부산간 대교 건설, 명지대교 건설 등 현재에도 개발사업들이 진행중에 있어, 수계의 지형변화 및 수질 악화 등 수환경의 변화에 따른 식물플랑크톤상의 변화가 예상된다. 그러나 낙동강에서 식물플랑크톤을 대상으로 한 연구는 대부분 한 종에 대한 분포와 개체군 변동에 대한 연구[14-18)]나 생산력과 성장잠재력에 대한 연구[19-23)]로 낙동강하류 전체를 대상으로 식물플랑크톤상과 군집구조를 밝힌 연구는 많지 않다. 따라서 변화가 예상되는 낙동강 하류를 대상으로 식물플랑크톤상과 군집을 정확히 파악할 필요성이 요구되어 본 연구를 실시하게 되었으며, 또한 본 연구지역에서 선행 연

*연락저자:
Tel: +82-31-290-0221 Fax: +82-31-290-0205
E-mail: water@rda.go.kr

구자들의 연구와 비교, 검토함으로써 식물플랑크톤상의 변화 양상을 함께 파악하고자 하였다.

재료 및 방법

조사지역의 개요

낙동강은 우리나라 4대 강 중의 하나로서 강원도 태백시에서 발원하여 남해안으로 유입되며, 위치상으로는 동경 127° 29′~129° 18′, 북위 35° 03′~37° 13′에 위치하는 우리나라 제2의 수계이다. 낙동강유역 전체의 면적은 23.860 km^2이고 유로연장은 525.8 km로서, 1930년대 김해평야의 안정된 농업용수의 공급을 위해 대저수문과 녹산수문이 만들어지면서 농업용수 저수형의 강인 서낙동강과 낙동강본류로 나누어 흐르게 되었다. 또한 서낙동강 수계에는 유역면적 34.61 km^2, 유로연장 15.4 km로 시설재배농업에 중요한 역할을 하는 제1지류인 평강과 유역면적이 6.21 km^2, 유로연장 11.6 km의 제2지류인 맥도강이 있다.

조사방법

본 조사는 2004년 1월부터 2004년 12월까지 매월 1회 실시하였고, 조사지점은 낙동강 하류를 수계별로 나누어 낙동강 본류 4개 지점, 맥도강 1개 지점, 서낙동강 5개 지점, 평강 4개 지점, 하구 6개 지점으로 모두 20개 지점을 선정하여 실시하였다(Fig. 1).

식물플랑크톤 분석용 시료는 sampler로 5 l 채수, 10 ㎛ 체(sieve)로 걸러 최종 시료량이 20 ml가 되도록 농축하여 이용하였다. 종동정은 시료를 균일하게 섞은 후 DIC현미경(BX-50, Olympus)의 400~1,000배 하에서 Chung[24], Whitfort et al.[25], 廣賴 등[26], 水野[27], 根來[28], 山岸 등[29], Chung[30] 그리고 한강물환경연구소[31]를 참고로 실시하였다. 동정된 식물플랑크톤은 알파벳순으로 정리하였고 출현종 중 우점종, 출현빈번종, 광분포종, 적조원인종 등의 생태적 지표종을 선정하여 Engler's system[32]에 따라 정리하였다.

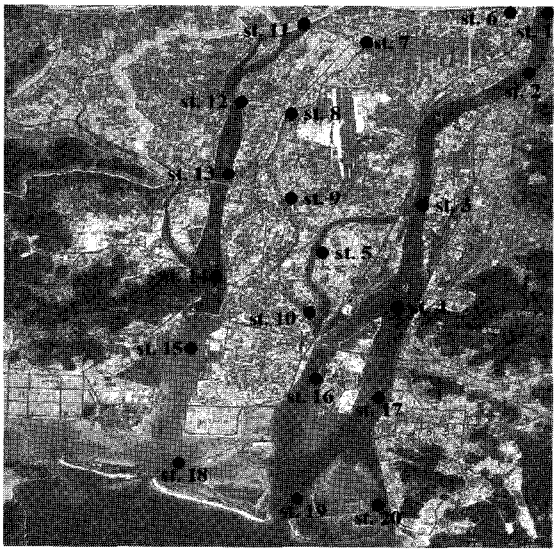

Fig. 1. Map showing the sampling sites in the lower Nakdong river.

군집분석

군집분석(cluster analysis)은 지점간 유사도지수[33]를 구한 다음 통계프로그램 SPSS ver. 12.0에서 실시하였다. 군집분석 방법은 군집 형성에 있어서 일반적으로 이용되는 Ward 의 방법[34,35]에 의하였고, 분류 방법에 사용된 거리의 기준 척도는 제곱 유클리디안 거리를 이용하였다.

결과 및 고찰

식물플랑크톤의 종조성

낙동강하류의 식물플랑크톤상을 조사한 결과 모두 94속 196분류군으로 조사되었는데(Appendix) Moon 등[36]이 보고한 76종, Lee 등[37]이 보고한 104종보다 많은 출현종수였다. 조사시기별로는 여름에 124분류군으로 가장 많은 종이 출현하였고, 봄 97분류군, 가을 73분류군, 겨울 69분류군의 순으로 조사되어 봄과 가을에 다양한 종이 출현한다는 일반적인 연구결과[38-40]와는 상이한 결과였지만 Kim[41,42]의 연구와는 유사한 결과를 보여 식물플랑크톤의 출현 양상은 계절별로 일정하지 않음을 간접적으로 알 수 있었다. 분류군별 출현비율은 모든 계절에서 규조류(bacillariophyceae)가 40% 이상으로 가장 높았고 다음으로는 녹조류(chlorophyceae)가 20% 이상, 남조류(cyanophyceae) 등의 순으로 조사되어 다른 연구결과[43,44]와도 동일한 결과였다. 계절별로는 봄의 경우 규조류가 가장 많은 59.8%, 녹조류 25.8%, 유글레나조류(euglenophyceae) 5.2%, 남조류 4.1%, 와편모조류(dinophyceae) 3.1%, 황색편모조류(chrysophyceae) 2.1% 순이었고, 여름에는 규조류 42.6%, 녹조류 34.4%, 남조류 10.7%, 와편모조류 6.6%, 유글레나조류 4.9%, 황색편모조류 2.5% 순이었으며, 가을에는 규조류 53.4%, 녹조류 26.0%, 남조류 13.7%, 와편모조류 2.7%, 유글레나조류 2.7%, 황색편모조류 1.4% 순으로 조사되어 여름과 가을에 여러 분류군 중 특히 남조류 및 와편모조류의 출현률이 높았음을 알 수 있었다. 겨울에는 규조류가 66.2%로 가장 높았고 녹조류 22.1%, 남조류 5.9%, 황색편모조류 2.9%, 유글레나조류 2.9% 순이었으며 와편모조류는 출현하지 않았다(Fig. 2).

조사기간 중 지점별 총 출현종수는 낙동강 하구의 지점 20에서 92분류군으로 가장 많았고 지점 8에서 55분류군으로 가장 적게 출현하였다. 각 지점별로는 여름의 지점 12에서 63분류군으로 가장 많은 출현종을, 가을의 지점 19와 20에서 14분류군으로 가장 적은 출현종수를 보였다(Fig. 3).

수계별로는 하구(지점 15~지점 20)에서 총 145분류군이 출현하여 종의 다양성이 가장 높았고, 서낙동강(지점 6, 지점 11~지점 14) 119분류군, 낙동강 본류(지점 1~지점 4) 101

분류군, 평강(지점 7~지점 10) 100분류군, 맥도강(지점 5)이 61분류군으로 가장 적은 출현종수를 보였다(Fig. 4). 다른 조사지역에 비해 특히 하구지역에서 종의 출현이 높은 이유로는 McLusky[45] 와 Nbakken[46]에서와 같이 하구둑 상부지역의 담수종들과 하구둑 근처의 기수역 출현종 그리고 해양성 종이 혼재하여 출현하고 있기 때문인 것으로 사료된다.

생태적 주요종

본 조사기간 동안 출현한 종 중 생태적으로 한가지 이상의 중요성을 지닌 생태적 주요종은 모두 60분류군이 조사되었다. 생태적 주요종 중 *Actinastrum hantzschii* var. *fluviatile*을 비롯한 46분류군이 광분포종으로 대부분의 생태적 지표를 나타내었고, 오수지표종은 *Ankistrodesmus falcatus*를 비롯하여 25분류군, 적조원인종은 *Aulacoseira garanulata* var. *angustissima* for. *spiralis*를 비롯하여 21분류군, 우점종으로는 *Aphanizomenon flos-aquae*를 비롯하여 8분류군, 출현빈번종은 *Asterionella formosa*를 비롯하여 7분류군이었다. 또한 5가지의 생태적 지표성을 모두 가진 종은 없었으나 4가지의 지표성을 가진 종은 *Actinastrum hantzschii* var. *fluviatile*, *Cyclotella meneghiniana*, *Microcystis aeruginosa*, *Synedra acus*로 4분류군이었고, 1가지의 생태적 지표성을 지닌 분류군은 대부분으로 31분류군으로 조사되었다. 본 조사에서 출현한 생태적 주요종들은 Choi 등[47]에서 언급한 44분류군 중 17분류군이 일치함을 보여 주요종의 보고에 있어 상당수가 유사함을 알 수 있었다. 또한 조사지점의 차이를 감안하여 연도별로 주요종의 출현을 볼 때, Cho 등[48]은 1983년~1989년까지 본 조사지역 중 한 지점인 구포에서 *Melosira, Fragilaria, Cyclotella, Nitzschia, Actinastrum* 등의 주요종이 계절별로 천이됨을 연구하였고, Lee 등[49]은 2000년~2001년에 본 조사지역에서 *Aulacoseira, Stephanodiscus, Dictosphaerium, Scenedesmus, Microcystis, Nitzschia, Actinastrum* 등이 우점하여 출현한다는 연구결과를 보여주었다. Kim[42]의 연

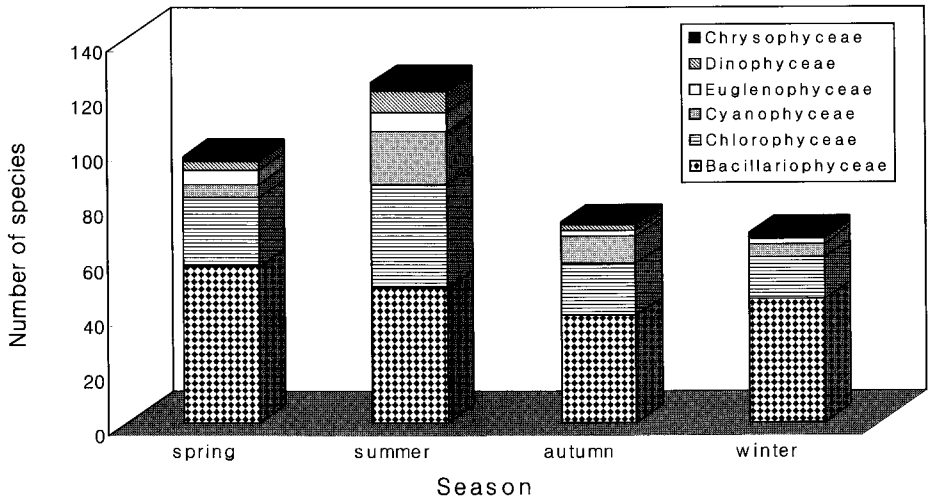

Fig. 2. Seasonal variation of the species number for the phytoplankton taxa.

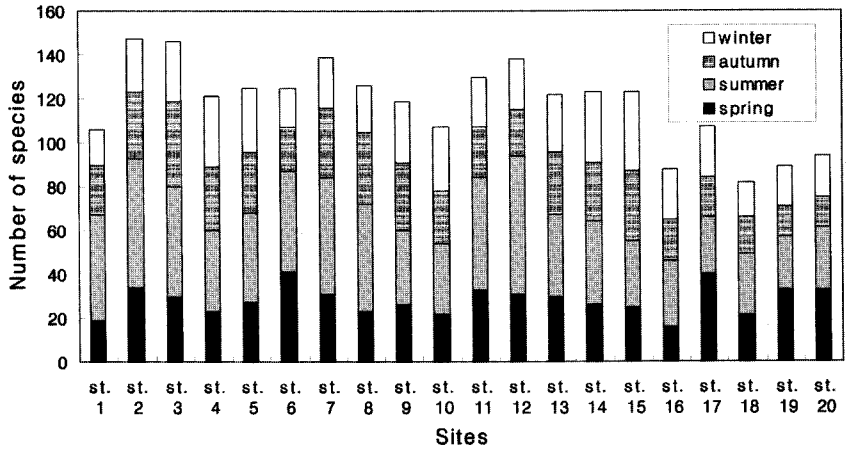

Fig. 3. Spatial variation of the number of species for the phytoplankton taxa.

구에서도 1995년~1996년에 낙동강 하류에서 *Navicula, Stephanodiscus, Nitzschia, Aulacoseira*가 우점하여 출현한다고 보고하여 본 연구결과와도 유사한 결과로, 연도별로 볼 때 선행 연구자들의 연구결과와는 뚜렷한 차이가 없었다(Table 1). 하지만, 본 조사지점과 동일한 지점에서의 식물플랑크톤 상과 군집에 대한 최근의 연구는 없었으므로 주변 환경변화

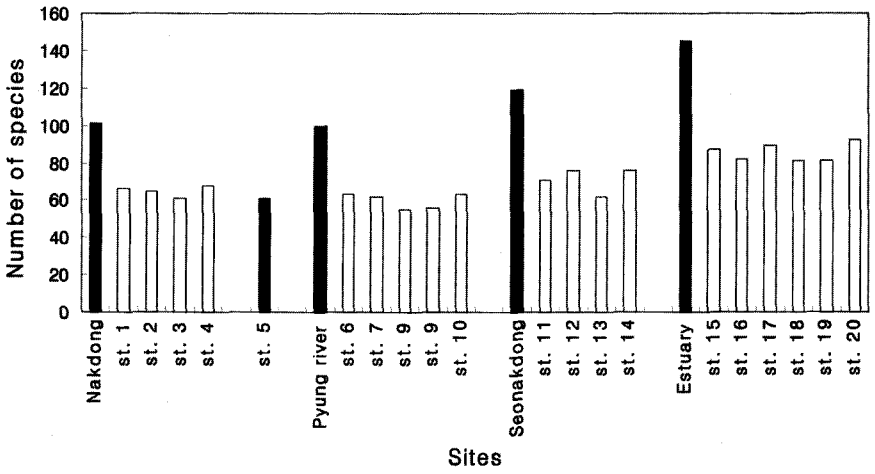

Fig. 4. Comparison of the number of species by sampling sites.

Table 1. Classification of the ecologically significant phytoplankton by Engler's system

Classification	EC*	Classification	EC
Class Cyanophyceae		Order Discales	
Order Chroococcales		Family Coscinodiscaceae	
Family Chroococcaceae		*Aulacoseira granulata*	C, P
Microcystis aeruginosa	C, D, P, R	*Aulaco. granulata* var. *angustissima*	C, F, R
Micro. spp.	C	*Aulaco. granulata* var. *angustissima* for. *spiralis*	C, R
Chroococcus dispersus	C	*Aulaco. japonica*	C
Merismopedia tenuissima	C	*Melosira italica*	C, P, R
		M. varians	C, F, P
Order Hormogonales		*Stephanodiscus hantzschii*	C, D, P
Family Oscillatoriaceae		*Cyclotella meneghiniana*	C, D, P, R
Lyngbya limnetica	C, D	*Cyclo. stelligera*	C
Oscillatoria tenuis	C, P, R	Order Araphidales	
Osc. sp.	C	Family Fragilariaceae	
Family Nostocaceae		*Fragilaria construens*	C
Aphanizomenon flos-aquae	D	*Synedra acus*	C, D, F, P
		Syn. ulna	C, F, P
Anabaena afffinis	C, R	*Asterionella formosa*	C, F, R
A. flos-aquae	C, R	Order Monoraphidales	
A. spiroides	R	Family Achnanthaceae	
A. sp.	C	*Cocconeis placentula*	P
		Order Biraphidales	
Class Euglenophyceae		Family Naviculaceae	
Order Euglenales		*Navicula* spp.	C, D
Family Euglenaceae		Family Cymbellaceae	
Euglena gracilis	P, R	*Cymbella ventricosa*	P
Trachelomonas hispida	R	Family Nitzschiaceae	
		Bacillaria paradoxa	C, P, R
Class Dinophyceae		*Nitzschia acicularis*	C
Order Peridiniales		*Nitzschia closterium*	C
Family Ceratiaceae		*Nitz. longissima*	R
Ceratium hirundinella	R	*Nitz. longissima* var. *reversa*	C, R
		Nitz. palea	C
Class Chrysophyceae		*Nitz.* sp.	C
Order Chrysomonadales		Family Surirellaceae	
Family Ochromonadaceae		*Cymatopleura solea*	P
Uroglenopsis americana	D		
Class Bacillariophyceae			

Table 1. Continued

Classification	EC	Classification	EC
Class Chlorophyceae		*Dictyosphaerium pulchellum*	C, P, R
Order Volvocales		Family Hydrodictyaceae	P
Family Chlamydomonadaceae		*Pediastrum biwae*	C, R
Chlamydomonas pertusa	C	*P. boryanum*	C, F
Family Volvocaceae		*P. duplex*	C, F, P, R
Gonium pectorale	P	Family Coelastraceae	
Eudorina elegans	C, P	*Actinastrum hantzschii* var. *fluviatile*	C, P
Pandorina morum	C, P	*Scenedesmus acuminatus*	C
Order Chloorococcales		*S. acutus* for. *costulatus*	C
Family Chlorellaceae		*S. bijuga* var. *alternans*	C
Micractinium pusillum	C, P, R	*S. protuberans*	C
Family Oocystaceae		*S. quadricauda*	P, R
Oocystis lacustris	C	*Coelastrum microporum*	C, P
Family Selenastraceae		Order Cladophorales	
Ankistrodesmus falcatus	P	Family Desmidiaceae	
Ankistrodesmus falcatus var. *tumidus*	C	*Closterium gracile*	C
Family Dictyosphaeriaceae			

* EC: Ecological characteristics; C, cosmopolitic species; D, dominant species; F: frequently occurred species; P, pollution indicator; R: redtide causative species.

에 따른 객관적인 차이는 확인할 수 없었다. 주요종을 수계별(상류부 - 낙동강 본류, 서낙동강, 평강, 맥도강; 하류부 지역 - 낙동강 하구)로 생각해 볼 때, 상류부에서는 겨울에 호소에서 볼 수 있는 전형적인 종인 *Stephanodiscus*와 정체된 수역에서 심각한 Bloom현상을 일으키는 *Microcystis*가 매년 여름에 우점하여 출현한다는 보고[51]에서 알 수 있듯이 본 조사지역에서도 두 종이 겨울과 여름에 각각 우점하여 출현하므로 본 지역이 유수지역이라기 보다는 오히려 정체된 호소화된 수역일뿐 아니라 부영양화된 수역이라 판단되었다.

군집분석

지점간 유사도지수를 이용하여 군집분석을 실시한 결과 4개의 그룹으로 분류되어졌는데, 1그룹(지점 1, 2, 6, 7, 11, 12)은 낙동강 하류 유역의 각 수계별 상류부에 해당하는 그룹으로 낙동강 중류의 영향을 받을 가능성이 있는 그룹이었고, 2그룹(지점 15, 16, 17, 18, 19, 20)은 하구에 해당하는 그룹으로 기수역의 생산성이 높은 지역의 그룹이었다. 3그룹(지점 3, 4, 5, 8, 9, 10)은 각 수계의 중류부에 해당하는 그룹이었고 4그룹(지점 13, 14)은 지천인 조만강이 유입되는 그룹으로 다른 지천에 의해서 쉽게 영향을 받고 있는 지점들임을 알 수 있으며, 군집분석의 결과로 볼 때, 수계별 유사성에 의한 수직적 분류와는 다른 경향을 보임을 알 수 있었다(Fig. 5).

요 약

본 연구는 낙동강 하류 20개 지점에 대하여 주위 환경 변화에 대응하기 위하여 식물플랑크톤상과 군집구조에 대한 조사를 실시하였다. 식물플랑크톤상과 군집은 2004년 1월부터 12월까지 매월 1회 조사하였다. 조사기간 동안 식물플랑크톤은 총 94속 196 분류군이 동정되었는데, 여름에 124분류군으로 가장 많은 종이 출현한 반면 겨울에 69분류군으로 가장 적은 종이 출현하였다. 지점별 총 출현종수는 낙동강 하구인 지점 20에서 92분류군으로 가장 많았고 지점 8에서 55분류군으로 가장 적게 출현하였다. 분류군별 출현비율은 모든 계절에서 규조류(diatoms)가 40% 이상으로 가장 높았고 녹조류(green algae)가 20%, 다음으로 남조류(blue-green algae) 등의 순으로 조사되었다. 조사기간 동안 생태적 주요종은 60분류군이 조사되었는데, 그 중 광분포종은 46분류군, 오염지표종 25분류군, 적조원인종 21분류군, 우점종 8분류군, 출현빈번종 7분류군이었다. 지점간 유사도지수에 의한 군집분석의 결과, 20개 지점은 4개의 그룹으로 분류되어졌다.

참고문헌

1. Ryther, J. H. (1969) Photosynthesis and fish production in the sea. *Science* 116, 72-76.
2. Yoo, S. J., Kim, J. G., Kwon, T. Y. and Lee, S. M. (1999) A study on the eutrophication in the Keum river. *J. of Korean Environmental Sciences Society* 8(2), 155-160.
3. Rim, C. S., Shin, J. K. and Cho, K. J. (2000) The trend and assessment of water pollution from

midstream to downstream of the Kum river. *Korean J. Limnol.* 33(1), 51-60.
4. Park, C. W., Kim, Y. J. and Chung, J. (1995) Structure of phytoplankton community in the Kumho river. *Korean J. Limnol.* 28(1), 49-60.
5. Shin, Y. K. (1996) Studies on the phytoplankton community in the upper region of Sum river, Korea. *Korean J. Limnol.* 29(3), 143-157.
6. Kim, J. T., Park, E. R., Cho, H. S. and Boo, S. M. (1996) The phytoplankton community structure in the main stream of the Kumgang river, Korea. *Korean J. Limnol.* 29(3), 187-195.
7. Lee, S. K. and Boo, S. M. (2000) Standing crops of freshwater phytoplankton in Kumgang river, Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 18(3), 347-353.
8. Kim, B. H., Choi, M. K., Chung, Y. T., Lee, J. B., Wui, I. S. and Kil, B. S. (1997) Phytoplankton community structure and dynamics in the upper Keum and Mankyeong river system. *Wonkwang J. Environ. Sci.* 6, 47-56.
9. Lee, Y. J., Jung, J. M., Shin, P. S. and Joo, G. J. (2005) Daily variation of phytoplankton and water quality in the lower Nakdong river. *Algae* 20(1), 133-140.
10. Jeon, S. I. and Cho, K. J. (2004) Primary productivity of phytoplankton in the shallow and hypertrophic river (Seonakdong river). *Korean J. Limnol.* 37(1), 57-63.
11. Lee, K. and Yoon, S. K. (2002) Seasonal changes of the phytoplankton community in the Imjin river. *Korean J. Limnol.* 35(2), 111-122.
12. Kim, Y. J. (2003) Seasonal variation of phytoplankton community in the Hantan river. *Korean J. Limnol.* 36(2), 191-199.
13. Park, M. O., Moon, C. H., Kim, S. Y., Yang, S. R. Kwon, K. Y. and Lee, Y. W. (2001) The species composition of phytoplankton along the salinity gradients in the Seomjin river estuary in autumn, 2000: Comparison of HPLC analysis and microscopic observations. *Algae* 16(2), 179-188.
14. Cho, K. J. and Shin, J. G. (1995) Persistent blooms of diatoms *Stephanodiscus hantzschii* f. *tenuis* and *S. parvus* in the Nakdong river. *Korean J. Phycology* 10(2), 91-96.
15. Shin, J. K. and Cho, K. J. (1997) Distribution and population dynamics of *Microcystis* (Cyanophyta) in the Naktong river. *Algae* 12(4), 283-290.
16. Kim, W. H., Choi, A. R. and Lee, J. A. (1999) The occurrence of microcystins in the Naktong river. *Algae* 14(4), 237-246.
17. Choi, A. R., Park, J. H. and Lee, J. A. (2002) Population dynamics and the toxin of *Anabaena* in the lower Nakdong river. *Algae* 17(2), 95-104.
18. Choi, A. R., Oh, H. M. and Lee, J. A. (2002) Ecological study on the toxic Microcystis in the lower Naktong river. *Algae* 17(3), 171-185.
19. Cho, K. J. and Shin, J. K. (1998) Growth and nutrient kinetics of some algal species isolated from the Naktong river. *Algae* 13(2), 235-240.
20. Park, H. K., Chung, C. M., Bahk, J. R. and Hong, Y. K. (1999) The relationship between phytoplankton productivity and water quality changes in downstream of Nakdong river. *J. of Korean Environmental Sciences Society* 8(1), 101-106.
21. Seo, J. K., Lee, J. J., Yang, S. Y. and Chung, I. K. (2003) Effect of the sewage and wastewater plant effluent on the algal growth potential in the Nakdong river basin. *Algae* 18(2), 157-167.
22. Kwon, Y. H., Seo, J. K., Park, S. W. and Yang, S. Y. (2006) Evaluation of diatom growth potential in midstream and downstream Nakdong river. *Algae* 21(2), 229-234.
23. Hwang, S. J., You, K. A. and Shin, J. K. (2006) Comparison of algal growth potentials in the large reservoirs and river mainstream of Naktong river watershed. *Korean J. Limnol.* 39(1), 138-144.
24. Chung, Y. H. (1968) Illustrated encyclopedia of fauna and flora of Korea. Vol. 9 Fresh water algae. Ministry of Education.
25. Whitfor, L. A. and Schumacher, G. J. (1969) A manual of the fresh-water algae in North carolina. *Agric. Exp. Stat. Tech. Bull.* 188, 1-313.
26. 廣瀬弘幸, 山岸高旺. (1977) 日本淡水藻圖鑑. 内田老鶴圃.
27. 水野壽彦. (1977) 日本淡水プランクトン圖鑑. 保育社.
28. 根來健一郎. (1982) 琵琶湖のプランクラン. 滋賀縣立衛生環境センター.
29. 山岸高旺, 秋山 優. (1984) 淡水藻類寫眞集. Vol. 1-11.
30. Chung, J. (1994) *Illustration of the freshwater algae of Korea.* Academy publishing company, Seoul, Korea, p. 1-496.

31. Han river environment research center. (2004) *Phytoplankton of lake Paldang* Yangpyeong, Korea, p. 1-131.
32. Melchior, H. und Werdermann, E. (1954) *A. Engler's syllabus der pflanzenfamilien* I. Band. Allgemeiner teil bakterien bis gymnospermen. Gebüder Borntraeger·Berlin-Nikolassee.
33. Sorensen, T. (1948) A method of establishing groups of equal amplitude in plant society based on similarity of species content. *K. Danske Vidensk Selsk* 5, 1-34.
34. Kim, J. G. (2002) Evaluation of water quality in the Keum river using statistics analysis. *J. of Korean Environmental Sciences Society* 11, 1281-1289.
35. Kim, J. H., Choi, C. M., Kim, W. I., Lee, J. S., Jung, G. B., Han, K. H., Ryu, J. S., Lee, J. T. and Kwun, S. K. (2007) Multi-variate statistical analysis for evaluation of water quality properties in Korean rural watershed. *Korean J. Environ. Agric.* 26(1), 17-24.
36. Moon, S. G., Chung, J. M. and Choi, C. M. (2001) The structure of phytoplankton community in the middle-lower part of the Nakdong river. *J. of the Environmental Sciences Society* 10(1), 41-45.
37. Lee, J. H., Choi, J. S., Kim, Y. J. and Chung, J. (1995) Flora of planktonic diatom in the Nakdong river estuary, Korea. *Korean J. Limnol.* 28, 35-47.
38. Choi, C. M. and Bae, J. H. (2002) The structure of phytoplankton community in the Hoeya river (Ulsan). *J. of the Environmental Sciences Society* 11(3), 149- 154.
39. Kwon, O. Y., Jung, S. W. and Lee, J. H. (2006) Environmental studies in the lower part of the Han river VIII. Physicochemical factors contributing to variation of phytoplankton communities. *Korean J. Limnol.* 39(3), 340-351.
40. Lee, J. H. and Jung, S. W. (2004) Environmental studies in the lower part of Han river VII. Long term variations and prospect of the phytoplankton community. *Algae* 19(4), 321-327.
41. Kim, Y. J. (2003) Dynamics of phytoplankton commmunity in Youngsan river. *Algae* 18(3), 207- 215.
42. Kim, Y. J. (2004) Monthly variations of phytoplankton communities in the mid and lower parts of the Nakdong river. *Algae* 19(4), 329-337.
43. Lee, J. H., Kwon, J. N. and Yang, S. Y. (2002) Seasonal variation of phytoplankton community in the Nakdong river. *Algae* 17(4), 267-273.
44. Lee, J. N., Park, Y. K. and Choi, C. M. (1998) Flora of phytoplankton in Milyang river. *J. of Korean Environmental Sciences Society* 7(5), 607-613.
45. McLusky, D. S. (1989) *The Estuarine Ecosystem*, 2nd ed., Blackie, p.215-216.
46. Nbakken, J. W. (1997) *Marine biology: An ecological approach*, Wesley Educational Publishers Inc., p.304-308.
47. Choi, C. M. and Moon, S. G. (2001) Assessment of important species of phytoplankton in river. *J. Basic Sci. Res. Kyungsung Univ.* 15, 135-153.
48. Cho, K. J., Chung, I. K. and Lee, J. A. (1993) Seasonal dynamics of phytoplankton community in the Naktong river estuary, Korea. *Korean J. Phycology* 8(1), 15-28.
49. Lee, J. H., Kwon, J. N. and Yang, S. Y. (2002) Seasonal variation of phytoplankton community in the Naktong river. *Algae* 17(4), 267-273.
50. NIER (National Institute of Environmental Research). (1998) A *survey on the blue-green* algal *toxins in the Naktong river and toxin removal approaches*, Seoul, Korea, p.1-300.

Appendix. A list of phytoplankton in the lower Nakdong river

Species	Sites																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Achnanthes brevipes													○	○			○	○	○	○
Achnanthes crenulata			○	○	○					○	○			○						
Achnanthes hungarica																				○
Achnanthes longipes																				○
Actinastrum hantzschii															○	○	○			
Actinastrum hantzschii v. *fluviatile*	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Actinoptychus undulatus															○	○		○	○	○
Amphiprora alata	○	○				○	○						○	○						
Amphora hyalina															○					
Amphora lineolata									○				○		○			○		
Amphora ovalis v. *libyca*		○	○	○			○	○	○		○	○								
Anabaena affinis															○		○	○	○	○
Anabaena flos-aquae			○	○	○			○	○	○	○	○	○	○						
Anabaena macrospora v. *crassa*											○	○	○							
Anabaena spiroides			○	○				○	○	○			○	○		○	○			
Anabaena sp.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○						
Ankistrodesmus falcatus			○	○	○				○	○				○	○	○				
Ankistrodesmus falcatus v. *mirabilis*			○	○	○				○	○				○	○					
Ankistrodesmus falcatus v. *tumidus*	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○			○		○		○	○
Aphanizomenon flos-aquae				○	○					○				○	○					
Aphanocapsa clathrata	○	○				○	○					○								
Aphanocapsa delicatissima																	○			○
Aphanocapsa elachista				○						○						○				
Aphanocapsa elachista v. *conferta*	○	○				○	○					○								
Aphanocapsa grevillei															○	○		○	○	○
Aphanocapsa rivularis			○	○						○						○				○
Aphanocapsa sp.										○	○	○	○			○	○			○
Astasia lagenula															○		○			
Asterionella formosa	○	○	○	○		○	○				○	○	○	○		○	○		○	○
Asterionella gracillima																○	○		○	○
Asterionella japonica											○	○	○	○				○	○	
Asterococcus limneticus																	○			
Aulacoseira granulata	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○	○	○	○	○
Aulacoseira granulata v. *angustissima*	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Aulacoseira granulata v. *angustissima* f. *spiralis*	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Aulacoseira japonica	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○		○						
Bacillaria paradoxa										○	○	○	○	○						
Bacteriastrum hyalinum																		○		

Appendix. Continued

Species	Sites																	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Biddulphia sinensis															○				○	
Ceratium fusus																○				○
Ceratium fusus v. *schuettii*																	○			
Ceratium fusus v. *seta*																○				○
Ceratium hirundinella												○		○						
Chaetoceros affinis																○	○	○	○	○
Chaetoceros brevis																○				
Chaetoceros curvisetus															○	○	○	○	○	○
Chaetoceros debilis																○		○	○	
Chaetoceros decipiens																		○		
Chaetoceros didymus																	○	○	○	○
Chaetoceros teres																○	○	○	○	○
Chaetoceros spp.															○	○	○	○	○	○
Chlamydomonas conferta	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○						
Chlamydomonas pertusa	○	○									○	○	○							
Chlamydomonas reinhardi															○	○	○	○	○	○
Chlorella vulgaris																	○	○	○	
Chlorella sp.	○	○	○	○				○	○	○										
Chodatella citriformis			○	○	○	○	○		○	○	○			○						
Chroococcus dispersus	○	○	○	○				○	○	○	○	○	○	○						
Chroococcus limneticum			○	○				○	○	○		○								
Chroococcus minutus	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○						
Closterium acerosum	○					○	○					○								
Closterium gracile	○					○						○		○			○			○
Closterium lineatum		○	○				○	○				○								
Cocconeis placentula														○			○			○
Coelastrum cambricum												○	○		○	○	○	○	○	○
Coelastrum microporum	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○
Coelastrum reticulatum															○	○	○	○	○	○
Coelastrum sphaericum	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○					○	○	○		○
Coscinodiscus centralis															○	○	○	○	○	○
Coscinodiscus lineatus															○	○	○	○	○	○
Coscinodiscus radiatus															○			○	○	
Crucigenia lacuterbornei	○	○				○	○	○			○	○	○							
Crucigenia quadrata	○	○			○	○	○	○				○	○							
Crucigenia tetrapedia				○	○					○					○					
Cyclotella glomerata	○	○				○	○				○	○	○	○						
Cyclotella kuetzingiana			○	○	○			○	○	○					○	○	○	○	○	○
Cyclotella meneghiniana	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Cyclotella stelligera	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Cymbella graciles																		○	○	○
Cymbella tumida	○	○			○	○	○	○							○	○				○
Cymbella turgida	○	○			○		○	○				○					○			
Cymbella ventricosa															○	○				
Diatoma vulgare	○	○				○								○						○
Dictyocha fibula															○	○			○	

Appendix. Continued

Species	Sites																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Dictyosphaerium pulchellum	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○
Dinobryon divergens	○	○	○	○		○	○													○
Dinophysis ovum															○	○	○	○	○	
Distephanus speculum																○		○	○	○
Distephanus speculum v. *octonarium*																				○
Ditylum sol																		○		
Ebria tripartita													○	○	○		○	○	○	
Errerella bornheimiensis	○	○	○	○		○	○	○			○	○	○							
Eudorina elegans	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Eudorina unicocca														○			○			○
Euglena acus											○	○								○
Euglena gracilis	○				○	○					○	○		○		○	○			○
Euglena oxyuris														○						
Euglena proxima	○				○														○	
Euglena sp.	○												○							
Fragilaria construens	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○					○	○
Fragilaria crotonensis	○	○	○	○		○	○				○				○	○	○	○	○	○
Gloeocystis gigas	○	○	○	○		○	○	○	○				○		○		○	○		○
Golenkinia radiata			○	○		○	○	○	○	○	○				○	○	○	○	○	○
Gomphonema olivaceum																	○	○		
Gonium pectorale	○	○				○	○				○	○								
Guinardia flaccida															○	○		○		
Gymnodinium sanguineum																○				
Gymnodinium sp.														○						
Gyrosigma acuminatum					○						○	○	○	○	○			○	○	○
Gyrosigma sp.														○				○		○
Lauderia borealis																			○	○
Leptocylindrus danicus																	○	○	○	○
Licmophora abbreviata															○			○	○	
Lyngbya sp.															○	○	○			○
Mallomonas tonsurata	○	○	○			○	○	○			○	○								
Melosira italica	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○			○	○	○	○	○	○
Melosira japonica					○						○	○	○	○						
Melosira nummuloides															○				○	
Melosira varians	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○		○	○
Merismopedia tenuissima			○	○	○					○			○	○		○	○	○	○	
Micractinium pusillum	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Microcystis aeruginosa	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Microcystis spp.	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	
Mougeotia sp.					○		○				○	○				○				○
Navicula cryptocephala			○	○		○	○	○			○				○		○	○		
Navicula cuspidata		○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○						
Navicula placentula	○	○				○	○		○		○	○	○	○						
Navicula spp.											○	○	○	○	○		○	○	○	○
Nitzschia acicularis	○	○			○			○	○	○	○	○	○	○			○	○		○

Appendix. Continued

Species	Sites																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Nitzschia closterium			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○			○	○	
Nitzschia holsatica				○						○				○	○	○	○			○
Nitzschia longissima				○						○				○						
Nitzschia longissima v. *reversa*			○	○	○				○	○				○	○		○	○	○	
Nitzschia palea				○	○	○	○	○	○	○	○	○			○		○			○
Nitzschia spp.	○	○				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Oocystis borgei															○	○	○	○	○	○
Oocystis lacustris	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○					○			
Oocystis submarina	○	○				○	○	○			○	○								
Oscillatoria tenuis			○	○	○				○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Oscillatoria sp.	○	○				○	○	○			○	○	○	○	○	○	○			○
Oxyphysis oxytoxoides																○	○			○
Pandorina morum	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○
Pediastrum biwae	○	○				○	○				○	○			○	○	○	○	○	
Pediastrum boryanum	○	○			○	○	○				○	○		○	○	○	○	○	○	○
Pediastrum duplex	○	○			○	○			○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Pediastrum duplex v. *gracillimum*												○	○	○	○	○	○	○	○	○
Pediastrum simplex				○						○					○	○	○	○	○	
Peridinium cunnigtonii v. *contactum*											○									
Peridinium sp.		○	○	○	○										○	○	○	○	○	
Phacus longicauda											○	○		○						
Phacus sp.	○	○			○			○	○								○			○
Phormidium sp.					○			○	○	○	○	○		○		○	○	○	○	
Pinnularia major										○				○						
Planktosphaeria gelatinosa	○	○	○	○		○	○	○	○	○							○			
Pleurosigma elongatum																	○	○		
Prorocentrum micans															○	○	○	○	○	○
Prorocenturm triestinum																○		○		
Protoperidinium sp.															○	○		○		○
Pseudonitzschia seriata															○			○	○	○
Quadrigula chodatii														○						
Rhabdonema arcuatum f. *constricta*													○	○	○					
Rhizosolenia hebetata f. *hiemalis*																	○	○	○	
Rhizosolenia setigera																			○	
Rhizosolenia stolterfothii																				○
Rhoicosphenia curvata														○						
Scenedesmus acuminatus	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Scenedesmus acutus										○				○						
Scenedesmus acutus f. *costulatus*		○	○	○	○				○	○				○	○	○	○		○	○
Scenedesmus bicaudatus	○	○			○	○	○		○	○	○	○								
Scenedesmus bijuga v. *alternans*	○	○	○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○					

Appendix. Continued

Species	Sites																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Scenedesmus denticulatus															○	○		○	○	○
Scenedesmus dimorphus		○	○	○																
Scenedesmus ellipsoideus				○	○				○				○	○						
Scenedesmus perforatus														○						○
Scenedesmus protuberans				○	○				○	○			○	○	○	○	○	○	○	○
Scenedesmus quadricauda		○	○	○							○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Schroederia setigera															○	○				○
Skeletonema costatum															○	○	○	○	○	○
Stauroneis acuta			○	○						○			○	○	○					
Stauroneis phoenicentron													○							
Stephanodiscus hantzschii	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Stephanopyxis palmeriana															○		○			○
Strombomonas verrucosa	○	○				○					○	○								
Surirella elegans			○	○						○			○							
Surirella robusta			○		○										○	○				○
Synedra acus	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Synedra ulna	○	○			○	○	○	○	○		○	○	○	○	○	○	○		○	○
Tetmemorus laevis v. *tropicus*	○					○	○				○									
Tetraedron gracile												○								
Tetraedron limneticum															○	○	○			
Thalassiosira rotula																	○			
Thalassiothrix frauenfeldii															○			○	○	
Trachelomonas hispida	○	○	○	○	○			○	○	○			○	○						
Trachelomonas sp.				○										○						
Uroglenopsis americana													○	○						
Westella botryoides															○	○	○	○	○	○
Total	66	65	61	68	61	63	62	55	56	63	71	76	62	76	87	82	89	81	81	92