

## 낙동강 중·하류의 식물플랑크톤 군집구조

문성기·정종문·최철만  
경성대학교 자연과학부 생물학전공·부산광역시 수질연구소  
(2000년 8월 18일 접수)

## The Structure of Phytoplankton Community in the Middle-Lower Part of the Naktong River

Jong-Moon Chung<sup>1</sup>, Chul-Mann Choi and Sung-Gi Moon

<sup>1</sup>Water Research Institute, Pusan, 617-042, Korea

Department of Biology, Division of Natural Science, Kyungsoong University, Pusan, 608-736, Korea

(Manuscript received 18 August, 2000)

This study was carried out to investigate phytoplankton community structure in the Naktong river from January to December in 1999. In water quality, average value of pH were 8.1, BOD 2.5mg/l, COD 5.0mg/l, Chl-a 41 $\mu$ g/l, and  $\text{NH}_4^+$ -N 0.08mg/l, respectively. Phytoplankton were identified 42 genera 76 species. Among these, diatoms were 39 species(51.3%), green algae 25 species(32.9%), cyanobacteria 4 species(5.3%), dinoflagellates 4 species(5.3%), euglenoids 2 species(2.6%), and golden brown algae and cryptomonads 1 species(1.3%), respectively. The highest standing crops were 33,023 cells/ml in February at the Mulgum and the lowest 79 cells/ml in March at the Goryung. Also, Standing crops were increased with proceeding from middle part to lower part. Seasonal succession of phytoplankton represented that *Stephanodiscus hantzschii* was dominant species in winter, *Cyclotella meneghiniana* and *Synedra acus* in spring, *C. meneghiniana*, *S. acus*, *Aulacoseira granulata* var. *angustissima* in summer, and *A. granulata* var. *angustissima* and *C. meneghiniana* in autumn. Ecological important species were 4 species, that are *Stephanodiscus hantzschii*, *Cyclotella meneghiniana*, *Synedra acus*, and *Aulacoseira granulata* var. *angustissima*. In the community analysis, dominance indices ranged from 0.434(August, Namji) to 0.999(January, February, Mulgum) and diversity indices from 0.026(February, Mulgum) to 3.073(September, Namji). According to the similarity index among the stations, it was generally defined as two areas such as middle(Goryung, Namji and Samryangjin) and lower part(Mulgum).

Key words : Naktong river, phytoplankton, community structure, important species

### 1. 서론

우리나라의 강과 호수에서 흔히 발생하고 있는 부영양화와 수화(水華)는 상류나 그 주변 유역에서의 과도한 영양염 유입으로 인해 대부분 발생하고 있으며 인근 연안 해역의 오염으로까지 그 영향을 미치고 있어 수산업 뿐만 아니라 해양환경의 보존에도 막대한 지장을 초래하고 있다.

국내 큰 강중의 하나이면서 부산과 인근 경남지역의 수자원이자 그리고 식수원으로서도 그 중요성이 매우 큰 낙동강은, 해를 거듭할수록 수질이 더욱 악화되어 심각한 문제로 대두되고 있다.

식물플랑크톤은 수계의 생산자이며 먹이사슬의 기초로서 그 역할이 매우 중요하여 이에 대한 국내의 연구가 활발하다. 그러나 낙동강에 대한 식물플랑크톤의 연구로는 문 등<sup>1)</sup>, 정 등<sup>2)</sup>, 신과 조<sup>3)</sup> 등의 하구나 하구범 일원의

일부 국한된 지역에서만 실시되고 있을 뿐 중·하류의 분류에 대한 연구는 아직까지 미흡한 실정이다.

본 연구는 낙동강의 중·하류 수계를 대상으로 식물플랑크톤 군집구조와 계절적 천이를 조사하고 분석함으로써 낙동강 수계의 생태계를 파악하는 기초자료로서 활용하고자 실시되었다.

### 2. 재료 및 방법

본 조사는 1999년 1월부터 12월까지 낙동강 중·하류 4개지점(고령, 남지, 삼랑진, 물금)에서 매월 1회 실시하였다(Fig. 1).

이화학적 환경의 측정으로 pH는 Orion 230A meter로, BOD는 Winkler azid법으로 보정한 BOD probe(YSI model 5730)로, COD는  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 법, Chl-a는 시료를 Whatman GF/C로 여과하여 90% 에탄올을 용매로 비등

추출한 후 분광광도계의 665nm와 750nm에서 흡광도를 측정하여 정량하였고<sup>4)</sup> NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N은 시료를 GF/C로 여과한 후 APHA<sup>5)</sup>와 Rump and Krist<sup>6)</sup>의 방법에 따라 분석하였다.

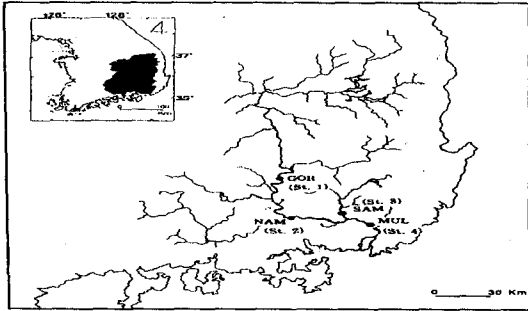


Fig. 1. Map showing the sampling stations in the Nakdong river; GOR(St. 1, Goryung), NAM(St. 2, Namji), SAM(St. 3, Samyangjin), MUL(St. 4, Mulgum).

생물학적 시료는 현장에서 표층수 1ℓ를 채수하여 망목 10μm의 체(sieve)로 여과하여 농축시료 10ml를 중성 formalin으로 고정하여 최종농도가 3%가 되도록 하였다. 실험실로 운반된 고정된 시료를 DIC현미경(BX-50, Olympus)의 400~1,000배 하에서 검경하였다. 종동정은 廣類<sup>7)</sup>, 水野<sup>8)</sup>, 根來<sup>9)</sup>, 정<sup>10)</sup> 그리고 정<sup>11)</sup> 등에 의하였다.

식물플랑크톤 현존량은 시료를 균일하게 혼든후, 1ml를 취하여 Sedgwick-Rafter counting chamber에 넣고 도립현미경하에서 계수하였다.

군집분석으로는 우점도지수<sup>12)</sup>와 종다양성지수<sup>13)</sup>를 구하였으며 유사도지수<sup>14)</sup>에 의한 집괴분석(cluster analysis)을 SPSS program하에서 실시하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 이화학적 환경

pH의 지점별 평균값은 고령 7.9, 남지 8.0, 삼량진 8.3, 물금 8.3이었고 하류쪽으로 다소 증가하는 값을 나타내었다. 최고 pH는 9.3으로 11월과 12월의 물금, 최저는 6.9로 12월의 고령에서 었다. 물금을 제외한 다른 지점의 pH는 정점간에 거의 비슷한 결과를 나타내었다(Table 1).

Table 1. Water quality(W.Q.) of each station by average concentration in the Nakdong river from January to December in 1999.

W.Q.\Stations	St. 1 (GOR)	St. 2 (NAM)	St. 3 (SAM)	St. 4 (MUL)	Mean±SD
pH	7.9	8.0	8.3	8.3	8.1±0.2
BOD(mg/ℓ)	2.4	2.3	2.6	2.6	2.5±0.2
COD(mg/ℓ)	5.0	4.7	5.1	5.1	5.0±0.2
Chl-a(μg/ℓ)	29	37	47	51	41±10
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N(mg/ℓ)	0.15	0.08	0.05	0.05	0.08±0.05

BOD : biochemical oxygen demand, COD : chemical oxygen demand,

Chl-a : chlorophyll-a, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N : ammonia-nitrogen

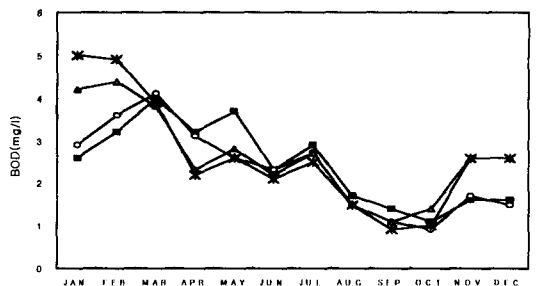
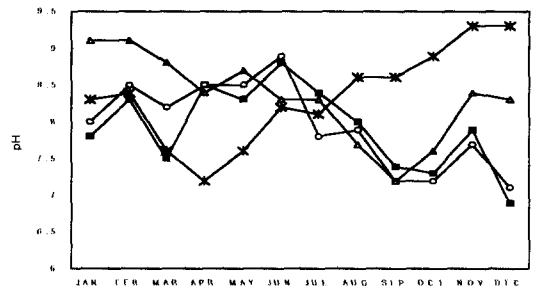
BOD의 평균값은 고령 2.4mg/l, 남지 2.3mg/l, 삼량진 2.6mg/l, 물금 2.6mg/l이었고 최고는 5.0mg/l으로 1월에 물금, 최저는 0.9mg/l로 9월에 물금과 10월의 남지였다. 그러나 지점별로는 뚜렷한 차이가 없었다.

COD의 평균값은 고령 5.0mg/l, 남지 4.7mg/l, 삼량진 5.1mg/l, 물금 5.1mg/l였고 최고 COD는 7.1mg/l로 2월의 물금, 최저는 3mg/l로 11월의 남지에서 었다. COD 또한 BOD의 경우와 마찬가지로 지점별로는 차이가 없는 경향을 나타내었다.

Chl-a의 평균값은 고령 29μg/l, 남지 37μg/l, 삼량진 47μg/l, 물금 51μg/l였고 최고는 124μg/l로 2월의 물금, 최저는 4μg/l로 10월의 남지였는데 최고와 최저 Chl-a값에는 상당한 차이가 있었다. 2월의 물금에서 최고를 보인 것은 *Stephanodiscus hantzschii*가 물금에서 32,960 cells/ml로 2월 총 현존량의 99.8%를 차지하는 최고의 현존량을 보였기 때문으로 판단된다. 또한 Chl-a가 부영양화된 상태를 평가하는 지표로 이용되는 점을 감안하여 볼 때, OECD<sup>15)</sup> 기준에 따르면 최고의 Chl-a 값을 나타내었던 물금의 경우는 부영양상태를 넘어선 과영양상태를 나타낸다고 할 수 있다.

NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N의 평균값은 고령 0.15mg/l, 남지 0.08mg/l, 삼량진 0.05mg/l, 물금 0.05mg/l였고 최고는 0.5mg/l로 1월, 2월의 고령에서 었고 10월, 11월, 12월의 고령과 남지에서는 검출되지 않았다. 이는 수환경에서 TN(Total Nitrogen)은 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 그리고 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N의 총합을 나타내는데 낙동강에서는 거의 대부분이 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N이기 보다는 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N이기 때문에 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N가 검출되지 않을 경우도 있다.

이화학적 환경은 대부분의 경우, 중류보다는 하류로 갈수록 그 값이 증가하는 경향을 보였다(Fig. 2).



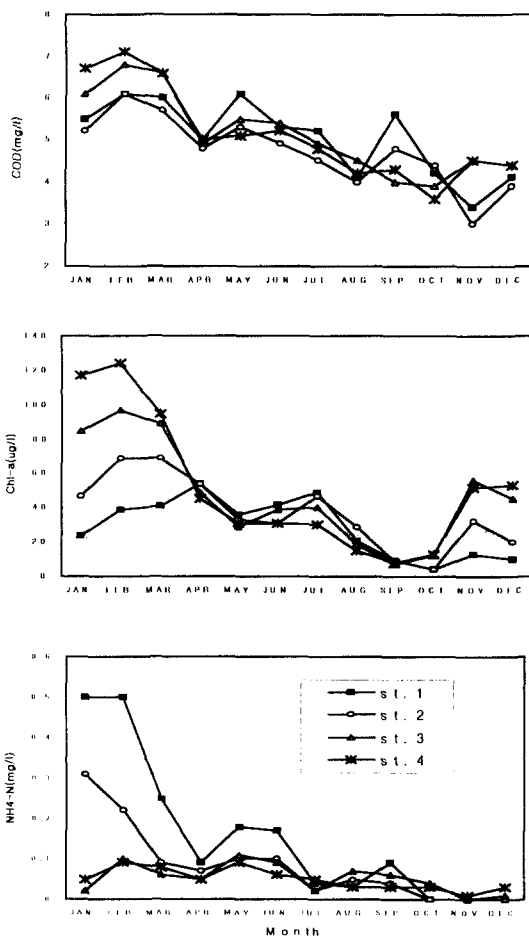


Fig. 2. Seasonal variations of water environmental conditions of each stations in the Nakdong river from January to December in 1999.

### 3.2. 식물플랑크톤의 종조성

본 조사기간동안 낙동강에서 조사된 식물플랑크톤 군집은 42속 76종이었는데 Lee *et al.*<sup>16)</sup>의 34속 104종, 박동<sup>17)</sup>의 90종보다는 적은 출현종수를 나타내었다. 이 중 diatoms가 19속 39종(51.3%)으로 가장 많았고, green algae 12속 25종(32.9%), cyanobacteria 4속 4종(5.3%), dinoflagellates 3속 4종(5.3%), euglenoids 2속 2종(2.6%), golden brown algae와 cryptomonads가 각각 1속 1종(1.3%)으로 나타나 종구성비율에서 규조류에 의한 의존도가 대단히 높음을 알 수 있다.

국내에서 조사된 강 의 경우, 대부분 규조류(diatoms)에 속한 종이 전체 분류군 중에서 가장 큰 비율을 차지하는 것으로 나타났으나<sup>18,19)</sup> 본 조사에서는 규조류는 물론이고 녹조류 또한 높은 비율로 출현하였다. 김과 이<sup>20)</sup>의 연구에서도 종조성이 규조류와 녹조류가 전체 구성종의 84%를 차지하여 본 조사와 일치하는 결과를 보여주었다.

조사지점별로는 남지에서 55종으로 가장 많은 출현종수를, 삼랑진에서 45종으로 가장 적은 출현종수를 보여 지역간 차이를 보였으나 대상지역의 종적(從的)인 분포 특성은 없었다(Fig. 3).

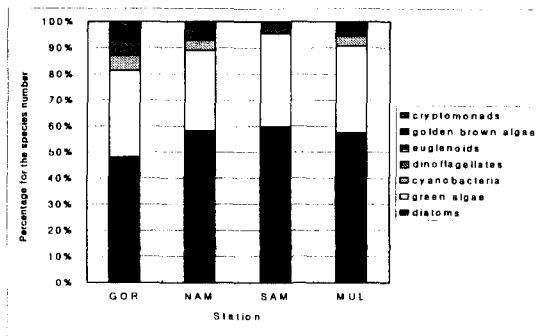


Fig. 3. Percentage for the species number of each stations in the Nakdong river from January to December in 1999.

### 3.3. 식물플랑크톤의 현존량

본 조사기간동안 식물플랑크톤의 현존량은 최고 33,023 cells/ml(2월, 물금), 최저는 79cells/ml(3월, 고령)였다. 계절별 현존량의 차이는 상당히 컸지만 지점별로는 별 차이가 없었다. 한편, 하류로 갈수록 현존량이 증가하는 경향을 보였다(Fig. 4).

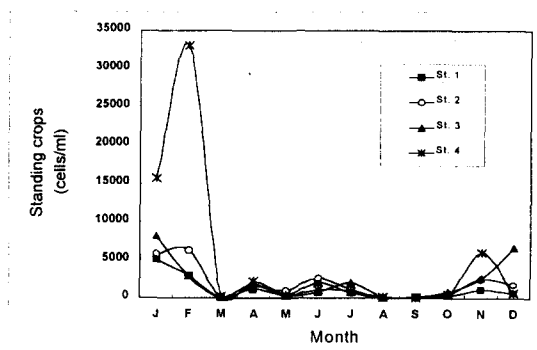


Fig. 4. Seasonal variations of standing crops at the each stations in the Nakdong river from January to December in 1999.

겨울의 경우, 다른 계절에 비해 현존량이 월등히 많았던 이유는 대부분의 조사지점에서 *Stephanodiscus hantzschii*가 bloom(2,000cells/ml 이상)을 나타내었기 때문이며 총 현존량 역시 이로 인해 높은 결과를 나타내었다.

이와 장<sup>21)</sup>의 연구에서, 겨울에는 *Stephanodiscus*가 최우점종을 차지하여 본 조사와 마찬가지로의 결과를 보여주었지만 봄에 *Aulacoseira*가 최우점종을 차지하는 등 다른 계절의 경우 본 조사와는 조금 다른 경향을 나타내었고 김 등<sup>22)</sup>의 연구에서도 가을만이 *Cyclotella*와 *Aulacoseira*가 공우점하여 본 조사와 일치하는 결과를 나타내었을 뿐 다른 계절에는 본 조사와는 상이한 결과를 나타내어

지역별 우점종의 차이를 보였다.

계절별 천이양상을 보면 겨울에 *Stephanodiscus hantzschii*가 단독으로 우점하였고 봄에 *Cyclotella meneghiniana*와 *Synedra acus*가, 여름에는 *C. meneghiniana*, *S. acus*, *Aulacoseira granulata* var. *angustissima* 세 종이 공동 우점하였으며, 가을에는 *A. granulata* var. *angustissima*, *C. meneghiniana*가 우점하는 천이양상을 보였다.

3.4. 생태학적 주요종

생태학적 중요성을 가진 종은 우점종, 적조원인 또는 적조발생종, 광분포종, 오수지표종, 출현빈번종 등인데, 이들 주요종은 이전 연구에서 보면, 연구자들마다 상당한 차이가 있었다. 본 조사기간동안의 주요종으로는 *Stephanodiscus hantzschii*, *Cyclotella meneghiniana*, *Synedra acus*, *Aulacoseira granulata* var. *angustissima*를 들 수 있다. *Cyclotella meneghiniana*, *Synedra acus*, *Aulacoseira granulata* var. *angustissima*는 4계절 모두 대부분의 조사지점에서 발생하는 출현빈번종이면서도 광분포종이었고 *Stephanodiscus hantzschii*는 겨울철에 총 현존량의 90% 이상을 차지하는 우점종이었다. 이들 상기 4종은 본 조사 이전에 이미 발표된 낙동강을 대상으로 한 논문에서도 대부분 언급이 되는 종일뿐 아니라<sup>22)</sup> 출현빈번종, 광분포종, 우점종으로서의 지표성이 있으므로 본 조사 이후에 이들의 지속적인 조사가 낙동강의 생태적인 측면을 예측 가능하게 할 것으로 사료된다.

3.5. 군집분석

본 조사기간동안의 우점도지수는 0.434(8월, 남지) ~ 0.999(1월, 2월, 물금)의 범위였고 종다양성지수는 0.026(2월, 물금) ~ 3.073(9월, 남지)의 범위였으며(Table 2) 우점도지수, 종다양성지수 모두 조사지점별로는 별차이가 없었으나 남지의 우점도지수가 떨어지는 이유는 타지역에 비해 특정의 종이 우점하는 경향이 적었기 때문이다.

조사지점과는 달리 월별로는 상당한 차이를 보였다. 이는 다른 계절에 비해 겨울(1월, 2월, 12월)의 경우, 단일종(*Stephanodiscus hantzschii*)에 의한 우점률이 대단히 높았기 때문에 사료된다(Fig. 5).

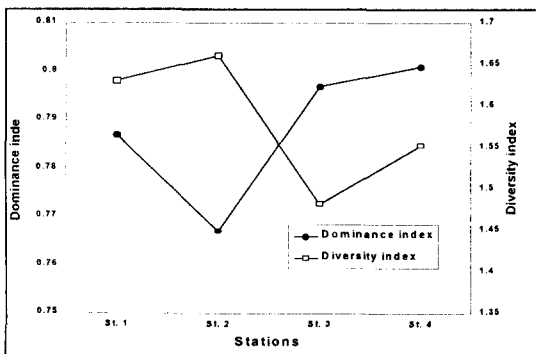


Fig. 5. Seasonal and stationary variations of indices of dominance and diversity in the Naktong river.

Table 2. Dominance and diversity indices of each station in the Naktong river from January to December in 1999.

Month \ Station	St. 1 (GOR)	St. 2 (NAM)	St. 3 (SAM)	St. 4 (MUL)
JAN.	0.986 0.193	0.990 0.155	0.998 0.047	0.999 0.029
FEB.	0.963 0.439	0.985 0.197	0.990 0.154	0.999 0.026
MAR.	0.494 2.997	0.689 2.301	0.766 2.076	0.791 1.740
APR.	0.933 0.834	0.848 1.605	0.880 1.528	0.766 1.878
MAY	0.925 1.076	0.947 0.624	0.781 1.872	0.822 1.723
JUN.	0.859 1.849	0.788 1.992	0.870 1.659	0.797 2.093
JUL.	0.571 2.429	0.632 2.567	0.808 1.232	0.777 1.702
AUG.	0.519 2.669	0.434 3.025	0.464 2.838	0.514 2.703
SEP.	0.745 2.243	0.469 3.073	0.510 2.841	0.747 2.348
OCT.	0.600 2.757	0.578 2.446	0.574 2.410	0.534 2.664
NOV.	0.923 0.923	0.894 1.093	0.925 0.917	0.964 0.525
DEC.	0.929 1.162	0.945 0.851	0.996 0.215	0.911 1.198

upper : Dominance index  
lower : Diversity index

정량자료를 이용하여 조사지점간 유사도를 구한 유사도지수에 의한 군집분석의 결과, 크게 두 그룹 즉 고령, 남지, 삼랑진의 한 그룹과 물금 지역 한 그룹으로 구분되어졌다(Fig. 6). 이에 대한 원인규명에 대해서는 어떠한 요인에 의한 것인지 앞으로 연구되어야 할 과제라고 본다.

Rescaled Distance Cluster Combine

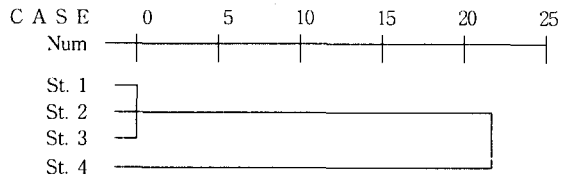


Fig. 6. Dendrogram of clustering of 4 stations using Jaccard's coefficient.

4. 결론

본 조사기간동안 이화학적 환경조사로 pH의 경우, 평균값은 8.1, BOD는 2.5mg/l, COD는 5.0mg/l, Chl-a는 41 µg/l 그리고 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N은 0.08mg/l였으며 대체로 하류로 갈수록 증가하는 경향을 보였다. Chl-a는 일반적으로 부영양화된 상태를 평가하는 지표로 이용되는데 OECD 기준에는 >25µg/l일 때 부영양상태, >75µg/l일 때 과영양상태이므로 본 조사지역에서 Chl-a의 평균값을 생각한다면 부영양상태라고 할 수 있지만 영양단계로 볼 때, 부영양화단계에서 과영양단계로 서서히 진행되어 가고 있는

과정이라고 판단된다.

식물플랑크톤 군집은 42속 76종이었으며 diatoms 19속 39종(51.3%), green algae 12속 25종(32.9%), cyanobacteria 4속 4종(5.3%), dinoflagellates 3속 4종(5.3%), euglenoids 2속 2종(2.6%), golden brown algae와 cryptomonads가 각각 1속 1종(1.3%)로 조사되었다. 본 조사에서, 규조류와 녹조류가 전체 구성종의 84.2%를 차지하였는데 김과 이<sup>20)</sup>의 낙동강상류를 대상으로 한 연구에서도 규조류와 녹조류가 전체 구성종의 84%를 차지하여 본 조사와 비슷한 결과를 나타내었다. 따라서 낙동강 본류에서는 거의 규조류와 녹조류에 의해 전체 구성종이 좌우된다는 것을 알 수 있다.

식물플랑크톤의 현존량은 최저 79 cells/ml에서 최고 33,023 cells/ml의 범위를 나타내었고 종의 계절적 천이는 *Stephanodiscus hantzschii*(겨울) → *Cyclotella meneghiniana*, *Synedra acus*(봄) → *C. meneghiniana*, *S. acus*, *Aulacoseira granulata* var. *angustissima* (여름) → *A. granulata* var. *angustissima*, *C. meneghiniana*(가을)로 뚜렷한 천이양상을 보였다.

본 조사기간동안의 생태학적 주요종은 *Stephanodiscus hantzschii*, *Cyclotella meneghiniana*, *Synedra acus*, *Aulacoseira granulata* var. *angustissima*였고 *C. meneghiniana*, *S. acus*, *A. granulata* var. *angustissima*는 4계절 모두, 대부분의 조사지점에서 발생하는 출현빈번종이면서도 광분포종이었고 *Stephanodiscus hantzschii*는 겨울철에 총 현존량의 90% 이상을 차지하는 우점종이었다. 이들 생태적 주요종은 그 연구자들마다 상당한 차이가 있어 이를 지표화할 필요성이 있고 이들 지표화된 주요종만을 파악한다면 간접적으로 수생태계를 파악할 수 있을 것으로 판단된다.

군집분석의 결과 우점도지수는 최저 0.434(8월, 남지), 최고 0.999(1월, 2월, 물금)였고 종다양성지수는 최저 0.026(2월, 물금), 최고 3.073(9월, 남지)였다. 유사도지수에 의한 군집분석의 결과는 크게 두 지역 즉 고령, 남지, 삼랑진의 중류지역과 물금의 하류지역으로 구분되어졌다.

#### 감사의 글

이 논문은 2000학년도 경성대학교 학술지원 연구비에 의하여 연구되었습니다.

#### 참 고 문 헌

- 1) 문성기, 김종원, 이종남, 1988, 낙동강하류의 Microflora, 경성대학교논문집, 9(2), 249-262.
- 2) 정준, 김한순, 김용재, 1994, 낙동강 하구둑의 식물성 플랑크톤 군집구조, 한국육수학회지, 27, 33-46.
- 3) 신재기, 조경재, 1999, 낙동강 하구에서 환경요인과 담수조류의 일변화, 한국육수학회지, 34:341-348.
- 4) Nusch, E. A., 1980, Comparison of different methods for chlorophyll and phaeopigment determination, Arch. Hydrobiol. Beih.(Ergebn. Limnol.), 14, 14-36.
- 5) APHA, AWWA, WEF, 1992, Standard methods for the examination of water and wastewater, 18th ed.

- American Public Health Association, Washington, DC.
- 6) Rump, H. H. and h. Krist, 1988, Laboratory manual for the examination of water, wastewater, and soil. VCH Verlagsgesellschaft, Publ, New York, NY(USA), 190pp.
- 7) 廣賴弘幸, 山岸高旺, 1977, 日本淡水藻類圖鑑, 内田老鶴圃, 933pp.
- 8) 水野壽彦, 1977, 日本淡水プランクトン圖鑑, 保育社, 353pp.
- 9) 根來健一郎, 1982, 琵琶湖のプランクトン, 滋賀縣立衛生環境センター, 157pp.
- 10) 정영호, 1968 한국동식물도감 제9권 식물편(담수조류), 문교부, 573pp.
- 11) 정준, 1994, 韓國淡水藻類圖鑑, 아카데미서적, 496pp.
- 12) McNaughton, S. J., 1968, Structure and function in California grasslands, Ecology, 49, 962-967.
- 13) Shannon, C. E. and W. Weaver, 1949, The mathematical theory of communication, University Illinois Press, Urbana, IL. 326pp.
- 14) 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.
- 15) OECD, 1982, Eutrophication of waters, Monitoring, assessment and control, Organisation for Economic Co-operation and Development, Paris, France, 154pp.
- 16) Lee, J. H., J. S. Choi, Y. J. Kim and J. Chung, 1995, Flora of planktonic diatom in the Naktong River Estuary, Korea. Kor. J. Limnol., 28, 35-47.
- 17) 박성배, 하경, 홍정희, 박재림, 주기재, 2000, 낙동강 하구의 담수역에서의 플랑크톤군집의 계절적 변화, 한국환경과학회 2000년 봄 학술발표회 초록집 247-250.
- 18) 신윤근, 1996, 섬강 상류의 식물플랑크톤상 연구, 한국육수학회지, 29, 143-157.
- 19) Ha, K., E. A. Cho, H. W. Kim and G. J. Joo, 1999, *Microcystis* bloom formation in the lower Naktong River, South Korea: Importance of hydrodynamics and nutrient loading. Mar. Freshwater Res., 50, 89-94.
- 20) 김종원, 이학영, 1989, 낙동강 상류의 식물성플랑크톤에 관한 연구, 부산대학교 자연과학 논문집 48, 67-87.
- 21) 이진환, 장만, 1997, 한강하류의 환경학적 연구 II. 식물플랑크톤의 동태, 한국육수학회지 30, 193-202.
- 22) 김준태, 박유라, 조현실, 부성민, 1996, 금강 수계에서 식물플랑크톤의 군집 구조, 한국육수학회지 29, 187-195.
- 23) 이종남, 1994, 낙동강하류의 수계환경과 phytoplankton군집의 특성에 관한 연구, 경성대 학교 박사학위논문, 170pp.