

낙동강 중·하류의 식물플랑크톤 군집구조 분석 The Analysis of Phytoplankton Community Structure in the Middle-Lower Part of the Nakdong River

손 희 중
Hee-Jong Son

부산광역시 상수도사업본부 수질연구소
Water Quality Institute, Busan Water Authority

(2013년 4월 1일 접수, 2013년 5월 31일 채택)

Abstract : A seasonal variation of phytoplankton community in the middle-lower part of the Nakdong River was studied in four sampling stations at monthly intervals from January to December 2012. We identified 40 genera 72 species of phytoplankton. Among these, diatoms were 36 species (50.0%), green algae 20 species (27.8%), blue-green algae 9 species (12.5%) and others 7 species (9.7%), respectively. The phytoplankton standing crops were recorded a maximum of 29,640 cells/mL at the Mulgeum (St. 4) in June and a minimum of 236 cells/mL at the Goryung (St. 1) in October. Also, Standing crops were increased with proceeding from middle part to lower part. Ecological important species were *Stephanodiscus hantzschii*, *Cyclotella meneghiniana*, *Synedra acus*, *Aulacoseira granulata*, *Pediastrum* sp. and *Microcystis aeruginosa*. Seasonal succession of phytoplankton represented that *Stephanodiscus hantzschii* was dominant species in winter, *Cyclotella meneghiniana*, *Synedra acus* was dominant species in spring, *Microcystis aeruginosa*, *Cyclotella meneghiniana*, *Fragilaria crotonensis*, *Synedra acus*, *Aulacoseira granulata* was dominant species in summer, and *Aulacoseira granulata*, *Cyclotella meneghiniana*, *Fragilaria crotonensis* was dominant species in autumn. In the community analysis, diversity index and dominant index were higher May~July and December~February, respectively. Also, diversity index and dominant index were decreased and increased with proceeding from middle part to lower part.

Key Words : Phytoplankton, Nakdong River, Community Structure, Diversity Index, Dominant Index, Dominant Species

요약 : 2012년 1월부터 12월까지 낙동강 중·하류지역의 식물플랑크톤 군집구조를 조사하였다. 식물플랑크톤 군집은 40속 72종으로 규조류 36종(50.0%), 녹조류 20종(27.8%), 남조류 9종(12.5%) 및 기타 7종(9.7%)이었고, 출현종 수의 구성비율에서 규조류 50%, 녹조류가 28%로 나타나 규조류와 녹조류에 의한 의존도가 매우 높았다. 식물플랑크톤의 현존량은 6월에 물금(St. 4)에서 29,640 cells/mL로 가장 높았고, 10월에 고령에서 236 cells/mL로 가장 낮았다. 동절기와 하절기에 다른 계절에 비해 높은 현존량을 나타내었으며, 하류로 갈수록 현존량이 증가하였다. 생태학적 주요종은 규조류인 *Stephanodiscus hantzschii*, *Cyclotella meneghiniana*, *Synedra acus*, *Aulacoseira granulata*와 녹조류인 *Pediastrum* sp. 및 남조류인 *Microcystis aeruginosa*였고, 겨울철에는 *Stephanodiscus hantzschii*, 여름철에는 *Microcystis aeruginosa*가 우점종으로 나타났다. 종의 계절적 천이는 겨울에 *Stephanodiscus hantzschii*, 봄에 *Cyclotella meneghiniana*, *Synedra acus*, 여름에 *Microcystis aeruginosa*, *Cyclotella meneghiniana*, *Fragilaria crotonensis*, *Synedra acus*, *Aulacoseira granulata*, 가을에 *Aulacoseira granulata*, *Cyclotella meneghiniana*, *Fragilaria crotonensis*의 순으로 천이양상을 보였다. 종다양성 지수와 우점도 지수는 5월~7월 및 12월~2월에 다른 시기에 비해 비교적 높게 나타났다. 또한, 하류로 갈수록 종다양성 지수는 대체로 감소하였고, 반면 우점도 지수는 증가하였다.

주제어 : 식물플랑크톤, 낙동강, 군집구조, 종다양성 지수, 우점도 지수, 우점종

1. 서론

식물플랑크톤은 수중 생태계의 기초가 되는 1차 생산자로서 전체 생태계의 구조 변화 및 발전 방향을 결정지를 뿐만 아니라 수질 환경변화에도 민감하게 반응하여 어떤 단일 생물군보다도 수환경 변화의 지표성에 있어 중요하게 활용되고 있다.¹⁾ 그러므로 특정 수역의 현재는 물론 장래의 수환경 변화 양상을 파악하기 위해서는 당연히 식물플랑크톤의 면밀한 조사는 당연한 것이며, 부산과 인근 경남지역의 수자원이어서 그리고 식수원으로서도 그 중요성이 매우 큰 낙동강과 같은 중요한 수자원의 경우에는 장기적인 생태계 보전 및 수질 변화의 원활한 관리를 위해서는 식물플랑크톤에

대한 조사는 더욱 그 중요도가 강조된다.

낙동강의 경우 1992년 이후부터 매년 하절기에는 *Microcystis aeruginosa*를 중심으로 한 남조류의 수화(water bloom) 발생과 동절기에는 규조류인 *Stephanodiscus* sp.와 *Aulacoseira* sp.의 대발생으로 인해 정수처리를 비롯한 각종 수자원 이용에 많은 어려움을 겪고 있다.²⁾

낙동강에 대한 식물플랑크톤의 연구로는 하구나 하구둑 부근에 대한 국한적인 연구결과^{2,3)}이거나 낙동강의 중·하류의 식물플랑크톤에 대한 연구결과라도 2000년대 초반의 연구결과^{4,5)}들로 현재는 4대강 살리기 공사의 일환으로 낙동강 분류에 8개의 보가 설치되어 운영되고 있고, 이로 인하여 보 설치 이전에 비해 강의 흐름이 조절되는 생태계로 전

† Corresponding author E-mail: menuturk@hanmail.net Tel: 051-669-4635 Fax: 051-669-4669

환되었다. 댐이나 보의 건설은 하천의 형태를 변형시킴으로써 하천을 중·형으로 구분하며, 하천의 연결성을 감소시켜 수생 생태계에 다양한 문제를 유발한다.^{6,7)}

본 연구는 낙동강의 중·하류 수계를 대상으로 식물플랑크톤 군집조사와 계절적 천이를 조사·분석하여 낙동강 중·하류 수계의 생태계를 파악하는 기초자료로서 활용하고자 실시되었다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사 시기 및 지점

본 연구는 2012년 1월부터 12월까지 낙동강의 중류~하류까지 분류 4개 지점(고령, 남지, 삼랑진, 물금)을 선택하여 월 1회 실시하였으며, Fig. 1에 채수 및 채집지점에 대한 위치를 나타내었으며, 고령(St. 1)은 경상북도 고령군의 고령교에서 채수를 하였고, 남지(St. 2), 삼랑진(St. 3) 및 물금(St. 4)의 경우는 경상남도 창원군 남지교, 경상남도 밀양시 삼랑진 대교 및 경상남도 양산시 물금취수장에서 채수 및 채집하였다.

2.2. 분석

수질항목은 pH, BOD, COD, NH₃-N, T-N, T-P 및 chlorophyll-a (Chl-a) 농도를 분석하였으며, pH는 현장에서 휴대용 pH 측정기(Mettler-Toledo, Switzerland)로 측정하였으며, 나머지 항목들은 시료 채수 후 ice box에 보관하면서 실험실로 이송하여 분석하였다. BOD는 winkler azid법으로 보정한 BOD probe (YSI model 5730)로, COD는 KMnO₄법, NH₃-N는 시료를 GF/C로 여과 후 standard method⁸⁾에 준하여 분

석하였고, T-N과 T-P는 수질자동 분석기(Bran-luebbe, auto analyzer 3, Germany)를 이용하였으며, Chl-a는 조류농도 분석기(bbe fluorometer, Moldaenke, Germany)를 이용하여 분석하였다. 식물플랑크톤의 현존량 계수 등을 위한 시료는 현장에서 표층수 1 L를 채수하여 망목 10 μm의 체(seive)로 여과하여 농축시료 10 mL를 중성 formalin을 이용하여 최종농도 3%로 고정⁴⁾한 후 실험실로 운반하여 Sedwick-Rafter counting chamber를 사용하여 Schoen의 방법⁹⁾으로 계수하여 평가하였다. 군집분석으로는 우점도 지수(dominant index)¹⁰⁾와 종다양성 지수(diversity index)¹¹⁾를 구하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수질인자 변화

조사지점(St. 1~4)들에서 월별로 측정된 수질인자들의 연평균(n=12) 값들을 Table 1에 나타내었다. pH, BOD 및 COD의 경우 지점별로 연평균 농도에는 큰 차이가 없었으며, 식물플랑크톤의 영양염류인 NH₃-N과 T-N의 경우는 고령(St. 1)과 남지(St. 2)가 하류지역인 삼랑진(St. 3)과 물금(St. 4)에 비해 높은 값을 나타내었으며, T-P의 경우는 고령이 0.12 mg/L로 가장 높은 연평균 농도를 나타내었으며, 남지, 삼랑진 및 물금지역은 0.06~0.07 mg/L로 거의 유사한 농도를 나타내었다. 고령(St. 1)과 물금(St. 4)의 연평균 BOD 농도를 이전의 연구결과들과 비교해보면 1995년⁵⁾과 2000년⁵⁾에 고령(St. 1)의 경우 각각 8.2 mg/L와 4.2 mg/L로 보고되었으며, 물금(St. 4)의 경우도 각각 4.1 mg/L와 2.9 mg/L로 보고되었으며, T-N과 T-P의 경우도 2000년도의 고령과 물금의 연평균 농도가 각각 4.5 mg/L와 0.22 mg/L 및 3.4 mg/L 와 0.14 mg/L로 보고되어 본 연구의 결과와 종합하여 보면 수질 오염물질들의 연평균 농도가 점점 감소하는 것을 알 수 있다.

Table 1. Comparison of the annual average (±S.D.) of some water quality factors at four stations from Jan. to Dec. in 2012

Item	Stations			
	St. 1	St. 2	St. 3	St. 4
pH	8.48 (±0.70)	8.78 (±0.80)	8.42 (±0.87)	8.33 (±0.86)
BOD (mg/L)	2.22 (±1.41)	2.18 (±1.38)	2.38 (±0.97)	2.31 (±1.03)
COD (mg/L)	5.67 (±1.51)	5.40 (±1.78)	5.67 (±1.03)	5.73 (±1.30)
NH ₃ -N (mg/L)	0.17 (±0.14)	0.18 (±0.20)	0.05 (±0.03)	0.04 (±0.03)
T-N (mg/L)	3.86 (±1.64)	2.83 (±0.75)	2.69 (±0.55)	2.72 (±0.49)
T-P (mg/L)	0.12 (±0.11)	0.07 (±0.04)	0.06 (±0.03)	0.06 (±0.03)
Chl-a (mg/m ³)	17.7 (±19.0)	26.9 (±22.0)	29.1 (±24.4)	34.4 (±36.8)

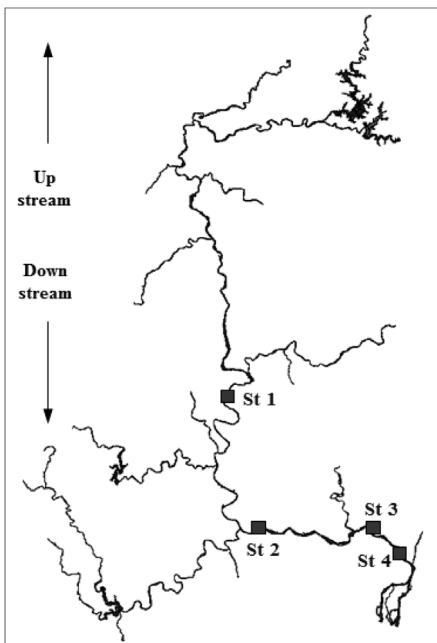


Fig. 1. Map showing sampling stations in the Nakdong River.

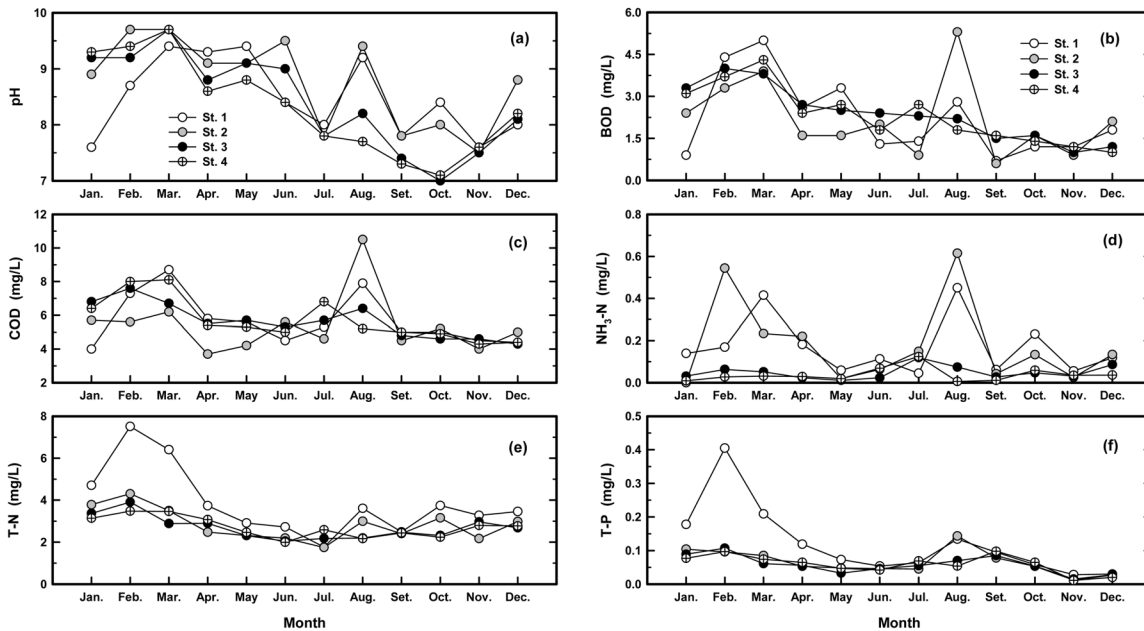


Fig. 2. Monthly variations of water quality factors concentration at 4 stations of the Nakdong River from Jan. to Dec. in 2012.

Chl-a의 연평균 농도는 고령의 경우 17.7 mg/m³으로 가장 낮게 나타났으며, 남지에서 26.9 mg/m³, 삼랑진 및 물금의 경우는 각각 29.1 mg/m³와 34.4 mg/m³의 연평균 농도를 나타내어 고령에서 하류지역으로 갈수록 점점 chl-a의 연평균 농도가 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 현상은 2001년에 보고된 Chung 등⁴⁾의 연구결과와 매우 유사하며, Chung 등⁴⁾의 연구결과에서도 1999년도 고령과 남지의 연평균 Chl-a 농도가 29 mg/m³와 37 mg/m³으로 삼랑진과 물금의 47 mg/m³와 51 mg/m³ 비해 낮게 나타나 증류에서 하류로 갈수록 Chl-a 농도는 증가한 것으로 보고하였다.

각 조사지점별로 월별 수질인자들의 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 모든 수질인자들은 1월~4월과 8월에 농도가 상승하는 경향을 나타내었다. NH₃-N의 경우는 1월~4월에 고령(St. 1)과 남지(St. 2)에서 삼랑진(St. 3)과 물금(St. 4)에 비해 높게 나타났으며, T-N 및 T-P의 경우는 고령지점(St. 1)만 월등히 높은 농도를 나타내었다. 이러한 결과는 갈수기 영향으로 유량이 줄어든 낙동강 본류로 상류에 위치한 금호강과 대구지역 지천들에서 점·비점오염원들의 유입으로 인해 다른 계절보다 높게 나타난 것으로 판단된다.

각 조사지점별로 월별 Chl-a의 농도변화를 Fig. 3에 나타

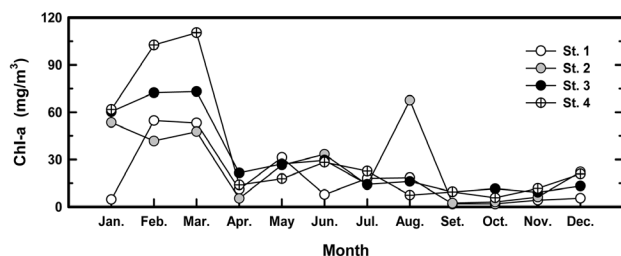


Fig. 3. Monthly variations of Chl-a concentration at 4 stations of the Nakdong River from Jan. to Dec. in 2012.

내었다. 4지점 모두 동절기인 1월에서 3월까지가 다른 계절에 비해 높은 Chl-a 농도를 나타내었으며, 남지(St. 2)의 경우는 8월에 일시적으로 68 mg/m³ 정도의 높은 값을 나타낸 것을 제외하곤 4지점 모두 4월부터 12월까지 30 mg/m³ 이하로 나타났다. 또한, 지점별 비교에서는 Table 1에 나타낸 각 지점별 연평균 chl-a 농도에서도 볼 수 있듯이 Fig. 3의 경우도 하류(삼랑진, 물금)로 갈수록 월별 Chl-a의 농도가 상승하는 것을 볼 수 있다. 이는 앞서 설명하였듯이 삼랑진과 물금은 하구둑의 영향으로 유속이 느려져 수류가 정체됨에 따라 식물플랑크톤의 농도가 고령이나 남지에 비해 비교적 높게 나타난 것으로 판단된다.

3.2. 식물플랑크톤의 군집분석

조사기간 동안 낙동강(St. 1~4)에서 조사된 식물플랑크톤 군집은 40속 72종이었으며, 이는 Lee 등⁵⁾이 보고한 102속 201종과 Chung 등⁴⁾이 보고한 42속 76종 보다 적은 출현종수를 나타내었다. 본 연구의 72종 중 구성비는 규조류가 19속 36종(50.0%), 녹조류가 12속 20종(27.8%), 남조류가 4속 9종(12.5%) 및 와편모조류 등 기타가 5속 7종(9.7%)이었으며, 종 구성비율에서 규조류가 50%로 나타나 규조류에 의한 의존도가 매우 높은 것으로 나타났다. Chung 등⁴⁾과 Lee 등⁵⁾의 연구결과에서도 규조류의 구성비율이 가장 높은 것으로 보고하고 본 연구와 유사한 결과를 나타내었다.

2012년 1년간 4곳의 조사지점별 식물플랑크톤 출현종수와 출현종수 구성비율을 Fig. 4(a)에 나타내었다. 4곳의 조사지점 모두 규조류의 출현종수 구성비율이 48%~60%로 가장 높게 나타났으며, 낙동강 하류(물금, St. 4)로 갈수록 규조류의 출현종수 구성비율이 높았다. 또한 녹조류의 경우도 33%~40%의 출현종수 구성비율을 나타냈으며, 고령(St. 1)에서 가장 높은 비율을 차지하였다. 남조류의 출현종수 구

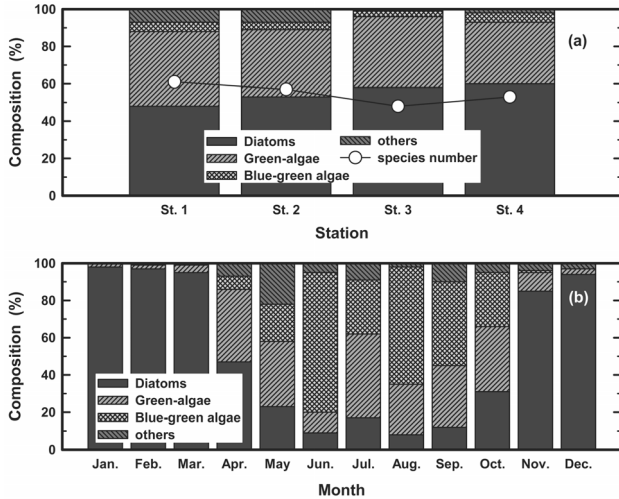


Fig. 4. Composition rate for the species number of phytoplankton classes [(a) annual variations of each stations, (b) monthly variations in the 4 stations].

성비율은 전체 출현종의 3%~5%의 비율로 매우 낮았으며, 와편모조류 등을 포함한 기타 조류종도 1%~7%의 출현종 구성비율을 나타내었고, 중류지역인 고령(St. 1)과 남지(St. 2)에서 7%의 비율을 나타내어 하류의 1%~2%보다는 높은 출현종 구성비율을 나타내었다. 또한, 각 지점별 총 출현종 수는 고령(St. 1) 61종, 남지(St. 2) 57종, 삼랑진(St. 3) 48종 및 물금(St. 4) 53종으로 나타나 하류로 갈수록 총 출현종의 수가 감소하는 추세를 보였다.

4곳의 조사지점에 대한 월별 식물플랑크톤 출현종 수 구성비율을 Fig. 4(b)에 나타내었다. 12월부터 3월까지는 출현하는 종 수의 대부분이 규조류로 나타났고, 4월과 5월에는 규조류와 녹조류의 출현종 수가 거의 유사하게 나타나고 있다. 6월~9월에는 남조류의 출현종 수가 급증하여 높은 비율을 나타내었으나, 7월에는 29% 정도로 비교적 낮은 비율을 나타내었다. 이는 장마철의 강우의 영향으로 판단되며, 이 시기에 녹조류의 출현종 수 구성비율이 45% 정도로 일시적으로 증가하였다. 10월에는 규조류, 녹조류 및 남조류의 출현종 수 구성비율이 거의 유사하게 나타났으며, 수온이 하강하는 11월에는 규조류의 출현종 수 구성비율이 85% 정도로 급증하는 경향을 나타내었다. 또한, Fig. 4에는 나타내지 않았으나 4곳의 조사지점에서의 월별 총 출현종 수의 경우 5월~7월 사이에 평균 43종으로 가장 많은 출현종 수를 나타낸 반면, 12월~2월에는 평균 8종 정도로 가장 낮은 출현종 수를 나타내어 동절기 보다는 수온이 상승하는 하절기에 출현종 수가 증가하는 것으로 나타났다.

시기별 지점별 식물플랑크톤의 현존량을 Fig. 5에 나타내었다. 6월에 물금(St. 4)에서 29,640 cells/mL로 가장 높았으며, 10월에 고령(St. 1)에서 236 cells/mL로 가장 낮게 나타났다. 4 지점에서의 전체적인 경향을 보면 하절기에 각 지점별로 가장 높은 현존량을 나타내었으며, 다른 계절에 비해 동절기와 하절기에 높은 현존량을 나타내었다. 또한, 중류(고령, St. 1)에서 하류(물금, St. 4)로 갈수록 증가하는 경

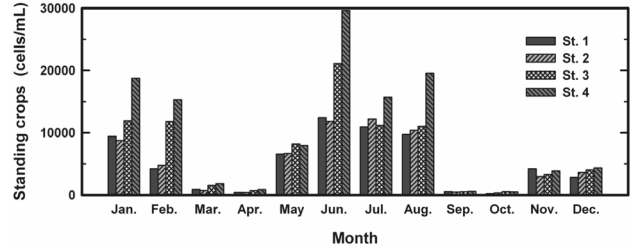


Fig. 5. Seasonal variations of standing crops of phytoplankton at 4 stations of the Nakdong River from Jan. to Dec. in 2012.

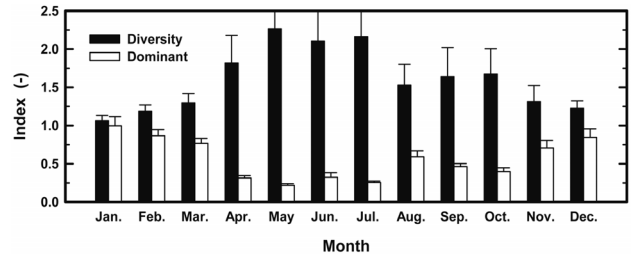


Fig. 6. Seasonal variations of average of diversity and dominant index in the Nakdong River from Jan. to Dec. in 2012.

향을 보였다. 이러한 경향은 Lee 등⁵⁾ 이들 연구결과와 매우 유사하며, Lee 등⁵⁾도 하절기에 가장 높은 현존량을 나타내었으며, 상류보다는 하류의 경우가 현존량이 높은 것으로 보고하고 있다. Chung 등의 연구결과⁴⁾에서는 동절기인 2월에 가장 높은 현존량을 나타낸 것으로 보고하고 있어 본 연구와 상이한 결과를 보였으나, 중류와 하류의 현존량 비교에서는 하류의 경우가 현존량이 높은 것으로 보고하고 있어 본 연구와 유사한 결과를 나타내었다.

월별 4개 지점에 대한 종다양성 지수(diversity index)와 우점도 지수(dominant index)의 평균값을 나타내었다. 월별로는 5월(2.27)~7월(2.16)에 종다양성 지수가 가장 높게 나타났으며, 반면에 우점도 지수는 0.22~0.32로 가장 낮았으며, 12월~2월에는 우점도 지수가 0.85~1.00으로 가장 높게 나타난 반면, 종다양성 지수가 1.06~1.22로 가장 낮게 나타났다. 종다양성 지수는 하류로 갈수록 그 값이 대체로 감소하였고, 반면 우점도 지수는 증가하는 경향을 나타내었다.

3.3. 생태학적 주요종

조사기간 동안 4곳의 조사지점들에서의 생태학적 중요종을 조사한 것을 Table 2에 나타내었다. 우선 *Stephanodiscus hantzschii*, *Cyclotella meneghiniana*, *Synedra acus*, *Aulacoseira granulata*와 같은 규조류와 *Pediastrum sp.*와 같은 녹조류의 경우는 거의 4계절 모두 대부분의 조사지점에서 발생하는 출현 빈번종이면서도 광분포종이었으며, *Stephanodiscus hantzschii*는 겨울철에 총 현존량의 90% 이상을 차지하는 우점종이었다. 이들은 Chung 등의 연구⁴⁾에서도 출현 빈번종 및 광분포종으로 언급하고 있다. 또한, 수온이 상승하는 5월부터 10월까지 남조류인 *Microcystis aeruginosa*가 4곳의

Table 2. Dominant species of phytoplankton at four stations in the Nakdong River during four season

Algae class	Season			
	Jan.~Mar.	Apr.~Jun.	Jul.~Sep.	Oct.~Dec.
Blue-green algae	-	<i>Anabaena spiroides</i>	<i>Anabaena spiroides</i>	<i>Anabaena spiroides</i>
		<i>Microcystis aeruginosa</i>	<i>Microcystis aeruginosa</i>	<i>Microcystis aeruginosa</i>
		<i>Oscillatoria</i> sp.	<i>Oscillatoria</i> sp.	<i>Oscillatoria</i> sp.
		<i>Asterionella formosa</i>	<i>Asterionella formosa</i>	<i>Asterionella gracillima</i>
		<i>Cyclotella meneghiniana</i>	<i>Cyclotella comta</i>	<i>Cyclotella comta</i>
		<i>Diatoma vulgare</i>	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	<i>Cyclotella meneghiniana</i>
		<i>Fragilaria crotonensis</i>	<i>Diatoma vulgare</i>	<i>Diatoma vulgare</i>
		<i>Aulacoseira granulata</i>	<i>Fragilaria crotonensis</i>	<i>Fragilaria crotonensis</i>
		<i>Aulacoseira italica</i>	<i>Aulacoseira granulata</i>	<i>Aulacoseira granulata</i>
		<i>Aulacoseira varians</i>	<i>Aulacoseira italica</i>	<i>Aulacoseira italica</i>
		<i>Navicula cryptocephala</i>	<i>Aulacoseira varians</i>	<i>Aulacoseira varians</i>
		<i>Navicula palea</i>	<i>Navicula cryptocephala</i>	<i>Navicula cryptocephala</i>
		<i>Stephanodiscus hantzschii</i>	<i>Navicula palea</i>	<i>Navicula palea</i>
		<i>Synedra acus</i>	<i>Synedra acus</i>	<i>Synedra acus</i>
		<i>Synedra ulna</i>	<i>Synedra ulna</i>	<i>Synedra ulna</i>
Diatoms		<i>Actinastrum hantzschii</i>		<i>Actinastrum hantzschii</i>
		<i>Chlamydomonas</i> sp.	<i>Actinastrum hantzschii</i>	<i>Chlamydomonas</i> sp.
	<i>Chlamydomonas</i> sp.	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>	<i>Dictyosphaerium pulchellum</i>
	<i>Pediastrum boryanum</i>	<i>Pediastrum boryanum</i>	<i>Pediastrum duplex</i>	<i>Pediastrum boryanum</i>
		<i>Pediastrum duplex</i>	<i>Pediastrum simplex</i>	<i>Pediastrum duplex</i>
		<i>Scenedesmus acuminatus</i>	<i>Scenedesmus acuminatus</i>	<i>Pediastrum simplex</i>
				<i>Scenedesmus acuminatus</i>
Green-algae				

조사지점에서 빈번히 검출되어 하절기에 출현 빈번종 및 우점종으로 나타났다. 종의 계절적 천이는 겨울에 *Stephanodiscus hantzschii*, 봄에 *Cyclotella meneghiniana*, *Synedra acus*, 여름에 *Microcystis aeruginosa*, *Cyclotella meneghiniana*, *Fragilaria crotonensis*, *Synedra acus*, *Aulacoseria granulata*, 가을에 *Aulacoseria granulata*, *Cyclotella meneghiniana*, *Fragilaria crotonensis*의 순으로 뚜렷한 천이양상을 보였다.

4. 결론

2012년 1월부터 12월까지 낙동강 중·하류지역의 식물플랑크톤 군집구조를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 식물플랑크톤 군집은 40속 72종으로 규조류가 19속 36종(50.0%), 녹조류가 12속 20종(27.8%), 남조류가 4속 9종(12.5%) 및 기타 5속 7종(9.7%)이었고, 출현종 수의 구성비율에서 규조류 50%, 녹조류가 28%로 나타나 규조류와 녹조류에 의한 의존도가 매우 높았다.

2) 식물플랑크톤의 현존량은 6월에 물금에서 29,640 cells/mL로 가장 높았으며, 10월에 고령에서 236 cells/mL로 가장 낮았고, 다른 계절에 비해 동절기와 하절기에 높은 현존량을 나타내었다. 또한, 종류에서 하류로 갈수록 현존량이 증가하는 경향을 보였다.

3) 낙동강 중·하류에서의 생태학적 주요종은 규조류인 *Stephanodiscus hantzschii*, *Cyclotella meneghiniana*, *Synedra*

acus, *Aulacoseira granulata*와 녹조류인 *Pediastrum* sp. 및 남조류인 *Microcystis aeruginosa*였고, 규조류와 녹조류의 경우는 출현 빈번종이면서도 광분포종이었으며, 겨울철에는 *Stephanodiscus hantzschii*, 여름철에는 *Microcystis aeruginosa*가 우점종으로 나타났다.

4) 종의 계절적 천이는 겨울에 *Stephanodiscus hantzschii*, 봄에 *Cyclotella meneghiniana*, *Synedra acus*, 여름에 *Microcystis aeruginosa*, *Cyclotella meneghiniana*, *Fragilaria crotonensis*, *Synedra acus*, *Aulacoseria granulata*, 가을에 *Aulacoseria granulata*, *Cyclotella meneghiniana*, *Fragilaria crotonensis*의 순으로 천이양상을 보였다.

5) 종다양성 지수(diversity index)는 5월~7월에 다른 시기에 비해 비교적 높게 나타난 반면, 우점도 지수는 12월~2월에 가장 높게 나타났다. 또한, 하류로 갈수록 종다양성 지수는 대체로 감소하였고, 반면 우점도 지수는 증가하였다.

KSEE

참고문헌

1. Canter-Lund, H. and Lund, J. W. G., Freshwater Algae-Their Microscopic World Explored-, Biopress Ltd, Bristol, pp. 360 (1995).
2. Choi, A. R., Oh, H. M. and Lee, J. A., "Ecological study on the toxic Microcystis in the lower Nakdong River," *Algae*, **17**(3), 171~185(2002).
3. Sin, J. G. and Cho, K. J., "Diurnal variation of environmental factors and freshwater algae in the nakdong river

- estuary," *Kor. J. Limnol.*, **32**(4), 341~348(1999).
4. Chung, J. M., Choi, C. M. and Moon, S. G., "The structure of phytoplankton community in the middle-lower part of the Nakdong River," *J. Kor. Environ. Sci. Soc.*, **10**(1), 41~45(2001).
 5. Lee, J. H., Kwon, J. N. and Yang, S. Y., "Seasonal variation of phytoplankton community in the Nakdong River," *Algae*, **17**(4), 267~273(2002).
 6. Large, A. R. G. and Petts, G. E., "Rehabilitation of river margins," In *The River Handbook*, Vol. 2, Calow, P. and Petts, G. E. (Eds), Blackwell Scientific Publications, Oxford, pp. 401~418(1992).
 7. Yoon, J. D., Kim, J. H., In, D. S., Yu, J. J., Hur, M., Chang, K. H. and Jang, M. H., "Evaluation of movement pattern of *Erythroculter erythropterus* inhabit in the mid-lower part of Nakdong River using acoustic telemetry," *Kor. J. Limnol.*, **45**(4), 403~411(2012).
 8. AHPA, AWWA, WEF, *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 18th ed. American Public Health Association, Washington, DC. (1992).
 9. Schoen, S., "Cell counting," In *Experimental Phycology A Laboratory Manual*, Christopher, S. L., David, J. C. and Bruno, P. K. (Eds), Cambridge Univ. Press, London, pp. 16~22 (1988).
 10. McNaughton, S. J., "Structure and function in California grasslands," *Ecology*, **49**, 963~967(1968).
 11. Shannon, C. E. and Weaver, W., *The Mathematical Theory of Communication*, University Illinois Press, Urbana, IL., p. 326 (1949).