

## 동강 수계의 식물플랑크톤 군집 구조에 관한 연구

조 용 철 · 신 윤 근\*

(상지대학교 환경공학과)

A Study of Structure of Phytoplankton Community in the Upstream Watershed of East River, Korea. Cho, Yong-Chul and Yoon Keun Shin\* (Department of Environmental Engineering, Sangji University, Wonju 220-702, Korea)

Survey on the phytoplankton community structure and distribution in the upstream watershed of the East River was carried out during the period from May, 2008 to April, 2009. A total composition of phytoplankton included 159 taxa, consisting of 7 orders, 56 genera, 139 species, and 40 unidentified species. Among those, the diatoms and green algae were more frequently found during the investigation than the other taxa. *Cocconeis placentula*, *Cymbella minuta*, *Diatoma vulgare*, *Melosira varians*, *Navicula cryptocephala*, *Scenedesmus acuminatus* v. *acuminatus*, were among the most common. The standing crops of the phytoplankton ranged from 86 cells mL<sup>-1</sup> to 1,467 cells mL<sup>-1</sup>. The dominant species were *Achnanthes minutissima*, *Asterionella formosa*, *Aulacoseira ambigua*, *Cocconeis placentula*, *Coelastrum microporum*, *Cyclotella* sp., *Cymbella affinis*, *C. minuta*, *C. tumida*, *Diatoma vulgare*, *Fragilaria capucina*, *F. construens*, *F. crotonensis*, *Gomphonema affine*, *G. clevei*, *Melosira varians*, *Merismopedia elegans*, *Navicula cryptocephala*, *N. pupula*, *Nitzschia tryblionella*, *Oscillatoria anna*, *O. limosa*, *O. tenuis* v. *tenuis*, *Pediastrum duplex* v. *reticulatum*, *Phormidium tenue*, *Scenedesmus acuminatus* v. *acuminatus*, *S. acutus* v. *acutus*, *S. ecornis* v. *ecornis*, *S. quadricauda* v. *quadricauda*, *Spirogyra* sp., *Stigeoclonium* sp., *Synedra acus*, *S. ulna*, and *Ulothrix* sp. The most dominant species was *Cymbella minuta*. The diversity index, evenness index, and dominance index ranged from 1.58 to 3.10, 0.51 to 0.95, and 0.22 to 0.74, respectively. The phytoplankton community structure of upstream stations of the survey area was influenced by the effluent of the Doam Lake.

**Key words :** phytoplankton, standing crops, dominant species, upstream, East River, Doam Lake

### 서 론

최근 경제가 발전하면서 소득이 증대되고 소비가 증가하면서 상류 산간지역에 대한 인위적인 개발이 증가하고

있다. 이 결과 산림이 벌채가 되고 이로 인해 상류 1차유역에서 계류수질에 영향을 미치는 것을 나타나고 있다 (Park, 2002). 산림벌채 이후 고랭지 채소를 경작하고 목축을 위한 초지를 조성하며 스키장 등의 위락시설들이 생

\* Corresponding author: Tel: 033) 730-0441, Fax: 033) 730-0444, E-mail: ykshin@sangji.ac.kr

겨난 이후 계류의 수질이 악화되는 일들이 생겨나고 있다. 본 연구 대상지인 남한강 상류 유역은 강원도 강릉시, 정선군, 평창군, 영월군의 산림지대를 흐르는 계류성 하천으로 하천 수변지형이 화려하고 주변의 산세가 험하며 하천유역은 높은 절벽으로 이루어진 곳이 많아 유속이 비교적 빠른 전형적인 상류 산간 수계의 모습을 나타내고 있다. 하지만 연구대상의 상류 지역인 송천에 존재하고 있는 도암호의 부영영화 (Kim *et al.*, 1995)로 인해 몸살을 앓고 있다. 이로 인해 도암댐은 유역 변경식으로 가동되다가 남대천의 오염이 심각해지자 발전을 멈추고 단순히 하류로 호수물을 방류하고 있다. 도암호에서 방류하는 물에 미세한 입자들을 많이 포함하여 탁수 문제가 발생해 2005년 한수원에서 도암댐 문제 해결을 위한 연구를 수행한 적이 있는데 도암호의 부영영화 원인은 상류에 존재하고 있는 고랭지 농지, 목장 등과 스키장, 골프장, 콘도 등의 위락시설 등에서 나오는 오염물질들이 원인인 것으로 판단된다 (Lee *et al.*, 2006).

하천에 존재하는 식물플랑크톤은 해발고도, 하천의 경사, 속도, 하상의 구조, 수량, 강우량 등의 물리적인 요인에 의해 생태학적 서식 환경이 결정되므로 비교적 그 수가 적고, 생활사의 일부 또는 전부를 정체성 수역에서 보내거나 부착생활을 한다 (Wetzel, 1983). 하천의 식물플랑크톤은 진정 부유성인 경우와 본래 저서성이나 피부착물로부터 탈리되어 일시적으로 부유하는 종류가 있는데 수심이 얕고 유속이 빠른 하천의 경우 하천 바닥과 주변의 피부착물로부터 탈리되어 부상한 결과 진정 부유성보다 일시적으로 부상한 경우가 높은 출현율을 나타낸다 (Lee *et al.*, 2002). 식물플랑크톤은 수계생태계의 중요한 구성원이자 1차생산자로서 먹이연쇄의 기반을 형성하여 생태계 내 에너지 순환에서 매우 중요하며, 이들은 주변환경의 물리, 화학적 변화에 민감하게 반응하는 특성을 가지고 있어 환경오염의 지표성이 뛰어나기 때문에 하천의 오염지표종으로 중요하게 다루어지고 있다 (Watanabe, 1962; Palmer, 1977; Hellowell, 1986).

연구 대상지역의 선행 연구로는 도암호의 부영영화 실태 (Kim *et al.*, 1995), 송천 상류 수계의 수질 및 오염 부하량 분포에 관한 연구 (Huh *et al.*, 1995), 도암호의 수질과 어류군집 특성 연구 (Lee *et al.*, 2006), 도암댐 유역의 산림 파편화 분석 (Heo *et al.*, 2007)이 있고 식물플랑크톤의 연구는 동강의 수질과 식물플랑크톤군집을 연구한 Lee (2004) 등이 있을 뿐이다.

본 연구 지역에서 같은 시기에 조사한 결과를 발표한 것으로는 동강지역의 제한 영양염을 규명한 Aditya *et al.* (2010), 동강 수질과 부착조류에 대해 연구한 Seo *et al.*

(2010), 집중 강우가 남한강 상류수계 수질에 미치는 영향을 연구한 Park and Shin (2011) 등이 있는데 본 연구는 식물플랑크톤 군집의 구조와 분포를 조사하여 상류 수계의 하천생태계의 특성을 이해하고 아울러 도암호로부터 나오는 유출수가 남한강 상류수계의 생태계에 미치는 영향을 분석함으로 도암호를 비롯한 남한강 수계에서의 향후 수질관리에 유용한 기초자료를 제공하고자 하는 목적으로 수행되었다.

## 재료 및 방법

### 1. 조사지점

본 연구는 남한강의 상류지역에서 수행되었는데 조사지점은 총 22개 지점으로, 도암호가 위치한 송천의 4개 지점 (I-1, M-1, M-2, M-3), 지류인 대기천 (B1), 봉산천 (B-2), 골지천 (B-3), 조양강의 5개 지점 (M-5, M-6, M-7, M-8, M-9), 오대천 (B-4), 어천 (B-5), 동남천 (B-7), 동강의 6개 지점 (M-10, M-11, M-12, M-14, M-16, M-17), 지류인 석항천 (B-8)이다. 2009년 4월에는 도암호 내 2개의 정점 (I-2, I-3)을 추가하여 24개 지점에서 실시하였다 (Fig. 1).

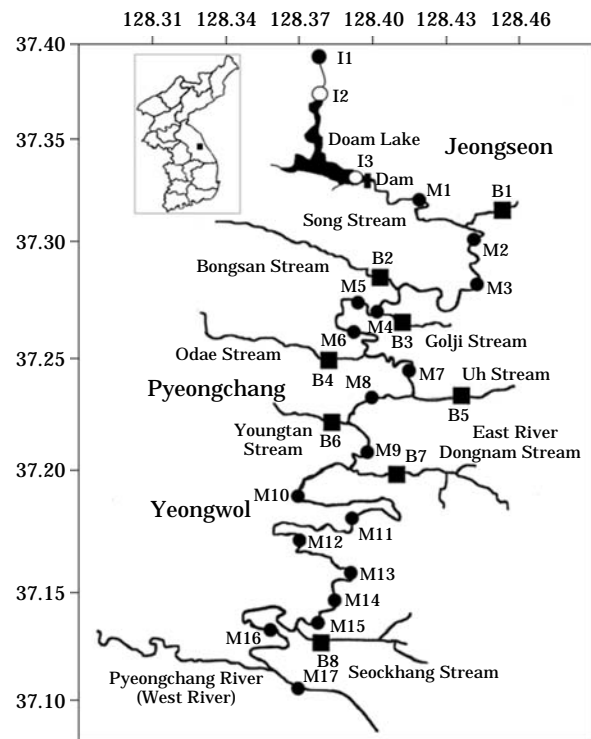


Fig. 1. Map showing the shape of upstream watershed of East River (Donggang) and sampling sites.

2. 조사기간 및 방법

식물플랑크톤 군집 분석을 위한 조사는 2008년 5월, 8월, 10월, 2009년 4월 총 4회 실시하였으며, 이화학적 분석도 수행하였으며 그 분석 결과는 동일 시기에 같은 장소에서 연구를 수행한 Seo *et al.* (2010)과 같다.

식물플랑크톤 정성시료의 채집은 Plankton Net (구경 25 cm, 망목 70 µm)를 사용하였고 채집된 시료는 HDPE 재질의 250 mL bottle에 담아 Lugol's solution 2 mL를 넣어 고정하였다. 종의 동정은 고배율(1,000배)의 광학현미경 (Olympus BH-2)하에서 검경하였다. 식물플랑크톤의 정량분석을 위한 시료는 표층의 흐르는 물을 HDPE재질의 500 mL bottle에 취하여 Lugol's solution 4 mL를 넣어 고정한 후 햇빛을 차단하기 위해 알루미늄 호일로 감쌌다. 고정된 시료를 일주일 이상 암실에서 정치한 후 siphon을 이용해 상등액은 따라 버린 후 침전 농축된 시료를 분석에 이용하였다. 정량분석은 Sedgewick-Rafter counting chamber에 시료 1 mL를 취하여 저배율(100배)에서 단위 체적당 세포수(cells mL<sup>-1</sup>)로 계수하였으며, 시료당 3~4회 계수를 실시하고 보정을 하여 시료마다 농축한 정도를 근거로 계산한 conversion factor를 대입시켜 현존량을 산출하였다.

규조강(돌말류)의 경우는 Lee *et al.* (1995)의 분류체계에 의거하여, 그 밖의 종류는 Hirose and Yamagishi (1977) 체계에 의거하여 정리하였다. 검색참고문헌으로는 Chung (1993), Mizuno (1977), Hirose and Yamagishi (1977), Yamagishi and Akiyama (1984~1989), Patrick and Reimer (1964; 1975), Prescott (1962), Cleve-Euler (1951~1955), Simonsen (1979) 등을 이용하였다.

식물플랑크톤의 군집분석을 위하여 출현된 종수와 현존량을 근거로 각 정점별, 계절별로 Simpson의 우점도지수 (Simpson, 1949), Shannon and Wiener의 다양성지수

(Shannon and Wiener, 1963), Shannon의 지수를 이용한 균등도지수(Pielou, 1966)를 산출하였으며 계산은 COMM 컴퓨터 프로그램을 이용하였다. 식물플랑크톤 군집간의 유사성 분석을 위해 각 정점에서 출현한 종과 현존량을 근거로 유사도를 상관계수로 구하고 집괴분석을 하였으며 Dendrogram을 이용하여 정점간의 유사성을 분석하였으며 계산은 SYSTAT 컴퓨터 프로그램을 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 종조성

동강수계에서 출현한 식물플랑크톤은 총 159종으로서 7강 58속 113종 21변종 25미동정종으로 구성되었다 (Table 1). 같은 지역에서 같은 시기 부착조류를 연구한 Seo *et al.* (2010)의 결과 85종이 출현한 것과 비교하면 출현종이 많았다. 이 이유는 본 연구 수역 중 도암호 내 2개 정점과 방류수에 영향을 받는 하류에 출현한 부유성 식물플랑크톤, 그리고 상류 수계에 인접한 논이나 토양 등 수계 외부로부터 유입된 부착종이 포함되었기 때문으로 여겨진다. 본 연구 결과는 한탄강의 354종 (Kim, 2003)에 비해서는 현저하게 낮고, 섬강의 222종 (Shin, 1996), 임진강의 193종 (Lee and Yoon, 2002)에 비해서는 다소 낮았고, 변산반도 국립공원의 산간계류지역의 143종 (Chung *et al.*, 1991)과 수어천의 112종 (Lee and Yoon, 2002)에 비해서는 높았다.

각 분류군의 점유율을 살펴보면 규조강이 90종류로 전체 중 56.6%로 가장 높은 점유율을 나타냈고, 그 다음으로 녹조강이 47종류로 29.6%의 점유율을 나타냈다. 그 외에 남조강이 17종류로 10.7%, 유글레나강이 2종류로 1.3%, 황색편모조강, 갈색편모조강, 외편모강이 각각 1종으

Table 1. Checklist of phytoplankton in upstream watershed of Southern Han River.

Bacillariophyceae (90 species)		
<i>Achnanthes brevipes</i>	<i>Achnanthes inflata</i>	<i>Achnanthes minutissima</i>
<i>Achnanthes</i> sp.	<i>Amphiprora constricta</i>	<i>Amphiprora</i> sp.
<i>Amphora ovalis</i>	<i>Amphora</i> sp.	<i>Asterionella formosa</i>
<i>Aulacoseira ambigua</i>	<i>Aulacoseira distans</i>	<i>Aulacoseira granulata</i>
<i>Caloneis molaris</i>	<i>Cocconeis placentula</i>	<i>Cocconeis</i> sp.
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	<i>Cyclotella radiosa</i>	<i>Cyclotella stelligera</i>
<i>Cyclotella</i> sp.	<i>Cymbella affinis</i>	<i>Cymbella cistula</i>
<i>Cymbella cuspidata</i>	<i>Cymbella elginensis</i>	<i>Cymbella graciles</i>
<i>Cymbella leptoceros</i>	<i>Cymbella minuta</i>	<i>Cymbella naviculiformis</i>
<i>Cymbella parva</i>	<i>Cymbella tumida</i>	<i>Denticula tenuis</i>
<i>Diatoma vulgare</i>	<i>Entomoneis alata</i>	<i>Fragilaria capucina</i>
<i>Fragilaria construens</i>	<i>Fragilaria crotonensis</i>	<i>Gomphonema acuminatum</i>

Table 1. Continued.

Bacillariophyceae (90 species)		
<i>Gomphonema affine</i>	<i>Gomphonema augur</i>	<i>Gomphonema clevei</i>
<i>Gomphonema globiferum</i>	<i>Gomphonema gracile</i>	<i>Gomphonema olivaceum</i>
<i>Gomphonema parvulum</i>	<i>Gomphonema pseudoaugur</i>	<i>Gomphonema pseudosphaerophorum</i>
<i>Gomphonema pumilum</i>	<i>Gomphonema truncatum</i>	<i>Gomphonema</i> sp.
<i>Gyrosigma</i> sp.	<i>Hantzschia amphioxys</i>	<i>Melosira varians</i>
<i>Meridion circulare</i>	<i>Navicula bacillum</i>	<i>Navicula cryptocephala</i>
<i>Navicula cryptotenella</i>	<i>Navicula cuspidata</i>	<i>Navicula decussis</i>
<i>Navicula elginensis</i>	<i>Navicula gregaria</i>	<i>Navicula pupula</i>
<i>Navicula tripunctata</i>	<i>Navicula trivialis</i>	<i>Neidium affine</i>
<i>Nitzschia acicularis</i>	<i>Nitzschia acuminata</i>	<i>Nitzschia commutata</i>
<i>Nitzschia frustulum</i>	<i>Nitzschia linearis</i>	<i>Nitzschia longissima</i>
<i>Nitzschia palea</i>	<i>Nitzschia romana</i>	<i>Nitzschia sigma</i>
<i>Nitzschia tryblionella</i>	<i>Nitzschia</i> sp.	<i>Pinnularia appendiculata</i>
<i>Pinnularia viridis</i>	<i>Pleurosigma rigidum</i>	<i>Pleurosigma</i> sp.
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i>	<i>Rhopalodia gibba</i>	<i>Stauroneis anceps</i>
<i>Stauroneis linearis</i>	<i>Stauroneis phoenicentron</i>	<i>Surirella lata</i>
<i>Surirella linearis</i>	<i>Surirella robusta</i>	<i>Synedra acus</i>
<i>Synedra delicatissima</i>	<i>Synedra inaequalis</i>	<i>Synedra ulna</i>
Chlorophyceae (47 species)		
<i>Actinastrum hantzschii</i> v. <i>hantzschii</i>	<i>Chlorella saccharophila</i> v. <i>ellipsoidea</i>	<i>Closterium acerosum</i> v. <i>acerosum</i>
<i>Closterium diana</i> v. <i>diana</i>	<i>Closterium libellura</i> v. <i>libellura</i>	<i>Closterium moniliferum</i>
<i>Closterium tumidulum</i>	<i>Closterium venus</i> v. <i>venus</i>	<i>Closterium</i> sp.
<i>Coelastrum microporum</i>	<i>Coelastrum reticulatum</i>	<i>Coelastrum sphaericum</i>
<i>Cosmarium circulare</i> v. <i>circulare</i>	<i>Cosmarium connatum</i>	<i>Cosmarium curtum</i>
<i>Cosmarium formosulum</i> v. <i>formosulum</i>	<i>Cosmarium punctulatum</i> v. <i>punctulatum</i>	<i>Cosmarium sublatere-undulatum</i>
<i>Cosmarium viridis</i>	<i>Cosmarium</i> sp.	<i>Crucigenia quadrata</i>
<i>Crucigenia rectangularis</i>	<i>Desmidium aptogonum</i>	<i>Euastrum dubium</i> v. <i>dubium</i>
<i>Eudorina elegans</i>	<i>Monoraphidium contortum</i>	<i>Oedogonium</i> sp.
<i>Pandorina morum</i>	<i>Pediastrum boryanum</i>	<i>Pediastrum duplex</i> v. <i>reticulatum</i>
<i>Pediastrum tetras</i>	<i>Pleurotaenium</i> sp.	<i>Rhaphidonema nivale</i>
<i>Scenedesmus acuminatus</i> v. <i>acuminatus</i>	<i>Scenedesmus acutus</i> v. <i>acutus</i>	<i>Scenedesmus armatus</i> v. <i>armatus</i>
<i>Scenedesmus bernardii</i>	<i>Scenedesmus ecornis</i> v. <i>ecornis</i>	<i>Scenedesmus incrassatulus</i>
<i>Scenedesmus quadricauda</i> v. <i>quadricauda</i>	<i>Spirogyra</i> sp.	<i>Staurastrum gracile</i>
<i>Staurastrum punctulatum</i>	<i>Staurastrum</i> sp.	<i>Stigeoclonium</i> sp.
<i>Ulothrix zonata</i>	<i>Ulothrix</i> sp.	
Cyanophyceae (17 species)		
<i>Chroococcus minutus</i> v. <i>minutus</i>	<i>Chroococcus turgidus</i> v. <i>turgidus</i>	<i>Chroococcus</i> sp.
<i>Lyngbya putealis</i> v. <i>putealis</i>	<i>Lyngbya</i> sp.	<i>Merismopedia elegans</i>
<i>Merismopedia glaucum</i>	<i>Merismopedia</i> sp.	<i>Oscillatoria anna</i>
<i>Oscillatoria constricta</i>	<i>Oscillatoria formosa</i>	<i>Oscillatoria limosa</i>
<i>Oscillatoria princeps</i> v. <i>princeps</i>	<i>Oscillatoria tenuis</i> v. <i>tenuis</i>	<i>Oscillatoria</i> sp.
<i>Phormidium tenue</i>	<i>Phormidium</i> sp.	
Chrysophyceae (1 species)		
<i>Dinobryon serturalia</i>		
Cryptophyceae (1 species)		
<i>Cryptomonas</i> sp.		
Dinophyceae (1 species)		
<i>Peridinium</i> sp.		
Euglenophyceae (2 species)		
<i>Euglena</i> sp.	<i>Phacus</i> sp.	

**Table 2.** Dominant and subdominant species of phytoplankton (> 10%).

Station	Time	Dominant species	Subdominant species
I-1	May 2008	<i>Navicula cryptocephala</i> (29.6%)	<i>Cymbella minuta</i> (22.0%)
	Aug. 2008	<i>Melosira varians</i> (19.4%)	<i>Cymbella affinis</i> (12.1%)
	Nov. 2008	<i>Oscillatoria limosa</i> (17.6%)	<i>Melosira varians</i> (15.4%)
	Apr. 2009	<i>Navicula cryptocephala</i> (22.3%)	<i>Fragilaria capucina</i> (12.7%)
I-2	Apr. 2009	<i>Asterionella formosa</i> (57.2%)	<i>Aulacoseira ambigua</i> (16.3%)
I-3	Apr. 2009	<i>Asterionella formosa</i> (57.2%)	<i>Aulacoseira ambigua</i> (15.6%)
M-1	May 2008	<i>Melosira varians</i> (24.1%)	<i>Stigeoclonium</i> sp. (16.1%)
	Aug. 2008	<i>Synedra acus</i> (13.3%)	<i>Melosira varians</i> (12.9%)
	Nov. 2008	<i>Scenedesmus acuminatus</i> v. <i>acuminatus</i> (16.0%)	
	Apr. 2009	<i>Asterionella formosa</i> (31.1%)	<i>Cymbella minuta</i> (21.3%)
B-1	May 2008	<i>Cymbella minuta</i> (25.8%)	<i>Ulothrix</i> sp. (18.0%)
	Aug. 2008	<i>Melosira varians</i> (20.0%)	<i>Phormidium tenue</i> (18.7%)
	Nov. 2008	<i>Cymbella minuta</i> (29.2%)	<i>Melosira varians</i> (14.6%)
	Apr. 2009	<i>Diatoma vulgare</i> (21.3%)	<i>Melosira varians</i> (17.0%)
M-2	May 2008	<i>Melosira varians</i> (22.5%)	<i>Cymbella minuta</i> (21.6%)
	Aug. 2008	<i>Melosira varians</i> (17.0%)	<i>Oscillatoria tenuis</i> (11.1%)
	Nov. 2008	<i>Cymbella minuta</i> (14.3%)	<i>Scenedesmus ecornis</i> v. <i>ecornis</i> (10.7%)
	Apr. 2009	<i>Asterionella formosa</i> (24.0%)	<i>Cymbella minuta</i> (17.2%)
M-3	May 2008	<i>Cymbella minuta</i> (26.4%)	<i>Scenedesmus acutus</i> v. <i>acutus</i> (14.2%)
	Aug. 2008	<i>Melosira varians</i> (26.8%)	<i>Navicula cryptocephala</i> (10.3%)
	Nov. 2008	<i>Cymbella minuta</i> (16.8%)	<i>Scenedesmus ecornis</i> v. <i>ecornis</i> (15.6%)
	Apr. 2009	<i>Cymbella minuta</i> (23.8%)	<i>Melosira varians</i> (17.2%)
B-2	May 2008	<i>Cymbella minuta</i> (55.2%)	<i>Navicula cryptocephala</i> (22.0%)
	Aug. 2008	<i>Cymbella minuta</i> (34.6%)	<i>Cocconeis placentula</i> (12.1%)
	Nov. 2008	<i>Navicula cryptocephala</i> (20.0%)	<i>Cymbella minuta</i> (15.4%)
	Apr. 2009	<i>Cymbella minuta</i> (24.0%)	<i>Navicula pupula</i> (12.7%)
B-3	May 2008	<i>Scenedesmus acuminatus</i> v. <i>acuminatus</i> (23.5%)	<i>Cymbella minuta</i> (21.8%)
	Aug. 2008	<i>Cymbella minuta</i> (19.4%)	<i>Stigeoclonium</i> sp. (14.9%)
	Nov. 2008	<i>Cocconeis placentula</i> (22.5%)	<i>Cymbella minuta</i> (12.3%)
	Apr. 2009	<i>Cymbella minuta</i> (19.9%)	<i>Fragilaria capucina</i> (10.8%)
M-5	May 2008	<i>Cymbella minuta</i> (33.3%)	<i>Cymbella tumida</i> (12.0%)
	Aug. 2008	<i>Cymbella affinis</i> (14.1%)	<i>Melosira varians</i> (10.1%)
	Nov. 2008	<i>Scenedesmus acutus</i> v. <i>acutus</i> (13.5%)	<i>Navicula pupula</i> (10.3%)
	Apr. 2009	<i>Cymbella minuta</i> (24.8%)	
M-6	May 2008	<i>Cymbella minuta</i> (23.2%)	<i>Cocconeis placentula</i> (13.5%)
	Aug. 2008	<i>Cymbella affinis</i> (14.7%)	<i>Scenedesmus ecornis</i> v. <i>ecornis</i> (8.3%)
	Nov. 2008	<i>Fragilaria capucina</i> (14.8%)	<i>Scenedesmus ecornis</i> v. <i>ecornis</i> (13.6%)
	Apr. 2009	<i>Cymbella minuta</i> (31.5%)	<i>Navicula pupula</i> (14.7%)
B-4	May 2008	<i>Cymbella minuta</i> (39.8%)	<i>Navicula cryptocephala</i> (15.4%)
	Aug. 2008	<i>Melosira varians</i> (28.0%)	
	Nov. 2008	<i>Cocconeis placentula</i> (16.6%)	<i>Scenedesmus acutus</i> v. <i>acutus</i> (12.2%)
	Apr. 2009	<i>Cymbella minuta</i> (42.3%)	<i>Navicula pupula</i> (15.4%)
M-7	May 2008	<i>Cocconeis placentula</i> (21.1%)	<i>Cymbella minuta</i> (18.7%)
	Aug. 2008	<i>Cymbella affinis</i> (14.0%)	
	Nov. 2008	<i>Ulothrix</i> sp. (14.4%)	
	Apr. 2009	<i>Cymbella minuta</i> (22.1%)	
B-5	May 2008	<i>Gomphonema affine</i> (22.7%)	<i>Scenedesmus acuminatus</i> v. <i>acuminatus</i> (14.2%)
	Aug. 2008	<i>Cymbella minuta</i> (17.5%)	<i>Oscillatoria limosa</i> (13.4%)
	Nov. 2008	<i>Cymbella minuta</i> (25.6%)	<i>Achnanthes minutissima</i> (16.3%)
	Apr. 2009	<i>Achnanthes minutissima</i> (38.0%)	<i>Navicula pupula</i> (11.7%)

Table 2. Continued.

Station	Time	Dominant species	Subdominant species
M-8	May 2008	<i>Cymbella minuta</i> (16.5%)	<i>Cocconeis placentula</i> (15.8%)
	Aug. 2008	<i>Cymbella minuta</i> (13.0%)	
	Nov. 2008	<i>Fragilaria construens</i> (18.1%)	<i>Scenedesmus acutus v. acutus</i> (13.6%)
	Apr. 2009	<i>Cymbella minuta</i> (21.3%)	<i>Navicula pupula</i> (10.0%)
M-9	May 2008	<i>Cymbella minuta</i> (14.5%)	<i>Oscillatoria anna</i> (13.7%)
	Aug. 2008	<i>Cymbella minuta</i> (18.5%)	<i>Navicula cryptocephala</i> (14.6%)
	Nov. 2008	<i>Scenedesmus acuminatus v. acuminatus</i> (13.9%)	<i>Pediastrum duplex v. reticulatum</i> (13.0%)
	Apr. 2009	<i>Cymbella minuta</i> (38.4%)	
B-7	May 2008	<i>Cocconeis placentula</i> (22.9%)	<i>Scenedesmus acuminatus v. acuminatus</i> (18.5%)
	Aug. 2008	<i>Synedra ulna</i> (26.9%)	<i>Melosira varians</i> (16.1%)
	Nov. 2008	<i>Melosira varians</i> (24.9%)	<i>Cyclotella</i> sp. (15.0%)
	Apr. 2009	<i>Cocconeis placentula</i> (21.3%)	<i>Oscillatoria tenuis</i> (11.4%)
M-10	May 2008	<i>Scenedesmus acutus v. acutus</i> (14.2%)	<i>Cocconeis placentula</i> (13.2%)
	Aug. 2008	<i>Cymbella minuta</i> (15.6%)	<i>Synedra ulna</i> (12.6%)
	Nov. 2008	<i>Cocconeis placentula</i> (34.6%)	<i>Scenedesmus quadricauda v. quadricauda</i> (12.1%)
	Apr. 2009	<i>Cymbella minuta</i> (20.4%)	<i>Oscillatoria limosa</i> (11.7%)
M-11	May 2008	<i>Cymbella minuta</i> (15.8%)	<i>Stigeoclonium</i> sp. (12.3%)
	Aug. 2008	<i>Cymbella minuta</i> (17.8%)	<i>Cymbella affinis</i> (11.8%)
	Nov. 2008	<i>Cocconeis placentula</i> (16.2%)	<i>Coelastrum microporum</i> (13.2%)
	Apr. 2009	<i>Cymbella minuta</i> (23.9%)	<i>Oscillatoria limosa</i> (10.6%)
M-12	May 2008	<i>Cymbella minuta</i> (21.3%)	
	Aug. 2008	<i>Cymbella affinis</i> (17.4%)	<i>Cymbella minuta</i> (14.3%)
	Nov. 2008	<i>Cocconeis placentula</i> (14.2%)	<i>Stigeoclonium</i> sp. (11.4%)
	Apr. 2009	<i>Fragilaria construens</i> (16.8%)	<i>Cymbella minuta</i> (14.8%)
M-14	May 2008	<i>Cymbella minuta</i> (20.0%)	<i>Scenedesmus quadricauda v. quadricauda</i> (12.0%)
	Aug. 2008	<i>Melosira varians</i> (12.1%)	<i>Cymbella minuta</i> (11.0%)
	Nov. 2008	<i>Spirogyra</i> sp. (21.5%)	<i>Fragilaria construens</i> (13.4%)
	Apr. 2009	<i>Spirogyra</i> sp. (20.6%)	<i>Cymbella minuta</i> (16.2%)
B-8	May 2008	<i>Oscillatoria anna</i> (27.2%)	<i>Cymbella minuta</i> (13.3%)
	Aug. 2008	<i>Cymbella minuta</i> (22.8%)	<i>Nitzschia tryblionella</i> (15.2%)
	Nov. 2008	<i>Spirogyra</i> sp. (17.0%)	<i>Cymbella minuta</i> (11.1%)
	Apr. 2009	<i>Ulothrix</i> sp. (19.3%)	<i>Gomphonema clevei</i> (16.8%)
M-16	May 2008	<i>Cymbella minuta</i> (16.5%)	<i>Scenedesmus acuminatus v. acuminatus</i> (11.5%)
	Aug. 2008	<i>Cymbella affinis</i> (12.9%)	<i>Scenedesmus acutus v. acutus</i> (11.8%)
	Nov. 2008	<i>Oscillatoria limosa</i> (18.5%)	<i>Merismopedia elegans</i> (14.8%)
	Apr. 2009	<i>Cymbella minuta</i> (22.0%)	<i>Fragilaria construens</i> (12.8%)
M-17	May 2008	<i>Fragilaria crotonensis</i> (13.0%)	<i>Cymbella minuta</i> (11.6%)
	Aug. 2008	<i>Cymbella affinis</i> (13.0%)	<i>Synedra ulna</i> (10.4%)
	Nov. 2008	<i>Phormidium tenue</i> (15.5%)	<i>Scenedesmus ecornis v. ecornis</i> (12.4%)
	Apr. 2009	<i>Cymbella minuta</i> (25.3%)	<i>Oscillatoria tenuis</i> (14.5%)

로 각각 0.6%의 점유율을 나타내 규조강이 가장 높은 비율을 차지하였다(Table 2). Seo *et al.* (2010)의 연구 결과 규조강이 54.1%의 높은 점유율을 보이고 녹조강이 32.9%, 남조강이 11.8%, 유글레나류가 1.2% 등이어서 식물플랑크톤 각 분류군의 점유율과 거의 유사하였다. 섬강(Shin, 1996)의 경우도 규조강이 가장 점유율이 높고 녹조강, 남조강 순으로 나타나 비슷한 경향을 보였다.

2008년 5월에는 규조강 54종, 녹조강 21종, 남조강 8종,

갈색편모조강 1종으로 총 84종이 출현하였으며 정점별로는 10종(정점 B-2)에서 32종(정점 M-17)의 범위로 나타났다. 이 시기 조사지역 22개 중 20개 정점 이상에서 출현한 종은 *Cocconeis placentula*, *Cymbella affinis*, *Cymbella minuta*, *Diatoma vulgare*, *Melosira varians*, *Navicula cryptocephala*, *Navicula pupula*, *Nitzschia acicularis*, *Scenedesmus acuminatus v. acuminatus*, *Scenedesmus ecornis*, *Synedra ulna* 등이었다. 2008년 8월에는 규조강

48종, 녹조강 25종, 남조강 10종, 갈색편모조강 1종, 황색편모조강 1종으로 총 85종이 출현하였으며 정점별로는 11종(정점 B-2)에서 29종(정점 M-6)의 범위로 나타났다. 이 시기 보편종은 *Cocconeis placentula*, *Cyclotella radiosa*, *Cymbella affinis*, *Cymbella minuta*, *Cymbella tumida*, *Diatoma vulgare*, *Gomphonema affine*, *Melosira varians*, *Navicula cryptocephala*, *Navicula pupula*, *Nitzschia palea*, *Scenedesmus acuminatus v. acuminatus*, *Synedra ulna* 등이었다. 2008년 11월에는 규조강 50종, 녹조강 28종, 남조강 8종, 갈색편모조강 1종으로 총 87종이 출현하였으며 정점별로는 13종(정점 B-5)에서 28종(정점 M-7)의 범위로 나타났다. 출현 빈도가 높은 보편종은 *Achnanthes minutissima*, *Cocconeis placentula*, *Cyclotella radiosa*, *Cymbella affinis*, *Cymbella minuta*, *Diatoma vulgare*, *Gomphonema affine*, *Melosira varians*, *Navicula cryptocephala*, *Scenedesmus acuminatus v. acuminatus*, *Scenedesmus acutus v. acutus*, *Synedra ulna* 등이었다. 2009년 4월에는 규조강 70종, 녹조강 30종, 남조강 10종, 유글레나조강 2종, 갈색편모조강 1종, 외편모조강 1종으로 총 111종이 출현하였으며 정점별로는 16종(정점 B-2)에서 34종(정점 M-8)의 범위로 나타났다. 2009년 4월 조사에서 다른 시기에 비해 종 수가 증가한 것은 도암호로부터 방류수가 내려오면서 도암호의 부유성 플랑크톤이 추가된 것과 관련이 있는 것으로 보인다. 도암호내 2개 정점에서는 규조강 18종, 녹조강 5종, 유글레나조강 2종, 갈색편모조강 1종, 외편모조강 1종으로 총 27종이 출현하였는데 이것을 감안할 때 이전에 85종 내외의 출현종에 도암호 종수가 더해지면 출현종수가 유사한 것이 이를 뒷받침한다. 이시기 보편종은 *Achnanthes minutissima*, *Asterionella formosa*, *Cocconeis placentula*, *Cyclotella radiosa*, *Cymbella minuta*, *Diatoma vulgare*, *Fragilaria construens*, *Gomphonema affine*, *Melosira varians*, *Navicula cryptocephala*, *Navicula pupula*, *Nitzschia palea*, *Scenedesmus acuminatus v. acuminatus*, *Synedra ulna* 등이었다. 네 시기 모두에서 보편종으로 나타난 종은 *Cocconeis placentula*, *Cymbella minuta*, *Diatoma vulgare*, *Melosira varians*, *Navicula cryptocephala*, *Scenedesmus acuminatus v. acuminatus* 등 6종이었다.

계류에서 부착조류의 군집 동태와 대사를 연구한 Sabater et al. (1998)의 연구결과를 보면 규조류가 가장 중요한 종군이고 *Achnanthes lanceolata*, *A. minutissima*, *Ceratoneis arcus*, *Cymbella minuta*가 가장 보편종으로 보고하고 있는데 본 연구에서 나타난 결과에서 규조류가 가장 중요한 종군이고 *Cymbella minuta*와 *Achnanthes*

*minutissima*가 보편종으로 나타나 Sabater et al. (1998)의 연구에서 나타난 산간 계류에서의 종 특성과 유사하였다.

## 2. 현존량과 우점종

식물플랑크톤의 현존량은 104 cells mL<sup>-1</sup> (2008년 8월 정점 B-2)에서 1,467 cells mL<sup>-1</sup> (2008년 5월 정점 M-17)의 범위로 계절적 및 각 정점간의 현존량의 차이가 아주 크게 나타났다. 2008년 5월 현존량은 330 cells mL<sup>-1</sup> (정점 B-2)에서 1,467 cells mL<sup>-1</sup> (정점 M-17)의 범위로 평균값은 907 cells mL<sup>-1</sup>이고, 2008년 8월 현존량(cells mL<sup>-1</sup>)은 104 cells mL<sup>-1</sup> (정점 B-2)에서 377 cells mL<sup>-1</sup> (정점 M-2)의 범위로 평균값은 220 cells mL<sup>-1</sup>, 2008년 11월 현존량은 86 cells mL<sup>-1</sup> (정점 B-5)에서 346 cells mL<sup>-1</sup> (정점 B-7)의 범위로 평균값은 186 cells mL<sup>-1</sup>, 2009년 4월 현존량은 292 cells mL<sup>-1</sup> (정점 B-2)에서 1,265 cells mL<sup>-1</sup> (정점 M-8)의 범위로 평균값은 642 cells mL<sup>-1</sup>이었다(Fig. 2). 계절적으로 가장 봄철에 높고 여름철에 낮아져서 늦가을에 가장 낮은 현존량을 보이는데 여름철에 상당히 감소하는 경향은 집중 강우가 내릴 때 무기질의 부유물질이 포함되어 있기 때문에 식물플랑크톤과 부착조류가 씻겨 내려간 것과 관련이 있을 것으로 보인다. Park and Shin (2011)은 여름철 몬순에 의해 연구수역에서 총부유물질 농도를 증가시키는 것으로 보고하고 있어 총부유물질의 증가로 인하여 특히 부착조류가 직접적인 영향을 받아 하류로 씻겨 내려간 것으로 판단된다(Biggs and Close, 1989; Horner et al., 1990; Lohmann et al., 1992; Luce et al., 2010). 이런 경향은 섬강(Shin, 1996), 임진강(Lee and Yoon, 2002)과 한탄강(Kim, 2003)의 결과에서도 찾아볼 수 있다. 공간적으로는 정점 B-2의 212 cells mL<sup>-1</sup>에서 정점 M-8의

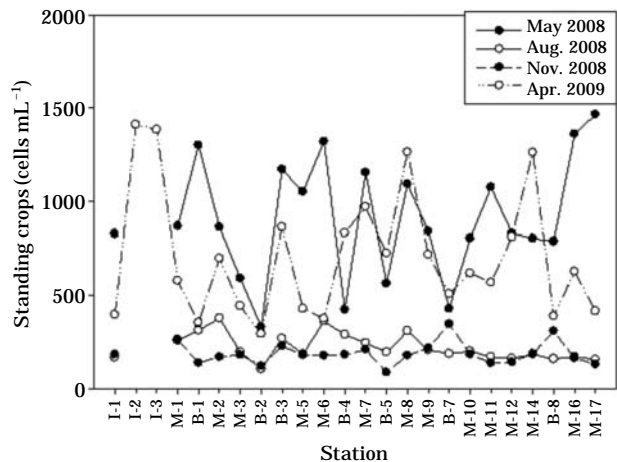


Fig. 2. Spatial variation of phytoplankton standing crops (cells mL<sup>-1</sup>) in upstream watershed of East River.

711 cells mL<sup>-1</sup>의 범위로 나타났는데 전반적으로 지천에서 낮은 현존량을 나타내고 본류에서는 높은 경향을 보였다(Fig. 2). 2009년 5월 1회 조사를 한 도암호 I-2, I-3 정점을 포함하면 도암호 내 정점에서 최대치를 보였다.

식물플랑크톤 군집의 현존량의 10% 이상을 차지하는 우점종은 *Achnanthes minutissima*, *Asterionella formosa*, *Aulacoseira ambigua*, *Cocconeis placentula*, *Coelastrum microporum*, *Cyclotella* sp., *Cymbella affinis*, *C. minuta*, *C. tumida*, *Diatoma vulgare*, *Fragilaria capucina*, *F. construens*, *F. crotonensis*, *Gomphonema affine*, *G. clevei*, *Melosira varians*, *Merismopedia elegans*, *Navicula cryptocephala* N. pupula, *Nitzschia tryblionella*, *Oscillatoria anna*, *O. limosa* O. tenuis v. tenuis, *Pediastrum duplex* v. *reticulatum*, *Phormidium tenue*, *Scenedesmus acuminatus* v. *acuminatus*, *S. acutus* v. *acutus*, *S. ecornis* v. *ecornis*, *S. quadricauda* v. *quadricauda*, *Spirogyra* sp., *Stigeoclonium* sp., *Synedra acus*, *S. ulna*, *Ulothrix* sp. 등 34종이었다(Table 2). 시료 90개 중 52개에서 *Cymbella minuta*가 우점종 및 아우점종으로 나타나 조사지역에서 정량적으로 가장 중요한 종이었다. 이 종의 출현환경은 호수, 연못, 하천, 샘 등 담수생태계 내에서 널리 분포하며, 빈영양염종으로 흐르는 물을 좋아하고 빈부수성에서 베타중부성 종(Kasaki, 1995)인 것을 고려할 때 연구수역의 특성과 잘 일치하는 것으로 보인다. *Cymbella minuta* 외에 *Melosira varians*가 16개 시료에서, *Cocconeis placentula*은 12개 시료에서 우점종이나 아우점종으로 비교적 조사수역에서 정량적으로 중요한 종들이었다. *Asterionella formosa*, *Aulacoseira ambigua*의 경우는 도암호와 도암호 하류 정점에서 우점종으로 나타났다. *Asterionella formosa*는 부-중영양성을 가진 부유성 식물플랑크톤으로 봄과 가을에 대발생하여 수도의 여과지를 망가뜨리는 종으로 유명한데(Kasaki, 1995), 2009년 4월의 경우 도암담 하류 M-1, M-2에서 우점종으로 나타나고(Table 2), 본류 M-12까지 출현하여 상당히 하류지역까지 도암호의 방류수가 영향을 주는 것으로 나타났다. *Aulacoseira ambigua*도 부영양성 종으로(Kasaki, 1995), 두 종이 우점종으로 나타나는 것은 도암호가 부영양화되어 있음을 시사하고 있고 도암호의 부영양화 실태를 조사한 Kim et al. (1995)의 연구 결과 도암호가 이미 부영양 상태에 있다는 결론과 일치한다.

### 3. 종다양성지수, 균등도지수, 우점도지수

식물플랑크톤군집의 안정성을 평가하는 종다양성지수,

균등도지수, 우점도지수의 분석값은 Table 3에 제시하였다.

종다양성지수는 2008년 5월 1.58(정점 B-2)에서 2.98(정점 M-17), 8월에 1.88(정점 B-2)에서 3.08(정점 M-6), 11월에 2.27(정점 B-5)에서 3.10(정점 M-7), 2009년 4월에는 1.58(정점 I-3)에서 2.97(정점 M-8)의 범위이었다. 균등도지수는 5월에 0.69(정점 B-2)에서 0.90(정점 M-10), 8월에 0.79(정점 B-2)에서 0.94(정점 M-17), 11월에 0.80(정점 M-10)에서 0.95(정점 M-2), 2009년 4월에 0.51(정점 I-2)에서 0.86(정점 I-1)의 범위로 나타났다. 우점도지수는 5월 0.25(정점 M-17)에서 0.67(정점 B-2), 8월 0.23(정점 M-8)에서 0.57(정점 B-2), 11월 0.22(정점 M-7)에서 0.47(정점 M-10), 2009년 4월 0.31(정점 B-3)에서 0.74(정점 I-2)의 범위로 나타났다. 2008년 5월 정점 B-2에서 종다양성지수가 가장 낮게 나타나고 우점도지수가 가장 높게 나타났는데 이는 다른 정점에 비해 상대적으로 출현종이 적은데다 현존량도 낮은 상황에서 *Cymbella minuta* 종이 55.2%의 높은 우점도를 나타냈기 때문이다(Table 2). 2008년 8월 정점 B-2에서 종다양성지수가 2 이하로 낮게 조사가 되었는데 이는 현존량이 낮은데다 다른 정점보다 출현한 종이 상대적으로 적었기 때문이며, *Cymbella minuta*종의 우점도가 2008년 5월의 조사보다는 다소 낮지만 34.6%로 높은 수준을 나타냈기 때문이다(Table 2). 정점 B-2 이외에는 2.30 이상으로 다양성지수가 높게 나타났다. 2008년 11월은 조사기간 중 종다양성지수와 균등도지수가 가장 높게 나타났고 이에 따라 우점도지수는 가장 낮게 조사되었으며 정점 M-7에서 종다양성지수가 3.10으로 조사기간 중 최고값을 기록하였으며 우점도지수는 0.22로 조사기간 중 최저값을 기록하였다. 이는 점차 수온이 낮아지고 일조량이 줄어드는 등 식물플랑크톤의 성장에 불리해진 것 관련이 있는 것으로 보인다. 2009년 4월에는 다른 조사시기와는 달리 도암호 내 정점인 I-2와 I-3가 추가 되었는데 호내 정점인 I-2와 I-3에서 종다양성지수는 1.60 이하로 낮게 나타나고 우점도지수는 0.70 이상으로 높게 나타났는데 이는 정점 I-2와 I-3에서 *Asterionella formosa*종이 각각 57.22%, 57.18%의 높은 우점도를 나타냈기 때문이다. 생물군집의 구조와 기능을 분석함에 있어서 생물군집 구성종의 종다양성지수가 일반적으로 많이 이용되는데 본 연구에서는 1.58~3.10의 범위로 상당히 높은 범위로 나타났으며, 2008년 5월과 8월 정점 B-2와 2009년 4월 도암호 내의 정점 I-2와 I-3을 제외하면 종다양성지수는 2.00 이상으로 높은 값을 나타내고 있어 본 연구수역의 수계생태계 내 식물플랑크톤 군집은 비교적 안정되었다고 판단된다.



**Table 3.** Index of diversity, evenness and dominance of phytoplankton.

ST	Diversity				Evenness				Dominance			
	May	Aug.	Nov.	Apr.	May	Aug.	Nov.	Apr.	May	Aug.	Nov.	Apr.
I-1	2.33	2.53	2.54	2.71	0.78	0.91	0.90	0.86	0.52	0.32	0.33	0.35
I-2	-	-	-	1.59	-	-	-	0.51	-	-	-	0.74
I-3	-	-	-	1.58	-	-	-	0.52	-	-	-	0.73
M-1	2.28	2.77	2.77	2.33	0.82	0.91	0.91	0.73	0.40	0.26	0.26	0.52
B-1	2.31	2.47	2.39	2.57	0.80	0.84	0.84	0.86	0.44	0.39	0.44	0.38
M-2	2.23	2.72	2.79	2.57	0.76	0.91	0.95	0.78	0.44	0.28	0.25	0.41
M-3	2.39	2.62	2.67	2.59	0.81	0.86	0.88	0.80	0.41	0.37	0.32	0.41
B-2	1.58	1.88	2.59	2.44	0.69	0.79	0.90	0.86	0.67	0.57	0.34	0.39
B-3	2.37	2.85	2.60	2.83	0.77	0.87	0.90	0.83	0.45	0.34	0.35	0.31
M-5	2.39	2.81	2.89	2.75	0.78	0.92	0.92	0.83	0.43	0.26	0.24	0.35
M-6	2.49	3.08	2.77	2.42	0.82	0.90	0.88	0.77	0.37	0.23	0.28	0.46
B-4	2.06	2.69	2.80	2.16	0.74	0.85	0.90	0.66	0.55	0.36	0.29	0.58
M-7	2.59	2.95	3.10	2.82	0.82	0.93	0.93	0.82	0.40	0.23	0.22	0.31
B-5	2.46	2.59	2.27	2.26	0.85	0.93	0.89	0.72	0.37	0.31	0.42	0.50
M-8	2.51	2.94	2.88	2.97	0.83	0.92	0.89	0.84	0.32	0.23	0.32	0.31
M-9	2.75	2.66	2.87	2.51	0.85	0.87	0.87	0.75	0.28	0.33	0.27	0.45
B-7	2.35	2.36	2.62	2.72	0.83	0.85	0.85	0.83	0.41	0.43	0.40	0.33
M-10	2.81	0.75	2.40	2.73	0.90	0.92	0.80	0.81	0.27	0.28	0.47	0.32
M-11	2.91	2.82	2.73	2.74	0.87	0.89	0.91	0.83	0.28	0.30	0.29	0.35
M-12	2.91	2.67	2.92	2.85	0.86	0.89	0.93	0.82	0.30	0.32	0.26	0.32
M-14	2.69	2.85	2.72	2.73	0.84	0.94	0.87	0.79	0.32	0.23	0.35	0.37
B-8	2.40	2.59	2.83	2.58	0.83	0.88	0.92	0.85	0.41	0.38	0.28	0.36
M-16	2.82	2.88	2.62	2.78	0.84	0.92	0.88	0.79	0.28	0.25	0.33	0.35
M-17	2.98	2.96	2.68	2.65	0.86	0.94	0.91	0.82	0.25	0.23	0.28	0.40
Min.	1.58	1.58	2.27	1.58	0.69	0.79	0.80	0.51	0.25	0.23	0.22	0.31
Max.	2.98	2.98	3.10	2.97	0.90	0.94	0.95	0.86	0.67	0.57	0.47	0.74

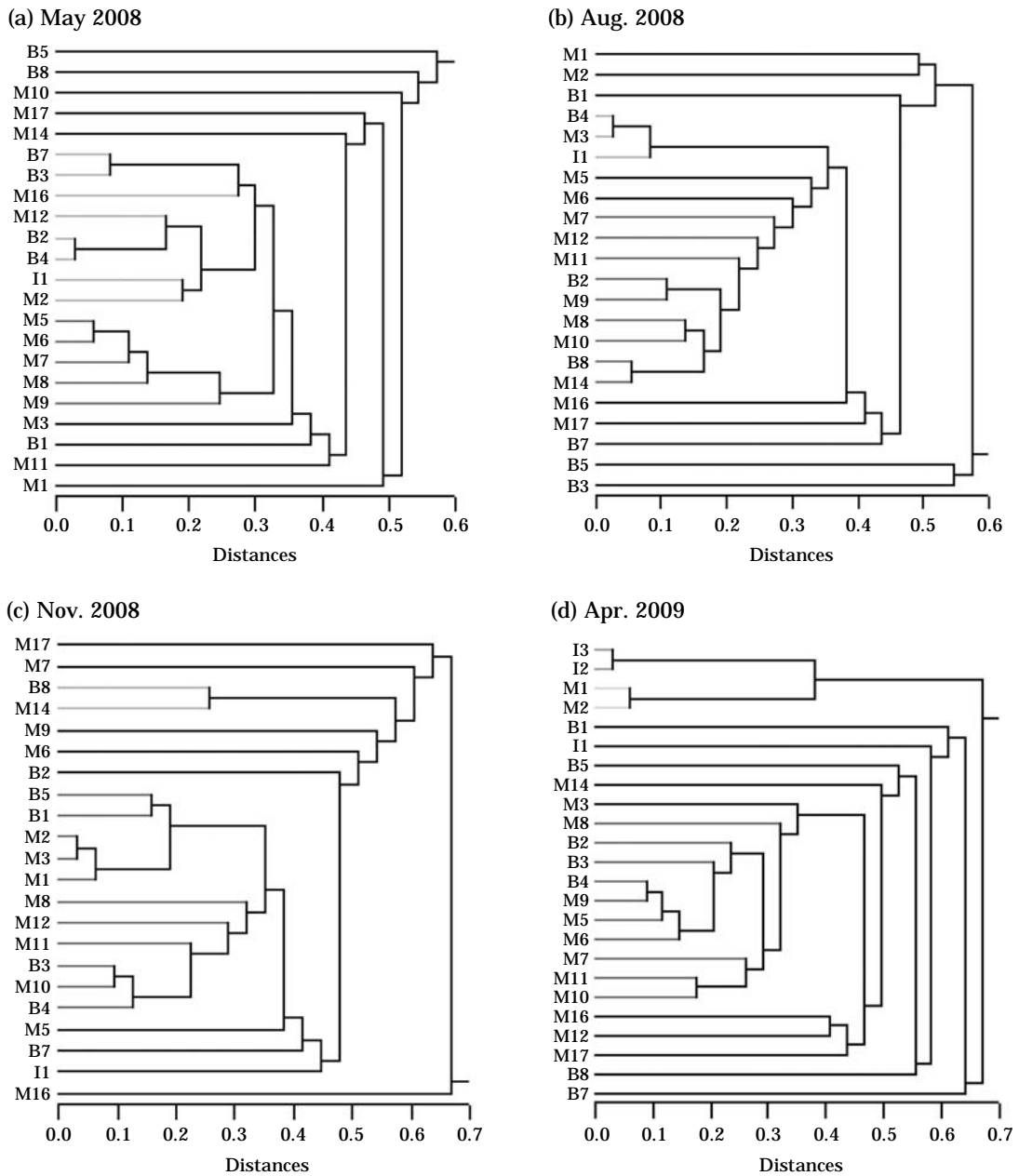
**4. 집괴 분석과 지역간 유사성**

각 정점에서 출현한 종과 현존량을 기반으로 상관계수를 구해 군집분석을 실시한 결과는 Fig. 3에 제시하였다.

2008년 5월의 경우 정점 M-5~M-9의 유사성이 높은 것으로 조사되었고 정점 B-5, B-8, M-10 등은 다소 경향성이 적은 것으로 나타났으며 크게 혼재된 모습을 보이지는 않았다. 2008년 8월에는 정점 M-7~M-14의 유사성이 높은 것으로 조사되었고 정점 M-1, M-2, M-17, B-3, B-5, B-7 등은 다소 경향성이 적은 것으로 나타났으며 크게 혼재된 모습을 보이지는 않았다. 2008년 11월에는 조사지역의 상류구간인 정점 M-1~M-3구간과 중류 및 하류구간인 정점 M-8~M-12구간의 유사성이 다소 높았고 그 외의 정점들은 다소 혼재되어 있는 것으로 나타났으며 이외에는 2008년 8월의 조사보다는 다소 혼재되어 있는 경향을 보이고 있다. 2009년 4월에는 도암호 내의 정점인 I-2, I-3와 도암호의 영향을 받는 정점 M-1, M-2가 유사성이 매우 높은 것으로 조사되었고 그 외에 상류와 중류구간인 M-3~M-11 정점이 유사성이 높은 것으로 나타났으

며 다른 조사시기보다 다소 혼재되어 있는 모습을 보이고 있다.

본 조사수역은 도암호 내 정점 두 곳을 제외하곤 변화양상이 빠르게 변화하는 우수환경이기 때문에 조사시기에 따라 지역간의 유사성이 다소 바뀌는 것으로 판단된다. 종조성과 현존량이 변함에 따라 정점간의 유사성이 변화하는데 불구하고 상당히 높은 안정성을 나타내고 있는 것은 저서조류들이 이주에 따라 빠르게 회복되는 특성 (Stevenson and Peterson, 1991)과 관련이 있는 것으로 보인다. 도암호의 방류수가 하류의 식물플랑크톤 상에 상당한 영향을 주는 것으로 보인다. 특히 2009년 4월의 경우 *Asterionella formosa*가 도암댐 하류 M-1, M-2에서 우점종으로 나타나고 (Table 2), 본류 M-12까지 출현하여 상당히 하류지역까지 도암호의 방류수가 영향을 주는 것으로 나타났다. 도암호의 방류수의 양이나 시기에 따라 영향을 받을 수 있는 지점은 늘어날 수 있는 것으로 판단된다. 근래 국내 여러 지역에서 토양침식의 증가로 인해 탁수가 발생하고 댐에 저류되어 장기화함으로써 호수의 수질과 생태계 피해 및 방류 이후 하류 하천의 피해 사례가



**Fig. 3.** Dendrogram of cluster analysis of phytoplankton community in upstream watershed of East River.

증가하고 있고, 문순강우에 의한 탁수 관련 연구들도 많은 수계에서 다양하게 보고되고 있다 (An and Shin, 2005; Park *et al.*, 2005; Shin *et al.*, 2006; Kim *et al.*, 2007). 도암호에서 방류하는 물에 미세한 입자들을 많이 포함하여 탁수문제가 발생해 2005년 한수원에서 도암댐 문제를 해결을 위한 연구를 수행한 적이 있을 정도로 도암호의 탁수문제와 도암호의 부영양화 문제는 심각한 상태에 있다. 도암호의 탁수와 부영양화 문제의 원인은 상류에 존재하고 있는 고랭지 농지, 목장 등과 스키장, 골프장, 콘도 등

의 위락시설 등에서 나오는 오염물질들인 것으로 판단된다 (Lee *et al.*, 2006). 우리나라 강우 특성상 여름철에 집중강우가 내리고 있으며 (Park and Shin, 2011), 집중강우는 도암호 상류에 있는 비점오염원으로부터 총인 및 총부유물 농도를 증가시키는 것으로 판단되며 상류지역에 위치한 고랭지 밭 및 축산농가 등에서 배출되는 수질 오염물질이 도암호에 수질을 악화시키고 있는 것으로 보인다 (Kim *et al.*, 1995; Lee *et al.*, 2006). 인 등의 영양염과 탁수를 포함한 도암호의 방류수가 하류로 배출될 때 방류

수에 포함된 무기입자들로 인해 심각하게 하천생태계의 조류군집이 교란될 것으로 보이며 (Horner and Welch, 1981; Biggs and Close, 1989; Horner et al., 1990; Lohmann et al., 1992; Luce et al., 2010), 일차생산자의 감소는 하천생태계 전반에 영향을 줄 것으로 판단된다 (Poff et al., 1997; Osmundson et al., 2002). 동강유역의 하천생태계를 건강하게 유지하기 위해서는 도암호 상류지역에 위치한 고랭지 밭 및 축산농가 등에서 배출되는 수질 오염물질과 동강 유역에 위치한 도심지역의 오염부하 등에 의한 하천으로의 유입을 최소화하고 오염부하 저감을 통한 효율적인 수질관리가 요구된다.

적 요

동강 수계의 식물플랑크톤 군집 구조를 알아보기 위하여 2008년 5월부터 2009년 4월까지 22개 지점에서 총 4회 조사를 실시하였다. 동강수계에서 출현한 식물플랑크톤은 총 159종으로서 7강 58속 113종 21변종 25미동정종으로 구성되어 있으며, 구조강이 90종류로 전체 중 56.6%로 가장 높은 점유율을 나타냈고, 그 다음으로 녹조강이 47종류로 29.6%의 점유율을 나타냈으며 남조강이 17종으로 10.7%, 유글레나강이 2종으로 1.3%, 황색편모조강, 갈색편모조강, 외편모조강이 각각 1종 0.6% 순으로 나타났다. 조사기간 모든 시기 20정점 이상에서 출현한 보편종은 *Cocconeis placentula*, *Cymbella minuta*, *Diatoma vulgare*, *Melosira varians*, *Navicula cryptocephala*, *Scenedesmus acuminatus* v. *acuminatus* 등 6종이었다. 현존량은 86 cells mL<sup>-1</sup> ~ 1,467 cells mL<sup>-1</sup>의 범위로 나타났고, 점유율이 10% 이상인 우점종은 *Achnanthes minutissima*, *Asterionella formosa*, *Aulacoseira ambigua*, *Cocconeis placentula*, *Coelastrum microporum*, *Cyclotella* sp., *Cymbella affinis*, *C. minuta*, *C. tumida*, *Diatoma vulgare*, *Fragilaria capucina*, *F. construens*, *F. crotonensis*, *Gomphonema affine*, *G. clevei*, *Melosira varians*, *Merismopedia elegans*, *Navicula cryptocephala* N. *pupula*, *Nitzschia tryblionella*, *Oscillatoria anna*, *O. limosa* O. *tenuis* v. *tenuis*, *Pediastrum duplex* v. *reticulatum*, *Phormidium tenue*, *Scenedesmus acuminatus* v. *acuminatus*, *S. acutus* v. *acutus*, *S. ecornis* v. *ecornis*, *S. quadricauda* v. *quadricauda*, *Spirogyra* sp., *Stigeoclonium* sp., *Synedra acus*, *S. ulna*, *Ulothrix* sp. 등 34종이었는데, 가장 중요한 종은 90개 시료 중 52개에서 우점종으로 나타난 *Cymbella minuta*이었다 종다양성지수는 1.58 ~ 3.10, 균등도지수는

0.51 ~ 0.95, 우점도지수는 0.22 ~ 0.74의 범위로 연구지역이 상당히 안정된 것으로 조사되었다. 본 조사지역의 상류정점의 식물플랑크톤 군집구조는 도암호에서 나오는 방류수에 의해 영향을 받는 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 2008년도 상지대학교 교내연구비와 연구년 지원을 받아 수행되었습니다. 현장조사를 도와준 김태훈 박사, 박성민, 김도현, Aditya 군에게 감사를 드립니다. 아울러 본 논문의 부족한 부분들을 지적하여 수정하도록 도와 주신 두 분 심사위원님들에게 진심으로 감사를 드립니다.

인 용 문 헌

Aditya, R.K.N., Y.K. Shin and Y.C. Seo. 2010. Limiting nutrients in the East River, Korea. *Journal of the Korea Society for Environmental Anaysis* **13**: 67-77.

An, K.G. and I.C. Shin. 2005. Influence of the asian monsoon on seasonal fluctuations of water quality in a mountainous stream. *Korean Journal of Limnology* **38**: 54-62.

Biggs, B.J.F. and M.E. Close. 1989. Periphyton biomass dynamics in gravel bed rivers: the relative effects of flow and nutrients. *Freshwater Biology* **22**: 209-231.

Chung, J. 1993. Illustrations of the Korea fresh-water algae. Academy Press. 496 pp.

Chung, Y.T., B.H. Kim, M.K. Choi and I.S. Wui. 1991. Seasonal variation of phytoplankton community in Pyunsanbando National Park, Korea. *Korean Journal of Limnology* **24**: 239-250.

Cleve-Euler, A. 1951-1955. Die diatomeen von Schweden und Finnland. I-V. *Kungliga Svenska Vetenskaps-Akademiens Handlingar, Ser. 4, I. Vol. 2, No.1, 1-163 P. figs. 1-294, pl. 1-6 (1951) II. Vol. 3, No. 3, 1-153 p. figs. 1318-1538 (1952) III. Vol. 4, No. 5, 1-158 p. figs. 292-483 (1953a) IV. Vol. 4, No.4, 1-255 p. figs. 484-970 (1953b) V. Vol. 4, No. 5, 1-232 p. figs. 971-1306 (1955).*

Hellawell, J.M. 1986. Biological indicators of freshwater pollution and environmental management. Elsevier Applied Science Publishers, 546 p.

Heo, S.G., K.S. Kim, J.H. Ahn, J.S. Yoon, K.J. Lim, J.D. Choi, Y.C. Shin and C.W. Lyou. 2007. Landscape analysis of the forest fragmentations at Doam-dam watershed using the FRAGSTATS model. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* **10**: 10-21.

- Hirose, H. and T. Yamagishi. 1977. Illustrations of the Japanese fresh-water algae. Uchidarokakuho, Tokyo, 933 pp.
- Horner, R.R. and E.B. Welch, 1981. Stream periphyton development in relation to current velocity and nutrients. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **38**: 449-457.
- Horner, R.R. and E.B. Welch, M.R. Seeley and J.M. Jacoby. 1990. Response of periphyton to changes in current velocity, suspended sediment and phosphorus concentration. *Freshwater Biology* **24**: 215-232.
- Huh, I.R., S.G. Park, K.Y. Choi and U.H. Jeong. 1995. A study on the upstream water quality and distribution of pollution loading for Song Stream. *Journal of Korean Society on Water Quality* **11**: 175-181.
- Kasaki, H. 1995. *Asterionella formosa*, p. 241-242. *In*: Illustrations of the Japanese environmental microorganisms (Kojima, S., R. Sudo and M. Chihara, eds.). Kodansa, Tokyo.
- Kasaki, H. 1995. *Aulacoseira ambigua*, p. 211. *In*: Illustrations of the Japanese environmental microorganisms (Kojima, S., R. Sudo and M. Chihara, eds.). Kodansa, Tokyo.
- Kasaki, H. 1995. *Cymbella minuta*, p. 247. *In*: Illustrations of the Japanese environmental microorganisms (Kojima, S., R. Sudo and M. Chihara, eds.). Kodansa, Tokyo.
- Kim, B.C., W.M. Heo and G.S. Hwang, 1995. The eutrophication of Lake Doam. *Korean Journal of Limnology* **28**: 233-240.
- Kim, J.H., J.W. Seo, Y.E. Na and K.G. An. 2007. Ecological health assessments on turbidwater in the downstream after a construction of Yongdam dam. *Korean Journal of Limnology* **40**: 130-142.
- Kim, Y.J. 2003. Seasonal changes of the phytoplankton community in the Hantan River. *Korean Journal of Limnology* **36**: 191-199.
- Lee, J.H., J.N. Kwon and S.Y. Yang. 2002. Seasonal variation of phytoplankton community in the Naktong River. *Algae* **17**: 267-273.
- Lee, J.W. 2004. The water quality and the phytoplankton communities in the Dong River of Kangwon Province, Korea. *Algae* **19**: 217-226.
- Lee, K., J.K. Choi and J.H. Lee. 1995. Taxonomic studies on diatoms in Korea II. Check-list. *The Korean Journal of Phycology* **10**(supplement): 13-89.
- Lee, K. and S.K. Yoon. 2000. Seasonal changes of the phytoplankton and periphyton community at the Suer Stream in Kwangyang. *Korean Journal of Limnology* **33**: 38-50.
- Lee, K. and S.K. Yoon. 2002. Seasonal changes of the phytoplankton community in the Imjin River. *Korean Journal of Limnology* **35**: 111-122.
- Lee, S.H., J.S. Choi, K.Y. Lee, Y.S. Jang, I.S. Lim, W.M. Heo, J.K. Kim and B.C. Kim. 2006. A study of water quality and fish community in Lake Doam. *Korean Journal of Limnology* **39**: 167-177.
- Lohmann, K., J.R. Jones and B.D. Perkins. 1992. Effects of nutrient enrichment and flood frequency on periphyton biomass in Northern Ozark Streams. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* **49**: 1198-1205.
- Luce, J.J., R.S. Steele and M.F. Lapointe. 2010. A physically based statistical model of sand abrasion effects on periphyton biomass. *Ecological Modelling* **221**: 353-361.
- Mizuno, T. 1977. Illustrations of the freshwater plankton of Japan. Hoikusha publishing Co. LTD. 353 pp.
- Osmundson, D.B., R.J. Ryel, V.L. Lamarra and J. Pitlick. 2002. Flow-sediment-biota relations: implications for river regulation effects on native fish abundance. *Ecological Applications* **12**: 1719-1739.
- Palmer, C.M. 1977. Algae and water pollution. EPA 600/9-77-1205.
- Park, J.C., J.W. Park, J.K. Shin and H.M. Lee. 2005. Dynamics of high turbid water caused by heavy rain of monsoon and typhoon in a large Korean reservoir (Andong reservoir). *Korean Journal of Limnology* **38**: 105-117.
- Park, J.H. 2002. Influences of clearcutting of timber harvesting on stream water quality. *Korean Journal of Limnology* **35**: 45-51.
- Park, S.M. and Y.K. Shin. 2011. The impact of monsoon rainfall on the water quality in the upstream watershed of southern Han River. *Korean Journal of Limnology* **44**: 373-384.
- Patrick, R. 1977. Ecology of freshwater diatoms-diatom communities, p. 284-322. *In*: The biology of diatoms (Werner, D., ed.). Blackwell, Oxford.
- Patrick, R. and C.W. Reimer, 1966. The diatoms of the United States exclusive of Alaska and Hawaii. Vol. 1. Monographs of the academy of natural sciences of Philadelphia # 13.
- Patrick, R. and C.W. Reimer. 1975. The diatoms of the United States exclusive of Alaska and Hawaii. Vol. 2. Monographs of the academy of natural sciences of Philadelphia # 13.
- Pielou, E.C. 1966. The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology* **13**: 131-144.
- Poff, N.L., J.D. Allen, M.B. Bain, J.R. Karr, K.L. Prestegard, B.D. Richter, R.E. Sparks and J.C. Stromberg. 1997. The natural flow regime. A paradigm for river conser-

- vation and restoration. *Bioscience* **47**: 769-784.
- Prescott, G.W. 1962. Algae of the western Great Lakes area. Otto Koeltz Science Publishers, Konigstein. 977 pp.
- Reid, G.K. and R.D. Wood. 1976. Ecology of inland waters and estuaries. D. Van Nostrand Co., Toronto. p. 485.
- Sabater, S., S.V. Gregory and J.R. Sedell. 1998. Community dynamics and metabolism of benthic algae colonizing wood and rock substrata in a forest stream. *Journal of phycology* **34**: 561-567.
- Seo, Y.C., D.H. Kim and Y.K. Shin. 2010. Physiochemical characteristics and dynamics of periphyton communities in the downstream watershed of the Doam-dam. *Journal of the Korean Society of Environmental Analysis* **13**: 116-124.
- Shannon, C.E. and W. Wiener. 1963. The mathematical theory of communication. Illinois Univ. Press. Urbana. 177 pp.
- Shimpson, E.H. 1949. Measurement of diversity. *Nature* **163**: 888.
- Shin, J.K., J. Hur, H.S. Lee, J.C. Park and S.J. Hwang. 2006. Spartial interpretation of monsoon turbid-water environment in a reservoir (Yongdam) discharging surface water, Korea. *Journal of Korean Society on Water Quality* **22**: 933-942.
- Shin, Y.K. 1996. Studies on the phytoplankton community in the upper region of Sum River, Korea. *Korean Journal of Limnology* **29**: 143-157.
- Simonsen, R. 1979. The diatom system: ideas on phylogeny. *Bacillaria* **2**: 9-71.
- Smith, G.H., 1950. The freshwater algae of Illinois States. McGraw-Hill. New York. 719 pp.
- Stevenson, J.R. and C.G. Peterson. 1991. Emigration and immigration can be important determinants of benthic diatom assemblages. *Freshwater Biology* **26**: 279-294.
- Watanabe, T. 1962. On the biotic index of water pollution based upon the species number of bacillariophyceae in the Tokoro River in Hokkaido (in Japanese). *Japanese Journal of Ecology* **12**: 216-222.
- Wetzel. R.G. 1983. Limnology. (2nd edition: complete revision) Saunders College Publishing, Philadelphia. 858 pp.
- Yamagishi, T. and M. Akiyama. 1984-1989. Photomicrographs of the fresh-water algae. Volume 1-10. Uchidarokakuho, Tokyo.

(Manuscript received 26 August 2011,  
Revised 11 March 2012,  
Revision accepted 15 March 2012)