

팔당호 유입부 경안천의 섬모충 플랑크톤 계절적 분포

문은영 · 김영옥¹ · 공동수² · 한명수^{3,*}

(국립환경과학원 수질총량과, ¹한국해양연구원 남해연구소
²한강물환경연구소, ³한양대학교 생명과학과)

Seasonal Succession of Planktonic Ciliate in Kyungan Stream of Lake Paldang, Korea. Moon, Eun-Young, Young-Ok Kim¹, Dong-Soo Kong² and Myung-Soo Han^{3,*} (Total Water Pollution Load Research Division, National Institute of Environmental Research, Environmental Research Complex, Incheon 404-170, Korea; ¹Korea Ocean Research & Development Institute/South Sea Research Institute, Geoje 656-830, Korea; ²Han River Environment Research Laboratory, National Institute of Environmental Research, Gyeonggi 476-823, Korea; ³Department of Life Science, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea)

Seasonal succession and community composition of planktonic ciliates were studied in Kyungan Stream from December 2000 to December 2001. Oligotrichs accounted for 53% of total ciliates. Total abundance of ciliates peaked in spring (30 March, 6 April) and in summer (8 June, 20 July) reaching values up to 1.9×10^4 cells L⁻¹. Seasonal succession of dominant species occurred obviously. Large-sized (>50 μm) species (*Stylonychia* sp1, *Phascolodon vorticella* and *Codonella cratera*) dominated from winter to spring. Small sized (<30 μm) species (*Vorticella* spp., *Rimostrombidium hyalinum* and *Halteria grandinella*) dominated in summer and autumn. Total abundance of large-sized species coincided with the Chl-*a* concentration during the study ($r=0.33$, $p<0.05$, $n=39$). Among the small-sized species *Halteria grandinella* was a significant relationship with bacterial abundance ($r=0.35$, $p<0.05$, $n=39$).

Key words : planktonic ciliates, seasonal succession, Kyungan Stream, community

서 론

원생생물 군집중 7,000종 이상 기록되어진 섬모충 플랑크톤은 매우 광범위한 분류군을 형성한 수중생태계의 주요 미생물상이다. 수서생태계 미세먹이망의 구성원 중 섬모충플랑크톤은 식물플랑크톤과 박테리아의 포식자인 동시에 동물플랑크톤의 먹이생물로 공급되어 효율적 에너지전환을 위한 중개자로 알려져 있다(Azam *et al.*, 1983; Gonzales *et al.*, 1990). 또한, 빠른 대사활동으로 유기물과 영양염의 이용성이 높으며, 동시에 영양염류의 재생자로 수생태계의 주요한 기능군으로써 알려져 있다

(Johannes, 1965; Berman *et al.*, 1987). 섬모충 플랑크톤은 종류에 따라 이화학적, 생물학적 환경에 대해 민감하게 반응하는 기회주의적인 특성을 강하게 지니고 있어 이들의 시공분포를 파악함이 타 분류군에 비해 어렵다. 아울러, 섬모충 세포가 연약하여 채집과 고정의 난점으로 정량, 정성분석 연구의 한계성도 이들 분류군에 대한 접근을 어렵게 만들었다(Gate and Lewg, 1984). 최근에는 은염색법의 개발로 섬모충의 정성분석이 체계화되고 있으며 동시에 정량분석의 정확성도 견비하게 되어 유럽을 중심으로 많은 연구가 활발하게 수행되고 있다(Sonntag *et al.*, 2006). 국내에서 수행된 섬모충 관련 연구는 담수보다는 해양과 연안역에서 활발한 연구가 이루어지고 있

* Corresponding author: Tel: (02) 2220-0956, Fax: (02) 2296-1741, E-mail: hanms@hanyang.ac.kr

다(Jeong, 1988; Yoo *et al.*, 1988; Yoo and Kim, 1990; 최 등, 1995; Suzuki and Han, 2000; Xu *et al.*, 2000; 이, 2002). 반면, 담수 섬모충에 대한 연구는 하모류와 소모류에 대한 분류학적 연구와 섬진강 하류에서 유충섬모충에 대한 생태학적 연구로 수생태계에서 일반적으로 분포하는 소모류를 중심으로 한 생태학적 연구는 미흡한 실정이다(신과 김, 1988; Shin and Kim, 1993a, b; 신, 1994; 유와 박, 2001; Kim *et al.*, 2003; 문, 2003; 문 등, 2004).

따라서, 본 연구는 팔당호로 유입되는 남한강과 북한강 및 경안천 중 비교적 오염도가 높은 경안천에서 출현하는 섬모충 플랑크톤을 우점종 중심으로 섬모충 플랑크톤의 종조성과 계절적 변화를 조사하여 수생태계 미세먹이망의 생태적 기능을 이해하기 위한 기초자료로 제공하고자 한다.

재료 및 방법

1. 조사기간 및 지점

조사는 2000년 12월부터 2001년 12월까지 동계에는 월 1~2회(12~1월: 1회, 2월: 2회), 나머지 기간은 매주 1회씩 오전 10~11시에 하였다. 조사지점은 팔당호로 유입되는 경안천 광동교 교량의 중앙지점 다리위에서 직접 채수기를 내려 채수하였다(Fig. 1).

2. 시료채집

Van Dorn 채수기(5 L용)를 이용하여 표층수(0.5 m 수심)를 채수한 후, 300 mL 폴리에틸렌 채집병에 담은 후 섬모충 플랑크톤과 식물플랑크톤은 Bouin's solution(2~4% final conc.)으로 고정하였고, 박테리아는 포르말린으로 고정(2~4% final conc.)하였다.

3. 이화학적 분석

수온과 pH는 휴대용 pH meter(290A, Orion, USA)를 이용하여 현장에서 직접 측정하였고, 용존산소는 Winkler-azid method에 의해 시료를 고정한 후 자동 적정기로 측정하였다(APHA, 1992). 아질산성 질소($\text{NO}_2\text{-N}$)는 자외선흡광광도법(HP 8453, Hewlett Packard), 질산성 질소($\text{NO}_3\text{-N}$)는 수질자동 분석기(autoanalyzer: model 3,100, Skala)로 측정하였다. Chlorophyll *a*의 분석은 250 mL을 GF/F(Whatman) filter로 여과한 후 90% cold-

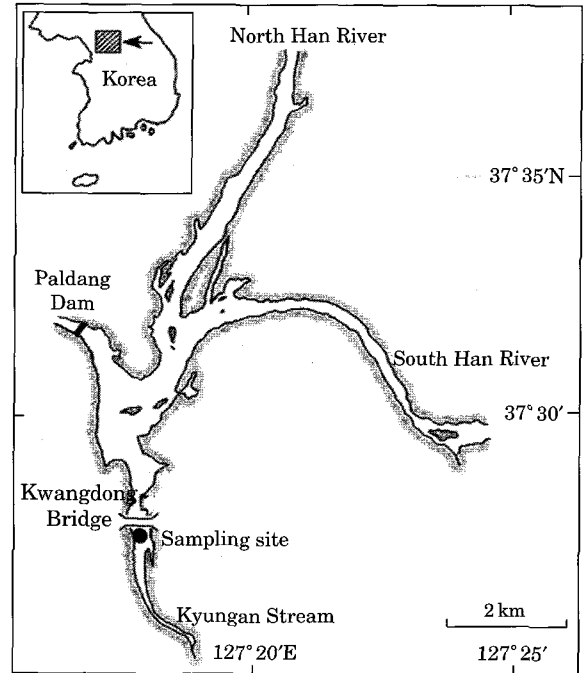


Fig. 1. Map showing the study site (●) in Kyungan Stream.

acetone 용액으로 24시간 동안 냉암실에서 색소를 추출하여 자외선흡광광도법(HP 8453, Hewlett Packard)으로 흡광도를 측정 후 Chl-*a* 농도로 환산하였다(Jeffrey and Humphrey, 1975).

4. 생물량 분석

섬모충 플랑크톤의 동정 및 계수는 Bouin's solution으로 고정된 시료를 10~25 mL 넣고 0.45 μm cellulose nitrate filter(11406-25-N, Sartorius)를 이용하여 QPS(quantitative protargol stain)의 과정(Montagnes and Lynn, 1987)을 거쳐 영구표본을 제작 후 광학현미경($\times 1,000$, Zeiss, Axioplan) 하에서 Foissner(1999)의 분류체계에 따라 동정 및 계수하였고, 탄소량을 환산하기 위해 각 세포의 크기를 측정하여 체적을 구한 후 체적대비 탄소전환계수 $0.14 \text{ pg } \text{C } \mu\text{m}^{-3}$ (Putt and Stocker, 1989)를 이용하였다.

박테리아의 계수는 0.2 μm black membrane filter(GT-BP02500, Millipore)를 이용하여 시료 5 mL을 넣고 DAPI(6-diamidino-2-phenylindole) 염색법(Sherr *et al.*, 1993)을 이용하여 프레파라이트 제작 후 형광현미경($\times 1,000$, Zeiss, Axioplan)으로 총 개체수를 파악하였다.

결 과

1. 섬모충 플랑크톤의 군집구조

2000년 12월 15일부터 2001년 12월 6일까지 경안천에서 출현한 섬모충 플랑크톤은 총 57종류로 소모류(Oligotrichs)가 53%로 출현양이 가장 많았으며, *Codonella cratera*, *Halteria grandinella*, *Rimostrombidium hyalinum*이 우점하였다(Fig. 2). 다음은 주모류(Peritrichs)로 *Vorticella* spp.와 *Epistylis* spp.가 주요 구성종이었고, 하모류(Hypotrichs)는 *Stylonychia* sp1과 *Pseudostrombidium planktonicum*이 우점하였으며, Cyrtophorids는 *Phascolodon vorticella* 한 종류만 출현하였다.

각 분류군의 계절별 출현 양상은 소모류가 전 계절을 통해 지속적인 출현을 보인 반면, 하모류는 겨울과 초봄에 출현하였다. 수온이 상승하는 초봄(3~4월)에는 소모류, 하모류를 비롯한 Cyrtophorids, Prostomatids가 출현하였으며, 하계부터 주모류에 속하는 종류가 출현하였다(Fig. 3).

2. 섬모충 플랑크톤의 개체수와 생체량 및 계절적 변화

연간 섬모충 플랑크톤 개체수의 변화는 650~19,700 cells L⁻¹이며, 연평균 5,491±1,137 cells L⁻¹가 출현하였다(Fig. 3). 10⁴ cells L⁻¹ 이상의 상대적으로 높은 개체수는 봄인 3월 30일(1.9×10⁴ cells L⁻¹), 4월 6일(1.85×10⁴ cells L⁻¹)이었고, 이시기 우점종은 각각 *Rimostrombidium* sp1, *Phascolodon vorticella*였다. 초여름(6월 8일)에는 개체수가 1.7×10⁴ cells L⁻¹이고 *Vorticella* spp.가 우점적 출현을 나타냈으며, 하계(7월 20일)에는 *Rimos-*

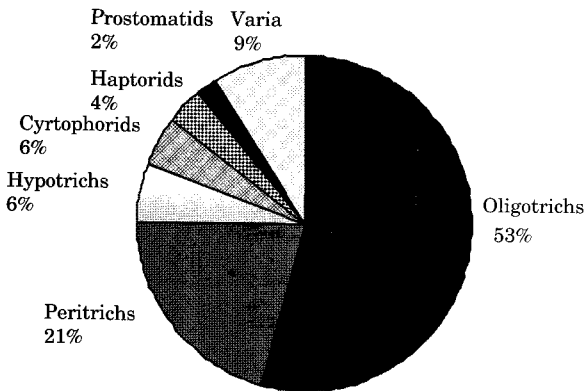


Fig. 2. Relative abundance of ciliate groups in Kyungan Stream from December 2000 to 2001 December 2001.

*trombidium hyalinum*의 증가로 인하여 총개체수가 1.9×10⁴ cells L⁻¹을 보였다. 따라서, 수온 상승기인 초봄부터 가을까지 섬모충 플랑크톤의 개체수는 높은 출현을 보였다(Fig. 3).

본 조사수역의 우점종의 계절적 변화는 *Stylonychia*

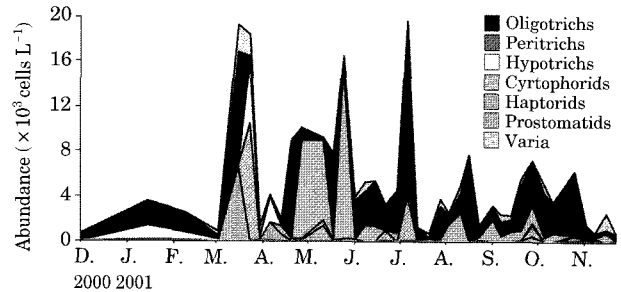


Fig. 3. Seasonal changes of ciliate groups in Kyungan Stream from December 2000 to December 2001

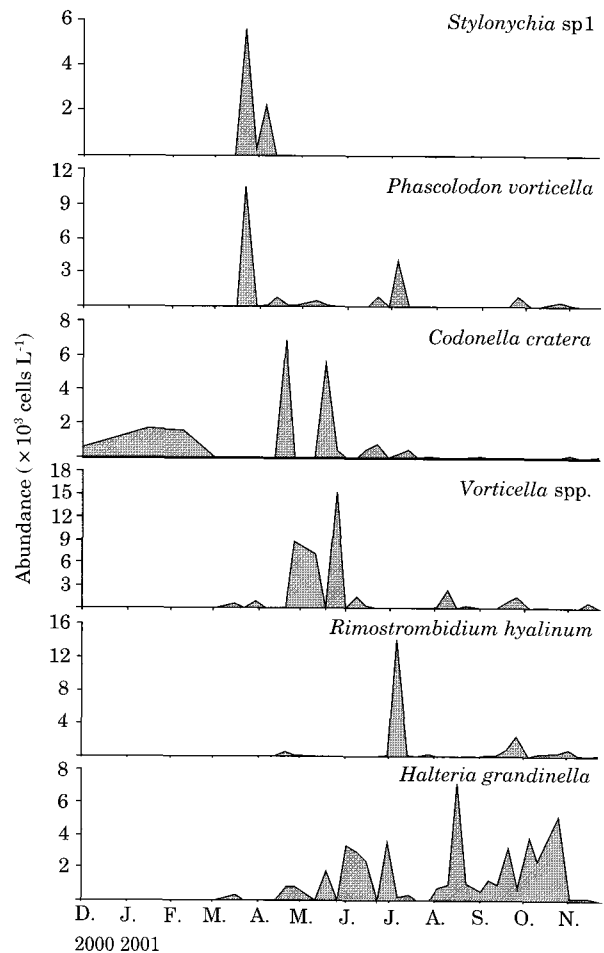


Fig. 4. Seasonal succession of dominant ciliate species in Kyungan Stream.

sp1, *Phascolodon vorticella*, *Codonella cratera*, *Vorticella* spp., *Rimostrombidium hyalinum*, *Halteria grandinella* 순으로 나타냈다(Fig. 4). *Stylonychia* sp1.는 4월에 만 출현하였으며 *Phascolodon vorticella*는 봄부터 출현하기 시작하여 여름, 가을(11월 16일)까지 출현하였고 봄(4월 6일)과 여름(7월 20일)에 우점적으로 출현하였다. 그리고 *Codonella cratera*는 주로 겨울과 봄에 출현하였다. *Vorticella* spp., *Rimostrombidium hyalinum*, *Halteria grandinella*는 겨울에 관찰되지 않았으나 봄부터 가을까지 지속적으로 출현하였다. 이 중, *Halteria grandinella*

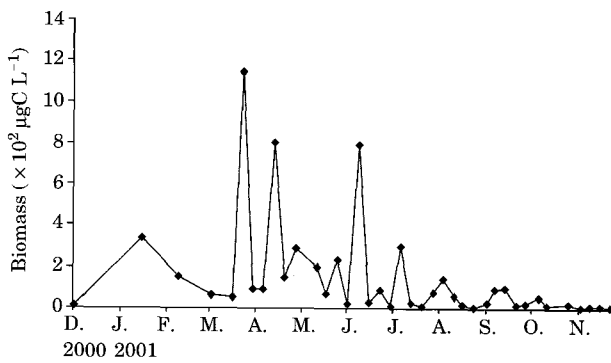


Fig. 5. Seasonal changes of total ciliates biomass in Kyungan Stream from December 2000 to December 2001.

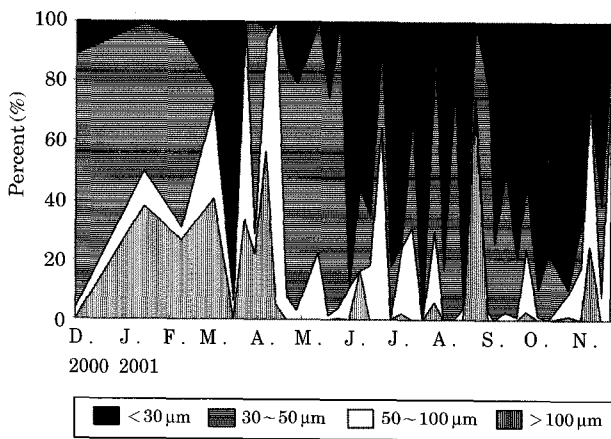


Fig. 6. Seasonal changes of size different ciliates in Kyungan Stream from December 2000 to December 2001.

는 초여름부터 가을까지 높은 개체수를 보였다(Fig. 4).

섬모충 플랑크톤의 생체량은 4월 6일(*Phascolodon vorticella*, *Stylonychia* sp1), 4월 27일(*Phascolodon vorticella*)과 6월 22일(*Halteria grandinella*, *Stentor* sp1)에 높은 값을 나타내었는데 개체수의 최고치를 보인 시기와 비교하면 4월 6일에만 일치하였다(Fig. 6). 4월까지는 비교적 세포의 크기가 큰(>50 µm) 종들이 주로 출현하였지만 5월부터는 크기가 작은(<30 µm) 종들이 주로 출현하여 세포크기에 따라 계절적인 변화를 나타냈다(Fig. 6). 또한, 생체량과 세포 크기간의 상관성은 큰 세포 종류와 높은 상관성(p<0.001)을 보였으나 소형 종류는 생체량과는 상관성이 보이지 않았다(Table 1).

3. 섬모충 플랑크톤과 환경요인과의 상관성

섬모충 플랑크톤 개체수와 생체량은 Chl-a만 상관성이 있었고, 이의 환경요인과는 상관성이 없었다(Table 2). 섬모충 분류군 중 Cyrtophorids, Haptorids는 Chl-a와 상관성을 나타냈으나 박테리아와 상관성을 보인 분류군은 없었다(Table 3). 우점종과 박테리아 밀도, Chl-a과의 상관 관계는 *Halteria grandinella*만 박테리아 유의성을 나타냈고 *Stylonychia* sp1, *Phascolodon vorticella*, *Codonella cratera*는 Chl-a와 상관성을 나타냈다(Table 3).

고찰

섬모충 플랑크톤 중에 가장 흔하게 우점하는 분류군은 소모류, Scuticociliates, Haptorids, Prostomatids으로 알려져 있다(Laybourn-Parry et al., 1990; James et al., 1995). 이중 소모류는 담수는 물론 해수에서도 중요한 분류군으로 알려져 있으며, 소모류 세포의 크기가 큰 종들

Table 1. Correlation coefficients between cell size and biomass in Kyungan Stream.

Cell size	>100 µm	50~100 µm	30~50 µm	<30 µm
r	0.68*	0.69*	0.07	-0.08

*P<0.05

Table 2. Correlation coefficients between environmental factor and ciliate biomass and abundance in Kyungan Stream.

	Abundance	Bacteria	Temp.	Do	Chl-a	TP	No ₃ +No ₂
Biomass	0.39*	-0.09	-0.10	-0.07	0.54*	0.16	0.09
Abundance		0.03	0.10	0.09	0.45*	-0.19	0.05

*P<0.05

Table 3. Correlation coefficients between biological parameter and ciliates in Kyungan Stream.

Ciliate groups	Bacteria	Chl- <i>a</i>
Oligotrichs	0.23	-0.26
Peritrichs	-0.01	0.00
Hypotrichs	-0.30	0.26
Cyrtophorids	-0.05	0.49*
Haptorids	-0.20	0.50*
Prostomatids	-0.08	-0.15
Dominant species		
<i>Stylonichia</i> sp1	-0.12	0.33*
<i>Phascolodon vorticella</i>	-0.03	0.32*
<i>Codonella cratera</i>	-0.18	0.34*
<i>Vorticella</i> spp.	-0.07	0.25
<i>Rimostrombidium hyalinum</i>	0.17	0.19
<i>Halteria grandinella</i>	0.35*	-0.29

*P < 0.05

은 계절과 무관하게 지속적으로 연중 출현하는 것으로 보고되어 있다(Yashindi *et al.*, 2002). 수질의 상태에 따라 소모류, Scuticociliates, Haptorids, Prostomatids의 분포는 차이를 보여 부영양화가 진행될수록 소모류가 감소하는 반면 Scuticociliates가 증가하는 양상을 나타낸다(Zingel, 2002). 소모류를 구성하는 종류는 대부분 *Strobilidium*, *Strombidium* spp., *Tintinnium* 등이 보편적이거나 본 수역에서는 박테리아를 주로 먹이원으로 하는 *Halteria grandinella*, *Rimostrombidium hyalinum* 등의 소형종이 주로 출현하여 차이를 보였다. Estonia의 온대수역 표층에서도 *Halteria grandinella*, *Rimostrombidium hyalinum*이 우점하는 공통점을 보였으나, 본 수역에서는 Scuticociliate가 4%만 출현하는 차이를 보였다. 이는 소형종인 *Halteria grandinella*와 Scuticociliate가 박테리아를 포식하는 경쟁관계로서 Scuticociliate의 출현이 약화된 반면 *Halteria grandinella*가 우세한 분포를 보인 것으로 사료된다(Zingel, 2005). 두 번째로 높은 개체수를 보인 주모류는 부영양화된 온대수역에서 여름에 공통적으로 출현하는 분류군으로 보고되어 있다(Shcherbavov, 1969; Bark, 1981). Tanganyika 호수에서는 10월/11월(Hecky *et al.*, 1978)에 출현하였으며, Bark(1981)의 연구에 의하면 *Vorticella*는 2월부터 10월까지 조사기간 내내 출현하는 것으로 나타났으며 그중 6월에 최대 출현하였고 표층수에서만 관찰된 것으로 보고하고 있다. 이 분류군 또한 주로 bacteria를 섭식하는 것으로 알려져 있으며 특정 세포크기의 섭식물이 높은 것으로 알려져 있다(Šimek *et al.*, 1995). 또한, 주모류(*Vorticella*, *Epistylis*)는 남조류 *Microcystis*, *Anabaena*와 규조류 *Asterionella*의

군체를 기질로 부착하여 서식하는 생태적 특성을 가지고 있다(Bark, 1981; Laybourn-Parry *et al.*, 1990). 본 조사 수역에서도 주모류가 출현한 시기에 *Microcystis*, *Aphanizomenon flow-aqua*와 같은 군체형 남조류가 우점하여 이를 기질로 이용하여 증식이 유리하였다고 판단된다.

섬모충 플랑크톤의 계절적 변화를 봄, 늦봄, 여름/가을, 겨울로 구분하였으며(Müller *et al.*, 1991) 대부분의 온대수역에서는 늦봄과 이른 여름에 최대 개체수(Laybourn-Parry, 1992; Zingel, 2002)를 나타낸다. 부영양수역일수록 해빙 이후 봄에 주로 최고 개체수를 나타내는 것으로 보고되어 있다(Zingel, 2002). 이러한 이유는 수온이 증가함과 동시에 섬모충의 대사 활성이 증가함으로써 섬모충의 성장률이 증가하는 것으로 설명하고 있다(Fenchel, 1968; Carrick *et al.*, 1992; Müller and Geller, 1993). 본 수역에서도 개체수는 봄(3월 30일, 4월 6일)과 여름(6월 20일, 7월 20일)에 최대 발생하여 부영양화 온대수역에서 나타내는 공통성을 보였다. 생체량이 높을 때 식물플랑크톤이 먼저 최대량을 나타내거나 동시에 최대량을 보이는 것으로 보고되어 있다(Laybourn-Parry *et al.*, 1990; Laybourn-Parry, 1992; Zingel, 2005). 본 수역에서도 식물플랑크톤(*Stephanodiscus* sp.)이 춘계대발생(4월 6일) 하였을 때 섬모충 플랑크톤의 생체량도 최고치(4월 6일)를 나타내었다(Kim *et al.*, 2003).

섬모충 플랑크톤의 생체량에 영향을 미치는 요인은 세포의 크기가 큰 종류(> 50 µm)가 여름에 다수 출현하여 상관성을 보인 것으로 판단된다(Table 1). 생체량이 높게 나타난 시기(4월 6일, 4월 27일)에 세포의 크기가 큰 종인 *Phascolodon vorticella*이 우점하였고 6월 22일에 *Stentor* sp1가 867 cells L⁻¹로서 타시기에 비해 개체수가 많았다. *Stentor*는 뉴질랜드의 Taupo 호수에서도 섬모충 전체 생체량의 주요 부분을 차지한다고 보고되어 있다(James *et al.*, 1995). 따라서, 생체량에 영향을 미치는 요인은 개체수보다 출현하는 종의 세포 크기에 따른 요인이라는 기존의 타 연구결과와 일치하였다(James *et al.*, 1995).

우점종의 계절적 변화는 겨울과 봄에 large-sized(*Stylonichia* sp1, *Codonella cratera*, *Phascolodon vorticella*)가 우점하며 이들은 미세조류를 주로 섭식한다(Beaver and Crisman, 1982; Pace, 1982; Zingel, 2005). 여름과 가을에는 small-sized(*Vorticella* spp., *Halteria grandinella*, *Rimostrombidium hyalinum*)가 우점하고 이들은 박테리아를 먹이원으로 한다(Beaver and Crisman, 1982; Pace, 1982; Zingel, 2005).

섬모충 분류군(Cyrtophorids, Haptorids)과 Chl-*a*의

상관성을 보인 요인으로 Cyrtophorids는 *Phascolodon vorticella*, Haptorids는 herbivorous인 *Monodinium* spp. 로 구성되어 있어 먹이생물로 식물플랑크톤은 포식함으로 인해 Chl-*a*와 상관성이 있는 것으로 사료된다.

우점종과 먹이생물(Chl-*a*, 박테리아)의 관계에서 *Stylonychia* sp1, *Codonella cratera*, *Phascolodon vorticella* 는 Chl-*a*와 상관성이 있다. 특히, *Phascolodon vorticella* 와 *Stylonychia* sp1는 세포내 *Stephanodiscus*와 *Cyclorella*를 포식한 것으로 관찰되었고 *Stephanodiscus*와 상관관계(모두 $p < 0.0001$)가 있다(Kim et al., 2003). 또한, *Codonella cratera*도 미세조류를 포식한다고 알려져 있어 Chl-*a*와 상관성을 나타낸 것으로 사료된다. 우점종 중 *Halteria grandinella*만 박테리아와 상관성을 보였으나, *Vorticella* spp., *Halteria grandinella*, *Rimostrombidium hyalinum*는 모두 박테리아를 포식하는 종들이고 수온이 증가한 여름과 가을에 주로 우점하여 뚜렷한 계절성을 보였다. 따라서, 섬모충 플랑크톤의 계절적 변화는 먹이생물에 의해 크게 영향을 받고 있음을 알 수 있었다. 그러나 섬모충 플랑크톤의 계절적 변화는 단순히 수온의 상승에 의한 대사활동 증가나 먹이생물의 변화뿐만 아니라 보다 면밀한 이화학적 변화와 포식자 등을 포함한 포괄적 접근의 필요성이 있다.

적 요

국내산 담수 섬모충 플랑크톤의 종조성과 계절적 변화를 조사하기 위하여 2000년 12월 15일부터 2001년 12월 6일까지 팔당호에서 표층수를 채집하였다.

출현한 분류군 중 소모류(Oligotrichs)가 53%로 출현량이 가장 많았다. 상대적으로 높은 개체수를 보인 봄인 3월 30일(1.9×10^4 cells L^{-1})과 4월 6일(1.85×10^4 cells L^{-1}), 여름인 6월 8일(1.7×10^4 cells L^{-1})과 7월 20일(1.9×10^4 cells L^{-1})에 급증하였다. 우점적으로 출현한 종들은 뚜렷한 계절성을 나타내어 겨울과 봄인 저수온기에는 세포크기가 비교적 큰($> 50 \mu m$) *Stylonychia* sp1, *Phascolodon vorticella*, *Codonella cratera*가 출현하였으며 여름과 가을인 고수온기에는 세포크기가 작은($< 30 \mu m$) *Vorticella* spp., *Rimostrombidium hyalinum*, *Halteria grandinella*가 출현하였다. 세포크기가 큰 종들은 Chl-*a*와 상관성을($r=0.33$, $p < 0.05$, $n=39$) 나타낸 반면, 소형종인 *Halteria grandinella*는 bacteria와 상관성을($r=0.35$, $p < 0.05$, $n=39$) 나타내었다.

사 사

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실사업(2000-NL-01-C-290)에 의하여 수행되었습니다.

인 용 문 헌

- 김영옥. 1986. 한국산 유충섬모충류의 분류학적 연구. 한양대학교 석사학위 논문.
- 문은영. 2003. 팔당호의 섬모충 플랑크톤의 분류 및 생태학적 연구. 한양대학교 석사학위 논문.
- 문은영, 김영옥, 김백호, 공동수, 한명수. 2004. 팔당호 섬모충 플랑크톤의 분류 및 생태학적 연구. 육수지 **37**(2): 149-179.
- 신만균. 1994. 한국산 하모류(유모류, 다막강, 하모목)의 계통 분류 및 하모류의 분자진화. 서울대학교 박사학위 논문.
- 신만균, 김 원. 1988. 서울지역 한강에 서식하는 하모섬모충류. 한국동물분류학회지 특간: 67-85.
- 유형빈, 박수산. 2001. 섬진강 하류계에서 유충섬모충류의 군집구조와 계절적 동태. 환경생물 **19**: 25-36.
- 이규철. 2002. 인천 연안 수역에서 출현한 한국산 미기록 부유성 섬모충류에 관한 분류학적 연구. 인하대학교 석사학위 논문.
- 이준백, 김요해. 2000. 한국 남해, 동해 및 동중국해 유충섬모충류의 분류학적 기재. 제주대학교 해양연구소 연구논문집 **24**: 55-77.
- 최중기, 김시균, 노재훈, 박경철. 1995. 인천 연안 미세 생물 먹이망 내에서 부유 원생생물의 포식율에 관한 연구. 한국해양학회지 **30**: 458-466.
- APHA-AWWA WPCF. 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. 18th ed., APHA-AWWA-WPCF, Washington D.C.
- Azam, F., T. Fenchel, J.G. Field, J.S. Gray, L.A. Meyer-Reil and F. Thngstad. 1983. The ecological role of water column microbes in the sea. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* **126**: 97-102.
- Bark, A.W. 1981. The temperal and spatial distribution of planktonic and benthic protozoan communities in a small productive lake. *Hydrobiologia* **85**: 239-255.
- Beaver, J.R. and T.L. Crisman. 1982. The trophic response of ciliated protozoans in freshwater lakes. *Limnol. Oceanogr.* **27**: 246-253.
- Beaver, J.R. and T.L. Crisman. 1989. The role of ciliated protozoa in pelagic fresh-water ecosystems. *Microb. Ecol.* **17**: 111-136.
- Berman, T., M. Nawrocki, G. Taylor and D.M. Karl. 1987. Nutrient flux between bacteria, bacterivorous nano-

- planktonic protists and algae. *Mar. Microb. Food Webs* **2**: 69-82.
- Carrick, H.J. and G.L. Fahnenstiel. 1990. Planktonic protozoa in lakes Huron and Michigan-seasonal abundance and composition of ciliates and dinoflagellates. *J. Great Lakes Res.* **16**: 319-329.
- Carrick, H.J., G.L. Fahnenstiel and W.D. Taylor. 1992. Growth and production of planktonic protozoa in Lake Michigan: In situ versus in vitro comparisons and importance to food web dynamics. *Limnol. Oceanogr.* **37**: 1221-1235.
- Fenchel, T. 1968. The ecology of marine microbenthos III. The reproductive potentials of ciliates. *Ophelia* **5**: 123-136.
- Finlay, B.J., K.J. Clarke, A.J. Cowling, R.M. Hindle, A. Rogerson and U.G. Berninger. 1988. On the abundance and distribution of protozoa and their food in a productive freshwater pond. *Europ. J. Protistol.* **23**: 205-217.
- Gate, M.A. and U.T. Lewg. 1984. Contribution of ciliated protozoa to the planktonic biomass in a series of Ontario lake, quantitative estimates and dynamical relationships. *J. Plankton Res.* **6**: 443-456.
- Gonzalez, J.E., E.B. Sherr and B.F. Sherr. 1990. Size-selective grazing on bacteria by natural assemblages of estuarine flagellates and ciliates. *Appl. Environ. Microbiol.* **56**: 583-589.
- Hecky, R.E. and H.J. Kling. 1981. The phytoplankton and proto-zooplankton of Lake Tanganyika: species composition, biomass, chlorophyll content and spatio-temporal distribution. *Limnol. Oceanogr.* **26**: 548-564.
- James, M.R., C.W. Burns and D.J. Forsyth. 1995. Pelagic ciliated protozoa in two monomictic, southern temperate lakes of contrasting trophic state: seasonal distribution and abundance. *J. Plankton Res.* **17**: 1479-1500.
- Jeffrey, S.W. Humphrey. 1975. New spectrophotometric equations for determining chlorophyll *a*, *b*, *c*1 and *c*2 in higher plants algae and natural phytoplankton. *Biochem. Physiol. Plant.* **167**: 194-197.
- Jeong, H.J. 1988. An ecological study on marine Tintinnids in Cheonsu Bay, Korea. Ms thesis, Seoul Nat. Univ., Seoul, 60 p.
- Johannes, R.E. 1965. Influence of marine Protozoa on nutrient regeneration. *Limnol. Oceanogr.* **10**: 434-444.
- Kim, B.H., E.Y. Moon, S.S. Hong and M.S. Han. 2003. Seasonal variations of planktonic ciliates with reference to their prey in a shallow and eutrophic Korean Stream. *J. Freshwater Ecology* **18**(4): 577-584.
- Laybourn-Parry, J. and A. Rogerson. 1992. Seasonal patterns of protozooplankton in Lake Windermere, England. *Arch. Hydrobiol.* **12**: 405-410.
- Laybourn-Parry, J., J. Olver, A. Rogerson and P.L. Duvergé. 1990. The temporal and spatial patterns of protozooplankton abundance in a eutrophic temperate lake. *Hydrobiologia* **203**: 99-110.
- Montagnes, D.J.S. and D.H. Lynn. 1987. A quantitative Protargol Stain (QPS) for ciliates: method description and test of its quantitative nature. *Mar. Microb. Food Webs.* **2**: 83-93.
- Müller, H., A. Schöne, R.M. Pinto-Coelho, A. Schweizer and T. Weisse. 1991. Seasonal succession of ciliates in lake Constanz. *Microb. Ecol.* **21**: 119-138.
- Müller, H. and W. Geller. 1993. Maximum growth rates of aquatic ciliated protozoa: the dependence on body size and temperature reconsidered. *Arch. Hydrobiol.* **126**: 315-327.
- Pace, M.L. 1982. Planktonic ciliates: their distribution, abundance, and relationship to microbial resources in a monomictic lake. *Can. J. Fish Aquat. Sci.* **39**: 1106-1116.
- Putt, M. and D.K. Stoecker. 1989. An experimentally determined carbon: volume ration for marine "oligotrichous" ciliates from estuarine and coastal waters. *Limnol. Oceanogr.* **34**: 1097-1103.
- Shcherbakov, A. D. 1969. Quantity and biomass of protozoa in the plankton of a eutrophic lake. *Hydrobiologia* **5**: 9-15.
- Shin, M.K. and W. Kim. 1993a. New records of three Oxytrichid Hypotrichs (Ciliophora; Hypotrichida: Oxytrichidae) from the Han River in Seoul, Korea. *Korean J. Syst. Zool.* **36**: 223-230.
- Shin, M.K. and W. Kim. 1993b. Redescription of two Holostichid species of Genus Holosticha Wrzeniewski 1877 (Ciliophora, Hypotrichida, Holostichae) from Seoul, Korea. *Korean J. Syst. Zool.* **1**: 251-259.
- Šimek, K., J. Bobkova, M. Macek, J. Nemoda and R. Psenner. 1995. Ciliates grazing on picoplankton in a eutrophic reservoir during summer phytoplankton maximum: a study at the species and community level. *Limnol. Oceanogr.* **40**: 1077-1090.
- Sonntag, B., T. Posch, S. Klammer, K. Teubner and R. Psenner. 2006. Phagotrophic ciliates and flagellates in an oligotrophic, deep, alpine lake: contrasting variability with seasons and depths. *Aquat. Microb. Ecol.* **43**: 193-207.
- Suzuki, T. and M.S. Han. 2000. A study on a new species of Tontonia (Ciliophora: Oligotrichida) from the East China Sea and adjacent sea areas. *J. Mar. Biol. Ass. U.K.* **80**: 989-994.
- Xu, K.D., J.K. Choi, E.J. Yang, Y.L. Lei and K.C. Lee.

2000. Assessment of planktonic ciliate communities as indicators of water quality in Incheon coastal waters. *The Yellow Sea* **6**: 50-58.
- Yasindi, A.W., D.H. Lynn and W.D. Taylor. 2002. Ciliated protozoa in Lake Nakuru, a shallow alkaline-saline lake in Kenya: Seasonal variation potential production and role in the food web. *Arch. Hydrobiol.* 311-325.
- Yoo, K.I. and Y.O. Kim. 1990. Taxonomy studies on Tintinnids (Protozoa: Ciliata) in Korea Coastal Waters 2. Yöng-il Bay. *Korean J. Syst. Zool.* **6**: 87-122.
- Yoo, K.I., Y.O. Kim and D.Y. Kim. 1988. Taxonomy studies on Tintinnids (Protozoa: Ciliata) in Korea Coastal Waters 1. Chinhae Bay. *Korean J. Syst. Zool.* **4**: 67-90.
- Zingel, P. 2005. Vertical and seasonal dynamics of planktonic ciliates in a strongly stratified hypertrophic lake. *Hydrobiologia* **547**: 163-174.
- Zingel, P., E. Huitu, S. Makela and L. Arvola. 2002. The abundance and diversity of planktonic ciliates in 12 boreal lakes of varying trophic state. *Arch. Hydro.* **155**: 315-332.

(Manuscript received 17 January 2008,
Revision accepted 10 March 2008)