

수온에 따른 영산강 식물플랑크톤군집 변동

정은정 · 나정은 · 김규만 · 심성순 · 이학영*

전남대학교 자연과학대학 생물학과

Water Temperature and Community of
Phytoplankton in Youngsan River, Korea

Eun Jeong Jeong, Jeong Eun Na, Gyu Man Kim, Sung Sun Shim and Hak Young Lee*

Department of Biological Science, Chonnam National University, Gwangju 500-757, Korea

Abstract – In order to clarify the ecological properties of phytoplankton community, the distribution of phytoplankton and the relation of water temperature and size-fractionation measurements were studied from November 2004 to August 2005 in Youngsan River, Korea. A total of 265 phytoplankton species was identified. It consists of 48 genera and 123 species (46%) of Chlorophyceae, 27 genera and 89 species (34%) of Bacillariophyceae, 12 genera and 25 species (9%) of Cyanophyceae, respectively. From size fractionation analysis, nanophytoplankton (2~20 µm) dominated from early spring to early summer, and microphytoplankton (20~200 µm) from summer to winter. The relationship between chl-*a* and nanophytoplankton showed high correlation coefficient value ($r^2=0.93$) from Najudaegyo site. The correlation coefficient values between water temperature and nanophytoplankton were low except Dongkangdaegyo site which showed high value ($r^2=0.73$).

Key words : Youngsan River, nanophytoplankton, microphytoplankton, temperature

서 론

영양염의 농도와 조도, 수온 등의 조건이 성장에 유리한 상황이 되면 식물플랑크톤의 증식이 일어나 수중 생태계에서 일차 생산성을 촉진하거나 과다증식으로 수면을 뒤덮는 수화현상(blooming)을 일으키는데(박 1991; Barnes and Mann 1991; Wetzel 1999; Graham and Wilcox 2009), 수화(水華)가 일어나면 식물플랑크톤은 스스로 광(light)흡수인자로 작용하여 빛의 투과를 막아 자신들의 성장을 방해하고(self-shading, Krik 1994), 포식되지 않고 바닥에 가라앉은 식물플랑크톤이 호기성 미생물의

분해 작용을 거치면서 저층의 용존산소를 고갈시켜 저산소(hypoxia) 또는 무산소(anoxia)상태가 되어 수질을 악화시킬 뿐 아니라(Sundback *et al.* 1990; Horne and Goldman 1994), 독성을 가지는 조류의 대발생을 일으켜 수생태계 및 수산업에 치명적인 피해를 입히기도 한다(Harper 1992; Graham and Wilcox 2009).

이와같이 식물플랑크톤은 환경변화에 민감하게 반응하는 수생태계의 중요한 구성원이며, 수질 변화에 따라 현존량과 종조성이 크게 변화하는 수생태계의 일차생산자이기 때문에 그들의 분포를 보면 수중 환경의 특성을 파악할 수 있다(이 1994). 따라서 식물플랑크톤의 생물학적 요인인 현존량, 종조성 등과 이화학적 요인 조사를 근간으로 하여 이들의 계절적 변화와 상호관계를 파악하는 것은 강과 호수의 관리에서 매우 중요하다.

* Corresponding author: Hak Young Lee, Tel. 062-530-3401, Fax. 062-530-3409, E-mail. haklee@chonnam.ac.kr

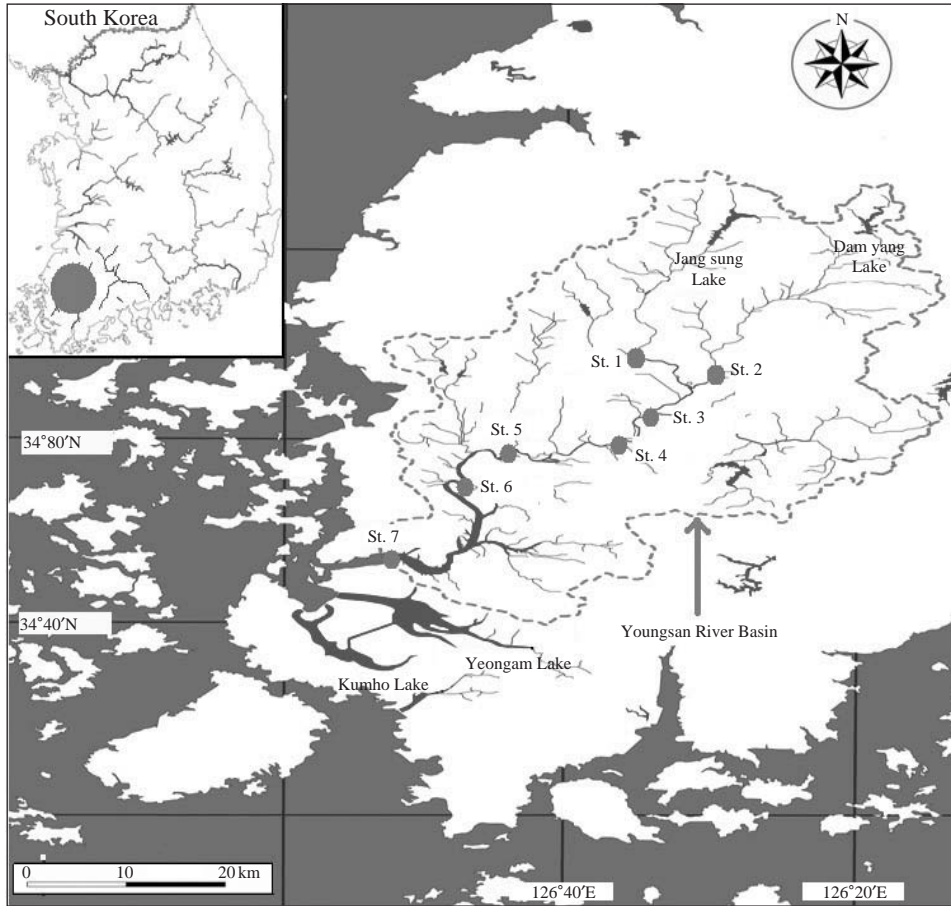


Fig. 1. Map showing the sampling stations in the Youngsan River. St. 1, Songsanggyo; St. 2, Gukrakgyo; St. 3, Sungchonggyo; St. 4, Najudae-gyo; St. 5, Dongkangdaeyo; St. 6, Mongtandaeyo; St. 7, Youngsan Reservoir.

일반적으로 식물플랑크톤은 크게 중형플랑크톤(mesophytoplankton, 200 μm 이상), 소형플랑크톤(microphytoplankton, 20~200 μm), 미세플랑크톤(nanophytoplankton, 2~20 μm), 극미플랑크톤(picophytoplankton, 0.2~2 μm), 펩토식물플랑크톤(0.2 μm 이하)로 분류하며, 이중 미세플랑크톤은 수중 생태계내 microbial loop를 통한 에너지 전환 역할에서의 중요성이 보고되었다(Barnes and Mann 1991; Wetzel 1999). 그러나 식물플랑크톤을 크기에 따라 나누는 이러한 분류는 계통학적인 것이 아니고 형태적인 구분이기 때문에 이들의 분포양상이 환경과 어떤 관련을 가지는 지에 대한 연구는 많이 이루어지지 않았다. 영산강 수계의 육수 생물학적 조사도 1974년부터 시작되었으나 최근까지 수 편에 불과하고(위 1974; 김 등 1988; 최 등 1995), 특히 크기 구조에 따른 식물플랑크톤의 분포 특성에 관한 연구는 거의 전무한 실정이다. 그러나 형태적인 차이는 포식자와의 관계에서 중요한 인이 되므로 시스템내에서의 에너지 흐름이란 측면을

고려하면 매우 중요한 구분이 될 수 있다(Shubert 1984; Barnes and Mann 1991; Wetzel 1999).

이러한 의미에서 식물플랑크톤의 크기별 분포양상과 환경과의 상관성 분석은 하천의 생태계 이해에 중요한 접근이 되므로 본 연구에서는 영산강 수계에서 크기 구조에 따른 식물플랑크톤 생물량의 시·공간적 분포 특성 및 식물플랑크톤 생물량과 여러 환경인자들과의 관계를 파악해서 향후 효율적인 수질관리를 위한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

재료 및 방법

식물플랑크톤의 채집은 영산강 유역권 7개 정점(Fig. 1)에서 2004년 11월부터 2005년 8월까지 매월 1회씩 실시하였다.

조사기간 동안 기온(Air temperature), 상대습도(Rela-

tive humidity), 강수량(Precipitation), 일조시간(Sunshine)은 광주지방의 일 기상 통계표(한국 기상청, 2004~2005)를 이용하여 각 항목을 조사하였다.

1. 환경요인 조사

환경 요인을 분석하기 위하여 각 정점별 수온, 수소이온 농도, 용존산소량, 전도도, 클로로필을 분석하였다. Water temperature, pH, DO, Conductivity는 Hydrolab을 이용하여 현장에서 측정하였고, 클로로필(Chlorophyll *a*)의 농도를 측정하기 위한 시료는 표층수 300 mL를 0.45 μm membrane filter (47 mm MFS, Adventec)로 여과한 다음 냉동 건조, 보관 후 filter를 screw capped tube에 넣고 90% acetone 10 mL을 넣어 4°C 어두운 곳에 24시간 용출하였다(Wetzel and Likens 2000). 용출된 시료를 4,000 rpm에서 10분간 원심분리 한 후 상등액을 취하여 UV-Visible Spectrophotometer (Genesys 5, Spectronic)로 흡광도를 측정하여 클로로필의 농도를 계산하였다(Wetzel and Likens 2000).

2. 식물플랑크톤 조사

식물플랑크톤의 종을 동정하기 위한 시료는 표층수 1 L를 Lugol's Iodine solution으로 고정 한 후 24시간 이상 암소에 정치하여 침전시킨 후 상등액 900 mL를 siphon으로 제거하고 남은 100 mL의 재료수를 잘 교반하여 slide glass에 적하한 후 400배와 800배의 현미경 하에서 종을 동정하였고, Sedgewick Rafter Chamber에서 계수한 식물플랑크톤을 mL당 개체수로 환산하여 현존량으로 추정하였다.

우점종 조사는 현존량 중에 최대 현존량을 나타내는 종으로 선정하였으며, 크기별 조사는 Fenchel(1987)이 제시한 방법에 따라 nanophytoplankton (2~20 μm), microphytoplankton (20~200 μm), mesophytoplankton (200 μm 이상)으로 분류하였다.

군집의 분석은 종 다양도 지수(Shannon and Weaver 1963), 우점도 지수(McNaughton 1968), 유사도 지수(Brower and Zar 1977)의 항목에 대해 수행하였다.

결과 및 고찰

1. 기상요인

기온은 전형적인 우리나라의 온도변화 경향과 동일하였다(Fig. 2). 봄과 가을에 60% 정도의 낮은 습도를 나타

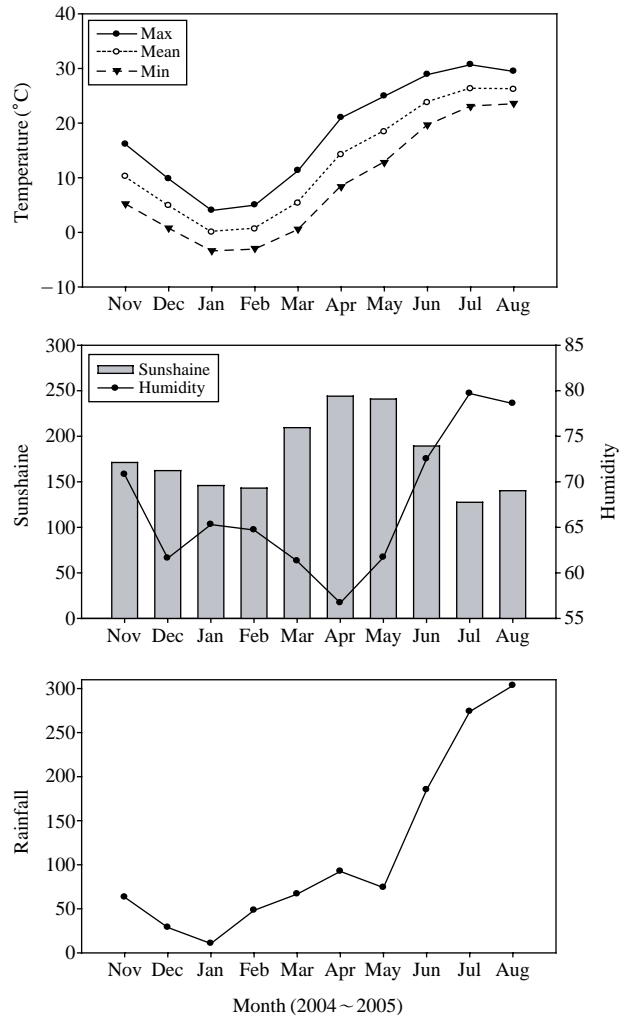


Fig. 2. Variations of air temperature, sunshine and humidity, and precipitation in Gwangju from November 2004 to August 2005.

냈고, 장마와 태풍이 있었던 6월에서 8월 사이에는 72.5~79.7% 범위의 높은 습도를 나타냈다. 일조량은 강우량과 관계가 많으므로 강우가 많았던 장마 시기에는 낮았고, 건조했던 2005년 3월부터 5월까지 월 일조시간이 200시간 이상으로 높게 나타났다(Fig. 2). 강수량은 전형적인 몬순기후와 관계하여, 7월과 8월에 강우가 집중된 것으로 나타났다.

2. 이화학적 요인

용존산소 농도는 온도가 상승하면 감소하고 감소하면 증가하는 계절적인 경향을 나타내어, 용존산소가 온도에 의존적임을 알 수 있었다(Fig. 3). 이러한 특성은 하천에서 흔히 나타나는 현상(Wetzel 1999)으로 이는 수중의 물

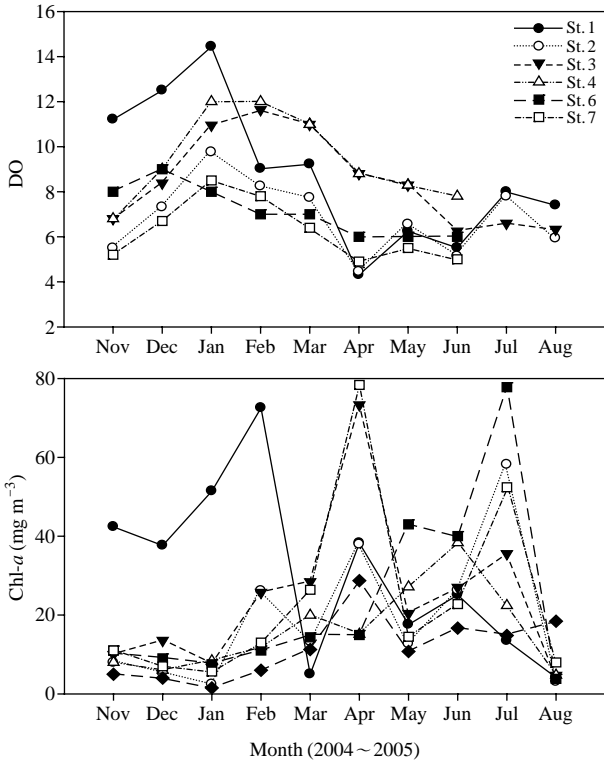


Fig. 3. Variations of DO and Chl-a in the Youngsan River from November 2004 to August 2005.

질 거동이 용존산소량을 변화시키는 요인이 되지 않음을 의미한다 (Lampert and Sommer 1997). 11~7월까지 강우량과 Chl-a 분포를 비교해 보면 비슷한 양상을 보이는데, 강우는 수체로 영양염류를 유입시키므로 강우량이 많아지면 높은 Chl-a 농도를 보인다는 결과와 일치하였고, 정점1에서 11~2월 사이에 Chl-a 농도가 높게 나타날 때, 용존산소량도 높게 나타남을 볼 수 있었다 (Fig. 3). 이것은 광합성 생물들이 빛에너지를 모아 이산화탄소를 유기물 (organic matter)로 고정할 때 부산물로 산소를 생성하기 때문일 것이고, 8월에 Chl-a 농도가 낮게 나타난 것은 집중 강우로 본류의 유량이 크게 늘어나고 유속이 빨라져 체류시간이 짧아진 것과 탁수의 유입으로 광투과도가 감소한 때문으로 생각된다 (Kalff 2002).

3. 식물플랑크톤 동태

조사기간 동안 영산강에서 동정된 식물플랑크톤은 총 17목 7아목 36과 2아과 102속의 265종으로 녹조류 123종 (46%), 규조류 89종 (34%), 남조류 25종 (9%), 기타 28종 (11%)으로 녹조류와 규조류가 전체 구성종의 80%를 차지하였다. 최 등 (1995)의 영산강 상류를 대상으로 한

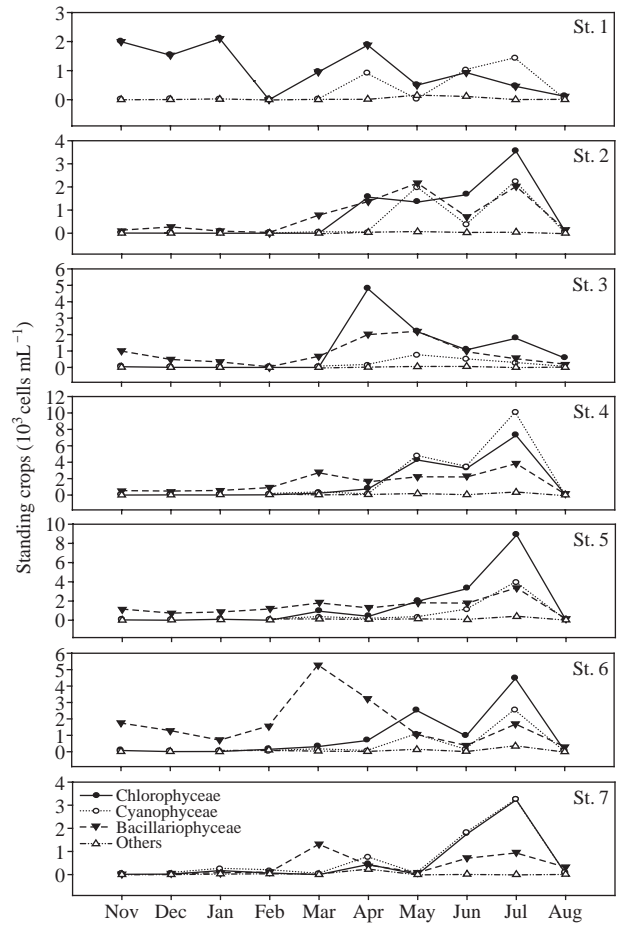


Fig. 4. Monthly variations of standing crops of the dominant classes of phytoplankton in the Youngsan River.

연구에서도 녹조류와 규조류가 전체 구성종의 80%를 차지하여 본 조사와 유사한 결과를 보여 주었는데, 이는 영산강 본류가 우리나라의 다른 하천에서와 마찬가지로 녹조류와 규조류에 의해 절대 우점되고 있음을 보여준다 (김 등 1998, 이와 윤 2002).

식물플랑크톤의 현존량은 $54 \sim 17,106 \text{ cells mL}^{-1}$ 의 범위로서 2004년 11월에 정점7에서 최저였고, 2005년 7월에 정점4에서 최고였다. 5월에는 남조강과 녹조강, 7월에 녹조강의 현존량이 증가하면서 5월 (정점4)과 7월 (정점4와 5)에 peak를 나타내었다 (Fig. 4).

각 조사지점의 우점강은 정점에 따라 차이가 있지만 수온이 낮은 겨울과 봄에 규조강이 우점하였고, 수온이 높아지는 시기에 녹조강으로 교체되었다. 이것은 다른 조사 수역에서 수온이 낮은 시기에 규조강이 우점하는 경향과는 유사하나 여름에 남조강이 우점을 이루는 것과는 상이하였다 (Hutchinson 1967; Bailey-Watts 1988; 이와 윤 2002). 2005년 8월에는 모든 정점들에서 현존량이

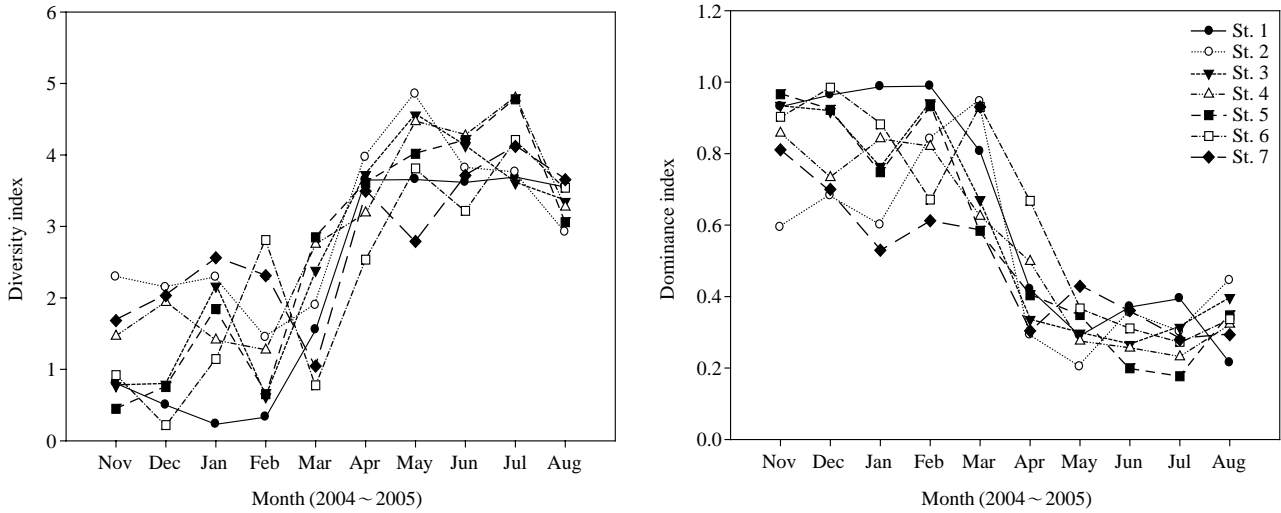


Fig. 5. Temporal and spatial changes of diversity and dominance indices of algal communities in the Youngsan River.

감소하였는데 이것은 강우 등의 원인으로 서식하고 있던 식물플랑크톤의 군집이 유실되고, 즉시 회복되지 않은 때문으로 한강에서도 비슷한 결과가 보고된바 있다(김 등 1998).

우점종은 22종으로 규조강이 9종, 남조강이 7종 그리고 녹조강이 6종이었으며, 규조강은 *Stephanodiscus*속, *Cyclostephanodiscus*속, *Cyclotella*속, *Nitzschia*속, *Cyclostephanos*속, *Aulacoseira*속, *Melosira*속이었고, 남조강은 *Phormidium*속, *Aphanothece*속, *Merismopedia*속, *Microcystis*속, *Myxosarcina*속이었으며, 녹조강은 *Actinastrum*속, *Coelastrum*속, *Dictyosphaerium*속, *Micractinium*속, *Scenedesmus*속, *Eudorina*속 등이었다.

모든 정점에서 우점종은 2004년 11월부터 2005년 3월까지의 부유성 규조류인 *Cyclotella* sp., *Cyclotella stelligera*, *Stephanodiscus* sp., *Nitzschia palea*, *Cyclostephanos* sp. 등이었는데, 이들 종은 강물의 흐름에 의해 부착성의 조류가 기질에서 탈리한 것으로 이와 같은 현상은 국내 하천에서 널리 나타난다(김 등 1998; 이와 윤 2002). 2005년 4월부터 7월까지의 녹조류인 *Scenedesmus quadricauda*, *Micractinium pusillum*, *Coelastrum sphaericum*, *Dictyosphaerium pulchellum*과 남조류인 *Merismopedia glauca*, *Merismopedia tenuissima* 그리고 규조류인 *Cyclotella stelligera* 등으로 구성되었다.

2004년 11월부터 2월까지는 대부분 우점분류군이 규조강으로 *Stephanodiscus* sp.였으며, 정점 2에서만 *Nitzschia palea*, *Phormidium* sp., *Aphanothece* sp.가 우점하였고 6월은 녹조강의 종들이, 7월에는 남조강의 종들이 대부분 우점하였다.

이상의 결과는 남조류와 녹조류는 다른 식물플랑크톤

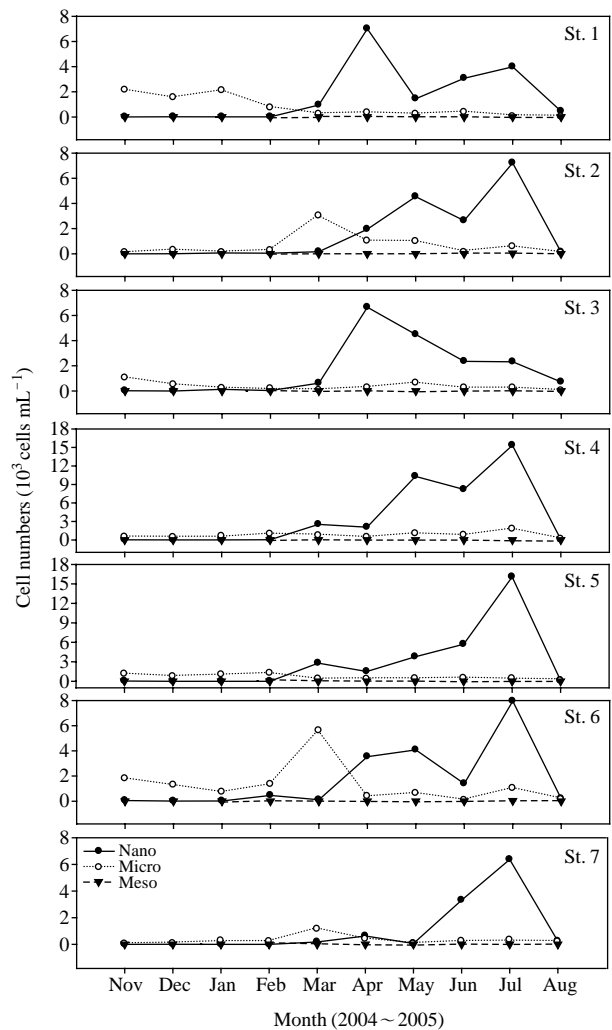


Fig. 6. Monthly variations of cell numbers of each size variable of phytoplankton in the Youngsan River.

Table 1. Monthly variations of similarity indices between each station in the Youngsan River

November 2004								December							
St.	1	2	3	4	5	6	7	St.	1	2	3	4	5	6	7
1	1.00							1	1.00						
2	0.40	1.00						2	0.33	1.00					
3	0.50	0.40	1.00					3	0.35	0.62	1.00				
4	0.42	0.30	0.33	1.00				4	0.40	0.25	0.27	1.00			
5	0.45	0.44	0.64	0.46	1.00			5	0.53	0.53	0.43	0.71	1.00		
6	0.40	0.29	0.48	0.40	0.44	1.00		6	0.53	0.18	0.40	0.31	0.33	1.00	
7	0.35	0.31	0.35	0.12	0.40	0.33	1.00	7	0.25	0.50	0.36	0.29	0.46	0.22	1.00
January 2005								February							
St.	1	2	3	4	5	6	7	St.	1	2	3	4	5	6	7
1	1.00							1	1.00						
2	0.50	1.00						2	0.29	1.00					
3	0.40	0.35	1.00					3	0.33	0.40	1.00				
4	0.43	0.25	0.32	1.00				4	0.42	0.11	0.18	1.00			
5	0.43	0.35	0.53	0.56	1.00			5	0.43	0.15	0.17	0.64	1.00		
6	0.55	0.46	0.50	0.53	0.53	1.00		6	0.30	0.08	0.16	0.47	0.42	1.00	
7	0.62	0.40	0.33	0.35	0.24	0.57	1.00	7	0.43	0.15	0.17	0.56	0.60	0.36	1.00
March								April							
St.	1	2	3	4	5	6	7	St.	1	2	3	4	5	6	7
1	1.00							1	1.00						
2	0.10	1.00						2	0.28	1.00					
3	0.24	0.42	1.00					3	0.28	0.43	1.00				
4	0.13	0.40	0.40	1.00				4	0.27	0.60	0.56	1.00			
5	0.19	0.32	0.40	0.50	1.00			5	0.20	0.54	0.50	0.52	1.00		
6	0.07	0.09	0.15	0.18	0.18	1.00		6	0.20	0.45	0.45	0.47	0.54	1.00	
7	0.08	0.11	0.17	0.21	0.28	0.15	1.00	7	0.13	0.23	0.32	0.32	0.44	0.32	1.00
May								June							
St.	1	2	3	4	5	6	7	St.	1	2	3	4	5	6	7
1	1.00							1	1.00						
2	0.19	1.00						2	0.42	1.00					
3	0.25	0.44	1.00					3	0.38	0.56	1.00				
4	0.22	0.70	0.33	1.00				4	0.35	0.57	0.51	1.00			
5	0.30	0.30	0.37	0.41	1.00			5	0.37	0.42	0.55	0.51	1.00		
6	0.22	0.58	0.38	0.58	0.35	1.00		6	0.34	0.33	0.40	0.41	0.43	1.00	
7	0.13	0.14	0.10	0.18	0.24	0.15	1.00	7	0.40	0.34	0.37	0.35	0.39	0.43	1.00
July								August							
St.	1	2	3	4	5	6	7	St.	1	2	3	4	5	6	7
1	1.00							1	1.00						
2	0.52	1.00						2	0.08	1.00					
3	0.41	0.53	1.00					3	0.29	0.30	1.00				
4	0.44	0.47	0.39	1.00				4	0.21	0.27	0.19	1.00			
5	0.46	0.46	0.36	0.71	1.00			5	0.15	0.15	0.28	0.25	1.00		
6	0.38	0.35	0.45	0.55	0.68	1.00		6	0.12	0.31	0.23	0.20	0.29	1.00	
7	0.39	0.39	0.43	0.47	0.44	0.53	1.00	7	0.13	0.40	0.41	0.21	0.44	0.30	1.00

에 비하여 높은 수온을 요구한다는 보고(Kanoshina *et al.* 2003)와 규조류는 불안정한 수체 및 낮은 수온에서 높은 경쟁력을 가진다는 보고(Tryfon and Moustaka-Gouni 1997)와 일치한다.

종 다양도 지수는 12월에 최저(St. 6; 0.22)였고 5월에 최고(St. 2; 4.85)였는데 수온이 낮은 시기에 *Cyclotella*

sp.와 *Stephanodiscus* sp.가 전체 현존량의 90% 이상을 점유하여 다양도가 낮았고, 우점도 지수는 7월에 최저(St. 5; 0.18)였고 1월과 2월에 최고(St. 1; 0.99)였는데 수온이 높은 시기에는 소수종에 의한 우점보다는 다수의 종들이 출현하여 다른 시기에 비해 우점도가 떨어진 것으로 생각된다(Fig. 5). 유사도 지수는 0.07(3월; St.1~

St. 6)~0.71 (12월, 7월; St. 4~5)로 크게 세 그룹 즉, 영산강 본류인 St. 2, St. 4, St. 5, St. 6, St. 7의 한 그룹과 황룡강 지점인 St. 1의 한 그룹, 황룡강의 영향을 받은 St. 3 한 그룹으로 구분 되어졌다(Fig. 5).

전반적으로 겨울에서 여름으로 진행되면서 다양도는 높아지고 우점도는 낮아지는 경향을 보였다.

2004년 11월부터 2005년 3월까지의 소형식물플랑크톤(microphytoplankton, 20~200 μm)이 우점하였고, 2005년 4월부터 2005년 8월까지의 미소식물플랑크톤(nanophytoplankton, 20 μm)이 우점하였다(Fig. 6). 소형식물플랑크톤에 의한 봄철 발생은 저층 수온이 10°C에서 16°C로 증가할 때 종결된다는 연구 결과(Malone, 1992)와 같이 본 조사에서도 수온이 12°C에서 15°C의 분포를 보이는 5월에 소형식물플랑크톤에서 미소식물플랑크톤으로 우점군 크기 구조 변동과 함께 봄철의 발생이 이루어졌다. 소형식물플랑크톤은 크기가 더 작은 미소식물플랑크톤에 비해 상대적으로 낮은 수온을 선호한다는 보고(Goldman and Ryther 1976; Malone and Neale 1981)가 있는데 영산강에서도 소형식물플랑크톤에 속하는 *Cyclotella* sp.와 *Stephanodiscus* sp. 등의 규조류가 수온이 낮은 겨울에 우세하였으며 이러한 종들은 낮은 수온과 높은 영양염에서 성장이 이루어졌다는 다른 연구 결과(Bruno *et al.* 1983; 이 등 2005)와도 일치하였다. 중형식물플랑크톤은 조사기간 동안 전 조사 지점에서 현존량의 변화가 거의 없이 매우 낮은 수준을 나타냈다.

조사기간 동안 식물플랑크톤의 크기와 Chl-*a*의 농도 사이의 상관성을 보면, 미소식물플랑크톤은 $R^2=0.09\sim 0.91$, 소형식물플랑크톤은 $R^2=0.04\sim 0.28$ 로 관찰되었다(Table 1). 미소식물플랑크톤에서는 몇 지점에서 매우 높은 양의 상관관계를 보였으나, 소형식물플랑크톤과 중형식물플랑크톤에서는 현존량과의 유의성이 전반적으로 매우 낮았다.

Chl-*a*의 크기별 불일치는 세포크기에 따라 Chl-*a*의 함유량이 다르고(Odata and Yanada 1993), 세포크기는 같으나, 종에 따라 색소조성 및 함량의 차이를 보이는 phylogenetic adaptation 현상(Jiménez *et al.* 1987), 동일종 내에서도 환경적 조건에 따라 색소의 상대적 비율에 차이가 있는 ontogenetic adaptation 등에 의한 것으로 해석되어진다(Jiménez *et al.* 1987).

수온에 따른 식물플랑크톤 크기별 개체수 분포 양상을 보면, 미소식물플랑크톤은 $R^2=0.33\sim 0.50$, 소형식물플랑크톤은 $R^2=0.02\sim 0.59$ 로 관찰되었다. 미소식물플랑크톤, 소형식물플랑크톤, 중형식물플랑크톤 어떤 크기에서도 현존량과 수온 사이에는 높은 유의성은 없었다. 그러나 일부 수역에서 미소플랑크톤과 소형플랑크톤의 개

체수와 수온 사이에 상관성이 나타났다.

영산강의 조사지점에서 식물플랑크톤은 수온에 대해 크기별로 서로 반응양상을 보여주었다. 수온에 대한 식물플랑크톤 분포변화는 기본적으로 수온이 식물플랑크톤생식능(phytoplankton reproduction capacity; PRC)에 영향을 주기 때문이다(Dongfang *et al.* 2004). 따라서 식물플랑크톤은 크기별 생식능에 수온의존성이 있음을 의미하는데, 영산강과 같이 수환경의 변화가 큰 하천에서는 그 영향이 상대적으로 적은 것으로 추측된다. 수온과 식물플랑크톤 크기에 따른 반응의 차이는 호수보다 하천에서 더 크게 나타나는데 이는 호수 환경은 정체되어 있고 수심이 깊으며 수온의 변화도 적은데 반해 하천은 환경요인의 변동이 짧은 시간에 강하게 일어나기 때문으로 해석되어진다(Schelske and Stoermer 1972).

적 요

영산강의 7 조사지점에서 식물플랑크톤의 크기별 분포양상을 수온과 관련하여 상관성을 분석하였다. 조사대상지역에서 1년간의 조사를 통해 동정된 식물플랑크톤은 녹조류가 48속의 123종(46%), 규조류가 27속의 89종(34%) 그리고 남조류가 12속의 25종(9%) 등으로 총 265종이었다. 식물플랑크톤의 크기별 구분은 Fenchel (1987)이 제시한 2~20 μm 의 미소식물플랑크톤, 20~200 μm 의 소형식물플랑크톤, 200 이상의 중형식물플랑크톤으로 하여 각각의 크기그룹의 분포양상을 조사한 결과 클로로필 *a*의 농도는 미소식물플랑크톤의 개체수와 상관성이 높게 나타나 영산강의 식물플랑크톤으로 미소식물플랑크톤이 중요한 구성원임을 알 수 있었고, 수온과의 상관성 분석에서 모든 크기의 식물플랑크톤의 분포가 수온과 상관성이 낮은 것으로 나타났으나 미소식물플랑크톤은 상대적으로 더 높은 상관도를 보여주었다. 소형식물플랑크톤은 수온이 낮은 시기에 개체수가 많았으며 중형식물플랑크톤은 수온과 상관성이 거의 없는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- 김용재, 김명운, 김상중. 1998. 한강 중·하류에서 식물플랑크톤의 생태학적 특성. *Algae* 13:331-338.
- 박원훈. 1991. 호수 만입부에서의 조류 대량 증식 제어기술 개발. 과학기술처 보고서. 45-46pp.
- 이 경, 윤숙경. 2002. 임진강 수계의 식물플랑크톤 군집의 계절 변화. 한국육수학회지. 35:111-122.

- 이상현, 신용식, 양성렬, 박 철. 2005. 아산만 식물플랑크톤의 계절별 군집분포 특성. *Ocean Polar Res.* 27:149-159.
- 이욱민. 1994. 주암호의 연간('92) 식물플랑크톤의 분포 및 현존량의 동태. *한국육수학회지.* 27: 327-337.
- 위인선. 1974. 영산강의 저서생물에 대한 생물학적 수질 판정. *한국육수학회지.* 7:29-43.
- 최민규, 김백호, 최규철. 1995. 영산강 상류의 담수조류 분포에 관한 연구 (I) - 광주지역 상수원을 중심으로 - 대한위생학회지. 10:45-65.
- 한국 기상청. 2004~2005. 기후정보.
- Bailey-Watts AE. 1988. Studies on the control of the early spring diatom maximum in Loch Leven. 1981. In: Round E.F. (ed.) *Algae and the Aquatic Environment*. Biopress, 53-87pp.
- Barnes RSK and KH Mann. 1991. *Fundamentals of Aquatic Ecology*. Blackwell Scientific Publications, Oxford.
- Brower TE and JH Zar. 1977. *Field and Laboratory Methods for General Ecology*. Wm. Cc. Brown Company. 143-145pp.
- Bruno SF, RD Staker, GM Sharma and JT Turner. 1983. Primary productivity and phytoplankton size fraction dominance in a temperate North Atlantic estuary. *Estuaries* 6:200-211.
- Dongfang Y, G Zhenhui, C Yu, W Peigang and S Peiyan. 2004. Influence of seawater temperature on phytoplankton growth in Jiaozhou Bay, China. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology* 22:166-175.
- Fenchel T. 1987. *Ecology of Protozoa*. Science Tech Publishers, Madison, Wisconsin and Springer-Verlag, Berlin.
- Goldman JC and JH Ryther. 1976. Temperature-influenced species competition in mass cultures of marine phytoplankton. *Biotechnol. Bioeng.* 18:1125-1144.
- Graham LE and LW Wilcox. 2009. *Algae*. Prentice Hall, New York.
- Harper D. 1992. *Eutrophication of Freshwaters-Principles, Problems and Restoration*-Chapman and Hall, London.
- Horne AJ and CR Goldman. 1994. *Limnology*. 2nd Ed. McGraw-Hill Inc., New York.
- Hutchinson GE. 1967. *A Treatise on Limnology*. Vol. II. Introduction to Lake Biology and the Limnoplankton. John Wiley & Sons, New York. 1115pp.
- Jiménez FJ, BB Rodriguez and V Rodriguez. 1987. Relations between chlorophyll, phytoplankton cell abundance and biovolume during a winter bloom in Mediterranean coastal water. *J. Exp. Mar. Bio. Ecol.* 105:161-173.
- Kalff J. 2002. *Limnology*. Prentice Hall, New Jersey.
- Kanoshina I, U Lips and JM Leppänen. 2003. The influence of weather conditions (temperature and wind) on cyanobacterial bloom development in the Gulf of Finland (Baltic Sea). *Harmful Algae* 2:29-41.
- Krik JTO. 1994. *Light and photosynthesis in Aquatic Ecosystems*. 75-77pp. Cambridge University Press, Cambridge, England.
- Lampert W and U Sommer. 1997. *Limnology - The Ecology of Lakes and Streams* - Oxford University Press, Oxford.
- Malone TC and PJ Neale. 1981. Parameters of light-dependent photosynthesis for phytoplankton size fractions in temperate estuarine and coastal environments. *Mar. Bio.* 61:289-297.
- McNaughton SJ. 1968. Relationship among functional properties of California grassland. *Nature* 216:168-169.
- Odata T and M Yanada. 1993. Phytoplankton carbon biomass estimated from the size-fractionated chl. *a* concentration and cell density in the northern coastal waters from spring bloom to summer. *Bull Plankton Soc. Japan* 39:127-144.
- Schelske CL and EF Stoermer. 1972. Phosphorus, silica and eutrophication of Lake Michigan. *Nat. and Eutrophicat. Spec. Symp. Amer. Soc. Limnol. Oceanogr.* 1:157-171.
- Shannon CF and W Weaver. 1963. *The mathematical theory of communication*. University of Illinois press, Urbana. 1-117pp.
- Shubert LE. 1984. *Algae as Ecological Indicators*. Academic Press, London.
- Sundback K, B Joensseon, P Nilsson and I Lindstroem. 1990. Impact of accumulating drifting macroalgae on a shallow water sediment system: an experimental study. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 58:261-274.
- Tryfon E and M Moustaka-Gouni. 1997. Species composition and seasonal cycles of phytoplankton with special reference to the nanoplankton of Lake Mikri Prespa. *Hydrobiologia* 351:61-75.
- Wetzel RG. 1999. *Limnology: Lake and River Ecosystems*. 3rd Ed. Academic Press, San Diego. U.S.A. 1006pp.
- Wetzel RG and GE Likens. 2000. *Limnological Analyses*. Springer. New York, U.S.A. 429pp.

Manuscript Received: July 15, 2009

Revision Accepted: March 20, 2010

Responsible Editor: Yongsik Sin