

영산강 수계의 수질과 식물플랑크톤의 계절적 변화

손미선 · 박종환 · 임채홍 · 김세경 · 임병진*

국립환경과학원 영산강물환경연구소

Seasonal Change of Phytoplankton Community and Water Quality in Yeongsan River Watershed

Misun Son, Jong-hwan Park, Chaehong Lim, Sekyung Kim and Byung-jin Lim*

Yeongsan River Environment Research Center,
National Institute of Environmental Research, Gwangju 500-480, Korea

Abstract - Environmental parameters and phytoplankton community structure were investigated at four sites of Yeongsan River between April 2010 and December 2011. The standing crops of the phytoplankton ranged from 275 cells · mL⁻¹ to 58,600 cells · mL⁻¹ with an average of 5,850 cells · mL⁻¹. The dominant species were *Cyclotella* sp., *Stephanodiscus* sp., *Aulacoseira granulata*, *Scenedesmus quadricauda*, *Pediastrum biwae*, *Coelastrum* sp., *Aphnizomenon* sp., and *Oscillatoria* sp.. The most dominant species was *Stephanodiscus* sp.. The concentration of chlorophyll-*a* ranged from 2.3 mg · m⁻³ to 164.2 mg · m⁻³. The phytoplankton community structure of the survey area was influenced by temperature and rainfall.

Key words : Yeongsan River, phytoplankton, water quality, chlorophyll-*a*, dominant species, standing crops

서 론

영산강은 우리나라 4대강 중 하나로 한반도 남서부 전라남북도에 위치하며, 동경 126° 26'12"~127° 06'07", 북위 34° 40'16"~ 35° 29'01" 사이에 분포한다. 유역면적은 3,455 km², 유로연장은 129.5 km이며, 유역의 동서간 최대 길이는 60.6 km, 남북간 최대 길이는 89.9 km이다. 유역의 평균 폭은 26.7 km이고, 유역형태는 직사각형 형태의 수지상이며, 유역의 평균고도는 EL. 118.9 m이다. 전남 담양군 용면 용추봉에서 발원하여 광주광역시, 나주시 등을 지나 서·남해로 흘러드는 강으로 농공업용수의 공급에

중요한 역할을 담당하고 있다. 용수의 효율적인 이용을 위해 영산강 상류에는 담양댐, 광주댐, 장성댐, 나주댐 등 4개의 다목적댐이 축조되어 있고, 하류에는 상수원 및 농업 용수의 취수원에 염수유입을 막기 위하여 1981년 영산강 하구둑이 완공되었다. 이러한 인공댐과 하구둑 건설은 시간이 지나면서 수리수문학적 특성변화 및 수질악화를 가속화시키고 있는 것으로 보고되어 있다(Cho *et al.* 1999). 영산강 수계는 영산강 하구둑이 완공된 이후, 인과 질소에 의한 부영양화 현상으로 심층부의 산소 고갈현상(Park *et al.* 2001; Yoon *et al.* 2003) 및 상식적 식물성 플랑크톤의 수화현상이 환경문제로 대두되었으며(Korean Environmental Institute 2005), 어류를 비롯한 수생생물들의 서식지를 교란하여 영산강 수계의 생태건강성을 악화시키는 요인이 되는 것으로 파악되고 있어 영

* Corresponding author: Byung-jin Lim, Tel. 062-970-3901, Fax. 062-970-3999, E-mail. limnolim@korea.kr

산강 수계의 종합적 수환경 평가가 절실히 요구되는 실정이다(An *et al.* 2007).

강은 수체 내에서 생산을 담당하여 생물량(biomass)을 증가시키고 자정작용을 통하여 건강한 물을 공급하는 환경적 측면 이외에 문화, 사회, 경제 등 다양한 가치를 가진다. 강의 물리적, 화학적, 생물학적 특징들은 공단 폐수나 생활하수 등의 유입과 같은 변화를 식별할 수 있으며, 이러한 복합 인자들은 이화학적 수질분석으로 평가할 수 있다(Giller 2005). 수질 환경 변화에 영향을 주는 요인에는 물리·화학적 영향이 포함되며, 그 중에서 계절적 강수 분포도 매우 중요한 것으로 알려져 있다(Parks and Baker 1997; Winston and Criss 2002).

식물플랑크톤은 수중생태계의 근간이 되는 1차 생산자로서 전체 생태계의 구조 변화 및 발전 방향을 결정지을 뿐만 아니라, 수 환경 변화의 모니터링에 중요하게 활용되고 있다. 식물플랑크톤의 생물량과 계절적 천이는 기후와 수문학적 체계, 유역 특성, 영양염류 등의 물리·화학적 요인과 종 사이의 경쟁, 생태적 위치 등의 생물학적 요인들이 복합적으로 작용하면서 일어난다(Sommer *et al.* 1986; Kimmel *et al.* 1990; Sim 2003). 온대지역에서는 봄과 가을에는 규조강이 우점하며, 여름에는 녹조강과 남조강이 우점하는 것이 일반적이다(Sommer *et al.* 1986).

본 연구에서는 영산강수계의 4개의 지점에서 2010년

4월부터 2011년 12월까지 월 2회 식물플랑크톤과 물리·화학적 환경요인을 조사하여 식물플랑크톤의 종 구성과 물리·화학적 요인 간의 관련성을 규명하며 아울러 생물량의 계절에 따른 출현종수, 개체수의 변화를 이해하고자 수행하였다.

재료 및 방법

1. 조사기간 및 조사지점

본 연구는 2010년 4월부터 2011년 12월까지 영산강 본류 4개의 지점을 선정(Y1: 나주시 노안면, Y2: 나주시 금천면, Y3: 나주시 왕곡면, Y4: 나주시 다시면)하여 월 2회 조사를 실시하였다(Fig. 1). 영산강 본류 4개의 지점은 대부분 하폭이 넓고 수심이 깊은 곳을 선정하여 조사하였다.

2. 수질분석

일반 현장측정 항목인 수온(Temperature), 수소이온농도(pH), 용존산소(Desolved oxygen, DO), 전기전도도(Electric conductivity, EC)는 다항목 수질 측정기(YSI 5700, YSI Inc.)를 이용하여 측정하였으며, 현장에서 채취

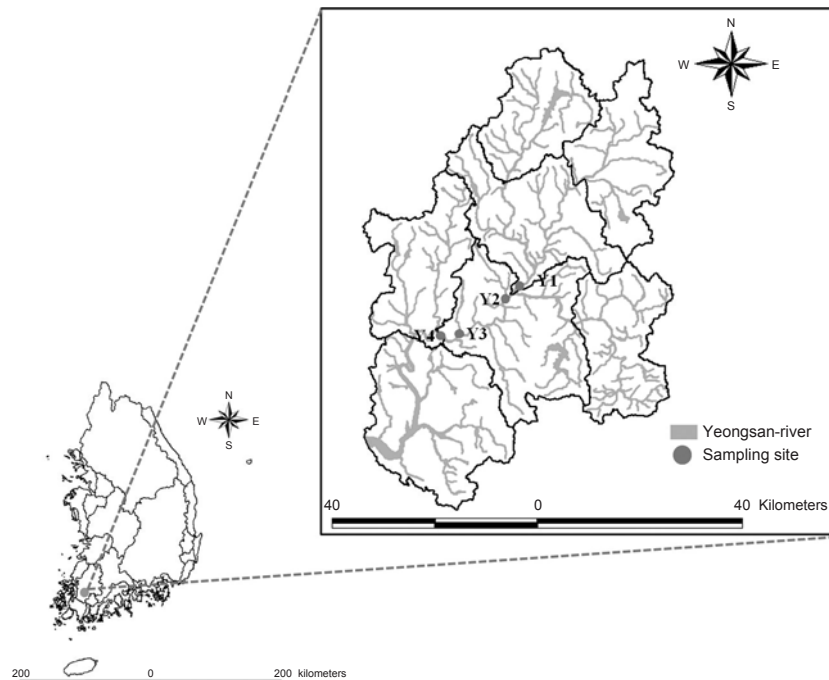


Fig. 1. Sampling sites of Yeongsan River (Y1: Najusi Noanmyeon, Y2: Najusi Geumcheonmeon, Y3: Najusi Wanggokmeon, Y4: Najusi Dasimeon).

한 시료는 아이스박스에 냉장 보관하여 가능한 한 빨리 실험실로 옮긴 후 분석하였다. 생물학적 산소요구량(Biochemical oxygen demand, BOD), 화학적 산소요구량(Chemical oxygen demand, COD), 총질소(Total nitrogen, TN), 총인(Total phosphorus, TP), 부유물질(Suspended solids, SS) 및 Chlorophyll-*a* 항목은 수질공정시험법(Ministry of Environment 2012) 및 Standard method for water and wastewater(Greenberg *et al.* 1992)에 준하여 분석하였다.

수질자료는 지점별 변이를 파악하기 위하여 각 지점별로 분석하였다. 본 연구에서 수질요인들 간의 상관관계를 알아보는 통계분석은 SPSS ver. 12.0 프로그램을 사용하여 Pearson's correlation 분석을 실시하였다.

3. 식물플랑크톤의 군집분석

식물플랑크톤을 분석하기 위해 현장에서 채취한 정량 시료 50 mL를 Lugol 용액으로 고정하고 실험실로 운반하였다. 식물플랑크톤의 출현종 및 현존량을 조사하기 위하여 약 24~48시간 자연 침전시킨 시료를 상등액 45 mL를 제거한 후에 남은 시료 5 mL를 잘 혼합하여 혈구 계수기를 사용하여 광학현미경(ZEISS, HBO50) 하에서 200~1,000배까지 관찰하여 동정, 계수하였다.

결과 및 고찰

1. 이화학적 환경요인

영산강의 4개의 지점에서 조사된 이화학적 환경요인은 Table 1과 같다. 수온은 2~31°C의 범위로 나타났으며 평균 18.4°C로 전형적인 우리나라의 온도변화 경향과 동일하다(Kim 2003). 네 지점 모두 경향은 비슷하게

나타났으며 2011년 9월에 최대값을 나타냈다. pH는 6.3~9.1의 범위로 나타났으며 평균 7.4로 이전 연구인 6.7~8.9와 비슷하게 나타났다(Kim 2003). 연간 pH의 변화는 2010년에 비해 2011년이 다소 증가하였고 이는 식물플랑크톤의 군집밀도의 변화와도 관련이 있었다(An *et al.* 2012). DO는 4.2~14.1 mg · L⁻¹의 범위로 나타났으며 하절기에 대부분 8 mg · L⁻¹ 이하의 농도를 유지하였으며 평균 9.1 mg · L⁻¹로 나타났으며, DO의 농도는 겨울에 높아지고 여름에 낮아지는 경향을 나타내어 온도에 의존적임을 알 수 있었다(Cho *et al.* 1999; Jeong *et al.* 2010). SS는 4.9~229.6 mg · L⁻¹의 범위로 나타났으며 Y1 지점과 Y2 지점이 비교적 높은 농도로 나타났다.

영양염의 경우 총질소는 1.749~10.780 mg · L⁻¹의 범위로 나타났으며 동절기에 높게 나타났으며 봄부터 감소하는 경향을 보였다. 총질소는 평균 4.683 mg · L⁻¹로 나타났고 2010년에는 8월에, 2011년에는 9월에 가장 낮은 농도로 나타났다. 이러한 경향은 갈수기에 높게 유지되다가 장마기에 접어들면서 농도가 낮아지는 이전의 연구 결과와 비슷한 양상으로 나타났으며, 이러한 원인은 높은 농도의 오염물이 강우기의 집중호우로 인해 희석되는 효과에 의한 것임을 알 수 있었다(Kang and An 2006). 광주시 하수처리장 부근인 Y1 지점과 Y2 지점이 Y3 지점과 Y4 지점에 비해 비교적 높게 나타났으며 봄에 Y1 지점에서 10.780 mg · L⁻¹의 농도로 가장 높게 나타났다. 총인은 0.083~0.838 mg · L⁻¹의 범위로 나타났으며 평균 0.292 mg · L⁻¹로 나타났으며, 총질소의 변화양상과 유사하게 나타났다.

BOD는 1.8~13.5 mg · L⁻¹의 범위로 나타났으며 평균 4.9 mg · L⁻¹로서 우리나라 환경부 하천 생활환경기준에 의거할 때 보통~약간좋은 수질을 보였다. COD는 2.5~16.4 mg · L⁻¹의 범위로 나타났으며 평균 8.3 mg · L⁻¹

Table 1. Average of water environmental factors at four stations of Yeongsan River from April 2010 to December 2011

	2010				2011			
	Y1	Y2	Y3	Y4	Y1	Y2	Y3	Y4
Temp(°C)	20.6	20.1	21.0	20.8	16.7	16.7	16.7	16.6
DO(mg · L ⁻¹)	7.6	7.8	8.1	8.4	9.8	10.2	9.9	9.7
pH	7.2	7.2	7.3	7.3	7.3	7.6	7.7	7.5
Chl- <i>a</i> (mg · m ⁻³)	19.6	19.7	29.2	32.4	38.7	43.6	49.1	40.1
T-N(mg · L ⁻¹)	4.552	4.267	4.129	4.06	5.654	5.045	4.734	4.5
T-P(mg · L ⁻¹)	0.305	0.276	0.258	0.238	0.406	0.324	0.267	0.2
BOD(mg · L ⁻¹)	4.53	4.3	4.1	4.02	5.6	5.6	5.3	5.3
COD(mg · L ⁻¹)	7.95	7.9	8.1	8.06	8.4	8.8	8.9	8.6
SS(mg · L ⁻¹)	33.0	37.6	36.8	48.53	34.6	37.42	29.3	40.7

Temp; Water Temperature, DO: Dissolved Oxygen, Chl-*a*: Chlorophyll-*a*, T-N: Total Nitrogen, T-P: Total Phosphorus, BOD: Biological Oxygen Demand, SS: Suspended Solid and COD: Chemical Oxygen Demand

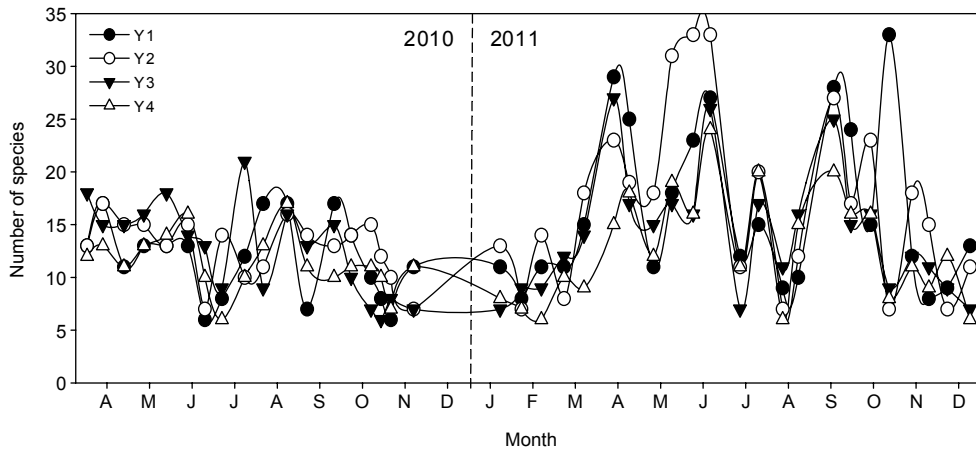


Fig. 2. Monthly variation of Number of species in Yeongsan River from April 2010 to December 2011.

로서 보통~약간나쁨의 수질을 보였다. BOD와 COD의 평균농도는 이전 연구결과에 비해 1.04배, 1.25배 증가하였으며, 하천 수질 기준에 의거할 때 BOD는 동일하며, COD는 한 단계 하향된 결과를 보였다(Kang and An 2006). 두 항목 모두 지점별로 비슷하게 나타났으며 COD는 BOD의 약 2배로 나타났다. 금번 연구결과는 4대강 살리기 사업기간에 한정하여 나타낸 것이므로 과거의 조사결과와 직접적으로 비교하는 데는 한계가 있다고 판단된다.

2. 식물플랑크톤의 군집변화

2010년 4월부터 2011년 12월까지 영산강 수계 4개의 지점의 조사에서 동정된 식물플랑크톤의 계절적 변화는 Fig. 2와 같았다. 조사결과 규조강(Bacillariophyceae) 43종, 녹조강(Chlorophyceae) 93종, 남조강(Cyanophyceae) 16종 그리고 기타조류 22종으로 총 174종이 출현한 것으로 나타났다. 분류군별 종 조성은 규조강 24%, 녹조강 53%, 남조강 9% 등으로 녹조강이 주를 이루는 특징을 보였으며, 녹조강과 규조강의 합이 전체 구성종의 77%로 Choi *et al.* (1995), Jeong *et al.* (2010)의 영산강을 대상으로 한 연구와 유사한 종 구성을 보였다. 2010년 조사된 종은 규조강 30종, 녹조강 44종, 남조강 8종, 기타강 17종으로 총 99종이 조사되었으며 2011년 조사된 종은 규조강 34종, 녹조강 84종, 남조강 13종, 기타강 18종으로 총 149종이 조사되었다. 2010년에 비해 2011년이 녹조강이 두배 이상 증가하는 등 전반적으로 다양한 종 출현양상을 보였다.

조사지점별 출현종수는 Y1 지점에서 6종(2010년 6월)

~33종(2011년 10월), Y2 지점에서 7종(2011년 2월)~33종(2011년 6월), Y3 지점에서 6종(2010년 11월)~27종(2011년 4월), Y4 지점에서 6종(2010년 11월)~24종(2011년 6월)의 범위를 보였다. 총 39회 조사 중 Y1 지점 조사에서 강별 우점 비율은 남조강 6회, 규조강 17회, 녹조강 9회로 나타났다. Y2 지점의 강별 우점 종 횟수는 남조강 10회, 규조강 17회, 녹조강 12회로 나타났다. Y3 지점은 남조강 11회, 규조강 16회, 녹조강 12회로 나타났다. Y4 지점은 남조강 12회, 규조강 17회, 녹조강 8회, 기타강 1회로 나타났다. 4개의 지점에서 모두 규조강의 우점 빈도가 가장 높았으며 Y4 지점을 제외하고는 그 다음은 녹조강으로 나타났다. 하류로 갈수록 남조강의 우점하는 횟수가 점점 높게 나타났다.

계절적 변화특성을 살펴보면 봄에는 규조강인 *Cyclotella* sp., *Stephanodiscus* sp., 여름에는 녹조강인 *Scenedesmus quadricauda*, *Pediastrum biwae* 및 *Coelastrum* sp.와 규조강인 *Aulacoseira granulata*가 우점하였으며, 가을과 겨울에는 규조강인 *Cyclotella* sp., *Stephanodiscus* sp.와 남조강인 *Aphanizomenon* sp., *Oscillatoria* sp.가 우점하는 것으로 조사되었다. 특히 2011년 1월부터 4월까지의 전 지점에서 *Cyclotella* sp.와 *Stephanodiscus* sp. 규조강이 우점하는 것으로 나타났다. 하류로 갈수록 남조강의 우점하는 횟수가 점점 높게 나타났다.

Fig. 3에 의하면 식물플랑크톤 개체군 밀도는 Y1 지점에서 $425 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ (2010년 6월)~ $58,600 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ (2011년 9월)의 범위로 나타났으며 2011년 개체군 밀도는 평균 $9,259 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 로 2010년 $1,881 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 에 비해 4.9배 증가하였다. Y2 지점에서 $775 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ (2011년 7월)~ $36,500 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ (2011년 9월)의 범위

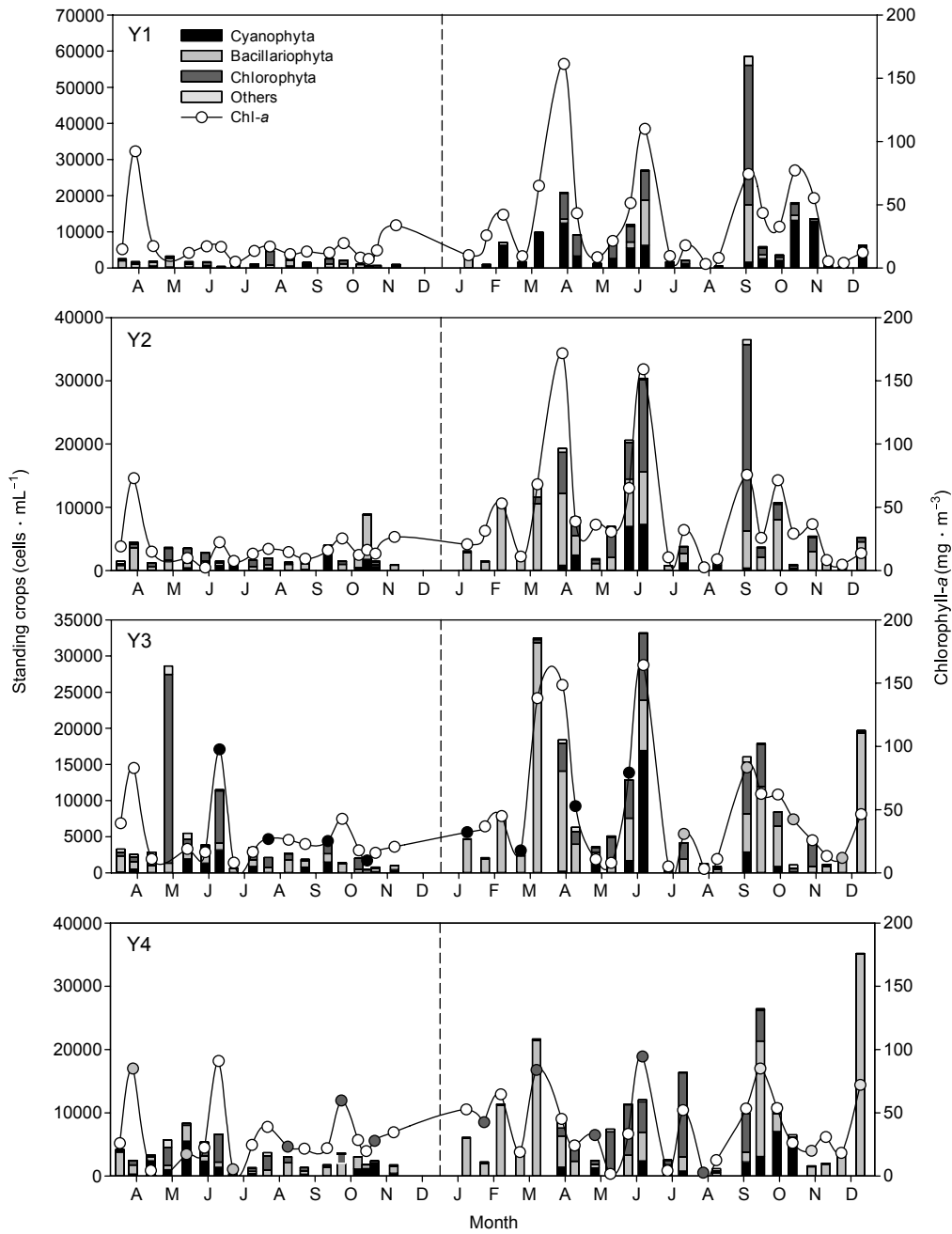


Fig. 3. Monthly variation of Phytoplankton density and chlorophyll-a of Yeongsan River from April 2010 to December 2011.

로 나타났으며 2011년 개체군 밀도는 평균 8,151 cells · mL⁻¹로 2010년에는 평균 2,629 cells · mL⁻¹에 비해 3.1 배 증가하였다. Y3 지점에서 450 cells · mL⁻¹ (2010년 11월)~33,200 cells · mL⁻¹ (2011년 6월)의 범위로 나타났으며 2011년 개체군 밀도는 평균 9,239 cells · mL⁻¹로 2010년 4,385 cells · mL⁻¹에 비해 약 2.1배 증가하였다. Y4 지점에서 425 cells · mL⁻¹ (2010년 7월)~26,450 cells

· mL⁻¹ (2011년 9월)의 범위로 나타났으며 2011년 개체군 밀도는 평균 7,898 cells · mL⁻¹로 2010년 3,361 cells · mL⁻¹에 비해 약 2.3배 증가하여 나타났다. 영산강 4개의 지점의 평균으로 살펴보면 2010년에 비해 2011년의 개체군 밀도가 평균 2.8배 증가한 것으로 나타났다.

2010년 개체군의 밀도가 가장 높은 곳은 Y3 지점으로 5월에 28,625 cells · mL⁻¹의 개체군의 밀도를 보였다. 이

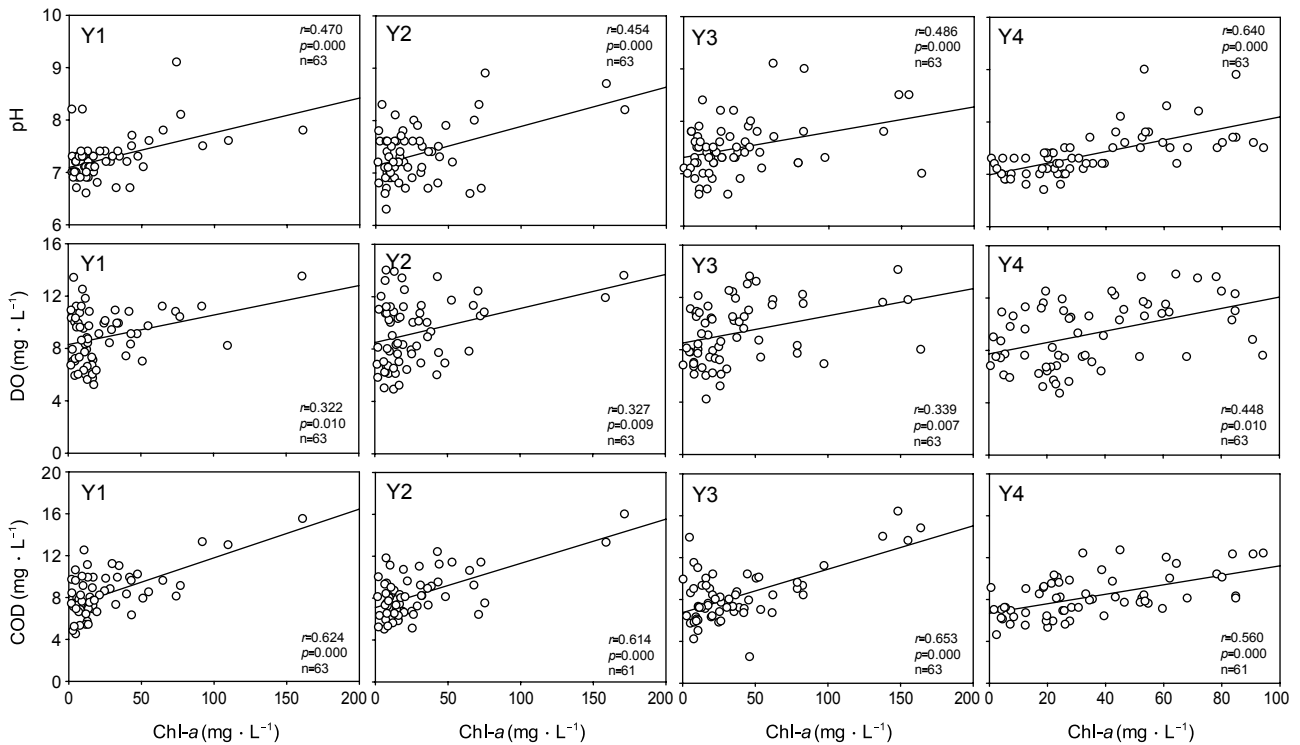


Fig. 4. The relationships between pH, DO, COD and chlorophyll *a* concentration in Yeongsan River each stations.

는 녹조강인 *Micractinium* sp.와 *Coelastrum* sp.의 두 종이 각각 1.0×10^4 cells · mL⁻¹ 이상의 대량증식에 따른 결과에 의해 나타났다.

2011년 개체군의 밀도가 가장 높은 곳은 Y2 지점으로 9월에 58,600 cells · mL⁻¹의 밀도를 보였다. 이는 남조강인 *Merismopedia* sp.가 1.0×10^4 cells · mL⁻¹ 이상 증식하였으며 녹조강인 *Coelastrum* sp.은 2.6×10^4 cells · mL⁻¹ 이상의 대량증식에 따른 결과에 의해 나타났다.

크기가 작은 식물플랑크톤 중 규조강에서 상대적으로 높은 Chlorophyll-*a*를 가지며 (Mague *et al.* 1977; Jimenez *et al.* 1987), 작은 사이즈의 남조강에서 매우 높은 Chlorophyll 함량을 갖는 것으로 보고된 바 있다 (Li *et al.* 1983). 2011년 봄철에 Chlorophyll-*a*의 함량이 높게 나타났으며 이는 남조강과 규조강의 영향으로 판단된다.

3. Chlorophyll-*a*의 농도 변화

Chlorophyll-*a*의 농도는 영산강 유역의 Y3 지점에서 164.2 mg · m⁻³ (2011년 6월)으로 최고 농도로 나타났으며, Y2 지점에서 2.3 mg · m⁻³ (2010년 6월)으로 최저 농도로 나타났으며, 영산강 유역의 2년 평균 농도는 31.9 mg · m⁻³으로 나타났다 (Fig. 3).

Y1 지점의 Chlorophyll-*a*의 농도는 평균 29.1 mg · m⁻³으로 2011년에는 38.7 mg · m⁻³으로 2010년 19.6 mg · m⁻³에 비해 농도는 약 1.9배 상승한 것으로 나타났다. Y2 지점의 평균 농도는 31.6 mg · m⁻³으로 2011년에는 43.6 mg · m⁻³으로 2010년 19.7 mg · m⁻³에 비해 약 2.2배 상승한 것으로 나타났다. Y3 지점의 농도는 평균 39.2 mg · m⁻³으로 2011년 49.1 mg · m⁻³에 비해 2010년 29.2 mg · m⁻³으로 약 1.6배 상승한 것으로 나타났다. Y4 지점은 평균 농도 36.2 mg · m⁻³으로 2011년 40.1 mg · m⁻³에 비해 2010년 32.4 mg · m⁻³으로 약 1.2배 상승한 것으로 나타났다 (Table 1). 영산강 유역의 4개의 지점을 보았을 때 2010년에 비해 2011년 대체적으로 Chlorophyll-*a*의 농도가 약 1.7배 상승한 것으로 나타났으며 이는 식물플랑크톤 밀도의 상승에 의한 것으로 보인다. 연중 식물플랑크톤 현존량이 높을 때 Chlorophyll-*a*의 농도도 높게 나타났다 (Lee *et al.* 2000).

4. Chlorophyll-*a*와 환경요인과의 상관관계

영산강의 4개의 지점에서 Chlorophyll-*a*와 pH, DO, COD의 농도 사이의 상관도 분석결과는 Fig. 4와 같다. Chlorophyll-*a*의 상관도는 COD가 0.56~0.655로 가장

높았고, pH는 0.45~0.64로 나타났다. DO는 0.32~0.488의 범위로 나타났다. pH 경우 Y4 지점이 0.64 ($p < 0.0001$)로 가장 높게 나타났다. DO의 경우 Y4 지점이 0.448 ($p < 0.01$)로 가장 높게 나타났다. COD는 0.653 ($p < 0.0001$)으로 Y3 지점이 가장 높게 나타났다. Chlorophyll-*a*와 pH, COD가 높은 양의 상관관계를 나타내어 ($p < 0.0001$) Chlorophyll-*a*는 pH와 COD에 큰 비중을 차지하는 것으로 확인되었다. 또한 DO도 높은 상관관계 ($p < 0.01$)를 나타내어 Chlorophyll-*a*는 DO에 비중을 차지하는 것으로 확인되었다. pH의 변동은 DO와 관련성이 커 DO가 증가함에 따라 pH가 증가하는 경향을 보였고 또한 DO와 pH의 변동은 식물플랑크톤의 생물량과도 밀접한 관련성이 있었다(Kim *et al.* 1995; Oh and Kim 2005).

적 요

본 연구는 2010년 4월부터 2011년 12월까지 영산강 수계의 4개의 지점을 선정하여 수질과 일차생산량을 나타내는 식물플랑크톤의 현존량과의 관계를 규명하기 위하여 물리 화학적 환경요인(수온, 용존산소량, pH, 총질소, 총인, 부유물질), 식물플랑크톤의 현존량, Chlorophyll-*a*의 농도를 조사하였다. 조사기간 동안 식물플랑크톤의 종 조성은 규조강 43종, 녹조강 93종, 남조강 16종, 기타강 22종으로 총 174종으로 조사되었다. 식물플랑크톤의 개체군 밀도는 $275 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1} \sim 58,600 \text{ cells} \cdot \text{mL}^{-1}$ 으로 조사되었다. 봄철과 가을철에는 *Cyclotella* sp., *Stephanodiscus* sp.와 같은 규조강, 여름철에는 *Scenedesmus quadricauda*, *Pediastrum biwae* 및 *Coelastrum* sp.와 같은 녹조강과 *Aulacoseira granulata*와 같은 규조강이 우점하였으며, 가을과 겨울에는 *Cyclotella* sp., *Stephanodiscus* sp.와 같은 규조강과 *Aphanizomenon* sp., *Oscillatoria* sp.와 같은 남조강이 우점하는 것으로 조사되었다. Chlorophyll-*a*의 농도는 식물플랑크톤 현존량의 월별 변동과 대부분 같은 경향으로 변화하였다.

참 고 문 헌

- Ahn CH, JH Kwon, JC Joo, HM Song and GJ Joh. 2012. Water quality of a rural stream, the Hwapocheon stream, and its analysis of influence factors. *J. Kor. Soc. Environ. Eng.* 34: 421-429.
- An KG, GL Kim and JH Kim. 2007. Biological water quality assessments in wastewater-impacted and non-impacted streams. *Korean J. Limnol.* 40:82-92.
- Cho KA, PK Ahn, SG Hong and DO Chung. 1999. A study on characteristics of water quality and degradation rates of organic phosphates in Young-San river. *J. Korean Environ. Sci. Soc.* 8:691-698.
- Choi MK, BH Kim and KC Choi. 1995. Freshwater Algae in the upstream of the Yeongsan river system (1) - on the drinking water supplying area of Kwangju districts -. *Korean J. Sanitation* 10:45-653.
- Giller PS. 2005. River restoration: seeking ecological standards. *J. Appl. Ecol.* 42:201-207.
- Greenberg AE, LS Clesceri and AA Eaton. 1992. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 18th ed. APHA AWWA WEF, Washington.
- Jeong EJ, JE Na, GM Kim, SS Shim and HY Lee. 2010. Water temperature and community of phytoplankton in Yeongsan River, Korea. *Korean J. Environ. Biol.* 28:56-63.
- Jimenez F, J Rodriguez, B Bautista and V Rodriguez. 1987. Relations between chlorophyll, phytoplankton cell abundance and biovolume during a winter bloom in Mediterranean coastal waters. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 105:161-173.
- Kang SA and KG An. 2006. Spatio-temporal variation analysis of physico-chemical water quality in the Yeongsan-River Water Shed. *Korean J. Limnol.* 39:73-84.
- Kim MW, MH Kim, JC Cho and SJ Kim. 1995. Changes of biological community by Cyanobacterial bloom in Daechung Reservoir. *Korean J. Limnol.* 28:1-9.
- Kim YJ. 2003. Dynamics of phytoplankton community in Yeongsan River. *Algae* 18:207-215.
- Kimmel BL, OT Lind and LJ Paulson. 1990. Reservoir primary production. pp.133-194. In *Reservoir Limnology: Ecological perspectives* (Thornton KW, BL Kimmel and FE Payne eds.). John Wiley and Sons, New York.
- Korean Environmental Institute. 2005. Development of Sustainable Estuary management Strategy in Korea II.
- Lee JH, H-M Oh and J Maeng. 2000. Water quality and phytoplankton standing crops in the Daechung Reservoir. *Korean J. Environ. Biol.* 18:355-365.
- Li WKW, DV Subba Rao, WG Harrison, JC Smith, JJ Cullen, B Irwin and T Platt. 1983. Autotrophic picoplankton in the tropical Ocean. *Science* 219:292-295.
- Mague TH, FC Amague and O Holm-Hansen. 1977. Physiology and chemical composition of nitrogen-fixing phytoplankton in the central North Pacific Ocean. *Mar. Biol.* 41:213-227.
- Ministry of Environment. 2012. Standard Method for water and wastewater.
- Oh HM and DH Kim. 1995. Short-term prediction of the blue-green algal bloom in Daechung Reservoir. *Korean J. Limnol.* 28:127-135.

- Park LH, YK Cho, C Cho, YJ Sun and KY Park. 2001. Hydrography and Circulation in the Youngsan River Estuary in summer, 2000. *J. Kor. Soc. Oceanogr.* 6:218-224.
- Parks SJ and LA Baker. 1997. Sources and transport of organic carbon in an Arizona River-Reservoir System. *Water Res.* 31:1751-1759.
- Sim JH. 2003. *Plankton Ecology*. Seoul University Press. Seoul. 382pp.
- Sommer U, AM Gliwicz, W Lampert and A Duncan. 1986. The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh water. *Arch. Hydrobiol.* 106:433-471.
- Winston WE and RE Criss. 2002. Geochemical variations during flash flooding, Meramec River basin, May 2000. *J. Hydrol.* 265:149-163.
- Yoon ST, YK Koh, KH Oh, BH Moon and HG Kim. 2003. Water quality assessment of the lower Yeongsan River system. *J. Environ. Impact Assessment* 12:259-270.

Received: 12 November 2012

Revised: 29 May 2013

Revision accepted: 29 May 2013