

금강 하류에서 녹조류 녹색소구체목의 개체군 동태

김 준 태 · 부 성 민

(충남대학교 자연과학대학 생물학과, 대전 305-764)

Population Dynamics of the Chlorococcalean Members (Chlorophyta) in Kumgang River, Korea. Kim, Jun Tae and Sung Min Boo (Department of Biology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea)

The population dynamics of the chlorococcalean members was investigated in Kumgang river from July 1996 to June 1997. A total of 73 species, 28 genera, and 8 families were identified. The number of the chlorococcalean members increased in spring and autumn, while decreased in summer and winter. Standing crops of the members showed a bimodal pattern throughout year; high with above 10^4 cells ml^{-1} in spring and autumn, and low with 100 cells ml^{-1} in summer and winter. Peaks of standing crops occurred in spring and autumn when water temperature ranged from 17.0 to 24.5°C. *Actinastrum hantzschii*, *Dictyosphaerium ehrenbergianum*, *Pediastrum duplex* and *Scenedesmus quadricauda* showed both the high presence frequency and standing crops, and are regarded as representative chlorococcalean species in Kumgang river.

Key words : Chlorococcales, Kumgang river, Population dynamics, Standing crops

서 론

금강은 국내의 다른 강과는 달리 비교적 안정된 수환경을 유지하고 있는 것으로 알려져 왔으나, 하구언 축조를 전후로 수환경에 변화를 겪고 있는 수계이다. 수환경 변화는 먹이연쇄의 기초를 이루는 식물플랑크톤의 조류상에 우선적으로 영향을 미치게 될 것이고, 궁극적으로는 수중 생물상의 균형을 깨뜨릴 것이다. 금강 수계에서 식물플랑크톤에 관한 연구는 하구언 축조 이전에 하류의 감조수역을 중심으로 이루어졌으며(정 등, 1985; Shim and Yang, 1982; Shim and Yoo, 1985), 정과 이(1979)에 의해 중류 수역에서 수행된 바 있다. 금강은 하구언이 폐쇄되면서 유수계에서 정수계로 바뀌고 있어서, 식물플랑크톤을 비롯한 수서생태계의 크나 큰 변화가 예상되고 있다. 하구언 폐쇄 이후에는 김 등(1996)과 Kim and Boo(1996)에 의해 식물플랑크톤 군집의 변화

를 계절적으로 검토한 연구가 있을 뿐이다.

녹색소구체목(Chlorococcales)은 담수역에서 녹조류중 가장 다양한 조류상을 보이는 식물플랑크톤으로 보고된 바 있다(Round and Brook, 1959; Rojo et al., 1994). 또한, 녹색소구체목은 남조류 및 규조류와 더불어 수환경을 지표하는 생물군으로 여겨져 왔다(Thunmark, 1945; Reynolds, 1984). 우리나라의 주요 수계에서 녹색소구체목의 생태학적 검정은 다른 분류군들에 비해 간과되어 온 실정이다.

본 연구는 하구언 축조 이후 금강 하류에서 녹색소구체목의 조류상과 현존량을 파악함으로써, 유수역에서 정수역으로 변해가는 과정에서 식물플랑크톤의 개체군의 동태 변화를 규명하고자 한다. 본 연구 결과는 금강하구언의 폐쇄 이후에 처음으로 제시되는 자료들로 금강의 수환경과 수서 생태계의 변화를 이해하는데 기여할 것이다.

Table 1. Monthly changes of surface water temperature and pH in the Kungang river

Sites	1996						1997						
	JUL	AUG	SEP	OCT	NOV	DEC	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	
Water temp.(°C)	Jangam	26.0	27.0	24.0	18.0	8.0	7.0	2.0	10.0	10.0	19.0	21.0	26.5
	Napo	29.5	29.0	24.5	17.0	8.0	5.0	2.0	9.0	11.0	21.0	22.0	26.5
pH	Jangam	7.24	7.95	8.48	7.82	7.61	7.23	7.70	7.19	7.58	6.96	6.94	7.01
	Napo	7.35	9.43	9.17	8.46	7.35	7.45	8.15	7.97	7.61	8.66	7.18	7.21

재료 및 방법

본 연구는 금강 수계에서 2개 지소를 선정하여 1996년 7월부터 1997년 6월까지 매월 채집하여 실시하였다. 제1지소인 나포는 전라북도 옥구군 나포면에 소재하고 있으며 하구언 축조의 직접적인 영향을 받는 수역이다. 제2지소인 장암은 충청남도 부여군 장암면에 소재하고 있으며, 수량이 풍부하고 물의 흐름이 비교적 완만한 유수역이다.

수환경 요인으로는 수온, pH를 조사하였으며, 채집 장소에서 직접 실측하였다. 수온은 봉상 수온 온도계로 측정하였고 pH는 NOVA 303 pH meter로 측정하였다.

녹색소구체목의 조류상을 파악하기 위한 시료는 플랑크톤 넷(구경 30 cm, 망목 20 μ m)를 표층에서 약 10 cm 정도의 깊이에 약 5분 동안 물의 흐름 방향으로 두어 채집하였다. 농축된 시료는 냉장 보관하였으며, 2~3일 주기로 5회 이상 계속 관찰하였다. 종의 동정은 Olympus VANOX AHBT3로 400~1,000배의 배율에서 수행하였다.

현존량의 측정을 위하여 시료는 1,000 ml 채수병으로 표층수를 직접 채수하여 현장에서 즉시 Lugol 용액으로 고정하였다. 채집된 시료는 액량계에서 3~4일 동안 침전시킨 후 상등액을 제거하여 100 ml로 농축하였다. 현존량은 전도현미경(Olympus IX70) 하에서 농축된 시료를 Sedgwick-Rafter cell로 5회 이상 계수하여 평균치(cells ml⁻¹)로 환산하여 얻었다(Bernard, 1971).

결과 및 고찰

수온과 pH: 금강 수계에서 표층수의 수온은 하계인 1996년 7월과 8월에 26.0~29.5°C로 높았으며, 동계인 1997년 1월에 2°C로 낮았다(Table 1). 이는 Kim and Boo(1996)에 의해 보고된 금강 하류에서의 수온 변화와 일치하며, 전형적인 온대 수역의 계절에 따른 수온 변동과도 일치하는 것이다(Happey, 1970; Reynolds, 1973). 조사 지소간 수온의 차이는 $\pm 3.5^\circ\text{C}$ 로, 나포가 장암보다

높았다.

pH는 6.94~9.17로 중성 또는 약알칼리성의 수체 특성을 보였다(Table 1). 나포 지소는 7.18~9.43, 장암은 6.94~8.48의 계절 변화를 보였으며, pH의 편차는 춘계와 추계에 각각 1.70과 1.48로 나포가 장암보다 높았다. 이는 금강 하류의 호수화로 인해 하류역인 나포에 많은 영양염류가 축적됨으로써 유발된 것으로 사료된다. 또한, 금강 하류의 pH는 수온과 상호 관련이 있는 것으로 판단된다. 즉, 수온이 20°C 이상되는 달에 pH가 높았으며, 이는 고온에서 용존 염류의 이온화로 인해 수체의 알칼리화가 도모된 것으로 여겨진다(Strickland and Parsons, 1968; Wetzel, 1983).

조류상: 금강 수계에서 녹조 녹색소구체목 식물플랑크톤은 총 8과 28속 73종으로 확인되었다(Table 2). 이는 하구언 폐쇄 이전에 감소수역에서 정 등(1985)이 보고한 9종 보다 훨씬 다양하다. 본 연구에서는 변종과 품종 등의 중하위 분류군에 대해 단일 종으로 처리하였기 때문에 출현 분류군의 수는 실제 보다 많을 것으로 사료된다. 우리나라의 여러 유수역에서 식물플랑크톤의 종류상에 관한 많은 연구(정과 이, 1982; 이와 장, 1991; Cho et al., 1993)가 있으나, 녹색소구체목의 출현종 수는 본 연구에서 얻은 결과 보다 적었다. Padisak and Dokulil(1994)은 녹색소구체목이 호수에서 종조성이 가장 다양하다고 보고한 바 있다. 금강에서 녹색소구체목의 다양한 종조성은 우리나라 창녕군 자연늪 일대에서 보고된 조류상과 일치한다(김과 정, 1993). 따라서 금강 하류 수계의 호수화는 녹색소구체목의 다양한 조류상으로 파악될 수 있다. 또한, 녹색소구체목의 다양한 조류상은 수계의 정체에 의한 지속적이고 안정된 수환경의 형성에서 비롯된 것으로 간주될 수 있다.

과 수준에서는 알주머니과(Oocystaceae)가 전체 개체군의 39%를 차지하였고, 폐목말과(Scenedesmeaceae)가 23%를 차지하였다(Table 2). Cassie(1979)는 이들 분류군들이 부영화된 수계의 주요 미세조류군들임을 보고한 바 있다. Rojo et al.(1994)의 조사에 따르면, 녹색소구체목은 부영화된 각 대륙의 주요 강에서 우점하는 분류군

Table 2. Monthly changes of the chlorococcalean families collected in Jangam (J) and Napo (N), Kumgang river

Family	1996												1997												Number of taxa	
	JUL		AUG		SEP		OCT		NOV		DEC		JAN		FEB		MAR		APR		MAY		JUN			
	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N	J	N		
Chlorococcaceae	1	-	1	-	1	-	2	-	-	-	1	-	-	-	1	1	1	-	1	1	1	1	1	1	3 genera 4 species	
Micractiniaceae	2	1	3	-	5	3	4	3	2	2	2	-	1	1	-	-	2	2	4	2	3	2	2	1	3 genera 6 species	
Dictyosphaeriaceae	1	-	2	-	3	1	2	3	2	1	1	-	2	1	1	1	3	2	4	1	3	4	1	2	2 genera 5 species	
Oocystaceae	7	2	4	2	9	1	6	4	4	3	2	1	-	-	2	2	7	3	7	3	6	3	6	2	13 genera 23 species	
Characiaceae	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	1 genus 1 species	
Hydrodictyaceae	3	3	4	3	6	3	4	5	4	4	3	1	1	1	2	1	1	2	3	4	1	4	2	1	1 genus 7 species	
Coelastraceae	2	1	3	3	1	2	2	3	-	-	-	-	-	-	-	1	1	2	4	3	3	3	2	1	1 genus 5 species	
Scenedesmaceae	8	7	7	4	11	5	7	5	12	4	3	2	2	1	2	1	7	8	11	9	10	7	6	4	4 genera 17 species	
Total	24	14	25	12	39	14	27	22	27	14	12	4	6	4	7	7	23	16	29	26	29	24	24	16	28 genera 73 species	

들로 처리되어 있다. 하구언 축조 이전 수량이나 유속의 급격한 변동과 같은 교란수계 상태에서 이들 분류군들의 서식이 저조하였음을 감안할 때(김 등, 1996), 금강하류 수계가 하구언 폐쇄 이후 유기물 부하량이 증가하면서 이들 분류군들의 서식을 도모한 것으로 여겨진다. 본 연구 결과, 금강 하류 수계가 'seed bank' 로써 미세조류에 대해 양호한 생태적 미소생육지를 제공하고 있는 것을 이들 분류군들의 다양성으로 판단할 수 있다(Liepol, 1961; Padisak, 1992).

알주머니과는 *Tetraedron* 속 5종, *Ankistrodesmus* 속과 *Kirchneriella* 속 각각 4종, *Chodatella* 속과 *Oocystis* 속 각각 3종이 동정되었다. 이들 분류군은 동계인 1997년 1월을 제외하고 매월 출현하였다. *O. borgei*는 동계를 제외한 전계절에 걸쳐 두 지소에서 매월 출현하여 금강수계에서 알주머니과의 대표종으로 확인되었다. 때목말과는 때목말속(*Scenedesmus*)이 13종으로 주요 분류군을 이루었으며, *Actinastrum* 속 1종이 동계를 제외한 전계절에 출현하였다. 이들 분류군은 하계에 두 지소에서 많은 편차를 보였으며, 이는 전체 녹색소구체목 출현종수의 변화에 직접적인 영향을 주었다. 주요 종으로는 *A. hantzschii*와 *S. quadricauda*가 지속적으로 출현하였으며, *S. acuminatus*, *S. longispina*, *S. protuberans* 등도 빈번히 관찰되었다. 그물말과(*Hydriddictyaceae*)는 혼장말속(*Pediastrum*) 7종이 단일 속으로 출현하였다. *P. duplex*는 그물말과의 대표종으로 전계절에 걸쳐 지속적으로 출현하였다. *Dictyosphaeriaceae*와 *Coelastraceae*는 각각 5종이 두 지소에서 지속적으로 출현하였다. *Dictyosphaerium ehrenbergianum*과 *Coelastrum cambricum*은 두 분류군의 대표종으로 전계절에 걸쳐 출현하였다. *Micractiniaceae*는 *Golenkinia* 속 3종과 *Micractinium*속 2종이 주요 분류군으로 지속적으로 출현하였

으며, *M. pusillum*과 *G. radiata*가 대표종으로 확인되었다. 이외에도 *Chlorococcaceae*와 *Characeaceae*는 각각 4종과 1종이 산발적으로 출현하였다.

출현종의 수는 춘계와 추계에 증가하였고 동계에 급격히 감소하였다(Table 2). 지소별로는 나포가 장암보다 전체적으로 출현종수가 적었다. 두 지소에서 출현종의 계절 변화는 유사했으나, 1996년 8월과 9월에는 나포가 장암보다 각각 13종과 25종이 적었다. 금강하류에서 이러한 출현 양상에 변화는 수온을 비롯한 이화학적 수환경 요인과 다른 식물플랑크톤 개체군과의 상호작용에 의해 유발되는 것으로 사료된다(Brook, 1965; Moss, 1973). Harris(1986)와 Fogg and Thake(1987)는 녹조류의 종수가 규조류와 남조류가 대발생하는 저온기와 고온기 사이에 증가함을 보고하였다. 이러한 현상은 김 등(1996)에 의해 금강 하류에서도 확인된 바 있다.

현존량: 금강 하류에서 녹색소구체목의 전체 현존량은 80 cells ml⁻¹~17,300 cells ml⁻¹로 계절에 따라 다른 양상을 나타냈다(Fig. 1). 미세조류의 연변동에 있어서, 우점종은 10⁴ cells ml⁻¹ 이상의 세포수를 보이는 분류군들로 한정되어 왔다(Rojo et al. 1994). 따라서, 금강 하류에서 녹색소구체목의 개체군 크기는 미세조류의 대발생 측면에서도 고려되어야 할 것이다. 지소별로는 나포가 80 cells ml⁻¹~17,300 cells ml⁻¹, 장암이 120 cells ml⁻¹~13,050 cells ml⁻¹로 증감하였으며, 나포의 현존량이 장암보다 높았다. 이는 지소별 출현종 수와 상반되는 결과로(Table 2), 녹색소구체목의 번무가 유수역이 아닌 정체수역에서 뚜렷함을 보여준다. 하구언 폐쇄 이전 나포의 식물플랑크톤 현존량이 낮고 불규칙적이었음을 고려할 때(김 등, 1996), 본 연구에서 얻어진 현존량의 규모는 금강 하류의 수계가 정체수역인 연못이나 인공호와 유사하게 변하고 있음을 보여준다.

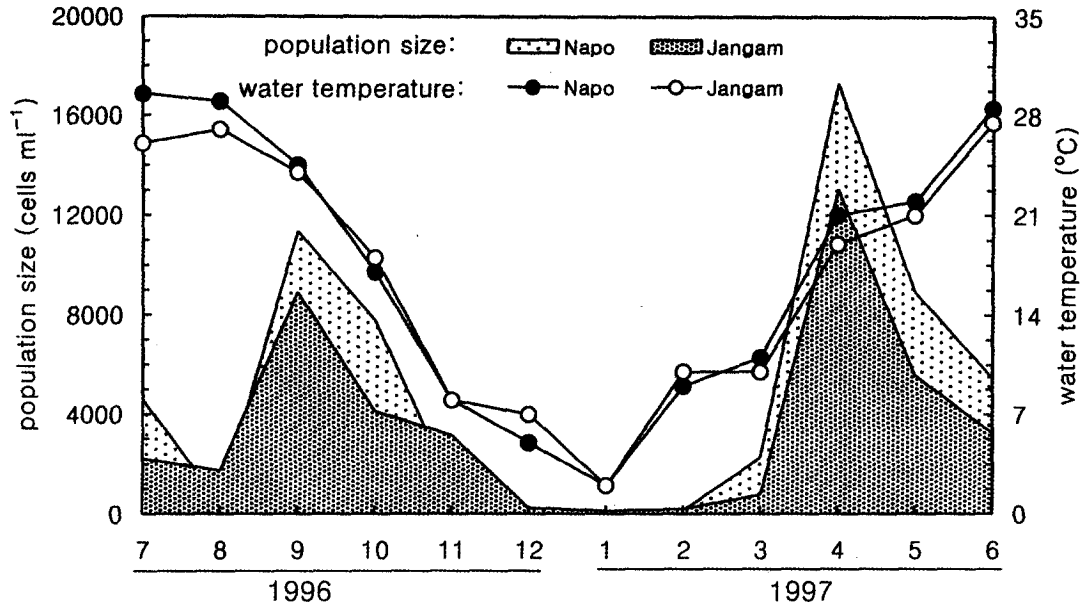


Fig. 1. Variation in water temperature and population size of chlorococcalean green algae in the Kungang river.

계절에 따른 현존량의 변화는 두 지소에서 춘계와 추계에 $13,050 \text{ cells ml}^{-1} \sim 17,300 \text{ cells ml}^{-1}$ 와 $8,920 \text{ cells ml}^{-1} \sim 11,360 \text{ cells ml}^{-1}$ 로 높았고, 하계와 동계에 $480 \text{ cells ml}^{-1} \sim 1,740 \text{ cells ml}^{-1}$ 와 $80 \text{ cells ml}^{-1} \sim 120 \text{ cells ml}^{-1}$ 로 낮았다. 이와 같은 bimodal형의 동태 변화는 안정된 정체 수역에서 계절에 따라 일어나는 것으로 알려져 있다(Round, 1981). 따라서 녹색소구체목의 현존량 변화는 금강 하류가 미소 생물의 생육에 적당한 수체 특성을 보유하고 있다는 것을 대변해 준다.

금강 하류에서 녹색소구체목은 수온의 변동폭이 $17.0 \sim 24.5^\circ\text{C}$ 인 춘계와 추계에 번무하였다. 담수역에서 식물플랑크톤의 현존량 변화는 다양한 생물적 및 비생물적 수환경 요인에 의해 영향 받으며, 그에 따라 미세조류군들의 경쟁 관계가 성립되고 우점도가 달라지는 것으로 알려져 있다(Tilman *et al.*, 1982; Reynolds and Reynolds, 1985; Sommer, 1989). 금강하류에서 춘계와 추계는 남조류와 규조류 등의 다른 광합성 플랑크톤의 대발생이 약화된 시점이다. 이와 같은 점에서 녹색소구체목의 현존량 변화는 수온에 따른 계절성과 다른 분류군과의 생물학적 경쟁관계 측면에서 이해될 수도 있다.

우점종: 본 연구에서는 출현한 녹색소구체목 식물플랑크톤 중 연중 $1,000 \text{ cells ml}^{-1}$ 이상의 현존량을 보이고 계절적 및 지소적으로 뚜렷한 주기성을 보이는 분류군을 우점종으로 선정하였다. 우점종으로는 *A. hantzschii*, *D. ehrenbergianum*, *P. duplex* 및 *S. quadricauda*가 확

인되었다(Fig. 2). 이외에도 *C. cambricum*, *G. radiata*, *M. pusillum*, *O. borgei*, *S. acuminatus*, *S. longispina* 및 *S. protuberans* 등이 고려할만한 양상으로 출현하였다.

*Actinastrum hantzschii*는 1996년 추계에 나포에서 80 cells ml^{-1} 이하로 장암의 $2,720 \text{ cells ml}^{-1}$ 보다 낮았으나, 1997년 춘계에는 나포에서 $2,440 \text{ cells ml}^{-1} \sim 3,300 \text{ cells ml}^{-1}$ 로 장암 보다 높았다. 이 종의 현존량 변화는 두 조사 지소에서 상이하였다. 즉, 중류인 장암 지소와 달리, 하류인 나포에서 이 종은 unimodal형의 동태 변화를 보였다. 우점하는 식물플랑크톤의 종류는 수체에 축적되는 영양염류양의 변동에 의해 달라질 수 있다(Nicholls, 1976; Reynolds and Reynolds, 1985). 금강 하류에서 춘계에 *A. hantzschii*의 현존량 증가는 질소와 인과 같은 용존 염류의 축적에서 비롯된 것으로 판단된다.

*Dictyosphaerium ehrenbergianum*은 1996년 10월과 1997년 4월에 $1,160 \text{ cells ml}^{-1} \sim 1,340 \text{ cells ml}^{-1}$ 와 $2,500 \text{ cells ml}^{-1} \sim 3,600 \text{ cells ml}^{-1}$ 로 높았고, 동계와 하계는 $100 \text{ cells ml}^{-1}$ 이하의 낮은 현존량을 보였다. 이 종의 현존량 변화는 나포와 장암 지소에서 매우 유사하였으며, 전형적인 bimodal형의 변화를 보였다. 이 종은 많은 부영양화된 정체수역에서 지표생물로 간주되어왔다(Round, 1981). 따라서 금강 하류에서 이 종의 동태 변화는 수환경 변화의 척도를 나타내는 기준이 될 것으로 여겨진다.

*Pediastrum duplex*는 1996년 추계에 나포에서 $1,300$

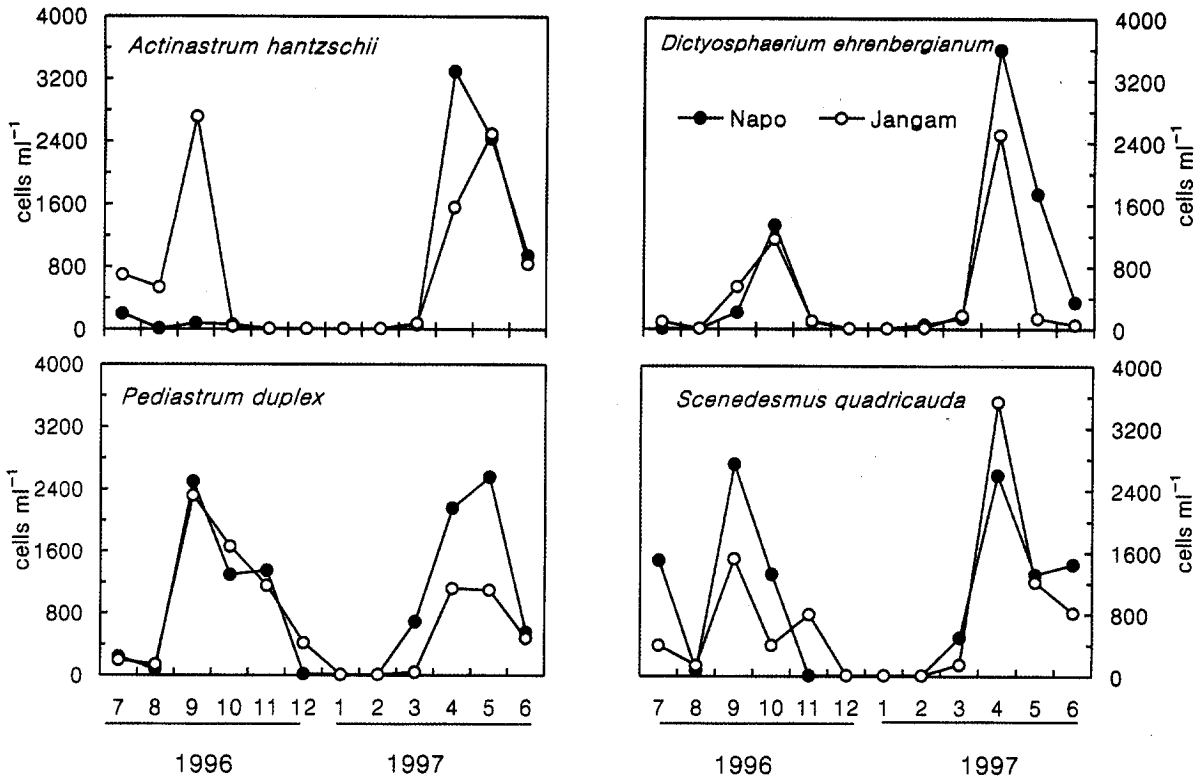


Fig. 2. Seasonal changes of the population size of the dominant chlorococcalean species in Kungang river.

cells ml⁻¹~2,500 cells ml⁻¹, 장암에서 1,660 cells ml⁻¹~2,320 cells ml⁻¹로 높았으며, 1997년 춘계에 나포에서 2,160 cells ml⁻¹~2,560 cells ml⁻¹, 장암에서 1,100 cells ml⁻¹~1,120 cells ml⁻¹로 높았다. 이 종은 부영양화된 수계를 지표하는 것으로 알려져 왔으나(Reynolds, 1984; Sladeczek, 1989), 계절성에 대한 논의는 빈약한 실정이다. 따라서 이 종의 계절에 따른 현존량 변화는 수계 관리 차원에서 지속적으로 검토되어야 할 것으로 사료된다.

*Scenedesmus quadricauda*는 1996년 10월과 1997년 4월에 1,520 cells ml⁻¹~2,740 cells ml⁻¹와 2,600 cells ml⁻¹~3,540 cells ml⁻¹로 높았고, 동계와 하계는 140 cells ml⁻¹ 이하의 매우 낮은 현존량을 보였다. 이러한 변동은 때목말속의 분류군들의 현존량이 6월에 최대치를 보인 금호강에서의 박과 정의 보고(1996)와 차이가 있다. 본 연구에서 얻어진 *S. quadricauda*의 현존량 변화는 정체수역에서 나타나는 계절성으로 이해되어야 할 것이다. 또한, 이 종은 오염에 의해 교란된 수계에서 번무하는 것으로 알려져 있다(Round, 1981; Padisak and Dokulil, 1994). 따라서 이 종의 생리생태에 관한 정보가 수계의 오염 지표 차원에서 추가되어야 할 것이다.

적 요

금강 수계의 나포와 장암 지소에서 1996년 7월부터 1997년 6월 까지 매월 녹색소구체목 식물플랑크톤의 조류상, 현존량 및 우점종을 조사하였다. 녹색소구체목은 총 8과 28속 73 종으로 다양한 조류상을 보였으며, 때목말속은 13종으로 가장 큰 분류군을 이루었다. 출현종의 수는 춘계와 추계에 증가하였고 동계에 감소하였다. 현존량은 수온의 변동폭이 17.0~24.5°C인 춘계와 추계에 10⁻⁴ cells ml⁻¹ 이상으로 높았고, 하계와 동계에 낮은 bimodal형의 변화를 보였다. *Actinastrum hantzschii*, *Dictyosphaerium ehrenbergianum*, *Pediastrum duplex* 및 *Scenedesmus quadricauda*는 출현빈도와 현존량이 높다는 점에서 금강 하류의 녹색소구체목을 대표하는 분류군으로 간주되었다.

사 사

본 연구는 한림과학원 '96 연구과제 지원(김준태)에 의해 수행되었다. 충남대학교 생물학과의 이은주양은 채

집과 시료의 정리를 도와주었다.

인 용 문 헌

- 김준태, 박유라, 조현실, 부성민. 1996. 금강 수계에서 식물플랑크톤의 군집 구조. *한국육수학회지* **29**: 187-195.
- 김한순, 정 준. 1993. 창녕군 자연늪의 담수조류상. *한국육수학회지* **26**: 305-319.
- 박정원, 정 준. 1996. 금호강의 *Scenedesmus* (녹조강, 녹색소구체목)속의 개체군 변화. *한국육수학회지* **29**: 29-37.
- 이진환, 장 만. 1991. 제주도의 담수산 식물플랑크톤 군집에 대하여. *한국육수학회지* **24**: 77-83.
- 정영호, 이 경. 1979. 금강·공주부근 수역의 식물성플랑크톤. *한국식물학회지* **22**: 141-145.
- 정영호, 이 경. 1982. 계방산 계류 수역의 식물성 플랑크톤. *자연보존협회보고서* **20**: 149-157.
- 정영호, 이옥민, 노경희. 1985. 금강 감조 수역 식물성 플랑크톤의 연간(1984-'85) 동태. *자연보존연구보고서* **7**: 17-25.
- Bernard, J.M. 1971. Phytoplankton sampling with the Sediwick-Rafter Cell. *Limnol. Oceanogr.* **16**: 19-28.
- Brook, A.J. 1965. Planktonic algae as indicators of lake types with special reference to the desmidiaceae. *Limnol. Oceanogr.* **10**: 403-411.
- Cassie, V. 1979. Algae in relation to water quality. *Water and Soil Tech. Pub.* **18**: 21-30.
- Cho, K.J., I.K. Chung and J.A. Lee. 1993. Seasonal dynamics of phytoplankton community in the Naktong River Estuary, Korea. *Korean J. Phycol.* **8**: 15-28.
- Fogg, G.E. and B. Thake. 1987. *Algal Cultures and Phytoplankton Ecology*. 3d ed. Univ. of Wisconsin Press, Maddison.
- Happey, C.M. 1970. The estimation of cell numbers of flagellate and coccoid Chlorophyta in natural populations. *J. Br. Phycol.* **5**: 71-78.
- Harris, G.P. 1986. *Phytoplankton Ecology: Structure, Function, and Fluctuations*. Chapman & Hall, London.
- Kim, J.T. and S.M. Boo. 1996. Seasonal changes of the euglenoid species and the biomass in the Kumgang river. *Algae* **11**: 375-379.
- Liepolt, R. 1961. Limnologische forschungen im sterreichischen donaustrom. *Verh. int. Ver. Limnol.* **14**: 422-429.
- Moss, B. 1973. Diversity in fresh-water phytoplankton. *Am. Midl. Nat.* **90**: 341-355.
- Nicholls, K.H. 1976. Nutrient-phytoplankton relationship in the Holland Marsh, Ontario. *Ecol. Monogr.* **46**: 179-199.
- Padisak, J. 1992. Seasonal succession of phytoplankton in a large shallow lake (Balaton, Hungary)-a dynamic approach to ecological memory, its possible role and mechanisms. *J. Ecol.* **80**: 217-230.
- Padisak, J. and M. Dokulil. 1994. Meroplankton dynamics in a saline, turbulent, turbid shallow lake (Neusiedlersee, Austria and Hungary). *Hydrobiologia* **289**: 23-42.
- Reynolds, C.S. 1973. The seasonal periodicity of planktonic diatoms in a shallow eutrophic lake. *Freshwat. Biol.* **3**: 89-110.
- Reynolds, C.S. 1984. Phytoplankton periodicity: the interactions of form, function and environmental variability. *Freshwat. Biol.* **14**: 111-142.
- Reynolds, C.S. and J.B. Reynolds. 1985. The atypical seasonality of phytoplankton in Crose Mere, 1972: An independent test of hypothesis that variability in the physical environment regulates community dynamics and structure. *J. Br. Phycol.* **20**: 227-242.
- Rojo, C., M. Alvarez Cobelas and M. Arauzo. 1994. An elementary analysis of river phytoplankton. *Hydrobiologia* **289**: 43-55.
- Round, F.E. 1981. *The Ecology of Algae*. Camb. Univ. Press, Cambridge.
- Round, F.E. and A.J. Brook. 1959. The phytoplankton of some Irish Loughs and an assessment of their trophic status. *Proc. Roy. Ir. Acad.* **60**: 168-191.
- Shim, J.H. and J.S. Yang. 1982. The community structure and distribution of phytoplankton of the Kum river estuary. *J. Oceanol. Soc. Kor.* **17**: 1-11.
- Shim, J. H. and S. J. Yoo. 1985. Phytoplankton community off the coast of Kunsan, Korea. *J. Oceanol. Soc. Kor.* **20**: 31-42.
- Sladeczek, V. 1989. *Atlas of Freshwater Saprobic Organisms*. Hokurykan Co., Ltd.
- Sommer, U. 1989. Nutrient status and nutrient competition of phytoplankton in a shallow, hypertrophic lake. *Limnol. Oceanogr.* **34**: 1162-1173.
- Strickland, J.D.H. and T.R. Parsons. 1968. A practical handbook of seawater analysis. *Bull. Fish. Res. Bd. Can.* **167**: 311.
- Thunmark, S. 1945. Zur Soziologie des Subwasserplanktons. Fine methodologisch-ökologische Studie. *Folia Limnol. Scand.* **3**: 1-6.
- Tilman, D., S. Kilham and P. Kilham. 1982. Phytoplankton community ecology: the role of limiting nutrients. *Ann. Rev. Ecol. Syst.* **13**: 349-372.
- Wetzel, R.G. 1983. *Limnology*. 2nd ed. Saunders Coll. Publ., New York.