

## 금강하구언 담수방류와 춘계 식물플랑크톤 군집의 단주기 변동

이원호\* · 명금옥 · 유영두<sup>1</sup> · 김영길<sup>2</sup> · 정해진<sup>3</sup>

군산대학교 해양학과, <sup>1</sup>군산대학교 새만금환경연구센터, <sup>2</sup>한국수권환경연구센터  
<sup>3</sup>서울대학교 지구환경과학부

### Semiweekly variation of Spring Phytoplankton Community in Relation to the Freshwater Discharges from Keum River Estuarine Weir, Korea

WONHO YIH\*, GEUMOG MYUNG, YEONG DU YOO<sup>1</sup>, YOUNG GEEL KIM<sup>2</sup> AND HAE JIN JEONG<sup>3</sup>

Department of Oceanography, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

<sup>1</sup>Saemangeum Environmental Research Center, Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea

<sup>2</sup>Korea Environmental Research Center for Hydrosphere, Ansan 425-817, Korea

<sup>3</sup>School of Earth and Environmental Science, Seoul National University, Seoul 151-747, Korea

1988년에 완공하여 1994년 8월부터 수문을 작동한 금강 하구언으로 인해 금강 하구역 환경은 크게 변화하였다. 수문을 통해 담수를 불규칙하게 방류하면, 극심한 염분 저하와 함께 수중 무기영양염 농도가 급변한다. 이와 같이 환경 스트레스가 큰 금강 하구 내측에서 춘계 식물플랑크톤 군집의 단주기 변동을 연구하기 위하여, 2004년 2월 중순부터 4개월 동안 2개의 고정점에서 약 2일 간격으로 고조 때에 현장조사와 시료채취를 실시하였다. 하구언에 근접한 정점1에서는 정점2(도선장 부근 정점)에 비해 염분 측정치의 변동계수가 2배에 이르러, 정점1에서 시간에 따른 염분의 변동이 극심함을 반증하였다. 용존 무기영양염 가운데, 질소계 영양염(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> 및 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)의 농도가 정점2에 비해 정점1에서 뚜렷이 높게 나타나, 수문 작동에 따라 그 농도가 부정기적으로 급변할 수 있는 환경을 확인하였다. 식물플랑크톤 군집을 구성하는 주요 분류군은 규조류로서 출현종의 수나 생물량 모두 최고치를 기록하였다. 이 가운데 단독성 중심 규조 *Cyclotella meneghiniana*와 사슬형 중심 규조 *Skeletonema costatum*은 조사기간 전반부에 차례대로 5-6주 동안씩(천이 구간 I 및 II) 절대 우점하여, 수온 10°C의 시점을 중심으로 뚜렷한 천이현상을 보여 주었다. 천이구간 III(4월 중순-5월 말)은 대량 방류된 담수와 함께 하구역에 유입된 담수 녹조종인 남세균 *Aphanizomenon flos-aquae*와 *Phormidium* sp. 등이 매우 높은 구성비를 나타낸 시기이다. 이 기간에는 극저염-고염의 극심한 변동으로 인하여 낮은 수준의 생물량을 기록한 규조 *Cyclotella meneghiniana*와 *Skeletonema costatum* 외에는 담수종들이 전적으로 우점하였다. 천이구간 IV에서는 수온이 18°C 이상으로 상승하면서, 규조 *Guinardia delicatula*가 단일 시료 내 최고 우점도 75%를 기록하며 약 일주일간 우점하였다. 즉, 조사기간 중에는 수온 18°C 미만의 극심한 염분 변동기(천이구간 III)를 제외한, 전 기간 중에 규조가 절대 우점하며 춘계 식물플랑크톤 우점종의 천이를 주도하였다. 천이구간 III에서도, 만약 담수방류의 규모와 빈도를 적절히 조절하였더라면, 주요 우점종이 담수 남세균이 아닌 하구성 규조로 바뀔 수도 있었을 것이다. 본 연구에 적용한 격일간 현장조사는 불규칙한 담수 방류가 불가피한 반일주조 하의 하구역 환경에서 식물플랑크톤 종의 천이현상을 규명하기 위한 최소한의 필요조건으로 판단된다.

Irregular discharges of freshwater through the water gates of the Keum River Estuarine Weir, Korea, whose construction had been completed in 1998 with its water gates being operated as late as August 1994, drastically modified the estuarine environment. Sharp decrease of salinity along with the altered concentrations of inorganic nutrients are accompanied with the irregular discharges of freshwater into the estuary under the influence of regular semi-diurnal tidal effect. Field sampling was carried out on the time of high tide at 2 fixed stations(St.1 near the Estuarine Weir and St.2 off Kunsan Ferry Station) every other day for 4 months from mid-February 2004 to investigate into the semi-weekly variation of spring phytoplankton community in relation to the freshwater discharges from Keum River Estuarine Weir. CV(coefficient of variation) of salinity measurements was roughly 2 times greater in St.1 than that in St.2, reflecting extreme salinity variation in St.1. Among inorganic nutrients, concentrations of N-nutrients(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup> and NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) were clearly higher in St.1, to

\*Corresponding author: ywonho@kunsan.ac.kr

imply the more drastic changes of the nutrient concentrations in St.1. than St.2 following the freshwater discharges. As a component of phytoplankton community, diatoms were among the top dominants in terms of species richness as well as biomass. Solitary centric diatom, *Cyclotella meneghiniana*, and chain-forming centric diatom, *Skeletonema costatum*, dominated over the phytoplankton community in order for 5-6 weeks each (Succession Interval I and II), and the latter succeeded to the former from the time of  $<10^{\circ}\text{C}$  of water temperature. Cyanobacterial species, *Aphanizomenon flos-aquae* and *Phormidium* sp., which might be transported into the estuary along with the discharged freshwater, occupied high portion of total biomass during Succession Interval III(mid-April to late-May). During this period, freshwater species exclusively dominated over the phytoplankton community except the low concentrations of the co-occurring 2 estuarine diatoms, *Cyclotella meneghiniana* and *Skeletonema costatum*. During the 4th Succession Interval when the water temperature was over  $18^{\circ}\text{C}$ , the diatom, *Guinardia delicatula*, was predominant for a week with the highest dominance of 75% in discrete samples. To summarize, during all the Succession Intervals other than Succession Interval III characterized by the extreme variation of salinity under cooler water temperature than  $18^{\circ}\text{C}$ , the diatoms were the most important dominants for species succession in spring. If the scale and frequency of the freshwater discharge could have been adjusted properly even during the Succession Interval III, the dominant species would quite possibly be replaced by other estuarine diatom species rather than the two freshwater cyanobacteria, *Aphanizomenon flos-aquae* and *Phormidium* sp.. The scheme of field sampling every other day for the present study was concluded to be the minimal requirement in order to adequately explore the phytoplankton succession in such estuarine environment as in Keum River Estuary, which is stressed by the unpredictable and unavoidable discharges of freshwater under the regular semi-diurnal tide.

**Keywords:** Phytoplankton Community, Estuarine Weir, Freshwater Discharge, Species Succession, Salinity Change

## 서 론

금강하구역 인근의 식물플랑크톤에 관한 연구로는 조선총독부 수산시험장 기사였던 倉茂(Hidejiro Kurashige)가 서산군 안면면의 동측 대야도에서 1937년부터 1941년까지 5년간 매월 채취한 표층과 저층 시료와(倉茂 1943) 금강하구의 군산항 및 인근의 하류정점에서 1942-1943년 사이에 월 2-3회 고조 때에 표층에서 채취한 시료를(倉茂 1944) 분석하여, 부유 돌말(규조류)의 우점종별 정량 변화 및 관련된 환경요인에 대해 보고한 것이 그 첫 번째이다. 이후, 약 20여년 만에 유(1962)가 1961년 9월 천수만-어청도-군산 해역에서 채취한 48개의 시료를 분석하여 microplankton의 분포와 해황을 연관지어 설명함으로써, 그 명백을 유지하였다(심 1994). Lee 등(1967)은 금강하구 인근 정점을 포함한 서해 전역의 하계 식물플랑크톤의 종별 분포상을 연구하여, 난류와 한류 및 강을 통한 담수 유입 등의 영향이 중요함을 보고하였다. 김과 조(1970)는 금강하구 내의 6개 정점에서 춘하계 microplankton 조성 과 양의 변화를 보고하였으며, 김과 김(1978)은 군산-어청도 해역 7개 정점에서 춘계의 해수 특성과 규조류의 조성 및 양 변화에 대해 보고하였다. 그 후, Shim과 Yang(1982)은 금강하구 내측의 2개 정점에서 25시간 연속 1시간 간격으로, 하구 외측의 6개 정점에서는 고조 및 저조 때에 채취한 시료를 분석하여, 군집분포에 미치는 저염수의 영향에 대해 논의하였다. 이어서, 다변량분석을 통해 현장의 식물플랑크톤 군집 분포를 해석하여, 천수만에서 위도에 이르는 군산 부근해역을 3개의 식물해양학적 구역으로 구분하고, 이를 해양수리학적 요인과 연관지어 해석하는(Shim and Yoo 1985) 보다 심화된 연구 단계에 접어들었다. 금강하구인 준공 이전에, 하구둑 상류 35 km 지점에서 하류 25 km 지점 사이에 설정한 21개 정점에서 대조기와 소조기에 채집한 63개 시료의 해수

특성 및 식물플랑크톤 정량 자료를 다변량분석하여, 식물플랑크톤 우점종 별 주요 환경 인자를 해석하고(Lee 등 1988) 염분 내성 차를 반영한 주요 우점종 군별 정점간 현상량 변화를 보고한(이 1990) 예도 있다.

금강 하구인은 1988년에 완공하였으나 1994년 8월부터 수문작동을 시작하였으며(최 등 1995; 권과 이 1999), 그 이후 하구역 환경에 다양한 변화가 나타났다. 퇴적학적 측면에서는 수문작동 이후 금강하구가 저에너지 환경으로 변하여 세립질 부유퇴적물의 퇴적작용이 활발해지며(최 등 1995), 물리해양학적 특성 중에서는 평균해수면이 낮아지고 주조 진폭이 커지며(권과 이 1999), 조석과 염분거동 위상차가 발생하였다(이 등 1999). 하계의 대량 담수 방류에 따라, 하구인 수문 작동 이전에 비해 저염분의 분포 범위가 크게 확장되었으며(이 등 1990; 이 등 1995; 최 등 1999), 저염수 플룸도 북서방향으로 더욱 확장되어 나타나고(이 등 2003), 하구역의 내측에서는 매우 강한 염분성층이 유지된다(이 등 1999). 결과적으로, 풍수기에 불규칙한 수문조작으로 대량의 담수를 방류하면, 하구역 염분전선의 시공간적 분포(이 등 2001a), 인근 연안역 표층해수의 순환(이 등 1999) 및 새만금 방조제 주변해역 순환계와의 상호작용(이 등 2003) 등이 변화하여, 관련된 연안 생태계의 구조 및 기능을 변형시킬 수 있다(이 등 2001b).

금강하구인 수문을 작동하기 시작한 이후에, 김 등(2004)은 서해 곰소만과 금강하구역 고정점에서 0.5-2 주일 간격으로 현장 조사를 실시하여, 식물플랑크톤 우점종의 계절적인 천이양상을 상세하게 비교·분석하였다. 또한 혼합영양 섬모류인 *Myrionecta rubra* (= *Mesodinium rubrum*) 개체군이 곰소만에 비하여 금강 하구역에서 공존하는 우점 규조종들에 대해 더욱 높은 상대적 우위를 차지한다고 하였다(김 등 2004). 그러나, 춘계 대변식 기간 중에 금강 하구인 수문의 조작으로 인한 불규칙한 염분 변화와 관련하여

(이 등 2001a; 최 등 1995), 식물플랑크톤 우점종의 격일 별 변동을 연구한 예는 아직 없는 실정이다. 금강 하구역이 반일 주조의 영향을 받고, 하구인 수문 작동으로 극심한 염분 및 무기영양염 농도 변화가 불가피한 해역임을 감안할 때(양 등 1999; 이와 양 1997), 해양생태계 먹이망에서 기초생산자인 식물플랑크톤 군집의 구조와 기능을 규명하려면, 적어도 1-2일 간격의 단주기 조사가 필요하다(Pae 1995). 이에 따라, 본 연구에서는 춘계 식물플랑크톤 군집의 종별 단주기 변동을 조사하여, 주요 우점 식물플랑크톤의 종간 변화와 주요 환경요인들과의 관련성을 규명하고자 하였다.

## 재료 및 방법

춘계 금강 하구역에서 식물플랑크톤 군집의 단주기 변동 특성을 연구하기 위해, 하구인(St. 1)과 도선장(St. 2) 인근에 2개의 고정 관측 정점을 선정하였다(Fig. 1). 각 정점에서 2004년 2월 중순부터 6월 중순까지 약 2일 간격으로, 만조 때에 시료를 채집하고 환경 특성치를 측정하였다. 야외용 온도·염분계(YSI Model 30, Handheld Salinity, Conductivity and Temperature System USA)를 이용하여 수온과 염분을 현장에서 측정하였다. 센서의 정확도를 높이기 위해, 하루 전에 NIST traceable calibrator solution (YSI 3161,  $1000 \text{ mS cm}^{-1}$ )을 이용하여 실험실내에서 염분보정을 실시하였다. 해수 시료의 채취는 Niskin 채수기(General Oceanics Model 1010, USA)를 이용하여 0.5 m(표층) 및 2.5-3 m(저층) 수심에서 이루어졌다. 채취한 화학 분석용 해수시료를 0.1 N 염산용액으로 산세척 처리한 고밀도폴리에틸렌(HDPE) 용기에 옮겨 담은 후, 드라이아이스를 이용  $-20^{\circ}\text{C}$  이하로 동결보존하여 실험실로 운반하였으며, 분석 전까지  $-4^{\circ}\text{C}$  이하로 냉동보관 하였다. 플랑크톤 분석용 해수시료는 채수 직후 현장에서 Lugol 용액으로 고정 하였다.

식물플랑크톤 종별 생물량을 분석하기 위해, 고정된 해수시료를 실험실로 운반하여 24시간 이상 어두운 곳에 두었다가, 상등액을 미세사이폰으로 따라내어 농축하였다. 농축 시료를 100여회 흔든 다음 Sedgwick-Rafter 계수관에 담아, 광학현미경(Olympus BH-50)을 이용하여 식물플랑크톤 종별로 세포수를 세었다. 보다 정확

한 식물플랑크톤 동정이 필요한 경우에는, 시료의 일부를 취하여 최고 1,000 배율에서 다시 관찰하였다. 환경요인 항목 가운데, 무기영양염( $\text{NH}_4^+\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ ,  $\text{NO}_2^-\text{-N}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ , 및  $\text{SiO}_2\text{-Si}$ )은 분광광도법으로 농도를 결정하였다(Grasshoff *et al.* 1999). 특히,  $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 의 경우에는 Auto-analyzer(Bran-Luebbe TRAACS 2000)를 이용하였으며, 그 외 다른 무기영양염은 분광광도기(SHIMADZU Spectrophotometer Mini 1240)를 이용, 분석하였다.

## 결과 및 토의

### 수온 염분의 변동

조사기간 중 수온은  $4.8\text{-}24.5^{\circ}\text{C}$  범위로서, 시간에 따라 지속적으로 상승하였으며, 염분은  $0.1\text{-}26.3 \text{ psu}$  범위로 매우 불규칙하고 극심하게 변동하였다. 정점1과 정점2 표층의 평균 수온 차는  $1.1^{\circ}\text{C}$ 에 불과하나, 평균 염분 차는  $7.5 \text{ psu}$ 로서 뚜렷한 수평적인 염분 경사를 반영하였다(Table 1). 동시 측정된 정점 간 저층의 수온 및 염분 차 역시 표층과 유사한 경향을 나타내었다. 또한 표층과 저층 모두 염분의 변동계수가 정점2에 비해 정점1에서 약 2배가 되어, 정점1에서 큰 폭의 불규칙한 염분 변동이 있음을 입증하였다(Table 1).

### 무기영양염 농도의 변동

조사기간 중 정점1과 정점2 표층 시료의 무기 질소, 인 및 규소 영양염 농도 자료를 정리하여 Table 2에 제시하였다. 무기영양염 5종 각각의 농도 평균값은 1995년과 1998년 사이의 측정치(양 등 1999; 이와 양 1997)에 상당하는 수준이다. 이 가운데 인산염과 규산염은 세 가지 질소계 영양염( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  및  $\text{NH}_4^+$ )에 비하여, 평균치의 정점 간 차이가 상대적으로 매우 작은 편이다. 정점1에서 인산염과 규산염을 제외한 질산염, 아질산염 및 암모늄염 농도 평균치가 정점2보다 크게 높아(Table 2), 대체로 이들 세 가지 무기영양염의 주된 공급원이 하구인 방류수임을 알 수 있다(이와 양 1997). 특히, 정점1에서 아질산염 평균 농도는 정점2 평균치의 2.4 배에 달하여, 이러한 특징을 명확하게 반영하였다.

따라서, 조사 해역은 극심한 염분 변동을 초래하는 하구인 수문의 작동과 연계되어, 질소계 영양염( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$  및  $\text{NH}_4^+$ ) 농도가 부

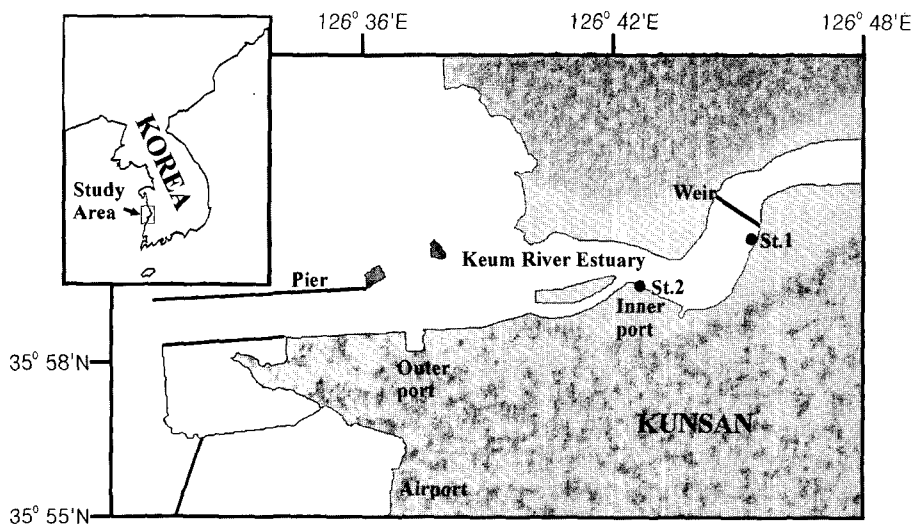


Fig. 1. Map showing the sampling sites and Keum River Estuarine Weir.

**Table 1.** Basic statistics of water temperature and salinity measurements in Keum River Estuary.

	Sampling point	Number of sample	Range	Mean	Standard deviation	Coefficient of variation (%)
Water temperature (°C)	St.1-surface	53	5.5 - 24.5	15.19	5.91	38.9
	St.2-surface	53	4.8 - 23.7	14.07	5.86	41.6
	St.1-bottom	16	5.2 - 23.9	16.38	5.74	35.0
	St.2-bottom	16	4.9 - 23.9	15.80	5.78	36.6
Salinity (psu)	St.1-surface	53	0.1 - 22.5	12.13	6.17	50.8
	St.2-surface	53	0.2 - 26.3	19.58	5.55	28.3
	St.1-bottom	16	2.8 - 22.4	13.27	6.36	48.0
	St.2-bottom	16	9.2 - 25.3	19.18	4.79	25.0

**Table 2.** Basic statistics of data on inorganic N, P, and Si nutrients in Keum River Estuary.

Nutrients (μM)	Sampling point	Number of sample	Range	Mean	Standard deviation	Coefficient of variation (%)
[NO <sub>3</sub> ]	St.1-surface	52	24.53 - 159.26	78.74	33.76	42.9
[NO <sub>3</sub> ]	St.2-surface	52	14.98 - 122.05	54.36	26.85	49.4
[NO <sub>2</sub> ]	St.1-surface	52	0.94 - 21.67	4.74	3.92	82.8
[NO <sub>2</sub> ]	St.2-surface	53	0.05 - 7.87	1.96	1.91	97.3
[NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ]	St.1-surface	52	3.09 - 216.40	38.79	38.01	98.0
[NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ]	St.2-surface	53	3.08 - 153.95	29.23	24.32	83.2
[PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ]	St.1-surface	52	0.02 - 2.06	1.01	0.55	54.4
[PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> ]	St.2-surface	53	0.09 - 2.19	0.90	0.51	56.4
[SiO <sub>2</sub> ]	St.1-surface	52	0.16 - 11.21	1.96	2.40	122.6
[SiO <sub>2</sub> ]	St.2-surface	53	0.12 - 10.20	1.76	2.45	139.2

정기적으로 급변하는 환경으로 판단된다(양 등 1999). 종합하면, 조사기간 중에는 수온이 점진적으로 상승하고 일사량이 증가하는 가운데, 염분과 질소계 영양염 농도가 매우 불규칙하게 변동하여, 식물플랑크톤 우점종들 간의 천연적인 상호작용 체계를 좌우할 수도 있는 상태였다 하겠다. 부정기적으로 하구인 수문을 통해 대량의 담수를 방류하는 경우, 단주기로 급변하는 염분 스트레스와 일시적인 질소계 영양염 농도 급증에 대해 적응력이 높은 종들이, 시간에 따라 순차적으로 변화하는 일반적인 환경에 잘 적응한 하구역 고유의 다른 식물플랑크톤 종들보다 더 신속하게 우점종의 지위를 차지하게 될 것이다(김 등 2004).

**식물플랑크톤 종조성 및 생물량**

조사 기간 중 관찰한 식물플랑크톤의 총 종수를 Table 3에 제시하였다. 네 개의 시료 채취점 전체에서 공통적으로 규조류가 최

다 종수를 기록하였으며, 다음으로 녹조류, 와편모류, 남세균류 순이었다. 이와는 대조적으로, 전체 생물량에 대한 백분율(Table 4)에 있어서는 규조류에서 최고치가 나타났으나, 다음으로 남세균류와 녹조류가 서로 유사한 수준이었으며, 와편모류는 0.9-3.8%로 매우 미미한 비율을 기록하였다. 시료 채취점 간 총 출현종 수의 차이는 식물플랑크톤 주요 그룹에 따라 상이한 양상을 나타내었다(Table 3). 즉, 규조류의 출현종 수는 정점1에 비해 정점2에서 10-20% 가량 더 많았으나, 녹조류의 경우에는 이와 반대로 정점2에 비해 정점1에서 약 40% 더 많았다. 와편모류는 정점2에서 그리고 남세균류는 정점1에서 상대적으로 높은 출현종 수를 기록하였다(Table 3).

주요 그룹별 생물량은 시료 채취점 간에 더욱 현저한 차이를 나타내었다(Table 4). 규조류의 경우, 출현종 수가 상대적으로 작았던 정점1에서 정점2에 비해 1.4-3.1배 높은 생물량을 보였다. 또

**Table 3.** The number of species observed in each set of samples.

Sampling point (#. samples)	St.1-surface (53)	St.2-surface (53)	St.1-bottom (16)	St.2-bottom (16)
Bacillariophyceae	99	115	80	89
Dinophyceae	8	11	6	7
Dictyochophyceae	3	2	2	2
Cryptophyceae	2	2	2	1
Euglenophyceae	1	1	1	1
Chlorophyceae	57	42	40	27
Cyanophyceae	12	9	4	4
Chrysoophyceae	2	0	1	0
Sum	184	182	136	131

**Table 4.** Mean abundance (cells ml<sup>-1</sup>) and percentage (in parentheses) of major phytoplankton classes in each set of samples.

Sampling point (#. samples)	St.1-surface (53)	St.2-surface (53)	St.1-bottom (16)	St.2-bottom (16)
Bacillariophyceae	7828 (80.5)	4134 (84.8)	4417 (80.8)	3190 (79.3)
Chlorophyceae	799 ( 8.2)	337 ( 6.9)	411 ( 7.5)	205 ( 5.1)
Cyanophyceae	758 ( 7.8)	214 ( 4.4)	493 ( 9.0)	433 (10.8)
Dinophyceae	99 ( 1.0)	78 ( 1.6)	52 ( 0.9)	71 ( 1.8)

**Table 5.** Mean percentage, mean abundance (cells ml<sup>-1</sup>), and CV (coefficient of variation) of top 13 dominant species in samples collected from the surface layer of stations 1 and 2.

Dominant species	Surface-St.1			Surface-St.2		
	mean (%)	mean (cells ml <sup>-1</sup> )	CV (%)	mean (%)	mean (cells ml <sup>-1</sup> )	CV (%)
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	61.9	6020	180	30.4	1484	217
<i>Skeletonema costatum</i>	9.0	880	195	30.5	1487	184
<i>Phormidium</i> sp.	4.4	429	283	2.5	120	342
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	3.0	290	239	1.0	49	376
<i>Aulacoseira granulata</i>	2.2	216	167	2.4	115	266
<i>Guinardia delicatula</i>	1.7	164	425	5.1	248	341
<i>Cryptomonas</i> sp.<15um)	1.6	156	209	1.8	89	141
<i>Thalassiosira nordenskioldii</i>	1.1	103	223	5.1	251	180
<i>Actinastrum hantzschii</i> v. <i>fluviatile</i>	1.2	116	380	2.8	137	691
<i>Dictyosphaerium</i> sp.	2.1	209	240	0.8	39	267
<i>Micractinium pusillum</i>	1.9	185	422	0.9	45	419
<i>Heterocapsa rotundata</i>	0.9	87	310	1.4	67	221
<i>Asterionellopsis kariana</i>	0.9	83	267	3.0	148	259
Sum	91.9	8937		87.8	4281	

한 녹조류와 남세균류의 생물량도 정점1에서 상대적으로 매우 높게 나타났다. 와편모류의 경우에는 정점1의 표층에서 높은 생물량을 기록하였다(Table 4). 이와 같은 주요 그룹별 총 출현종 수 및 생물량 분포로부터, 정점1이 정점2보다 환경스트레스가 상대적으로 더욱 강하면서도, 환경에 적응한 식물플랑크톤 우점종들이 성장하는데 필요한 영양염 성분을 상대적으로 풍부하게 공급받는(부영양) 환경이라고 추정할 수 있다.

#### 식물플랑크톤 주요 우점종의 조성 및 염분 내성

정점1과 정점2의 표층에서 동시에 식물플랑크톤 총 생물량의 1% 이상을 차지한 우점종은 9종으로, 분류군 별로 보면 규조류 5종(*Cyclotella meneghiniana*, *Skeletonema costatum*, *Aulacoseira granulata*, *Guinardia delicatula*, *Thalassiosira nordenskioldii*), 남세균류 2종(*Aphanizomenon flos-aquae*, *Phormidium* sp.), 녹조류(*Actinastrum hantzschii* v. *fluviatile*) 및 은편모류(*Cryptomonas* sp.) 각 1종이었다(Table 5).

이 가운데 최고 우점종은 규조류인 *Cyclotella meneghiniana*와 *Skeletonema costatum*으로서, 이 두 종이 전체 식물플랑크톤 평균 생물량의 61-71%를 차지하였다(Table 5). *Cyclotella meneghiniana*은 정점1 표층에서 61.9%, 정점2 표층에서 30.4%를 차지하여, 염분이 낮은 환경에서 두 번째 우점 규조류인 *Skeletonema costatum*보다 경쟁력이 상대적으로 더 큰 종임을 알 수 있다. 담수성 남세균인 *Aphanizomenon flos-aquae*, *Phormidium* sp.은 정점1 표층에서 각각 3.0 및 4.4%를 점하다가 정점2 표층에서는 1.0 및 2.5%로 점유율이 급격히 감소하였다. 이들이 금강 하구호 내에서 녹조

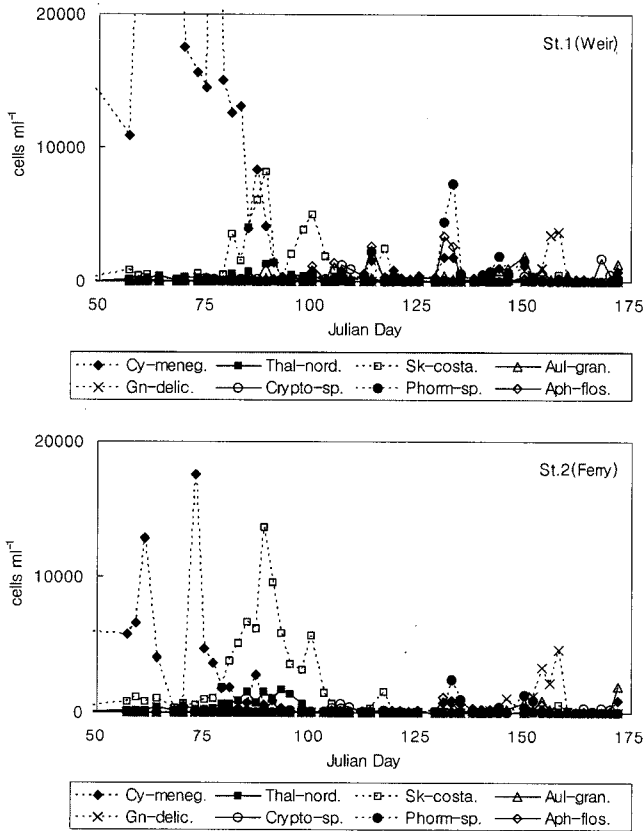
를 형성하여 하류역으로 대량방류 되는 경우에는, 하구수와 혼합하여 상승하는 염분이 삼투적용 한계치에 도달하기 이전까지 잔존하다가 소멸할 것으로 예상된다. 이러한 경향은 녹조류에 속하는 우점종인 *Micractinium pusillum*과 *Dictyosphaerium* sp.에서도 유사하게 나타났다(Table 5).

담수성 종들과는 대조적으로 규조류인 *Guinardia delicatula*, *Thalassiosira nordenskioldii*, *Asterionellopsis kariana*와 와편모류인 *Heterocapsa rotundata* 등은 정점2 표층에서 우점율이 급격히 증가하여, 정점1 표층과 같은 상대적 저염 환경에서는 경쟁력이 낮은 종류임을 확인하였다. 한편, 은편모류인 *Cryptomonas* sp.는 정점1 및 정점2의 표층에서 우점율에 큰 차가 없어서, 변화폭이 매우 큰 금강하구역의 염분 환경에서도 잘 적응하는 광염성의 하구역 종이라고 판단하였다(Table 5).

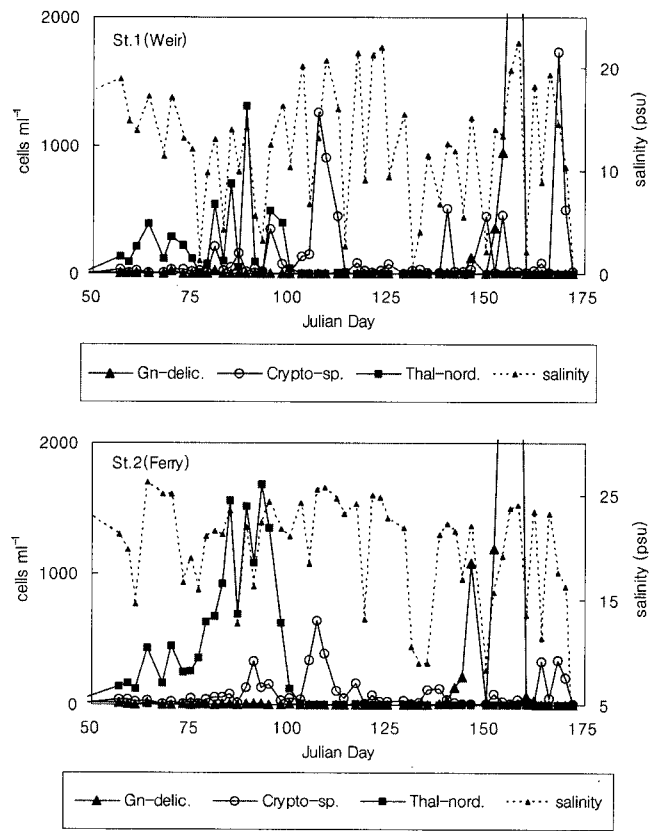
#### 식물플랑크톤 주요 우점종의 천이

정점1과 정점2의 표층에서 동시에 식물플랑크톤 총 생물량의 1% 이상을 차지한 9종 가운데, 녹조류 *Actinastrum hantzschii* v. *fluviatile*을 제외한 8대 우점종을 대상으로 천이 현상을 분석하였다(Fig. 2). 이들 8대 우점종 개체군의 단주기 변동 양상은 정점1과 정점2에서 서로 매우 유사하였다(Fig. 2).

즉, 두 정점 모두에서, 3월 중순까지 규조 *Cyclotella meneghiniana*가 먼저 절대 우점한(정점1 및 정점2의 단일 시료 내 최고 우점도 : 98% 및 91%) 다음, 두 번째로 규조 *Skeletonema costatum*이 3월 중순부터 개체군 성장을 시작하여 3월 하순에 최대 밀도에 이르렀다(정점1과 정점2에서 각각 8,200 및 13,700 cells ml<sup>-1</sup>) 4월 하



**Fig. 2.** Succession of 8 dominant species in St.1 and St.2 of Keum River Estuary (Cy-meneg.: *Cyclotella meneghiniana*, Thal-nord.: *Thalassiosira nordenskiöldii*, Sk-costa.: *Skeletonema costatum*, Aul-gran.: *Aulacoseira granulata*, Gn-delic.: *Guinardia delicatula*, Crypto-sp.: *Cryptomonas* sp., Phorm-sp.: *Phormidium* sp., Aph-flos.: *Aphanizomenon flos-aquae*). Refer to Figure 5 for the full-scale plotting of *Cyclotella meneghiniana* abundance.



**Fig. 3.** Semi-weekly fluctuations of water salinity and the abundance of 3 dominant species (Gn-delic.: *Guinardia delicatula*, Crypto-sp.: *Cryptomonas* sp., Thal-nord.: *Thalassiosira nordenskiöldii*) in St.1 and St.2 of Keum River Estuary. Refer to Figure 2 for the full-scale plotting of *Guinardia delicatula* abundance.

순까지 우점하였다(Fig. 2). 같은 기간 중에 *Thalassiosira nordenskiöldii* 역시 정점1과 정점2 표층의 단일 시료 내에서 각각 13% 및 21%의 최고 우점도를 나타내었으나(Fig. 3), *Skeletonema costatum* 생물량의 15% 수준의 낮은 생물량을 기록하였다(Table 5).

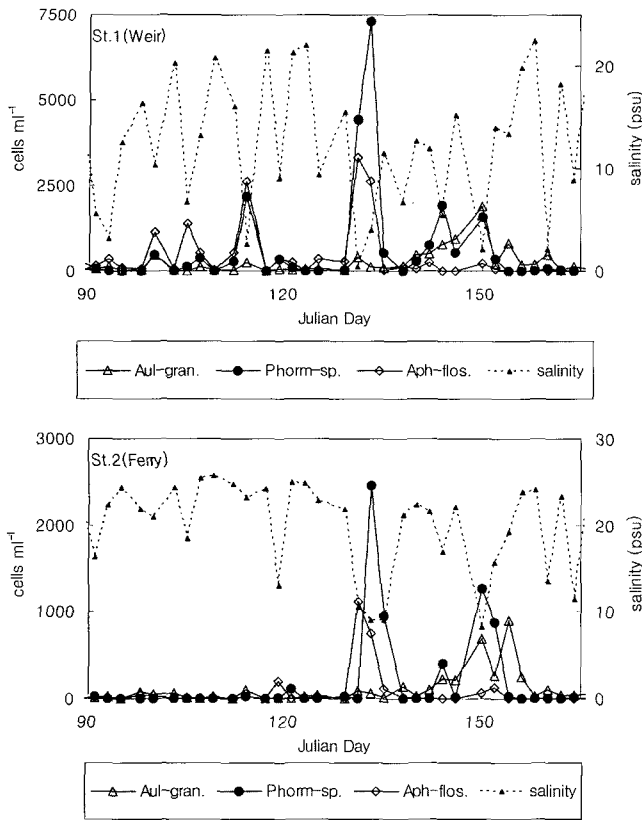
정점1에서 염분이 0.4 psu로 급격히 감소한 5월초를 중심으로 하여 4월 중순부터 5월 말까지 담수의 대량방류로 인하여 저염 스트레스의 빈도가 높아진 기간에는 남세균류인 *Phormidium* sp.와 *Aphanizomenon flos-aquae*가 높은 우점율을(각각 단일 시료 내 최고 우점도 42% 및 42%) 자주 기록하였다(Fig. 4). 이 기간의 후반인 5월 중순부터 개체군이 성장하기 시작한 규조 *Aulacoseira granulata*가 5월 말경에 최대밀도를 기록하였다(정점1과 정점2의 표층에서 각각 1910 및 910 cells ml<sup>-1</sup>; Fig. 4). 5월 하순과 6월 초순 사이에는 규조 *Guinardia delicatula*가 단일 시료 내 최고 우점도 75%를 기록하며 약 일주일 동안 높은 농도로 출현하였다(Fig. 2).

한편, 소형 은편모류 *Cryptomonas* sp.( $<15 \mu\text{m}$ )는 정점1 및 정점2에서 각각 62% 및 47%의 단일 시료 내 최고 우점도를 나타내며 간헐적으로 높은 농도를 기록하였으나, 규조류가 우점한 1-2주 후에 높은 개체군 밀도를 보인다는 사실 이외에는(Fig. 2), 이들의 출현 양상에서 일정한 규칙성을 아직 규명하지 못 하였다.

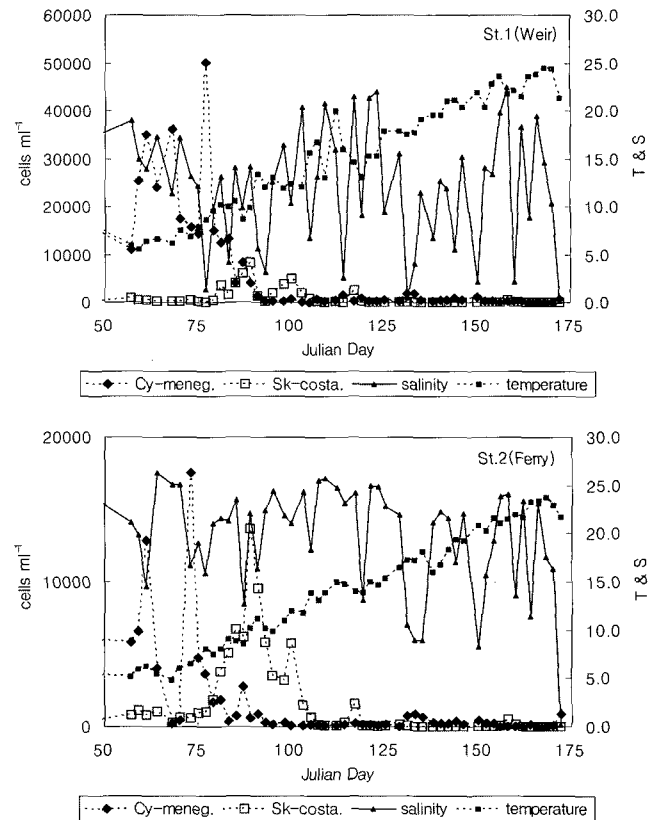
이는, 이 종류가 많은 종속영양 미소생물 및 혼합영양 원생생물 등의 먹이로 이용되어(Yih 등 2004), 본 연구에서 조사한 무생물 환경요인의 변동 이외에도 생물 종간 상호작용에 의해 생물량 증가가 가능한 때문으로 사료된다.

### 식물플랑크톤 주요 우점종의 단주기적 변동을 좌우하는 주요 환경요인

조사 기간 중 식물플랑크톤 우점종의 천이는 대체로 4개의 시간적 구간에 걸쳐 진행되었다(Table 6). 그 첫 번째 구간은 조사가 시작된 2월 중순부터 규조 *Cyclotella meneghiniana*가 절대 우점한 3월 중순까지이며, 다음으로는 3월 중순부터 4월 하순까지 규조 *Skeletonema costatum*가 규조 *Thalassiosira nordenskiöldii*와 동시에 우점한 구간이다(Table 6). 세 번째 구간은 4월 중순에서 5월 말까지로서, 이 구간에는 금강호 담수의 간헐적인 대량방류로 인해(5월 초에 정점1에서는 0.4 psu의 극저염이 나타남) 담수성 남세균류인 *Aphanizomenon flos-aquae*와 *Phormidium* sp.가 불연속적인 우점을 나타내었다. 또한 세 번째 구간의 후반인 5월 중순부터 규조 *Aulacoseira granulata*가 우점종으로 위의 2종과 동시에 출현하여 5월 말까지 순차적인 개체군 증가를 나타내었다. 네 번째 구간인 5월 하순부터 6월 초순 사이에는 규조 *Guinardia delicatula*가 절대 우점하는 특징을 보였다(Table 6).



**Fig. 4.** Semi-weekly fluctuations of water salinity and the abundance of 3 freshwater species (Aul-gran.: *Aulacoseira granulata*, Phorm-sp.: *Phormidium* sp., Aph-flos.: *Aphanizomenon flos-aquae*) in St.1 and St.2 of Keum River Estuary.



**Fig. 5.** Semi-weekly fluctuations of water temperature, salinity and the 2 predominant diatom species (Cy-meneg.: *Cyclotella meneghiniana*, Sk-costa.: *Skeletonema costatum*) in St.1 and St.2 of Keum River Estuary.

우점종 천이 구간 I, II, III, IV 각각의 평균 염분과 평균 수온을 비교하면(Table 6), 수온은 두 정점 간에 차이가 적게 나타난 반면, 각 정점에서 천이 구간 별로 4-5°C씩 뚜렷한 온도 상승을 기록하였다. 염분은 두 정점 간에 차이가 큰 반면, 동일 정점에서 천이 구간 간의 차이는 4 psu 미만으로(정점1에서 1.2 psu, 정점2에서 3.7 psu), 평균 수온에 비하여 평균 염분이 상대적으로 미미한 천이 구간 간의 변동을 나타내었다. 수온의 경우에는 각 천이 구간의 평균값을 우점종의 천이를 설명하기 위한 자료로 활용할 수 있으나, 부정기적인 담수방류의 결과로 1주일 동안에도 2-3 회씩 극심하게 변동한 염분의 경우에는(Figs. 3, 4), 각 천이 구간의 평균값이 아니라 2-3일 주기의 단기적인 염분 변동의 빈도와 수준을 고려하여야 할 것이다. 또한 담수방류에 따른 염분의 감소는 일시적인 담수플랑크톤 유입과 동시에 수중 무기영양염 농도를 불

규칙하게 변화시켜, 천연적인 하구역 식물플랑크톤의 천이 양상을 부분적으로 교란할 수 있다.

천이 구간 I에서(2월 18일 - 3월 23일) 절대 우점한 규조 *Cyclotella meneghiniana*는 담수역에 주로 분포하지만 기수역에서도 흔히 출현하는 종으로서(Tomas 1996), 천이 구간 I에서 정점2보다 염분이 낮은 정점1에서 4배 높은 평균 생물량을 나타내었다(Table 7). 정점1과 정점2에서 수온이 10°C를 초과하기 전까지, 염분과 *Cyclotella meneghiniana*의 생물량의 변동이 서로 정확히 역관계를 나타내었다(Fig. 5). 그러나 수온이 10°C를 초과하는 기간에는 염분 변동과 관계없이 우점 수준 생물량의 1/10 미만의 낮은 생물량을 나타내어, 성장을 위한 임계 수온이 중요함을 알게 되었다(Fig. 5).

두 번째 천이 구간의(3월 19일-4월 26일) 우점 규조 종인 *Skeletonema costatum*과 *Thalassiosira nordenskioldii*는 정점1에 비해 정점2에

**Table 6.** Dominant species and the associated mean salinity and water temperature at each time interval of phytoplankton species succession.

Duration	Dominant species	Mean salinity (psu)		Mean water T. (°C)	
		St.1-surf.	St.2-surf.	St.1-surf.	St.2-surf.
I (18Feb.-23Mar.)	<i>Cyclotella meneghiniana</i>	12.7	20.8	7.6	6.6
II (19Mar.-26Apr.)	<i>Skeletonema costatum</i>	11.9	21.9	12.7	11.3
	<i>Thalassiosira nordenskioldii</i>				
III (14Apr.-31May)	<i>Phormidium</i> sp.	11.5	19.3	17.8	16.4
	<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>				
IV (31May-6Jun.)	<i>Guinardia delicatula</i>	12.7	18.1	21.8	20.9

**Table 7.** Mean abundance of dominant species and mean concentration of inorganic nutrients in surface samples at each time interval of phytoplankton species succession.

Time interval of species succession (T.I.)		T.I.-I 18Feb-23Mar	T.I.-II 19Mar-26Apr	T.I.-III 14Apr-31May	T.I.-IV 31May-6Jun
<b>Mean Abundance of Dominant Species (cells ml<sup>-1</sup>)</b>					
<i>Cyclotella meneghiniana</i>	(St.1)	21908	3527	619	174
	(St.2)	5063	587	262	118
<i>Skeletonema costatum</i>	(St.1)	696	2341	204	137
	(St.2)	1439	3864	162	152
<i>Thalassiosira nordenskiöldii</i>	(St.1)	180	212	1	2
	(St.2)	357	604	1	1
<i>Phormidium</i> sp.	(St.1)	39	214	1009	83
	(St.2)	9	3	293	227
<i>Aphanizomenon flos-aquae</i>	(St.1)	28	396	622	15
	(St.2)	6	6	116	30
<i>Guinardia delicatula</i>	(St.1)	7	2	23	2114
	(St.2)	7	4	128	2857
<b>Mean Concentration of Inorganic Nutrients (mM)</b>					
Nitrogen NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	(St.1)	103.9	81.2	61.3	54.5
	(St.2)	73.7	50.6	47.0	33.0
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N	(St.1)	2.8	2.9	6.2	6.6
	(St.2)	1.9	2.3	1.0	0.2
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	(St.1)	57.4	64.2	23.4	8.0
	(St.2)	33.8	38.9	21.5	13.2
Phosphorus PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	(St.1)	1.6	1.1	0.6	0.5
	(St.2)	1.3	0.7	0.7	0.4
Silica SiO <sub>2</sub> -Si	(St.1)	1.3	0.8	3.2	2.7
	(St.2)	1.0	0.5	2.7	4.5

서 많은 생물량을 나타내었으며(1.6배 및 3배; Table 7), 이 가운데 정점 간 차이가 상대적으로 작은 *Skeletonema costatum*은 광염성 하구종으로, 정점2에서 크게 높은 생물량을 나타낸 *Thalassiosira nordenskiöldii*는 연안종으로 구분할 수 있었다(심 1994). 또한 *Skeletonema costatum*의 경우에는, 염분 변동과 역관계를 보인 *Cyclotella meneghiniana*나 정관계를 나타낸 *Thalassiosira nordenskiöldii* (Figs. 3, 5) 등과는 달리 염분 변동에 따른 생물량 변동이 상대적으로 적게 나타나, 이 종이 연구해역 환경에 잘 적응하였음을 다시 확인하였다. 위 두 종이 우점한 기간의 수온은, 최고 생물량을 보인 10-11°C를 중심으로, 6-16°C의 범위를 벗어나지 못하여(Fig. 5), 이를 적정 성장을 위한 수온 범위로 판단하였다. 천이 구간 I 및 II에서 지속적으로 규조류가 극도로 우점한 결과, 규소 영양염(SiO<sub>2</sub>-Si) 농도가 천이 구간 II에서 최소값을 기록한 이후, 천이 구간 III 및 IV에서 높은 값을 회복하였다(Table 7).

극심한 염분 변동을 보인 천이 구간 III에서(4월 14일-5월 31일) 우점한 남세균 *Aphanizomenon flos-aquae*와 *Phormidium* sp. 및 규조 *Aulacoseira granulata*는 모두 담수종으로서, 담수방류에 따른 염분의 감소와 매우 밀접한 생물량 변동을 나타내었다(Fig. 4). 이 기간 중에는, 위의 3종과 함께 규조 *Cyclotella meneghiniana*와 *Skeletonema costatum*이 비교적 낮은 수준의 생물량을 기록하며 공존하였을 뿐 기타 뚜렷한 우점종들이 없으므로, 천이 구간 III에서는 전형적인 연안종이나 하구종들은 성장하기 곤란한 수준의 저염분 스트레스가 가해진 것으로 판단된다.

아질산(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N)과 규소(SiO<sub>2</sub>-Si)를 제외한 무기질소 및 무기인

영양염 농도가 최저를 기록한(Table 7) 천이 구간 IV에서(5월 31일-6월 6일) 규조 *Guinardia delicatula*가 절대 우점하였는데, 정점2에서 생물량이 정점1에 비해 1.4-5.6 배에 달하여, 이 종은 하구종-연안종의 특성을 나타내었다. 또한 수온 18°C 이하인 시기에는 단일 시료 내 우점률이 3% 이하로써, 연구해역에서 *Guinardia delicatula*가 적정하게 성장하기 위한 수온 하한이 18°C임을 확인하였다.

#### 금강 하구역 식물플랑크톤의 천이 연구를 위한 현장조사의 적정 주기 및 빈도

춘계 대변식 기간 중에 금강 하구역 식물플랑크톤 군집의 단주기적인 변동을 조사하여, 식물플랑크톤 우점종의 천이현상과 주요 환경요인들과의 관련성을 규명하기 위해 본 연구를 수행하였다. 춘계 4개월 동안 53회에 걸친 약 2일 간격의 만조 시 현장조사를 통해 자료를 획득하고 시료를 채취하여 분석한 결과, 우점종의 천이를 결정하는 주요 요소로서 1) 각 우점종의 성장을 위한 적정 수온 범위 2) 염분 변동의 폭 및 빈도에 따른 염분 스트레스 수준 3) 각 우점종의 저염/고염 내성 및 염분급변 스트레스에 대한 적응력 4) 공존하는 종들 간의 성장 경쟁 등이 있음을 확인하였다. 특히, 우점종 가운데에는 그 종의 생물량 변동 양상을 파악하기 위하여 적어도 1-2일 간격의 시료 채취가 반드시 요구되는 경우가 있음을 알게 되었다(우점 기간이 5-10일 정도인 경우: 예, 담수의 대량방류에 따라 염분이 급감하는 기간에만 간헐적으로 우점하는 남세균류 *Aphanizomenon flos-aquae* 및 *Phormidium* sp. 및



**Table 8.** Sampling interval and frequency in previous studies on phytoplankton ecology in the vicinity of KRE(=Keum River Estuary).

Location	Sampling			Research purpose (Reference)
	Interval	Station	Duration (month)	
Daeya Do (Cheonsu Bay)	monthly	1	60	Seasonal variation (Kurashige 1943)
Keum River Estuary	2 weeks	2	6	Species succession (Kurashige 1944)
Kunsan-Cheonsu Bay	-	36	-	Species distribution (Yoo 1962)
southeastern Yellow Sea	-	28	-	Species distribution (Lee <i>et al.</i> , 1967)
Kunsan-Ochong Do	monthly	7	3	monthly variation (Kim & Kim 1978)
KRE-Osik Do	monthly	6	6	Ebb-flood variation (Kim & Cho 1970)
Keum River Estuary	hourly	2	25h	Tidal cycle & community (Shim & Yang 1982)
KRE-Sunyoo Do	-	6	-	Ebb-flood variation (Shim & Yang 1982)
southeastern Yellow Sea	6 months	24	12	Phytohydrography (Shim & Yoo 1985)
KRE (KangKyung-Osik Do)	2 weeks	21	1	Tidal excursion & community (Lee <i>et al.</i> , 1988)
KRE (KangKyung-Osik Do)	2 weeks	21	1	Salinity tolerance (Lee <i>et al.</i> , 1990)
KRE (Inner Port)	weekly	1	12	Species succession (Kim <i>et al.</i> , 2004)
KRE (Weir-Inner Port)	2 days	2	4	Freshwater discharge & species succession (present study)

규조 *Aulacoseira granulata* 등의 담수종과, 천이 구간 IV에서 약 1주일 간 우점을 나타낸 규조 *Guinardia delicatula* 등).

그러나, 동일한 연구해역에서도 규명하고자 하는 연구대상에 따라서 현장조사의 주기 및 빈도는 얼마든지 달라질 수 있다. Dauvin 등(1998)은 반일 주조가 우세한 English Channel의 Seine 해역에서 동물플랑크톤 군집 변동에 대한 Tidal Vertical Migration의 영향을 조사하기 위하여, 92시간 동안 1시간 간격으로 시료를 연속 채집하였다. 이와는 대조적으로, Dias(1999)는 브라질 Espirito Santo 만에서 요각류 *Acartia lilljeborgi* 개체들의 기형현상을 우기(3월)와 건기(9월)로 구분하여 연구하기 위하여, 연중 2회 현장 조사를 실시하였다. 하구역 및 연안역 담수플룸 내에서 동물플랑크톤의 섭식활동에 따라 식물플랑크톤 군집에 미치는 영향에 관한 연구(Sautour 등 1996; Sautour 등 2000; Tan 등 2004)에서는 매일 현장조사를 수행하기도 하였다.

금강 인근 해역에 대한 기존 연구에서도 대상이 되는 현상의 특성에 따라 현장조사 주기와 빈도를 크게 달리함을 알 수 있다 (Table 8). 즉, 1-2개 고정점에 대한 1 시간 간격 시료 채취로부터 (Shim & Yang 1982, Table 8) 다수 정점에 대한 2회 현장조사에 이르기까지 (Shim & Yoo 1985, Table 8) 매우 다양한 기존 연구사례가 있다. 결론적으로, 금강 하구역과 같이 반일 주조가 뚜렷하고, 하구언 수문조작에 따라 불규칙한 담수방류 영향을 받는 연안역에서 식물플랑크톤의 천이현상을 연구하기 위해서는, 매 만조 시에 매일-격일 간격으로 수행하는 현장 조사가 기본적으로 요구된다 하겠다.

## 사 사

군산대학교 해양개발연구소의 “연구진흥을 위한 2003 특별연구사업비” 지원을 받아 본 연구를 수행하였습니다. 미흡한 초고를 가다듬어 주시고 세밀히 심사해 주신 군산대학교 박종규 전남대학교 박명길 두 교수님께 감사드리며, 연구기간 동안 열심히 도와준 군산대학교 대학원 해양학과 박종우 김미선 동학에게 참 고마움을 표합니다.

## 참고문헌

- 권효근, 이상호, 1999. 하구언 수문작용으로 인한 금강 하구역의 물리적 환경변화 I. 평균해면과 조석. 한국 해양학회지 바다, 4: 93-100.
- 김영길, 조유숙. 1970. 금강 하구의 Micro-plankton량과 조성변화에 관하여(1). 군산수전논집 4: 23-36.
- 김영길, 김종배. 1978. 춘계 금강하류역의 수질 및 Diatom의 조성변화에 관하여. 군산수전연보 12: 9-17.
- 김형섭, 김영길, 양재삼, 이원호. 2004. 곰소만과 금강하구역에서 광합성 섬모류 *Mesodinium rubrum* 개체군의 변동. 한국양식학회지 “바다” 9(4): 164-172.
- 심재형. 1994. 한국동식물도감. 제 34권 식물편(해양식물플랑크톤). 교육부. 487면.
- 양재삼, 정주영, 허진영, 이상호, 최진용. 1999. 금강하구의 물질수지 1. 영양염의 계절적 분포. 한국해양학회지 “바다”, 4: 71-79.
- 유성규. 1962. 1961년 9월 충청남도 연안(어청도·천수만·군산지역)에 있어서 Microplankton의 양 및 조성에 대한 연구. 농림부 중앙수산시험장. 간석지 기본조사 보고, 2: 57-72.
- 이상호, 최현용, 손영태, 권효근, 김영근, 양재삼, 정해진, 김종규. 2003. 하계 서해안 새만금 연안역 주변 저염수와 순환. 한국해양학회지 “바다”, 8: 138-150.
- 이상호, 최현용, 권효근. 2001a. 하구언 수문 작용으로 인한 금강 하구역의 물리적 환경 변화: III. 저염수의 조석동조. 한국해양학회지 “바다”, 6: 115-125.
- 이상호, 권효근, 최현용, 양재삼, 최진용. 1999. 하구언 수문작용으로 인한 금강 하구역의 물리적 환경변화 II. 염분구조와 하구유형. 한국 해양학회지 바다, 4(4): 255-265.
- 이상호, 최현용, 오임상. 1995. 하계 금강 plume의 구조와 변동. 한국해양학회지, 30: 125-137.
- 이용혁, 양재삼. 1997. 금강하구역에서 영양염류, 엽록소, 부유물질과 염분변화에 대한 500일간의 연속관측. 한국해양학회지 “바다”, 2: 1-7.
- 이원호. 1990. VII. 식물플랑크톤. 영산호 외측 해조류양식장의 어

- 업피해조사 보고서(김중래, 정종률, 정의영, 최문술, 이원호, 조응현, 이진형 공저). 군산대학 해양개발연구소. 393-558.
- 이원호, 이상호, 장진호, 1990. 고군산군도 주변해역의 해양학적 기초 연구 1. 해수특성, 표층 퇴적물 및 식물플랑크톤 군집. 군산대학교 해양개발연구, 2: 61-81.
- 이원호, 조봉곤, 이광훈, 최현용. 2001b. 새만금해역 저염수괴의 해양생태계에 대한 영향 연구 -금강하구의 담수플룸의 영향을 중심으로- 해양수산부 KSGP보고서. 115면.
- 최진용, 최현용, 서만석. 1995. 하구인 갑문폐쇄 후 금강하구역의 물리, 퇴적학적 특성 변화. 한국해양학회지, 30: 262-270.
- 최현용, 이상호, 유광우, 1999. 금강하구인 대량방류시 황해 중동부 해역의 염분분포. 한국해양학회지 바다, 4: 1-9.
- 倉茂英次郎. 1943. 鮮黃海側及び南鮮における浮游性珪藻の定量竝に質的特性. 第一報, 昭和 12年 乃至 16年 定量成績. 朝鮮總督府水産試驗場報告 8號: 1-114.
- 倉茂英次郎. 1944. 鮮黃海側及び南鮮における浮游性珪藻の定量竝に質的特性. 第二報, 昭和 17-18 年 沿岸各地成績に滿洲國及び關東洲沿岸比較. 日本海洋學會誌, 3(4): 254-276.
- Dauvin, J., E Thiebaut and Z Wang. 1998. Short-term changes in the mesozooplanktonic community in the Seine ROFI (Region of Freshwater Influence) (eastern English Channel). Journal of Plankton Research, 20: 1145-1167.
- Dias, C.O. 1999. Morphological abnormalities of *Acartia lilljeborgi* (Copepoda, Crustacea) in the Espírito Santo Bay (E.S. Brazil). Hydrobiologia, 394: 249-251.
- Grasshoff, K., K. Kremling and M. Ehrhardt (Eds.), 1999: *Methods of Seawater Analysis*, 3rd Ed., Weinheim; New York: Wiley-VCH. 600 pp.
- Lee, M.J., J.H. Shim and C.K. Kim. 1967. Studies on the plankton of the neighboring seas of Korea. Part 1: on the marine conditions and phytoplankton of the Yellow Sea in summer. Reports from Inst. Mar. Biol., Seoul National University I: 6: 1-14.
- Lee, W.H., K.R. Kim and M.S. Choi. 1988. Phytoplankton distribution and environmental factors in lower Keum River during spring season. In: Proceedings of the 4th International Symposium, "The eutrophication and conservation of water resources". Institute of Han River, Kangwon National University. 162-182.
- Pae, S.J. 1995. Phytoplankton dynamics on a short time scale in Masan Bay. Ph.D. thesis, Department of Oceanography, Graduate School, Seoul National University. 84pp.
- Sautour, B., F Artigas, A Herbland and P Laborde. 1996. Zooplankton grazing impact in the plume of dilution of the Gironde estuary (France) prior to the spring bloom. Journal of Plankton Research, 18: 835-853.
- Sautour, B., L.Felipe Artigas, Daniel Delmas, Alain Herbland and Pierre Laborde. 2000. Grazing impact of micro- and mesozooplankton during a spring situation in coastal waters off the Gironde estuary. Journal of Plankton Research, 22(3): 531-552.
- Shim, J.H. and J.S. Yang 1982. The community structure and distribution of phytoplankton of the Kum River Estuary. J. Oceanol. Soc. Korea, 17: 1-11.
- Shim, J.H. and S.J. Yoo. 1985. Phytoplankton community off the coast of Kunsan, Korea. J. Oceanol. Soc. Korea, 20: 31-42.
- Tan, Y., L. Huang, Q. Chen and X. Huang. 2004. Seasonal variation in zooplankton composition and grazing impact on phytoplankton standing stock in the Pearl River Estuary, China. Continental Shelf Research, 24(16): 1949-1968.
- Tomas, C.R. (ed.) 1996. Identifying marine diatoms and dinoflagellates. Academic Press. 598pp.
- Yih, W., H.S. Kim, H.J. Jeong, G. Myung, Y.G. Kim. 2004. Ingestion of cryptophyte cells by the marine photosynthetic ciliate *Mesodinium rubrum*. Aquat. Microb. Ecol. 36: 165-170.

2005년 7월 29일 원고접수

2005년 8월 16일 수정본 채택

담당편집위원: 정익교