

Article

새만금 방조제 완공 이전 만경강 하구역 식물플랑크톤 군집의 주기적인 변동

김영길¹ · 박종우² · 장건강² · 이원호^{2*}

¹한국중합환경연구소
(426-857) 경기도 안산시 상록구 이동 634-1
²군산대학교 해양과학대학
(573-701) 전라북도 군산시 미룡동 산 68

Cyclic Change of Phytoplankton Community in Mankyeong River Estuary prior to the Completion of the Saemankeum Seawall

Young Geel Kim¹, Jong Woo Park², Keon Gang Jang², and Wonho Yih^{2*}

¹*Korea Environmental Technology Consulting Hotline
Ansan 426-857, Korea*

²*Department of Oceanography
Kunsan National University, Kunsan 573-701, Korea*

Abstract : Eutrophicated water fed through Mankyeong River and Dongjin River into the new Saemankeum Lake might seriously affect the water quality and phytoplankton community in the lake. To obtain control reference data for the later studies on environmental changes due to the construction of the Saemankeum Sea Wall, we performed a monthly investigation on the physico-chemical properties of the water and phytoplankton community at 3 stations in the Mankyeong River Estuary over 14 months starting from September 1999. Water temperature ranged from 0.3~32.9°C due to the typical seasonal variations in temperate on the coasts and salinity exhibited a wide annual range of 0.2~33.7 psu along with regular and huge hourly variations according to tidal cycles. Inorganic nutrients were supplied from rivers to the monitoring station and the whole lake. The average concentration of total-N, 6.99 mg·l⁻¹, was higher than the water quality for agricultural use with peak values occurring in winter. Species composition showed a seasonal succession pattern, where a high diversity was observed in summer and autumn and vice versa in winter. Hourly variations of water properties in the "Mankyeong bridge" Station were quite regular and well in accordance with the daily tidal cycles. The different degree of sea water intrusion during the flood tide at each of the 3 stations exhibited a different range and variation pattern of water temperature and salinity throughout a day. Hourly changes in species composition were in harmony with the daily tidal cycles, resulting in extremely variable spatio-temporal variation.

Key words : phytoplankton, Saemankeum Sea Wall, diversity, tidal cycle, hourly variation

1. 서 론

새만금 담수호의 주요 유입 하천인 만경강과 동진강의 상부 하구역은 새만금방조제 완공으로 인해, 기존의 염분

환경과 플랑크톤 생태계가 급격한 변동을 나타낼 것으로 예상되었던 수역이다. 특히, 만경강은 동진강에 비해 수중 질소와 인 등의 무기영양염 농도가 더 높아(윤 등 2002), 신생 새만금호의 부영양화/과영양화를 저감하기 위한 대책을 위한 빈번한 연구의 대상이다. 새만금 간척사업 착공 이전에도 미소편모류(심 등 1995a), 식물플랑크톤(심 등

*Corresponding author. E-mail : ywonho@kunsan.ac.kr

1991a), 섬모충류(심 등 1995b), 동물플랑크톤(서 등 1991), 저서동물(안과 고 1992), 난과 자치어(차와 박 1991) 등의 생물학적 연구와 저질토의 중금속 함량(소 등 1991), 새만금 연안역 주변의 저염수와 순환(이 등 2003)에 관한 연구가 만경강 하구에서 이루어진 바 있다. 그리고, 만경강 감조구간 수질의 동적 수치모델의 수립(서 1991), 만경강 수계의 수질환경기준 적정성 평가(신과 김 2002), 만경강 상부 주요 하천의 영양염류 함량(윤 등 2002) 등과 같은 만경강 하구역의 수질과 관련된 보고들이 있다.

전체 33.5 km의 새만금방조제 구간의 60%인 19.1 km를 축조한 후, 공사를 일시 중단한 기간(환경문제에 대한 추가대책 수립을 위해 민관공동조사를 수행한 기간: 1999년 5월~2001년 4월)에 본 연구의 현장조사가 수행되었다. 본 연구를 통해, 새만금 간척사업 초기 하구역의 특성을 잘 반영하는 만경대교 지점에서, 하구역 해수의 이화학적 특성치 및 식물플랑크톤 군집의 1) 일중 조석주기적 변동성과 2) 연중 계절 주기적인 변동성을 보고하고자 하였다. 이러한 연구 결과는 새만금 방조제 완공 이후 만경대교 지점 및 신생 새만금호 수질의 변동을 비교 연구하기 위한 이전의 기준점을 제시하는 자료로 활용될 것이다.

2. 재료 및 방법

조사 수역 및 정점

만경강 하구역에 3개 정점을 설정하여 조사하였으며, 그 가운데 만경대교 정점에서 집중적인 현장조사를 실시하였고, 만경대교의 자료를 나머지 2개 정점의 자료와 비교하였다. 즉, 상부 목천교의 “정점 1”과 중간 만경대교 지점의 “정점 2” 그리고 최 외측 망해사 지점의 “정점 3” 등을 선정하여, 1999. 9월~2000. 10월 사이에 총 13회에 걸친 월별 조사를 실시하였다(Fig. 1). 특히 만경대교 정점

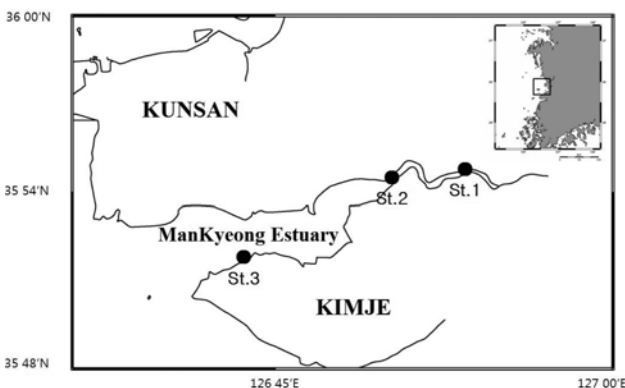


Fig. 1. Map showing the sampling stations at Mankyong River Estuary. ST.1: Mokcheon-Poh Bridge (MC), ST.2: Mankyong Bridge (MK), ST.3: Manghae-Sah (MH).

에서는 매월 1회씩 4시간 간격으로 24시간 동안 연속 조사를 실시하였다. 특히, 2000년 6월에는 간·만조에 따른 영향을 정밀하게 알아보기 위해 1시간 간격으로 24시간 동안 연속 조사를 실시하였다.

물리·화학적 특성

강수량은 기상청의 자료를 인용하였다. 수온과 용존산소는 DO Meter(YSI, Model 58), 염분은 Salinometer(YSI, Model 30)를 이용하여 현장 측정에 이용하였다. 고형부유물질(Suspended Solids)은 현장에서 Hand vacuum pump를 이용하여 Whatman GF/C filter(직경 47 mm 유효공 1.2 μ m)를 통해 시료를 흡입 여과한 후, 건조중량을 측정하였다(APHA 2005). 총인은 여과하지 않은 시료를 사용하여 Standard Methods(APHA 2005)의 persulfate digestion 후 ascorbic acid법으로 측정하였으며, 총질소는 카드뮴-구리 환원관을 이용한 환원법으로 분석하였다(BRAN+LUEBBE, AutoAnalyzer3). 엽록소-a 농도는 시료를 여과지에 여과한 후 그 여과지를 90%의 acetone으로 추출하여 분광광도계(Shimadzu UV-120-02)의 흡광도에 의해 농도를 구하였다.

식물플랑크톤

식물플랑크톤 표층(0.5 m 수층) 시료를 현장에서 Niskin Sampler로 채수하고, 그 중 500 ml(Polyethylene Bottle)를 Lugol's solution으로 고정하였다. 일주일 이상 암실에서 정치한 후, 미세 siphon으로 상등액을 제거하여 시료를 농축하였다. 세포 농도를 분석하기 위해 Sedgwick-Rafter counting chamber에 농축시료 1 ml을 담아 광학현미경(Olympus BH-2)에서 계수한 후, 실제 현장 농도로 환산하였다.

3. 결과 및 토의

하구수 특성의 연중 변화

강수량

만경강 하류역에 위치한 전주와 군산의 월별강수량(Fig. 2)은 풍수기인 6월과 9월 사이에 집중되어 있어, 11월부터 다음해 5월 사이에는 갈수기에 해당되는 50 mm 이하의 값을 기록하였다. 이에 따라, 10 psu의 평균 등염분선이 갈수기에는 정점 1과 2의 중간에, 풍수기에는 정점 2와 3의 중간에 위치하는 극심한 연중 변화가 나타났다(Fig. 3).

염분

염분은 하구역의 환경 요인 중 가장 큰 변동성을 보이는 요소의 하나이다. 조사한 3개 정점을 통합한 염분의 연

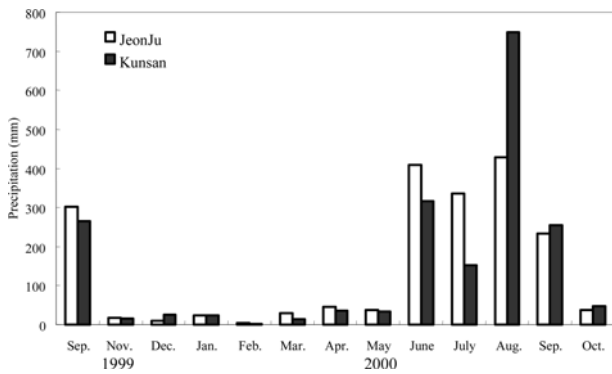


Fig. 2. Monthly precipitation (mm) in Jeonju and Kunsan during 14 months from September 1999 (Korea Meteorological Administration, 2008).

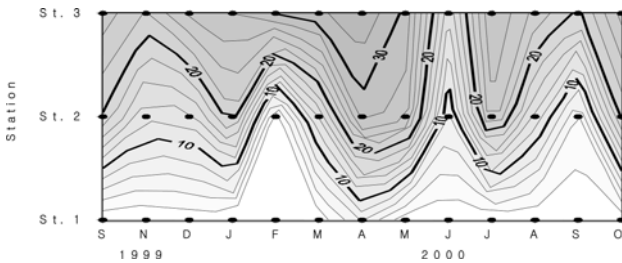


Fig. 3. The variation of monthly mean salinity (psu) in Mankyeong River Estuary (ST.1: MC, ST.2: MK, ST.3: MH).

중 총 평균값은 9.0 psu으로, 시료의 단위 측정치는 최소 0.2 및 최대 33.7 psu의 넓은 범위를 나타내었다(Fig. 3). 염분의 연중 변화는 정점간에 뚜렷한 차이를 나타냈다. 정점 별 염분의 연중 총 평균값은 정점 3에서 25.4, 정점 2에서 7.3, 최상류의 정점 1에서는 0.8 psu를 기록하였다(Fig. 3). 동일 정점에서 일일 평균 염분의 연중 변동을 계산한 결과, 정점 2에서 23.1 psu(2000년 1월 0.79 및 2000년 4월 23.9)의 최대값을 기록하였으며, 정점 3에서 16.8 psu(2000년 6월 14.5 및 2000년 4월 31.3)의 중간 값을, 그리고 정점 1에서는 4.0 psu의 극히 낮은 값을 나타내었다. 따라서 3개 정점 가운데 중간 정점인 “만경대교 정점(정점 2)”에서 가장 극심한 염분의 연중 변화를 확인하였으며, 이에 따라 식물플랑크톤의 연중 변동성이 좌우 될 것으로 판단하였다.

연속 7회 관측한 염분의 일일 평균값의 연중 변동성이 가장 뚜렷했던 정점 2에서, 24시간 주기의 일중 염분 변동성 역시 가장 극심하였다(Fig. 4). 정점 2에서, 월별 표준 오차(SEM)는 2000년 7월에 가장 큰 값을 보였으며, 이때 염분의 실측치는 0.6~25.5의 극단적인 일일 변동 폭을 기록하였다(Fig. 4). 결과적으로, 조사 대상 3개 정점의 중간에 위치한 정점2(만경대교 정점)에 서식하는 식물플랑크톤 군집은 조석주기에 따른 극단적인 일중 염분 변화와

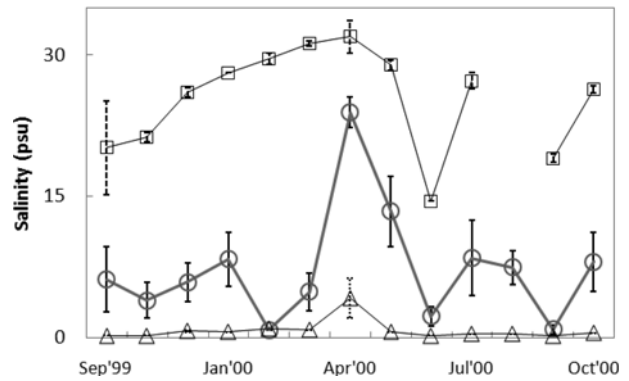


Fig. 4. Daily mean and SEM of salinity measurements at Station “Mankyeong Bridge” (○, ST.2), “Manghae-Sah” (□, ST.3), “Mokcheon-Poh Bridge” (△ ST.1:) during 14 months from September 1999.

매월 큰 폭으로 변동되는 연중 불규칙한 염분 환경에 처하였다고 판단된다.

이러한 결론은 이전의 연구 다른 결과에서도 이미 시사된 바 있으며, 본 연구에서는 새만금 방조제 완공 이전 만경강 하구역 염분 환경의 변동성을 시·공간적으로 보다 정밀하게 정량적으로 분석하여 그 결과를 제시하게 되었다. 서와 김(2000)에 의하면 새만금 해역에서 월평균 염분 범위는 22.1~29.6 psu로 나타나 하구 안쪽이 유입수의 영향으로 낮고, 외해로 갈수록 높은 경향을 보이며, 이 등(1993)은 낙동강 하구역에서 염분 범위는 0.02~32.0 psu로 변화폭이 매우 크다 하였다. 만경강 하구역은 갈수기와 풍수기 사이의 염분 분포 양상이 뚜렷이 구분되며, 가을에서 초봄까지는 상당히 상류까지 해수가 침입하고 봄에서 여름에는 담수의 영향이 크다(심 등 1991a). 염분은 담수의 유입, 조석, 증발, 깊이에 따라 크게 변하며, 서해의 하구역에서는 우기인 하계에 염분이 낮고 건기인 동계에 염분이 높으며, 염분 변화가 조석변화에 따라 주기적으로 일어난다(고 등 2002). 만경·동진강 유역에서는 염분이 0.7~31.7 psu의 범위로 시기와 정점 간에 차이가 크다(심 등 1991b). 금강 하구역에서 염분 농도는 외해 쪽으로 갈수록 증가하며 염분췌기(salt wedge) 현상으로 저층수가 표층수보다 전반적으로 높은 농도를 보이는 것으로 보고되었다(김 등 1998).

수온

수온은 여름철에 높고 겨울철에 낮은 전형적인 온대역의 계절변화 양상을 보인다. 수온은 평균 17.0°C로, 0.3°C~32.9°C 범위로 나타났으며, 계절별로는 6월 이후 20°C 이상의 고온을, 11월 이후 10°C 이하의 저온 분포를 보였다(Fig. 5). 정점별로 보면 수심이 얕은 상부 목천교 정점에서 평균 19.5°C로, 외해측 망해사 정점의 평균

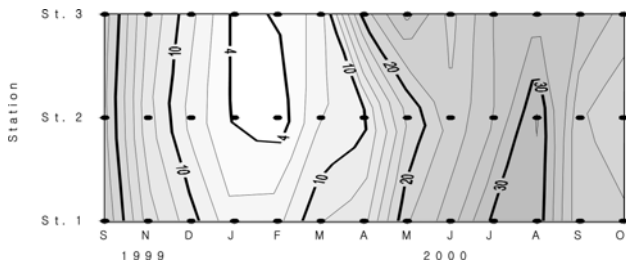


Fig. 5. The variation of monthly mean water temperature (°C) in Mankyong River Estuary (ST.1: MC, ST.1: MK, ST.3: MH).

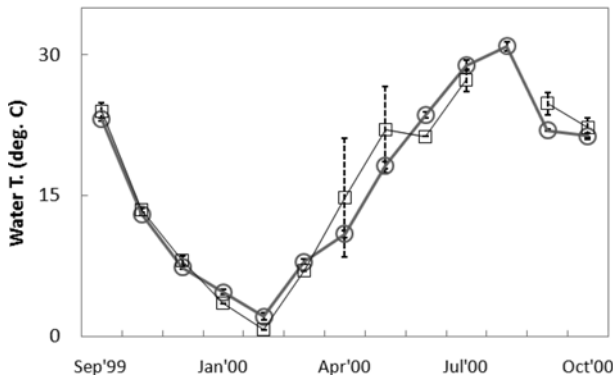


Fig. 6. Daily mean and standard error of water temperature measurements at stations "Mankyong Bridge" (○, ST.2) and "Manghae-Sah" (□, ST.3) during 14 months from September 1999.

15.8°C에 비해 높았다(Fig. 5). 조석에 따른 변화 양상을 보면, 갈수기(2000년 4월, 5월)에는 해수가 하구역의 상부까지 침입하여, 외해측의 망해사 정점에서 연속 7회 관측한 염분의 일중 수온의 표준오차가 매우 크다(Fig. 6). 중간 지점인 만경대교 정점에서는 일중 수온의 표준오차가 연중 매우 작게 나타나(Fig. 6), 염분의 극심한 일중 변동을 보인(Fig. 4) 것과는 대조를 보였다. 따라서 만경대교 정점은 조석에 따른 일중 염분의 변화가 매우 극심하나, 수온의 일중 변동은 외해측의 망해사 정점에 비해 적은 환경이다. 이러한 결과는 보존성의 염분과 비보존성인 수온의 조석에 따른 하구역 내 변동을 잘 반영하고 있다 할 수 있다(Fig. 4, 6).

서와 김(2000)에 의하면 새만금 해역에서 월 평균 수온 분포는 2.7~26.6°C로 본 연구 결과의 수온 범위 내에 있었다. 본 연구 결과 수온의 범위가 더 넓은 것은, 상대적으로 수심이 더 작은 정점에서 조사가 이루어진 것 때문이라 판단된다.

총질소 및 총인

수질 및 부영양정도의 판단기준이 되는 총질소 및 총인 농도는 정점간, 계절간에 극심한 차이를 나타내었다(Fig.

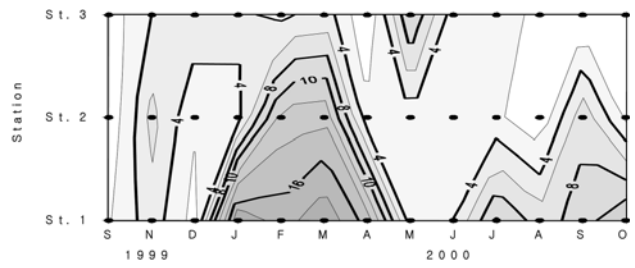


Fig. 7. The variation of monthly mean total nitrogen (mg·l⁻¹) in Mankyong River Estuary (ST.1: MC, ST.2: MK, ST.3: MH).

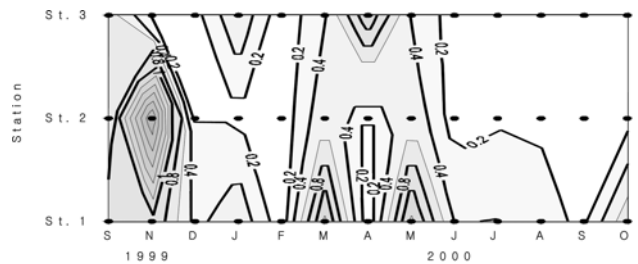


Fig. 8. The variation of monthly mean total phosphorus (mg·l⁻¹) in Mankyong River Estuary (ST.1: MC, ST.2: MK, ST.3: MH).

7, 8). 총질소 농도는 평균 6.99 mg·l⁻¹로, 평균적으로 농업용수 기준인 1.0 mg·l⁻¹를 초과하는 값을 보였다(Fig. 7). 정점별로 보면 최상부 목천교 정점에서 평균 9.0 mg·l⁻¹, 중간지점인 만경대교 정점에서 평균 7.0 mg·l⁻¹, 최외측 망해사 정점에서는 평균 4.23 mg·l⁻¹로 나타나 상류에서 하류로 갈수록 점차 감소하는 경향을 보였다(Fig. 7). 계절별로는 겨울철과 초봄(2000년 1-3월) 및 가을(9-10월)에 걸쳐 높은 농도를 보였다(Fig. 7). 이전 연구에서 만경강 본류의 총질소 농도는 3.78~12.68 mg·l⁻¹ 수준이며(윤 등 2002), 새만금 해역에서 용존유기질소(DON)는 정점별로 하천수가 유입되는 하구 안쪽이 높고 외해로 갈수록 급격히 감소하는 경향을 보이며 동진강에 비해 만경강 유입 정점에서 특히 높은 것으로 보고하였다(서와 김 2000). 총인 농도는 평균 0.44 mg·l⁻¹로, 평균적으로 농업용수 기준인 0.1 mg·l⁻¹를 초과하였다. 정점별로는 상부 목천교(정점 1)에서 평균 0.53 mg·l⁻¹, 만경대교(정점 2)에서 평균 0.42 mg·l⁻¹ 그리고 최 외측 망해사(정점 3)에서는 평균 0.36 mg·l⁻¹ 등으로, 총인 농도 역시 하류로 갈수록 점차 감소하는 경향을 나타내었다(Fig. 8). 계절별로는 봄(년 3-5월)과 가을(10-11월)에 걸쳐 높은 농도를 보여(Fig. 8), 총질소 농도의 계절적인 변동과는 1-2개월 늦은 위상을 나타내었다. 또한, 상류 정점과 하류 정점간의 총인 농도 변화폭은 총질소의 변화폭에 비해 작았다. 이전 연구에서 새만금 해역에서 본 조사 결과에 비해 높은 농도인 월 평균 총인 농도가 1.322~2.966 mg·l⁻¹(서와 김

2000)로 보고된 바 있다. 본 조사 정점보다 더 외해측의 하구역에서 조사를 실시한 심 등(1991b)은 겨울철에 1.0 내외의 낮은 N/P 비율을 확인하여, 겨울철에는 하구 연안 역에서는 질소계 영양염이 제한요인으로 작용하고 봄과 여름에는 인산염이 제한 요인으로 작용할 수 있다고 논의 하였다(심 등 1991b). 만경강 수역에서 분리된 질소 고정 능력이 있는 *Anabaena* CB-MAL21을 질소와 인의 농도 구배에 따라 배양 실험한 결과, 질산염 농도의 5개 농도 범위에서는 거의 균등한 최대 생물량 및 성장률을 보였으나, 인산염의 5개 농도 범위에서는 인의 농도가 증가할수록 최대생물량 및 성장률이 증가하여, 인 영양염의 제한이 뚜렷함을 확인하였다(김 등 2001).

식물플랑크톤의 연중 변화

엽록소-a

모든 조류(algae)의 광합성 색소인 엽록소-a의 농도는 전체 평균 $26.3 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 로 비교적 높게 나타났다. 엽록소-a의 월평균 농도 분포에서는 연중의 월별 변동이 한 시점에서의 공간적인 변동보다 더욱 크고 명확하게 나타났다 (Fig. 9). 전체적으로 봄철에는 고염성 외측정점에서 연안성 규조류에 의한 고농도(Fig. 11), 여름철에는 상류측 저염 정점에서 담수성 녹조류와 남조류에 의해 고농도를 보였다(Fig. 12). 봄철 높은 엽록소-a 농도를 보인 3월에는 (Fig. 9) 총질소 농도의 연중 최고치와 총인 농도의 연중

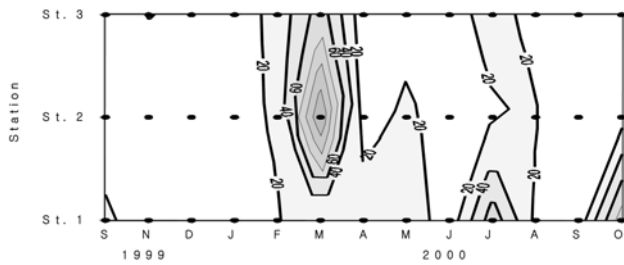


Fig. 9. The variation of monthly mean chlorophyll-a ($\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$) in Mankyeong River Estuary (ST.1: MC, ST.2: MK, ST.3: MH).

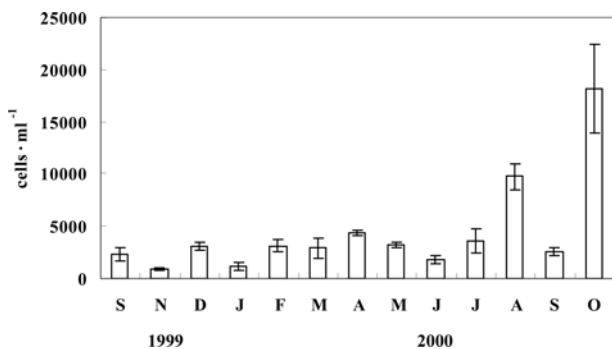


Fig. 10. The variation of phytoplankton abundance ($\text{cells} \cdot \text{ml}^{-1}$) in Mankyeong River Estuary (Mean±SE).

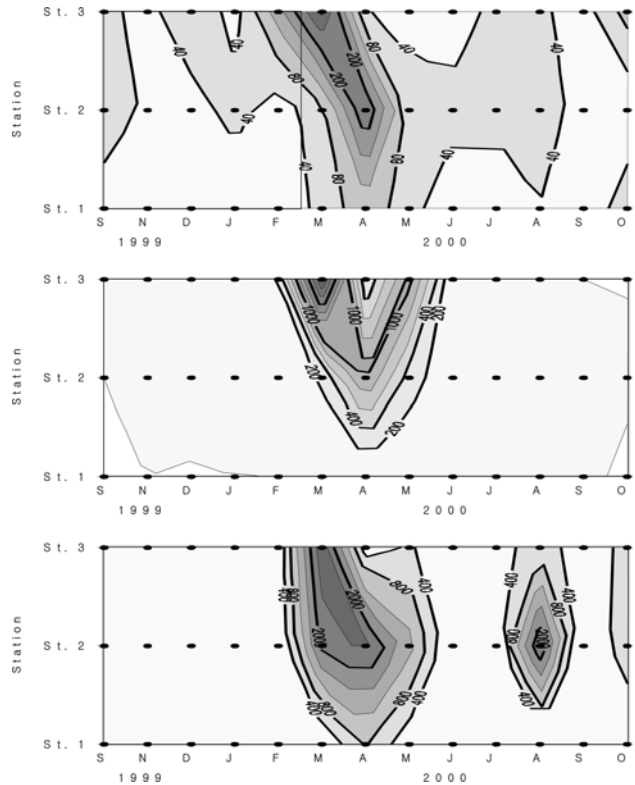


Fig. 11. The variation of monthly mean abundance ($\text{cells} \cdot \text{ml}^{-1}$) of dominant diatoms in Mankyeong River Estuary (ST.1: MC, ST.2: MK, ST.3: MH). (top) *Paralia sulcata*. (middle) *Plagiogramma vanheurckii*. (bottom) *Thalassiosira* sp..

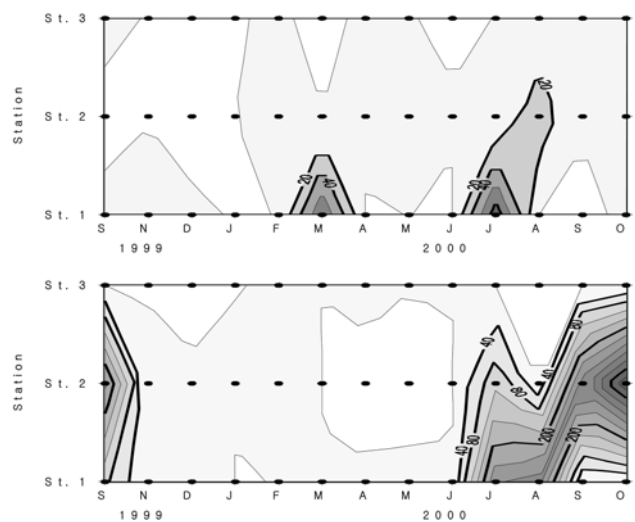


Fig. 12. The variation of monthly mean abundance ($\text{cells} \cdot \text{ml}^{-1}$) of dominant cyanobacteria in Mankyeong River Estuary (ST.1: MC, St.2: MK, St.3: MH). (top) *Anabaena* sp.. (bottom) *Microcystis* spp..

두 번째 peak가 중복되어 나타났다. 심 등(1991b)은 만경·동진강 하구역에서 식물플랑크톤의 성장은 담수의 유입이 적은 가을과 겨울철에는 외해로부터 유입되는 수괴에 의해, 담수의 유입이 많은 봄과 여름에는 담수의 유입에 의해 주로 영향을 받는 것으로 보고하였다. 새만금 해역에서 엽록소-*a*의 월평균 농도 범위는 $4.89\sim 16.03\text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (서와 김 2000)로, 본 조사에 비해 낮았는데, 이는 해당 조사 정점이 본 조사에 비해 하류 지역에 분포한 때문으로 판단된다.

식물플랑크톤의 종조성

하구역은 담수종과 해양종이 함께 출현하는 수역으로 식물플랑크톤이 매우 다양하고 시공간적인 변동이 큰 환경이다. 만경강 하구역의 3개 정점에서 확인된 식물플랑크톤은 모두 377분류군이였다. 이 중, 규조류가 205종으로 54.4%의 가장 높은 조성 비율을 나타냈으며, 다음으로 녹조류 106종(28.1%), 남조류 27종(7.2%), 와편모류 17종(4.5%), 유글레나류 13종(3.4%) 순이었다. 그 밖에, 규질편모조류 3종과 미세편모조류 등이 관찰되었다. 심 등(1991a)은 식물플랑크톤 160종을, 오(1994)는 만경·동진강 수역에서 267분류군으로 보고하였으며 다른 분류군에 비해 와편모류를 다양하게 보고하였다.

연중 출현하는 보편종 가운데 우상(pennate) 규조로는 담수성 *Achnanthes*, *Navicula*, *Nitzschia*, *Pinnularia* 등과 *Aulacoseira*, *Fragilaria*, *Synedra*, *Plagiogramma vanheurckii* 등을 확인하였다. 중심(centric) 규조류 중에서는 *Cyclotella*, *Stephanodiscus*, *Coscinodiscus*, *Thalassiosira*, *Actinocyclus*, *Paralia sulcata* 등이, 녹조류인 *Actinastrum*, *Pediastrum*, *Scenedesmus*와 *Closterium* 등이 보편종으로 나타났다. 남조류 중에는 *Aphanizomenon flos-aquae*, *Anabaena*, *Microcystis*, *Oscillatoria* 등이, 유글레나류인 *Euglena*, 은편모류 *Chroomonas* 등과 함께 보편종으로 출현하였다. 식물플랑크톤의 종수는 간·만조에 따른 채수시간에 따른 변화가 심하여, 간조에는 보다 많은 담수종이 출현하며 만조에는 상대적으로 높은 해수종의 비율이 나타났다.

식물플랑크톤 현존량의 연중 변화

식물플랑크톤 현존량의 일일 중 평균값의 연간 평균은 $4389\text{ cells}\cdot\text{mL}^{-1}$ 로 나타났으며 일일 7회 채취한 시료 내 현존량의 평균치는 $921\sim 18181\text{ cells}\cdot\text{mL}^{-1}$ 의 범위를 나타내었다(Fig. 10). 식물플랑크톤의 종별 현존량은 연중 뚜렷한 계절성을 나타내어, 규칙적인 천이현상을 확인할 수 있었다. 즉, 봄철 갈수기에는 외측 정점에서 연안성 규조류(*Asterionella kariana*, *Paralia sulcata*, *Plagiogramma vanheurckii*, *Thalassiosira* 등; Fig. 11)이 높은 현존량을 보이며, 저염의 상류측 정점에서는 규조류 *Stephanodiscus*

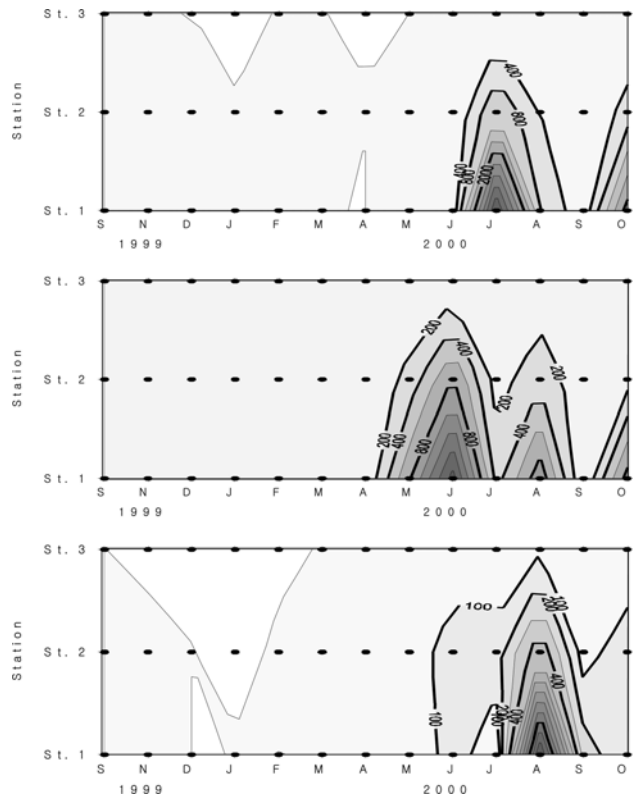


Fig. 13. The variation of monthly mean abundance ($\text{cells}\cdot\text{mL}^{-1}$) of dominant chlorophytes in Mankyong River Estuary (ST.1: MC, ST.2: MK, ST.3: MH). (top) *Actinastrum hantzschii* v. *fluviatile*. (middle) *Scenedesmus* spp.. (bottom) *Eudorina elegans*.

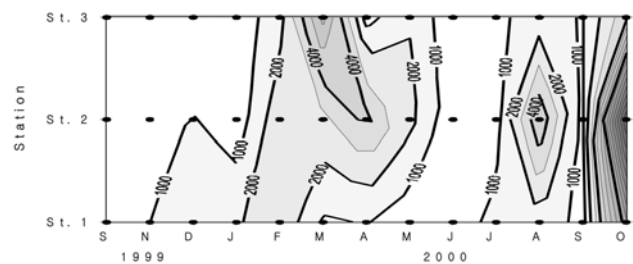


Fig. 14. The variation of monthly mean diatom abundance ($\text{cells}\cdot\text{mL}^{-1}$) in Mankyong River Estuary (ST.1: MC, ST.2: MK, ST.3: MH).

가 우점하였다. 여름과 초 가을에는 담수성 남조류 (*Anabaena*, *Microcystis* 등; Fig. 12) 및 녹조류(*Actinastrum hantzschii* v. *fluviatile*, *Scenedesmus*, *Eudorina elegans*, *Pediastrum* 등; Fig. 13)가 정점1을 중심으로 하는 저염 수역에서 크게 우점하였다. 가을철에는 광온·광염성 규조류인 *Skeletonema costatum*가 우점하였으며, 특히 2000년 10월에는(Fig. 10) 단일 시료 내 최고치 $22107\text{ cells}\cdot\text{mL}^{-1}$ 의 높은 농도를 기록하여(Fig. 14) 전 조사기간 중의

최대 우점종으로 확인되었다.

식물플랑크톤의 일중 변화

만경대교 정점에서 월 1회씩 24시간 동안 7회의 현장 연속조사를 실시한 14개월간의 조사에서 매번 각종 특성치의 일중 변동성이 매우 크게 나타났었다. 이러한, 만경대교 정점의 조석에 따른 식물플랑크톤군집 특성치의 일중 변화를 정밀조사하기 위해, 홍수기(Fig. 2)인 2000년 6월 14~15일에 24시간 동안 1시간 간격으로 현장 연속조사를 실시하였다. 그 결과, 염분은 평균 2.2 psu로서 0.2~7.7 psu의 구간에서 조석주기에 따라 규칙적인 변화를 보였다. 염분의 일중 변동양상은 하구역의 비조류 흐름(nontidal flow)에 의한 창조지속시간 대비 낙조지속시간이 더 긴 특성과 뚜렷한 일조부등(diurnal inequality) 현상을 잘 반영하고 있다(Fig. 15). 이와 양(1997)도 금강 하구에서 염분이 일중 시간에 따라 조석주기와 연동되어 규칙적으로 변동함을 보고한 바 있다. 조사한 수온의 일중변동은 주간에 높고 야간에 낮은 하계 연안역의 양상을 반영하며, 일몰 후 낙조시간의 수온하강 속도가 다음 낙조시간의 일출 후 수온상승 속도보다 훨씬 더 완만함을 나타내

었다(Fig. 15). 이는 강에서 유입되는 물이 외해측 연안수에 비해 수온이 더 높은 계절적인 요인에 의한 것으로 판단된다.

식물플랑크톤 우점종의 일중 현존량 변동성을 크게 세 가지 유형으로 구분할 수 있었다. 첫째는 담수성 남조류, 녹조류(*Scenedesmus* sp.) 및 규조류(*Aulacoseira* sp.)와 같이 현존량의 변동이 염분과 역의 관계를 나타내는 종류들이다(Fig. 16). 이와는 반대로, 해양성 규조류인 *Thalassiosira* sp.는 염분의 변동과 일치하는 현존량 변동을 보인 두 번째 유형에 속한다(Fig. 17). 저서성 규조인 *Paralia sulcata*는 세 번째의 유형으로서, 수온이나 염분의 변동과는 상관성이 없으며, 오히려 무기부유입자(suspended solids) 농도의 일중 변동과 매우 잘 일치하는 양상을 나타내었다(Fig. 18). 이는 표층퇴적 입자를 재부유시키는 교란작용의 영향을 직접적으로 반영하는 종류로서, 물리적 인자에 대한 지시자로서도 유용한 생물종이라 판단된다. 이로써, 만경대교 정점의 식물플랑크톤 우점종들은 조석에 따른 하구역의 염분변동 특성과 표층퇴적물의 교란 정도를 잘 반영하고 있음을 알게 되었다. 결국, 만경대교 정점의 식물플랑

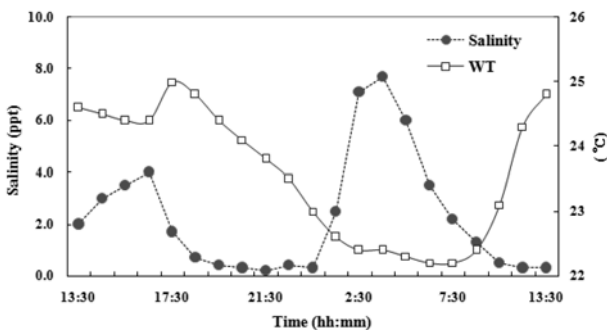


Fig. 15. Hourly variation of salinity (●) and water temperature (□) in ST.2 (MK: Mankyeong Bridge) during 14-15 June, 2000.

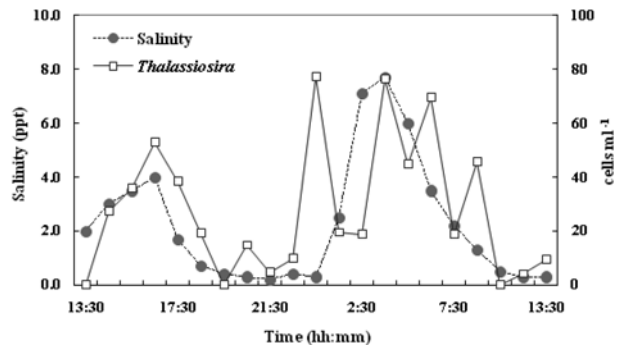


Fig. 17. Hourly variation of salinity (●) and abundance of a coastal diatom *Thalassiosira* sp. (□) in ST.2 (MK: Mankyeong Bridge) during 14-15 June, 2000.

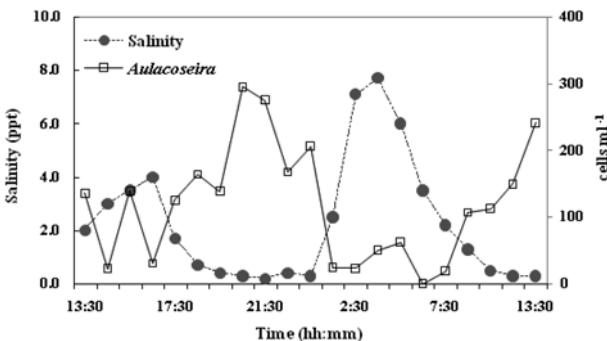


Fig. 16. Hourly variation of salinity (●) and abundance of a fresh-water diatom *Aulacoseira* sp. (□) in ST.2 (MK: Mankyeong Bridge) during 14-15 June, 2000.

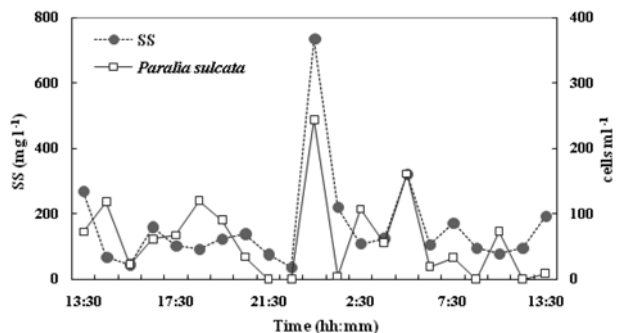


Fig. 18. Hourly variation of suspended solids (●) and abundance of a benthic diatom *Paralia sulcata* (□) in ST.2 (MK: Mankyeong Bridge) during 14-15 June, 2000.

크톤 군집은 일종의 규칙적인 염분변동에 의하여 크게 좌우되며, 일부 저서 구조류의 수중 광합성은 물리적 작용의 강도에 의해 좌우된다 하겠다.

결론적으로, 새만금 간척사업 초기 만경강 하구역을 대상으로 한 본 연구를 통하여, 하구역 해수의 이화학적 특성 및 식물플랑크톤 군집지표 등이 1) 일중에는 반일주 조석에 연동하여 1일 2회의 주기적인 변동성을 나타내며, 2) 연중에는 계절 주기적인 뚜렷한 변동성을 보임을 확인하였다. 본 연구 결과는 새만금 방조제 완공 이후, 신생 새만금호의 수질 및 식물플랑크톤 생태계 변동에 대한 만경강의 영향 등을 규명하기 위한 향후 연구의 기준자료가 될 수 있다.

사 사

미흡한 초고를 가다듬어 주신 군산대학교 노정래 교수님과 박종규 교수님께 감사드리며, 논문심사를 통해 줄고를 크게 개선시켜 주신 익명의 심사위원 두 분께 깊이 감사드립니다. 본 연구는 환경부 국가장기생태연구사업(KLTER, Korean Long Term Ecological Research)의 일부 지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

- 고철환, 박철, 유신재, 이원재, 이태원, 장창익, 최중기, 홍재상, 허형택 (2002) 해양생물학. 서울대학교출판부
- 기상청(Korea Meteorological Administration) (2008) 기상청 과거기후 자료(날씨정보-관측자료). http://www.kma.go.kr/gw.jsp?to=weather_main.jsp
- 김영길, 김강진, 신윤근, 이원호 (2001) 새만금 해역 저염수역에서 분리한 남세균 *Anabaena* sp.의 적정성장 환경. In: 한국해양학회 2001년도 추계 학술발표회 요약집, pp 106
- 김종구, 유선재, 권정노 (1998) 금강 하구둑 건설후의 수질변화. 한국수산학회지 31(5):685-694
- 서승원 (1991) 만경강 감조구간 수질의 동적모의. 대한환경공학회지 13(4):257-266
- 서승원, 김종구 (2000) 새만금호 인접수계의 수질예측. 군산대학교 새만금환경연구센터 연구보고서, pp 3-31
- 서해립, 서호영, 차성식 (1991) 만경 동진강 하구계의 동물플랑크톤의 분포와 염분. 한국해양학회지 26(3):181-192
- 소진탁, 이종섭, 유일수, 유은주, 김환홍 (1991) 만경강 유역 수질 및 저질토의 중금속 함량에 관한 조사연구. 한국육수학회지 24(2):123-128
- 신은섭, 김환기 (2002) 만경강 수계의 수질환경기준 적정성 평가에 관한 연구. 상하수도학회지 16(2):133-144
- 심재형, 신윤근, 이원호 (1991a) 만경강 하류의 환경과 식물플랑크톤 군집. 한국육수학회지 24(1):45-54
- 심재형, 신윤근, 여환구 (1991b) 만경동진강 하구 표영 생태계의 무생물 환경과 일차생산자. I. 환경 특성과 식물플랑크톤의 군집구조. 한국육수학회지 26(2):155-168
- 심재형, 윤성화, 윤상선, 최동한, 조병철 (1995a) 만경동진강 염하구에서 중속영양성 및 혼합영양성 미소편모류의 수도 및 박테리아 섭식. 한국해양학회지 30(5):413-425
- 심재형, 박수영, 조병철, 이원호 (1995b) 만경동진강 염하구에서 섬모충류에 의한 박테리아 섭식에 관하여. 한국해양학회지 30(5):426-435
- 안순모, 고철환 (1992) 서해 만경·동진 조간대의 환경과 저서동물 분포. 한국해양학회지 27(1):78-90
- 오정순 (1994) 만경·동진강 염하구 식물플랑크톤의 생태 및 분류학적 연구. 석사학위논문, 서울대학교, 206 p
- 윤순강, 이종식, 정구복, 김민경, 김선종, 고문환, 엄기철 (2002) 만경강 유역내 하천의 특성별 영향 평가. 한국환경농학회지 21(4):237-242
- 이상호, 최현용, 손영태, 권효근, 김영곤, 양재삼, 정해진, 김중구 (2003) 하계 서해안 새만금 연안역 주변 저염수와 순환. 한국해양학회지 8(2):138-150
- 이용혁, 양재삼 (1997) 금강 하구역에서 영양염류, 엽록소, 부유물질과 염분 변화에 대한 500일간의 연속관측. 한국해양학회지 2(1):1-7
- 이진애, 조경제, 권오섭, 정익교 (1993) 낙동강 하구 생태계의 환경 요인에 관한 연구. 한국조류학회지 8(1):29-36
- 차성식, 박광재 (1991) 만경 동진강 하구의 부유성 난 자치어의 분포 양상. 한국해양학회지 26(1):47-58
- APHA (American Public Health Association) (2005) Standard methods for the examination of water and wastewater, 21st ed

Received Oct. 22, 2008

Revised Nov. 14, 2008

Accepted Jan. 7, 2009