

추계 광양만의 유기물 기원과 분포 특성

이영식* · 강창근¹ · 최용규² · 이상용²

국립수산과학원 남해수산연구소 양식환경연구센터

¹부산대학교 생물학과

²국립수산과학원 남해수산연구소

Origin and Spatial Distribution of Organic Matter at Gwangyang Bay in the Fall

YOUNG SIK LEE*, CHANG-KEUN KANG¹, YONG-KYU CHOI¹ AND SANG YONG LEE¹

Aquaculture Environment Institute, Tongyeong Kyungnam 650-943, Korea

¹Department of Biology, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

²South Sea Fisheries Research Institute, Yeosu Jeonnam 556-820, Korea

유기물 증가에 미치는 환경인자를 중심으로 그 수평분포 특성, 원인, 주요오염원의 영향권에 대하여 검토하기 위해 표층 해수와 표층 퇴적물을 조사하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다. 유기물변동에 영향을 미치는 환경인자에 대한 주요 오염원은 크게 섬진강과 동천 등의 담수, 광양시 생활하수, 여수산업단지로 크게 나누어볼 수 있었다. 해수와 퇴적물의 환경인자에 대한 수평분포 특성과 해수의 흐름 등을 고려하여 이들 주요 오염원의 영향권을 구분한 결과, (I) 섬진강 담수의 영향을 많이 받는 해역, (II) 광양시와 동천의 영향이 큰 해역, (III) 여수 산업단지의 영향을 많이 받는 해역으로 나누어졌다. 그리고, 오염원의 영향권 별 수질환경인자의 특성으로는 섬진강 담수의 영향을 많이 받는 해역은 낮은 염분, 높은 농도의 NO₃-N과 SiO₂-Si, 담수와 생활하수의 영향이 큰 해역은 낮은 염분, 높은 농도의 NO₃-N, NH₄-N, SiO₂-Si, 여수 산업단지의 영향을 많이 받는 해역은 표층해수의 경우 높은 수온, 높은 농도의 NH₄-N과 PO₄-P, 퇴적물의 경우 높은 농도의 NH₄-N, PO₄-P, SiO₂-Si로 특징 지을 수 있을 것으로 보인다.

Environment factors related to the distribution of organic matter in surface seawater and sediments were investigated to estimate main pollution sources and range of their influence in Gwangyang Bay. The main pollution sources for the factors that affect organic matter distribution could be divided into three main sources: fresh water runoffs from Seomjin and Dong River, Gwangyang-si domestic sewage, and Yosu Industrial Complex. Considering the characteristics in horizontal distributions of the environmental factors in water column, sediment, and water current regime, the influencing range of these main sources was likely to be divided into three areas within the bay as follows: Area I receiving lots of fresh water from Seomjin River, Area II receiving lots of domestic sewage from Gwangyang-si and fresh water of Dong River, Area III receiving lots of materials from Yosu Industrial Complex. Area I seems to be characterized as low salinity, high concentration of NO₃-N, and SiO₂-Si, Area II as low salinity, high concentration of NO₃-N, NH₄-N, and SiO₂-Si, and Area III as high water temperature, high concentration of NH₄-N, and PO₄-P in water column, high concentration of NH₄-N, PO₄-P, and SiO₂-Si in surface sediments.

Keywords: Fresh Water, Gwangyang Bay, Organic Matter, Pollution Source

서 론

연안 해역은 생물의 산란 또는 성육장으로 중요할 뿐만 아니라 생활공간과 산업적인 측면에서 매우 중요한 곳이다. 그 중에서도 특히 광양만은 지정학적으로 섬진강·동천·주교천 등에 의한 담수의 유입으로 오래 동안 수산자원생물의 산란장·성육장으로 이용

되어 천혜의 어장을 형성하였고, 살기 좋았던 곳임과 동시에 우리나라 김 양식업의 발상지이기도 하다(Kim *et al.*, 2005).

한편으로는 천혜의 항구 입지조건으로 1970년대에는 만의 남서 연안해역에 대규모 여수석유화학단지가 국가공단으로서 조성되었으며, 1980년대에는 만의 북동부 섬진강 하구 삼각주 지대에는 세계 최대 규모의 광양제철소, 그리고 1990년대와 현재에는 만의 주변에 광양 컨테이너 부두, 울촌 제 1 지방산업단지, 여수 국가산업공단의 확장공사, 초남공단 등등 다양한 주체와 규모의 공단이

*Corresponding author: leeys@momaf.go.kr

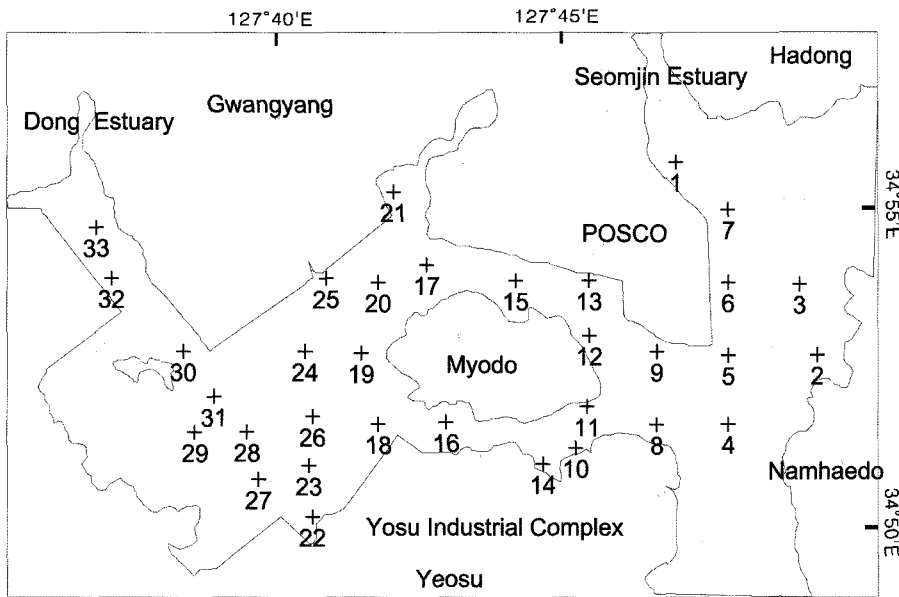


Fig. 1. Location of sampling stations in Gwangyang Bay, South Sea of Korea.

경쟁적으로 조성되어 가동 중에 있으며, 앞으로도 계속하여 울촌 제2공단, 제3공단, 컨테이너 부두 확장공사, 묘도 준설토 투기장 등 여러 공사가 진행 중이거나 추진 중에 있다. 이러한 개발 행위로 광양만의 해안선은 단조로운 직선형으로 변했고, 주변으로 인구와 산업시설이 집중됨에 따라 자연히 오염물질의 유입량이 증가하여 여러 환경문제가 생길 수 있고 수산물의 생산량이 감소하고 있다고 한다.

연안해역의 물 환경을 보전하고 현명하게 지속적으로 이용하기 위해서는 그 해역의 특성에 대하여 정확히 진단해야 한다. 산림이나 논경지를 경유한 담수의 영향이 많지 않은 진해만, 산업시설이 적은 득량만과는 달리 광양만은 주변환경이 매우 복잡하다. 즉, 광양만은 묘도를 중심으로 동남쪽에서는 쿠로시오의 지류인 대마난류의 영향을 받은 외해수, 북동쪽에서는 유역면적 4,897 km²인 섬진강, 북서쪽에는 광양읍을 지나는 동천과 광양읍의 생활하수, 광양만 북부에 광양제철소와 남부지역에는 석유화학, 비료공장 등 여러 산업시설의 영향을 받는 해역이다. 따라서, 광양만의 물 환경은 복잡한 주변환경의 영향으로 같은 만이라도 위치 별 수질환경특성이나 그 원인이 약간씩 다르게 나타날 수 있다.

이 연구에서는 광양만의 유기물 증가에 대한 효과적인 대책수립을 위한 연구의 일환으로 유기물 증가에 미치는 환경인자를 중심으로 그 수평분포 특성과 그 원인에 대하여 연구하고, 아울러 주요오염원의 영향권에 대하여 검토하는 것을 목적으로 하였다.

재료 및 방법

조사정점은 광양만으로 하천과 산업 시설의 오염원이 유입되는 정점을 포함하여 모두 33곳을 선정하였으며, 유기물 증가와 관련된 환경인자를 중심으로 조사하였다. 연안해역에서 유기물의 증가는 주로 표층에서 일어나며, 주요 원인은 외부로부터 다량의 유기물이 직접 유입되는 것과 내부에서 식물플랑크톤이 대량으로 증식하는 경우이며, 이러한 현상은 외부에서 담수유입이 전혀 없을

경우 발생 빈도가 낮다. 따라서, 이 연구에서 해수에 대한 조사는 순천지역에서 비가 37 mm 내리고 1주정도 지난 2005년 9월 29일 간조시(11:55~14:44)에 표층에 대하여 조사하였다(Fig. 1). 수온과 염분은 다항목수질측정기(YSI, 600XL)로 현장에서 측정하였다. 영양염(NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N, PO₄-P, SiO₂-Si)과 화학적 산소요구량(COD)은 표층해수(0.3m)를 채수하여 해양환경공정시험 방법(해양수산부, 2002)에 따라 측정하였다. 엽록소 *a*(Chl. *a*)는 표층 해수 500 mL를 Whatman membrane(0.45 μm) 여과지로 여과한 후 냉암소에서 90% acetone으로 색소를 추출하여 Spectrophotometer로 측정하였다.

표층 퇴적물 시료는 2005년 10월 19일에 각 조사정점에서 그랩(Grab sampler)을 이용하여 채취하였으며, 표층 퇴적물(0.3 cm)을 분석에 사용하였다. 채집된 시료는 원심분리 후 공극수를 추출하였으며, 상등액은 0.2 μm 여과지로 여과하여 영양염과 AGP(조류성장잠재능력)를 측정하였다. 공극수의 영양염은 해양환경공정시험 방법(해양수산부, 2002)에 따라 측정하였다. 연안해역에서 식물플랑크톤의 증식은 유기물 증가의 주요 요인으로 작용하며, 퇴적물로부터 공극수의 용출은 식물플랑크톤의 증식을 촉진하는 역할을 한다. 따라서, 공극수를 대상으로 AGP실험을 하였다. AGP 실험에는 비교적 배양하기 쉽고 부영양화된 해역에서 자주 대규모 증식하는 *Prorocentrum minimum*을 대량 배양하여 인공해수로 세척하여 이용하였다. AGP실험에서 배양은 15 mL의 시험관에 5 mL의 공극수를 넣어 온도 23±2 °C와 빛 140±10 μmol m⁻² sec⁻¹에서 12시간의 명암 조건에서 정치 배양하였다(Lee *et al.*, 1996; Sudo *et al.*, 1981). 측정기간 동안 1일 1회 시험관 교반기를 사용하여 시험관 바닥에 침전한 식물플랑크톤을 교반시켰다. *Prorocentrum minimum*의 증식량은 PHYTO-PAM chl. *a* fluorometer를 이용하여 측정하였다(Schreiber *et al.*, 2002). 증식량은 모든 배양에서 동일시료에 대해 3회 측정하여 평균하였다. 표층 퇴적물의 COD는 해양환경공정시험 방법(해양수산부, 2002)에 의거 측정하였으며, 표층 퇴적물의 탄소안정동위원소비(δ¹³C)는 CNS 원소분석기와 연

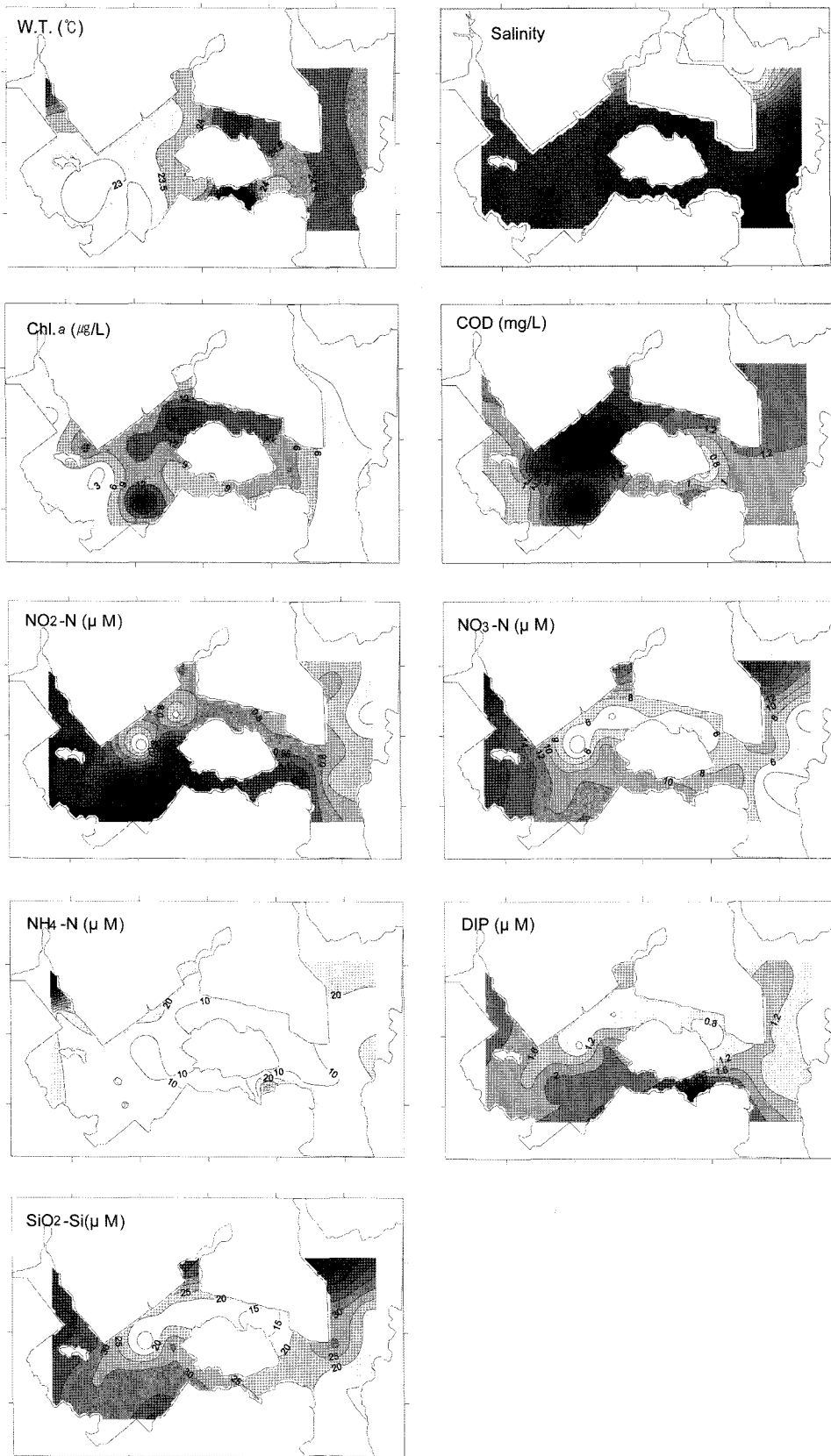


Fig. 2. The horizontal distributions of water temperature, salinity, Chl. *a*, COD NO₂-N, NO₃-N, NH₄-N, DIP, and SiO₂-Si in seawater of Gwangyang Bay.

결된 안정동위원소 질량분석기[Isotope Ratio-Mass Spectrometer (IRMS), Micromass, IsoPrime]를 이용하여 분석하였다. 원소분석기의 온도 1,030 °C에서 모든 유기물을 완전 연소시킨 후 CO₂가스를 헬륨을 이용하여 안정동위원소 질량분석기로 주입하여 각 원소를 측정하고, PDB(Pee Dee Belmnite) 표준물질을 사용하여 국제 표준에 맞는 동위원소 비값을 계산하였다. 이를 위해서 내부 표준물질로 동위원소 비 값을 알고 있는 peptone을 이용하였다. 총 20개의 peptone과 lysine을 이용하여 안정동위원소를 분석한 결과 표준편차는 ±0.1%로 매우 높은 정밀도와 재현성을 보였다. 조사된 요인들을 이용하여 각 정점간에 대해 상관분석(Squared Euclidean Distance Analysis)과 WPGMA 방법으로 유집하여 군집분석(cluster analysis)을 하였다. 공극수를 이용한 조류잠재성장능력은 다중회귀분석(multiple stepwise regression analysis)을 통해 요인을 규명하였다. 통계적인 분석들은 SPSS 프로그램(10.1, SPSS, Inc.)을 이용하였으며, 유의성은 $p < 0.05$ 수준으로 하였다.

결 과

해수

표층해수에 대한 조사결과를 Fig. 2에 나타냈다. 수온의 변동범위는 22.65~28.45 °C(평균 24.01 °C)로 조사되었다. 최고 수온은 여수 화력발전소 등의 산업체와 가까운 정점 14에서 관측되었다. 염분은 최저 24.6, 최고 31.93(평균 29.74)로 조사되었다. 섬진강 하구주변의 정점 1에서 24.60으로 가장 낮게 조사되었으며, 섬진강하구주변, 섬진강의 지류가 유입되는 광양제철소 서쪽, 동천이 유입되는 정점 32, 33 주변에서 비교적 낮게 조사되었다. 외해수가 유입되는 정점 4번과 정점 2번 주변, 묘도 주변과 여수 산단 주변에서 약간 높게 나타났다. Chl. *a*의 변동범위는 1.42~24.11 µg/L(평균 8.26 µg/L)로 조사되었으며, 묘도 서남쪽의 정점 23에서 가장 높게 조사되었으며, 다음으로 묘도 북서쪽에서 높게 나타났다. 섬진강 하구나 동천 하구에서는 영양염 농도는 높지만 Chl. *a*는 오히려 낮게 조사되었다. 화학적 산소요구량의 변동범위는 0.46~2.99 mg/L(평균 1.45 mg/L)로 조사되었으며, Chl. *a*의 수평분포와 비슷하게 조사되었다. NO₂-N농도의 변동범위는 0.12~1.73 µM(평균 1.04 µM)로 조사되었으며, 묘도의 서남쪽에서 높게 나타났다. NO₃-N농도의 변동범위는 1.34~23.96 µM(평균 10.29 µM)로 조사되었으며, 섬진강 하구와 묘도 서쪽의 동천이 유입되는 곳 주변

에서 높게 조사되었다. NH₄-N농도의 변동범위는 1.46~129.43 µM(평균 18.23 µM)로 조사되었으며, 남해화학 주변과 묘도 서쪽의 동천이 유입되는 곳에서 아주 높게 조사되었다. PO₄-P농도의 변동범위는 0.52~3.99 µM(평균 1.62 µM)로 조사되었으며, 남해화학 주변에서 아주 높게 조사되었다. SiO₂-Si농도의 변동범위는 9.30~56.26 µM(평균 27.91 µM)로 조사되었으며, NO₃-N농도와 비슷하게 섬진강 하구와 묘도 서쪽의 동천이 유입되는 곳 주변에서 높게 조사되었다.

조사 정점에서 표층수의 염분은 NO₃-N($r = -0.672$, $p < 0.01$)과 SiO₂-Si($r = -0.788$, $p < 0.01$)농도와 역상관 관계를 보였다(Table 1). Chl. *a*는 NO₃-N($r = -0.364$, $p = 0.037$)과 SiO₂-Si($r = -0.400$, $p = 0.021$)농도와 역상관 관계를 보였으나, COD($r = 0.509$, $p = 0.002$) 농도와 정상관 관계를 보였다. 수질환경 요인들의 변이에 기초한 군집분석 결과 33개 정점은 크게 4개의 군집으로 대별되었다. 동천이 유입되는 정점 33이 제 1그룹, 여수산업 단지인 정점 10이 제 2그룹, 섬진강 하구주변인 정점 1과 7이 제 3그룹, 그리고 다른 정점들이 제 4그룹으로 대별되었다(Fig. 3).

퇴적물

조사 정점에 대한 퇴적물의 특성은 Fig. 4에 나타내었다. NO₂-N농도의 변동범위는 0.02~3.86 µM(평균 1.26 µM)로 조사되었으며, 동천 하구와 묘도 남서쪽에서 약간 높게 나타났다. NO₃-N농도의 변동범위는 9.3~82.3 µM(평균 31.5 µM)로 조사되었으며, 묘도 북쪽의 정점 15, 17에서 높게 조사되었다. NH₄-N농도의 변동범위는 50.4~523.8 µM(평균 234.4µM)로 조사되었으며, 해수의 NH₄-N농도와 비슷하게 남해화학 주변과 묘도 서쪽의 동천이 유입되는 곳에서 아주 높게 조사되었다. PO₄-P농도의 변동범위는 0.57~34.26 µM(평균 10.05 µM)로 조사되었으며, 해수 PO₄-P와 같이 남해화학 주변에서 아주 높게 조사되었다. SiO₂-Si농도의 변동범위는 69.5~660.9 µM(평균 325.9 µM)로 조사되었으며, 묘도 북쪽과 남해화학 주변에서 높게 조사되었다. COD(화학적 산소요구량)의 변동범위는 9.26~19.63 mg/g-dry(평균 15.54 mg/g-dry)로 조사되었다. AGP(조류성장잠재능력)는 최저 11에서 최고 1149 µg/L(평균 497 µg/L)로 조사되었다. 동천 하구, 남해화학 주변에서 높게 나타났으며, 여수산단주변의 정점 15번에서는 거의 중식하지 않았다. δ¹³C값은 최저 -24.71‰, 최고 -18.69‰(평균 -21.70‰)의 범위를 보였는데, 섬진강 하구, 광양제철소 서쪽 그리고 동천하구에서 주변해역에 비해 상대적으로

Table 1. Correlation matrix of environmental parameters in the seawater of Gwangyang Bay.

	Salinity	NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N	PO ₄ -P	SiO ₂ -Si	Chl. <i>a</i>	COD
Salinity	-	-.277	.027	-.672**	-.052	-.788**	.236	-.052
NH ₄ -N		-	.188	.584**	.293	.371*	-.254	-.063
NO ₂ -N			-	.563**	.719**	.441*	.065	-.055
NO ₃ -N				-	.494**	.899**	-.364*	-.126
PO ₄ -P					-	.377*	-.019	-.009
SiO ₂ -Si						-	-.400*	-.101
Chl. <i>a</i>							-	.509**
COD								-

*Correlation is significant at the 0.05 level.

**Correlation is significant at the 0.01 level.

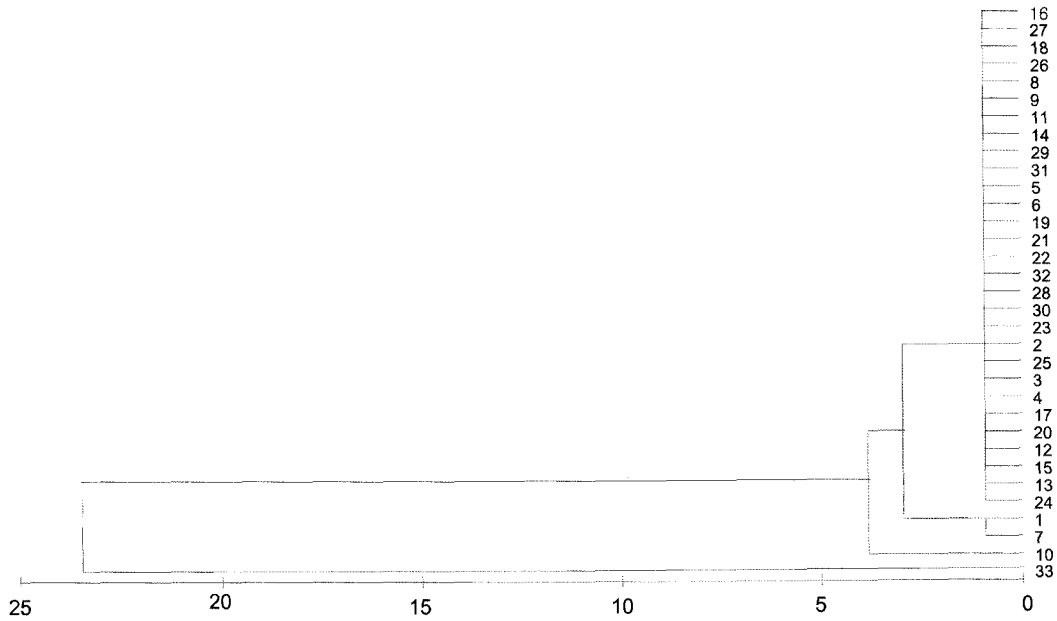


Fig. 3. Cluster analysis of study stations based on surface seawater.

Table 2. Correlation matrix of environmental parameters in the sediments of Gwangyang Bay.

	PO ₄ -P	NO ₂ -N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	SiO ₂ -Si	COD	AGP	δ ¹³ C
PO ₄ -P	-	.098	.231	.473**	.684**	.068	.415*	.065
NO ₂ -N		-	.347*	-.205	.276	-.094	.497*	.353*
NO ₃ -N			-	-.061	.420*	-.238	.340	.047
NH ₄ -N				-	.424*	.339	.035	.046
SiO ₂ -Si					-	.155	.599**	.058
COD						-	-.018	-.016
AGP							-	-.054
δ ¹³ C								-

*Correlation is significant at the 0.05 level.

**Correlation is significant at the 0.01 level.

로 낮은 비값들을 나타내었다.

퇴적물의 공극수를 이용한 AGP는 SiO₂-Si($r=0.599$, $p<0.01$), NO₂-N($r=0.497$, $p=0.003$), PO₄-P($r=0.415$, $p=0.016$) 농도와 정상관 관계를 보였다(Table 2). NH₄-N의 농도는 PO₄-P($r=0.473$, $p=0.005$) 농도와 정상관 관계를 보였으나, NO₃-N ($r=-0.061$, $p=0.735$) 농도와는 유의한 관계를 보이지 않았다. 퇴적물의 환경인자들의 변이에 근거한 군집분석 결과 4개의 군집으로 대별되었으나, 퇴적 환경요인들은 그룹내의 지역적인 특성을 나타내지는 않았다.

고찰

환경인자의 수평 변동 특성과 그 원인

이번 조사에서 표층해수의 COD는 Chl. *a*와 밀접한 관계를 보여(Table 1, $r=0.509$, $p<0.002$), COD증가의 주요원인은 일차생산에 의한 것으로 보인다. 일차생산의 증가는 여러 환경의 영향을 받기 때문에 Chl. *a*를 오염원 조사를 위한 인자로 사용하기에는

어려움이 있다. 그리고, 일차생산이 증가하기 위해서는 질소나 인을 소비하므로 Chl. *a*의 증가는 질소나 인의 농도 변동에 영향을 미친다. 따라서, N, P, Si의 농도조사로 오염원을 정확히 판단하기에는 어려움이 있으나 이러한 현상을 무시하고 수평분포특성을 보면, 섬진강하구해역은 주변해역보다 염분농도가 낮고 NO₃-N과 SiO₂-Si의 농도가 높았으며, 광양시 생활하수처리장이 상류에 있는 동천 하구 해역 주변에서는 염분농도가 낮고, NO₃-N, NH₄-N, SiO₂-Si의 농도가 높았으며, 여수산업단지 주변해역은 수온이 높고, NH₄-N과 PO₄-P의 농도가 뚜렷하게 높게 조사되었다(Fig. 2).

섬진강물에 대한 장기모니터링결과 NO₃-N, NH₄-N, PO₄-P, SiO₂-Si 농도는 각각 57.52, 4.13, 0.58, 70.60 μM로(미 발표), NO₃-N과 SiO₂-Si 농도는 일반 연안해수보다 상당히 높고, NH₄-N농도는 NO₃-N농도보다 상당히 낮게 조사되었으며, PO₄-P의 경우 광양만의 평균치 0.54 μM (2년 평균치, 남해화학 주변해역 제외)과 비슷하게 조사되었다(Lee et al., 2004). 그리고, 이번 조사에서 광양만 전체에 대한 인자별 변동을 보면, 염분이 낮을수록 NO₃-N($r=-0.672$, $p=0.01$)와 SiO₂-Si농도($r=-0.788$, $p=0.01$)는 증가하는 것으로

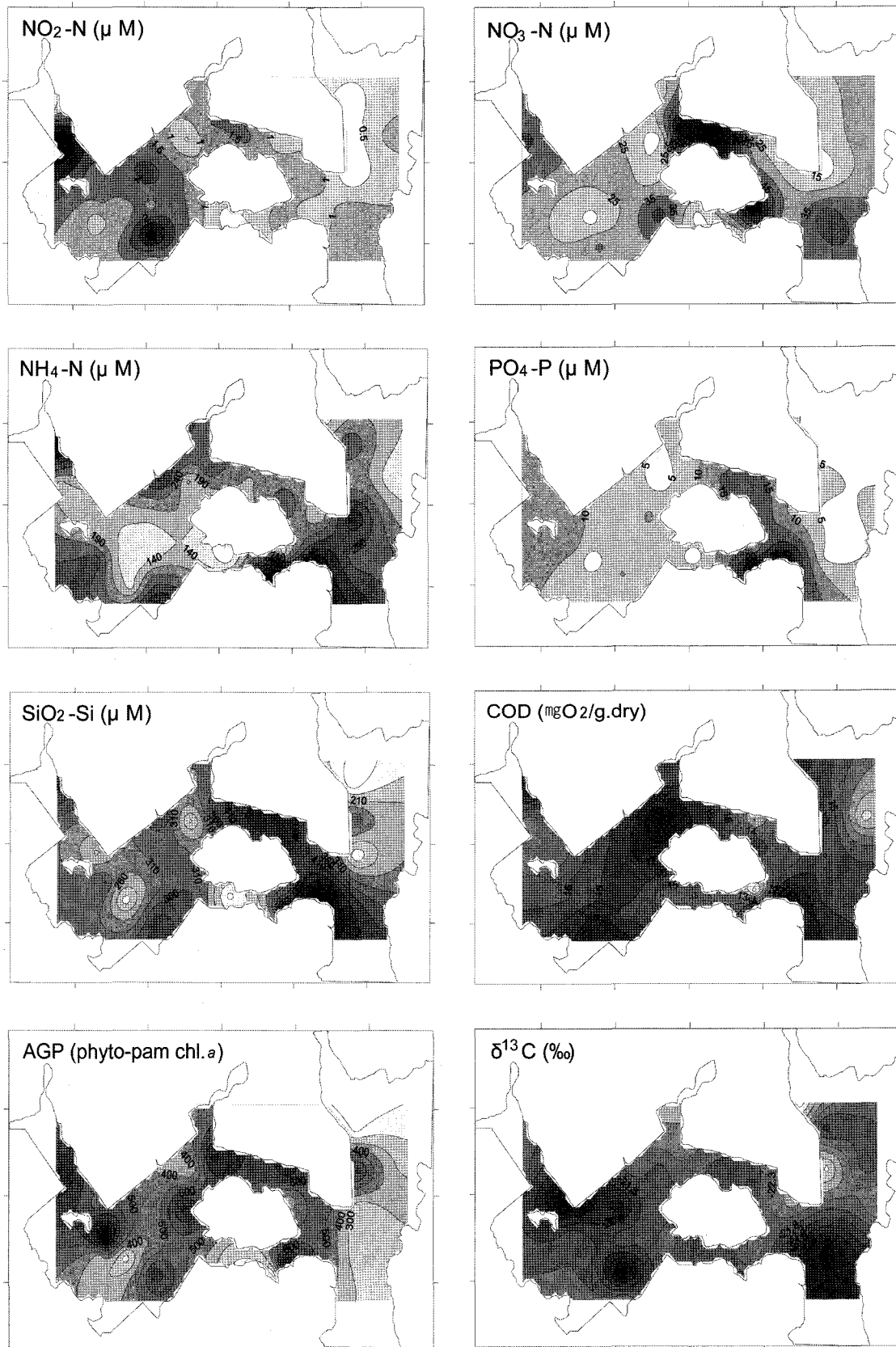


Fig. 4. The horizontal distributions of NO₂-N, NO₃-N, NH₄-N, PO₄-P, SiO₂-Si, COD, algal growth potential (AGP), and δ¹³C in surface sediments of Gwangyang Bay.

로 조사되었으며, NO₃-N과 SiO₂-Si와는 서로 같은 거동($r=0.899$, $p=0.01$)을 보였다(Table 1). 그리고, 일반적으로 생활하수에서는 NH₄-N 농도가 높게 나타난다.

이상의 결과로부터, 섬진강 하구 주변해역에서 염분농도가 낮고 NO₃-N과 SiO₂-Si의 농도가 높은 것은 섬진강 담수의 영향이 큰 것으로 보인다. 그러나, 섬진강하구주변해역에서 높은 NH₄-N 농도가 관측되었다(Fig. 2). 따라서, 단지 섬진강 담수의 영향 외 NH₄-N 농도가 높은 동광양시의 생활하수나 주변 산업시설로부터 유입되는 산업폐수의 영향도 있는 것으로 보인다. 그리고, 동천 하구에서 염분농도가 낮고, NO₃-N, NH₄-N, SiO₂-Si의 농도가 높게 나타났으며, 그 이유는 섬진강 크기의 약 1/10인 동천의 담수(Kim *et al.*, 2005) 외 광양시의 생활하수 등의 영향으로 보인다.

이번 조사에서 여수산업단지 주변해역에서 높은 수온과 높은 농도의 NH₄-N과 PO₄-P가 조사되었다. 일반적으로 발전소 주변해역에서는 냉각용 온배수의 유출이 보고 되고 있으며(Yeo and Shim, 1992), 여수산업단지에는 여수 화력발전소 등 산업시설이 있어, 이들 산업체에서 사용한 냉각용 온배수의 영향으로 다른 조사정점보다 상대적으로 높은 수온이 관측된 것으로 보인다. 그리고, 이미 알려진 것처럼 NH₄-N과 PO₄-P농도가 높게 조사된 여수산업단지 주변 해역에는 상당한 규모의 석고야적장이 있으며, 또 비료제조용으로 인광석을 사용하고 있다(Lee *et al.*, 2001). 따라서, 여수산업단지 주변 해역에서 높은 농도의 NH₄-N과 PO₄-P는 석고야적장이나 비료제조과정에서 유출된 배수의 영향으로 보인다.

표층퇴적물의 경우 NO₂-N과 COD는 조사 정점 별 그 값의 변화가 유의한 차이로 보기 어렵거나 불규칙하게 조사되어 뚜렷한 수평변동 특성을 찾아보기 어려웠다(Fig. 4). 그러나, NO₃-N 농도는 광양제철소 남쪽해역에서 높게 조사되었다. 그 원인으로 광양제철소 또는 동광양시에서 유입된 생활하수 등의 영향으로 생각할 수 있으나 현재로서는 정확히 판단하기는 어렵다.

또, AGP 치는 다중 회귀분석(multiple stepwise regression analysis) 결과 공극수의 규산염 농도 ($r^2=0.359$, $p<0.01$)에 가장 큰 영향을 받는 것으로 나타났으며, 규산염과 인산염의 농도는 47.8 %($p<0.01$) 기여하는 것으로 나타났다. 이번 조사에서 사용한 식물플랑크톤은 *Prorocentrum minimum*로 증식에 규산염은 필요하지 않다. 따라서, 증식에 필요한 PO₄-P와 SiO₂-Si 간에 서로 유사한 변동특성(Table. 2: $r=0.684$, $p=0.01$)으로 인해 AGP 치와 SiO₂-Si 간에 서로 관련성이 있는 것처럼 나타난 것으로 보인다. 그리고, 일반적으로 해수의 제한영양염은 질소로 보고된 경우가 많다(Lee *et al.*, 2001). 그러나, 이번 공극수에서는 용존 무기인과 서로 관련성이 많은 것으로 조사되어 질소는 풍부하고 인이 제한인자로 작용함에 따라 AGP 치와 인과 서로 유사한 변동특성이 나타난 것으로 해석된다. 그러나 AGP의 수평 분포는 NO₂-N과 COD와 마찬가지로 뚜렷한 물매는 없어 보인다. 그리고, 여수산업단지 주변의 정점 15번에서는 거의 증식하지 않았다. 공극수의 질소와 인의 농도가 *Prorocentrum minimum* 이 증식한 주변 정점의 농도보다 극단적으로 높지 않은 점을 고려하면, 질소나 인이 *Prorocentrum minimum*의 증식을 저제한 것으로 해석되지는 않는다. 따라서, 영양염을 제외한 다른 물질의 영향으로 *Prorocentrum minimum*가 증식하지 않은 것으로 보인다.

$\delta^{13}C$ 값의 경우 섬진강 하구, 광양제철소 서쪽 그리고 동천 하구

에서 비교적 낮게 나타났다. 일반적으로 해양 식물플랑크톤은 -20‰ 내외의 $\delta^{13}C$ 값을 보이며, 육상고등식물의 그 값은 -28~-25‰ 정도의 범위를 가지는 것으로 알려져 있다(Chung *et al.*, 1999; Kang *et al.*, 2003). 따라서, 섬진강하구나 동천하구에서 상대적으로 낮은 $\delta^{13}C$ 값들은 이 지역에서 육상고등식물에 기인한 유기체 설물의 유입에 따른 영향이 상대적으로 높기 때문으로 보인다.

NH₄-N, PO₄-P 그리고 SiO₂-Si 농도는 여수 산업단지의 남쪽 해역주변에서 높게 조사되었다. 그리고 이들 인자는 서로 유사한 농도 거동을 보여(Table 1: PO₄-P; NH₄-N, $r=0.473$, $p=0.01$; PO₄-P; SiO₂-Si, $r=0.684$, $p=0.01$; NH₄-N; SiO₂-Si, $r=0.424$, $p=0.05$) 서로 그 기원이 같은 것으로 보인다. 위에서도 언급한 것처럼 여수 산업단지의 영향으로 NH₄-N, PO₄-P 그리고 SiO₂-Si 농도가 같이 높게 조사된 것으로 보인다. 그러나, 여수산업단지 주변의 표층 해수에서는 주변 해역보다 높지 않은 SiO₂-Si의 농도가 관측되는 특이한 경우가 조사되었다.

이상의 해수와 퇴적물의 조사 결과로부터 광양만에서 유기물변동에 영향을 미치는 환경인자에 대한 주요 오염원은 크게 섬진강과 동천 등의 담수, 광양시 생활하수, 여수산업단지로 크게 나누어 볼 수 있다.

주요오염원의 영향권

수로국에서 발행한 조류도에 의하면, 광양만의 해수 흐름은 전반적으로 낙조류가 창조류보다 강하며, 창조류는 서~북북동류하고, 낙조류는 남~동류가 주류를 이루고 있다. 이 해역의 창조류는 여수해만에서 광양항으로 유입되어 서쪽으로는 묘도의 남·북수로를 통해 내만으로 흐르고, 북쪽으로는 대도군도 양쪽의 좁은 수로를 통과한 주류는 노량대교로 흐르고, 한 지류는 마도수로를 지나 섬진강으로 흐른다. 낙조류는 이와 반대방향으로 흐른다(National Oceanographic Research Institute, 2002). 따라서, 동천으로부터 유입된 생활하수를 포함한 담수는 일단 묘도 서북쪽으로 유입되고, 낙조류에 의해 묘도의 남·북수로를 통해 여수해만쪽으로 유출될 것으로 보인다. 섬진강 담수는 대부분 광양제철소 동쪽으로 유입되고, 그 일부는 광양제철소 서쪽을 통해 묘도 북쪽으로 유입될 것으로 보인다. 여수해만까지 유입된 섬진강 담수는 일부가 창조시에 묘도쪽으로 유입될 것으로 예상된다. 여수산업단지의 영향을 받은 해수는 낙조시에는 여수해만으로 유출될 것으로 보이며, 창조시에는 묘도 서남쪽 해역으로 유입될 것으로 추측된다. 그리고, 여수해만으로 유출된 해수는 창조시에는 다시 묘도 동쪽 해역으로 유입될 것으로 예상된다.

해수와 퇴적물의 환경인자에 대한 수평분포 특성과 해수의 흐름 등을 고려하여 주요 오염원의 영향권을 구분해보면 다음과 같이 정리할 수 있다. 섬진강 담수의 영향을 많이 받는 해역(I)은 남북으로는 하동 갈사에서 여수해만 입구까지와 동서로는 광양제철소 끝부분에서 남해도 서쪽 부분까지로 보인다. 광양시와 동천의 영향이 큰 해역(II)은 주로 묘도 내해로 보이며 일부는 묘도의 남·북수로까지 영향을 미칠 것으로 보인다. 여수 산업단지의 영향을 많이 받는 해역(III)은 여수산업단지 인근 해역을 중심으로 서쪽으로는 묘도 서쪽 끝에서 동쪽으로는 여수해만의 입구 정도로 보인다(Fig. 5). 그리고, 오염원의 영향권 별 수질환경인자의 특성으로는 섬진강 담수의 영향을 많이 받는 해역(I)은 낮은 염분,

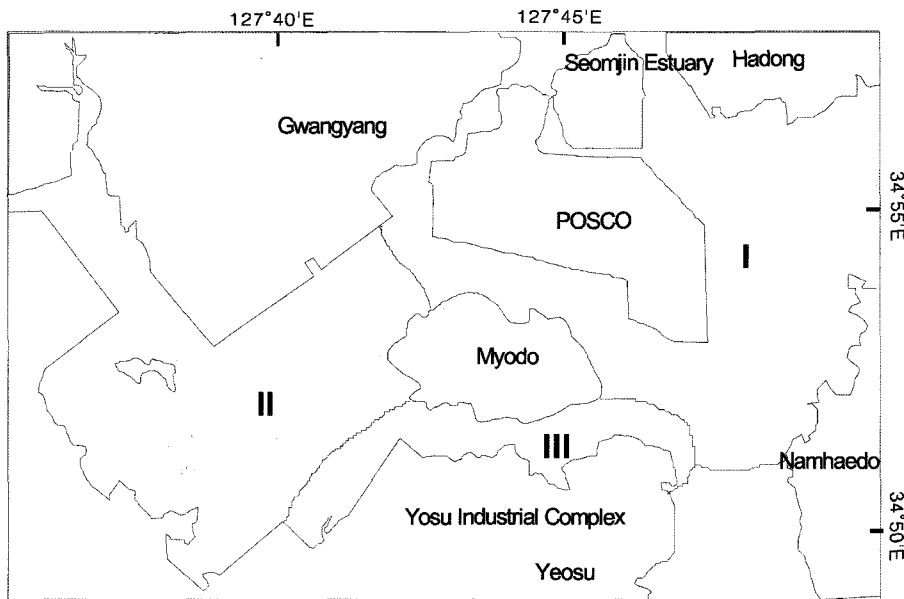


Fig. 5. Influence area of main pollution sources on organic matter in Gwangyang Bay, South Sea of Korea.

높은 농도의 $\text{NO}_3\text{-N}$ 과 $\text{SiO}_2\text{-Si}$, 담수와 생활하수의 영향이 큰 해역(II)은 낮은 염분, 높은 농도의 $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{SiO}_2\text{-Si}$, 여수 산업단지지의 영향을 많이 받는 해역(III)은 표층해수의 경우 높은 수온, 높은 농도의 $\text{NH}_4\text{-N}$ 과 $\text{PO}_4\text{-P}$, 퇴적물의 경우 높은 농도의 $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, $\text{SiO}_2\text{-Si}$ 로 특징 지을 수 있을 것으로 보인다.

감사의 글

이 연구는 국립수산과학원 유기오염연구 사업비(RP-2006-ME-007)로 수행되었으며, 연구비 지원에 이 자리를 빌려 감사의 말씀을 드립니다. 아울러 수질분석 및 자료작성에 도움을 준 연구원 조민희님, 김병만님께 감사의 말씀을 드립니다.

참고문헌

- 해양수산부, 2002. 해양환경공정시험방법, 330pp.
- Chung, C. S., Kim, S. H., Kang, D. J., Park, Y. C., Yoon, C. O and Hong, G. H., 1999. A Study on the Evolution of Eutrophication in Masan Bay by Analyses of Pigment Derivatives from a Sediment Column. *Journal of the Korean Society of Oceanography*, 4: 101-106.
- Kang, C.-K., Kim, J. B., Lee, K.-S., Kim, J. B., LEE, P.-Y and Hong, J.-S., 2003. Trophic importance of benthic microalgae to macrozoobenthos in coastal bay systems in Korea: dual stable C and N isotope analyses. *Marine Ecology Progress Series*, 259: 79-92.
- Kim, D. H., Cho, H.-S and Lee, Y. S., 2005. The Characteristic of Point Source Loads for Nitrogen and Phosphorus to Gwangyang Bay, Korea. *Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering*, 8: 1-8.
- Lee, Y. S., T. Mukai, K. Takimoto and M. Okada, 1996. Estimation of limiting nutrient by algal assay procedure with indigenous phytoplankton assemblage. *Jpn. Soc. Water Environ.* 19: 373-380.
- Lee, Y. S., Lee, J. S., Jung, R. H., Kim, S. S., Go, W. J., Kim, K. Y and Park, J. S., 2001. Limiting Nutrient on Phytoplankton Growth in Gwangyang Bay. *Journal of the Korean Society of Oceanography*, 6: 201-210.
- Lee, Y. S., Yu, J., Kwon, K.-Y., Choi, Y. K., Cho E. S., 2004. Temporal and spatial variations of limiting nutrient on phytoplankton growth in the Gwangyang Bay, Korea. *J. of KSEE* 26: 890-895.
- National Oceanographic Research Institute, 2002. Tidal Current Charts (Approaches to Gwangyang Hang). Ministry of Maritime Affairs and Fisheries Republic of Korea, 11-1520290-000048-14.
- Schreiber, U., Gademann, R., Bird, P., Ralph, P. J., Larkum, A. W. D., Kuhl, M. 2002. Apparent light requirement for activation of photosynthesis upon rehydration of desiccated beachrock microbial mats. *J. Phycol.* 38: 125-134.
- Sudo, R., Tai, S., Yagi, O., Okada, M., Hosomi, M., and Yamane A. N., 1981. Determination of algal growth potential by algal assay procedure (Comprehensive studies on the eutrophication of freshwater areas). Research Report from the National Institute for Environmental Studies, No. 26, 53 pp.
- Yeo, H. G and Shim, J. H., 1992. Ecological effect of thermal effluent in the Korean Coastal Waters III. Abiotic environment and the community structure of primary producers in the vicinity of Kori nuclear power plant. *Korean J. Environ. Biol.*, 10: 122-142.

2006년 5월 1일 원고접수

2007년 2월 12일 수정본 채택

담당편집위원: 김기범