

## 가막만 표층퇴적물중 유기물량의 시·공간적 분포 특성

노일현 · 윤양호<sup>†</sup> · 김대일 · 박종식  
여수대학교 해양시스템학부

# The Spatio-temporal Distribution of Organic Matter on the Surface Sediment and Its Origin in Gamak Bay, Korea

Il Hyeon Noh, Yang Ho Yoon<sup>†</sup>, Dae Il Kim and Jong Sick Park  
Division of Ocean System, Yosu National University, Yeosu 550-749, Korea

### 요 약

가막만 표층퇴적물중 유기물량의 시·공간적 분포 특성 및 기원을 파악하고자 2000년 4월부터 2002년 3월까지 월간 격으로 현장조사를 실시하였다. 강열감량(IL)은 4.6~11.6%(7.1±1.6%), 화학적산소요구량(CODs)은 2.25~99.26 mgO<sub>2</sub>/g-dry (30.98±19.09 mgO<sub>2</sub>/g-dry), 총 황화물량(AVS)은 nd~10.29 mgS/g-dry(1.02±0.58 mgS/g-dry), 식물색소량은(phaeopigment) 6.84~116.18 µg/g-dry(23.72±21.16 µg/g-dry), 입자성유기탄소(POC)는 5.45~23.24 mgC/g-dry(10.34±4.40 mgC/g-dry), 입자성유기질소(PON)는 0.71~2.99 mgN/g-dry(1.37±0.58 mgN/g-dry), 함유수(water content)는 43.1~77.6%(55.8±5.6%)의 범위를 나타냈으며 펄 함량(mud content)은 모든 정점에서 95% 이상의 값을 나타냈다. 유기물질의 공간적인 분포는 북서 내만역, 만 중앙부와 동쪽해역 그리고 남쪽만 입구역으로 대별되어, 북서 내만역과 남쪽 만 입구역은 만 중앙부와 동쪽해역 및 백야도 인근해역보다 대부분 항목에서 높은 유기물 농도를 나타내었다. 특히 북서 내만역은 과도한 양식활동에 따른 과잉의 유기물 공급, 육상으로부터 생활하수 및 산업폐수 유입, 분지형태의 지형적 특성에 의한 물질의 장기체류로 유기오염이 매우 심각하게 나타났다. 그리고 그로인한 하계 수온약층에 의한 저층의 무산소 환경이 형성되고 있다. 경시적인 변동양상은 북서 내만역과 남쪽 만 입구역에서 저수온기보다 고수온기에 주로 높은 농도를 보였다. 반면에 만 중앙부와 동쪽해역은 각 항목에서 변동양상의 일정한 규칙성은 보여지지 않으나 황화물을 제외하면 주로 저수온기에 더 높은 농도를 나타내었다. 황화물 농도는 모든 정점에서 고수온기에 더 높게 나타났다. 특히 만 중앙부와 동쪽해역은 화학적산소요구량이 20 mgO<sub>2</sub>/g-dry를 넘는 경우 고수온기를 중심으로 일시적인 황화물 증가양상이 나타났다. 가막만 표층퇴적물중 유기물질의 기원은 C/N 비가 평균 8 이하로, 육상기원보다 해양기원 유기물에 의한 것으로 나타났으나, POC/phaeopigment 비로부터 유기물 조성에 있어서 살아있는 식물플랑크톤보다 유기쇄설물이 우점하며, CODs/IL 비로부터 유기쇄설물은 해양자체 순환에 의해 생산되는 것보다 양식활동에서 발생하는 잉여사료와 생물의 배설물 등 인위적 활동에 의한 부분이 높은 것으로 추정되었다.

**Abstract** – A field survey on the spatio-temporal distribution characteristics and origins of organic matter in surface sediments was carried out monthly at six stations in Gamak Bay, South Korea from April 2000 to March 2002. The range of ignition loss(IL) was 4.6~11.6%(7.1±1.6%), while chemical oxygen demand(CODs) ranged from 12.25~99.26 mgO<sub>2</sub>/g-dry(30.98±19.09 mgO<sub>2</sub>/g-dry), acid volatile sulfide(AVS) went from no detection(ND)~10.29 mgS/g-dry(1.02±0.58 mgS/g-dry), and phaeopigment was 6.84~116.18 µg/g-dry(23.72±21.16 µg/g-dry). The ranges of particulate organic carbon(POC) and particulate organic nitrogen(PON) were 5.45~23.24 mgC/g-dry (10.34±4.40 mgC/g-dry) and 0.71~2.99 mgN/g-dry(1.37±0.58 mgN/g-dry), respectively. Water content was in the range of 43.1~77.6%(55.8±5.6%), and mud content(silt+clay) was higher than 95% at all stations. The spatial distribution of organic matter in surface sediments was greatly divided between the northwestern, central and eastern areas, southern entrance area from the distribution characteristic of their organic matters. The concentrations of almost all items were greater at the northwestern and southern entrance area than at the other areas in Gamak Bay. In particular, sedimentary pollution was very serious at the northwestern area, because the area had an excessive supply of organic matter due to aquaculture activity and the inflow of sewage from the

<sup>†</sup>Corresponding author: yhyoon@yosu.ac.kr

land. These materials stayed longer because of the topographical characteristics of such as basin and the anoxic conditions in the bottom seawater environment caused by thermocline in the summer. The tendency of temporal change was most prominently in the period of high-water temperatures than low-water ones at the northwestern and southern entrance areas. On the other hand, the central and eastern areas did not show a regular trend for changing the concentrations of each item but mainly showed a higher tendency during the low-water temperatures. This was observed for all but AVS concentrations which were higher during the period of high-water temperature at all stations. Especially, the central and eastern areas showed a large temporal increase of AVS concentration during those periods of high-water temperature where the concentration of CODs was in excess of 20 mgO<sub>2</sub>/g-dry. The results show that the organic matters in surface sediments in Gamak Bay actually originated from autochthonous organic matters with eight or less in average C/N ratio including the organic matters generated by the use of ocean, rather than terrigenous organic matters. However, the formation of autochthonous organic matter was mainly derived from detritus than living phytoplankton, indicated the results of the POC/phaeopigment ratio. In addition, the CODs/IL ratio results demonstrate that the detritus was the product of artificial activities such as dregs feeding and fecal pellets of farm organisms caused by aquaculture activities rather than the dynamic of natural ocean activities.

**Keywords:** Gamak Bay(가막만), Organic matter(유기물), Sedimentary pollution(퇴적물 오염), Terrigenous organic matter(육상기원 유기물), Autochthonous organic matter(자생 기원 유기물)

## 1. 서 론

해양 퇴적물중의 유기물은 해역 자체에서 생성되는 자생기원(autochthonous)과 육상으로부터 유입되는 외래성기원(allochthonous)으로 구분된다. 이러한 유기물질은 해저로 침강, 퇴적, 분해되는 과정을 거치면서 여러 무기물질로 재생되며, 퇴적물내 탄소수의 확산을 통해 환원된 무기영양염은 해양에서 일차생산자에 의해 다시 유기물로 고정된다. 따라서 퇴적환경은 해양환경의 누적적인 결과를 나타내는 곳으로, 해역의 장기적인 변화과정 등의 추적에 매우 효과적이기에 해역의 환경변화나 생지화학적인 변화의 지표로 이용되고 있다. 또한 생물학적으로는 퇴적물에 포함된 유기물질은 저서생태계에서 수산동물의 먹이원이 되는 등 저서생물 군집의 서식에 깊게 관여하고 있다(Berner[1981]; Sætre *et al.*[1997]).

우리나라 연안해역의 퇴적환경은 생활하수 및 산업 오폐수 유입은 물론, 다양한 양식활동에 의한 자가오염의 증가로 극도의 유기물 집적이 이루어지고 있다(Kang *et al.*[1993]). 또한 집적된 유기물은 분해되는 과정에서 해수중의 용존산소를 소비하여 저층해수에 빈산소 혹은 무산소 수괴를 형성하는 원인이 되기도 한다. 이와 같은 환원성 퇴적환경은 결국 황화수소 등 유해물질 발생으로 생물이 살 수 없을 뿐만 아니라(畑[1990]; 윤[2000a]), 무기화 과정에 의해 해수교환이 원활하지 못한 폐쇄성 내만역에서 상승적조의 발생원인이 되기도 한다. 이와 같은 이유로 최근에 연안해역의 환경문제 접근방법으로 표층퇴적물 환경에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다(조 등[1982]; Yang and Hong[1988]; 윤과 박[1992]; Kang *et al.*[1993]; 윤[2000a, b]).

가막만은 여수반도 남단에 위치한 해역으로 동쪽으로 돌산도, 서쪽으로 고돌산반도 남쪽으로는 개도 등 여러 섬들로 둘러싸인 전형적인 반폐쇄적인 해역으로서, 남북방향의 길이가 약 15 km,

동서방향으로 약 9 km인 타원형 내만이며, 평균수심은 9 m인 천해이다. 가막만의 퇴적물은 대경도와 여수항 사이의 북동쪽 수로 지역에서 Clayey Sand Facies의 비교적 조립질 퇴적상을 보이기도 하나, 주로 silt와 clay로 구성되며 평균입도는 6-9φ, 만 전체적으로 Clayey Silt Facies를 중심으로한 세립질 퇴적상으로 구성되어 있다(이 등[1995]). 만 내 해수의 유동량은 약 80%가 남쪽만 입구에서, 약 20% 정도가 여수항 부근의 협수로를 통하여 유입·유출되며, 양쪽에서 유입된 해수는 만 내에서 상접한다(국립수산진흥원[1978]; 이와 장[1982]). 또한 지형특성에 따른 조류 등에 의해 대체로 3개의 수괴가 존재하며, 만 내부의 북서쪽은 대형 웅덩이 형태로서 도시의 생활하수가 유입되어 쌓이게 되고, 만 내의 해수유동에 의해 물질이 수렴되고 있는 곳이기도 하다(이와 조[1990]). 이러한 가막만은 생물생산성이 높아 예로부터 다양한 양식활동이 이루어지고 있는 해역으로, 북서쪽 내만역과 북동쪽 대경도를 중심으로 각각 수하식 혼합양식과 살포식 피조개 양식이 이루어지고 있고, 만 중앙부에는 굴양식장이 산재해 있으며, 해수소통이 원활한 만 남쪽 입구부에 위치한 도서해역에는 가두리 어류양식이 집단화 되어있다. 따라서 최근에는 해양오염방지법에 의해 해양환경 보전해역으로 지정되어 있으나, 북서 내만역을 중심으로 일부해역은 생활하수와 양식부산물 등에 의해 부영양화가 진행되어 고수온기 저층해수에 빈산소층 형성과 적조발생 등 다양한 환경문제를 발생시키고 있는 해역이기도 하다(윤[1995]). 그러나 가막만 퇴적물중 유기물 분포와 관련한 연구는 미흡하며, 제한된 시기와 일부정점을 대상으로 이루어진 연구가 보여질 뿐이다(Cho *et al.*[1982]; Kang *et al.*[1993]; 조 등[1994]; 김[2002]). 따라서 본 연구는 가막만 내에서 특성을 달리하는 양식장 주변해역의 표층퇴적물을 대상으로 퇴적물중에 포함된 유기물질의 분포와 계절변동 특성 및 기원을 파악해 보고자 하였다.

2. 재료 및 방법

현장조사는 가막만내 환경특성을 달리하는 6개 정점을 대상으로(Fig. 1) 2000년 4월부터 2002년 3월까지 월별 관측을 원칙으로 총 18회를 실시하였다. 채나는 Gravity corer(내경 45 mm)를 이용하였으며, 시료의 변질을 막기 위해 채집된 시료는 Ice Box를 이용해 실험실로 운반하였다. 분석은 표층퇴적물 최상부 시료(<2 cm)를 대상으로 해양환경공정시험방법(해양수산부[1998]) 및 日本水産資源保護協會[1980] 기준에 준하여 측정 및 분석을 실시하였다(Table 1).

3. 결 과

Table 2에는 가막만 6개 정점의 표층퇴적물에서 측정된 항목별 최소, 최대값과 평균 및 표준편차를 나타내었다. 표의 최대값으로부터 일부해역은 유기물 집적에 따른 저질의 유기오염이 매우 심각한 것으로 나타났으며, 각 항목별 분포특성은 다음과 같다.

3.1 함수율과 입도조성

퇴적물내의 함수율과 니질의 함량은 퇴적물의 이화학적 특성을 결정하는 중요한 인자로서 퇴적물의 밀도와 유기물이 집적되어 보존될 수 있는 정도를 나타내는 항목이지만, 장기적으로 쉽게 변화할 수 있는 항목이 아니기에 평균값을 사용하였다. 가막만 표층퇴적물중 함수율은 평균 43.59~59.16%의 범위를 보였으며, 공간적으로 북서 내만역에 위치한 Stn. 1에서 평균 60% 정도의 비교적 높은 함수율을 보인 반면, 나머지 정점들은 평균 50% 이하의 상대적으로 낮은 함수율을 나타내었다. 니질의 함량은 평균 96.92~99.53%의 범위를 나타내어 만 전체적으로 매우 높은 함량을 보였으며, 특히 해수 유동이 미약한 북서 내만역의 Stn. 1에서 가장 높은 니질의 함량을 나타내어, 조사 해역에서 북서 내만역이 유기물 집적과 체류에 더욱 유리한 환경조건을 갖는 것으로 나타났다(Fig. 2).

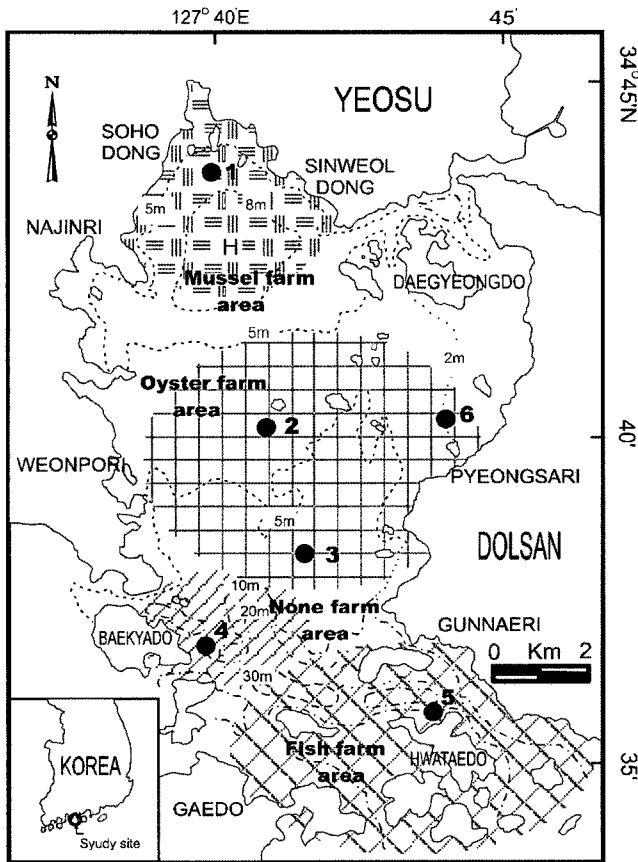


Fig. 1. Map showing sampling station and distribution of the aquaculture ground in Gamak Bay.

Table 2. The values minimum, maximum, mean and standard deviation on the analytical parameters for surface sediments

Parameters(units)	Analytical Values			
	Minimum	Maximum	Mean	Standard Deviation
IL(%)	4.6	11.6	7.1	±1.6
CODs(mgO <sub>2</sub> /g-dry)	12.25	99.26	30.98	±19.09
AVS(mgS/g-dry)	ND	10.29	1.02	±1.74
Phaeopigment(µg/g-dry)	6.84	116.18	23.72	±21.16
POC(mgC/g-dry)	5.45	23.24	10.34	±4.40
PON(mgN/g-dry)	0.71	2.99	1.37	±0.58
C/N Ratio	5.40	10.82	7.61	±0.97
Water Content(%)	43.8	77.6	55.8	±5.5
Mud Content(%)	96.4	99.5	97.9	±1.2

Table 1. Analytical parameters and methods for surface sediments in Gamak Bay

Parameters	Analytical methods
· Ignition Loss(IL)	· Two hours yielded at 450 °C with GF/C weight ratio
· Chemical Oxygen Demand for Sediment(CODs)	· KMnO <sub>4</sub> consumption method
· Acid Volatile Sulfide(AVS)	· Gas Tec (detection tube)
· Phaeopigment	· 90% acetone extracts with spectrophotometric method by SCOR Unesco(1966)
· Particulate Organic Carbon(POC)	· CHN Analyzer(EA-1100, Italy)
· Particulate Organic Nitrogen(PON)	
· Water Content	· wet and dry weight ratio
· Grain Size	· Sieve with 0.063 mm and 0.5 mm mesh size Coarse sand (>0.5 mm), Sand(0.064-0.5 mm), Mud(<0.064 mm, clay + silt) by Ingram(1971)

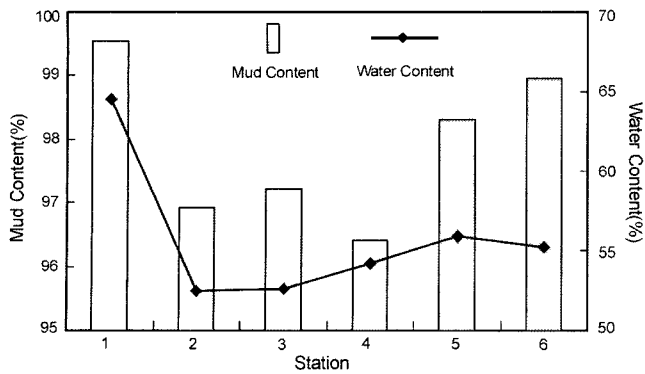


Fig. 2. Distribution of water content and mud content on the surface sediments.

3.2 유기물량의 시공간적 분포

가막만 표층퇴적물 중의 총 유기물량을 나타내는 강열감량(IL)의 농도범위는 4.6~11.6%(7.1±1.6%)로 나타났다. 정점별로 보면, Stn. 1은 7.1~11.6%(9.5±1.3%), Stn. 2는 5.2~7.8%(6.0±0.8%), Stn. 3은 4.6~9.1%(6.2±0.9%), Stn. 4는 5.6~9.6%(7.0±0.9%), Stn. 5는 6.3~10.3%(7.5±0.9%), 그리고 Stn. 6은 4.7~11.1%(6.5±1.4%)의 범위를 보여, 공간적으로 육상으로부터 인접한 해역인 북서 내만역에 위치한 정점 1에서 가장 높게 나타났고, 만의 중앙부와 동쪽에 위치한 Stn. 2, 3, 6에서 다소 낮은 반면, 가두리양식이 이루어지는 만 남쪽 입구의 화태도 인근해역인 Stn. 5에서 상대적으로 높은 값을 보였다(Fig. 3, A). 경시적인 변화는 대부분의 해역에서 봄, 겨울에 다소 높은 분포를 나타냈으나, 북서 내만역인 Stn. 1은 타 계절에 비해 봄에 상당히 낮고 여름에 높은 분포를 나타내었다(Fig. 3, B).

퇴적물 중 화학적산소요구량(CODs)의 농도범위는 12.25~99.26 mgO<sub>2</sub>/g-dry(30.98±19.09 mgO<sub>2</sub>/g-dry)로 나타났다. 정점별로 보면, Stn. 1

은 42.02~99.26 mgO<sub>2</sub>/g-dry(70.69±12.36 mgO<sub>2</sub>/g-dry), Stn. 2는 15.33~28.70 mgO<sub>2</sub>/g-dry(20.18±4.04 mgO<sub>2</sub>/g-dry), Stn. 3은 15.10~32.14 mgO<sub>2</sub>/g-dry(21.68±4.26 mgO<sub>2</sub>/g-dry), Stn. 4는 16.00~26.23 mgO<sub>2</sub>/g-dry(21.52±3.20 mgO<sub>2</sub>/g-dry), Stn. 5는 24.25~42.37 mgO<sub>2</sub>/g-dry(28.90±4.10 mgO<sub>2</sub>/g-dry), 그리고 Stn. 6은 12.25~30.38 mgO<sub>2</sub>/g-dry(22.90±4.96 mgO<sub>2</sub>/g-dry)의 범위를 보여, 모든 조사정점의 평균값에서 일본 수산환경 수질기준인 20 mgO<sub>2</sub>/g-dry을 초과하였다(Fig. 4, A). 특히 북서 내만역에 위치하는 Stn. 1에서는 전 조사 표본에서 CODs 농도가 40 mgO<sub>2</sub>/g-dry 이상으로 타 정점에 비해 3배정도 높은 농도를 보였고, 남쪽 입구역인 Stn. 5에서도 중앙부와 동쪽해역 및 백야도 인근해역에 비해 높았다. 경시적으로는 만 대부분의 해역에서 2000년은 저수온기를 중심으로 높은 농도를 보이는 반면, 2001년 이후에는 주로 고수온기에 높은 농도를 나타내었다. 해역별로는 생활하수 및 산업폐수 유입에 패류양식이 이루어지는 북서 내만역과 대규모 패류양식이 이루어지는 만 중앙부 및 동쪽해역에서 2000년 12월에 CODs 농도가 크게 증가하였고, 도시와 먼 거리에 위치하며 비양식장 지역인 백야도 인근해역과 가두리양식이 성행하는 남쪽 입구역인 화태도 인근해역에서는 2000년 10월을 중심으로 CODs 농도가 크게 증가하는 것으로 나타나고 있어, 생활하수 유입 및 양식활동 등 만 내 환경특성에 의해 CODs의 경시적인 변화가 다소 차이를 보였다(Fig. 4, B).

황화물량(AVS)의 농도범위는 nd~10.29 mgS/g-dry(1.02±1.74 mgS/g-dry)로 변동하였다. 정점별로는, Stn. 1은 1.34~10.29 mgS/g-dry(3.92±2.50 mgS/g-dry), Stn. 2는 nd~1.46 mgS/g-dry(0.19±0.34 mgS/g-dry), Stn. 3은 0.01~0.74 mgS/g-dry(0.18±0.23 mgS/g-dry), Stn. 4는 nd~0.61 mgS/g-dry(0.22±0.19 mgS/g-dry), Stn. 5는 0.01~3.47 mgS/g-dry(1.16±0.78 mgS/g-dry), 그리고 Stn. 6은 0.01~2.96 mgS/g-dry(0.42±0.80 mgS/g-dry)의 범위를 나타내어, 만 중앙부에 위치한 Stn. 2와 3을 제외한 해역에서 일본 수산환경 기준인 0.2 mgS/g-

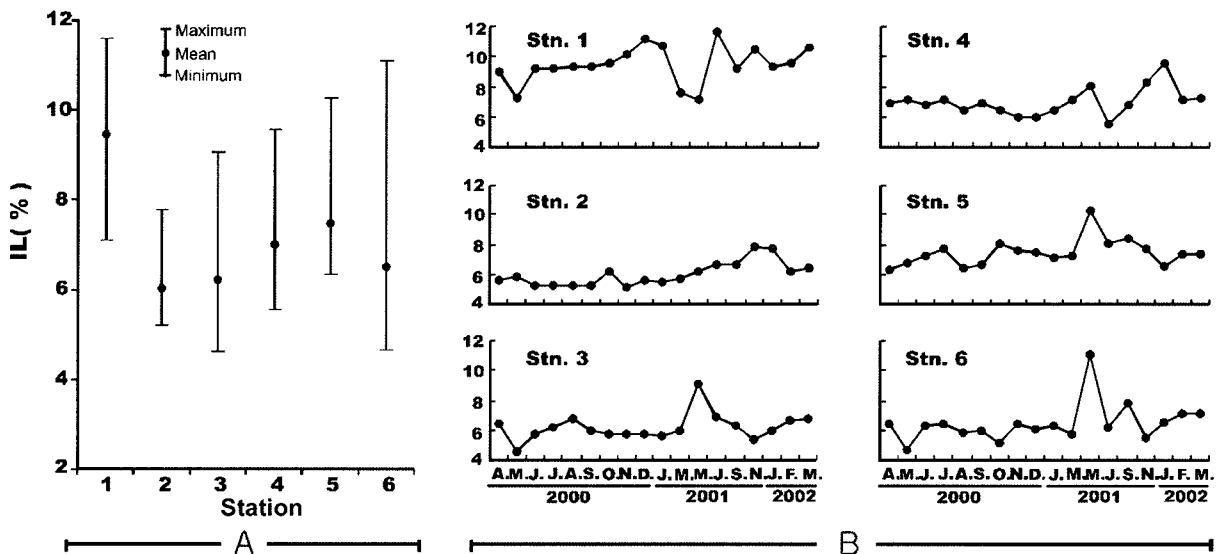


Fig. 3. Spatio-temporal variation of ignition loss(IL) on the surface sediments(A:Spatial distribution, B:Temporal variation).

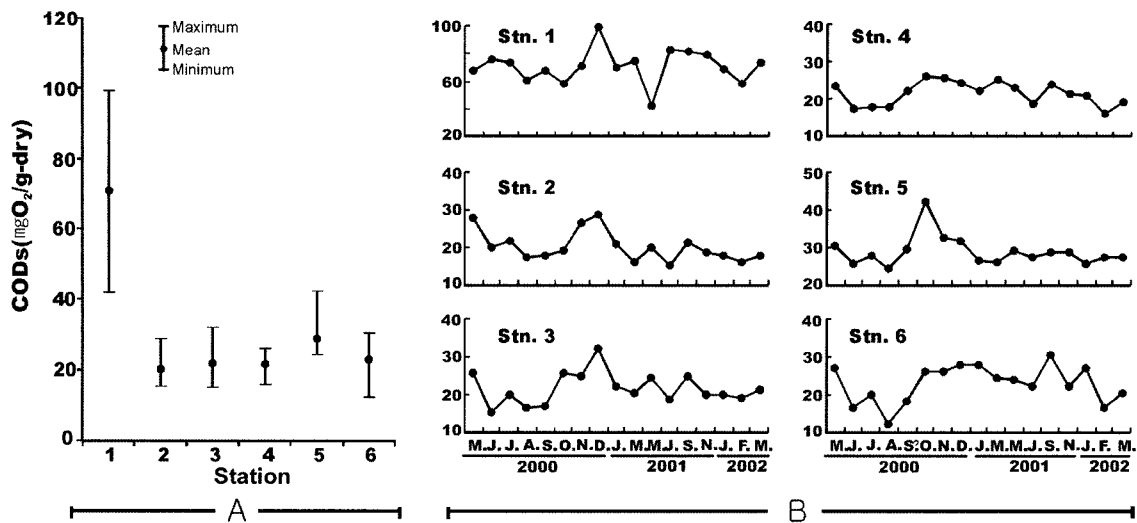


Fig. 4. Spatio-temporal variation of chemical oxygen demand for sediment(CODs) on the surface sediments(A: Spatial distribution, B: Temporal variation).

dry보다 높은 평균값을 나타내었다. 그리고 북서 내만역의 Stn. 1 과 만 입구에 화태도 인근해역인 Stn. 5를 제외한 지역에서의 공간적인 분포차이는 적었다(Fig. 5, A). 경시적인 변화는 공간적으로 다소 차이를 보이나 대부분의 정점에서 여름과 가을인 고수온기에 높았다. 또한 전 표층에서 1.0 mgS/g-dry 이상의 높은 농도를 나타낸 북서내만역의 Stn. 1 역시 2000년 4월부터 12월까지 격월간격으로 꾸준히 황화물량이 증가하였으나, 2001년에는 9월에 크게 증가하여 전반적으로 고수온기에 높은 농도를 보였다(Fig. 5, B).

자연환경에서 부유생활을 마치고 해저에 침강하거나 해저표면에서 기초생산을 영위하는 저서성 규조류 등을 포함한 자생성 유기물량은 식물색소량의 분석에 의해 판단할 수 있다. 따라서 식물플랑크톤의 클로로필로부터 유리되는 식물색소는 다양한 성분을 나타내나, 본 항에서는 편의상 phaeopigment로 총칭한다. 표층퇴

적물내 식물색소량은 6.84~116.18 μg/g-dry(23.72±21.16 μg/g-dry)의 범위를 나타내었다. 정점별로는, Stn. 1은 26.74~116.18 μg/g-dry(65.33±19.82 μg/g-dry), Stn. 2는 6.84~27.02 μg/g-dry(12.52±5.49 μg/g-dry), Stn. 3은 9.01~29.67 μg/g-dry(15.70±5.20 μg/g-dry), Stn. 4는 7.10~16.53 μg/g-dry(10.60±2.91 μg/g-dry), Stn. 5는 14.64~39.35 μg/g-dry(23.23±6.08 μg/g-dry), 그리고 Stn. 6은 8.84~28.15 μg/g-dry(14.93±5.04 μg/g-dry)의 범위를 나타내어, 공간적으로 북서 내만역과 남쪽 만 입구역에서 높은 농도를 나타낸 반면, 만 중앙부와 동쪽해역 및 백야도 인근해역에서 낮은 농도를 보였다(Fig. 6, A). 경시적으로는 Stn. 1에서 CODs, AVS와 마찬가지로 2000년 12월 최고값을 보이지만 전반적으로 남쪽 만 입구역과 더불어 고수온기를 중심으로 높은 농도를 보이는 반면, 만 중앙부와 동쪽해역은 고수온기 보다 저수온기에 높은 농도를 나타내었다(Fig. 6, B).

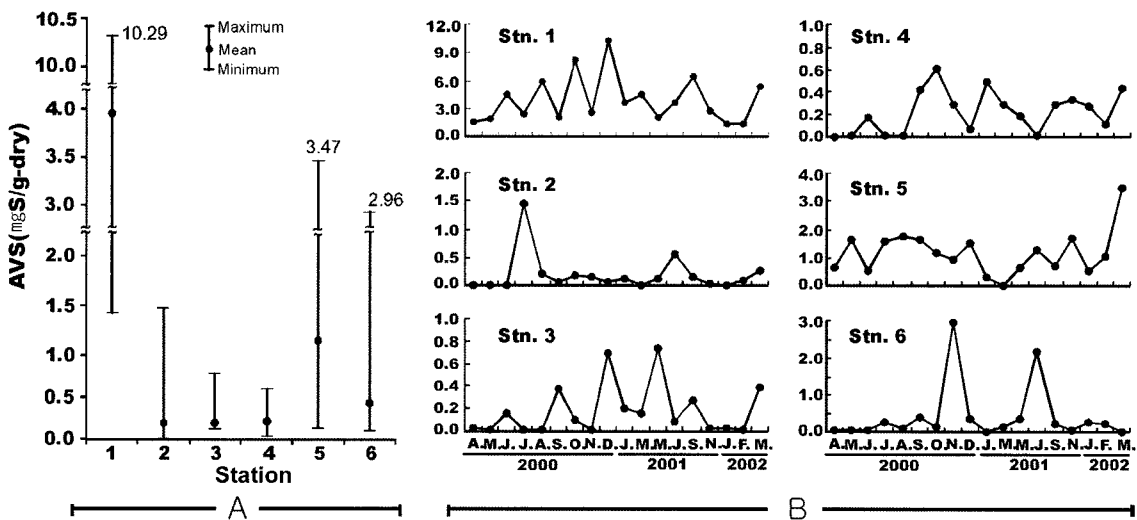


Fig. 5. Spatio-temporal variation of acid volatile sulfide(AVS) on the surface sediments(A: Spatial distribution, B: Temporal variation).

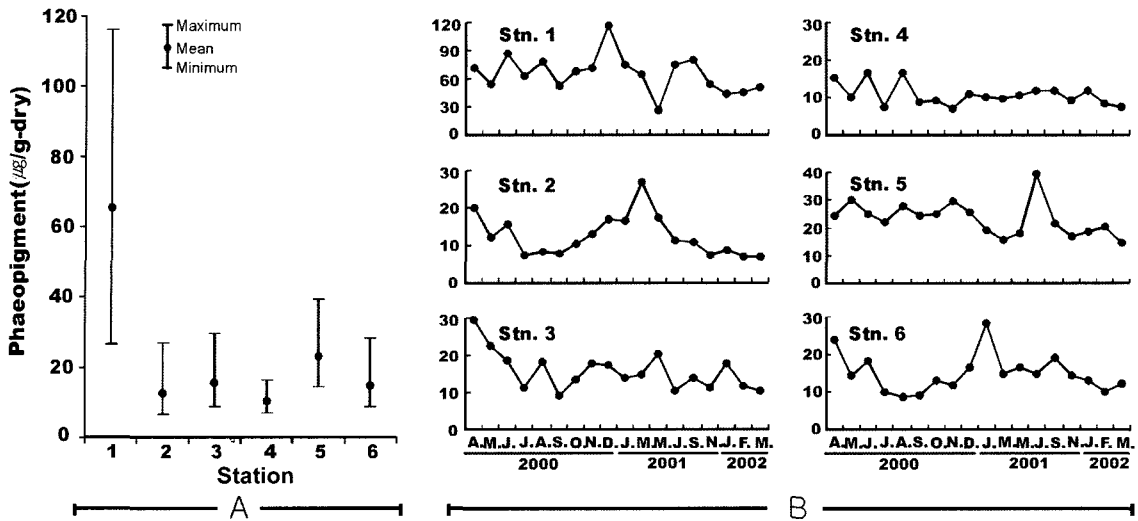


Fig. 6. Spatio-temporal variation of phaeopigment concentration on the surface sediments(A: Spatial distribution, B: Temporal variation).

본 연구의 입자성 유기탄소(POC) 및 유기질소(PON)의 분석은 타 분석항목과는 달리 2000년 4월부터 2001년 3월까지 총 11회에 걸쳐서 실시되었다. 유기탄소의 농도 변화는 5.45~23.24 mgC/g-dry(10.34±4.40 mgC/g-dry)의 범위를 나타냈다. 정점별로 보면, Stn. 1은 15.03~23.24 mgC/g-dry(19.05±2.95 mgC/g-dry), Stn. 2는 6.41~9.41 mgC/g-dry(7.89±0.86 mgC/g-dry), Stn. 3은 6.81~9.30 mgC/g-dry(8.03±0.81 mgC/g-dry), Stn. 4는 7.89~9.71 mgC/g-dry (8.54±0.57 mgC/g-dry), Stn. 5는 6.41~10.88 mgC/g-dry(9.57±1.20 mgC/g-dry), 그리고 Stn. 6은 5.45~9.81 mgC/g-dry(8.51±1.17 mgC/g-dry)의 범위를 보여, Stn. 1이 타 정점들에 비해 평균적으로 2배 이상 높았고, 만 중앙부 및 동쪽해역 그리고 백야도 인근해역인 Stn. 2, 3, 4, 6에서 상대적으로 낮은 농도를 나타내었다(Fig. 7, A). 경시적으로는 북서내만역과 만 중앙부 및 동쪽해역 등 패류양식이 활발히 이루어지는 Stn. 1, 2, 3, 6에서 고수온기보다 저수온기에 유기탄소

량이 증가하는 반면, 백야도 인근해역의 비 양식장 지역인 Stn. 4와 가두리양식이 밀집한 Stn. 5는 주로 고수온기에 다소 높은 농도를 나타내었다(Fig. 7, B).

입자성 유기질소의 농도는 0.71~2.99 mgN/g-dry(1.37±0.58 mgN/g-dry)의 범위를 나타냈다. 정점별로는, Stn. 1은 1.90~2.99 mgN/g-dry(2.53±0.40 mgN/g-dry), Stn. 2는 0.81~1.40 mgN/g-dry(1.09±0.15 mgN/g-dry), Stn. 3은 0.84~1.36 mgN/g-dry(1.11±0.17 mgN/g-dry), Stn. 4는 0.93~1.21 mgN/g-dry(1.10±0.10 mgN/g-dry), Stn. 5는 0.91~1.88 mgN/g-dry(1.37±0.27 mgN/g-dry), 그리고 Stn. 6은 0.71~1.34 mgN/g-dry(1.03±0.19 mgN/g-dry)의 범위를 보여, 공간적으로 북서내만역인 Stn. 1이 타 해역에서 보여지는 평균 1 mgN/g-dry 내외의 값에 비해 2배 이상 높아 입자성 유기탄소와 매우 유사한 분포양상을 보였다(Fig. 8, A). 경시적 변화 역시 입자성 유기탄소와 유사하여, 패류양식이 이루어지는 정점 1, 2, 3에서 주로 저수온기에 최

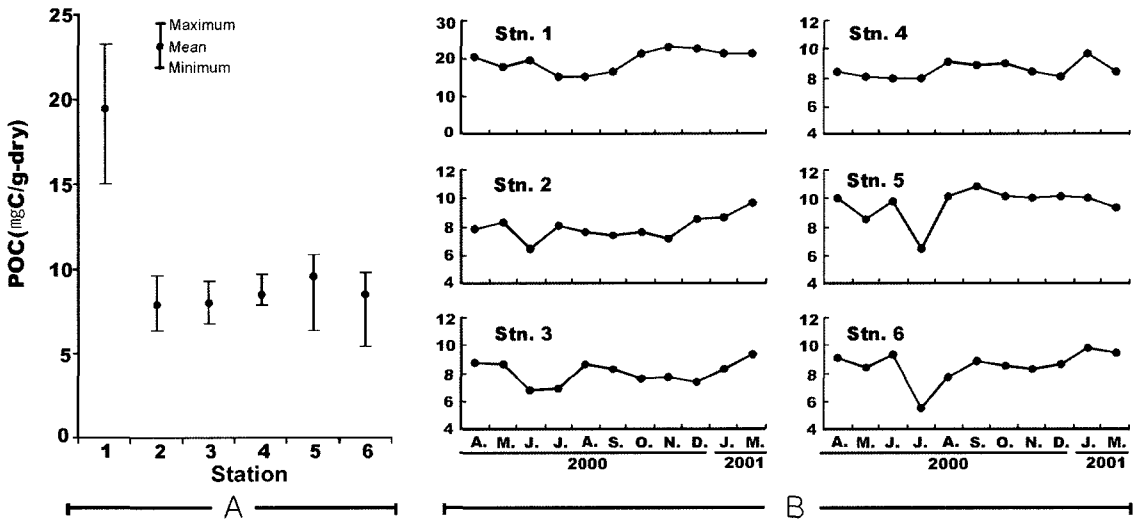


Fig. 7. Spatio-temporal variation of particulate organic carbon(POC) on the surface sediments(A: Spatial distribution, B: Temporal variation).

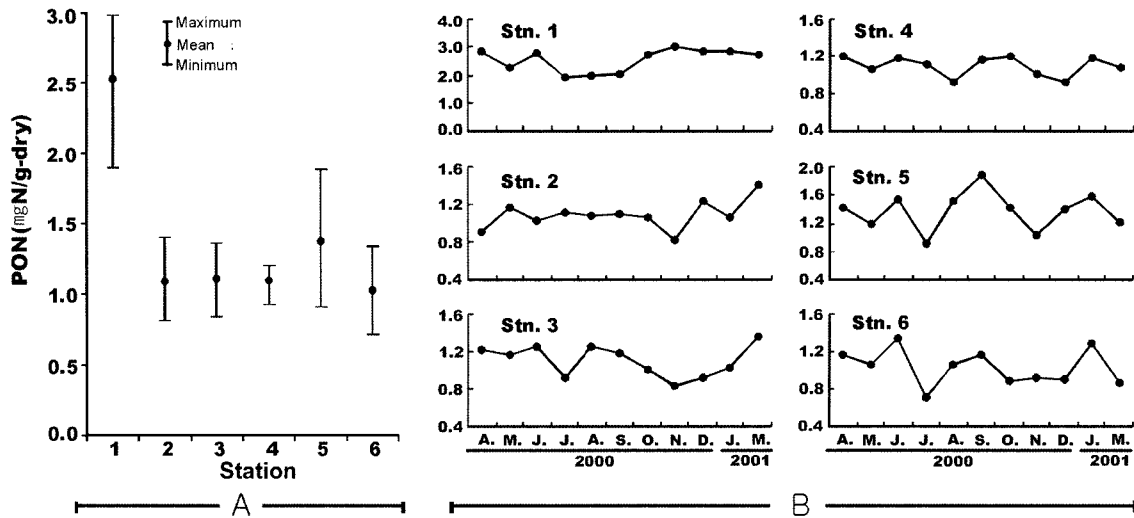


Fig. 8. Spatio-temporal variation of particulate organic nitrogen(PON) on the surface sediments(A: Spatial distribution, B: Temporal variation).

대값을 보이는 반면, 만 동쪽과 백야도 인근 해역 및 남쪽 만 입구역은 주로 고수온기에 유기질소 농도가 크게 증가하였다(Fig. 8, B).

### 3.3 C/N 비, CODs/IL 비 및 POC/Chl-a 비

유기탄소와 유기질소의 비(C/N ratio)는 해수 및 퇴적물 내로 유입되는 각종 물질의 기원을 밝히는 지표로 이용되고 있다. 가막만 표층퇴적물중 C/N 비는 5.40~10.82(7.61±0.97)의 범위를 나타내었다. 점별로 보면, Stn. 1은 7.10~8.24(7.72±0.34), Stn. 2는 6.28~8.70(7.32±0.80), Stn. 3은 5.40~9.11(7.34±0.92), Stn. 4는 6.51~9.74(7.79±0.94), Stn. 5는 5.78~9.66(7.10±1.01), 그리고 Stn. 6은 6.96~10.82(8.37±1.21)의 범위를 나타내었고, 공간적으로는 만 동쪽해역에서 상대적으로 높고, 남쪽 만 입구의 화태도 인근해역에서 가장 낮은 C/N 비를 나타내었으나, 만 전체적으로는 평균 8

이하의 C/N 비를 나타내어 육상기원 유기물보다 해양기원에 의한 유기물 집적이 우세한 것으로 판단되었다(Fig. 9, A). 경시적인 변화는 백야도 인근해역을 제외한 대부분의 해역에서 고수온기에 낮고 저수온기에 높은 값을 나타내어, 상대적으로 고수온기 높은 생물생산 등에 의한 유기물 집적이 우세한 것으로 나타났다(Fig. 9, B).

연안해역의 퇴적물중 CODs는 주로 유기물에서 유래하는 것으로 피산화성 유기물을 나타낸다(畑[1990]).畑[1990]은 CODs/IL의 관계식으로부터 퇴적물의 질적 표현을 시도하였다. 즉 CODs/IL 비 1을 기준으로 기율기 1보다 큰 분포상의 퇴적물중 유기물은 양식장을 포함한 외부기원의 유기물 유입에 의해 형성된 피산화성 유기물을 나타내며, 기율기가 1이하인 경우는 자연해수 중의 생물생산 등에 의한 자생성 유기물을 나타내는 것으로 평가하였다. 가막만 표층퇴적물에서 보여지는 CODs/IL의 관계식의 경우

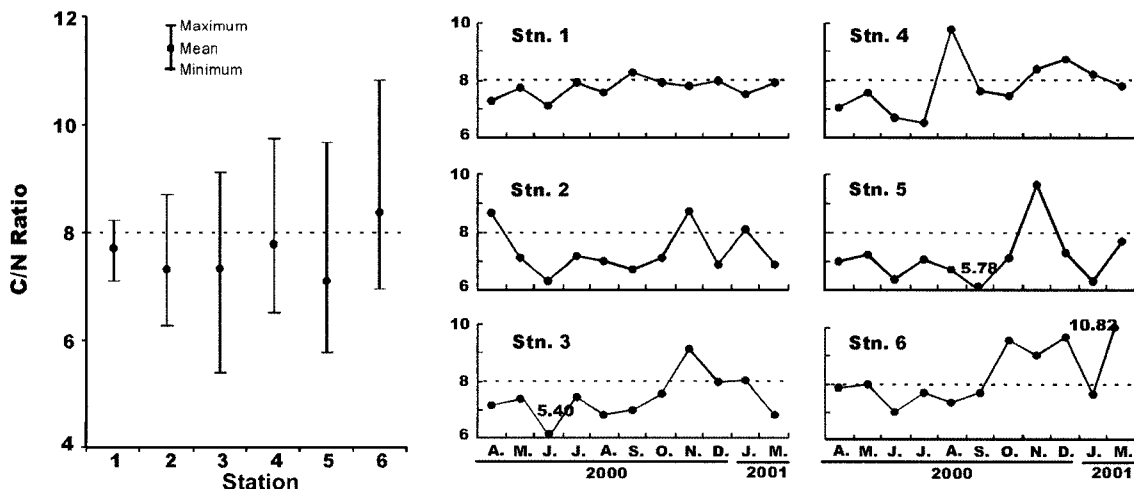


Fig. 9. Spatio-temporal variation of C/N ratio on the surface sediments(A: Spatial distribution, B: Temporal variation).

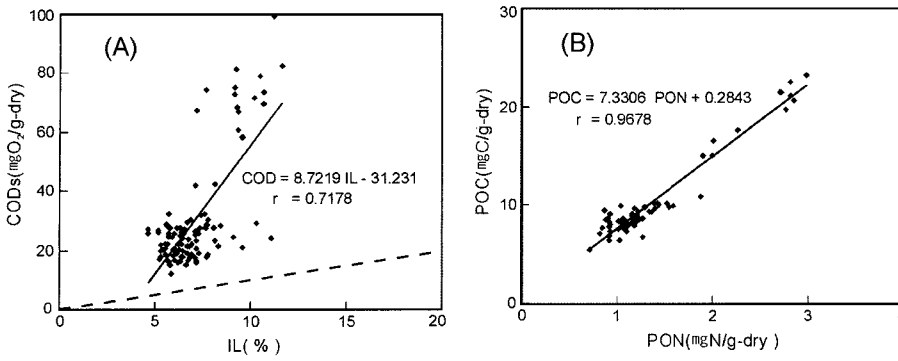


Fig. 10. Relationship between CODs and IL(A), POC and PON(B) on the surface sediments.

두 항목간에 좋은 양의 상관관계를 나타내며, 전 표층에 대해 기울기가 8이상으로 매우 큰 값을 나타내었다(Fig. 10, A). 즉 매우 높은 양의 상관관계를 나타내며 기울기가 8이하로 나타난 C/N 비(Fig. 10, B)와는 달리 생물생산에 의한 자생성 유기물보다 양식장 등을 포함한 외부유입부분이 큰 것으로 지시하였다.

POC/Chl-a 비는 입자성 유기탄소에서 식물플랑크톤이 차지하는 유기물조성을 나타내는 지표로 이용된다. 가막만 표층퇴적물중 POC/phaeopigment 비는 194~1191로, 만 전체적으로 퇴적물내 유기물 조성에 있어서 살아있는 식물플랑크톤 보다는 이로부터 유리된 부분을 포함한 쇠설성 유기물질이 높은 비율을 차지하는 것으로 나타났다. 정점별로 보면, Stn. 1은 194~334(277±59), Stn. 2는 357~1075(642±248), Stn. 3에서 295~926(518±176), Stn. 4는 477~1191(846±237), Stn. 5는 286~587(403±91), 그리고 Stn. 6에서 348~981(614±191)의 범위를 보여, 공간적으로 북서 내만역에서 가장 낮고 백야도 인근해역에서 가장 높았다(Fig. 11, A). 경시적으로는 식물색소량의 경시적인 변동과 반대로 대부분의 해역에서 고수온기에 높고 저수온기에 낮은 반면, 북서 내만역과 남쪽만 입구역은 고수온기에 낮은 값을 보였다, 즉 식물플랑크톤에 의한 유기물 생산은 만 중앙부와 동쪽 해역에서는 저수온기에 상대

적으로 높으나, 북서 내만역과 남쪽 만 입구역은 고수온기에 높은 것을 표현하였다(Fig. 11, B). 이와 같은 변동 양상은 식물색소량의 결과와 유사하였다.

#### 4. 고 찰

가막만 표층퇴적물중 유기물량은 그 분포 특성에 의해 북서 내만역과 만 중앙부해역 및 남쪽 만 입구역으로 대별되었으며, 만 중앙부와 동쪽해역 및 백야도 인근해역에서 비교적 낮은 반면, 북서 내만역과 남쪽 만 입구역에서 높은 유기물량을 나타내었다. 특히 북서 내만역이 다른 정점에 비해 단위 차이로서 매우 높은 유기물량을 나타내었다. 이와 같은 결과를 표현하는 것은 만의 북서해역은 첫째, 도시와 인접하여 생활하수가 직접 유입되는 곳이며 둘째, 분지형태의 지형으로 폐쇄적 특성을 나타내어, 유입된 생활하수 및 양식생물의 배설물 등의 풍부한 영양염류에 의해 높은 식물플랑크톤 생산을 나타내는 이 해역에서 2차적 유기물 생산이 가능하다는 것(윤[미발표])과 셋째, 해수유동 특성에 의해 만 내 물질을 수렴하는 특성(이[1992])을 가짐과 동시에 높은 함수율과 세립한 입도조성으로부터 간극수 확산과 퇴적물 단위체적에 대해 큰

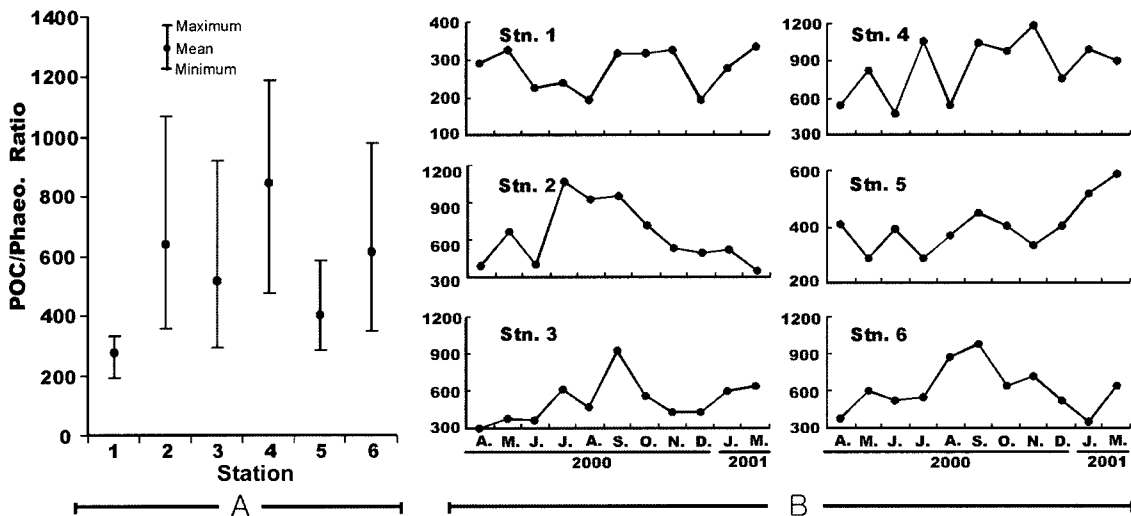


Fig. 11. Spatio-temporal variation of POC/phaeopigment ratio on the surface sediments(A: Spatial distribution, B: Temporal variation).



**Table 3.** Concentrations of organic parameters in surface sediment in coast of Korea

Area	IL (%)	CODs (mg/g-dry)	AVS (mg/g-dry)	Phaeo. (μg/g-dry)	POC (mg/g-dry)	PON (mg/g-dry)	C/N ratio	Sampling Year	References
Kyeonggi Bay	4.30	4.05	0.06	0.85	5.30	0.80	7.40	1993	Kang <i>et al.</i> (1993)
Asan Bay	4.40	6.20	ND	3.33	10.30	7.30	8.70	1993	Kang <i>et al.</i> (1993)
Saemankeum off	1.17-2.98	0.88-3.01	0-0.02	0.85	-	-	-	1999	Kim and Yoo(2001)
Mokpo off	0.47-16.96	4.38-28.91	0.01-4.07	-	-	-	-	1991-1992	Yoon(2000b)
Wando off	3.70-19.15	0-72.87	0-1.34	0.23-9.21	-	-	-	1994	Yoon(1998)
Keogeum-sudo off	1.23-16.79	3.55-42.27	0-2.43	0.32-5.91	-	-	-	1993	Yoon(2000a)
Deukryang Bay	3.10-21.51	0.37-18.21	0-3.30	0.10-20.44	-	-	-	1995-1996	Yoon(2003)
Yoja Bay	6.80	14.53	0.04	1.27	7.90	1.30	7.44	1993	Kang <i>et al.</i> (1993)
Gwangyang Bay	1.50-7.70	1.78-30.74	0.01-2.33	-	-	-	-	1991-1992	Yoon and Park(1992)
	7.10	13.67	0.11	0.22	10.40	1.00	10.71	1993	Kang <i>et al.</i> (1993)
Jinhae Bay	8.10-14.20	9.70-38.50	0.01-0.80	7.60-48.20	-	-	-	1981	Cho <i>et al.</i> (1982)
	-	-	-	8.41-13.59	15.16-31.39	1.99-4.06	7.41-8.55	1983	Yang and Hong(1988)
Hansan-Keoje Bay	10.80	20.86	0.12	2.35	16.80	1.90	10.98	1993	Kang <i>et al.</i> (1993)
Goseong-Jaran Bay	6.70-12.40	12.50-19.50	0.18-0.64	6.80-11.80	-	-	-	1981	Cho and Park(1983)
Pusan harber	6.30-18.50	5.05-43.67	0.06-4.37	-	7.10-63.80	0.30-4.50	10.20-60.20	1992	Park <i>et al.</i> (1995)
Suyeong Bay	4.70-9.97	-	-	-	5.80-33.80	0.40-5.30	1.60-25.20	1993	Yang and Kim(1994)
	6.40-9.20	6.40-10.70	0.08-0.27	2.50-5.80	-	-	-	1981	Cho <i>et al.</i> (1982)
	8.60	14.91	0.46	1.90	10.10	1.40	8.84	1993	Kang <i>et al.</i> (1993)
Gamak Bay	5.02-21.11	1.80-44.73	0-16.76	-	-	-	-	1993-1994	Cho <i>et al.</i> (1994)
	4.70-12.53	4.46-38.09	0.01-3.66	-	5.60-34.30	0.80-2.60	-	2000	Kim(2002)
	4.62-11.61	12.25-99.26	0-10.29	6.84-116.18	5.45-23.24	0.71-2.99	5.40-10.82	2000-2002	This study

표면적을 가져 유기물 채류 및 보존이 유리하기 때문인 것으로 판단되었다.

강열감량은 우리나라에서 가장 부영양화가 심한 것으로 알려진 진해만(조 등[1982])과 대규모 도시집중화가 이루어진 부산항 주변해역, 도시형성으로 폐쇄성이 강한 목포 주변해역(박 등[1995]) 등에 비하면 낮은 농도이나, 패류양식시설이 밀집한 해역인 남해안의 고성-자란만(조와 박[1983])과 유사하였고, 담수와 해수의 특성이 혼합된 완충지역의 특성을 가지는 서해 경기만·아산만(Kang *et al.*[1993]) 등과 인접한 해역인 득량만·여자만(Kang *et al.*[1993]) 보다는 높았다(Table 3). 즉, 만 중앙부와 동쪽해역은 7%이하의 농도를 보이고 있지만 북서 내만역과 가두리 양식이 활발한 남쪽만 입구역의 유기물 집적은 매우 높은 값으로 우려할만한 수준이다.

또한 이러한 집적된 유기물로 인하여 북서 내만역인 Stn. 1에서는 연중 40 mgO<sub>2</sub>/g-dry 이상의 높은 CODs 농도를 나타내고 있으며, 2000년 12월의 최대값을 제외하면 계절적으로 고수온기에 높은 농도를 보이고 있어, 하계 수주내 높은 생물생산 및 담수에 의한 생활하수 유입 등이 높은 것으로 사료되었다. 가막만에서 보이는 CODs 농도는 완도 신지도 연안(윤[1998])과 유사한 값을 보이고, 북서 내만역을 제외한 조사 정점에서도 목포연안(윤[2000b])과 산업폐수와 생활하수 등에 의해 부영양화가 보고되는 광양만(윤과 박[1992])의 최고값과 유사한 값이다. 특히 가막만은 1990년대 초에는 만 전체가 일본 수산환경 수질기준인 20 mgO<sub>2</sub>/g-dry 이하의 값을 보이던 것이, 1990년대 중반이후 크게 증가하고 있는 것으로 나타나 가막만의 유기오염은 최근 들어 급격히 진행되

고 있다고 할 수 있다(Table 3).

퇴적물 내에서 일어나는 황화물은 박테리아에 의해 유기물 분해가 활발하여 산소가 결핍되는 환경에서 일어난다. 즉 유기물 분해과정에서의 황산염 환원세균의 증식 및 황화수소와 퇴적물 중 금속산화물 등이 결합하는 과정에서 발생한다. 특히 畑[1990]은 표영환경에서 어류양식 등, 어장의 적정이용을 하기 위한 퇴적물 중의 황화물 농도를 0.2~1.0 mgS/g-dry로 제시하고 있다. 또한 퇴적물중 유기물을 나타내는 지표인 CODs나 IL은 계절적인 경향을 나타내어 쉽게 변화하지만, 황화물량은 퇴적환경에 유기물이 경년적으로 집적되는 양상을 표현하여 어장 노화 등의 고찰에는 더욱 객관성이 있는 항목으로 지적하였다. 가막만 중앙부와 동쪽해역 및 백야도 인근해역은 연평균 0.2 mgS/g-dry 내외로 어장이용에 있어서 비교적 양호한 저질환경을 나타내고 있으나, 북서 내만역과 남쪽만 입구역의 황태도 인근해역은 연평균 각각 3.92 mgS/g-dry, 1.16 mgS/g-dry로 극심한 유기오탁이 보여져 어장이용에 심각한 문제 발생이 예상된다. 즉 북서 내만역의 경우 분지형태의 지형적 특성과 반시계 방향의 향류가 존재하여, 느린 조류 등 해수유동에 의한 만 내 물질이 수렴되는 현상이 보여져 연중 높은 유기물량을 보이는 것으로 해석되었다(이[1992]). 반면 어류 가두리 양식이 활발한 남쪽만 입구역은 최대 조류와 향류의 유속이 각각 100~159 cm/sec, 13.85~25 cm/sec로, 북서 내만역의 각각 16.7 cm/sec 과 3.5 cm/sec 이나, 중앙부와 동쪽 해역의 40 cm/sec과 7.9 cm/sec 보다 훨씬 빠른 양상을 보여(이[1992]; 이 등[1995]; 추[1998]) 퇴적물에 유기물 집적이 불리한 환경특성을 가진다. 그러나 가두리

양식장주변 해역은 잉어사료 및 양식생물의 배설물 등의 과다 유입으로 양식의 영향을 받지 않는 다른 해역에 비해 1~3배정도 높은 퇴적율을 가지며, 높은 유기물량과 함수율을 보이는 것으로 알려져 있다(Holby and Hall[1991]). 이처럼 양식부산물에 의한 영향을 크게 받는 해역의 경우 수괴의 유동이 비교적 탁월한 지역에서조차도 저층해수의 용존산소가 고갈되는 것으로 보고되고 있으며(Brown *et al.*[1987]), 실제로 정 등[2002]에 의하면 이 지역 저서동물의 우점종 분포에 있어서 유기물 오염이 심한 환경에서 서식하는 것으로 알려진 *Capitella capitata*가 대량 출현하였으며, 일부 가두리 양식장 주변에서는 *C. capitata* 분포가 전체 저서동물 군집의 90%를 차지하는 것으로 보고하고 있다. 이와 같은 점으로 미루어 가막만 남쪽 만 입구의 화태도 인근해역은 오래 전부터 대규모로 이루어진 가두리양식에 따른 유기물 누적으로 북서 내만역과 함께 표층퇴적물의 환원상태가 심각하게 보여지는 해역으로 판단되었다. 가막만에서 보여지는 황화물량의 값은 부산항 주변해역(박 등[1995])과 목포 내항(윤[2000b])에서 측정된 값과 유사하나, 서해 경기만·아산만(Kang *et al.*[1993])과 새만금지역(김과 유[2001]), 가막만에 인접한 해역인 득량만(윤[2003]), 여자만(Kang *et al.*[1993]), 광양만(윤과 박[1992]) 등에 비해서는 월등히 높은 농도를 나타내었다(Table 3). 특히 가막만 북서 내만역인 Stn. 1에서 보여지는 최대값 10.29 mgS/g-dry는 일본 수산환경 기준값인 0.2 mgS/g-dry(日本水産資源保護協會[1972])에 비해 50배 이상의 값으로, 매년 고수온기 황화수소 가스 냄새에 의한 피해가 발생하고 있어, 최근에는 준설에 의한 해저퇴적물 제거 작업이 이루어지고 있다.

Phacopigment는 수주 내 식물플랑크톤 생산과 초식동물의 섭식(Daley[1973]; Lorenzen and Welschmeyer[1983]), 퇴적물 내 저서동물의 섭식 등에 의해 변화되기에(Gelder and Robinson[1980]; Bianchi *et al.*[1996]) 자연해수 중의 식물플랑크톤 군집의 생리와 섭이과정을 나타내는 중요한 지표가 된다. 식물색소량의 경시적인 변동양상은 북서 내만역과 남쪽 만 입구역에서 고수온기를 중심으로 높은 농도를 보이며, 만 중앙부와 동쪽해역은 저수온기를 중심으로 높았다. 이는 북서 내만역과 남쪽 만 입구역의 경우 근래 이 해역들에서 고수온기에 나타나는 상승적조 발생(윤[1995]; 김[1999]) 등 하계 수주내 높은 식물플랑크톤 생산에 의한 것으로 판단되었다. 반면 우리나라 남해안과 같이 수심이 낮고 해수 수직혼합이 활발한 내만역에서는 겨울철에도 식물플랑크톤 대발생이 보여진다는 내용(Wafar *et al.*[1983])이나, 가막만의 경우 년 간 구조류에 의한 식물플랑크톤 우점현상이 보여지는 것으로부터(윤[1995]; 윤[1998]; 김[1999]), 수심이 낮은 가막만 중앙부와 동쪽해역은 저수온기에도 높은 식물플랑크톤 생산이 가능한 것으로 판단할 수 있다. 또한 중앙부와 동쪽해역은 패류양식이 이루어지는 이 해역의 공통적인 특성상 봄 혹은 겨울철 여과식자인 패류가 산란기에 접어들면서 활발한 섭이활동에 따른 배설물 증가에 기인한 것으로 사료되었다. 가막만에서 보여지는 식물색소량은 오래전부터 패류양식이 이루어져 부영양화가 극심한 진해만(조 등[1982])

이나, 해조류 양식이 활발한 완도 신지도(윤[1998])와 고흥 거금수도 주변해역(윤[2000a])은 물론, 국내 기존자료가 있는 어떠한 해역보다 월등히 높은 값을 나타내고 있으며, 과거 가막만에서 분석된 값(Cho *et al.*[1982])에 비해서도 매우 크게 증가한 것으로 나타났다(Table 3).

퇴적물 중에 포함된 유기탄소의 양을 조절하는 요인으로는 수주 내에서의 생물생산정도, 유기탄소의 보존 증가, 그리고 육상기원 유기탄소 공급 등을 들 수 있다(Muller and Suess[1979]; Stein[1991]). 수심이 깊은 대양에서는 수주 내 클로로필 및 유기탄소 등이 해저로 가라앉기 전에 수주 내에서 상당부분 분해되지만, 우리나라 남해안의 내만역과 같이 수심이 비교적 얇고 수주 혼합이 활발한 해역에서는 유기물질의 상당량이 분해되기 전에 침강·퇴적된다. 따라서 가막만의 수주 내 식물플랑크톤의 생산량 증가, 양식생물의 배설물과 양식부산물, 그리고 육상으로부터 유입된 유기물의 중·감미 해저 퇴적물에 곧바로 영향을 줄 것으로 짐작된다. 가막만의 입자성 유기탄소와 유기질소의 농도는 인접한 광양만(Kang *et al.*[1993])과 유사하였고, 득량만, 여자만 그리고 경기만(Kang *et al.*[1993])에 비해 높은 농도를 보이나, 진해만(Yang and Hong[1998]) 및 산업폐수와 생활하수 유입이 많은 부산항 주변해역(박 등[1995])과 수영만(양과 김[1994]) 보다 낮은 농도를 보였다(Table 3). 유기탄소의 계절 변동폭은 타 분석항목에 비해 적지만, 그 변동양상이 COD와 식물색소량의 경시적인 변동양상과 유사하였다. 즉, 가막만의 유기탄소의 경시적인 변화는 주로 양식되어지는 생물의 종류와 식물색소량으로 표현되는 수주 내 1차생산과 밀접한 관련이 있는 것으로 추정되었다. 다만 유기탄소 및 유기질소 농도에 영향을 주는 요인과 경로가 매우 다양하기에 유기물 거동 등 만 내 환경특성과 관련하여 더욱 심도 있는 고찰을 필요로 한다.

CODs와 황화물량의 변동 비는 해역의 부영양화를 나타내는 지표로서 흔히 이용된다. 황화물을 생성하는 황산염 환원세균은 에너지원으로 CODs로 표현되는 피산화성 유기물을 이용하며(畑[1969]), 황화물량과 CODs 사이의 관계는 단순하지 않으나 일반적으로 두 요인 사이는 지수 함수적인 관계를 나타내어, CODs 농도가 낮을 때에는 황화물 생성이 느리게 진행되나, CODs가 어느 수준을 넘게 되면 매우 급한 황화물 증가 양상이 보여지는 것으로 알려져 있다(畑[1990]). 가막만에서 이 두 요인간의 관계를 보면(Fig. 12), 북서 내만역의 경우 두 항목이 서로 상호의존적인 관계를 나타내어 CODs 증가에 비례하여 황화물량 역시 꾸준히 증가하는 것으로 나타났다. 북서 내만역은 육상으로부터 생활하수 유입과 광범위한 혼합양식장 분포 및 약한 해수유동으로 수주혼합이 어렵고, 분지형태의 지형적 특성에 의해 집적된 유기물의 체류기간이 길어 저층해수 중에 무(저)산소환경이 나타난다(윤[1995]). 반면, 남쪽 만 입구역은 북서 내만역과는 달리 CODs 변동에 비해 황화물량의 변동 폭이 크게 나타난다. 만 외해수의 영향을 받는 만의 남부 해역은 육상으로부터 유기물 유입은 적지만 오래 전부터 이루어진 가두리양식으로 유기물 집적에 따라 해저 무산소

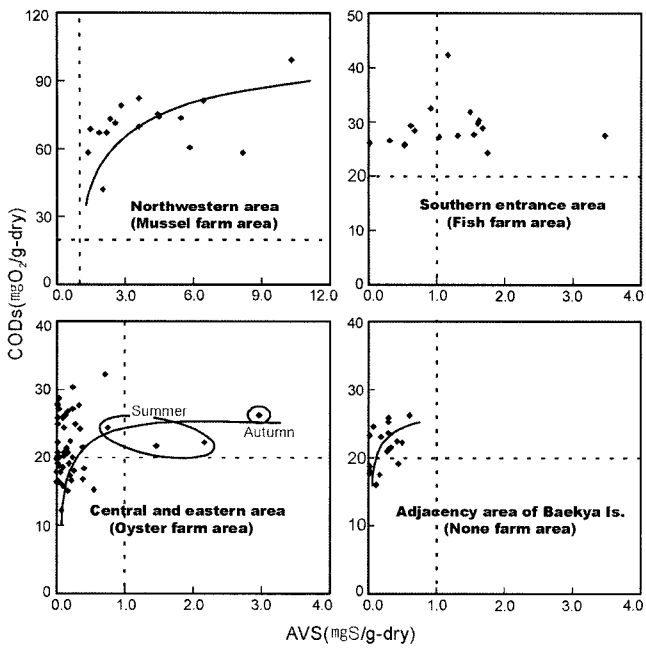


Fig. 12. Relationship between CODs and AVS on the surface sediments.

층이 보여져, 북서 내만역과 함께 어장이용에 심각한 문제가 발생할 수 있는 해역이다. 그러나 굴양식장이 산발적으로 분포하는 만 중앙부와 동쪽 해역은 CODs 농도가 20 mgO<sub>2</sub>/g-dry를 기준으로, 기준 이하의 호기성 조건에서는 황화물 증가가 매우 느리게 진행되나, CODs 농도가 기준 이상에서는 고수온기를 중심으로 급격한 황화물 증가양상이 보여지지만, 전반적으로 호기성 조건하에서 분해활동이 이루어져 CODs의 단기적인 변동이 크게 나타나는 해역으로 판단되었다. 그리고 백야도 인근해역은 만 중앙부 및 동쪽 해역과 유사한 CODs 농도범위를 보이나, CODs 농도의 증가에 비해 황화물 생성이 크게 제한 받는 것으로 나타났다. 이는 가막만 북서해역에 위치한 나진주변을 통해 썰물 때 남쪽방향으로 남하하는 조류와, 남쪽 만 입구역에 위치한 화태도, 송도 등에서 밀물 때 시계방향의 회전성을 가지며 북서진하는 조류의 영향이 [1992]을 받아 유입된 유기물이 장기적으로 집적되기 어려운 환경특성을 갖는 것으로 판단되었다.

즉 가막만 퇴적물중 유기물 분포특성은 연중 높은 유기물량으로 환원상태가 심각한 북서 내만역 및 남쪽 입구역의 화태도 일원과, 비교적 낮은 유기물량을 보이지만 계절에 따라 일시적인 퇴적물 환원상태가 나타나는 만 중앙부와 동쪽해역, 그리고 CODs 증가에 비해 연중 낮은 황화물량을 나타내는 백야도 인근해역에서 서로 다른 특성을 보이며, 특히 북서 내만역의 경우 CODs와 phaeopigment 사이의 높은 양의 결정계수(Fig. 13)로부터 유기물과 다 집적에 따른 영양염류 재생산에 의한 높은 식물플랑크톤생산 등 2차 유기오염발생이 가능한 해역인 것으로 판단되었다.

퇴적물의 C/N 비는 퇴적물로 공급되는 유기물질의 기원에 따라 값을 달리하기에 해양의 유기물 기원을 고찰하는 수단으로 이

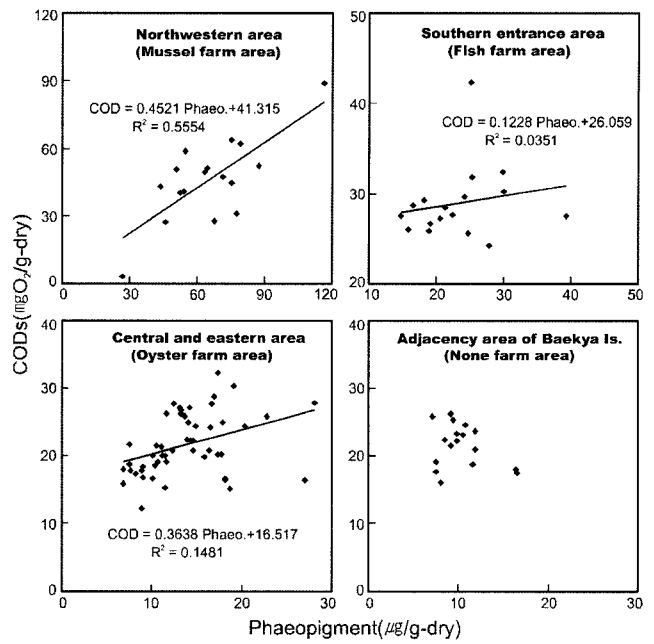


Fig. 13. Relationship between CODs and phaeopigment on the surface sediments.

용된다. C/N 비가 10이상이면 육상기원 유기물 유입에 크게 영향을 받는 외래성 유기물에 의해 지배됨을 의미하며(Parsons[1975]), 그 비가 8이하일 때 해역자체에서 생산된 유기물질에 의해 퇴적되는 자생성 유기물에 의해 지배되는 것으로 이해할 수 있다(Pocklington and Leonard[1979]). 가막만 C/N 비는 만 전체적으로 평균 8이하의 값을 나타내어 자생성 유기물에 의해 지배되는 것으로 나타났으며, 이는 기존의 김[2002]의 결과와도 유사하였다. 다만 Stn. 6의 C/N 비는 평균 8.37, 최대값 10.82를 나타내어, 북동쪽 수로를 통해 섬진강 및 연등천 영향을 강하게 받고 있어(이와 조[1990]) 외래성 유기물 유입이 큰 것으로 나타났다. 가막만의 C/N 비는 진해만(Yang and Hong[1988])과 인접한 해역인 득량만 및 여자만(Kang et al.[1993])과 유사한 값을 나타내었으며, 낙동강 수괴의 영향을 크게 받은 부산항 주변해역(박 등[1995])과 수영만(양과 김[1994])보다는 상당히 낮은 값을 나타내었다(Table 3).

또한 가막만은 POC/phaeopigment 비로부터 살아있는 식물플랑크톤보다 유기 쇄설물질에 의한 유기물 조성이 높은 비율을 차지하는 것으로 나타났다. 수주 내 부유물질 또는 퇴적물중 유기물 내에서 살아있는 식물플랑크톤이 높은 비율을 차지할 경우 이 비는 100~200이하의 값을(Zeitzschel[1970]; Parsons et al.[1977]), 쇄설성 유기물질이 우점하는 경우에는 200이상의 높은 값을 나타내는 것으로 보고하고 있다(Cifuentes et al.[1988]). 이는 살아있는 식물플랑크톤이 함유하는 POC/chl-a 비는 종에 따라서, 또는 성장정도와 수주내 영양염의 제한요인에 따라 다르게 나타나는데 일반적으로 POC/Chl-a 비는 4~200정도의 범위를 갖기 때문이다(Paerl et al.[1976]; Parsons et al.[1977]; Platt et al.[1977]; Hunter and Laws[1981]). 공간적으로는 평균 300 이하의 값을 보인 북서

내만역이 평균 800 이상의 높은 값을 보인 백야도 인근해역에 비해서 퇴적물중 유기물 조성에 식물플랑크톤에 의한 부분이 현저히 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 만내의 식물플랑크톤 현존량의 분포 양상(윤[1995]; 김[1999]) 및 표층퇴적물중 외편모조류의 cyst 분포양상(박과 윤[2003])과 일치하였다.

이상과 같은 가막만 퇴적물중 유기물 분포 양상으로부터 가막만은 1970년대 이후 산업발달과 인구증가에 따른 산업폐수와 생활하수의 증가 및 양식활동에 의한 해역의 유기물 부하량이 증가하고 있으며, 특히 북서 내만역과 남쪽 만 입구역 등 일부해역을 중심으로한 극심한 유기오염물 축적현상은 1990년대 이후 생활하수 및 양식장 시설에 의한 자가오염에 의해 매우 급격히 진행되고 있는 것으로 판단되었다.

### 참고문헌

- [1] 국립수산진흥원, 1978, “연안 어장 및 임해 공업 단지 주변 해역의 해수 유동”, 206 pp.
- [2] 김귀영, 2002, “가막만의 이화학적 환경특성과 퇴적물에서의 물질 거동 연구”, 영남대학교 대학원 이학박사 학위논문, 133 pp.
- [3] 김대일, 1999, “가막만 해양환경과 적조생물의 출현 동태”, 여수대학교 대학원 이학석사 학위논문, 112 pp.
- [4] 김종구, 유선재, 2001, “새만금지역 하구갯벌의 유기물 분해 능력 평가”, 한국환경과학회지, 10(5), 315-321.
- [5] 박영철, 양한섭, 이필용, 김평중, 1995, “겨울철 부산항 주변 해역의 수질과 표층퇴적물 환경특성”, 한국수산학회지, 28(5), 577-588.
- [6] 박종식, 윤양호, 2003, “외편모조류 Cyst 분포에 의한 한국 남서 해역의 해양환경 특성 1. 가막만 외편모조류 Cyst의 시공간적 분포”, 한국수산학회지, 36(2), 151-156.
- [7] 양한섭, 김성수, 1994, “수영만 퇴적물의 퇴적속도와 중금속 오염”, 한국수산학회지, 27(5), 643-658.
- [8] 윤양호, 1995, “가막만 북부해역의 해양환경과 식물플랑크톤 군집의 변동특성 1. 식물플랑크톤 군집의 계절변동과 적조원 인생물”, 여수수산대학교 수산과학연구소 연구보고, 4, 1-15.
- [9] 윤양호, 1998, “완도 신지도 연안해역 표층퇴적물 중의 유기물 분포에 대하여”, 여수대학교 논문집, 13(2), 1135-1151.
- [10] 윤양호, 2000a, “거금수도 표층퇴적물 중의 유기물 분포 및 기원에 관한 연구”, 한국환경과학회지, 9(2), 137-144.
- [11] 윤양호, 2000b, “저수온기 목표연안 해역의 해양환경학적 특성 3. 표층퇴적물중의 유기물 분포와 기원”, 여수대학교 기초과학연구소 논문집, 2, 83-94.
- [12] 윤양호, 2003, “득량만 표층퇴적물 중 유기물의 시·공간적 분포 및 기원”, 해양환경과학회지, 12(7), 735-744.
- [13] 윤양호, 박정미, 1992, “저수온기 광양만의 유기오탁 현상에 대하여”, 여수수산대학 수산과학연구소 연구보고, 1, 55-67.
- [14] 이규형, 1992, “가막만의 해수유동 패턴”, 한국어업기술학회지, 28(2), 117-131.
- [15] 이규형, 조규대, 1990, “가막만의 수온과 염분 분포”, 한국수산학회지, 23(1), 25-39.
- [16] 이명철, 장선덕, 1982, “가막만의 해수교환”, 한국해양학회지, 12-18.
- [17] 이연규, 황진연, 정규귀, 1995, “가막만 표층퇴적물 특성 및 점토광물”, 한국지구과학회지, 16(6), 477-488.
- [18] 이재철, 추효상, 이규형, 조규대, 1995, “1994년 7-8월 가막만의 조석 및 해류”, 한국수산학회지, 28(5), 624-634.
- [19] 정래홍, 임현식, 김성수, 박종수, 전경암, 이영식, 이재성, 김귀영, 고우진, 2002, “남해안 가두리 양식장 밀집해역의 대형저서동물 군집에 대한 연구”, 7(4), 235-246.
- [20] 조창환, 박경양, 1983, “고성-자란만 패류양식장 저리의 부영양화”, 한국수산학회지, 16(3), 260-264.
- [21] 조창환, 양한섭, 박경양, 엄말구, 1982, “진해만 패류양식장의 저질에 관한 연구”, 한국수산학회지, 15(1) 35-41.
- [22] 조현서, 유영석, 이규형, 1994, “가막만 수질 및 저질환경의 계절적 변동특성”. 여수수산대학교 수산과학연구소 연구보고, 3, 21-33.
- [23] 추효상, 1998, “가막만 남쪽 화태도 주변의 해양 특성”. 여수대학교 수산과학연구소 연구보고, 7, 145-157.
- [24] 해양수산부, 1998, “해양환경공정시험 방법”, 317 pp.
- [25] Berner, R.A., 1981, “*Early diagenesis*”, Princeton Univ. Press, N. J., 241 pp.
- [26] Bianchi, T.S., D. Andreas, H. Myroula, A. Marina, M. Baskaran and L. Corey, 1996, “Plant pigments as biomarkers of organic matter sources in sediments and coastal waters of cyprus (eastern Mediterranean)”, Estuar. Coast. Shelf Sci., 42, 103-115.
- [27] Brown, J.R., R.J. Gowen and D.S. McLusky, 1987, “The effect of salmon farming on the benthos of a scottish sea loch.”, J. Mar. Biol. Ecol., 109, 39-51.
- [28] Cifuentes, L.A., J.H. Sharp and M.L. Fogel, 1988, “Stable carbon and nitrogen isotope biogeochemistry in the delaware estuary”, Limnol. Oceanogr., 33(5), 1102-1115.
- [29] Daley, R.J., 1973, “Experimental characterization of lacustrine chlorophyll diagenesis 2. bacterial, viral and herbivore grazing effects”, Arch. Hydrobiol., 72, 409-439.
- [30] Gelder, S.R. and W.E. Robinson, 1980, “Identification of phaeopigments in the digestive gland of *Mytilus edulis* by microspectrofluorimetry”, J. Exp. Mar. Biol. Ecol., 43, 281-292.
- [31] Hunter, B.L. and E.A. Laws, 1981, “ATP and chlorophyll a as estimators of phytoplankton carbon biomass”, Limnol. Oceanogr., 26(5), 944-956.
- [32] Holby, O. and P.O.J. Hall, 1991, “Chemical fluxes and mass balances in a marine fish cage farm. II. phosphorus”, Mar. Ecol. Prog. Ser., 70, 263-272.
- [33] Kang, C.K., P.Y. Lee, J.S. Park and P.J. Kim, 1993, “On the distribution of organic matter in the nearshore surface sediment of Korea”, Bull. Kor. Fish. Soc., 26(6), 557-566.
- [34] Lorenzen, C.J. and N.A. Welschmeyer, 1983, “The in situ sinking rates of herbivore fecal pellets”, J. Plankton. Res., 5, 929-933.
- [35] Muller, P.J. and E. Suess, 1979, “Productivity, sedimentation rate, and sedimentary organic carbon in the ocean 1. Organic

- carbon preservation”, *Deep-Sea Res.*, 26, 1347-1362.
- [36] Paerl, H.W., M.M. Tilzer and C.R. Goldman, 1976, “Chlorophyll a versus adenosine triphosphate as algal biomass indicators in lakes”, *J. Phycol.*, 12, 242-246.
- [37] Parsons, T.R., 1975, “Particulate organic carbon in the sea”, In *Chemical Oceanography*(ed. J.P. Riley and G. Skirrow), 2nd ed., Academic Press. London, England, 647 pp.
- [38] Parsons, T.R., M. Takahashi and B. Hargrave, 1977, “Biological oceanographic processes”, Pergamon Press, Oxford.
- [39] Platt, T., K.L. Denman and A.D. Jassby, 1977, “Modeling the productivity of phytoplankton”, In: *The Sea*(Eds. E.D. Goldberg, et al.), pp. 807-856.
- [40] Pocklington, R.J. and D. Leonard, 1979, “Terrigenous organic matter in sediment of the St. Lawrence estuary and the saguenay fjord”, *J. Fish. Res. Bd Can.*, 36, 1250-1255.
- [41] Stein, R., 1991, “Accumulation of organic carbon in marine sediments”. In: *Lecture Notes in Earth Science*, edited by Somdev, B. *et al.*, Springer Verlag, Berlin, 217 pp.
- [42] Sætre, M.M.L., B. Dale, M.I. Abdullah and G.P. Sætre, 1997, “Dinoflagellate cysts as potential indicators of industrial pollution in a Norwegian Fjord”, *Mar. Environ. Res.*, 44, 167-189.
- [43] Wafar, M.V.M., P. Le Corre and J.L. Birren, 1983, “Nutrients and primary production in permanently well mixed temperate coastal waters”, *East Coast. Shelf. Sci.*, 17, 431-446.
- [44] Yang, D.B. and J.S. Hong, 1988, “On the biogeochemical characteristics of surface sediments in chinhae bay in september 1983”, *Bull. Kor. Fish. SOC.*, 21(4), 195-205.
- [45] Zeitzschel, B., 1970, “The quantity, composition and distribution of suspended particulate matter in the gulf of California”, *Mar. Biol.*, 7(4) 305-318.
- [46] 日本水産資源保護協會 編, 1972, “水産環境水質基準(水質資料)”, 87 pp.
- [47] 日本水産資源保護協會 編, 1980, “新編 水質汚濁調査指針”, 恒星社厚生閣, 東京, 552 pp.
- [48] 畑 幸彦, 1969. “底土中の硫化物”, *沿岸海洋研究ノート*, 7, 14-18.
- [49] 畑 幸彦, 1990. 堆積物. In “海面養殖と養魚場環境. 水産学シリーズ. 82. (渡邊 競編), 恒星社厚生閣, 東京”, 51-68.

---

2005년 7월 27일 원고접수

2006년 1월 18일 수정본 채택