

득량만 표층퇴적물 중 유기물의 시·공간적 분포 및 기원

윤 양 호
여수대학교 해양시스템학부
(2003년 4월 4일 접수; 2003년 6월 26일 채택)

Spatio-temporal Distribution of Organic Matters in Surface Sediments and Its Origin in Deukryang Bay, Korea

Yang Ho Yoon

Division of Ocean System, Yosu National University, Yosu 550-749, Korea
(Manuscript received 4 April, 2003; accepted 26 June, 2003)

The field observations on a seasonal characteristic of organic matter and its origin in the surface sediment were carried out at 35 stations in Deukryang bay, southern coast of Korean Peninsula from May 1995 to February 1996.

The analytical parameters were mud temperature, ignition loss(IL), chemical oxygen demand(COD), pheopigment, sulfide and water content. The origin and seasonal dynamics of organic matter in Deukryang Bay were analyzed by COD/IL, COD/sulfide ratio and principal component analysis(PCA).

As a results of the mud temperature fluctuated between 2.1°C with the lowest mean 4.6°C in winter and 27.6°C with the highest mean 25.5°C in summer. The range of ignition loss(IL) was from 3.1% in autumn to 21.5% in winter. Chemical oxygen demand(COD) showed the highest mean value of 8.45 mg/g dry in spring within the range of 2.90~18.21 mg/g dry, while it showed the lowest value of 4.33 mg/g dry in autumn within the range of 0.67~10.37 mg/g dry. Pheopigments showed the highest mean value of 9.04 µg/g dry in autumn within the range of 1.36~20.44 µg/g dry, while it did the lowest mean value of 2.20 µg/g dry in summer within the range of 0.33~11.36 µg/g dry. The range of total sulfide (H₂S) was from no detect(ND) to 3.30 mg/g dry in spring. And water content showed the annual mean value of 43.6% within the range of 23.6~54.9%.

The source of organic matter by COD/IL and COD/sulfide ratio in Deukryang Bay had been produced by primary producer in sea water areas except the areas effected by small stream, domestic and animal wastes. And the analytical results of PCA was able to be divided into three different regions. The former was characterized by the shallow depth and authigenic organic matter from phytoplankton in northwest area and northeastern inner bay, the secondary was done by deeper depth and allochthonous one from lands in southeast area and eastern entrance of bay, and the latter was done by authigenic one from the farm of seaweeds such as, sea cabbage, sea mustard *etc* in western entrance of bay.

But a study on the relationship between sulfide and COD concentration in the northeastern inner bay which was characterized by the water stagnation will to take much more studying including major constituents of organic matter in the future

Key word : Seasonal dynamic, Organic matter, Origin, Deukryang Bay, COD/IL, COD/sulfide, PCA

1. 서 론

해양 유기물은 그 기원에 따라 외부 유입에 의한 외래성 기원과 해양 자체생산인 자생성 기원으로 구분 할 수 있다. 남해안의 경우 1960년 이후 공업

Corresponding Author : Yang Ho Yoon, Division of Ocean System, Yosu National University, Yosu 550-749, Korea
Phone : +82-61-659-3142
E-mail : yhyoon@yosu.ac.kr

화와 도시화에 의한 산업발전으로 외래성 기원의 유기물이 다량 해역으로 유입되고 있을 뿐만 아니라, 최근에는 대규모의 어류 가두리 및 축양, 그리고 해조류 및 패류 양식장 등에서는 투여된 먹이의 잉여분과 양식 잔해물, 양식생물의 배설물과 적조 등 자생성 유기물 생산 증가로 연안해역의 부영양화가 빠르게 진행되고 있다. 이와 같은 유기물은 일시적으로 해수 중에 용존 또는 현탁태로서 존재하지만 최종적으로는 형태를 달리하면서 해저에 침강 퇴적하게 된다. 해저퇴적층의 유기물 퇴적은 고수온기 폐쇄성 수역의 저산소 또는 무산소화를 발생시킬 뿐만 아니라, 무기화 과정에 의한 영양염류 용출로 적조발생 등 표영 및 저서생태환경을 악화시켜, 해역의 생물 생산성을 저하시키는 원인이 된다¹⁾. 따라서 생태환경의 악화나 어장노화 현상은 주로 피산화성 유기물에 의해 이루어지기에 저서환경의 오염을 총괄하는 지표로서는 흔히 퇴적층의 화학적 산소요구량(COD)이 이용되며¹⁾, 퇴적환경은 또한 다양한 경로로 유입된 유기물질이 표영환경에서 물리, 화학, 생물학적 변화과정을 거치면서, 최종적으로 도달하여 형성되기에 표영환경의 누적적 환경지표로서 이용된다²⁾.

그러기에 퇴적환경을 명확히 하는 것은 장기 수질환경의 누적적 변화과정을 추적하는데 매우 유효한 수단으로 해역의 환경문제를 보다 확실하게 할 수 있음과 동시에, 해저를 생활기반으로 하고 있는 저서생물의 서식조건을 판단하는 지표가 된다. 그러나 우리나라 연안해역에서의 어장노화나 해역의 환경문제를 평가함에 있어, 퇴적환경을 측정할 내용은 남해 일부 패류어장의 저질환경 파악^{3~6)} 및 연안 표층퇴적물중의 유기물 분포에 관한보고^{7~11)} 등이 보여 질 뿐 매우 빈약한 실정이다.

득량만은 한국 남해 중앙부에서 서쪽에 위치하며, 지형적으로는 만의 남쪽 입구에서 30km 정도 북동쪽으로 함몰되어 있고, 남쪽 입구만을 통해 해수교환이 이루어지는 매우 폐쇄성이 강한 내만이다. 만의 구조는 내만 해역과 만의 중앙부를 따라 북서쪽 연안은 5m 이하의 수심으로 갯벌이 발달되어, 오래 전부터 각종 패류의 증·양식장으로 이용되고 있으며, 만 입구에서 만 중앙에 위치하는 득량도까지의 남동 해역은 20m 이상의 수심으로 깊은 골로 수로가 형성되어 있다. 또한 만 입구해역에는 김, 미역, 다시마 등 해조류 양식이 성행하는 반면, 내만 해역과 북서 천해해역에서는 피조개, 키조개, 꼬막 등 패류 양식이 이루어지는 등, 만 내·외 대부분의 해역은 해양생물의 생산장으로 이용되고 있다. 또한, 아직까지 득량만 연안부에는 임해공업단지나 대규모 도

시가 형성되어 있지 않아, 산업폐수 유입이 적고, 비교적 양호한 수질을 나타내고 있기에 수산자원생물의 산란·성육장으로서 이용되고 있어, 자원생물의 보호·관리적인 면에서도 매우 중요한 해역이다.

이와 같은 조건을 구비하고 있음에도 1990년대까지 득량만을 대상으로 실시한 과학적인 연구보고는 매우 미흡하였으나^{4,12)}, 1991년부터 수년간 연안어장의 생산성향상을 위한 종합적인 학술연구가 이루어져 비교적 체계적이면서 다양한 연구결과가 보여진다^{13~22)}. 그러나 퇴적물 중의 유기물 분포와 관련한 연구는 미흡하여, 만 내의 일부 정점을 대상으로 한 보고^{4,8)}가 보여 질 뿐이다.

따라서 본 연구는 아직까지 비교적 양호한 수질 조건을 나타내고 있는 득량만 내 전역을 대상으로 표층퇴적물 중 유기물질의 분포 및 계절변동 특성, 그리고 해역에 유입된 유기물의 근원을 파악하여 연안어장 환경관리에 필요한 기초자료를 제공하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

득량만 표층퇴적물 중의 유기물량을 파악하기 위한 현장조사는 1995년 5월, 7월, 10월 및 1996년 2월 등 4계절에 걸쳐 35개 정점을 대상으로 실시하였다(Fig. 1). 채니는 Gravity corer (내경 3cm)를 이용하였으며, 분석은 표층퇴적물 최상부 시료(<2 cm)를 대상으로 하였다. 퇴적물 환경파악을 위한 측정·분석 항목 중에 표층퇴적물의 온도(泥溫)와 같이 현장에서 측정을 필요로 하는 항목에 대해서는 채니 즉시 현장에서 측정하였다. 기타 항목에 대해서는 시료를 항목 별로 구분하여, 변화하기 쉬운 항목의 시료는 밀폐된 용기에, 나머지 시료는 비닐 봉지에 넣어, ice box를 이용 실험실로 운반하여, Table 1에 나타난 방법에 따라 분석을 하였다²³⁾. 그러나 일부 정점은 해저퇴적물이 사질이나 암반에 의해 구성되었기에 채집 할 수 없었다.

그리고 얻어진 항목 중에 IL, H₂S 및 COD의 상호 관련성에 의해서는 득량만의 유기물 기원을, 주 성분분석에 의해서는 유기물의 계절 변동 동태 및 분포특성을 고찰하였다.

3. 결과 및 고찰

Table 2에는 득량만 표층퇴적물에서 계절별로 측정, 분석된 항목별 최저, 최고값과 평균 및 표준편차를 나타내었다. 표로부터 COD, IL 및 Pheopigment는 정점간 분포 차보다 계절적 변동 폭이 크게 나타나는 반면, 황화물량은 이와 반대의 경향을 나타내었다. 그리고 각 항목별 분포특성은 다음과 같다.

3.1. 해저지형과 표층퇴적물의 온도

해도의 수심을 기준으로 작성한 특량만 해저지형은 금당도와 거금도 사이에서 특량도까지 20m 이상의 수로 형성하고 있으며, 10m 등심선이 만 입구 전 해역에서 특량도를 감싸는 형상을 하여 고힌반도 연안에 깊은 수심을 나타내는 반면, 만 북서해역인 보성, 장흥군 연안해역에서 5m보다 낮은 수심을 나타낸다(Fig. 1).

퇴적물의 표층의 온도는 겨울에 최저 2.1°C에서 여름에 최고 27.6°C로 변동하여, 25.5°C의 매우 큰 연교차를 나타내었다. 계절별로는 봄이 14.6±0.32°C (평균±표준편차, 이하 같음), 여름이 25.5±1.16°C, 가을이 18.1±0.31°C 그리고 겨울이 4.6±1.59°C를 나타내어, 여름과 겨울에는 정점 사이에 매우 큰 온도차

를 나타내었다(Table 1). 다만, 겨울에 보여 지는 최저 2.1°C의 최저 온도는 가막만 등 남해 내만해역과 비교하여도 매우 낮은 값²⁴⁾이나, 낮은 수심에 해수 교환이 없는 천해해역의 심한 표면 냉각에 의한 것으로 판단할 수 있다¹³⁾.

니온의 공간분포는 겨울, 만입구에서 내만해역으로 해수가 유입되는 경향을 나타내는 것을 제외하며, 수심과 관련하여 등심선 분포와 유사한 경향을 나타내었다(Fig. 2). 즉, 봄은 대략 10m 등심선을 경계로 하여 천해해역에서는 14.5°C 이상의 값을 보이는 반면, 깊은 수심에서는 14.5°C이하의 값을 나타내었다(Fig. 2, A). 여름과 가을도 절대 니온 값은 18.0°C와 26.0°C 정도로 높아지고 있으나, 그 경향은 봄과 유사하였다(Fig. 2, B, C). 그러나 겨울은 만 입구에서 7.0°C 이상의 높은 니온을 보이는 반면, 내만 해역에서 4.0°C 이하의 값을 나타내어 Lee²⁵⁾에 의한 해수교환 범위와 유사한 양상을 보여 주었다(Fig. 2, D).

이와 같은 특량만 니온의 연교차는 이웃하는 거금수로¹¹⁾보다도 매우 크게 나타나, 특량만은 수심변

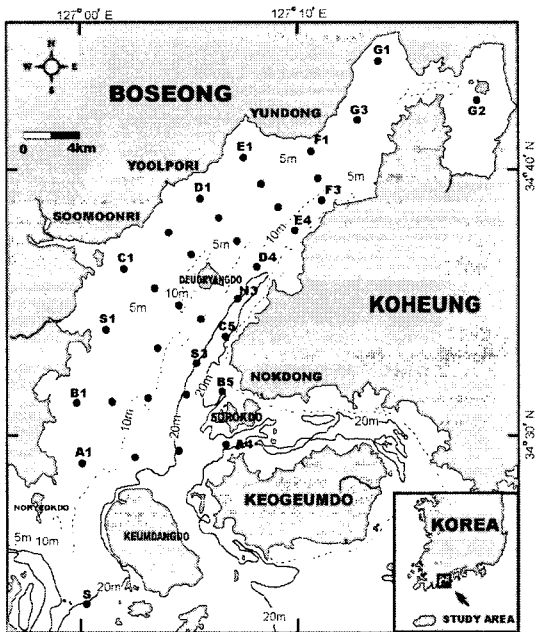


Fig. 1. A map showing bathymetry and 35 sampling stations in Deukryang Bay.

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

Parameters	Analytical methods
• Temperature on surface sediment	• Thermometer with 1/10°C scale
• Ignition Loss(IL)	• Two hours yielded at 600°C with GF/C weight ratio
• Chemical Oxygen Demand(COD)	• KMnO ₄ method
• Pheopigment	• 90% acetone extracts with spectrophotometric method of SCOR-Unesco(1966)
• Acid Volatile Sulfide(H ₂ S)	• Gas Tec (detection tube)
• Water Content(WC)	• Wet and dry weight ratio

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

Parameters (units)	Spring				Summer				Autumn				Winter			
	min.	mean	max.	SD	min.	mean	max.	SD	min.	mean	max.	SD	min.	mean	max.	SD
Temp. on sediment (°C)	14.0	14.6	15.5	0.32	22.7	25.5	27.6	1.16	17.1	18.1	18.6	0.31	2.1	4.6	7.0	1.59
Ignition loss (%)	4.87	6.24	8.98	0.83	-	-	-	-	3.10	4.93	6.20	0.67	3.93	5.50	21.51	3.53
COD (mg/g dry)	2.90	8.45	18.21	4.07	0.37	4.55	10.63	3.14	0.67	4.33	10.34	3.18	0.82	5.54	12.69	2.99
Pheopigment (µg/g dry)	1.32	6.95	15.27	3.67	0.33	2.20	11.36	2.07	1.36	9.04	20.44	3.58	0.10	4.66	12.35	3.63
Total sulfide (mg/g dry)	nd	0.46	3.30	0.65	0.01	0.53	2.90	0.65	0.01	0.10	0.90	0.20	nd	0.33	1.40	0.40
Water content (%)	23.6	44.1	54.5	6.0	32.7	42.5	54.9	4.4	38.2	44.5	51.7	3.6	35.1	43.3	51.3	3.9

Temp.: temperature, COD ; chemical oxygen demand, min.; minimum, max.; maximum, SD ; standard deviation nd : none detection

화가 크고 해수유동이 제한적이기 때문에 일사량에 의한 표면 냉각과 가열에 의한 효과가 크게 나타나는 것으로 판단되었다³⁾.

3.2. 표층퇴적물 중의 유기물 분포

3.2.1. 총 유기물량

표층퇴적물 중의 총 유기물량을 나타내는 강열감량(IL)은 3.10%에서 25.51%로 매우 큰 변동 폭을 나타내며, 계절적으로는 봄이 4.87~8.98% ($6.24 \pm 0.83\%$), 가을이 3.10~6.20% ($4.93 \pm 0.67\%$) 그리고 겨울이 3.93~21.51% ($5.50 \pm 3.53\%$)를 나타내어, 식

물플랑크톤 생물량이 높은 봄에 높고, 가을과 겨울에 상대적으로 낮았다(Table 1). 특히 겨울의 경우는 공간적으로 매우 큰 농도 차를 보이는 데, 이는 일부 해조류 양식장에서의 양식부산물 유입 등에 의한 것으로 판단되었다²⁶⁾.

공간적으로는 모든 계절 소형 하천에 의해 농업 용수 유입이 보여 지는 수문리 인근해역 과 생활하수 유입이 비교적 큰 녹동 연안, 그리고 폐쇄적 특성이 강하면서 식물플랑크톤에 의한 생물생산이 높은 만의 북동 내만 해역을 중심으로 높은 농도를 보인다(Fig. 3). 계절적으로는 봄의 경우 하천과 녹동 연안에서 8% 농도를, 북서 내만 해역은 7%, 그리고 수문리 인근해역에서 6% 농도로 비교적 높은 값을 보였다, 특히 고흥반도 북동해역에서 7% 이상의 높은 농도를 보이고 있으나, 이 해역은 조사당시 내만의 대형 갯벌을 간척하는 제방공사가 이루어지는 곳으로 공사 시설물에 의한 해수유동 변화에 유기물 수렴이 발생하는 것으로 판단되었다(Fig. 3, A). 가을과 겨울의 경우에도 절대 값에서 다소 차이를 보일 뿐 분포 경향은 봄과 유사하였다(Fig. 3, B, C).

이와 같은 결과로부터 득량만 표층퇴적물의 유기물은 주로 식물플랑크톤의 생산에 기인하는 비율이 높으나, 일부 해역에서는 육상기원인 외래성 유기물 유입에 의해 지배되고 있음을 알 수 있다. 또한 공간적으로는 천해해역보다 20m 이상의 깊은 골을 형성하는 남북방향의 해저계곡에 해수유동에 의한 유기물 집적이 이루어지고 있다.

득량만 표층퇴적물의 총 유기물량 농도는 부영양화가 진행된 서해 경기만, 목포 연안해역, 사천만, 진해만⁸⁾은 물론 이웃하는 거금수로¹¹⁾나, 가막만⁹⁾, 신지도 연안해역¹⁰⁾보다도 낮은 농도이며, Cho et al.⁴⁾에 의해 1981년 여름 측정된 결과와도 차이가 없었다. 즉, 득량만은 겨울 일부 정점에서 극단적으로 높

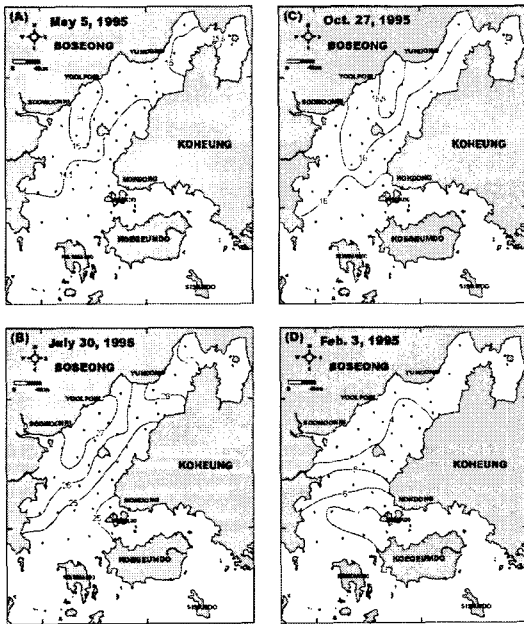


Fig. 2. Horizontal distribution of mud temperature in surface sediment. (A : spring, B ; summer, C ; autumn, D ; winter)

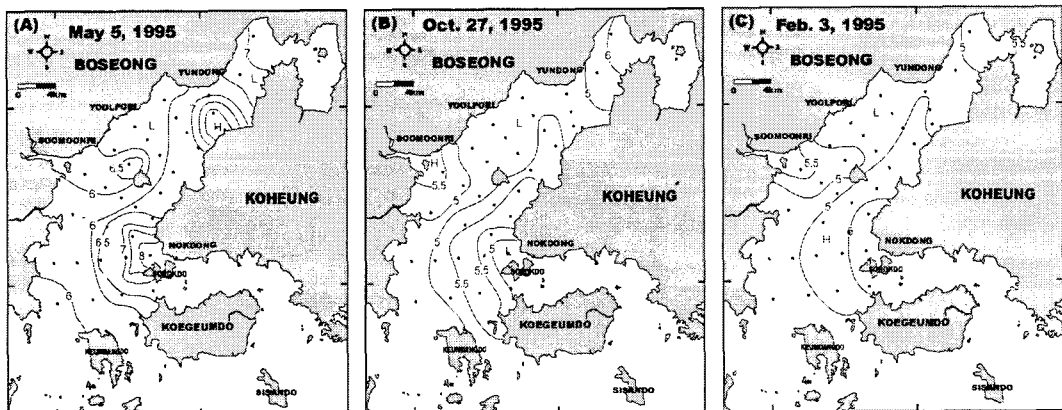


Fig. 3. Horizontal distribution of ignition loss(IL) in surface sediment(A ; spring, B ; autumn, C ; winter).

은 II 농도를 보이는 것을 제외하고는 공간적으로도 비교적 균일한 분포양상을 나타내며, 아직 좋은 저서생태환경을 나타내고 있다. 또한 겨울 높은 II 농도는 해조류 미역 등 해조류 양식을 수행하는 한국 남서해역의 공통된 특징¹⁰⁾이며, 이는 양식생물 중 일부부산물의 해양투기에 의해 발생하는 것으로 볼 수 있다²⁶⁾.

3.2.2. 화학적 산소요구량

화학적 산소요구량(COD)은 0.37 mgO₂/g dry에서 18.21 mgO₂/g dry로 변화하여 시·공간적 분포 차가 크게 나타나지만, 절대 값으로서는 낮은 농도를 보였다²⁷⁾. 계절적으로는 봄이 2.90~18.21 mgO₂/g dry (8.45±4.07mgO₂/g dry), 여름이 0.37~10.63 mgO₂/g dry (4.55±3.14 mgO₂/g dry), 가을이 0.67~10.34 mgO₂/g dry (4.33±3.18 mgO₂/g dry), 그리고 겨울이 0.82~12.69 mgO₂/g dry (5.54±2.99 mgO₂/g dry)를 나타내어, 비교적 식물플랑크톤 생물량의 높은 봄에 높은 농도를 보였다(Table 1). 특히 전 조사기간을 통해 양식장 적지 기준인 20 mgO₂/g dry 이하의 값을 나타내어²⁷⁾, 특량만은 아직 생물이 서식하기에 적합한 저서생태환경을 나타낸다고 할 수 있다.

공간적으로는 전 계절 해수유동²⁶⁾에 의한 수렴해역이나 육상 축양장이 시설된 인근해역에서 패치상의 농도를 보였다(Fig. 4). 즉, 봄과 겨울에 녹동북

서 연안의 높은 COD 농도는 연안의 육상 축양장 가동에 의한 것으로 판단되며(Fig. 4, A, D), 여름의 특량도 중심의 패치 상 고농도는 해수유동의 수렴되면서 나타나는 현상²⁵⁾으로 판단되었다(Fig. 4, B). 그리고 전 계절을 통해 울포리 및 울동리 인근 해역을 기점으로 형성된 유기물 유입원에 대해서는 수산업활동에 의한 영향으로 추정되었다(Fig. 4, D). 다만 가을은 특량도 이남 해역의 COD 분포에서는 일정한 규칙성 없이 미역 등 대형 해조류 양식이 이루어지는 만 서부 입구해역에서 높은 농도를 보였다(Fig. 4, C).

특량만에서 보여 지는 COD 농도는 총 유기물량과 같이 부영양화가 진행된 가막만⁹⁾, 광양만의 내만해역⁷⁾, 진해만⁶⁾ 및 부산항²⁸⁾은 물론 오랜 기간 해조류 양식을 행하는 신지도 연안해역¹⁰⁾이나 거금수로¹¹⁾, 그리고 과거 하계와 동계에 특량만에서 측정된 농도^{4,8)}보다 낮았다. 즉, 특량만은 육상으로부터 유입될 수 있는 큰 오염원이 존재하지 않아 최근 10여년 동안 퇴적 환경에 큰 변화는 없었으며, 수질환경¹⁶⁾뿐만 아니라 저서 퇴적환경에서도 생물서식에 양호한 환경특성을 가지는 것으로 나타났다.

3.2.3. 표층퇴적층의 식물 색소량

표층퇴적층의 식물 색소량은 부유생활을 마치고 해저에 침강되거나, 해저 표면에서 기초생산을 영위

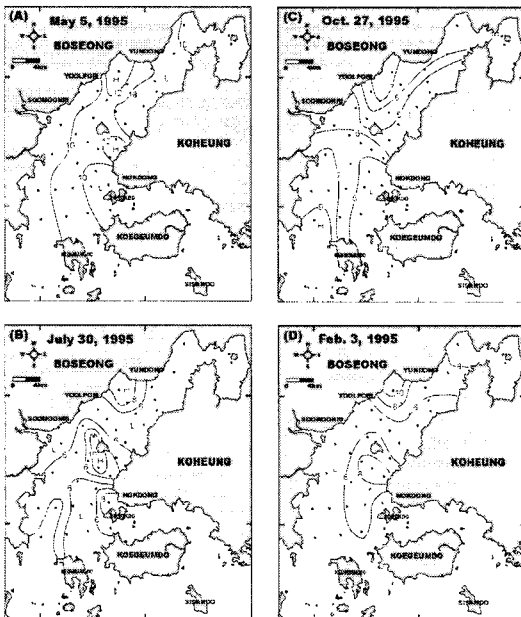


Fig. 4. Horizontal distribution of chemical oxygen demand(COD) in surface sediment. (A ; spring, B ; summer, C ; autumn, D ; winter)

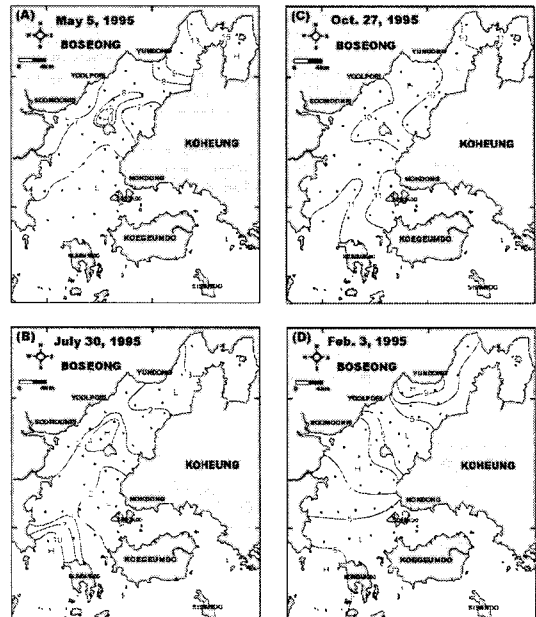


Fig. 5. Horizontal distribution of pheopigments in surface sediment. (A ; spring, B ; summer, C ; autumn, D ; winter)

하는 저서성 규조류 등을 포함한 자생성 유기물 항목이다. 따라서 식물색소에는 다양한 성분을 나타내나, 본 항에서는 편의상 Pheopigment로 총칭한다. Pheopigment는 $0.33\mu\text{g/g dry}$ 에서 $20.44\mu\text{g/g dry}$ 로 변화하여 시·공간적으로 매우 큰 분포 차를 나타내었다. 계절적으로는 봄이 $1.32\sim 15.27\mu\text{g/g dry}$ ($6.95\pm 3.67\mu\text{g/g dry}$), 여름이 $0.33\sim 11.36\mu\text{g/g dry}$ ($2.20\pm 2.07\mu\text{g/g dry}$), 가을이 $1.36\sim 20.44\mu\text{g/g dry}$ ($9.04\pm 3.58\mu\text{g/g dry}$), 그리고 겨울이 $0.10\sim 12.35\mu\text{g/g dry}$ ($4.66\pm 3.65\mu\text{g/g dry}$)를 나타내어, 봄과 가을에 높고 여름과 겨울에 낮았다(Table 1).

공간적으로는 봄에 수심이 얇고 폐쇄적인 북동 내만 해역에서 $15\mu\text{g/g dry}$ 이상의 매우 높은 값을 나타내었으며, 만 중앙의 해수 수렴해역에서 $8\mu\text{g/g}$ 이상의 패치분포를 보였다(Fig. 5, A). 여름은 내만 해역에서 $2\sim 3\mu\text{g/g dry}$ 농도를 보이는 것에 반해, 만의 서측 입구 해역에서 $10\mu\text{g/g dry}$ 이상의 높은 농도를 보였으며(Fig. 5, B), 가을과 겨울은 일정한 규칙성 없이 만 중앙부에서 해역을 남북으로 횡단하는 밴드 형태로, 가을에는 $10\mu\text{g/g dry}$ 이상의 농도를, 그리고 겨울에는 $7\mu\text{g/g dry}$ 이상의 농도를 나타내었다(Fig. 5, C, D). 그러나 세부적인 등량선의 형태는 계절에 따라 다르게 보이지만, 전반적으로는 등심선과 유사한 분포 패턴을 나타내고 있다.

Pheopigment 농도는 계절적으로는 봄과 가을에 높고, 여름과 겨울에 낮은 양상을 보이고 있는데, 이는 득량만의 해수 중 Chl-a 농도 분포와 일치하는 분포 양상²⁰⁾으로 표층퇴적 층의 식물색소량은 수층의 플랑크톤 생산과 밀접한 관련성을 나타내는 것으로 판단되었다. 또한 득량만 표층퇴적층의 식물색소량은 거금수도¹¹⁾나 과거 득량만 일부정점에서 측정된 값⁸⁾, 가막만⁹⁾이나 완도 신지도 연안해역¹⁰⁾ 등 대부분의 우리나라 연안해역보다는 매우 높았다⁸⁾. 즉, 이와 같은 결과는 득량만의 폐쇄적 특성에 식물플랑크톤에 의한 생물생산이 계절적 변화가 크고²⁰⁾, 정점 사이에 수심차이가 크게 나타나, 일부 천해해역의 경우는 고수온기에 표층퇴적층의 저서 규조류에 의한 생물생산이 크게 발생하고 있기 때문이라 판단되었다.

3.2.4. 황화물량

총 황화물량은 nd(불검출)에서 3.30mgS/g dry 로 변화하여 비교적 큰 시·공간 분포차를 보이며, 특히 다른 유기물 지표 항목과는 달리 시간적 변화보다 정점간의 공간적 분포 차가 더욱 큰 것으로 나타났다. 계절적으로는 봄이 $\text{nd}\sim 3.30\text{mgS/g dry}$ ($0.46\pm 0.65\text{mgS/g dry}$), 여름이 $0.01\sim 2.90\text{mgS/g dry}$ ($0.53\pm 0.65\text{mgS/g dry}$), 가을이 $0.01\sim 0.90\text{mgS/g dry}$ ($0.10\pm$

0.20mgS/g dry), 그리고 겨울이 $\text{nd}\sim 1.40\text{mgS/g dry}$ ($0.33\pm 0.40\text{mgS/g dry}$)로 변화하여, 봄과 여름에 높고, 가을과 겨울에 낮았다(Table 1). 특히 평균 농도로는 가을을 제외한 모든 조사시점에서 양식적지 기준인 0.2mgS/g dry 보다 높았다²⁷⁾.

공간적으로는 전체적으로 수문리 인근의 담수가 유입되는 해역과 폐쇄적 특성이 강한 북동 내만 해역에서 0.8mgS/g dry 이상의 농도, 그리고 해조류 양식이 성행하는 만 서측 입구해역에서 0.4mgS/g dry 이상의 높은 농도를 나타내었다(Fig. 6, A). 여름은 절대값으로는 봄에 비해 낮으나, 분포 경향은 봄과 유사하였다(Fig. 6, B). 가을은 북동 내만 해역에서 1.0mgS/g dry 이상의 농도와 수심의 얇은 북서 천해 해역과 녹동 연안에서 0.4mgS/g dry 이상의 농도를 나타내었다(Fig. 6, C). 그리고 겨울은 북동 내만해역과 생활하수 유입이 이루어지는 수문리 및 녹동 연안해역에서 비교적 높은 농도를 보였다(Fig. 6, D).

황화물의 경우, 기타 유기물 지표와는 달리 매우 높은 값을 보여주고 있으며, 특히 북동의 폐쇄 해역은 대부분의 조사시점에 1.0mgS/g dry 이상의 매우 높은 농도를 나타내어, 황화물량만으로 고찰하면 퇴적물에 상당부분 유기물이 집적되어 저서생물의 서식에 부적합한 환경으로 변화한 것으로 판단되었다²⁹⁾.

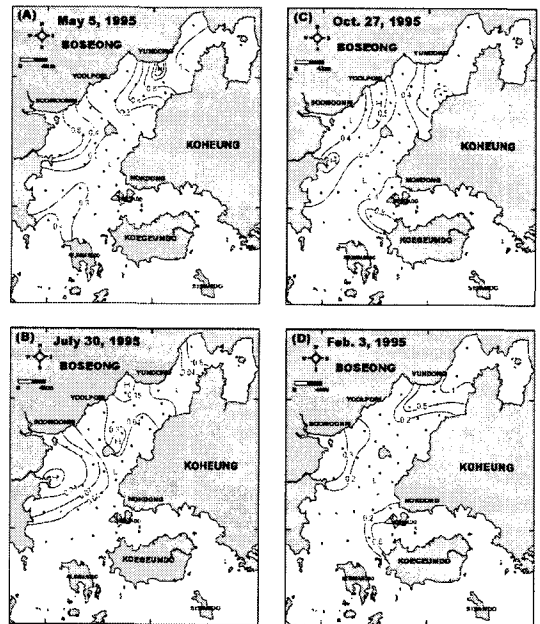


Fig. 6. Horizontal distribution of sulfide (H_2S) in surface sediment.

(A ; spring, B ; summer, C ; autumn, D ; winter)

득량만에서 보여 지는 황화물량은 유사한 환경조건을 나타내는 거금수도¹¹⁾, 신지도 연안해역¹⁰⁾ 및 기존의 득량만 자료⁸⁾와 비교하더라도 매우 높다. 즉, 득량만의 평균값은 부영양화 해역인 진해만 일부해역^{3,6)}과 광양만⁷⁾, 서해의 천수만 및 가막만 일부를 포함하는 유기오염의 진행된 한국 남동 연안해역에서 보여 지는 농도와 유사하였다⁸⁾. 특히 최고 농도인 3.30mgS/g dry은 극심한 부영양화가 진행되어 하계 저층에서 저산소 또는 무산소 수괴가 출현하는 해역⁹⁾, 즉 무생물 해역에서 기록될 수 있는 값이다.

焔¹⁾은 표영환경에서 어류양식 등, 어장의 적정이 용을 하기 위한 퇴적물 중의 황화물 농도를 일본수산자원보호협회²⁷⁾가 기준으로 제시하고 있는 내용과는 달리 변동 폭을 가지는 0.2~1.0 mgS/g dry로 제시하고 있다. 이로부터 보면 득량만의 북동 내만해역에서 관찰되는 황화물량은 어장 이용에 상당한 문제를 발생시킬 수 있는 수준이라 할 수 있다. 특히, 焔¹⁾에 의하면 퇴적물 중의 유기물을 나타내는 지표 중에 COD나 IL은 계절적인 경향을 나타내어 쉽게 변화하는 특성을 나타내지만, 황화물량은 퇴적 환경에 유기물이 경년적으로 집적되는 양상을 나타내기에 어장의 노화 등의 고찰에는 황화물량이 더욱 객관성이 있는 것으로 보고하고 있다¹⁾. 즉, 득량만 표층퇴적물이 낮은 COD 농도에 높은 황화물량을 나타내는 것은 단시간에 유입될 수 있는 유기물량은 적지만, 북동 내만 해역과 같이 해수교환이 없는 해역에서는 소량이나마 유입 또는 생성된 유기물이 지속적으로 퇴적되고 있음을 나타낸다고 할 수 있다.

3.2.5. 표층퇴적물 중의 함수율

표층퇴적물 중의 함수율은 퇴적물 입도조성을 간접적으로 파악할 수 있는 항목으로 퇴적물 중 유기물 체류정도를 파악하는데 좋은 지표가 된다. 득량만 전체적인 함수율은 23.6%에서 54.9%로 변화하나, 봄에는 23.6~54.5% (44.1±6.0%), 여름에는 32.7~54.9% (42.5±4.4%), 가을에는 38.2~51.7% (44.5±3.6%), 그리고 겨울에는 35.1~51.3% (43.3±3.9%)로 변화하여 일부해역을 제외하고는 유기물이 비교적 오랜 시간 체류할 수 있는 미립한 니질로 퇴적층이 형성되어 있다(Table 1).

해역의 퇴적물 조성은 단시간에 변화되는 것은 아니지만, 집중강우에 의한 육상기원물질의 다량 유입이나 반복조사에 의한 정점 위치의 차이에 의해 다른 값을 나타낼 수 있다. 그러므로 함수율은 4계절을 평균한 값으로 Fig. 7에 나타내었다. 즉, 함수율의 공간적 분포는 폐쇄적 특성을 보이는 북동 내만 해역에서 50% 이상, 수심의 낮은 북서해역에서

45% 이상, 만 중앙부에서 수로부, 그리고 입구해역에서 45% 이하의 값을 보이나, 만내 대부분은 높은 함수율로 세립한 입도조성을 나타내었다(Fig. 7).

즉, 함수율이 높은 해역은 세립한 silt 성분이 우세하여 침강한 유기입자가 오랜 시간 체류할 수 있는 반면, 낮은 해역은 조립한 사질에 의해 침강한 유기물의 이동이 쉬워 단기간 체류에 머물게 되어, 유입된 유기물은 유입원에서의 거리보다 퇴적상에 의해 더욱 영향을 받게 된다.

3.3. 유기물 기원과 분포특성

연안해역의 퇴적물 중 COD는 주로 유기물에서 유래하는 것으로 피상화성 유기물을 나타낸다¹⁾. 焔¹⁾는 COD/IL의 관계식으로부터 퇴적물의 질적 표현을 시도하였다. 즉 COD/IL비 1을 기준으로 기율기 1보다 큰 분포상의 퇴적물 중의 유기물은 외부기원의 유기물 유입에 의해 형성된 피상화성 유기물을 나타내며, 1 이하인 경우는 해역자체의 생물생산 등에 의한 자생성 유기물을 나타내는 것으로 평가하였다. 즉, 득량만의 경우, 조사정점의 약 2/3정도가 COD/IL비의 기율기 1인 직선상에 분포하나, 약 1/3 정도는 직선 위에 떨어져 분포하였다(Fig. 8, left). 이와 같은 경향은 계절에 따라 다소 차이는 있지만 전반적으로는 유사하여, 만내 유기물은 자생성 기원의 비율이 높게 나타났다. 다만, 일부 해역은 외래성 유기물 비율이 높으나, 이들 기원을 COD 분포 경향과 비교하여 고찰하면, 소규모의 하천, 농동 등 생활하수 유입 및 육상 축양장이나 수산관련 산업시설

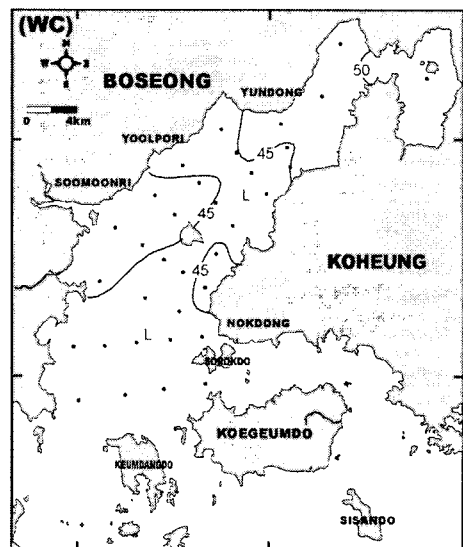


Fig. 7. Horizontal distribution of water content in surface sediment.

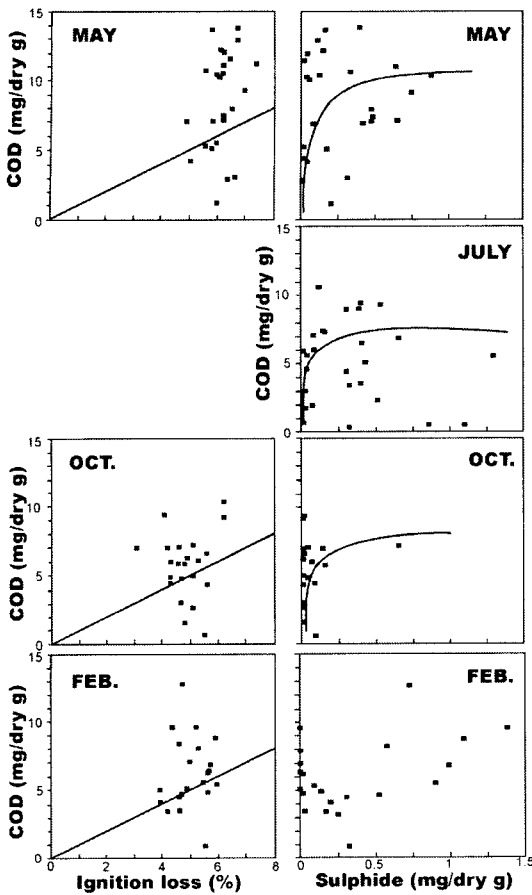


Fig. 8. Relationship between COD and IL, and total sulfide in surface sediment.

에 기인하는 것으로 나타났다. 즉, 해조류 양식이 번성한 신지도 연안¹⁰⁾ 및 거금수도¹¹⁾와는 달리 해역의 양식시설 보다는 육상기원에 의한 소규모적 유입에 의한 것으로 나타났다³⁰⁾.

또한, 황화물을 생성하는 황산염 환원세균은 에너지원으로 COD로 표현하는 피산화성 유기물을 이용하며³¹⁾, 황화물량과 COD사이 관계는 단순하지 않으나 다양한 자료를 종합적으로 분석하면 두 요인 사이에는 지수 함수적 관계를 나타내어, COD농도가 낮을 때에는 황화물 생성이 매우 느리며, 어느 수준 이상이 되면 매우 급한 황화물 증가가 보여 지는 것으로 알려져 있다¹⁾. 득량만은 전 계절 북동 내만해역을 중심으로 광범위한 해역에서 높은 황화물량을 나타내는 데, 이는 폐쇄적 특성에 의한 유기물 집적과 육상으로부터 외래성 유기물에 기인하며, COD 농도가 5~7 mgO₂/g dry 범위를 경계로 황화물 생성 속도가 조절되는 것으로 판단되었다 (Fig. 8, right). 즉, COD 농도가 7 mgO₂/g dry 이

하의 농도에서만 호기성 조건 하에서 분해활동이 이루어져, 해조류 양식시설이 많은 거금수도¹¹⁾나 신지도 인근해역¹⁰⁾, 그리고 생활하수 영향을 강하게 받고 있는 목포연안³⁰⁾의 20 mgO₂/g dry 내외 농도에 비하면 매우 낮은 COD농도에서도 혐기 상태로 변화될 수 있음을 뜻하며, 득량만은 낮은 농도의 유기물이 매우 느리게 축적되고 있음을 의미한다고 할 수 있다.

3.4. 다변량 해석 의한 유기물의 계절변화와 분포특성

득량만 표층 퇴적물의 계절변화 및 분포특성을 유기물 요인들의 주성분분석을 이용하여 고찰하였다. 주성분분석은 4계절을 총괄적으로 처리하여 인자 부하량과 득점분포를 Fig. 9에 나타내었다. 계산에 의하면 제 4주성분까지 의미 부여가 가능하나, 모두 유기물 특성을 나타내는 항목이기에 제1 및 제2 주성분까지에 의해서 해석을 실시하였다³²⁾.

상관분석에서는 봄에 수온과 식물 색소량, 함수율과 II, 여름에 함수율과 황화물량, 가을에 식물색소량과 함수율, 그리고 겨울에는 황화물과 식물색소량 및 함수율과 황화물량 사이에는 유의한 관련성이 보여 졌으나, 기타 항목에 대해서는 유의관계가 보여 지지 않았다.

주성분분석 결과는 인자 부하량 분포로부터 유기 지표 항목 중 총유기물량과 황화물량, 그리고 COD 농도와 식물색소량이 상호 의존적이면서 비슷한 특성을 나타내며, 표층퇴적물 중 유기물량은 식물플랑크톤 생물량과 밀접한 관련성을 나타내는 것으로 평가되었다(Fig. 9, 왼쪽). 그리고 득점 분포에서는 계절적인 특성의 비교적 뚜렷하여, 겨울과 봄은 주로 총유기물량과 황화물량에 의해 지배되는 유기물 구조를 나타내는 반면, 여름과 가을은 식물색소량과 COD에 의해 지배되는 유기물 구조특성을 나타내는 것으로 나타났다. 즉 이는 득량만의 경우 겨울과 봄은 해조류 양식장에서 발생하는 양식 부산물에 의해 표층퇴적물 중의 유기물이 지배되고 있는 비율이 높은 반면, 고수온기인 여름과 가을은 식물플랑크톤 생산과 육상 기원의 유기물에 의해 유기물 특성이 지배됨을 나타낸다(Fig. 9, 오른쪽).

또한 월별 주성분분석의 득점을 이용 유기물 분포에 의한 득량만 표층퇴적층을 구분하여 Fig. 10에 나타내었다. 즉, I 해역은 얕은 수심과 정체된 해수 특성²⁵⁾으로 식물플랑크톤 등에 의한 자생적 특성의 강한 유기물 분포 특성을 나타낸다. 또한, 비교적 낮은 COD 농도를 보이면서도 황화물량 농도가 높은 해역, II 해역은 I 해역과 유사한 특성을 나타내지만 비교적 해조류 양식어장의 영향을 강하게 받는 해

득량만 표층퇴적물 중 유기물의 시·공간적 분포 및 기원

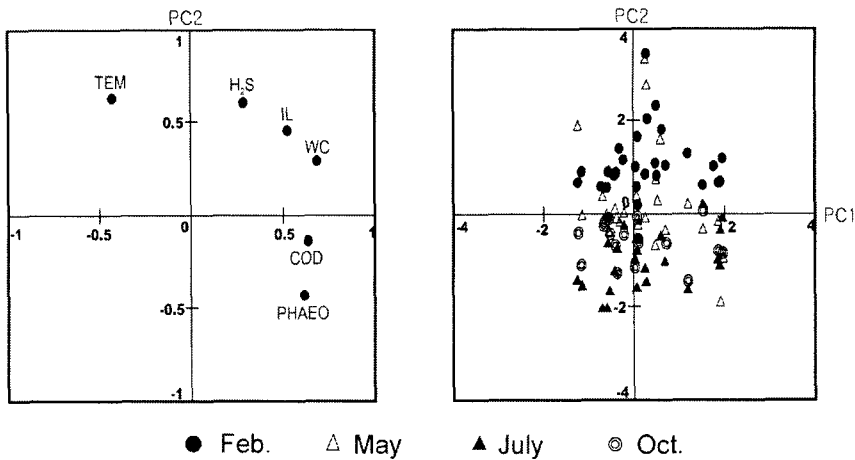


Fig. 9. Distribution of loading factor (left) and score (right) by PCA on the organic matters in surface sediment in Deukryang Bay.

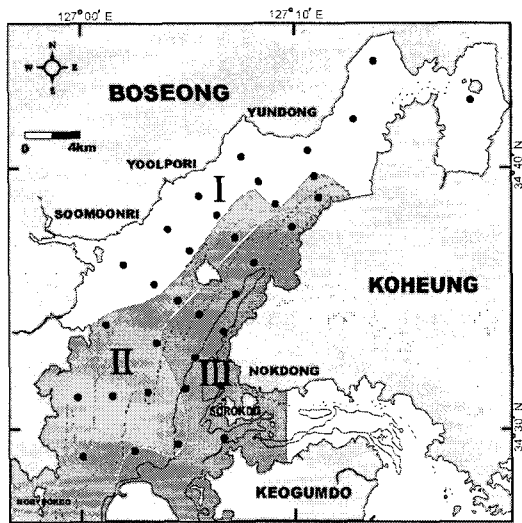


Fig. 10. Three regional areas by the distribution of organic matter with principal component analysis (PCA).

역이라 할 수 있다. 그리고 III해역은 깊은 수심으로 계절에 따른 유기물 축적현상이나 육상 축양장 및 도시에서 유입되는 생활하수 등으로 높은 COD 농도를 나타내고 있으나, 원활한 해수유동으로 유기물 체류시간이 짧아 황화물 농도가 매우 낮게 나타나는 해역이다. 그러나 득량만이 이와 같은 해역구분은 등심선 분포 및 해수 유동^{15,27)}과 매우 유의한 관련성을 나타내며, 서쪽 만 입구 해역을 포함한 일부 해역을 별도로 처리하여 4개의 해역으로 구분하고 있는 저서생물 분포에 의한 해역특성 구분과도 유사하였다¹⁸⁾.

4. 결 론

득량만은 폐쇄적 특성이 매우 강한 해역이면서도 표층퇴적물 중 유기물 농도는 전반적으로 낮은 농도를 나타내어, 좋은 해양 저서생태환경을 보인다. 또한, 산업단지가 조성되어 있는 내만 해역과는 달리 만내의 유기물 기원도 일부 소형 하천이나 육상 축양장 시설이 없는 해역에서는 육상 기원보다 식물 플랑크톤 등 자생성 유기물에 의한 비율이 높았다. 그러나, 수심이 얕은 천해해역에서는 매우 낮은 COD 농도에서도 혐기성 환경으로 변화되는 등, 퇴적층에 침강, 퇴적되는 유기물 flux가 낮은 반면, 세립한 입도 등으로 유기물 체류시간이 긴 특성을 나타내었다.

그러나, 해수유동이 약한 북동 내만의 폐쇄해역의 황화물량 농도 등 어장 노후화 문제에 대해서는 앞으로 유기물 성분과 관련한 심도 있는 고찰이 필요하다고 할 수 있다.

참 고 문 헌

- 1) 畑幸彦, 1990, 堆積物, In: 渡邊競 (編), 海面養殖と養魚場環境, 水産學シリーズ 82, 恒星社厚生閣, 51-68pp.
- 2) 清水誠, 1972, 海洋の汚染-生態學と地球化學の視點から, 築地書館, 151pp.
- 3) 조창환, 양한섭, 박경량, 염말구, 1982, 진해만 패류양식장의 저질에 관한 연구, 한국수산학회지, 15, 35-41.
- 4) Cho, C.H., K.Y. Park, H.S. Yang and J.S. Hong, 1982, Eutrophication of shellfish farms in Deukryang and Gamagyang Bays, Bull. Korean

- Fish. Soc., 15(3), 233-240.
- 5) Yang, D.B. and J.S. Hong, 1988, On the biogeochemical characteristics of surface sediments in Chinhae Bay in september 1983, Bull. Korean Fish. Soc., 21(4), 195-205.
 - 6) Choi, H. G., W. C. Lee, P. J. Kim and P. Y. Lee, 1998, Water and sediment characteristics in the shellfish farms of the western part of Jinhae Bay, J. Fish. Sci. Tech., 1(2), 159-167.
 - 7) 윤양호, 박정미, 1992, 저수온기 광양만의 유기오탁 현상에 대하여, 여수수산대학 수산과학연구소 연구보고, 1, 55-67.
 - 8) 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. Korean Fish. Soc., 26(6), 557-566.
 - 9) 조현서, 유영석, 이규형, 1994, 가막만 수질 및 저질 환경의 계절별 변동특성, 여수수산대학교 수산과학연구소 연구보고, 3, 21-33.
 - 10) 윤양호, 1998, 완도 신지도 연안해역 표층퇴적물 중의 유기물 분포에 대하여, 여수대학교 논문집, 13(2), 1135-1151.
 - 11) 윤양호, 2000, 거금수도 표층퇴적물 중의 유기물 분포 및 기원에 관한 연구, 한국환경과학회지, 9(2), 137-144.
 - 12) 이진환, 허형택, 1982, 득량만에 있어서 식물플랑크톤과 적조발생에 관한 연구, Bulletin of KORDI, 5, 21-26.
 - 13) 김상우, 조규대, 노홍길, 이재철, 김상현, 신상일, 1995, 1992-93년 하계 득량만의 수온과 염분의 분포, 한국수산학회지, 28(1), 7-14.
 - 14) 이재철, 노홍길, 조규대, 신상일, 김상우, 김상현, 1995, 1992년 하계 득량만 서부해역의 조류 특성, 한국수산학회지, 28(1), 1-6.
 - 15) Lee, B. G. and K. D. Cho, 1995, Temporal variations of stratification-destratification in the Deukryang Bay, Korea, Korean Environ. Sci. Soc., 4, 139-149.
 - 16) 양한섭, 김성수, 김규범, 1995, 득량만 표층수중 영양염류의 시공간적 분포특성 1. 영양염류의 계절변화와 기초생산 제한인자, 한국수산학회지, 28(4), 475-488.
 - 17) 김도희, 박청길, 1998, 득량만 퇴적물로부터 영양염 용출 평가, 한국환경과학회지, 7(4), 425-431.
 - 18) 마채우, 홍성윤, 임현식, 1995, 득량만 저서동물 분포, 한국수산학회지, 28(5), 503-516.
 - 19) 한동훈, 홍성윤, 마채우, 1995, 득량만 동물플랑크톤의 분포, 한국수산학회지, 28(5), 517-532.
 - 20) 윤양호, 1999, 득량만 식물플랑크톤 군집의 시·공간적 분포특성, 환경생물, 17, 481-492.
 - 21) 윤양호, 김동근, 2003, 득량만 남서해역 식물플랑크톤 군집의 시·공간적 분포특성, 환경생물, 21, 8-17.
 - 22) 김철원, 허성범, 1998, 득량만에서 조개류 자원의 분포, 한국양식학회지, 11, 249-260.
 - 23) 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, 552pp.
 - 24) 윤양호, 2000, 가막만 북부해역의 해양환경과 식물플랑크톤 군집의 변동특성 2. 수질환경과 염록소 a량의 변동특성, 한국환경과학회지, 9(5), 429-436.
 - 25) Lee, B. G., 1994, A study of physical oceanographic characteristics of Deukryang Bay using numerical and analytical model in summer. Ph.D thesis, Nat'l Fish. Univ. of Pusan, 145pp.
 - 26) 황인호, 2001, 고흥연안 어장의 오염과 자율적 환경관리. In : 연안보전네트워크 편, 맑고 푸른 연안지역, 우리 손으로 연안한국 2000 2001년 운동리포트(2001활동보고서), 서울, 283-292pp.
 - 27) 日本水産資源保護協會 編, 1972, 水産環境水質基準(水質資料), 87pp.
 - 28) 박영철, 양한섭, 이필용, 김평중, 1995, 겨울철 부산항 주변해역의 수질과 표층퇴적물 환경특성, 한국수산학회지, 28(5), 577-588.
 - 29) Bonn, E. W. and B. J. Follis, 1967, Effects of hydrogen on channel catfish *Ictalurus punctatus*, Trans. Amer. Fish. Soc., 96, 31-36.
 - 30) 畑 幸彦, 1969, 底土中の硫化物, 沿岸海洋研究ノート, 7, 14-18.
 - 31) 윤양호, 2000, 저수온기 목포연안해역의 해양환경학적 특성 3. 표층퇴적물 중의 유기물 분포와 기원, 여수대학교 기초과학연구소 논문집, 2, 83-94.
 - 32) 有馬哲, 石村貞夫, 1987, 多變量解析のはなし, 東京圖書, 320pp.