한국해양환경공학회지
Journal of the Korean Society
for Marine Environmental Engineering
Vol. 9, No. 4. pp. 203-215, November 2006

남해 중부해역 표층퇴적물 유기물의 시·공간 분포특성

노일현[1] · 윤양호[1,†] · 박종식[1] · 서호영[2] · 김대일[3]
[1]전남대학교 대학원 수산과학과
[2]전남대학교 해양기술학부
[3]해양경찰청 해양오염관리국

Spatio-temporal Distributions of Organic Matter in Surface Sediment in the Central Part of the South Sea, Korea

Il Hyeon Noh[1], Yang Ho Yoon[1,†], Jong Sick Park[1], Ho Young Soh[2] and Dae-Il Kim[3]
[1]*Department of Fisheries Science, Graduate School of Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea*
[2]*Faculty of Marine Technology, Chonnam National University, Yeosu 550-749, Korea*
[3]*Marine Pollution Management Bureau, Korea Coast Guard, Incheon 406-741, Korea*

요 약

한국 남해 중앙부 해역의 표층퇴적물내 유기물의 시·공간적 분포특성을 파악하고자 2002년 4월부터 2003년 1월까지 15개 정점을 대상으로 격월간격으로 현장조사를 실시하였다. 저층해수(B-1m)의 수온과 염분 그리고 표층퇴적물의 니질 함량과 함수율은 각각 8.1~23.4 ℃, 29.2~34.5 psu, 71.2~99.9% 및 38.7~68.9%의 범위를 보였다. 강열감량(IL), 식물색소량(phaeopigment), 입자성 유기탄소(POC), 입자성 유기질소(PON) 및 화학적산소요구량(CODs)은 각각 3.9~12.5%, 1.58~29.51 μg/g-dry, 3.12~13.01 mgC/g-dry, 0.49~2.0 mgN/g-dry 그리고 9.6~44.05 mgO_2/g-dry의 범위를 보였다. 유기물의 공간적인 분포는 육지와 인접한 연안역보다 수심이 깊은 외양역에서 높은 유기물량을 나타내었다. 시간적으로는 저수온기보다 고수온기에 유기물량이 증가하였다. 유기물 기원은 C/N ratio가 평균 6.44(±0.51)로 나타나 해양자체 생산에 의한 생물기원 유기물에 크게 의존하고 있으나, 비교적 높은 POC/phaeopigment ratio로부터 전체적으로 식물플랑크톤보다 쇄설성 유기물질에 의한 조성비가 높음을 알 수 있었다. 주성분분석 결과 누적기여율 73.2%의 제 2주성분까지 도출되었다. 얻어진 인자부하량으로부터 제 1주성분은 '환경요인에 따른 표층퇴적물의 유기물 집적정도(57.3%)'를, 제 2주성분은 '해양의 생유기물에 의한 유기물 척도(15.9%)'로 판단되었다. 정점별 득점 분포로부터 남해 중앙부 해역의 표층퇴적물 환경은 유기물 함량과 퇴적물내 식물플랑크톤에 의한 유기물 조성 비율에 따라 4개의 해역으로 구분되었다.

Abstract – Field observations on the spatio-temporal distribution of organic matter of the surface sediment were carried out at 15 stations in the central parts of the South Sea of Korea from April 2002 to January 2003. The range of water temperature and salinity in bottom waters, mud content and water content of surface sediment were 8.06~23.35°C, 29.20~34.51 psu, 71.2~99.9% and 38.7~68.9%, respectively. Measured parameters on the surface sediments of ignition loss (IL), chemical oxygen demand (COD_S), phaeopigment, particulate organic carbon (POC) and particulate organic nitrogen (PON) also ranged in 3.9~12.5%, 9.60~44.05 mgO_2/g-dry, 1.58~29.51 μg/g-dry, 3.12~13.01 mgC/g-dry and 0.49~2.00 mgN/g-dry, respectively. The spatio-temporal distribution of organic matter demonstrated higher concentrations offshore than at regions near the coastal line. Higher concentrations occurred in the summer and spring. The results indicated that the origin of organic matter in surface sediments in the central part of the South Sea was autochthonous rather than allocthonous because the organic matter had an average C/N ratio of 6.44 (±0.51). However, the composition of autochthonous organic matter was mainly derived from detritus rather than living phytoplankton, which was indicated by the results of the POC/phaeopigment ratio. A principal component analysis (PCA) indicated that 73.2% of the variability in the data was described by two factors: 1) an 'environmental factor concerning the accumulation of materials (57.3%)' and 2) 'origin of organic matter and the composition by primary production (15.9%)'. The

†Corresponding author: yoonyh@chonnam.ac.kr

sedimentary environment in the central part of the South Sea was divided into four regions from the factor score of the PCA by the concentrations of organic matter and the composition ratio of organic matters from phytoplankton in surface sediments.

Keywords: Organic matter(유기물), Autochthonous(자생성), Allochthonous(외래성), PCA(주성분분석), Spatio-temporal distribution(시·공간 분포), Korean South Sea(한국 남해)

1. 서 론

다양한 경로를 통해 해양으로 유입된 유기물은 생물에 의한 이동과 해수의 유동에 따라 확산되어 침강하는 동안 분해되고, 일부는 퇴적물로 퇴적된다. 이러한 퇴적물중 유기물은 해양 저서동물의 이용에 의해 다른 특성의 유기물로 재 고정 되기도 하며, 미생물에 의한 산화분해과정을 거치면서 간극수 확산을 통해 무기영양염 형태로 수주환경으로 용출되어 해양 생태계의 일차생산자에 필요한 친생물 원소로 거동하는 등 물질순환을 반복한다. 따라서 퇴적물내 유기물 환경을 파악하는 것은 해역의 유기오탁 정도의 파악은 물론, 해양환경의 장기적인 변동과정을 추적함에 있어서 매우 중요하다.

한국 남해안은 대마난류, 한국 남해 고유연안수, 중국 대륙연안수 및 황해 저층냉수 등 다양한 수괴가 계절에 따라 그 확장범위를 달리하며 연안 및 내만해역까지 영향을 끼쳐 계절변화가 크다(승[1992]; 조와 김[1994]). 특히, 겨울철 남해 고유연안수는 북서계절풍과 해표면 열 이동 등의 영향에 의해 침강 또는 표층류 형태로 일부지역에서 외해로 확장하고, 확장이 이루어진 해역을 중심으로 대마난류와의 사이에 강한 연안전선을 형성한다(나 등[1990]; 양[1994]). 여름은 제주도 북서쪽을 경유한 중국대륙연안수의 유입에 의한 전체적인 한국 남해의 저염화 현상과 함께 염전선이 발달한다(조와 김[1994]; 조 등[1995]). 그리고 여름철 수온전선의 구조는 겨울에 비해 남쪽에 위치하며 시기에 따라 다소 불명확하다(양[1994]). 또한, 남해 연안은 몇개의 수괴에 의해 다양한 해양특성을 나타내며, 전선역을 중심으로 높은 생물생산성을 나타내지만(박과 이[1990]), 최근 연안해역을 중심으로 유해성 적조가 발생하여 많은 수산피해를 발생시키기도 한다.

더욱이 남해안에 위치하는 연안 및 내만해역은 다양한 인간 활동에 따른 해역의 이용증가와 산업폐수 그리고 생활하수에 의한 다량의 유기물 유입으로 해역의 부영양화 등 다양한 환경문제를 발생시키고 있다. 최근에는 연안해역의 환경문제 접근 방법으로 내만해역을 중심으로 해저 표층퇴적물중 유기물질에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다(윤과 박[1992]; Kang *et al.*[1993]; 윤[1998]; 노 등[2006]). 그러나 지금까지 광범위한 외해역을 포함한 남해의 해양환경 연구는 물리화학적 연구 등이 대부분이며, 일부 지화학적 연구가 다소 보여질 뿐이다(석과 박[1983]; 조 등[1994]; 손 등[1999]). 그리고 표영환경의 누적지표로 이용되는 퇴적물중 유기물 환경에 관련한 연구는 매우 부족하다.

한국 남해 중앙부해역의 해저지형은 돌산도와 금오도 그리고 외나로도 지역의 약 20 m 이하의 수심이 남쪽으로 내려갈수록 점차 깊어져, 육지에서 70 km 정도 떨어진 개방해역은 평균 80 m 이상의 수심을 보이며, 해안선에 평행한 등심선을 나타내어 동일 위도 기준에서 서쪽보다 동쪽이 깊은 수심을 나타내는 동저서고형의 해저지형을 나타낸다(Fig. 1). 본 연구는 한국 남해 중앙부에 위치한 여수반도와 고흥반도, 금오도, 소리도, 나로도 및 손죽열도 등의 도서지역을 포함하는 남해해역을 대상으로 표층퇴적물 중의 유기물량의 시·공간적 분포를 파악하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

남해 중앙부해역 표층퇴적물 중의 유기물량을 파악하기 위한 현장조사는 15개 정점을 대상으로 2002년 4월부터 2003년 1월까

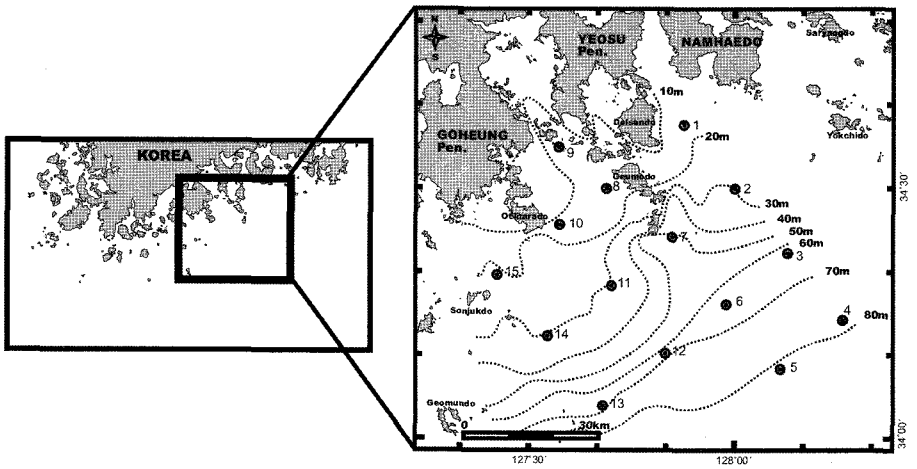

Fig. 1. Map showing the sampling stations and bathymetry in the central part of South Sea, Korea.

Table 1. Analytical parameters and methods on the surface sediment

Parameters	Analytical methods
Ignition loss(IL)	· Two hours yielded at 550 with GF/C weight ratio by JFRCA[1980]
Phaeopigment	· 90% acetone extracts with spectrophotometeric (Optizen Co., 2120UV, Korea) method by SCOR Unesco[1966]
Particulate organic carbon(POC)	· CHN Analyzer (Perkin Elmer Co., EA-1100, Italy) by Parsons *et al.*[1984]
Particulate organic nitrogen(PON)	· CHN Analyzer (Perkin Elmer Co., EA-1100, Italy) by Parsons *et al.*[1984]
Chemical oxygen demand for sediment(CODs)	· $KMnO_4$ consumption method by JFRCA[1980]
Grain size	· Particle size Analyzer (Micromeritics Co., Sedigraph 5100, USA) by Ingram[1971]
Water content	· Wet and dry weight ratio by JFRCA[1980]
Water temperature of bottom sea water	· CTD (Alec Co., ACL 1151-D)
Salinity of bottom sea water	· CTD (Alec Co., ACL 1151-D)

지 격월 간격으로 총 6회 실시하였다(Fig. 1). 조사정점의 수심 및 저층해수(B-1 m)의 수온과 염분은 CTD(Alec Co., ACL 1151-D)를 이용해 모니터링 하였다. 저질의 유기물 항목과 입도분포 및 함수율 측정을 위한 표층퇴적물 채취는 Gravity corer(내경 45 mm)를 이용하였으며, 표층퇴적물 최상부 시료(<2 cm)를 분석시료로 취하였다. 현장에서 채취한 시료는 Ice Box를 이용하여 실험실로 운반하였으며, 분석 전까지 -20℃의 초저온 냉동고에 보관하였다. 각 항목별 분석방법을 보면(Table 1), 강열감량(IL), 화학적산소요구량(CODs) 및 함수율(Water content)은 JFRCA[1980]의 분석법에 따라 분석을 실시하였다. 강열감량은 퇴적물 시료의 건조 후 550 ℃의 강열에 의해 소실된 무게의 차를 이용하였다. 화학적 산소요구량은 퇴적물시료를 과망간산칼륨, 수산화나트륨, 옥살산용액 및 황산용액을 이용해 산화·발색 시킨 후 요소화칼륨을 이용해 요소를 유리시키고, 전분지시약을 이용해 10N-티오황산나트륨 용액으로 적정하였다. 함수율은 퇴적물 습시료를 110℃의 건조기에서 항량이 될 때까지 건조시켜 건조 전·후의 무게 비율을 구하였다. 식물색소량(phaeopigment)은 90% acetone 추출법에 의해 추출된 2차 시료를 분광광도계(Optizen Co., 2120UV, Korea)를 이용해 파장 630, 645, 663, 750 nm에서 흡광도를 측정한 후 SCOR Unesco[1966] 기준에 의거하여 정량하였다. 입자성 유기탄소(POC) 및 질소(PON)는 Parsons *et al.*[1984]의 분석법에 따라 무기태를 제거한 시료에 1N-HCL과 6N-HCL을 이용하여 탄산칼슘을 제거하고, 증류수와 원심분리기를 이용해 수회에 걸쳐 세척하고 건조·분쇄하여 CHN Analyzer(Perkin Elmer Co., EA-1100, Italy)를 이용해 분석하였다. 입도분석(Grain size)은 Ingram[1971]의 분석법에 따라 퇴적물에 0.1N-염산과 10% 과산화수소수를 이용하여 탄산염과 유기물을 제거한 후 4Ø(0.0625 mm)체를 이용한 습식체질에 의해 4Ø 이상의 조립질

Table 2. The benthic environment parameters during study period

Month	Parameters	Water Temp. (℃)	Salinity (psu)	IL (%)	Phaeo. (μg/g-dry)	POC (mgC/g-dry)	PON (mgN/g-dry)	CODs (mgO_2/g-dry)	MC (%)	WC (%)	C/N ratio	POC/Phaeo. ratio
April 2002	Min.	12.13	33.44	6.13	6.03	5.35	0.80	12.26	71.15	48.62	5.24	426
	Mean	12.84	33.87	9.04	12.32	8.83	1.38	25.48	95.22	59.44	6.36	762
	Max.	13.59	34.24	12.52	20.78	11.80	1.99	33.64	99.89	66.23	6.92	1273
	SD	0.51	0.29	2.17	4.69	2.39	0.38	6.29	8.14	6.24	0.51	199
May 2002	Min.	13.96	33.19	3.86	3.02	4.33	0.77	12.83	-	46.47	4.87	638
	Mean	15.27	33.71	7.14	9.46	9.06	1.50	23.47	-	60.79	6.00	993
	Max.	17.03	34.29	12.11	14.20	12.82	2.01	31.14	-	68.87	6.90	1433
	SD	1.02	0.41	2.34	2.86	2.49	0.34	6.55	-	7.08	0.56	218
July 2002	Min.	13.65	32.29	4.94	3.63	6.77	0.89	12.81	-	46.89	5.92	473
	Mean	16.41	33.41	8.67	13.05	9.57	1.48	30.69	-	61.39	6.49	825
	Max.	21.66	34.24	12.24	18.92	12.51	1.91	43.56	-	67.68	7.61	1865
	SD	2.51	0.59	2.46	4.70	2.20	0.36	9.54	-	6.20	0.40	340
September 2002	Min.	15.87	29.20	5.58	1.58	5.01	0.76	15.99	-	50.00	6.57	347
	Mean	19.74	32.29	8.84	12.36	9.30	1.38	32.04	-	57.54	6.77	1234
	Max.	23.35	34.51	11.54	29.51	13.01	1.93	44.05	-	65.54	7.21	3512
	SD	3.21	2.18	2.53	8.59	2.94	0.45	11.07	-	6.53	0.21	953
November 2002	Min.	12.44	32.48	4.35	1.61	3.12	0.49	9.06	-	38.72	5.77	461
	Mean	13.83	33.22	6.63	9.23	8.13	1.23	23.97	-	58.93	6.60	1047
	Max.	16.49	34.36	9.58	18.25	12.21	1.84	37.53	-	68.55	7.22	1937
	SD	1.37	0.63	1.76	5.12	3.01	0.43	9.08	-	9.04	0.44	405
January 2003	Min.	8.06	33.31	5.03	3.23	6.21	0.95	22.56	-	48.57	6.54	899
	Mean	9.38	33.58	6.86	9.40	9.65	1.43	31.16	-	59.79	6.73	1191
	Max.	11.85	33.78	8.20	13.14	11.98	1.78	34.65	-	66.05	6.90	1922
	SD	1.69	0.17	1.54	4.31	2.44	0.35	5.76	-	7.72	0.15	491

IL: Ignition loss, Phaeo.: Phaeopigment, POC: Particulate organic carbon, PON: Particulate organic nitrogen, CODs: Chemical oxygen demand for sediment, MC: Mud content, WC: Water content

시료는 1Ø 간격으로 입도등급별 무게백분율, 4Ø 미만의 세립질 시료는 X-선 자동입도분석기(Micromeritics Co., Sedigraph 5100, USA)를 이용해 입도의 무게백분율을 구하였다. 통계분석은 5월, 7월, 9월 및 11월을 대상으로 다변량 해석의 SPSS 10.0 프로그램을 이용하여 개인용 컴퓨터에서 상관행열에 의한 주성분분석을 실시하였다.

3. 결 과

Table 2에 남해 중앙부 해역의 표층퇴적물에서 시기별로 분석된 각 항목의 최저, 최고, 평균값 및 표준편차를 나타내었다. 기상관계상 조사해역의 북동쪽에서만 조사가 이루어진 1월을 제외하면 유기물 함량을 지시하는 IL, phaeopigment, POC, PON 및 CODs 등의 항목은 수온상승기인 봄과 여름에 높은 평균값을, 수온하강기인 11월에 CODs를 제외한 항목에서 낮은 평균값을 나타내었다. 그리고 각 항목별 분포특성은 다음과 같다.

3.1 저층해수의 수온과 염분

저층해수(B-1 m)의 수온은 2003년 1월에 최저 8.1℃에서 2002년 9월에 최대 23.4℃로 변동하여 약 15℃의 연교차를 나타내었다. 시기별로는 2002년 4월에 12.8±0.5℃(평균 ± 표준편차, 이하 동일), 5월에 15.3±1.0℃, 7월에 16.4±2.5℃, 9월에 19.7±3.2℃, 11월에 13.8±1.4℃ 그리고 2003년 1월에 11.9±1.7℃로 변동하여 봄에 균일한 분포를 보이는 반면, 7월과 9월에 분포차가 크게 나타났다(Table 2). 공간적으로는 수온상승기인 봄과 여름에 봇돌바다 북서해역과 외나로도와 금오도 사이의 해역을 중심으로 수온이 높고, 외해로 갈수록 낮아졌다. 반면 수온 하강기인 가을과 겨울은 육지와 인접한 해역에서 낮은 수온을, 수심이 깊은 해역에서 높은 수온을 보여 대기 냉각 및 가열에 의한 영향을 비교적 쉽게 받는 것으로 나타났다(Fig. 2).

염분은 29.20~34.51 psu (33.40±1.00 psu)의 변동 폭으로 2002년 4월에 33.44~34.24 psu (33.87±0.29 psu), 5월에 33.19~34.29 psu (33.71±1.02 psu), 7월에 32.29~34.24 psu (33.41±0.59 psu), 9월에 29.20~34.51 psu (32.29±2.18 psu), 11월에 32.48~34.36 psu (33.22±0.63 psu) 그리고 2003년 1월에 33.31~33.78 psu (33.58±0.17 psu)로 변동하여 고수온기에 낮고 저수온기에 높은 경향을 나타내었다(Table 2). 공간적으로는 외해쪽에서 높은 염분농도를 보여 소리도 남단은 연중 34 psu 이상의 염분을 보이는 반면, 육지에 인접한 해역은 33 psu 전후의 낮은 염분을 나타내었다. 특히 육상으로부터 담수유입이 많은 시기인 9월에 봇돌바다 북서해역 등 연안에 인접한 해역에서 30 psu 이하의 저염수가 외해로 확장하고, 외해역에서는 34 psu 이상의 고염수가 연안쪽으로 확장하여 소리도 인근해역을 중심으로 매우 강한 염분전선을 형성하였다(Fig. 3).

3.2 퇴적상과 함수율

퇴적물 환경에서 입도조성과 함수율은 유기물 분포에 큰 영향을 미친다(Lambert[1967]). 특히, 퇴적상은 급격한 퇴적환경의 변화가 발생하지 않는 이상 단기간에 특성의 변화가 없기에 4월에 1회만 시료를 채집하여 분석을 실시하였다. 그 결과 봇돌바다 북서해역과 외나로도, 금오도 및 손죽열도 등 육지에 인접한 해역을 중심으로 점토성 실트(Clayey silt)의 퇴적상을, 여수해만과 연안에서 떨어진 외해역에서 실트성 점토(Silty clay)의 퇴적상을 보여, 수심에 비례하여 연안역보다 외해역이 그리고 서쪽보다 동쪽해역이 더욱 세립한 퇴적상을 나타내었다(Fig. 4, A).

함수율은 38.7~68.9% (59.9±6.9%)의 변동 폭으로, 4월에 48.6~66.2% (59.4±6.2%), 5월에 46.5~68.9% (60.8±7.1%), 7월에 46.9~67.7% (61.4±6.2%), 9월에 50.0~67.0% (57.5±6.5%), 11월에 38.7~68.6% (58.9±9.0%) 그리고 1월에 48.6~66.1% (59.8±7.7%)로 변동하였으며, 공간적으로 퇴적상과 관련된 일정한 값을 보였다(Table 2). 즉 공간적으로 동쪽보다 서쪽에 위치한 나로도 인근해역에서 평균 55% 이하의 낮은 함수율을, 육지에 가까운 연안역보다 외해역에서 65% 이상의 높은 함수율을 보여, 육상과의 거리 및 수심과 일정한 관련성을 나타내는 것으로 판단되었다(Fig. 4, B).

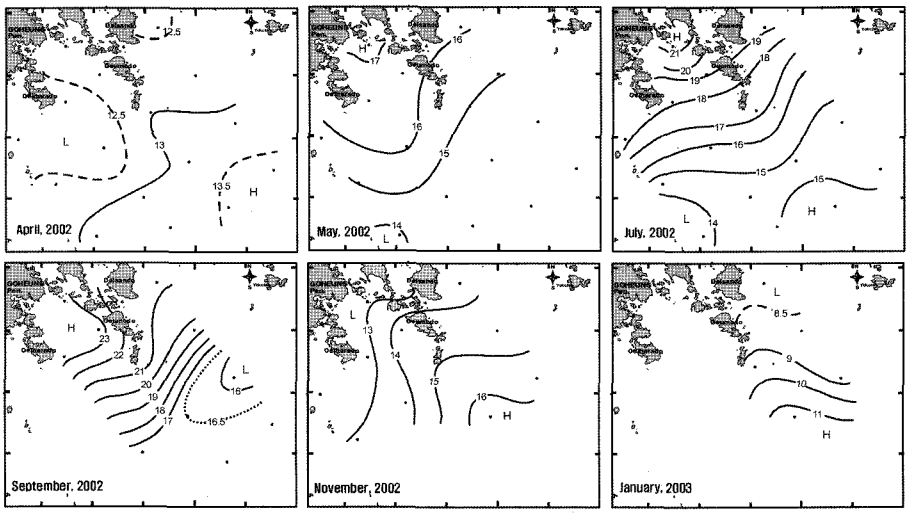

Fig. 2. Horizontal distributions of bottom temperature in the central part of South Sea.

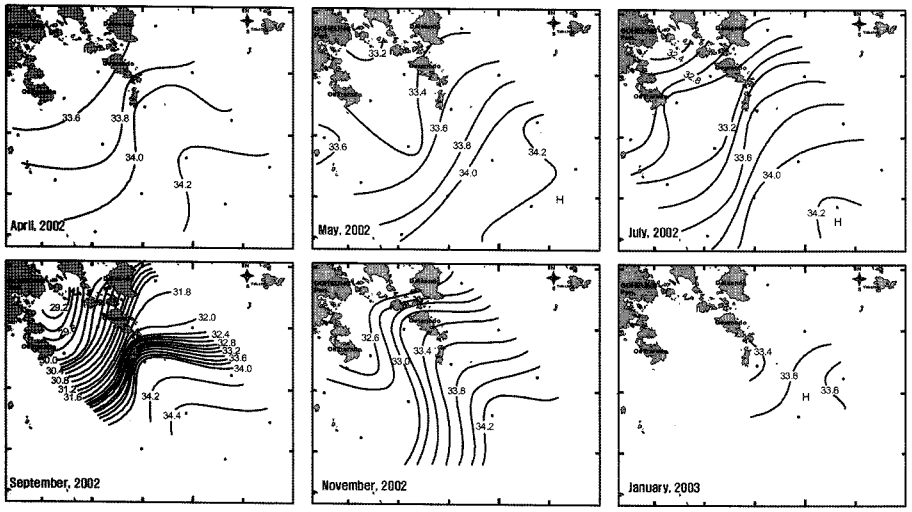

Fig. 3. Horizontal distributions of bottom salinity in the central part of South Sea.

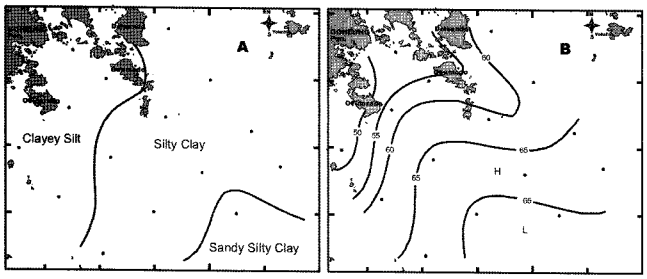

Fig. 4. Horizontal distributions of sedimental facies(A) and water content(B) of the surface sediment in the central parts of South Sea.

3.3 표층퇴적물중 유기물 분포

강열감량(IL)으로 표현되는 총 유기물량은 3.9~12.5% (8.0±2.4%)의 범위로, 4월에 6.1~12.5% (9.0±2.2%), 5월에 3.9~12.1% (7.1±2.3%), 7월에 4.9~12.2% (8.7±2.5%), 9월에 5.6~11.5% (8.9±2.5%), 11월에 4.4~9.9% (6.6±1.8%) 그리고 1월에 5.0~8.2% (6.9±1.5%)로 변동하여, 봄, 여름과 같이 생물생산이 높은 수온상승기에 높고, 저수온기에 상대적으로 낮았다(Table 2). IL의 공간분포는 수심 30 m 이하의 연안해역인 금오도, 외나로도, 봇돌바다 북서해역 및 손죽도 인근해역에서 연중 6% 내외의 낮은 함량을, 수심이 깊은 외해역에서 10% 이상의 높은 함량을 보였다. 돌산도 인근해역은 5월과 11월에 6% 이하의 낮은 함량을 보이나, 고수온기인 7월과 9월에는 8% 이상으로 증가하여 계절적으로 크게 변동하였다. 시기적으로 연안수의 확장이 강한 7월은 해안선과 평행한 등심선과 유사한 IL 함량을 보이나, 외해수가 연안으로 크게 확장되는 11월은 소리도와 손죽도를 중심으로 3개의 다른 유기물 집적양상을 나타내었다. 이러한 유기물 분포는 계절에 따른 수괴분포와 밀접한 관련성을 나타낸다(Fig. 5).

식물색소량(Phaeopigment)은 1.58~29.51 μg/g-dry (11.20±5.25 μg/g-dry)의 범위로 4월에 6.03~20.78 μg/g-dry (12.32±4.69 μg/g-dry), 5월에 3.02~14.20 μg/g-dry (9.46±2.86 μg/g-dry), 7월에 3.63~18.92 μg/g-dry (13.05±4.70 μg/g-dry), 9월에 1.58~29.51 μg/g-dry (12.36±8.59 μg/g-dry), 11월에 1.61~18.25 μg/g-dry (9.23±5.12 μg/g-dry) 그리고 1월에 3.23~13.14 μg/g-dry (9.40±4.31 μg/g-dry)로 변동하

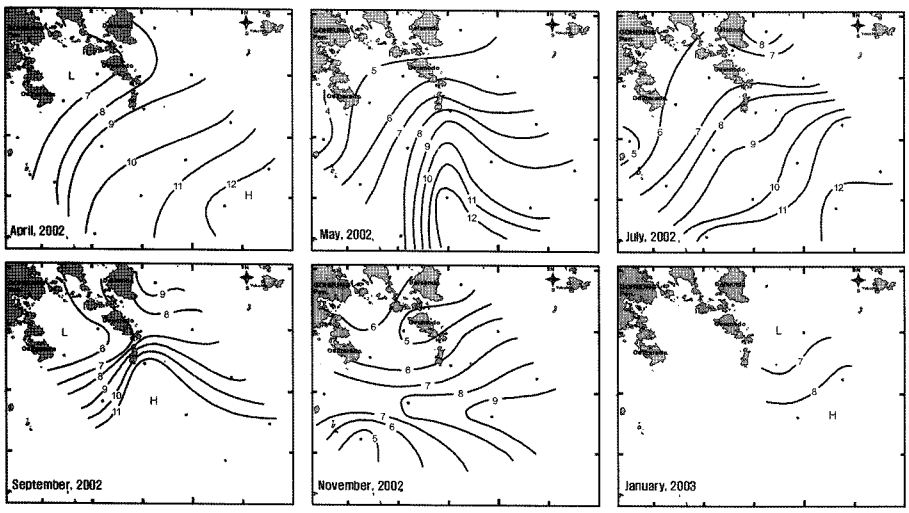

Fig. 5. Horizontal distributions of ignition loss(IL) on the surface sediment in the central parts of South Sea.

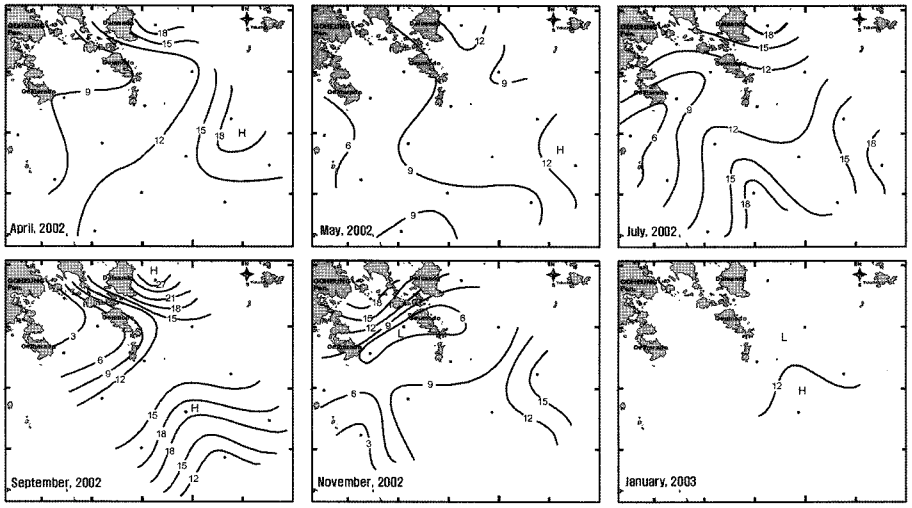

Fig. 6. Horizontal distributions of phaeopigment on the surface sediment in the central part of South Sea.

여, 고수온기에 높고, 가을에 다소 낮은 경향을 나타내나 뚜렷한 계절변화는 보이지 않았다(Table 2). 공간적으로는 수온상승기인 봄과 여름은 돌산도 인근해역과 외해역을 중심으로 높은 생물량을, 가을은 봇돌바다 북부해역과 외해역 서쪽을 중심으로 높은 생물량을 보여 금오도와 나로도 사이의 해역과 손죽도 인근해역에서 낮고, 돌산도 인근해역과 외해역에서 높았다. 특히 외해역에 비해 계절 변동 폭이 큰 돌산도 인근해역은 저수온기에 12 μg/g-dry 이하에서 9월에 29.51 μg/g-dry로 증가하여 고수온기에 높은 생물량을 나타내었다. 그러나 봇돌바다 북부해역은 고수온기보다 저수온기에 18 μg/g-dry 이상의 생물량을 나타내었다(Fig. 6).

입자성 유기탄소(POC)는 3.12~13.01 mgC/g-dry (9.05±2.50 mgC/g-dry)의 범위로, 4월에 5.35~11.80 mgC/g-dry (8.83±2.39 mgC/g-dry), 5월에 4.33~12.82 mgC/g-dry (9.06±2.47 mgC/g-dry), 7월에 6.77~12.51 mgC/g-dry (9.57±2.20 mgC/g-dry), 9월에 5.01~13.01 mgC/g-dry (9.30±2.94 mgC/g-dry), 11월에 3.12~12.21 mgC/g-dry (8.13±3.01 mgC/g-dry) 그리고 1월에 6.21~11.98 mgC/g-dry (9.65±2.44 mgC/g-dry)로 변동하였다(Table 2).

입자성 유기질소(PON)는 0.49~2.01 mgN/g-dry(1.41±0.38 mgN/g-dry)의 범위로, 4월에 0.80~1.99 mgN/g-dry (1.38±0.38 mgN/g-dry), 5월에 0.77~2.01 mgN/g-dry (1.50±0.34 mgN/g-dry), 7월에 0.89~1.91 mgN/g-dry (1.48±0.36 mgN/g-dry), 9월에 0.76~1.93 mgN/g-dry (1.38±0.45 mgN/g-dry), 11월에 0.49~1.84 mgN/g-dry (1.23±0.43 mgN/g-dry) 그리고 1월에 0.95~1.78 mgN/g-dry (1.43±0.35 mgN/g-dry)로 변동하여, 4개 정점에서만 조사가 이루어진 1월을 제외하면 POC · PON 모두 수온이 상승하는 5월과 7월에 높고, 4월과 11월에 가장 낮은 함량을 나타내었다(Table 2). POC와 PON의 공간분포는 두 항목 모두 봄과 여름에 연안에서 외해로 갈수록 높은 함량을 나타내어 봇돌바다와 손죽도 인근해역에서 낮고, 소리도 남단의 외해역에서 높은 함량을 보였다. 가을은 수심이 깊은 남해 외해쪽의 대마난류 수역과 봇돌바다 북서쪽의 높은 함량이 해역 중앙부를 향해 감소하고, 손죽도 남단의 낮은 함량이 해역 중앙부를 향해 증가하여 소리도와 손죽도 사이의 해역에서 서로 다른 유기물 환경이 중첩하는 다소 복잡한 분포양상을 보였다. 또한 계절적으로 돌산도 인근해역은 식물색소량과 유사하게 고수온기와 저

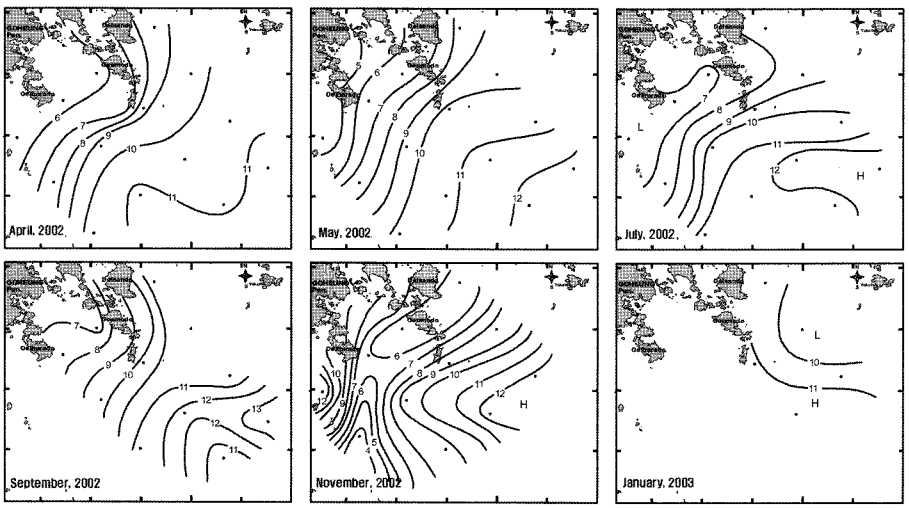

Fig. 7. Horizontal distributions of particulate organic carbon(POC) on the surface sediment in the central part of South Sea.

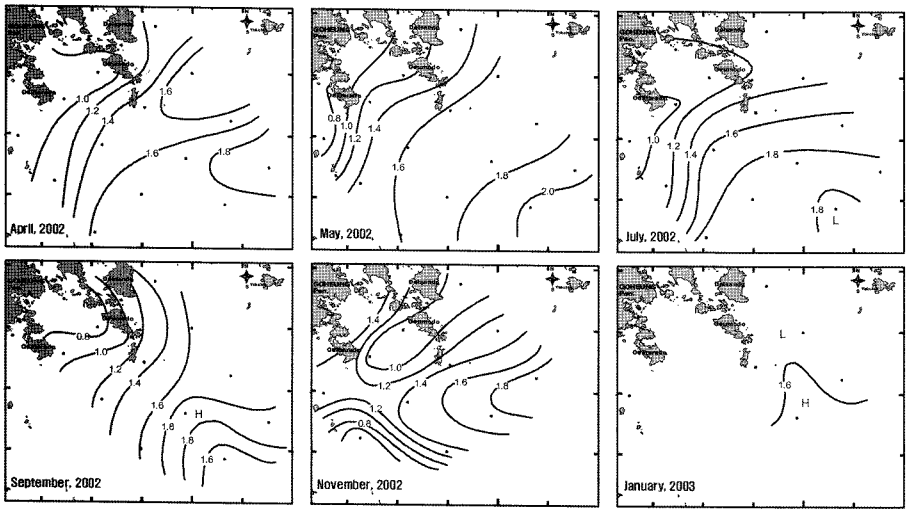

Fig. 8. Horizontal distributions of particulate organic nitrogen(PON) on the surface sediment in the central part of South Sea.

수온기 사이의 변동 폭이 크게 나타나, POC, PON 함량과 수주내 식물플랑크톤 생물량이 서로 밀접한 관련을 나타내었다(Fig. 7, 8).

퇴적물의 유기오염 지표를 나타내는 화학적산소요구량(CODs)은 9.60~44.05 mgO_2/g-dry (27.21±8.76 mgO_2/g-dry)의 범위로, 4월에 12.26~33.64 mgO_2/g-dry (25.48±6.29 mgO_2/g-dry), 5월에 12.83~31.14 O_2/g-dry (23.47±6.55 mgO_2/g-dry), 7월에 12.81~43.56 mgO_2/g-dry (30.69±9.54 mgO_2/g-dry), 9월에 15.99~44.05 mgO_2/g-dry (32.04±11.07 mgO_2/g-dry), 11월에 9.6~37.53 mgO_2/g-dry (23.97±9.08 mgO_2/g-dry) 그리고 1월에 22.56~34.65 mgO_2/g-dry (31.16±5.76 mgO_2/g-dry)로 변동하여, 9월에 가장 높고 11월에 가장 낮은 농도를 나타내었다(Table 2). CODs의 공간분포는 봄과 여름 손죽도 인근해역에서 15 mgO_2/g-dry 이하의 낮은 값을 보이는 반면, 외해역과 돌산도 인근해역에서 25 mgO_2/g-dry 이상의 높은 농도를 보였다. 그리고 가을은 돌산도 인근해역과 손죽도 남단 그리고 금오도와 나로도 사이의 해역에서 20 mgO_2/g-dry 이하의 낮은 농도를, 봇돌바다 북부해역과 소리도 남단의 외해역에서 25 mgO_2/g-dry 이상의 높은 농도를 보여, 연중 소리도 남단의 수심이 깊은 외해역에서는 20 mgO_2/g-dry 이상의 높은 CODs를 나타내었다. 특히 CODs는 IL, 식물색소량, POC 및 PON 등의 항목들과 시·공간적인 분포 양상이 매우 유사함과 동시에, 높은 함수율과 세립한 퇴적상을 갖는 해역에서 높은 값을 나타내었다. 또한 고수온기 수심이 깊은 외해역과 돌산도 인근해역에서 40 mgO_2/g-dry 이상의 매우 높은 농도를 보였으며, 저수온기에는 높은 식물색소량을 나타낸 봇돌바다 북부해역에서 CODs가 크게 증가하고, 소리도와 손죽열도 사이에서 각기 다른 퇴적물 환경을 나타내었다(Fig. 9).

3.3 표층퇴적물의 유기물 기원

유기탄소와 유기질소의 비(C/N ratio)는 해수 및 퇴적물 내로 유입되는 유기물질에 대한 육상 또는 해양기원을 입증하는 수단으로 널리 이용된다. 남해 중앙부해역의 C/N 비는 4.87~7.61 (6.42±0.50)의 범위로, 4월에 5.24~6.92 (6.36±0.51), 5월에 4.87~6.90 (6.00±0.56), 7월에 5.92~7.61 (6.49±0.40), 9월에 6.57~7.21 (6.77±0.21), 11월에 5.77~7.22 (6.60±0.44) 그리고 1월에 6.54~6.90 (6.72±0.15)로 변동하였다. 시기적으로 9월에 높고 5월에 낮았으나 해역 전체

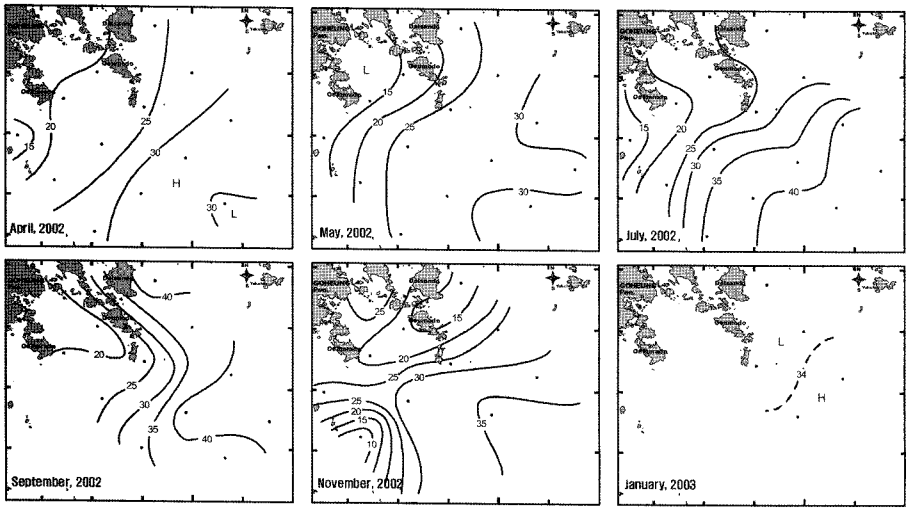

Fig. 9. Horizontal distributions of chemical oxygen demand(CODs) on the surface sedimentin the central part of South Sea.

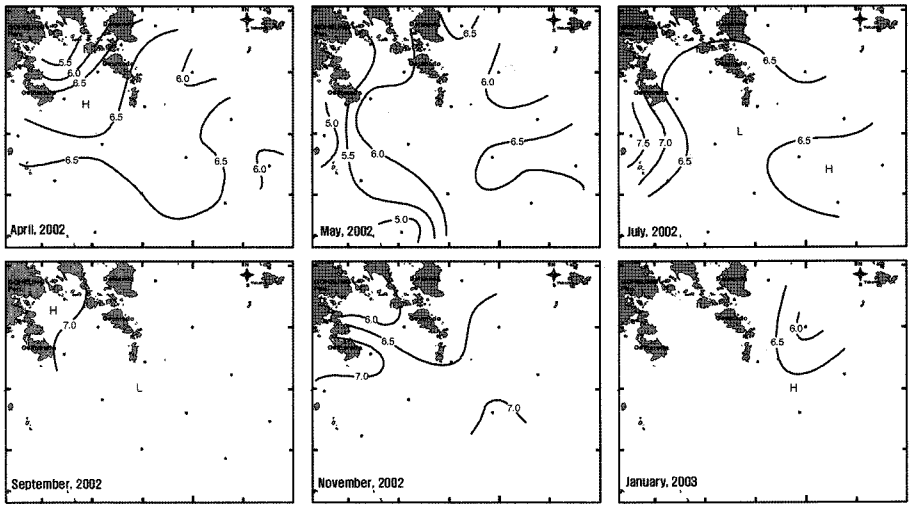

Fig. 10. Horizontal distributions of C/N ratio on the surface sediment in the central part of South Sea.

적으로 평균 7 이하의 값을 나타내어, 한국 남해중앙부 표층퇴적물의 유기물은 해양기원에 의존한다고 할 수 있다(Table 2). C/N 비의 공간분포는 4월에 여자만 입구에서 그리고 5월은 봇돌바다 북서해역과 손죽도 인근해역 및 외해역의 서쪽에서 5.5 이하의 낮은 값을 보였다. 강수량이 증가하는 7월은 연안역을 중심으로 C/N 비가 증가하고, 9월은 해역 전체적으로 7 내외의 균일한 값을 나타내었다. 그리고 수온 하강기인 가을과 겨울은 각각 봇돌바다 북서해역과 금오도 동쪽에서 낮고, 외해역과 나로도 인근해역에서 높은 값을 보였다. 즉 C/N 비는 소리도 남단을 포함한 외해역에서 연중 균일한 값을 보인 반면, 연안역을 중심으로 C/N 비의 변동 폭이 다소 큰 것으로 나타났다(Fig. 10).

또한 POC/Chl-a 비는 입자성 유기탄소에서 식물플랑크톤이 차지하는 유기물 조성을 나타내는 지표이다. 남해 중앙부해역에서 POC/phaeopigment 비는 347~3,512 (961±463)의 범위로, 4월에 426~1,273 (762±199), 5월에 638~1,433 (993±218), 7월에 473~1,865 (825±340), 9월에 347~3,512 (1,234±953), 11월에 461~1,937 (1,047±405) 그리고 1월에 899~1,922 (1,191±491)로 변동하여, 연안수의 확장이 두드러지는 9월에 높고, 4월에 낮은 값을 보였으나, 해역 전체적으로 살아있는 식물플랑크톤보다 유기쇄설물에 의한 유기물 조성이 큰 것으로 나타났다(Table 2). POC/phaeopigment 비의 공간분포는 4월과 5월 그리고 7월에 봇돌바다 북서해역과 돌산도 인근해역 및 금오도와 나로도 사이의 해역 등 연안에 인접한 곳에서 낮고, 손죽도 인근해역에서 높은 값을 보였다. 연안역을 중심으로 저염화 현상이 두드러진 9월은 높은 식물색소량을 나타낸 돌산도 인근해역에서 POC/phaeopigment 비가 가장 낮고, 여자만 입구에서 3,600 이상의 매우 높은 값을 보이며 남동쪽을 향해 감소하였다. 11월과 1월은 연안보다 외해역에서 높아 손죽열도 남단 및 소리도 인근해역에서 높은 값을 보였다. 즉 돌산도 인근해역은 연중 가장 낮은 POC/phaeopigment 비를 보여 다른 해역에 비해 식물플랑크톤에 의한 유기물 집적이 상대적으로 높은 반면, 조사해역의 동쪽보다 손죽열도 등의 서쪽 해역은 쇄설성 유기물질에 의한 비율이 큰 것으로 나타났다(Fig. 11).

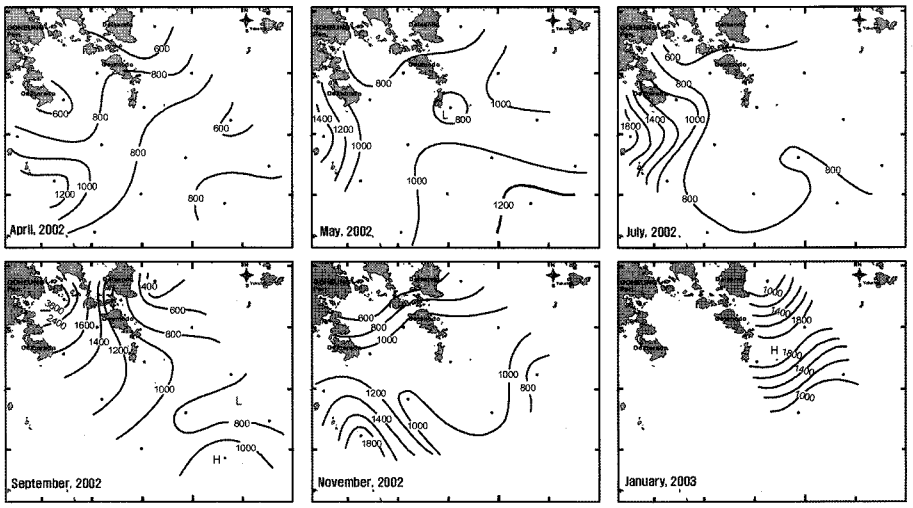

Fig. 11. Horizontal distributions of POC/phaeopigment ratio on the surface sediment in the central part of South Sea.

Table 3. Results of eigenvalue, proportion, accumulative proportion, eigen vector and loading factor by the principal component analysis (PCA) in the central part of Korean South Sea

Principal Component	1st	2nd
Eigenvalue	6.30	1.75
Proportion(%)	57.26	15.92
Accumulative proportion(%)	57.26	73.18

Parameters	Eigen Vector		Loading Factor	
	1st	2nd	1st	2nd
Temp. on sediment	-0.054	-0.005	-0.134	-0.006
Salinity	0.187	0.151	0.469	0.200
Water content	0.284	0.373	0.714	0.494
IL	0.365	0.063	0.915	0.084
Phaeopigment	0.238	0.544	0.597	0.719
POC	0.372	0.186	0.933	0.246
PON	0.336	0.272	0.842	0.360
CODs	0.353	0.245	0.886	0.324
C/N ratio	0.166	-0.351	0.417	-0.464
POC/Phaeo. ratio	-0.084	-0.655	-0.210	-0.866
Depth	0.341	-0.079	0.857	-0.104

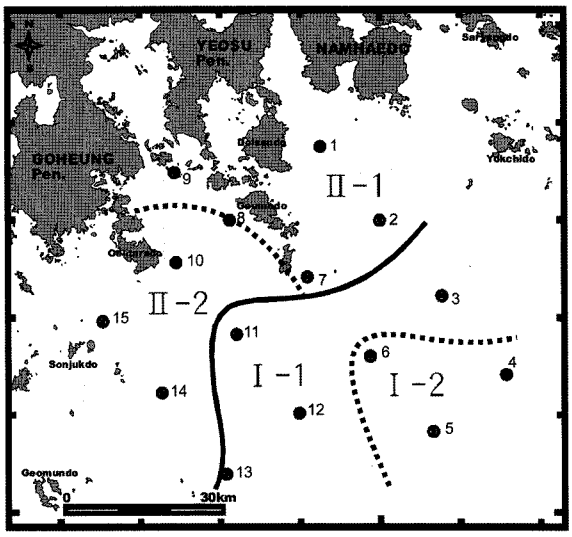

Fig. 13. Regional classification on the sedimentary environments based on the PCA.

3.4 유기물의 시 · 공간적인 분포특성

남해 중앙부해역 표층퇴적물 중 유기물의 시 · 공간적인 분포특성을 파악하기 위해 2002년 5월, 7월, 9월 그리고 11월의 분석 값을 대상으로 주성분분석을 실시하였다. 주성분분석은 누적기여율 70%를 기준으로 제 2주성분까지 도출하였다(Table 3).

주성분분석 결과 얻어진 인자 부하량 분포로부터 제 1주성분은 유기물 지시항목이 상호연관성을 보이며 함수율, 수심 그리고 저층해수의 염분과 양의 상관을 보이는 것으로부터 '표층퇴적물의 유기물 집적정도'를 나타내는 것으로 판단되었다. 이 결과 남해 중앙부해역은 상대적으로 고염분수가 나타나며 수심이 깊은 외해역에서 높은 유기물 집적이 이루어지고 있음을 알 수 있다. 제 2주성분은 식물색소량, 함수율과는 강한 양의 관련을 보이는 반면, POC/phaeopigment 비와 C/N 비와는 음의 관련을 보이는 것으로부터 '해양의 생유기물에 의한 유기물 척도'와 나타내는 것으로 판단되었다. 제 2주성분 결과로부터 조사해역의 유기물 지표를 나타내는 POC, PON, CODs 등은 연안보다 외해쪽에서 생산되어 공급되는 식물플랑크톤의 생물량에 의해 지배되는 것으로 추정되었다(Fig. 12, Left).

주성분분석에 의한 득점 분포로부터 남해 중앙부해역의 표층퇴적물환경은 유기물 집적이 큰 그룹과(그룹 I)과 상대적으로 낮은 유기물량을 보인 그룹(그룹 II)으로 크게 구분 되었다. 그리고 그룹 I과 II는 식물플랑크톤 생물량 의존도에 따라 각각 2개의 작은 그룹으로 세분화 되었다(Fig. 12, Right). 이와 같이 구분된 해역의 분석항목별 평균값으로부터 각 해역의 특성을 구분하면(Fig. 13, Table 4), 해역 I-1로 구분된 조사대상 중앙부해역은 그룹 I 내에서 식물플랑크톤 생물량에 더욱 의존하면서 육상에 인접한 연안역보다 높은 유기물 함량을 보이는 해역이다. 해역 I-2로 구분된 80 m 등심선 부근의 조사대상 남동쪽 해역은 조사 해역중 가장 높은 유기물 함량을 나타내는 해역으로, 연중 34 psu 이상의 고염분을 나타내어 대마난류수의 영향을 크게 받는 것으로 판단되었다. 해역 II-1로 구분된 봇돌바다 북부와 여수해만 남단해역은 그룹 I

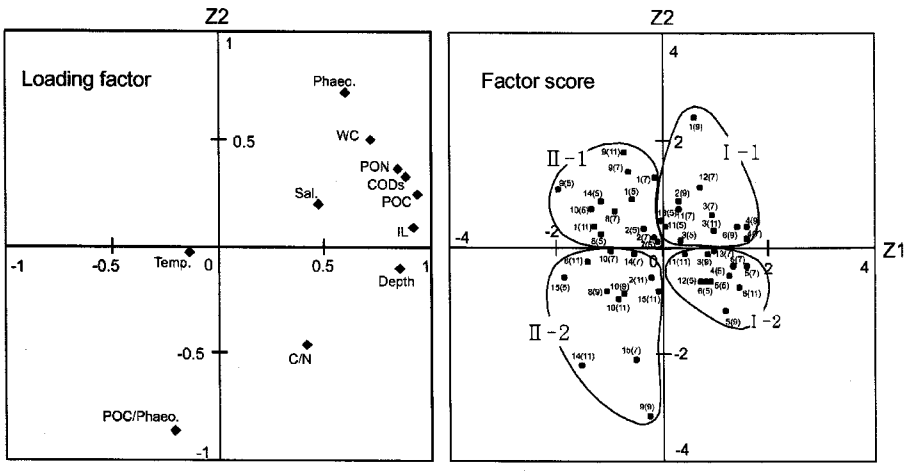

Fig. 12. Loading factor and score by PCA on the analytical parameters of the surface sediment in the central part of South Sea.

Table 4. Mean value and standard deviation of the regional classification based on the PCA

Parameters \ Region	I-1	I-2	II-1	II-2
Temp. (B-1m, °C)	14.72±0.89	15.45±1.07	17.40±3.15	17.03±3.79
Sal. (B-1m, psu)	33.79±0.46	34.01±0.53	33.04±1.56	32.76±0.88
WC (%)	65.54±1.79	65.65±2.96	58.36±5.66	54.19±6.69
IL (%)	9.20±1.68	10.63±1.14	7.45±2.24	5.68±0.98
Phaeo. (μg/g-dry)	13.08±3.16	13.67±3.92	14.47±6.37	6.80±4.38
POC (mgC/g-dry)	10.77±0.66	12.04±0.82	9.13±1.45	6.36±1.42
PON (mgN/g-dry)	1.71±0.11	1.80±0.16	1.42±0.24	1.02±0.26
COD_S (mgO_2/g-dry)	33.25±5.18	36.40±7.11	28.12±8.21	18.52±5.25
C/N ratio	6.30±0.29	6.69±0.29	6.46±0.33	6.29±0.73
POC/Phaeo. ratio	859±168	938±228	692±226	1251±711
Depth (m)	48.73±16.60	76.67±10.21	25.29±6.95	20.28±6.12

에 비해 유기물 함량은 상대적으로 낮지만 식물플랑크톤 생물량에 의해 표층퇴적물 유기물 특성이 결정되는 해역으로 판단되었다. 그리고 해역 II-2로 구분된 조사대상 서편 및 남서해역은 조사해역중 유기물 함량이 가장 낮고 생물기원 유기물보다 쇄설성 유기물 비율이 가장 높은 해역으로, 구분된 해역중 가장 낮은 염분농도를 나타내고 있어 저염의 특성을 갖는 외부해수에 의해 생물생산과 유기물 집적이 지배되는 특성을 가진 해역으로 판단되었다.

4. 고 찰

본 연구의 분석항목별 상관분석 결과, IL, POC, PON 및 COD_S 등은 전 시기적으로 수심과 높은 양의 상관관계(0.590~0.934)를 보이는 것으로부터, 상대적으로 깊은 수심을 갖는 외해역에서 유기물 집적이 활발한 것을 지시하였다. 그리고 POC/phaeopigment 비와 POC는 9월 외에는 유의한 상관성이 나타나지 않은 반면, POC/phaeopigment 비와 식물색소량은 연중 높은 음의 상관성(r = -0.570~ -0.825)을 나타내었으며, 식물색소량과 IL, POC, PON 및 COD_S 등 유기물 지시항목들이 연중 서로 높은 양의 상관성을 나타내었다. 이로부터 남해 중앙부해역에서 유기물 조성은 쇄설성 물질이 높은 비율을 차지하지만, 공간적인 유기물 조성의 변동은 유기쇄설물의 증감보다 생유기물의 증감에 더욱 의존하며, 해역내의 유기물은 식물플랑크톤 생물량에 의해 영향을 받는 것으로 사료되었다. 또한 유기오염 지표로 이용되는 CODs와 식물색소량은 저수온기(r = 0.595~0.719)보다 고수온기에 더욱 높은 상관성(r = 0.745~0.844)을 나타내어 고수온기 높은 유기물량과 함께 식물플랑크톤 생산에 의해 집적된 유기물의 무기화 작용이 활발한 것으로 판단되었다(Table 5, 6).

이와 같은 남해 중앙부해역의 표층퇴적물중 유기물량을 남해

Table 5. Correlation matrix between analytical parameters of May(upper) and July (lower)

Parameters	Temp. (B-1m)	Sal. (B-1m)	WC	IL	Phaeo.	POC	PON	CODs	C/N ratio	POC/Phaeo. ratio	Depth
Temp.(B-1m)		-0.896	-0.511	-0.705	-0.321	-0.725	-0.721	-0.720	-0.453	-0.422	-0.634
Sal.(B-1m)	-0.838		0.455	0.725	0.350	0.773	0.748	0.641	0.493	0.431	0.838
WC	-0.514	0.658		0.471	0.485	0.707	0.696	0.593	0.472	0.004	0.478
IL	-0.698	0.849	0.834		0.404	0.787	0.793	0.673	0.447	0.258	0.756
Phaeo.	-0.189	0.378	0.859	0.619		0.859	0.641	0.595	0.695	-0.570	0.457
POC	-0.662	0.815	0.866	0.933	0.673		0.954	0.854	0.720	0.067	0.776
PON	-0.682	0.805	0.905	0.920	0.715	0.978		0.886	0.483	0.103	0.752
CODs	-0.661	0.854	0.930	0.944	0.745	0.937	0.952		0.497	0.122	0.590
C/N ratio	0.276	-0.233	-0.516	-0.284	-0.430	-0.225	-0.413	-0.408		-0.045	0.474
POC/Phaeo. ratio	0.045	-0.128	-0.702	-0.344	-0.803	-0.316	-0.419	-0.503	0.709		0.249
Depth	-0.769	0.911	0.773	0.934	0.520	0.916	0.888	0.899	-0.165	-0.191	

Table 6. Correlation matrix between analytical parameters of September(upper) and November (lower)

Parameters	Temp. (B-1m)	Sal. (B-1m)	WC	IL	Phaeo.	POC	PON	CODs	C/N ratio	POC/Phaeo. ratio	Depth
Temp.(B-1m)		-0.978	-0.668	-0.883	-0.406	-0.840	-0.848	-0.772	0.499	0.559	-0.963
Sal.(B-1m)	0.952		0.742	0.930	0.512	0.894	0.901	0.828	-0.557	-0.686	0.954
WC	0.457	0.473		0.789	0.927	0.928	0.924	0.974	-0.435	-0.790	0.548
IL	0.568	0.652	0.766		0.656	0.895	0.884	0.872	-0.343	-0.661	0.882
Phaeo.	0.231	0.237	0.813	0.545		0.768	0.754	0.844	-0.287	-0.776	0.281
POC	0.619	0.660	0.909	0.926	0.878		0.998	0.962	-0.462	-0.758	0.770
PON	0.569	0.615	0.937	0.877	0.810	0.982		0.953	-0.517	-0.773	0.775
CODs	0.541	0.591	0.880	0.907	0.719	0.966	0.961		-0.381	-0.778	0.663
C/N ratio	0.283	0.266	0.127	0.465	-0.247	0.365	0.191	0.313		0.723	-0.425
POC/Phaeo. ratio	-0.051	0.030	-0.725	-0.184	-0.825	-0.453	-0.550	-0.429	0.260		-0.461
Depth	0.890	0.910	0.457	0.769	0.338	0.708	0.657	0.639	0.330	0.046	

Table 7. Concentration of organic matter in surface sediment in coast of South Sea, Korea

Area	IL (%)	phaeo. (μg/g-dry)	POC (mg/g-dry)	PON (mg/g-dry)	CODs (mg/g-dry)	Sampling Date	References
Kwangyang Bay	7.1	0.22	10.40	1.00	13.67	1993	Kang *et al.*(1993)
Gamak Bay	4.6-11.6	6.84-116.18	5.45-23.24	0.71-2.99	12.25-99.26	2000-2002	Noh *et al.*(2006)
Yoja Bay	6.8	1.27	7.90	1.30	14.53	1993	Kang *et al.*(1993)
Coast of Wando	3.7-19.2	0.23-9.21	-	-	0-72.87	1994	Yoon(198)
Jinhae Bay	8.1-14.2	7.60-48.20	-	-	9.70-38.50	1981	Cho *et al.*(1982)
"	-	8.41-13.59	15.16-31.39	1.99-4.06	-	1983	Yang and Hong(1988)
Coast of Keoje Island	6.0-20.0	1.28-14.48	5.50-30.10	0.70-3.70	15.50-85.80	1998	Ju(1999)
Pusan Harbor	6.3-18.5	-	7.10-63.80	0.30-4.50	5.05-43.67	1992	Park *et al.*(1995)
Central part of South Sea	3.9-12.5 (8.0)	1.58-29.51 (11.20)	3.12-13.01 (9.05)	0.49-2.00 (1.41)	9.60-44.05 (27.21)	2002-2003	This Study

연안의 여러 해역들과 비교하면(Table 7), IL, POC 및 PON은 인접한 내만역으로 산업폐수에 의한 부영양화가 진행 중인 광양만(윤과 박[1992]), 넓게 분포하는 조간대를 중심으로 살포식 패류양식이 활발히 이루어지는 여자만(Kang *et al.*[1993])과는 대체로 유사한 값을 나타낸 반면, 다양한 양식활동과 생활하수에 의해 만내 일부지역을 중심으로 극심한 유기오탁이 보고된 가막만(노 등[2006])의 POC, PON과 우리나라에서 가장 부영양화가 진행된 진해만(조 등[1982]; Yang and Hong[1988]), 대규모 도시활동이 이루어지는 부산항 주변해역(박 등[1995]) 및 근래 어장 노화현상이 보고되는 거제도 주변해역(주[1999])보다는 낮은 측정값을 나타내었다. 식물색소량은 가막만과 진해만보다는 낮은 값을 나타내지만, 해조류 양식이 성행하는 완도 주변해역(윤[1998])을 비롯한 대부분 해역보다 높은 값을 나타내었다. 또한 CODs는 진해만(조 등[1982]; Yang and Hong[1988])과 부산항 주변해역(박 등[1995])과 유사하고, 광양만(윤과 박[1992])과 여자만(Kang *et al.*[1993])보다 높은 값을 나타낸 반면, 가막만(노 등[2006])과 완도(윤[1998]) 및 거제도 주변해역(주[1999])보다는 낮은 측정값을 나타내었다. 즉 남해 중앙부해역의 퇴적물중 유기물 환경은 심각한 유기오탁이 진행 중인 일부 내만역들에 비해 상대적으로 양호한 퇴적물 환경을 나타내고 있으나, 조사대상 외해역에서 나타난 일부 내만역보다 높은 유기물 농도는 표영환경에서의 높은 생물생산과 물리적, 지형적 여건에 의한 유기물 집적의 결과로 판단되었다.

한국 남해안은 성질이 다른 수괴의 상접에 의한 연안전선이 발달한 해역으로 알려져 있다(나 등[1990]; 양[1994]; 양 등[1998]). 방 등[1995]은 연안전선이 형성되는 80 m 등심선을 경계로 더욱 외해로의 퇴적물 및 부유물 확산이 제한을 받아(박 등[1987]; 조 등[1994]) 안쪽 해역은 세립한 니질로 구성되어 있으며, 수심 80 m 이상 해역은 사질과 니질이 혼합된 퇴적상을 나타낸다고 보고하였으며, 이는 본 연구의 입도조성 결과와 유사하였다. 따라서 본 연구에서 외해역의 높은 유기물 집적현상은 수심이 점차 깊어지는 완만한 해저지형에 의해 외해로의 퇴적물 수송이 용이하고, 연안역보다 세립한 입도조성으로 유기물 집적과 축적에 유리한 환경조건을 가지기 때문으로 판단되었다.

PON을 제외한 표층퇴적물내 유기물이 주로 저수온기보다 고수온기에 높은 함량을 나타내는 것 또한 유기물 생산과 현탁성 유기물 수송을 담당하는 해수유동의 영향을 크게 받는 것으로 판단되었다. 즉, 한국 남해는 대기에 의한 가열 및 냉각의 영향을 쉽게 받는 고유연안수의 확장이 두드러지는 하계에는 연안전선이 약하거나 소멸되고 외해형 전선이 형성되는 반면, 동계에는 북서계절풍의 영향으로 연안 수온이 급냉하며 대마난류의 확장에 의해 연안전선이 강하게 형성되어 연안에 인접한다(승[1992]; 양 등[1998]). 양 등[2000]은 남해 고흥연안의 하계 영양염 유입 수지(flux)에서 봇돌바다 북부해역은 유입된 용존무기질소의 70%가 육지에서 유입되는 반면, 그 외의 해역은 전체 유입량의 98%가 외해에서 유입되며, 주공급원은 하계 동중국해에서 형성된 높은 영양염과 고온·저염의 특성을 갖는 양자강 희석수로 추정하여 한국 남해에서의 적조발생과 깊은 관련성이 있는 것으로 보고하고 있다. 이와 같은 결과로부터 고수온기 남해 중앙부해역의 높은 유기물 농도는 육상에서의 유입과 양자강 희석수 유입에 의해 높은 생물생산이 가능하기 때문으로 이해할 수 있다. 다만 하계에 봇돌바다 북부해역은 다른 해역에 비해 매우 낮은 식물플랑크톤 생물량과 유기물량을 나타낸다. 이는 다른 계절은 저층해수의 염분과 식물색소량 사이에 낮은 상관성($r = 0.237 \sim 0.378$)을 보이고 있으나, 9월은 유의한 양의 상관성($r = 0.512$)을 나타내기에(Table 5, 6), 봇돌바다의 두드러진 저염화 현상이 식물플랑크톤의 생물량 및 유기물량에 영향을 미친 것으로 추정되었다. 또한 11월에 IL, POC, PON 그리고 CODs 등의 유기물 지표가 조사대상 남동해역과 봇돌바다 북부해역에서 높고 해역 중앙부에서 감소하여, 손죽열도와 소리도 인근해역 사이에서 수렴되는 복잡한 분포양상을 보였다. 이는 외해역에서 높은 수온을 갖는 대마난류수가 연안쪽으로 유입되면서 상대적으로 저온·저염의 특성을 갖는 고유연안수와 연안전선을 형성할 수 있으며 특히, 동계 연안수는 본 연구해역인 거문도와 소리도 근해에서 표층 또는 침강류 형태로 외해로 확장이 이루어지기도 하며 이에 따라 이 지역을 중심으로 전선이 형성될 수 있는 것으로 알려져 있다(Lim[1976]; 나 등[1990]; 양[1994]). 따라서 11월에 손죽열도와 소리도 사이에서 보여진 복잡

한 유기물 분포는 출현 가능한 동계형 연안전선 및 표층 또는 침강확장에 의해 형성될 수 있는 전선역을 경계로 각 수괴에 의해 수송된 유기물이 집적되는 것으로 추정할 수 있다.

일반적으로 해양에서 C/N 비가 10 이상일 경우 육상기원의 외래성 유기물에 의한 영향을(Parsons[1975]), 8 이하일 경우 해양에서 생산된 자생성 유기물의 영향을 크게 받는 것으로 이해하여(Pocklington and Leonard[1979]) C/N 비를 해역의 유기물 기원을 해석하는데 이용한다. 남해 중앙부해역은 POC와 PON 간에 연중 높은 양의 상관관계(r=0.954~0.998)를 보이며(Table 5, 6), C/N 비가 평균 7 이하로 나타나 해역 전체적으로 육상기원보다 해양기원 유기물에 의해 지배되는 것으로 나타났다. 특히 계절적인 염분의 변동 폭이 크게 나타난 연안역과는 달리 높은 유기물 함량을 보인 외해역은 연중 34 psu 이상의 일정한 염분농도를 나타내고 있어 육상에서의 직접적인 유기물 유입부분은 매우 미약한 것으로 사료되었다. 또한 POC/phaeopigment 비로부터 남해 중앙부해역은 살아있는 식물플랑크톤보다 이로부터 유리된 부분을 포함한 유기 쇄설물질이 유기물 조성에 높은 비율을 차지하는 것으로 나타났다. 수주내 부유물질 또는 퇴적물중 유기물 내에서 식물플랑크톤이 높은 비율을 나타내면 이 비가 100~200 이하의 값을(Zeitzschel[1970]), 유기쇄설 물질이 우점하는 경우에는 200 이상의 높은 값을 나타내는 것으로 알려져 있다(Cifuentes *et al.*[1988]). 살아있는 식물플랑크톤이 함유하는 POC/Chl-a 비는 종에 따라서, 또는 성장정도와 수주내 영양염의 제한요인에 따라 다르나, 일반적으로 POC/Chl-a 비는 4~200정도의 범위를 갖기 때문이다(Paerl *et al.*[1976]; Platt *et al.*[1977]; Hunter and Laws[1981]). 노 등[2006]은 해양기원 유기물에 의해 퇴적물 환경이 지배되는 내만역중 식물플랑크톤보다 유기 쇄설물질의 비율이 높은 퇴적물내 유기물은 해역 내에서 양식활동 등 다양한 해양이용의 결과로 보고하고 있다. 그러나 본 해역은 내만과는 특성이 다른 개방해역임을 고려하면 유기물 조성에 큰 비율을 차지하는 유기 쇄설물질은 내만이나 연안에서의 해양활동에 의해 생산된 유기물이 해수유동과 같은 물리적 요인에 의해 공급, 수렴되는 것으로 판단된다. 다만, 유기물 집적과 조성에 영향을 주는 수층에서의 생물생산과 물리해양학적인 요인이 다양하기에 이에 대해서 더욱 세밀한 연구와 고찰을 필요로 한다.

참고문헌

[1] 나정열, 한상규, 조규대, 1990, "한반도 근해의 해류와 해수특성-남해연안수 확장과 수온변화", 한국수산학회지, 23(4), 267-279.

[2] 노일현, 윤양호, 김대일, 박종식, 2006, "가막만 표층퇴적물중 유기물량의 시·공간적 분포 특성", 한국해양환경공학회지, 9(1), 1-13.

[3] 박영철, 양한섭, 이필용, 김평중, 1995, "겨울철 부산항 주변해역의 수질과 표층퇴적물 환경특성", 한국수산학회지, 28(5), 577-588.

[4] 박용안, 김경렬, 박수철, 박상윤, 1987, "한국 대한해협 대륙붕 표층퇴적물의 특성과 세립퇴적물의 지구화학적 특성", 한국해양학회지, 22(1), 43-56.

[5] 박주석, 이삼근, 1990, "한국남해의 식물플랑크톤의 분포와 수괴특성", 한국수산학회지, 23(3), 208-214.

[6] 방효기, 민건홍, 오재경, 1995, "복모드 대륙붕 퇴적환경 연구: 한반도 남해대륙붕", 한국해양학회지, 30(1), 1-12.

[7] 석봉출, 박병관, 1983, "제주도 주위 및 남해연안 퇴적물중의 중금속함량", 한국해양학회지, 18(1), 29-42.

[8] 손재경, 이동섭, 양한섭, 1999, "남해 표층퇴적물에서의 인의 존재상", 한국수산학회지, 35(5), 680-687.

[9] 승영호, 1992, "한반도 주변의 수괴와 해수순환", 한국해양학회지, 27(4), 324-331.

[10] 양성기, 1994, "한국 남해연안의 해표면 수온분포와 천해전선의 변동 특성", 한국환경과학지, 3(2), 111-128.

[11] 양영진, 김상현, 노홍길, 1998, "한국 남·서해 및 동중국해 북부해역에 출현하는 수온 전선", 한국수산학회지, 31(5), 695-706.

[12] 양재삼, 최현용, 정해진, 정주용, 박종규, 2000, "전남 고흥해역의 유해성 적조의 발생연구: 1. 물리·화학적인 특성", 한국해양학회지, 5(1), 16-26.

[13] 윤양호, 1998, "완도 신지도 연안해역 표층퇴적물 중의 유기물 분포에 대하여, 여수대학교논문집", 13(2), 1135-1151.

[14] 윤양호, 박정미, 1992, "저수온기 광양만의 유기오탁 현상에 대하여", 여수수산대학 수산과학연구소 연구보고, 1, 55-67.

[15] 조양기, 김 구, 1994, "여름철 남해 저온수의 특성과 기원", 한국해양학회지, 29(4), 414-421.

[16] 조양기, 김 구, 노홍길, 1995, "여름철 남해 저염화와 수송량", 한국해안해양공학회지, 7(1), 126-134.

[17] 조영길, 이창복, 최만식, 1994, "남해 대륙붕 표층퇴적물 중 중금속 원소의 분포 특성", 한국해양학회지, 29(4), 338-356.

[18] 조창환, 양한섭, 박경양, 엄말구, 1982, "진해만 패류양식장 저니의 부영양화", 한국수산학회지, 16(3), 260-264.

[19] 주현희, 1999, "거제도 주변해역 표층퇴적물의 지화학적 특성", 부경대학교 대학원 이학석사학위논문, 39pp.

[20] 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.

[21] Hunter, B.L. and E.A. Laws, 1981, "ATP and chlorophyll a as estimators of phytoplankton carbon biomass", Limnol. Oceanogr., 26(5), 944-956.

[22] Ingram, R.L., 1971, "Sieve analysis". In Carver. R.E(ed.), Procedures in sedimentary petrology. Willy-Inter Science, 49-67.

[23] Japan Fisheries Resource Conservative Association(JFRCA), 1980, "A manual for the contaminative measurement of water quality", Kouseishs-Kouseikaku, Tokyo, 552pp.

[24] 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.

[25] Lambert, S.M., 1967, "Functional relationship between sorption in soil and chemical structure", J. Agric. Foodchem., 15, 572-

576.

[26] Lim, D.B., 1976, "The movements of the waters off the south coast of Korea", J. Oceanol. Soc. Korea, 11(2), 77-88.

[27] 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.

[28] 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, 647pp.

[29] Parsons, T.R., Y. Maita and C.M. Lalli, 1984, "A manual of chemical and biological methods for seawater analysis", Pergamon Press, Oxford, 173pp.

[30] Platt, T., K.L. Denmam and A.D. Jassby, 1977, "Modeling the productivity of phytoplankton", In: The Sea(Eds. E.D. Goldberg, et al.), 807-856.

[31] 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.

[32] SCOR-Unesco, 1966. "Determination of photosynthetic pigment", In "Unesco(ed.), Determination of photosynthetic pigments in sea water. Paris", 10-18.

[33] 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.

[34] Zeitzschel, B., 1970, "The quantity, composition and distribution of suspended particulate matter in the gulf of California", Mar. Biol., 7(4), 305-318.

2006년 4월 26일 원고접수
2006년 10월 2일 수정본 채택