

## 순천만 습지 및 조간대의 지화학적 특성

김 숙 양\*+ / 정 규 귀\*\* / 김 병 만\*\*\* / 이 연 규\*\*\*\* / 최 윤 석\*\*\*\*\* / 김 신\*\*\*\*\*

### Geochemical Characteristics in the costal wetland and intertidal zone of Suncheon Bay

Kim Sook Yang\*+ / Jung Kyu Kui\*\* / Kim Byoung Man\*\*\* /  
Lee Yeon Gyu\*\*\*\* / Choi Yoon Seok\*\*\*\*\* / Kim Sin\*\*\*\*\*

**요약** : 순천만은 염분을 비롯하여 수질오염 파라미터인 COD, DIN, DIP는 지리·공간적으로 하천 말단부에서 높고 점차 낮아지는 하구의 전형적인 특성을 보이고 있으며, SPSS에 의한 상관분석 및 PCA 분석 결과 순천만 습지 및 조간대의 수질은 염분이 기타 수질항목을 조절하는 주요 요인으로 나타났다. 하천의 영향을 가깝게 받고 있는 저염분대와 염분이 높은 수역과는 영양염류의 거동이 다르게 나타났다. 퇴적물의 입도, 유기물 함량, 공극수의 영양염류, 퇴적인의 존재형태, 주요원소 화합물의 분포 등을 조사하였다. 순천만 상부 조간대의 평균 입도는 6.74~8.52φ로 세립질 실트~점토의 범주이며, 분급도는 불량~매우불량으로 나타났다. 퇴적물의 강열감량은 이서천의 영향을 강하게 받는 지점에서 높게 나왔으며, 퇴적물 COD는 건강한 퇴적물의 상태를 보이고 있다. 퇴적물인의 형태별 함량은 residual P> NAI-P> apatite P> adsorbed P순으로 나타났으며, 쉽게 수층으로 이동 가능한 이동성 인(Labile-Phosphorus)은 정점 1과 2에서는 다른 지역보다 높게 나타나고 있어 이들 지역의 퇴적물에서 수층으로 쉽게 인이 이동될 수 있는 가능성을 시사하고 있다.

**핵심용어** : 연안습지, 염하구, 갯강, 추이대, 조간대, 인의 존재형태

**Abstract** : This study was performed to know about the characteristics of geochemicals of sampling sites in Suncheon bay. Salinity and parameters of water pollution as COD, DIN and DIP showed typical character of an estuary with its values higher at the end of estuary and gradually lowering at the up stream. The value of Excess DIN showed positive so the phosphorus appeared in a role as limiting nutrient. As quoted results of correlation analysis of SPSS and PCA, salinity was revealed as a main factor of control for water qualities at sampling sites in Suncheon bay. The Mz of wet lands and intertidal zone in Sun-cheon bay showed a variation of 6.74 to 8.52φ and the sorting also to appeared poorly sorted to very poorly sorted. The fractional composition of phosphorus in phosphorus of sediments were high and appeared orderly as redisual-P> NAI-P> apatite-P> absorbed-P. The labile-Phosphorus showed high concentration then the other station. It means that phosphorus of these stations can easily move from the deposit to the water column than another station.

**Keywords** : costal wetland, estuary, tidal river, ecotone, intertidal zone, Phosphorus speciation

+ Corresponding author : ksy7207@nfrdi.go.kr  
\* 정회원 · 국립수산과학원 남해수산연구소  
\*\* 비회원 · 국립수산과학원 남해수산연구소  
\*\*\* 비회원 · 국립수산과학원 남해수산연구소  
\*\*\*\* 정회원 · 전남대학교교수  
\*\*\*\*\* 비회원 · 국립수산과학원 남해수산연구소  
\*\*\*\*\* 정회원 · 전남대학교 연구원

## 1. 서론

습지에 대한 인식은 국제적으로 람사르 협약(Ramsar convention, 1971)이 채택되어 습지에 대한 관심이 집중되기 시작하면서 그 가치와 기능이 재인식되기 시작하였다. 습지에 대한 가치가 대두되면서 내륙습지 뿐만이 아니라 최근 들어 연안습지에 대한 가치가 재평가되고 있는 실정이다(이동근, 윤소원, 1999, 박태운, 1999). 람사르협약이 채택되어진 당초에는 철새보호를 목적으로 시작한 협약이지만 최근 들어 습지는 철새 서식지 이외에도 많은 가치를 지닌다는 것이 밝혀짐에 따라 람사르협약의 목적도 폭넓게 변하게 되었다. 미국 학술원(National Research Council, 1992)이 발표한 연안습지의 기능을 보면 1) 연안 생태계 보호기능, 2) 수리 조절 기능, 3) 수질 정화 기능, 4) 인간 생활의 기여 등으로 구분하고 있다. 여기에서 제시하는 다양한 기능들 중에서 어패류의 산란 및 서식장, 물새의 서식장, 수질정화 기능, 홍수 및 재해방지 기능뿐만이 아니라 심미적 가치까지 하면 연안습지가 갖는 역할 및 가치는 엄청나다고 할 수 있다.

일반적으로 조간대 지역에 위치하는 연안습지는 상류 하천으로부터 유입되는 하천수의 영향과 바다로부터 유입되는 조수 및 파랑의 영향을 동시에 받는 특징을 갖고 있으며, 조간대는 상류 하천과 조류의 영향에 의해서 퇴적물이 부유물질 형태로 공급되고, 공급된 부유물질은 응집, 퇴적된다(Viles and spencer, 1995). 따라서 염하구의 성장과 발달은 하천과 조류에 의한 퇴적 및 침식작용이 가장 중요한 프로세스이다(박의준, 2000). 연안습지는 하천의 최하부와 해역이 만나는 추이대로서 이러한 지역은 다양한 생태적 특성과 종 다양성이 풍부하여 생물의 보고라고 할 수 있다. 연안습지는 일반적으로 하천의 영향을 먼저 받는 상부측에는 갈대가. 점차 내려와 해역의 영향을 많이 받는 측에는 염생식물이 서식하고 있는 특징을 갖고 있다.

우리나라의 연안습지는 전국토의 3%인 2815km<sup>2</sup>

(서해안 2330km<sup>2</sup>, 남해안 485km<sup>2</sup>)의 규모이며, 행정적인 관리 및 보존은 해상국립공원, 자연환경보전지역, 수산자원보전지역, 해양생태계보전지역, 연안오염특별관리지역 등으로 지정하여 관리하고 있다(박태운, 1999). 학술적으로는 염분구배에 따른 생물상의 변화, 퇴적작용, 수질정화 효과 및 경제성 평가 등 다양한 연구 결과들이 수행되어 오고 있다.

순천만은 습지보호구역(2003. 12월 해양수산부)으로 지정되었으며, 전국 최초로 람사르 협약에 연안습지로 등록(2006. 1. 20)되어 생태적으로 보존이 절대적으로 필요하다. 그러나 순천만 조간대 하부에 대한 연구는 퇴적물의 거동 특성 등 연구 결과가 일부 보고되어 있으나, 순천만 상부 조간대에 대한 연구 논문은 거의 없는 실정이다. 순천만을 지속적으로 보호하기 위해서는 순천만 상부 조간대의 퇴적물에 대한 지화학적인 정보가 필수적으로 수반되어야하기 때문에 본 연구에서는 상부 조간대 퇴적물에서의 지화학적인 환경에 대하여 연구하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 연구지역의 개황

순천만은 여수반도와 고흥반도 사이에 위치하며 깊숙이 만입된 염하구로서 동천과 이사천의 영향을 직접 받고 있어 하천이 바다로 이어지고 있는 형태이다. 갯벌 면적은 27.0km<sup>2</sup>(갯벌 21.6km<sup>2</sup>, 갈대밭 5.4km<sup>2</sup>)이며, 간조시에 드러나는 면적은 약 12km<sup>2</sup>이다(순천시청, 1991). 갯강을 통해 하천과 조류의 영향이 직접적으로 미치는 만입형 연안습지이며, 조류에 의한 퇴적물 공급이 주로 이루어지는 쇄설성 하천과는 달리 순천만은 조류와 하천의 상호작용에 의한 퇴적 환경이 조성되고 있는 것으로 알려져 있다(박의준, 2000). 순천만 입구에는 갈대밭이 자연적으로 조성되어 하천으로부터 유입되는 많은 오염물질을 정화시키고 있으며, 하부에는 칠면초 등 염생식물이 서식하고 있다. 하천을 따라 형성된 갯강은 상대적으로 하천의 영향

을 많이 받는다. 동천과 이사천은 1960대 초반 순천 지역의 대홍수에 의한 피해로 인한 하천정비 작업으로 두 하천을 합강 시켜 현재 합류 유입되고 있으며, 1991년 이후에는 주암댐의 조정지댐인 상사댐에 의하여 하천의 흐름이 조절되고 있다(박의준, 2000). 순천만은 종종 여자만과 혼용되고 있으며 고흥반도와 여수반도 사이의 만 전체를 여자만이라고 기록하기도 하는데 사실은 조간대의 갯벌지대를 순천만, 여자도가 있는 넓은 만은 여자만이라고 부른다. 본 연구에서는 상부 연안습지대의 순천만을 대상으로 하였다.

## 2.2 환경 요인 분석 내용

순천만 수질환경 및 퇴적물의 지화학적 특성을 알아보기 위하여 2007년 5월과 12월에 총 15개 정점(Fig.1)에서 현장 관측 및 시료 채집을 실시하였다. 총 15개 정점의 표층에서 현장 관측 및 해수분석용 시료 채집을 실시하였으며, 2회 모두 만조시간을 맞추어 조사하였다. 해수 분석용 표층 시료는 수심 0.5m 이상에서 표층수 채집용 채수기로 채집하였으며, 퇴적물 채집은 Grab sampler를 이용하였으며 채집된 퇴적물은 플라스틱 재질의 주걱을 이용하여 Grab sampler의 금속 표면과 닿지 않도록 주의하여 표층 시료를 채취하였다. 채집된 시료는 폴리에틸렌 통에 담아 바로 아이스박스에 보관하여 실험실로 옮긴 다음 분석 시까지 냉동 보관하였다. 분석은 각각의 분석 방법에 따랐다. 단, 입도 측정은 5월 1회 조사하였다.

### 2.2.1 수질환경

CTD(Sea Bird, SBE-25)와 YSI 6600EDS를 이용하여 수온, 염분, DO 등의 일반 해양환경을 파악하였으며, 용존태 영양염 분석을 위한 시료는 현장에서 여과하여 실험실로 운반 후 분석 시까지 냉동 보존하였다. 채집된 시료는 해양환경공정시험법(해수부, 1998)에 준하여 분석하였다. 즉, 암모니아질소(NH<sub>4</sub>-N)은 Indophenol 청법, 아질산질소(NO<sub>2</sub>-N)은 α-NED 법, 질산질소(NO<sub>3</sub>-N)

는 Cu-Cd 칼럼을 이용한 아질산환원법으로 측정하였다. 또한 광합성색소 분석을 위한 시료는 1L 채수하여 GF/F를 이용하여 여과 처리하였고, 여과된 시료는 즉시 냉동 보관 후 분석하였다.

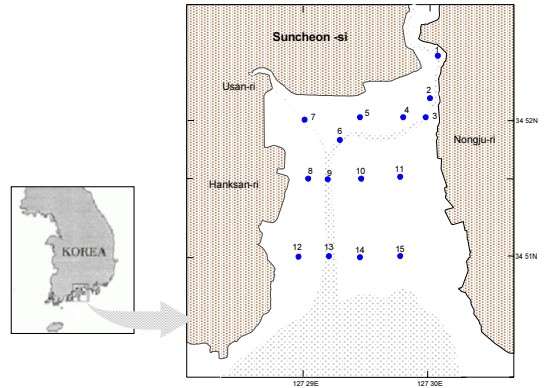


Fig. 1. Sampling sites of the Suncheon bay tidal flat

### 2.2.2 입도

입도 분석은 퇴적물의 유기물과 탄산염을 제거하기 위하여 산처리 한 후 습식체질로 4φ 이상과 이하로 분리하였다. 4φ 보다 작은 조립질은 다시 0.5φ 간격으로 체질을 하여 그 무게 백분율을 구하였으며, 4φ 보다 큰 세립질은 자동입도분석기(Sedigraph 5100 D)로 입도를 측정하였다. 측정된 결과를 Folk and Word(1957) 방법 및 Shepard (1954)의 도식방법에 따라 퇴적물을 분류하였으며, 평균입도(Mz), 분급도(sorting), 왜도(skewness) 및 첨도(kurtosis)를 통계처리 하였다.

### 2.2.3 유기물

함수율 (water content)은 퇴적물 습시료 일정량을 취하여 60℃에서 2일 이상 건조시킨 다음 항량이 될 때까지 건조하여 중량법으로 측정하였다. 퇴적물의 강열감량, COD는 해양환경공정시험방법(해양수산부, 2002)에 준하였다. 강열감량 (Loss on Ignition)은 함수율 측정시 사용했던 시

료 약 10g을 muffle furnace에서 550°C에서 2시간 동안 회화시켜 회화 전후의 무게 차이로부터 계산하였으며, 화학적산소요구량 (chemical oxygen demand, COD)은 퇴적물 습시료 약 1g을 정확히 취한 후 알칼리성 과망간산칼륨법으로 정량하였고. 총유기탄소 (total organic carbon) 및 총유기질소 (total organic nitrogen)는 퇴적물을 동결건조하여 곱게 분쇄된 분말 퇴적물 시료 약 10g을 취한 패각 등의 무기탄소를 제거하기 위하여 진한 염산으로 약 30초 동안 훈증하고 50°C에서 24시간 건조시킨 후 CHN analyzer (Thermo Finnigan, Flash EA 1112 elemental analyzer)로 분석하였다.

## 2.2.4 퇴적물의 존재형태

퇴적물에서의 인의 존재형태는 Hieltjes와 Lieklema(1980)의 방법에 준하여 Nonapatite-P, Apatite-P, adsorbed-P, Residual-P 로 구분하여 분석하였다. 처음에 퇴적물에 1M NH<sub>4</sub>Cl를 가하여 2시간 진탕시켜 Adsorbed -P를 추출하였고, 다시 NaOH를 가하여 NAI-P를 추출, 마지막으로 HCl을 가하여 Apatite-P를 추출하였다. Residual -P는 총인에서 Adsorbed-P, NAIP-P, Apatite-P를 감하여 산출하였다.

# 3. 연구 결과 및 토의

## 3.1 수질 환경

순천만 15개 조사지점에서 2007년 5월 및 12월에 조사한 표층수중 각 성분의 분포를 보았다. 순천만 습지대처럼 하천수와 해수가 혼합되는 지역에서는 물질 분포나 이의 거동을 이해하기 위해서는 염분이 아주 중요한 물리적, 화학적 인자로 활용되고 있다. 본 조사에서 염분의 경우 5월과 12월에 각각 5.80~30.55psu(평균 20.01psu), 18.03~30.42psu(평균 26.71psu)의 분포를 보였으며, Fig. 2와 같이 하천 말단부에서는 낮고 점차 내려갈수록 염분이 점차 높아지는 전형적인 하

구의 특성을 보이고 있다. pH는 5월과 12월에 각각 7.28~8.10(평균 7.68), 7.65~7.85(평균 7.77)의 분포를 보여 하천수가 유입되는 영향을 나타내고 있으며, 그림에는 표시하지 않았지만 지리적으로도 염분의 경우와 같이 하천말단부에서 점차 해역부로 내려갈수록 높아지는 경향을 보였다. COD는 5월과 12월에 각각 1.31~3.11mg/L(평균 2.27mg/L), 1.37~2.81mg/L(평균 1.99mg/L)의 분포로 염분 농도로 보아 하천수의 유입이 많았던 5월에 약간 높게 나타났으며, 또한, Fig. 2에서와 같이 하천 유입수의 영향을 먼저 받는 지점에서 상대적으로 높은 분포를 보였다. DIN은 5월과 12월에 각각 24.37~408.30(평균 148.68μmole/L), 25.73~215.11μmole/L(평균 77.56μmole/L)로서 COD와 마찬가지로 5월에 높은 경향을 보였다. 또한 지리 공간적으로도 COD와 마찬가지로 하천 말단부에서 높고 점차 낮아지는 경향을 보이고 있다. DIP는 5월과 12월에 각각 0.43~11.21μmole/L(평균 3.08μmole/L), 1.72~12.95μmole/L(평균 4.56μmole/L)으로 12월에 약간 낮은 경향을 보였으며, SiO<sub>2</sub>-Si는 5월과 12월에 각각 21.95~97.73μmole/L(평균 53.68μmole/L), 215.40~66.53μmole/L(평균 33.74μmole/L)의 농도를 보여 COD, DIN과 같이 5월에 약간 높은 경향을 보였으며, 5월에는 조사 지역별로 별 특징 없이 전반적으로 비슷하게 나타났으나, 12월에는 하천수 유입의 영향을 먼저 받는 지점에서 약간 높고 점차 낮아지는 경향을 보였다. 전반적으로 COD, DIN, DIP, SiO<sub>2</sub>-Si의 조사 지점별 농도로 보아 순천시 하천 유입수를 먼저 받는 지점에서 높고 점차 내려갈수록 낮아지는 하구의 특성을 보이고 있어 하천으로부터의 인 및 질소 소스가 유입되기 때문인 것으로 사료된다.

TN은 5월과 12월에 각각 1.47~6.45(평균 2.91mg/L), 1.31~4.92(평균 2.31mg/L)의 분포를 보였다. 강과 하구역에서 질소의 주요한 공급원은 토양으로부터의 용출, 육수로부터의 유입 및 폐수 유입 등이다. TP는 5월과 12월에 각각 0.09~0.39(평균 0.19mg/L), 0.11~0.47(평균 0.25mg/L)

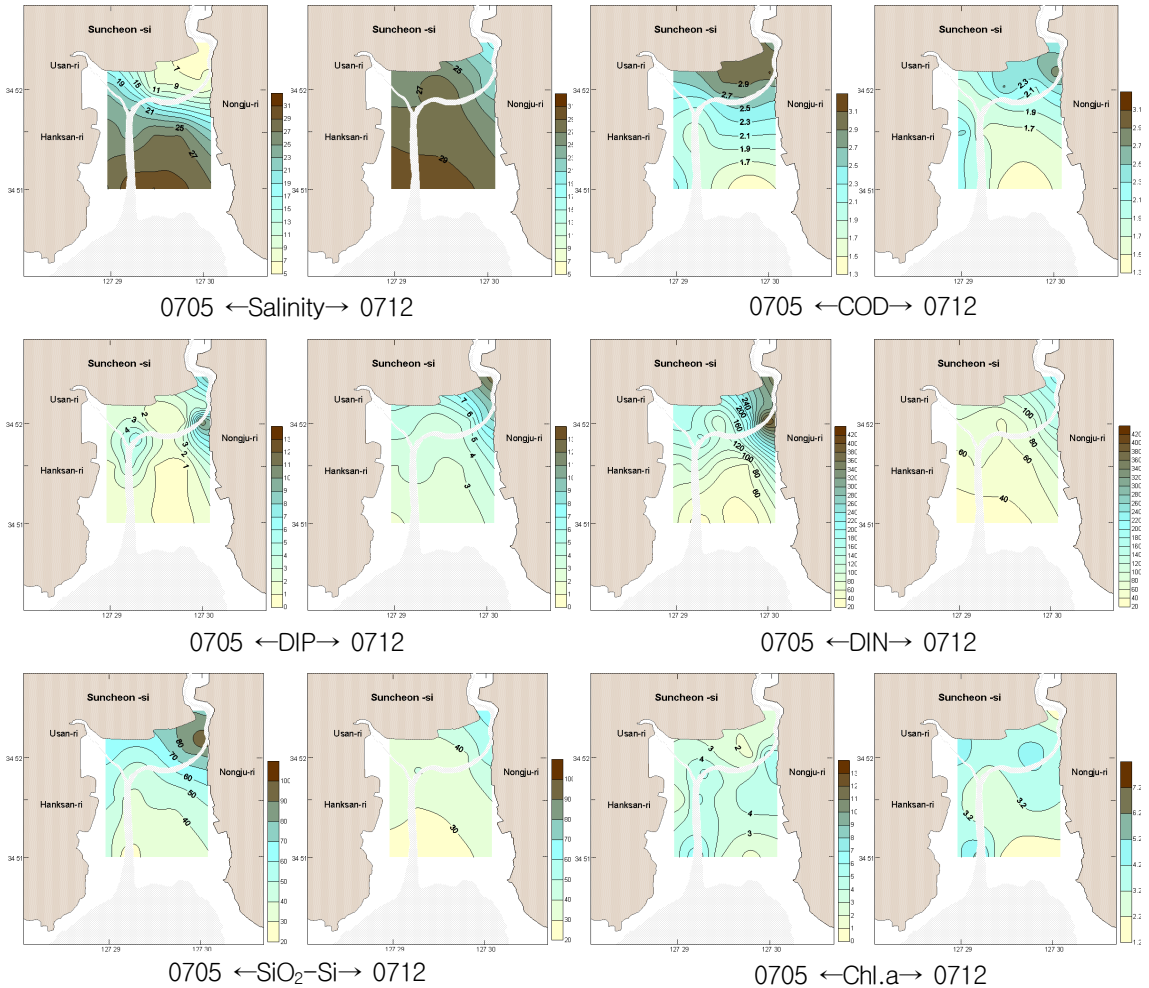


Fig. 2. Distribution of Salinity, COD, DIP, DIN, SiO<sub>2</sub>-Si and Chl.a in Suncheon bay

의 분포를 보였다. 해양에서의 질소, 인, 규소는 식물플랑크톤의 조성 및 생산력의 시-공간적 분포에 영향을 주는 중요한 화학적 환경요인으로서 제 1차 생산자의 성장촉진 및 성장 제한요소로 작용함으로써 해양환경에서 식물플랑크톤 등의 성장을 조절하는 중요한 요인이다. 따라서 순천만에서의 영양염류 상호간의 화학적 특성을 파악하기 위하여 상관성을 검토한 결과 TN : TP의 비는 14.9로서 Redfield(1963)가 제시한 16 과 유사한 값을 보이고 있다. 해양에서 식물플랑크톤의 대부분은 규조류가 차지한다. 이들 규조류의 생체를 구성하기 위하여 필요한 Si/N/P의 몰비는 16:16:1

이 이상적인 비율이다.(Robert R. Lane *et al.* 2004) 이들 원소들 간의 비(ratio)는 해양환경의 특성을 파악하는데 중요한 정보를 제공한다. 즉, 해수 중 영양염류가 충분할 경우 식물플랑크톤 중 N/P의 원자비는 16이 되지만 질산염이 고갈될 경우 식물플랑크톤 중 C/N 및 N/P의 원자비는 2~3배 정도의 변화폭을 보이며, 인산염이 고갈될 경우 생물체중 이들 원소비는 5~10배의 변화폭을 보인다(Goldman *et al.*, 1979). 그리고 규조류의 대규모 이상증식이 있을 경우 Si/P의 원소비는 약 22 정도로 생물체에 흡수되며(Stefansson and Richards, 1963), 규산규소의 농도가 5μM 이하일

경우 규조류의 생육이 중지된다고 한다(Tsunogai, 1979). 또한 강하구 및 연안역에서는 육수의 유입 등으로 인하여 원자비 값은 계절적인 변동이 매우 심할 것으로 여겨진다.

해양에서 식물플랑크톤이 대부분은 규조류가 차지한다. 이들 규조류의 생체를 구성하기 위한 이상적 농도에 대한 상대적 농도비(Relative Enrichment Factors)를 조사하였다. 본 조사에서 얻은 농도비는 Table 1에서와 같이 5월과 12월의 값이 많이 다름을 알 수 있다. DIP를 1로 보았을 때 규소는 5월 34.7, 12월에 9.9로 나타나 동계에 낮았으며, 용존성무기질소는 5월 64.4, 12월에 16.8로 규소와 마찬가지로 동계에 낮은 비를 보였다. 조사지역이 하천 말단부 까지 포함되어 있어 하천수의 영향을 바로 받는 지점들에서 높은 농도를 보였다. 이상적 농도에 대한 상대적 농도비가 조사기간 동안 5월 216.8, 12월에 62.1로 5월에 상류에서 규산규소가 많이 유입된 것으로 보이며, 용존성무기질소는 5월 402.5, 12월에

105.2을 보여 동계의 DIN 은 이상적 농도비에 가까운 값을 보였으나, 춘계는 규소와 같이 상류에서 많은 용존성무기질소가 유입되고 있다는 것을 알 수 있다.

조사해역에의 제한물질을 파악하기 위하여 과잉 용존무기질소(Excess dissolved inorganic nitrogen)를 아래 식에 의하여 계산하였다(Wong *et al.*, 1998). 과잉질소는 용존무기질소와 용존 무기인이 일정비율로 기초생산자에 의해 흡수된다고 가정하면, 과잉질소가 음(-)의 값이면 용존 무기질소가 기초생산자의 제한물질로 작용할 수 있음을 나타내고, 양(+ )의 값이면 용존무기질소가 기초생산자의 제한물질이다. Fig. 3과 같이 시기별, 지역별 전반적으로 보아 대부분 양(+ )의 값을 보여 인제한 해역으로 나타났다. 이는 용존무기인이 기초생산에 제한 물질로 작용할 수 있음을 의미한다.

$$* \text{Excess DIN} = \text{DIN}_{\text{meas.}} - R \times \text{DIP}_{\text{meas.}}$$

(R: Redfield ratio)

Table 1. comparison of Si, DIN and DIP at Suncheon bay

	Si		DIN		DIP	
	may	Dec.	May	Dec.	May	Dec.
Concentration (μM)	22.0~97.7 (53.7)	25.4~66.5 (37.7)	24.4~408.3 (148.7)	25.7~215.1 (77.6)	0.4~11.2 (3.8)	1.7~13.0 (4.6)
Si: DIN: DIP*	34.7	9.9	64.4	16.8	1	1
R. E. F.** (%)	216.8	62.1	402.5	105.2	100	100

\* Si: DIN: DIP ratios relative to DIP concentrations

\*\* Relative Enrichment Factors(%) compared to Redfield ratios(16:16:1)

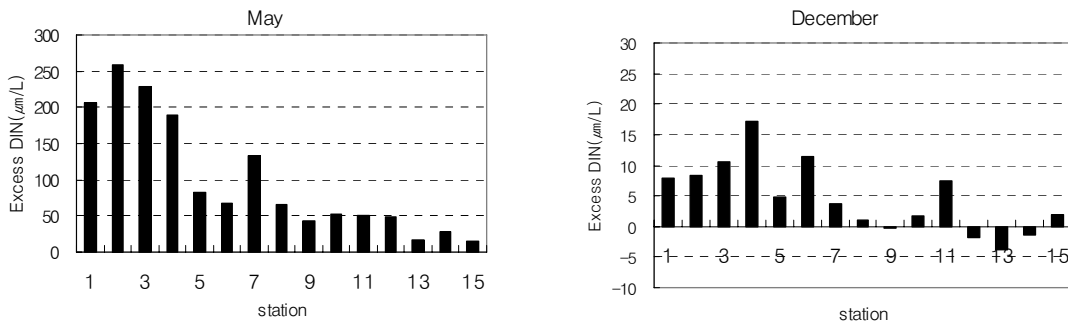


Fig. 3. Distribution of Excess DIN

Table 2. Correlation between each parameters of sea water in Suncheon Bay

	sal.	PH	DO	COD	chl.a	DIP	NO2-	NO3	NH4	DIN	Si	TN	TP
sal.	1												
pH	0.86**	1											
DO	0.11**	0.20	1										
COD	-0.77**	-0.65**	-0.04	1									
chl.a	0.08	0.09	-0.07	0.10	1								
DIP	-0.46**	-0.45**	0.16	0.34**	0.05	1							
NO2	-0.18	-0.02	0.32	0.31	-0.30	0.55**							
NO3	-0.77**	-0.66**	-0.04	0.68**	-0.18	0.43**	0.48**	1					
NH4	-0.87**	-0.80**	-0.17	0.63**	0.11	0.68**	0.92	0.67**	1				
DIN	-0.90**	-0.82**	-0.14	0.68**	0.05	0.68**	0.20	0.78**	0.99**	1			
Si	-0.91**	-0.75**	-0.18	0.78**	-0.17	0.44**	0.34	0.87**	0.84**	0.89**	1		
TN	-0.81**	-0.73**	-0.04	0.61**	0.14	0.83**	0.29	0.67**	0.95**	0.95**	0.78**	1	
TP	-0.75**	-0.67**	-0.31	0.61**	0.32	0.63**	-0.12	0.47**	0.86	0.86**	0.68**	0.89**	1

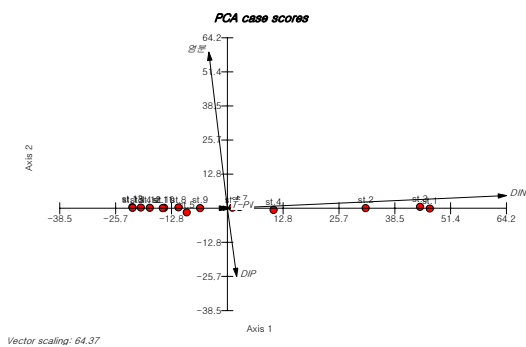


Fig. 4. PCA plot of each parameter and stations

SPSS(ver. 10)프로그램을 이용한 통계분석에서 pearson-상관분석 결과 염분은 pH( $r=0.86$ ,  $p<0.001$ )와 양의 상관관계를 보였으며, COD ( $r=0.77$ ,  $p<0.01$ ), DIP( $r=0.46$ ,  $p=0.001$ ), DIN ( $r=0.90$ ,  $p<0.001$ ), Si( $r=0.91$ ,  $p<0.001$ ), TN ( $r=0.81$ ,  $p<0.001$ ), TP( $r=0.75$ ,  $p<0.001$ )와는 음의 상관을 보였다(Table 2). Fig. 4의 PCA분석 결과에서 염분은 제1축의 가장 중요한 양의 요인으로 추출되었으며, 음의 요인으로는 DIP가 추출되었다. 따라서 조사지역은 염분의 구배에 따라 다른 환경 요인들이 영향을 받는 것으로 판단되었다. 또한 제 2축의 요인에 따라 정점 1-4가 양의 축에 그룹 지었으며, 다른 정점들은 음의 축에 그

룹 지어졌다. 제2축은 DIN의 농도가 가장 중요한 요인으로 추출되었기 때문에 DIN의 농도가 조사 지역의 정점들을 그룹화 하는 주요한 요인으로 판단되었다.

PCA 분석에서 그룹 지어진 정점들은 염분의 구배에 따른 환경요인들의 비교에서도 명확히 구분되었다. DIN, TN, DIP, TP, Si와 COD의 농도가 높은 정점들은 염분이 낮았으나, 이들의 농도가 낮은 지역에서는 염분이 높았다(Fig. 5). 이러한 결과는 영양염의 농도가 높은 하천수가 순천만으로 유입되어 해수와 혼합되면서 영양염의 농도가 희석되는 것으로 판단되었다.

### 3.2 퇴적물의 입도 분포

연구해역에서 표층 퇴적물 입도분석 결과는 Table 3과 같다. 분석결과 전 정점에서 Gravel은 나타나지 않았으며, Sand는 0.06~25.07%의 범위로 평균 3.93%로 나타났고, Silt는 34.04~51.13%의 범위로 평균 45.49%로 나타났으며, Clay는 37.98~56.59%의 범위로 평균 49.91%로써 조사해역에서는 실트와 점토가 주 구성 물질로 보여 진다.

본 연구해역 퇴적물의 퇴적유형을 구분하기 위하여 Folk(1968)의 방법에 준하여 삼각다이어

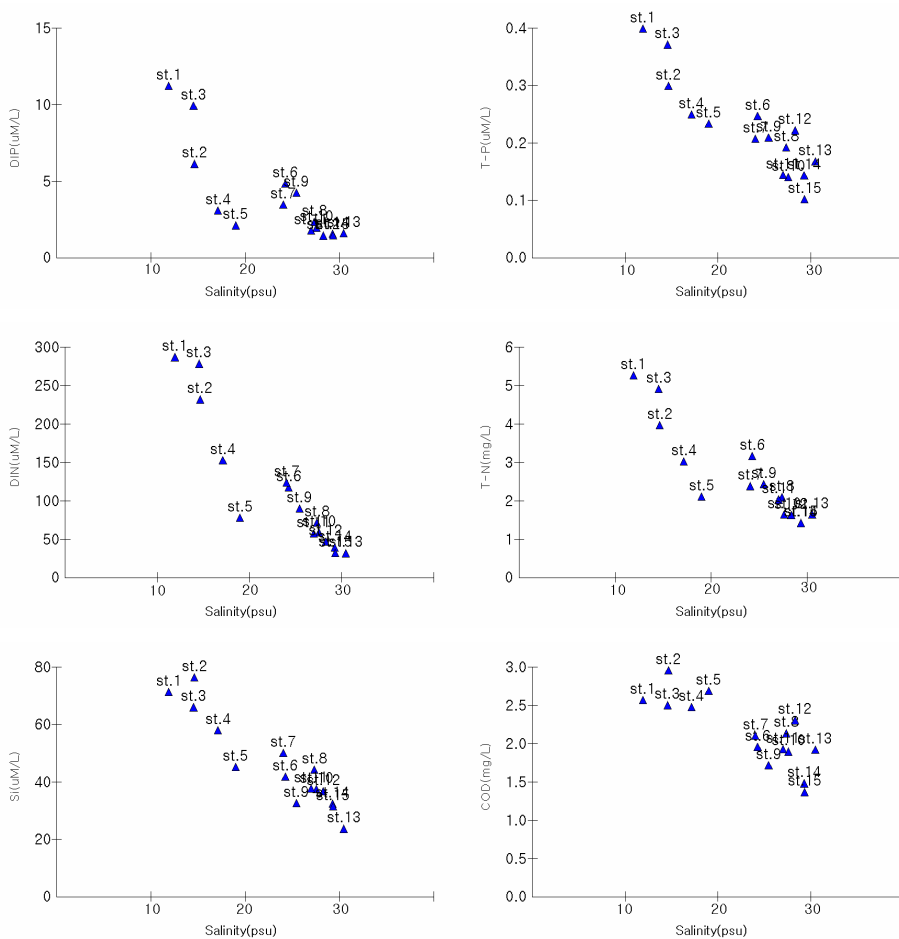


Fig. 5. The Distribution according to salinity of the DIP, TP, DIN, TN, Si and COD

그램에 도시한 결과(Fig. 6) 사질니(sM)[점토질 실트(cZ)]와 니(M)[실트질 점토(zC)]의 2개 퇴적상으로 구성되며, 니질 퇴적상이 우세하게 나타났다.

연구해역에서 평균입도의 공간분포 양상은 6번 정점을 제외한 나머지 정점에서 80 이상으로 나타나고 있다(Fig. 7). 연구해역 퇴적물의 매개변수들 간의 상호변화 정도를 알아보기 위하여 퇴적물의 평균입도, 분급도, 왜도 및 첨도 간의 단순 상관관계를 조사하였다.

평균입도는 6.74~8.52φ의 범주로 세립질 실트(fine silt)~점토(clay)의 범주로 나타나며, 평균 8.18φ로써 점토로 나타났으며, 분급도는 1.71~

3.55φ의 범주로 불량한 분급(poorly sorted)~매우불량(very poorly sorted)한 분급의 범주로 평균 2.14φ로써 매우 불량한 분급으로 나타났다. 퇴적당시의 에너지를 반영하는 지수로 알려져 있는 왜도는 -0.20~0.21의 범주로 음의왜도(negative skewed)~양의왜도(positive skewed)의 범주로써 평균 0.09로 symmetrical한 범주로 나타났다. 양의 왜도는 재동작용(winning action)에 의한 퇴적물의 유동 또는 무퇴적 내지 침식작용을 나타낸다(Duane, 1964). 본 연구해역에서는 6번 정점을 제외한 다른 정점에서는 symmetrical 내지 Positive skewed한 범주로써 나타나고 있다(Table 3).



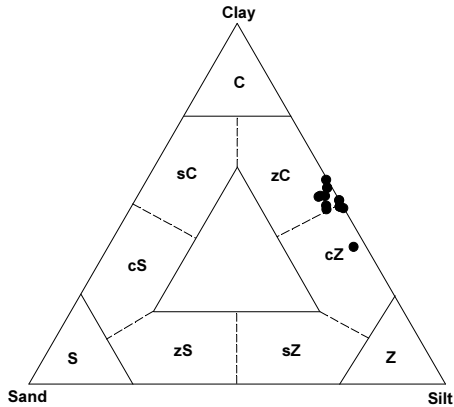


Fig. 6. Ternary diagram of surface sediments in tidal flat

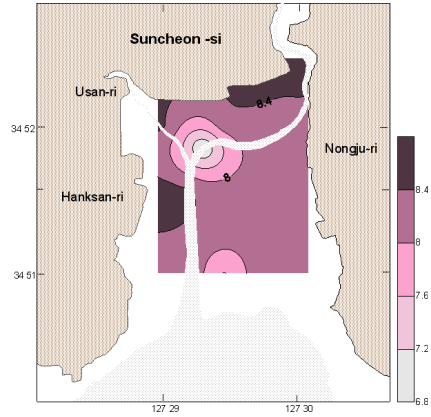


Fig. 7. Distribution of Mz

Table 3. Textural parameter of samples from Suncheon bay

Site	Composition(%)				Sediment Type	Statistical Parameter			
	Grave	Sand	Silt	Clay		Mz	So.	Sk.	Kg.
1	0	0.9	42.69	56.4	M	8.51	1.95	0.07	0.82
2	0	1.2	44.42	54.38	M	8.38	1.93	0.06	0.81
3	0	7.51	43.63	48.85	M	8.13	2.41	-0.04	1.12
4	0	2.86	45.06	52.08	M	8.32	1.97	0.1	0.85
5	0	0.77	50.04	49.19	M	8.30	2.02	0.21	0.77
6	0	25.07	34.04	40.9	sM	6.74	3.55	-0.2	0.74
7	0	0.34	48.87	50.78	M	8.42	2.07	0.2	0.76
8	0	0.35	43.06	56.59	M	8.52	1.95	0.03	0.8
9	0	4.52	43.59	51.89	M	8.44	2.17	0.13	0.79
10	0	4.38	47.23	48.39	M	8.19	2.09	0.13	0.97
11	0	3.95	43.9	52.15	M	8.35	2.2	0.05	0.92
12	0	0.16	51.13	48.71	M	8.14	1.71	0.16	0.84
13	0	3.9	46.65	49.45	M	8.27	2.18	0.13	0.82
14	0	3.05	48.97	37.98	M	7.57	1.91	0.11	0.91
15	0	0.06	49.04	50.9	M	8.39	2.04	0.19	0.77
Min.	0	0.06	34.04	37.98		6.74	1.71	-0.20	0.74
Max.	0	25.07	51.13	56.59		8.52	3.55	0.21	1.12
Avg.	0	3.93	45.49	49.91		8.18	2.14	0.09	0.85

본 연구해역에서 물성간의 상호 관련성을 파악 해본 결과 평균입도와 분급도의 상관관계는 평균 입도 값이 증가(세립화)할수록 분급도 값은 감소(양호)하는 경향으로 나타났으며(Fig. 8-A), 평균 입도와 왜도의 관계는 평균입도 값이 증가(세립

화) 할수록 왜도 값은 증가(양의 왜도)하는 경향으로 나타났고(Fig. 8-B), 평균입도 값과 침도와의 관계는 R<sup>2</sup> 값이 0.001로써 평균입도와 침도의 관계에는 큰 영향은 없는 것으로 파악된다(Fig. 8-C).

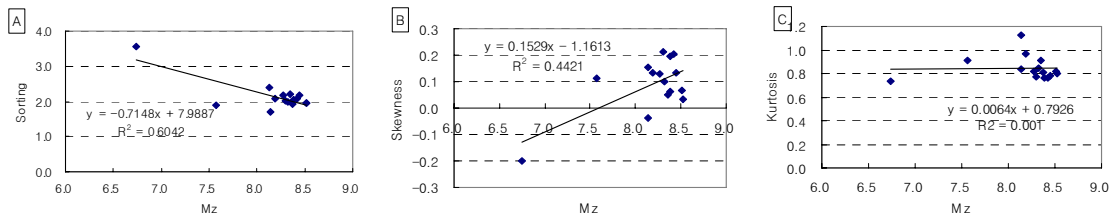


Fig. 8. Bivariate scatterplots of textual parameters.  
(A:Mz vs sorting, B:Mz vs skewness, C:Mz vs Kurtosis)

Table 4. The distribution of organic matters in Suncheon bay tidal flat

	IL(550°C)	COD	C	N	S
	%	(mg/g. dry)	%	%	%
범위	7.60 - 11.41	7.73 - 20.67	0.74 - 1.62	0.08 - 0.22	0.77 - 1.17
평균	9.64	20.07	1.18	0.14	0.91
표준오차	0.98	3.23	0.21	0.03	0.10

### 3.2 퇴적물의 유기물 분포

순천만 상부 조간대 총 15개 조사정점에서 채집된 퇴적물의 강열감량(IL) 및 화학적산소요구량(COD)을 분석한 결과는 Table 4와 같다. 강열감량은 4.56~7.13%로 평균 6.21%로 분포하였으며, 지역적 분포를 보면 정점 1에서 가장 높았다. 정점 1은 조간대 가장 상부로서 이사천의 영향을 가장 먼저 받고 있는 지역으로서 이사천을 통한 순천시 생활하수 등의 유기물이 유입에 따른 것으로 사료된다. 또한 강열감량이 가장 낮게 분포한 지역은 정점 6으로서 입도조성이 다른 조사지점은 니질 퇴적상(M)을 보이고 있으나 Table 3에서와 같이 정점 6은 사니질 퇴적상(sM)을 보이고 있어 보편적으로 사실에서는 유기물의 퇴적이 니질 보다 적게 되기 때문일 것으로 사료된다.

퇴적물의 화학적 산소요구량은 퇴적물에 포함된 유기물이 분해과정에서 산소를 소모하며, 이 과정에서 수층의 혼합이 이루어지지 않아 지속적인 산소공급이 중단된다면 유기물 농도가 높은 퇴적물은 산소가 고갈되어 서식하는 저서생물의 생존에 위협을 초래하게 되고, 더욱이 무산소 환경에서는 황화수소가 발생하게 되어 저서생물에 치

명적인 악영향을 미치게 된다. 더욱이 침전된 유기물이 무산소 또는 빈산소 상태가 유지되면 퇴적물에 함유되어 있는 질소, 인 등이 다시 수중으로 재용출되는 현상을 초래하게 된다. 수중으로 재용출된 영양염류는 수층의 혼합에 의하여 표층으로 공급되고 이들은 식물프랑크톤의 성장을 촉진시켜 결국 새로운 유기물을 형성하게 된다. 일반적으로 해역에서의 퇴적물 화학적산소요구량은 30mg/g.dry 이하로 알려져 있으며, 일본의 수산환경수질 기준(일본수산자원보호협회, 1972)은 20mg/g.dry 를 제시하고 있다. 이번 연구에서 순천만 상부조간대의 화학적산소요구량은 7.73~20.67 mg/g.dry(평균 15.29mg/g.dry)로 나타나 전반적으로는 건강한 퇴적물 농도에 속하지만 갯강 우측 지역에서 기준치를 상회하는 지점도 있기 때문에 오염을 우려하여야한다는 것을 시사하고 있다. 공간적인 분포를 보면 갯강의 우측 중앙부에서 약간 높게 나타나고 있을 알 수 있다. 이는 이 지역이 상류 하천인 이사천의 공급이 보다 우세하게 작용하고 있기 때문인 것으로 사료된다. 순천만의 다른 이름인 여자만의 해역측에서 측정된

COD자료를 보면(허회권 외, 2000) 6.3~29.71 mg/g.dry(표층 평균 15.36mg/g.dry) 값과 유사한

농도를 보였다.

퇴적물에서 C/N ratio는 유기물의 특성과 기원을 지시하는 인자로 사용된다. C/N ratio가 10 이상이면 보통 육지기원으로 보고 반대로 그 이하이면 해양에서 생물 생산에 의하여 만들어진 유기물로 보고 있다(Muller 1977: Muller and Suess 1979). 이번 조사에서는 Table 4와 같이 탄소는 0.74~1.62%, 질소는 0.08~0.22%, 황은 0.8~1.2%로 분포하였으며 C/N ratio는 8.4로 나타나 전반적으로 해양 기원의 의미를 보이고 있으나 상부 하천 말단부 가까운 조사해역서는 평균치 보다 높은 분포를 보였다. 이사천의 영향을 직접 받는 정점 1에서 총질소의 함량이 특이하게 높게 분포하였다. 유기탄소의 축적은 주로 기초생산력이 높은 지역이라든가 퇴적속도가 빠른 지역에서 주로 크게 일어난다. 본 조사결과에서는 탄소, 질소, 황 모두 조사지점이 갯강으로 형성되어 있는 지점에서 상대적으로 낮게 분포하였다. 이는 다른 조사 지역보다 물의 흐름이 계속되고 있어 유기물의 축적이 적기 때문인 것으로 사료된다.

일반적으로 해양은 황산염이 풍부하여 담수보다 황의 축적이 일어나기 쉽고, 해수가 정체되어 저산소 현상을 나타내는 지역이 비교적 황의 축적이 많이 일어난다. 저산소층에서는 황산염이 박테리아에 의하여 환원되어 발생하는 황화수소가 철과 반응하여 황화철로서 퇴적물중에 축적하게 된다(Berner, 1984). S/C<sub>org.</sub> 비에 있어 담수퇴적물과 해양퇴적물의 구분이 0.36(Berner and Raiswell, 1983) 이라는 점을 감안하면 본 조간대 상부역의 퇴적물은 해양기원의 흔적이 강한 것으로 사료된다.

부영화와 가장 관계가 많은 질소와 인은 해역

으로 유입된 후 해저에 침강 및 퇴적한 후에 무기태질소인 암모니아질소(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)로 변하고 이는 다시 박테리아에 의하여 아질산(NO<sub>2</sub><sup>-</sup>) 및 질소(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>)로 산화된다. 이와 같이 질소는 해양에서 주로 암모니아, 아질산 및 질소형태로 주로 존재하고, 그밖에도 요소라든가 입자상 유기질소로 존재한다. 인은 인산염(PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) 또는 비용해성으로 유기인 형태로 존재한다. 해역으로 유입된 인산염은 주로 조류의 성장에 이용되고 일부 입자상태의 인은 퇴적물로 침강하게 된다. 침강된 인은 칼슘 또는 철화합물의 공침형태로 존재하다가 빈산소 또는 무산소시에 수중으로 재용출 하게 된다. 이처럼 퇴적물로 침강된 질소와 인은 저층의 환경에 따라 다시 수중으로 재용출 될 수 있는 가능성이 있기 때문에 그 거동을 잘 파악해 둘 필요가 있다.

이를 위한 방법 중의 하나로 퇴적물 공극수 중의 영양염류를 분석하여 이해하는 방법이 쓰이고 있다(Berner, 1972). 이는 퇴적물에서 일어나는 미생물에 의한 분해, 해수와의 교환 등 속성작용에 의하여 일어나는 미세한 변화를 공극수를 통하여 알아보는 것이다.

순천만 조간대역 퇴적물 공극수의 인 및 질소의 농도 분포는 Table 5 및 Fig. 9와 같다. 용존성인은 0.1~4mg/L, 총인은 0.7~4.2mg/L로 분포하였으며, 지리공간적 분포로는 갯강 우측변에서 용존성 및 총인의 형태 모두 상대적으로 높게 분포하였으며 용존무기질소는 5.7~24mg/L, 총질소는 14.2~43.0mg/L로 분포하였으며 지역적 분포는 큰 차이는 아니지만 최상부 지점과 하부 지점에서 모두 상대적으로 높게 나타났고, 갯강 퇴적물에서 약간 낮게 분포하였다.

Table 5. Distributions of DIP, DIN, TP and TN in pore water of sediments

	DIP	DIN	T-P	T-N	TN/TP
	(mg/L)				
범위	0.13 - 3.96	5.71 - 23.99	0.73 - 4.18	14.18 - 43.01	6.46 - 36.01
평균	1.44	14.49	2.33	29.67	13.06

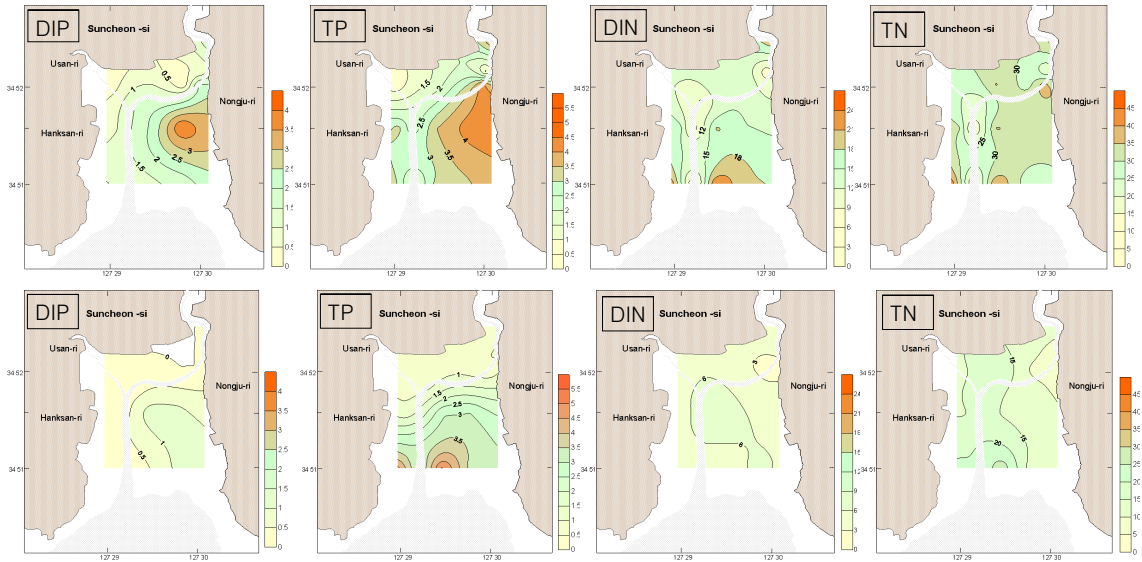


Fig. 9. Distributions of Nutrients in pore water of sediments(상: may, 하: december)

질소와 인의 원자비는 redfield ratio의 DIN/DIP 비는 저염분 농도역인 상부층에서 높게 나타났으며, 영양염류 상호작용으로 보아 저염분 수역인 조사지점 1, 2, 3, 4 와 그 외 조사지역 즉 일반적인 해역의 염분 농도를 보이는 지역과는 영양염류의 거동이 다른 것으로 사료된다.

### 3.3 퇴적인의 존재형태

해저 퇴적물에 함유되어 있는 인의 형태나 농도는 수중 생태계에의 인의 농도를 결정하는데 매우 중요한 요인이며(Williams *et al.*, 1976) 이는 해수의 부영양 단계, pH, 화학적 조성, 산화환원 전위, 온도와 같은 요인들의 영향을 받게 되므로 (Hakanson, 1983) 퇴적물 내의 인의 존재형태를 파악함으로써 퇴적물의 인이 해양 내 순환에 얼마나 중요한 역할을 할 것인가를 평가 할 수 있다. (Williams *et al.*, 1980; 전상호, 1988.; Herodok and Instanovics, 1986).

즉, 인은 그 존재형태에 따라 생물에 이용되는 정도나, 이동 가능성이 다르기 때문에 퇴적물의 인의 양과 아울러 존재 형태를 파악함으로써 특정 지역의 퇴적물의 인이 생물 지구화학적 순환에 일

마나 중요한 역할을 할 것인가를 평가할 수 있으며, 수층에서의 인의 제거 기구로 어떤 작용이 상대적으로 크게 작용했는지를 짐작하게 할 수 있다. 따라서 총인 분석과 함께 존재하는 form 또한 반드시 파악해 두어야 퇴적물에서의 수중에 미치는 영향을 파악하게 된다.

퇴적물에서 상부 수층으로 이동하는 오염물질의 양은 퇴적물의 조성, 저서생물의 활동, 오염물질의 존재형태 등에 따라 달라진다. 여러 가지 요인 중에서도 특히 오염물질의 형태가 용존상태의 형태이면 쉽게 이동될 수 있다(전상호, 1990). 특히 인은 퇴적물 입자에 흡착, 침전되어 수층에서 제거되는 경우가 많다. 그러나 퇴적층 내에서의 유기물의 분해 등에 의한 pH 혹은 Eh에 따라 변할 수 있다. 이러한 기작을 보면 퇴적물로부터 탈착, 용해, 음이온의 치환, 가수분해, 미생물의 활동 등에 의해 생물의 활동 등에 의해 간극수로 이동하게 되며 이동한 인은 확산, 난류와 와류, 저서생물의 활동, 가스발생 등에 의해 상부 수층으로 이동하게 되어 수질을 악화시키게 된다(전상호, 1990). 따라서 본 연구에서는 순천만 상부 조간대역의 퇴적물을 대상으로 하여 퇴적물에 함유

되어 있는 인의 존재형태를 파악하여 수층으로의 회귀 및 해저퇴적물로부터 수층의 인의 농도에 미치는 영향 등에 관한 정보를 파악하고자 하였다.

퇴적물 내에 존재하는 인의 형태는 여러 가지로 분류되지만 일반적으로 미립자에 흡착되어 있는 인(adsorbed P), 철이나 알루미늄등과 착물을 이룬 인(NAI-P : nonapatite inorganic phosphorus), 인회석과 같은 광물에 포함된 인(apatite P), 유기물과 관련이 깊은 잔류인(residual P)으로 분류된다. 순천만 퇴적물에 존재하는 인의 형태별 농도를 보면 Adsorbed P 가 0.009~0.151mg/g (평균 0.052mg/g  $\pm$ 0.140)이었으며, 지점별로는 최상부의 조사정점 1과 2에서 가장 높게 나타났다(Fig. 10-A). 다른 형태보다 조사 시기별 차이가 가장 크게 나타났는데 이 adsorbed p는 미립자의 표면에 흡착되어 있는 형태로서 물속에 녹아 있던 인이 점토 등의 표면에 전기적으로 흡착된 것으로 그 결합력이 약하여 물리적인 충격, 염분도 변화, 퇴적물 입자의 교란, 수층의 pH, 인 농도의 변화 등에 의해 쉽게 수층으로 이동될 수 있는 부분이기 때문일 것으로 생각되며 따라서 이 형태는 수질관리상 중요한 부분으로 간주된다. NAI-P는 0.549~1.296mg/g(평균 0.811mg/g  $\pm$ 0.175)로서 시기별로 큰 변화는 없었으며, 조사 지역별 분포를 보면 순천만 조사정점 1과 2에서 가장 높게 나타나고 있으며 순천만 입구인 상부에서 하부로 내려갈수록 점차 낮아지는 특성을 보이고 있다(Fig. 10-B). Apatite P는 0.664~0.852mg/g(평균 0.771mg/g  $\pm$ 0.053)로 나타났으며, 조사 시기별 및 조사 정점별 큰 차이는 없었으나, 조사정점 6에서 가장 낮게 나타났다. 조사 해역의 대부분이 니질 퇴적상을 보인 반면 정점 6에서는 사니질 퇴적상을 보이고 있으며 아울러 유기물 함량도 가장 낮게 나타난 특징을 보이고 있는 지점이다(Fig. 10-C). Residual P 는 organic P 라 할 수 있으며 0.531~1.220mg/g(평균 0.892mg/g  $\pm$ 0.170)의 분포를 보였으며, 조사 정점별로는 해수의 영향을 많이 받는 하부 층에서 비교적 높게 분포하였다(Fig. 10-D). residual -P

는 생물체나 그 분해산물에서 유래되는 인으로서 퇴적물에 존재하는 인은 주로 플랑크톤의 사체에서 기인되는 것으로 보인다. 따라서 조사 정점별로 볼 때 상대적으로 물에 잠겨있는 시간이 길어 부유생물 량이 많다고 생각되는 하부 조사지점에서 높게 나타난 것으로 보인다. 퇴적물 내에서 이런 형태의 인이 많다는 것은 수층에서 용존 무기 인의 제거가 생물체에 의한 흡수에 의해 주로 이루어지고 있음을 나타내며, 호수의 표층 퇴적물에서 이 부분도 17% 정도 용출되는 것으로 발표하였다(Herodeck과 Istanovics 1986). 총인에 대한 각 형태별 함량 비를 2회 평균하여 본 결과 adsorbed P, NAI-P, apatite P, residual P 가 각각 2%, 32%, 31%, 35%로 구성되어 residual P, NAI-P, apatite P, adsorbed P 순으로 나타났다(Fig. 11). 기 발표된 우리나라 남해연안의 표층 퇴적물에서의 인의 존재형태별 구성을 보면 마산만의 경우 각각 2.2%, 34.4%, 10.6%, 52.9%, 진해만에서는 각각 5.6%, 21.8%, 15.5%, 57.0%, 충무만에서는 각각 4.8%, 11.8%, 20.2%, 65.3%, 광양만에서는 3.9%, 7.6%, 24.8%, 63.7%로 구성되어 있다고 보고되었다(이찬원외, 1995). 이들 결과와 비교하면 residual p가 순천만의 경우가 낮게 분포하고 있으며, 이는 지역 특성상 수심이 얕고 물에 잠기는 시간이 짧아 organic 기원의 인이 낮게 분포한 것으로 보이며, 이는 다른 해역보다 인의 총 함량에 미치는 영향이 적을 것으로 보인다. 퇴적물의 교란이나 산화환원전위와 같은 환경 변화에 따라 쉽게 수층으로 이동 가능한 이동성 인(Labile-Phosphorus)은 24.9~47.0% (평균 34%) 이었으며(Fig. 12), 일본의 부영양된 호수인 Kasumigaura 호의 sediment 에서의 이동성 인의 함유율인 27~47.0% 과 유사하였다(Furumai & Ohgaki, 1982, 1992, 김범철, 1994). 조사 지역별로 보면 순천만 입구인 정점 1과 2에서는 약 46.8%로서 평균 보다 높게 나타나고 있어 이들 지역에서는 다른 정점에서보다 퇴적물에서 수층으로 쉽게 인이 이동될 수 있는 가능성을 시사하고 있다.

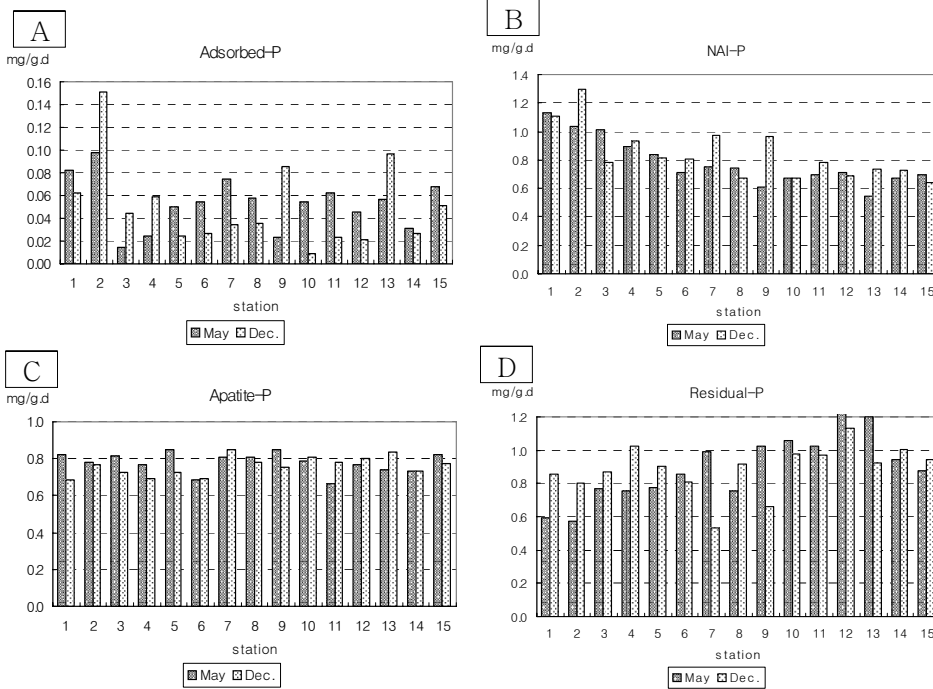


Fig. 10. Fractional composition of sediments phosphorus in Suncheon bay

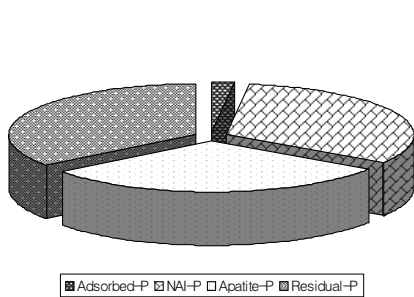


Fig. 11. Mean fraction composition of sediments phosphorus in Suncheon bay

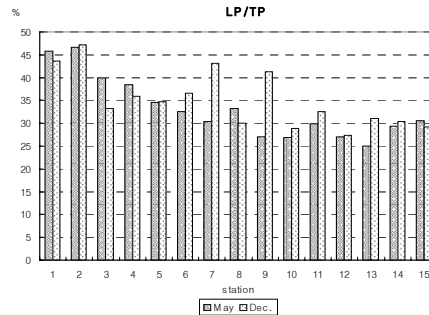


Fig. 12. The distribution of Labile-P of Suncheon bay

#### 4. 결론

순천만습지의 지화학적 특성을 파악하기 위하여 총 15개 지점에서 채취한 시료를 대상으로 수질 및 퇴적물의 지화학적 파라메타에 대하여 조사결과와 고찰을 통하여 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1) 염분은 5월과 12월에 각각 5.80~30.55

(평균 20.01), 18.03~30.42(평균 26.71), COD는 각각 1.31~3.11mg/L(평균 2.27 mg/L), 1.37~2.81mg/L(평균 1.99mg/L), DIN은 각각 24.37~408.30(평균 148.68μ mole/L), 25.73~215.11μmole/L(평균 77.56 μmole/L), DIP는 각각 0.43~11.21μmole/L (평균 3.08μmole/L), 1.72~12.95μmole/L (평균 4.56μmole/L)의 분포를 보였으며, 지

리·공간적으로 하천 말단부에서 높고 점차 낮아지는 하구의 전형적인 특성을 보이고 있다.

- 2) 과잉용존무기질소 산정에 의한 순천만 상부의 제한물질은 인으로 나타났다.
- 3) SPSS에 의한 상관분석 결과 염분은 COD( $r=0.77$ ,  $p<0.01$ ), DIP( $r=0.46$ ,  $p=0.001$ ), DIN( $r=0.90$ ,  $p<0.001$ ), Si( $r=0.91$ ,  $p<0.001$ ), TN( $r=0.81$ ,  $p<0.001$ ), TP( $r=0.75$ ,  $p<0.001$ )와는 음의 상관을 보였다. PCA(principle component analysis) 분석 결과 순천만 습지대의 수질은 염분이 기타 수질항목을 조절하는 주요 요인으로 나타났다.
- 4) 조사지역 퇴적물의 평균 입도는 6.74~8.52  $\phi$ (평균 8.18 $\phi$ )로 세립질 실트~점토의 범주이며, 분급도는 불량~매우불량으로 나타났다. 퇴적물의 강열감량은 이사친의 영향을 강하게 받는 지점에서 높게 나왔으며, 퇴적물 COD는 건강한 퇴적물의 상태를 보이고 있다. 퇴적물의 C/N 및 S/C ratio로 보아 순천만 상부 조간대는 해양기원의 흔적이 강한 것으로 나타났으며, C/N ratio 에서도 육역기원 보다는 해양기원의 유기물 농축이 많은 것으로 판단된다.
- 5) 총인에 대한 각 형태별 함량 비는 adsorbed P, NAI-P, apatite P, residual P 가 각각 2%, 32%, 31%, 35%로 구성되어 residual P, NAI-P, apatite P, adsorbed P순으로 나타났다. 퇴적물의 교란이나 산화환원전위와 같은 환경 변화에 따라 쉽게 수층으로 이동 가능한 이동성 인(Labile-Phosphorus)은 24.9~47.0% (평균 34%) 이었으며 정점 1과 2에서는 약 46.8%로서 평균 보다 높게 나타나고 있어 이들 지역에서는 다른 정점에서보다 퇴적물에서 수층으로 쉽게 인이 이동될 수 있는 가능성을 시사하고 있다.

## 감사의 글

이 연구는 국립수산과학원의 남해중부 연안역 생산성 지속을 위한 환경생태구명 연구의 사업비로 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- 박의준, 해안습지 성장물의 공간적 특성에 관한 연구, 한국지역지리학회지, 6(3), 153-168. 2000.
- 박태윤, 우리나라 연안습지의 보전과 환경친화적 관리방안에 관한 연구, 한국환경복원녹화기술학회지 2(3), 64-73. 1999
- 이동근, 윤소원, 연안습지의 보전가치에 대한 경제성 평가에 관한 연구, 산업과학원 7, 141-154. 1999.
- 이찬원, 권영택, 박동규, 김봉진, 남해안 퇴적물내 인과 중금속의 존재형태, 대한환경공학회지, 17(7) 661-674. 1995.
- 전상호, 춘천지역의 인공퇴적지에 함유된 인의 존재형태에 따른 수질오염의 가능성에 대하여, J. KSWPRC.Dec. 49-57. 1988.
- 전상호, 한강 퇴적물에 함유된 오염물질의 존재형태와 이동성에 관한 연구, 한국육학회지, 23(1) 31-42. 1990.
- 허회권, 김도현, 안승환, 박경원, 1998년 하계 여자의 저질환경 특성. J. Environ, 18(2) 227-235. 2000
- 해양수산부, 해양환경공정시험방법. 해양수산부, 330pp. 2002.
- Berner, R.A., Sedimentary pyrite formation: An update. Geochim,Cosmochim, Acta, 48:605-615. 1984.
- Berner, A.A. and R. Raiswell., Burial of organic carbon and pyrite sulfur in sediments over phanerozoic time: a new theory. Geochim,Cosmochim, Acta, 47: 855-862. 1983.

- Folk, R.L. and W.C. Ward, Brazos river bar: A study in the significance of grain size parameters. *Jour. Sed. Petrol.*, 27:3-26. 1957.
- Furumai H, and S. Ohgaki, Fractional composition of phosphorus form in sediments related to release. *Wat. Sci. Technol.* 14: 215-226. 1982.
- Furumai H, and S. Ohgaki, Adsorption-desorption of phosphorus by lake sediments under anaerobic conditions. *Wat. Res.* 23: 677-683. 1992.
- Goldman, J. C., McCarthy, J. J., Peavey, D. G., 1979. Growth rate influence on the chemical composition of phytoplankton in oceanic waters. *Nature* 279, 210~215.
- Hakanson, L. and M. Jansson, Principles of lake sedimentology. Springer-Verlag, Berlin, p 316. 1983.
- Muller PJ. C/N ratio in Pacific deep-sea sediments: effect of inorganic ammonium and organic nitrogen compounds sorbed by clays. *Geochim. Cosmochim Acta* 41:765-776.1977.
- Muller,PJ, E. Suess, Productivity, sedimentation rate and sedimentary organic carbon in the ocean-1. Organic carbon preservation. *Deep -Sea Res.*, 26:1347-1362. 1979.
- Okaichi T. Occurrence of red tide in related to neritic water pollution. In: The cause of red tide in neritic waters. Japanese Association for the protection of Fisheries Resources, Tokyo, 58-76, 1972.
- Robert R. Lane., John W. Day., Dubravko Justic., Enrique Reyes., Brian Marx., Jason N. Day., Emily Hyfield. Changes in stoichiometric Si, N and P ratios of Mississippi River water diverted through coastal wetlands to the Gulf of Mexico. *Estuarine, coastal and shelf Science* 60, 1-10, 2004.
- Stefansson, U. and F. A. Richards. Processes contribution to the nutrient distribution off the Columbia river and Strait Juan De Fuca, *Limnol. Oceanogr.*, 8, 194~210. 1963.
- Tsunogai, S. Dissolved silica as the primary factor determining the composition of phytoplankton classes in the ocean. *Mem. Fac. Fish. Hokkaido Univ.*, 30(4), 314~322. 1979.
- Viles H, Spencer T. Coastal problems : Geomorphology, ecology and society at the coast. Edward Arnold London UK, 1995
- Williams, J.D.H., M. Jaquet and R.L. Thomas, Forms of phosphorus in the surficial sediments of lake Erie. *J. Fisg. Res. Board Can.*, 33:413-429. 1976.
- Williams, J.D.H., H. Sher and R.L. Thomas, Availability to *Senedesmus quadricauda* of different forms of phosphorus in sedimentary materials from the Great Lakes. *Limnol. Oceanogr.*, 25: 1-11. 1980.
- Wong, G.T.F., G-C., Liu K-K, Pai S-C., "Excess Nitrate" in the East China Sea, *Estuarine, Coastal and Shelf Science.* 46, 411-418, 1998.