

## 갯벌의 수직적 환경 특성

김종구·유선재  
군산대학교 해양환경공학과  
(1999년 4월 30일 접수)

# The vertical environmental characteristics in the tidal flat sediments

Jong-Gu Kim and Sun-Jae You

Department of marine Environmental Engineering, Kunsan National University, Kunsan 573-702, Korea

(Manuscript received 30 April, 1999)

As one of the fundamental survey to evaluate purification capacity of pollutants at the tidal flat sediments, we studied vertical environmental characteristics in three tidal flat sediments, Chunjangdae, Eueunri and Gyewhado. These are dissimilar to external feature in each other.

The results of this study may be summarized as followed.

As the results of particle analysis, Eueunri tidal flat sediment located in Keum river estuary consists of 98.98% as silt & clay, Chunjangdae tidal flat sediment located in SeocheonGun consists of 97.99% as sand. And Gyewhado tidal flat sediment located in Saemankeum area consists of 32.81% as silt & clay and 67.19% as sand.

The concentration of organic pollutants(I.L., COD, POC, PON) in Eueunri tidal flat sediment which highly content of silt & clay were 3~4 times higher than others. The concentration of organic pollutants at each layer were slightly increase goes with deepen layer.

The linear correlation between I.L. and COD, POC, PON were obtained. Correlation coefficients were in range of 0.821 ~ 0.940. Also the correlation between pH and COD, POC, PON were high(>r=0.9).

Filtration rate in Chunjangdae tidal flat sediment was 0.01584cm/s as mean value, but the other were almost nothing filtered off.

Key words · vertical characteristic, particle analysis, organic pollutants, correlation coefficient, filtration rate

### 1. 서론

연안습지는 육상생태계와 해양생태계가 만나는 지역으로 고조시에 물에 잠기고 저조시에 대기로 노출되는 곳으로 염습지와 갯벌로 형성되어 있으며 생태학적으로 매우 중요한 지역이다. 연안습지의 생태계는 물과 육지가 만나는 경계지대에 위치하고 있어 생물의 종이 다양하고 영양염류와 에너지가 풍부하며 미생물과 조류의 상호작용으로 생산성이 큰 지역이다.

우리나라는 해안의 특성상 서남해안을 중심으로 광대한 갯벌이 발달되어 있으며, 그 면적은 국토면적의 3%에 해당하는 약 2,800km<sup>2</sup>로서 세계 5대 갯벌에 속한다. 특히 서해안 갯벌은 전체의 83%로서 갯벌 보존의 가치가 상당히 크다고 할 수 있다.

그러나 1960년대 산업개발에 박차를 가하면서 수출위주의 산업확대를 위하여 일제지역 및 연안역의 매립사업이 추진되기 시작하였고, 산업발전에 따른 토지수요의 증가에 의해 매립사업은 꾸준히 증가하여 왔다. 또한

1970년대 이후에는 국토확장과 식량확보를 위하여 많은 면적의 갯벌이 개발되었다. 따라서 간척매립사업으로 1987년 이후 갯벌의 15~30%가 간척 매립되었고, 매년 증가하고 있는 실정이었다. 그러나 최근 갯벌의 중요성 및 경제적 가치가 알려지기 시작하면서 갯벌관련 법안이 마련되고 이를 보호하기 위한 노력이 나타나고 있다.

연안 선진국은 갯벌의 보전 및 관리를 위해 법적 규정을 통하여 갯벌 개발에 따른 자연환경에 대한 완화조치(mitigation)를 의무화하고 있고, 이미 개발된 갯벌의 복원 및 창출을 위하여 많은 연구가 이루어져 왔으며,<sup>3-6)</sup> 그 외에도 습지에 관한 많은 연구<sup>6-8)</sup>가 진행되어져 왔다. 그러나 우리나라 갯벌과 관련된 연구의 대부분이 저서생물을 중심으로 한 생태학적 연구가 대부분이며, 갯벌의 기능적인 면이나 오염도 평가에 관한 연구는 부족한 실정이다.

따라서 갯벌의 가치를 정당하게 평가하고 이에 따른 보전 및 관리대책 수립을 위한 집중적인 연구가 필요하

며, 갯벌이 가지는 여러 가지 기능 및 가치를 평가하기 위해서는 기초적인 갯벌에 대한 조사가 필수적이다. 본 연구에서는 갯벌이 가지는 오염물질의 정화능력 평가에 앞서 갯벌의 수직적 물리·화학적 특성을 파악하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구대상지역

연구대상 지역은 서해연안에 위치한 3지점을 선정하였다. 충청남도 서천군에 위치한 춘장대는 주변에 인위적 오염원이 거의 없는 지역으로 대부분이 모래갯벌로 이루어져 있고, 금강하구에 위치하여 금강으로부터의 부유퇴적물의 영향을 상대적으로 많이 받아 형성된 군산시 옥구군에 위치한 어은리 갯벌은 주로 니질로 구성되어 있었다. 그리고 만경강과 동진강의 영향을 받는 전북 부안군 계화도 갯벌은 사니질이 약 반반씩 섞인 형태로 서해안금 유역내에 위치하고 있다(Fig. 1)

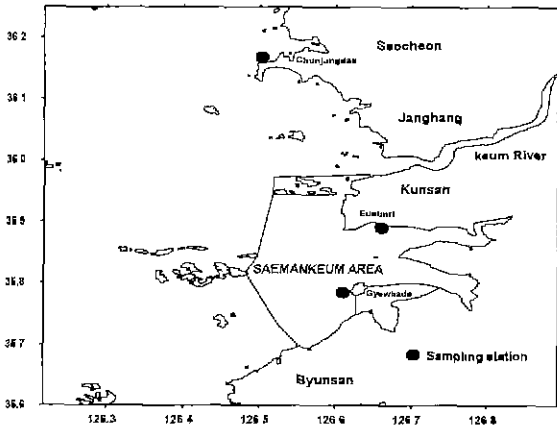


Fig. 1. Map showing sampling stations.

2.2. 연구내용 및 방법

2.2.1 갯벌의 물리, 화학적 특성조사

대상지역의 갯벌을 직경 50mm의 코아채니기를 이용하여 25cm 깊이까지 채취하여 상하부를 밀폐시킨 후 교란없이 즉시 실험실로 운반하여 4℃에 냉장 저장하였다.

갯벌의 입자특성, 유기물함량 및 중금속 오염 등을 파악하기 위하여 5cm 간격으로 나누어 다음의 항목을 측정하였다.

pH는 시료 일정량을 취하고 1N KCl용액으로 1.1 배 혼합한 후 원심분리기로 3000rpm에서 30분간 원심분리 한 후 상등액을 pH미터로 측정하였고, 산화환원전위(ORP)는 ORP미터(TOA Electronics Ltd. RM-12P)를 이용하여 현장 측정하였으며, 강열감량(Ignition Loss)은 105-110℃에서 건조한 시료의 중량을 측정하고, 전기로에서 600±25℃로 회화한 후 중량 감소분을 백분율로 나타내었다. COD는 0.1N KMnO<sub>4</sub>를 사용해 2시간 분해후 소모된 KMnO<sub>4</sub>의 양으로부터 구하였고, 유기탄소(POC) 및 유기질소량(PON)은 105-110℃에서 2시간 건조시켜 2mm mesh의 체를 통과한 시료를 CHN analyzer(Yanaco

MT-2)로 분석하였다. 황화물은 검지관법을 이용하여 정량하였고, 중금속(구리, 카드뮴, 납)은 질산-과염소산-불화수소법에 의한 분해 후 원자흡광광도계(Shimadzu 6601F)로 측정하였다. 갯벌의 입도분석은 시료를 증류수에 세정 탈염시키고 30%의 과산화수소수로 유기물을 분해한 후 체 및 피펫분석법으로 측정하였다. 영양염류 용출물질은 갯벌:순수의 비율을 1.10으로 하여 30분간 진탕 추출한 후 암모니아질소, 질산질소, 인산인을 측정하였다.<sup>9-10)</sup>

2.2.2. 갯벌의 수리학적 특성조사

갯벌의 투수성을 알기 위해서 만수위 투수실험을 행하였다. 투수실험에서 토양시료를 넣은 칼럼을 48mesh 체위에 놓고 갯벌표면에서 약 20cm 정도의 증류수를 넣고 수위저하 속도를 측정한다. 측정순서는 우선 25cm의 갯벌시료의 투수실험을 행한 후, 바닥에서 5cm씩 순차적으로 제거해서 투수실험을 행하였다. 투수계수 k(cm/sec)는 다음 식으로 계산하였다.<sup>11)</sup>

$$k = (a L/A(t_2-t_1))\log(h_2-h_1)$$

여기서, a : 칼럼의 단면적(cm<sup>2</sup>)

L : 시료토의 길이(cm)

A : 시료토의 단면적(cm)

h<sub>1</sub> : 시간 t<sub>1</sub>의 칼럼내의 수위(cm)

h<sub>2</sub> : 시간 t<sub>2</sub>의 칼럼내의 수위(cm)

3. 결과 및 고찰

3.1. 갯벌의 물리, 화학적 특성

갯벌의 입자특성, 유기물함량 및 중금속 오염 등을 파악하기 위하여 총벌로 분석한 결과를 Table 1 및 Table 2에 나타내었다.

Table 1 Results for analysis of particle size in three tidal flat sediments

Location	Depth (cm)	Coarse sand >0.5mm	Medium sand >0.25mm	Fine sand >0.125mm	Very fine sand >0.063mm	Silt & Clay >0.0063mm
Chunjangdae	0~5	3.25	0.68	60.17	34.34	1.56
	5~10	2.47	0.67	59.14	35.81	1.91
	10~15	1.30	1.22	72.10	22.90	2.49
	15~20	2.81	0.86	65.48	28.76	2.10
	20~25	2.78	0.61	61.21	33.39	2.02
	Mean	2.52	0.81	63.62	31.04	2.01
Gyewhazdo	0~5	0.33	0.25	1.22	60.63	37.57
	5~10	0.15	0.79	1.12	61.10	36.85
	10~15	0.17	0.10	0.48	71.62	27.63
	15~20	0.73	0.39	0.70	73.67	24.52
	20~25	0.06	0.20	0.43	61.86	37.46
	Mean	0.29	0.35	0.72	65.77	32.81
Eueunri	0~5	0.16	0.07	0.12	1.35	98.31
	5~10	0.05	0.04	0.11	1.35	98.44
	10~15	0.10	0.08	0.14	1.13	98.55
	15~20	0.05	0.01	0.03	0.34	99.57
	20~25	0.01	0.003	0.02	0.36	99.61
	Mean	0.07	0.04	0.08	0.91	98.89

Table 2. Chemical characteristics of three tidal flat sediments

Station	Item	Depth (cm)	pH (KCl)	ORP (mV)	16S (mg/kg)	IL (%)	COD (mg/kg)	POC (mg/kg)	PON (mg/kg)
Chunjangdae		0~5	8.16	224	-	0.13	2170	3872.9	353.4
		5~10	8.39	185	-	0.50	1423	1332.1	619.4
		10~15	8.76	175	0.0003	1.25	842	763.4	441.4
		15~20	8.85	133	0.0004	1.20	1829	827.3	341.6
		20~25	8.85	92	0.0009	1.24	2079	907.5	411.8
		Mean	8.60	162	0.0000	0.85	1789	1559.0	474.0
Gyewhado		0~5	8.04	155	0.0017	1.18	1905	1195.0	605.8
		5~10	8.68	96	0.0023	1.06	1147	758.0	451.8
		10~15	8.41	75	0.0042	1.04	3133	1076.8	370.3
		15~20	8.60	11	0.0028	1.37	2879	1130.7	601.8
		20~25	8.74	-	0.0023	0.97	1281	811.0	483.4
		Mean	8.52	67	0.0030	1.12	2069	994.0	503.0
Doeunri		0~5	7.17	133	-	2.92	6777	5983.0	1569.9
		5~10	7.04	109	-	4.03	9066	5106.3	1221.4
		10~15	7.04	9	-	3.30	6966	5506.2	1481.9
		15~20	7.52	-73	0.0037	3.97	6590	5747.4	1611.6
		20~25	7.70	-78	0.0049	3.42	6471	5666.7	1298.6
		Mean	7.29	20	0.0190	3.55	7180	5602.0	1437.0

Station	Item	Depth (cm)	Cu (mg/kg)	Cd (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Extracted NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N (mg/kg)	Extracted NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N (mg/kg)	Extracted PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -N (mg/kg)
Chunjangdae		0~5	11.60	0.19	25.69	0.408	0.612	0.202
		5~10	11.60	2.07	33.35	0.653	0.408	0.371
		10~15	4.26	1.67	20.94	0.707	1.019	0.371
		15~20	4.25	2.39	32.98	0.950	0.407	0.403
		20~25	9.78	1.79	35.37	0.842	0.204	0.270
		Mean	8.34	1.62	29.87	0.712	0.530	0.323
Gyewhado		0~5	0.00	1.02	28.20	0.705	0.611	0.639
		5~10	0.18	1.95	7.96	1.926	0.610	0.604
		10~15	0.00	1.17	16.97	3.260	0.204	1.752
		15~20	0.00	0.36	28.58	3.314	0.019	0.976
		20~25	0.00	0.90	28.70	2.520	0.203	0.704
		Mean	0.04	1.08	22.08	2.345	0.529	0.935
Doeunri		0~5	5.08	3.50	38.87	0.951	1.429	1.109
		5~10	12.03	2.23	20.50	1.410	1.629	2.951
		10~15	17.45	3.90	39.44	0.896	1.428	1.850
		15~20	23.05	2.68	35.95	3.559	0.611	3.566
		20~25	22.95	2.55	28.60	4.010	1.625	1.812
		Mean	16.11	2.97	32.67	2.165	1.344	2.258

갯벌의 입자특성은 크게 조립사(coarse sand), 중립사 (medium sand), 세립사(fine sand), 미세립사(very fine sand) 및 니질(silt & clay)로 구분하였다. 춘장대 갯벌의 경우 모래성분이 전체의 97.99%를 차지하고 있었으며 그 중 세립사가 63.63%로 가장 많았으며, 니질함량은 전체 평균 2.01%로 매우 적은 양이었다. 계화도는 모래성분이 67.2%로 그 중 미세립사가 65.77%로 가장 많았으며 니질 함량은 32.8%를 나타내었다 반면에 어은리 갯벌의 경우 니질성분이 전체의 98.89%를 차지하여 춘장대 갯벌과 반대의 입자특성을 나타내었다 각 지점에서 층별 입자 분포는 표층보다 아래로 갈수록 입자 크기가 작아지는 것으로 나타났다.

이와 같은 결과는 이정규<sup>11)</sup>가 히로시마 간석지의 자연 및 인공간석지를 대상으로 조사한 자료와 비교하면, 자연간석지의 경우 실트함량이 2.71~8.68%의 범위로서 본 조사에서 춘장대 갯벌과 비슷한 분포를 나타내었고,

인공간석지는 실트함량이 0.03~0.87%로서 자연간석지와 큰 차를 보였다.

각 지점에서 화학적 특성을 보면, pH는 어은리 갯벌이 평균 7.3로 낮은 값을 보였고, 춘장대 갯벌이 평균 8.6로 높은 값을 보여, 입자크기가 작은 갯벌일수록 pH가 낮아지는 경향을 나타내었다. 이는 Ryou<sup>12)</sup>가 군산시 옥구군 갯벌에서 조사한 7.1~8.9와 비슷한 값을 나타내었다 산화환원전위(ORP)는 춘장대가 평균 162mV로 가장 높고, 어은리가 20mV로 가장 낮아 니질함량이 증가함에 따라 급격히 낮아지는 경향을 보였고, 층별 변화도 표층에서 아래로 갈수록 급격히 낮아지는 경향을 나타내었다. 특히 어은리 갯벌의 경우 15cm이하 층에서는 환원상태를 나타내고 있었다. 갯벌의 유기물 오염지표와 관련이 있는 강열감량(IL) 및 화학적산소요구량(CODsed), 유기탄소함량(POC) 및 유기질소함량(PON)의 농도를 보면, 니질 함량이 높은 어은리 갯벌이 다른 두 갯벌에 비해서 3~4배 정도 높은 값을 나타내었다. 입자크기와 유기물의 관세에서 니질함량이 32.81%인 계화도 갯벌에서 강열감량이 112%를, 98.89%인 어은리에서 3.55%를 나타내었다 이는 Lee와 Kim<sup>13)</sup>이 니질함량에 따른 유기물의 변화가 니질함량이 20%면 유기물량이 2.5%, 40%면 4.8%, 80%면 약 10%라는 보고보다는 훨씬 낮은 값이었지만 본 실험대상 갯벌에서는 니질함량이 증가할수록 일정한 유기물 증가를 나타내었다. 하지만 층별로는 일정한 변화가 나타나지 않았다.

유기탄소량은 본 조사에서 0.994~5.6mg/g 범위를 보였으나, 이정규<sup>11)</sup>가 히로시마 간석지의 자연간석지에서 보고한 3.3~10.25mg/g보다는 전체적으로 낮은 값을 나타내었다 그러나 유기질소량은 본 조사에서 0.474~1.437mg/g으로 히로시마 간석지의 자연간석지에서 조사된 0.33~0.93mg/g보다는 약간 높은 값을 보였다.

중금속 농도는 계화도 갯벌이 Cu 0.04mg/kg, Cd 1.08mg/kg, Pb 22.08mg/kg으로 다른 두 갯벌에 비해서 상대적으로 낮은 농도를 보였고, 니질함량이 높은 어은리 갯벌에서는 Cu 16.11mg/kg, Cd 2.97mg/kg, Pb 32.67mg/kg으로 Sheo<sup>14)</sup>가 금강하구 퇴적물에서 보고한 Cu 7.44~10.83mg/kg, Pb 12.28~16.11mg/kg 보다 2배 이상 높은 농도를 나타내었다

갯벌에서 용출가능 영양염류 농도는 어은리 갯벌이 모래갯벌인 춘장대보다 암모니아질소와 질산질소가 2.5~7배 높았고, 인산인의 경우 8배 이상 높았다 층별로는 표층에서 아래로 갈수록 용출 가능한 영양염류의 농도가 증가하는 것으로 나타났다.

본 조사에서 측정된 항목간의 유기적인 관계 분석을 통한 오염도의 해석 및 평가를 위하여 항목간 단순상관 분석을 SPSSwin7.51을 이용하여 분석하였다. Table 3은 각 항목간의 상관행렬을 나타내었고, Fig. 2와 3은 각 인자간의 상관관계를 나타내었다.

상관분석 결과 중 갯벌의 유기오염물질과 관련 있는 인자인 IL, COD 및 POC, PON 사이에는 0.821~0.940의 높은 상관성이 있었다. 또한 pH는 COD, PON 및 POC와 0.9 이상의 높은 상관성이 있었다. 특히 ORP는

Table 3. Matrix of correlation coefficient among chemical constituents for tidal flat sediments

	pH	Wet	IL	COD	ORP	H <sub>2</sub> S	POC	PON	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	Cd	Cu	Pb
pH	1.000													
Wet	-0.725	1.000												
IL	-0.820	0.867	1.000											
COD	-0.906	0.875	0.932	1.000										
ORP	0.320	-0.570	-0.679	-0.545	1.000									
H <sub>2</sub> S	-0.178	0.247	0.359	0.296	-0.586	1.000								
POC	-0.916	0.711	0.821	0.894	-0.448	0.370	1.000							
PON	-0.914	0.760	0.896	0.890	-0.553	0.305	0.940	1.000						
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	-0.019	0.324	0.344	0.249	-0.830	0.578	0.159	0.217	1.000					
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	-0.736	0.804	0.723	0.740	-0.325	0.494	0.719	0.712	0.073	1.000				
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P	-0.699	0.757	0.860	0.819	-0.684	0.235	0.679	0.737	0.546	0.431	1.000			
Cd	-0.628	0.420	0.701	0.625	-0.361	0.162	0.607	0.716	-0.082	0.502	0.420	1.000		
Cu	-0.586	0.499	0.646	0.631	-0.533	0.515	0.757	0.695	0.185	0.422	0.568	0.521	1.000	
Pb	-0.326	0.215	0.294	0.315	-0.198	0.007	0.400	0.472	-0.170	0.105	0.078	0.446	0.441	1.000

용출 암모니아질소와 -0.83의 상관성을 나타내 유기물질 분해와 밀접한 관계가 있는 것으로 판단되었다. 중금속의 경우 Pb는 전체적으로 낮은 상관성을 보이나, Cd, Cu는 유기물 인자 및 pH와 약한 상관성을 나타내었다.

이러한 상관분석 결과로 갯벌은 입자크기에 따라 오염물질의 함량 및 농도가 크게 변화하는 것을 나타내고 있으며, 갯벌의 조사지점 수를 늘리면 인자간의 상관관계 식을 통하여 오염상태를 관별할 수 있을 것으로 생각된다

3.2. 갯벌의 수리학적 특성

갯벌의 수리학적 특성을 평가하기 위하여 층별 투수 실험을 행한 결과를 Table 4에 나타내었다 3지점 갯벌의 투수실험에서 니질로 구성된 어은리 갯벌은 전혀 투수가 일어나지 않았으며, 제회도 갯벌의 경우 투수계수가 평균 0.00023cm/s로서 평균 투수량은 0.27ml/min이었

다 모래로 구성된 춘장대 갯벌은 평균 투수계수가 0.01584cm/s로서 투수량이 1866ml/min으로 나타났다.

춘장대 갯벌의 투수계수는 이정규<sup>11)</sup>가 히로시마 간척지의 자연간척에서 측정하여 얻은 투수계수 0.01~0.04 cm/s와 비슷한 결과이었다

Table 4 Hydraulic conductivity in the tidal flat sediments

Depth(cm)	Hydraulic conductivity(cm/s)	
	Chunjangdae	Gyewhado
5	0.01627	0.0008
10	0.02259	0.00003
15	0.00867	0.00003
20	-	0.00004
Total mean	0.01584	0.00023

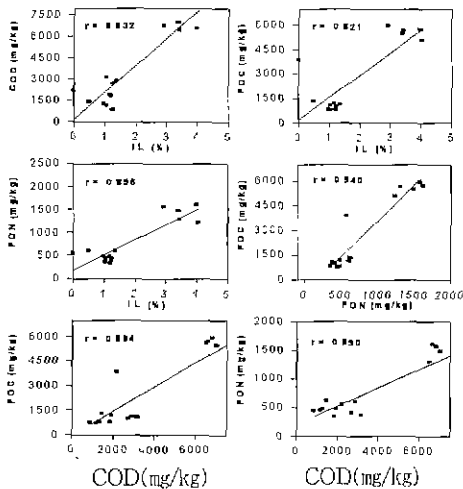


Fig 2. Correlations between COD, POC, PON and IL.(Ignition Loss)

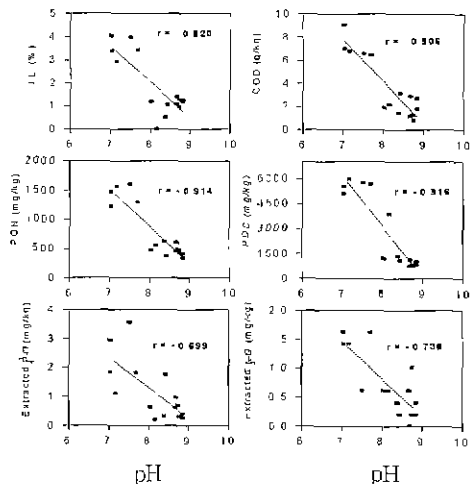


Fig 3. Correlations between IL.(Ignition Loss), PON, POC, COD, extracted nutrients(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) and pH.

4. 요약

갯벌의 오염물질 정화능력 평가를 위한 기초조사로서 환경적 특성이 다른 3지점 갯벌을 채취하여 수직적인 물리, 화학적 특성을 조사하였다.

갯벌의 입도특성을 보면, 금강하구에 위치한 어은리 갯벌의 니질 함량이 98.89%를 보인 반면, 충남 서천에 위치한 춘장대갯벌은 모래함량 97.99%를 나타내었다. 세반급지구 내 위치한 계화도 갯벌은 니질 32.81%, 사질 67.19%로 나타났다.

갯벌의 화학적인 특성은 니질 함량이 높은 어은리 갯벌에서 유기물 관련인자(IL, COD, POC)가 다른 두 갯벌 보다 3~4배 높았으며, 각 지점에서 층별 농도 분포는 아래로 갈수록 약간 증가하는 것으로 나타났다

상관분석 결과 중 갯벌의 유기오염물질과 관련 있는 인자인 IL, COD 및 POC, PON 사이에는 0.821~0.940의 높은 상관성이 있었다. 또한 pH는 COD, PON 및 POC와 0.9 이상의 높은 상관성을 나타냈다.

갯벌의 층별 투수실험 결과 춘장대 갯벌은 평균 투수계수가 0.01584cm/s로서 투수량이 18.66ml/min이었다. 하지만 어은리 및 계화도 갯벌은 거의 투수되지 않았다

감사의 글

본 논문은 1998년도 환경기술 연구개발사업(G7)의 연구비 지원에 의하여 수행된 연구결과의 일부로서 이에 감사드립니다. 또한 자료의 분석 및 정리를 도와준 대학원생에게 감사의 말씀을 전합니다.

참 고 문 헌

1) Brnson, M. M. and R. Rheinhardt, 1996, The role of reference wetlands in functional assessment and mitigation, *Ecological Applications* 6 (1), 69~76.  
 2) 福田 和國, 横山 正樹, 原 浩史, 1992, Mitigation을 目的とした人工干潟造成事業, 土木施工 第 3卷 10号, 53~60.  
 3) Confer, S. R. and Niering, W A., 1992, Comparison of created and natural freshwater emergent wet-

lands in Connecticut(USA), *Wetland Ecology and Management*, Vol.2, No.48, 143-156.  
 4) Ougra, O. and Imamura, H, 1995, Creative technique for constructed tidal flat, *Japan Sediment Management Association*, Vol.64, 61~78  
 5) Miyoshi, K., T. Shumati, and K. Kimura, 1990. A capacity of purification at constructed tidal flat, *Tokyo Metropolitan Research Institute of Environment Science(Annual report)*, 120~125.  
 6) Williams, C. H., 1985, Cycling and retention of nitrogen and phosphorus in wetlands : a theoretical and applied perspective, *Freshwater Biology*, Vol.15, 391~431  
 7) Odum, H., 1985, Self-organization of ecosystems in marine ponds receiving treated sewage, *US Sea Grant Publication # UNC-SG-B5-04*.  
 8) Nakata, K. and K. Hata, 1994, Evaluation of nutrient cycle in tidal flat, *J of Japan Soc. on Water Environ.* 17 (3), 18~26.  
 9) 海洋水産部, 海洋環境汚染公定試験法, 1998  
 10) 日本水産資源保護協會, 1980, 水質汚濁調査指針, 恒社厚生閣  
 11) 李正奎, 1998, 干潟の創出に關する基礎的 研究, 廣島大學, 博士學位論文.  
 12) Ryou D. K., 1994, Ecological studies on the population of surf clam, *Macra veneriformis* Reeve, Ph.D. Thesis, Dep't of Marine Biology, Cheju National Univ, 12-19 (in korean)  
 13) Lee J Y and Y G. Kim, 1991, Environmental survey on the cultivation ground in the West coast of Korea, *J Aquaculture*, 4(2), 111-128.(in korean)  
 14) Sheo M. S., 1995, Geochemistry and Mineralogy of Surface Sediments from Coastal Area of the Keum River, Ph.D., Dep't of Resource Engineering, Chosun university (inkorean)