

갯벌의 오염물질 정화능력 평가

유선재 · 김종구
 군산대학교 해양환경공학과

Evaluation on the Purification Capacity of Pollutants in the Tidal Flat

Sun-Jae YOU, Jong-Gu KIM

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

To evaluate the purification capacity of pollutants (COD, PO_4^{3-} -P, NO_3^- -N, Cu, Cd, Pb) in the three tidal flats, Eueunri, Gyewhado, Chunjangdae, the experiments were carried out with the batch reactor equipped with artificial tidal flats. Eueunri tidal flat was 98.8% content of silt and clay and Chunjangdae was 97.84% content of sand. The organic matters (I.L., COD_{sed} , POC) in Eueunri tidal flat were 2~8 times higher than other tidal flats. The purification capacity of COD was 0.75 kg/ha/12 hr in Eueunri, 0.60 kg/ha/12 hr in Gyewhado and 0.55 kg/ha/12 hr in Chunjangdae. The mean purification capacity of COD in three tidal flats was 1.27 kg/ha/day. The calculated purification capacity of COD was 25.4 ton/day in the disappeared tidal flat areas (20,000 ha) of the Saemangeum reclamation. The purification capacity of phosphorus was 0.21 kg/ha/12 hr in Gyewhado, 0.39 kg/ha/12 hr in Eueunri and 0.22 kg/ha/12 hr in Chunjangdae. The nitrate was 0.53, 0.74 and 0.43 kg/ha/12 hr, respectively. The purification capacity of heavy metals (Cu, Cd, Pb) were 88.9 g/ha/12 hr, 11.0 g/ha/12 hr, 1.7 g/ha/12 hr in Gyewhado, 89.1 g/ha/12 hr, 18.0 g/ha/12 hr, 2.6 g/ha/12 hr in Eueunri and 55.3 g/ha/12 hr, 18.0 g/ha/12 hr, 2.1 g/ha/12 hr in Chunjangdae, respectively. Accordingly, the purification capacity of pollutants in Eueunri tidal flat with high contents of organic matter were higher than other tidal flats. So, the purification capacity of pollutants were affected by physical and/or chemical characteristics of tidal flats

Key words: tidal flats, purification capacity, pollutants, batch reactor, Gyewhado, Chunjangdae, Eueunri

서 론

우리나라 갯벌은 국토 면적의 3%에 해당하는 약 2800 km²로 세계 5대 갯벌지역의 하나로 알려져 있는데, 그중 83%인 2320 km²가 서해안에 분포하고 있다 (해양수산부, 1998).

이들 갯벌은 예로부터 김이나 백합, 바지락 등이 생산되는 매우 중요한 어업의 장을 제공 하여 왔을 뿐만 아니라 최근에는 어패류의 산란과 먹이 공급처, 홍수예방, 해안선 침식방지, 레크리에이션 및 오염물질 정화기능 등으로 그 중요성이 더욱 부각되고 있다 (홍 1998).

그러나 우리나라 갯벌은 대규모 간척매립공사에 의한 무분별한 개발로 사라지고 있는데, 특히 2011년까지 간척매립 후보지 328개 지구에 4206.01km²로 이중 서해연안은 178개 지구 (54.3%)에 4074.74 km² (96.9%)로 대부분이 서해연안에 집중되어 있다. 또한 1987년 이후 우리나라 갯벌의 15~30%가 간척 매립되었고, 2002년까지 전체 갯벌의 46%가 상실될 것으로 예상된다 (유, 1992). 이와 같은 대규모 간척매립사업은 국토확장이나 지역발전이라는 측면으로 보면 긍정적인 반면, 자연환경의 변화는 그 정도가 심각하지만 과소 평가되고 있다. 특히 자연 생태계에 대한 간척매립 후 지속적인 환경조사나 평가작업은 거의 전무한 실정이다. 연안 선진국들은 간척매립사업을 중단하고 상실된 갯벌의 복원과 창출에 노력하고 있다 (Tuner, 1990). 미국의 경우 1986년 캐나다와 랍사협약이 체결된 후 미국 전 연안에 걸쳐 갯벌을 개발하는 경우에는 자연환경에 대한 완화조치가 규정되어 있고 (Brinson, 1996), 일본도 연안개발에 의해 많은 갯벌이 상실되어 (木村, 1994), 갯벌을 개발하는 경우에는 자연환경에 대한 완화조치 (Mitigation)를

의무적으로 검토하게 규정하고 있다 (福田, 1992).

갯벌에 관한 연구는 외국의 경우 조간대 생물분포나 생태계에 관한 연구 외에도 갯벌 생태계 및 영양염 순환과 오염물질 제거 기작 등에 관한 연구 (Odum 1985, Nakata and Hata 1994)가 활발히 진행되고 있다. 우리나라에서는 조간대의 생물분포에 관한 연구는 일부 이루어져 있으나, 영양염 순환과 오염물질 제거에 관한 연구는 없는 실정이다. 최근 새만금 개발과 아울러 갯벌의 경제적 평가 (한국 해양연구소, 1996 ; 장, 1998)와 연안습지의 보전 및 효율적 이용방안에 관한 연구 (박과 이, 1997) 등이 있으나, 경제성 평가의 한 부분인 오염물질 정화기능에 대해서는 외국의 사례를 이용하고 있어 많은 문제점을 내포하고 있다. 다시말해서, 우리나라의 갯벌은 외국과 달리 염생습지가 거의 존재하지 않으며, 특히 서해안의 갯벌은 조석에 의해 나타내는 조간대의 일부로 모래나 니질로 구성되어 있어 외국의 결과를 그대로 인용하여 갯벌의 정화능력을 평가할 수 없다.

갯벌의 정화능력은 조간대로 유입된 오염물질이 먼저 조석과정을 거치면서 갯벌에 흡착이 일어나고 흡착된 오염물질은 미생물 작용에 의한 분해 및 micro benthos, meio benthod 그리고 macro benthos의 생태계의 순환과정을 거쳐 제거되며 최종적으로 패류의 생산성으로 표현할 수 있다. 조간대에서 일어나는 가장 기본적인 제거기작은 최초의 갯벌에의 흡착 및 미생물학적 과정이라 볼 수 있는데, 이러한 기작은 갯벌의 특성에 따라 큰 변화가 있다고 판단된다.

따라서 본 연구에서는 서해 연안에 분포하는 성상이 서로 다른 3지점의 갯벌을 대상으로 갯벌 자체에 의한 흡착 및 미생물 작용에 의한 오염물질 정화능력을 밝혀보고자 한다.

재료 및 방법

1. 연구대상지역

갯벌의 조성은 오염물질 정화능력을 평가하는데 있어 중요한 항목이다. 따라서 본 연구에서는 대상지역을 서해안 갯벌 중 갯벌의 조성이 다른 세 지점을 선정하였다. 조사지점의 선정은 갯벌의 입도조성이 서로 다른 3지점을 선정하였는데, 대부분이 사질로 구성된 충남 서천군에 위치한 춘장대 앞 갯벌과 사질과 니질이 약 반반씩 분포하는 새만금 매립지역 내 부안군 계화도 앞 갯벌 그리고 대부분이 니질로 구성된 군산시 옥구군 어은리 갯벌을 대상으로 하였다 (Fig. 1).

2. 실험방법

가. 갯벌의 이·화학적 특성조사

1) 저질분석

갯벌의 이·화학적 특성 조사를 위하여 표층 5cm 까지의 갯벌을 채취해, 입경분포, 유기탄소량, 강열감량 및 산화환원전위, COD, 황화물, pH 및 영양염 용출량을 측정하였다.

pH는 1N KCl용액으로 추출 후 상등액을 pH meter로 측정하였고, 산화환원전위는 포화염화은전극 (METTLER 355)를 이용하여 현장에서 측정하였고, 강열감량 (Ignition Loss)은 전기로에서 회화 후 시료의 중량차로 측정하였다. COD는 KMnO₄를 사용해서 소모된 KMnO₄의 양으로부터 유기물량을 산정하였으며, 유기탄소 및 유기질소량은 105~110°C에서 2시간 건조시켜 2 mm mesh의 체를 통과한 시료를 CHN analyzer (Shimadzu)로 분석하였다. 황화물은 검지관법을 이용하여 정량하였고, 중금속 (구리, 카드뮴, 납)은 질산-과염소산-불화수소산법에 의한 분해후 원자흡광광도계로 측정하였다. 저질 입도분석은 유기물을 분해한 후 체 및 피펫분석법으로 분류하여 측정하였다 (해양수산부, 1988 ; 日本

水産資源保護協會, 1980).

2) 수질분석

갯벌의 정화능 측정을 위하여 화학적산소요구량 (COD), 영양염류 (질소 및 인), 중금속을 측정하였다. 화학적산소요구량은 산성과망간산 칼륨법으로 측정하였고, 질산은 Cd-Cu환원법으로, 인산염은 ascorbic acid법으로 측정하였다. 중금속은 원자흡광광도계로 직접 측정하였다 (해양수산부, 1988 ; 동화기술, 1996).

나. 오염물 정화능력 측정

1) 실험시료의 조제

정화능 실험에 사용한 시료는 군산시에서 발생하는 생하수를 채수하여 GF/C 여과지로 여과한 후 하수중의 미생물에 의한 영향을 제거하기 위하여 autoclave로 120°C에서 15분간 멸균한 후 사용하였다.

실험 대상오염물질은 COD, 영양염류 (질소와 인), 중금속 (Cd, Cu, Pb)으로 하였다. 인산염과 중금속은 배출허용기준으로 농도를 맞춘 후 응집의 효과를 제거하기 위하여 GF/C 여과지로 여과한 후 시료수로 사용하였다. 시료수의 농도는 COD 22 ppm, 질산 3.2 ppm, 인산인 7.0 ppm, Cd 28 ppb, Cu 1.3 ppm, Pb 0.2 ppm이었다.

2) 반응기를 이용한 갯벌 정화능력 측정

갯벌의 오염물질 제거능력을 평가하기 위하여 가로×세로×높이 (20×10×10 cm)의 반응기 (Fig. 2)를 제작하고, 여기에 갯벌을 깊이 3 cm에서 비스듬히 바닥까지 채운다. 이때 저질상태를 현장과 같이 유지하기 위하여 현장에서 직접 채취하였다. 반응기를 항온부란기 (20°C)에 넣고 미량펌프를 이용하여 시수를 3 ml/min의 속도유입시켰다. 해양의 조석현상을 재현하기 위하여 시수를 5시간 유입하고 2시간 정지 후 5시간 유출시키는 방법으로 실험을 실시하였으며, 오염물질의 흡착이 본 실험조건에서는 단시간에 일어난다고 가정하여 4일간 (8회) 연속실험을 행하였다. 공시험을 위해 갯벌을 채우지 않은 반응기를 동일조건에서 실험하였다.

결과 및 고찰

1. 갯벌의 물리·화학적 특성

Table 1은 3지점 갯벌시료의 입도분석 결과를 나타내었고, Table 2는 물리화학적 특성을 나타내었다.

3지점 갯벌의 입도분석 결과를 크게 조립사 (Coarse sand), 중립사 (Medium sand), 세립사 (Fine sand), 미세립사 (Very fine sand) 및 니질 (silt & clay)로 구분하였는데, 춘장대 갯벌의 경우 모래가 전체의 97.84%를 차지하였고, 계화도는 84.85%를 차지

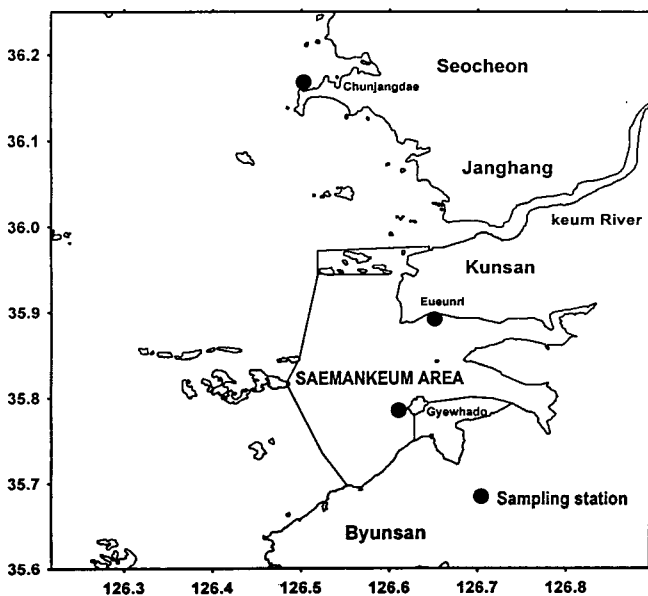


Fig. 1. Map showing sampling stations.

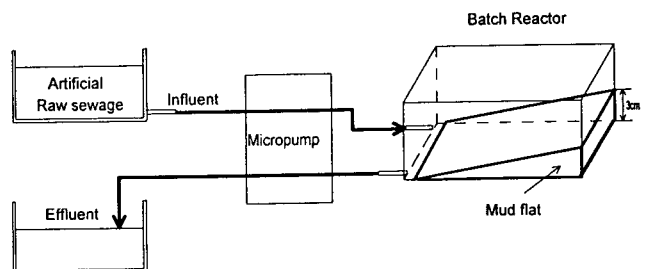


Fig. 2. Schematic diagram of experimental system.

Table 1. Results of a particle analysis for three tidal flats

Item	Station	Chunjangdae	Gaewhado	Eueunri
Coarse sand	<0.5 mm	3.23	0.21	0.02
Medium sand	<0.25 mm	0.63	7.88	0.08
Fine sand	<0.125 mm	55.46	14.19	0.09
Very fine sand	<0.063 mm	38.52	62.57	1.02
Silt & Clay	0.063 mm>	2.16	15.15	98.79
Total	%	100.00	100.00	100.00

Table 2. Characteristics of three tidal flats

Items	Station	Unit	Gaewhado	Eueunri	Chunjangdae
pH			7.66	7.36	7.79
ORP		mV	173	211	227
I.L.		%	1.06	4.32	0.64
H ₂ S		mg/kg	0.015	0.003	ND
COD		mg/kg	2587	13632	2260
POC		mg/kg	885	6879	1594
PON		mg/kg	697	1469	335
Cu		mg/kg	10.3	25.8	4.3
Cd		mg/kg	0.83	1.98	1.13
Pb		mg/kg	17.3	29.3	22.5
Al oxide		%	11.13	14.70	7.82
Fe oxide		%	2.92	5.46	2.79
Mn oxide		%	0.035	0.110	0.034

하였다. 그러나 모래의 분포중에서 세립사 이상의 크기를 비교하면, 춘장대는 59.32%인 반면, 계화도는 22.28%로서 춘장대의 입도분포가 큰 것을 알 수 있다. 어은리 갯벌은 니질이 전체의 98.8%를 차지하여 춘장대 갯벌과는 반대의 입도 특성을 보였다.

pH는 어은리 갯벌이 7.36으로 모래 성분이 많은 춘장대 갯벌인 7.79보다 다소 낮았다. 이들 농도는 김과 노(1997)가 군산연안 내초도 조간대에서 조사된 pH 8.5~9.2보다 훨씬 낮았고, 류(1994)가 군산 옥구군 앞 갯벌에서 조사한 7.1~8.9보다는 전체적으로 낮았다.

산화환원전위(ORP)는 춘장대 갯벌에서 227 mV로 계화도 갯벌 173 mV보다 높은 값을 보였고, 이들 값은李(1998)에 의한 일본 히로시마 간사지에서의 평균 312 mV보다 100 mV 낮은 값이다.

본 조사지역에서의 갯벌이 함유하는 유기오염 지표인 강열감량(IL), 화학적 산소 요구량(COD_{sed}), 탄소 함량(POC), 질소 함량(PON)의 농도를 살펴보면, 니질의 함량이 많은 어은리 갯벌이 다른 두 갯벌보다 2~8배 높은 농도를 나타냈다. 입도와 유기물의 관계에서 니질의 함량이 15.15%인 계화도에서 강열감량이 1.06%이었고, 98%인 어은리 갯벌에서 4.32%로 나타났다. 이는 이 등(1991)이 유기물과 입도의 관계에서 입도중의 니질 함량에 따라 유기물량이 변하는데, 니질의 함량이 20%면 유기물량은 2.5%, 40%면 4.8%, 80%면 10%정도로 나타난다는 보고 보다 조금 낮은 관계를 보였으나 일정한 상관성을 나타내었다.

갯벌의 중금속 농도는 구리(Cu)가 4.3~25.8 mg/kg wet base, 카드뮴(Cd) 0.83~1.98 mg/kg wet base, 납(Pb) 17.3~29.3 mg/kg wet base이었다. 이들 값은 서(1995)의 금강하구 연안해역 퇴적물중 Cu 7.44~10.83 mg/kg, Pb 12.28~16.10 mg/kg과 비슷한 농도

범위였다.

갯벌의 오염물질 흡착능력과 관계 있는 산화알루미늄(Al₂O₃), 산화철(Fe₂O₃), 산화망간(MnO)의 농도는 각각 7.82~14.70%, 2.79~2.92%, 0.034~0.110%이었다. 이들 결과는 서(1995)의 금강하구 연안해역의 표층 퇴적물 중 Al₂O₃ 11.37~13.38%, Fe₂O₃ 3.63~4.26%, 및 MnO 0.06~0.10%로 전반적으로 비슷한 분포였다.

2. 갯벌에 의한 오염물질 정화 능력

가. 갯벌의 유기물 정화능력

연안으로 유입된 유기물은 침강, 흡·탈착 등을 통해 갯벌이나 연안퇴적물로 이동하며, 이동된 유기물은 미생물분해, 생물섭취 등에 의해 제거되어진다. 유기물의 정화능력은 화학적산소요구량(COD)으로 표현하였고, 반응기 실험 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

COD의 유입 원수농도는 평균 21.9 mg/l였으며 공시험 결과 평균 21.8 mg/l로 반응기에 의한 흡착은 거의 무시할 수 있음을 알 수 있었다. 갯벌을 채운 반응기에서 12시간 간격으로 8회 운전한 결과, 유출수 농도가 계화도 갯벌 평균 20.6 mg/l, 어은리 갯벌 평균 20.4 mg/l, 춘장대 갯벌 평균 20.7 mg/l로 어은리 갯벌에서 다른 두 갯벌보다 0.2~0.3 mg/l 더 제거되었다. COD 제거율은 유입 원수에 대해 계화도 갯벌 5.22%, 어은리 갯벌 6.54% 그리고

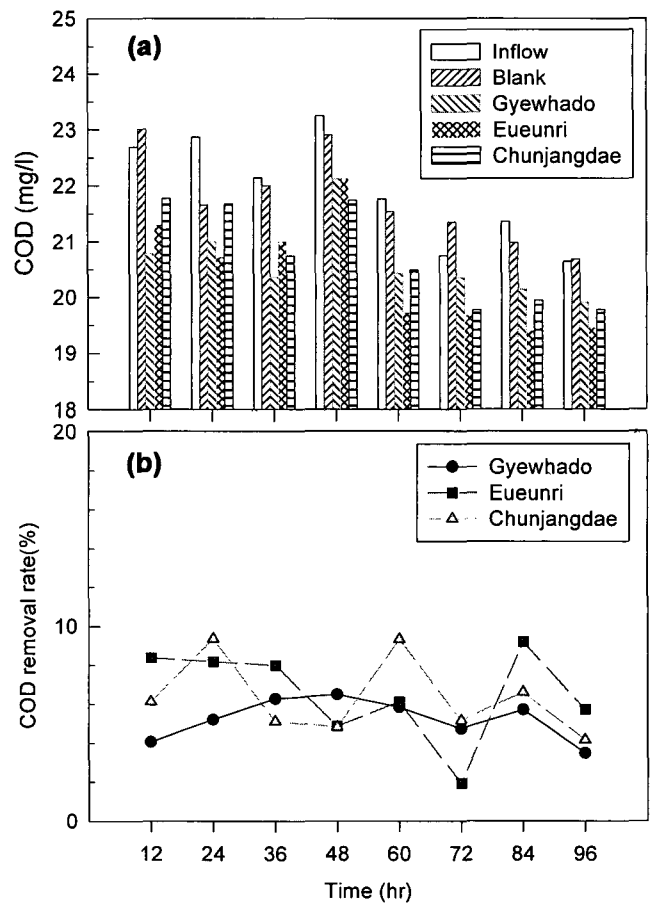


Fig. 3. Variations of COD concentration (a) and removal rate (b) in each reactor with the tidal flats.

춘장대 갯벌 6.33% 이었다.

반응기의 갯벌 면적과 농도를 고려해 COD의 1 ha 당 12시간에 제거되는 양을 계산해보면 어은리 갯벌 0.75 kg/ha/12 hr, 계화도 갯벌 0.60 kg/ha/12 ha 그리고 춘장대 갯벌 0.55 kg/ha/12 hr 이었다. 이들 결과는 스岡등 (1995)의 자연간사지 갯벌을 채운 column 실험에서 구한 3.0~10.0 kg/ha보다 낮은 값이다. 하지만 스岡등 (1995)의 실험은 column통과 실험의 결과로 최대흡착량이며, 본 실험과는 해석 방법에 차이가 있다.

본 실험 결과 3개 갯벌의 1일 평균 COD 제거율은 1.27 kg/ha/day이었다. 이와같은 계산 결과를 이용해 새만금 간척사업으로 소멸되는 20000 ha (환경부 1996)의 면적에서 제거될 수 있는 유기물량은 25.4 ton/day로 계산되었다. 새만금 갯벌 자체에 의한 유기물 제거량 24.5 ton/day는 1997년 현재 전라북도에서 가동중인 전주와 익산 하수처리장 운전시 (환경부 1998) COD 제거량, 전주 11.5 ton/day 및 익산 4.6 ton/day, 보다 높았다. 따라서 무분별한 간척사업으로 갯벌의 소멸은 자연환경에서 유기오염물의 정화에 악 영향을 끼칠 것으로 판단되었다.

나. 갯벌의 영양염 정화능력

영양염류는 해양의 부영양화를 촉진시켜 적조를 유발하는 원인 물질로서 해양에서 대단히 중요한 인자이다. 갯벌에서도 영양염류는 갯벌에서 생활하는 생물에게 직접 이용되는 중요한 인자로서 생물학적 작용에 의한 정화능력은 상당히 큰 것으로 알려져 있다.

인산인의 제거는 흡착과 침전에 의해서 주로 제거되어지며 (Nichols, 1983), 그 외에 생물의 섭취 및 저질에 흡착으로도 제거가 이루어진다. 또한 갯벌내 존재하는 3개의 철과 알루미늄이 많을수록 인의 침전이 증대된다고 보고되어 있고 (Cooke, 1992), 인은 저질의 Al, Fe, Ca 등 무기성분과 저질의 clay 입자 등에 의해 급속 반응을 하는 것으로 알려져 있다 (Nichols 1983).

따라서 갯벌의 인산인 정화능력을 알아보기 위해 반응기에서 행한 실험결과를 Fig. 4에 나타내었다. 인산인의 유입 원수농도는 평균 7.02 mg/l 농도였으며, 공시험 평균 농도는 7.12 mg/l로 공시험에서 0.1 mg/l 높았는데 이는 분석시 희석오차 때문인 것으로 생각된다. 갯벌을 채운 반응기에서 12시간 간격으로 8회 운전한 결과, 유출수 농도는 계화도 갯벌 평균 6.72 mg/l, 어은리 갯벌 평균 6.42 mg/l, 춘장대 갯벌 평균 6.70 mg/l로 어은리 갯벌에서 다른 두 갯벌보다 0.28~0.30 mg/l 더 제거되었다. Fig. 2의 인산인 평균 제거율은 유입 원수에 대해 계화도 갯벌 5.61%, 어은리 8.67%, 그리고 춘장대 4.58% 이었다. 이러한 결과는 위에서 언급한 Cooke (1992)의 보고와 비슷한 결과를 나타내었다.

반응기의 갯벌 면적과 농도를 고려해 인산 인의 1 ha당 12시간에 제거될 수 있는 양을 계산해 보면 계화도 갯벌 0.21 kg/ha/12 hr, 어은리 갯벌 0.39 kg/ha/12 hr 그리고 춘장대 갯벌 0.22 kg/ha/12 hr이었다. 이들 결과는 스岡등 (1995)의 0.2 kg/m²~1.07 kg/m²과 비슷한 수준이었다. 본 실험방법과 스岡등 (1995)의 실험방법은 다르지만 비슷한 결과를 보였는데, 이와 같은 결과는 인산인이 갯벌의 표면에서 제거되기 때문인 것으로 생각되었다.

인산인과 함께 해양의 부영양화나 적조의 원인물질인 질산질소의 갯벌에서 정화능력을 평가해보았다. 질소의 제거기작은 저서생물과 부착 미생물의 흡수, 암모니아의 휘발 및 질산화와 탈질

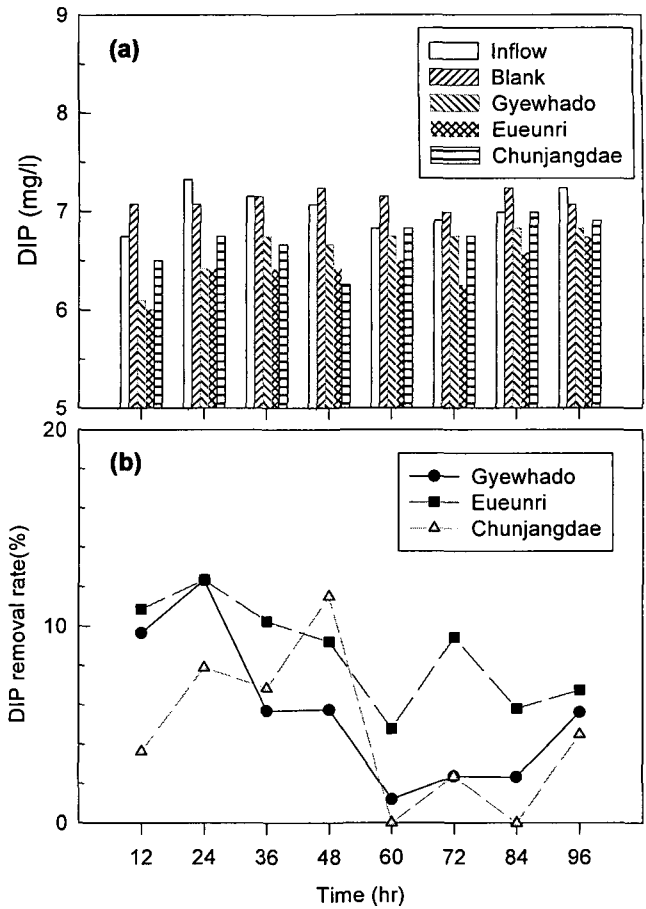


Fig. 4. Variations of DIP concentration (a) and removal rate (b) in each reactor with the tidal flats.

반응을 통하여 이루어진다. Gerberg (1983)은 습지에서의 질소의 주요 제거기작은 질산화와 탈질화반응이라고 보고하였다.

반응기에 유입되는 질산질소의 평균농도는 3.20 mg/l이었고, 공시험 평균농도는 2.01 mg/l로 1 mg/l 이상이 낮아졌다. 반응기에서 12시간 운전한 결과 평균 농도는 계화도 1.01 mg/l, 어은리 0.68 mg/l, 그리고 춘장대 1.19 mg/l로 어은리 갯벌에서 다른 두 갯벌보다 0.33~0.51 mg/l 더 제거되었다. 각 갯벌에 의한 유입수중 질산질소의 평균농도와 유입원수 평균농도 차로 제거율을 계산해 보면, 계화도 갯벌 62.4%, 어은리 갯벌 74.7%, 그리고 춘장대 갯벌 56.3%이었다. Bartlett et al. (1979)의 보고에 의하면 혐기성 상태의 저질이나 습지토양에 혼합된 질산질소는 수일 내에 90% 이상이 탈질소나 미생물학적 고정 등에 의해 변환되어진다고 하였는데, 본 실험은 호기적 조건(유입수 용존산소 6 ± 0.2 mg/l)이기 때문에 다소 낮은 것으로 판단 되었다 (Fig.5).

제거된 질산질소 양과 반응기 갯벌 면적을 고려하여 1ha당 12시간동안에 제거할 수 있는 양을 계산하여 보면, 계화도 갯벌 0.53 kg/ha/12 hr, 어은리 갯벌 0.74 kg/ha/12 hr 그리고 춘장대 갯벌 0.43 kg/ha/12 hr 이었다. 이들 결과는 스岡등 (1995)의 5.2~18.0 kg/ha 보다 훨씬 낮은 값이었지만, 본 실험의 제거율 40.7~66.4%는 스岡등 (1995)의 9.2~15.6% 보다는 높았다.

현재 전라북도에서 가동중인 전주와 익산 하수처리장의 영양

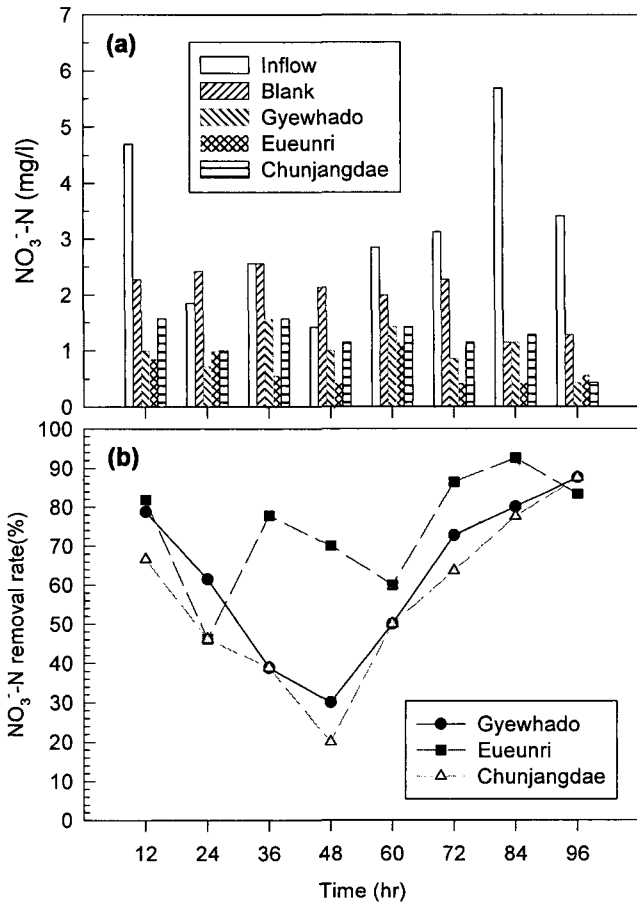


Fig. 5. Variations of NO_3^- -N concentration (a) and removal rate (b) in each reactor with the tidal flats.

염류 제거량 (환경부, 1998)을 계산하고, 본 연구에서의 영양염류 제거량을 새만금 유역내 소멸될 갯벌의 크기 (20,000 ha)에서 정화되는 영양염류의 양으로 환산하여 새만금내 갯벌에서 정화되는 영양염류 양이 하수처리장 몇 개의 처리량에 해당되는지를 비교 평가해 보았다. 계산 결과는 인산인의 경우 10.8 ton/d, 질소의 경우 22.7 ton/d로서 익산과 전주 처리장에서 제거되는 총제거량인 인산인 106.8 kg/d와 질소 3611.8 kg/d보다 인산인은 101배, 질소는 63배의 영양염류 제거능을 나타내었다.

일반적인 하수처리장에서의 오염물질 제거는 유기물을 제거하는 2차처리 공정에 그치고 있고, 해역에서 부영양화의 중요한 인자로 작용하는 영양염류는 거의 처리되지 않고 유출되고 있는 실정이다. 이러한 미처리된 영양염류는 연안갯벌을 통과하면서 제거되는데, 특히 서해안의 경우 갯벌의 폭이 수십 km 이상 발달되어 있어 유입된 영양염류의 대부분이 갯벌내에서 제거되어 진다고 볼 수 있다.

다. 갯벌의 중금속 정화능력

해역으로 유입된 중금속은 해수중 유기·무기 리간드 결합하거나 이온 상태로 존재하면서 생태계에 악영향을 미친다. 생하수에 Cu, Cd, Pb를 첨가하고 다시 GF/C로 여과한 후 갯벌에 의해 제거되는 중금속의 양을 구하였다. Fig. 6에 Cu의 농도 변화를 나타냈는데, Cu의 유입 원수농도는 평균 1388.8 $\mu\text{g}/\text{l}$ 이었고 공실험

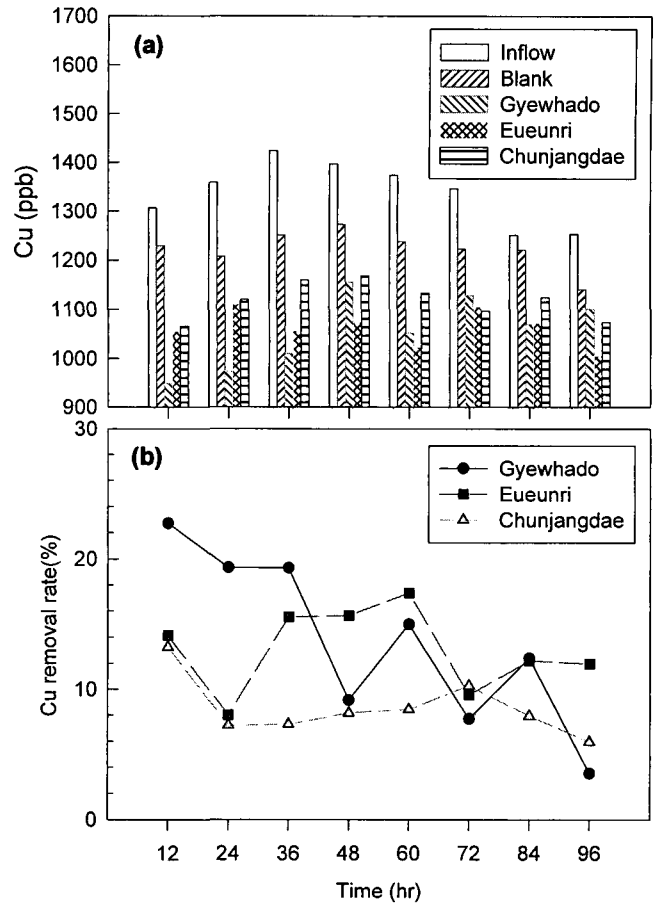


Fig. 6. Variations of Cu concentration (a) and removal rate (b) in each reactor with the tidal flats.

결과 평균 1222.9 $\mu\text{g}/\text{l}$ 로 115.9 $\mu\text{g}/\text{l}$ 가 반응기나 유입수 용기 등에 일부 흡착되어지는 것으로 판단되었다. 갯벌을 채운 반응기에서 12시간 간격으로 8회 운전한 후 Cu 평균농도는 계화도 갯벌 1055.2 $\mu\text{g}/\text{l}$, 어은리 갯벌 1062.8 $\mu\text{g}/\text{l}$ 그리고 춘장대 갯벌 1118.0 $\mu\text{g}/\text{l}$ 로 유기물이나 영양염 제거에서와는 달리 계화도 갯벌에서 다른 두 갯벌보다 7.60~62.8 $\mu\text{g}/\text{l}$ 더 흡착되었다. 각 갯벌에 의한 유입수중 Cu의 평균농도와 공실험 평균농도 차로 제거율을 계산해 보면, 계화도 13.7%, 어은리 13.1% 그리고 춘장대 8.6%이었다.

반응기에서 Cu 제거량과 반응기 갯벌 면적을 고려해, 1 ha 당 12시간에 제거될수 있는 양을 계산해 보면 계화도 갯벌 88.9 g/ha/12 hr, 어은리 갯벌 89.1 g/ha/12 hr 그리고 춘장대 갯벌 55.3 g/ha/12 hr로 어은리와 계화도 갯벌이 춘장대 갯벌보다 제거량이 1.6배 높았다.

Fig.7에 Pb의 반응기 실험 결과를 나타내었다. Pb의 평균 유입농도는 203.1 $\mu\text{g}/\text{l}$ 이었고, 공실험 평균농도는 182.9 $\mu\text{g}/\text{l}$ 로 20.2 $\mu\text{g}/\text{l}$ 가 반응기나 유입수 용기 등에 흡착되어지는 것으로 판단되었다. 갯벌을 채운 반응기에서 12시간 간격으로 8회 운전한 후, 각 반응기의 Pb평균농도는 계화도 갯벌 162.2 $\mu\text{g}/\text{l}$, 어은리 갯벌 150.4 $\mu\text{g}/\text{l}$ 그리고 춘장대 갯벌 158.2 $\mu\text{g}/\text{l}$ 로 어은리 갯벌이 다른 두 갯벌에서 보다 7.8~11.8 $\mu\text{g}/\text{l}$ 더 흡착되었다. Fig.5에 Pb의 각 운전 시간당 제거율을 나타내었는데 공실험 평균농도와 차로 계산해

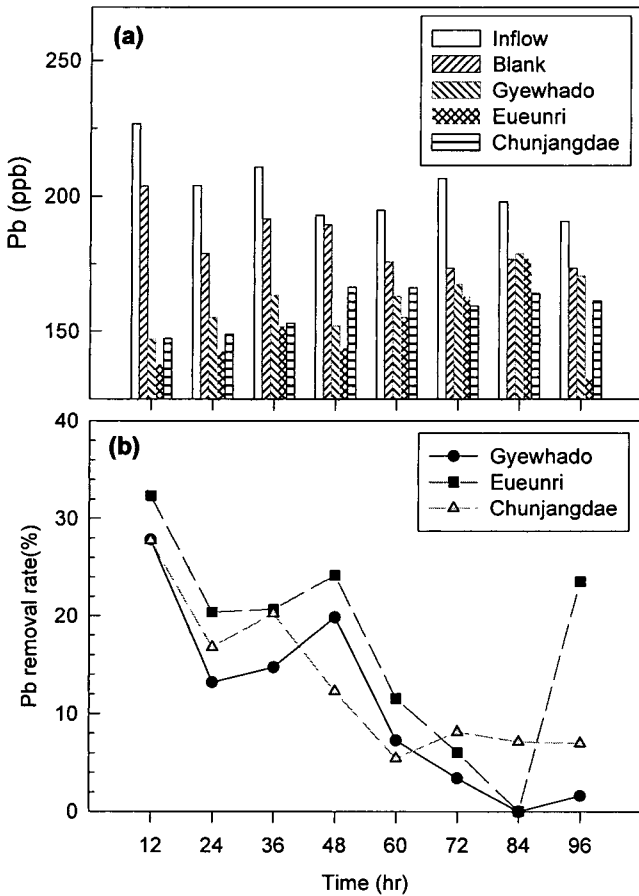


Fig. 7. Variations of Pb concentration (a) and removal rate (b) in each reactor with the tidal flats.

보면, 계화도 11.3%, 어은리 17.7% 그리고 춘장대 13.5% 이었다. 이들 제거율은 구리의 8.6~13.7%보다는 다소 높았다.

Pb 제거량과 반응기 갯벌 면적을 고려해 1 ha당 12시간에 제거할 수 있는 양으로 환산해 보면, 계화도 갯벌 11.0 g/ha/12 hr, 어은리 갯벌 18.0 g/ha/12 hr 그리고 춘장대 갯벌 13.1 g/ha/12 hr로 어은리 갯벌이 다른 두 갯벌보다 제거량이 1.4~1.6배 높았다.

Fig.8에 Cd의 반응기 실험결과를 나타내었다. Cd의 평균 유입농도는 28.8 $\mu\text{g}/\ell$ 이었고, 공시험 평균농도는 25.5 $\mu\text{g}/\ell$ 로 3.3 $\mu\text{g}/\ell$ 가 앞서 언급된 금속과 마찬가지로 흡착된 것으로 판단되었다. 갯벌을 채운 반응기에서 12시간 간격으로 8회 운전한 후, 각 반응기의 Cd 평균 농도는, 계화도 갯벌 22.3 $\mu\text{g}/\ell$, 어은리 갯벌 20.9 $\mu\text{g}/\ell$ 그리고 춘장대 갯벌 21.5 $\mu\text{g}/\ell$ 로 어은리 갯벌이 다른 두 갯벌에서보다 0.6~1.4 $\mu\text{g}/\ell$ 더 흡착되었다. Fig.6에 각 운전 시간당 Cd 제거율을 나타냈는데, 공시험 평균농도 차로 계산해 보면, 계화도 12.6%, 어은리 18.1% 그리고 춘장대 갯벌 15.6%이었다. 이들 평균 제거율은 Cd평균 제거율 11.3~17.7%와 비슷하고 구리 평균 제거율 8.6~13.7%보다는 약간 높았다.

Cd 제거량과 반응기 내 갯벌 면적을 고려해 1 ha 당 12시간에 제거할 수 있는 양으로 환산해 보면, 계화도 갯벌 1.7 g/ha/12 hr, 어은리 갯벌 2.6 g/ha/12 hr 그리고 2.1g/ha/12hr로 어은리 갯벌이 계화도 갯벌 보다 1.5배 높은 제거율이었다.

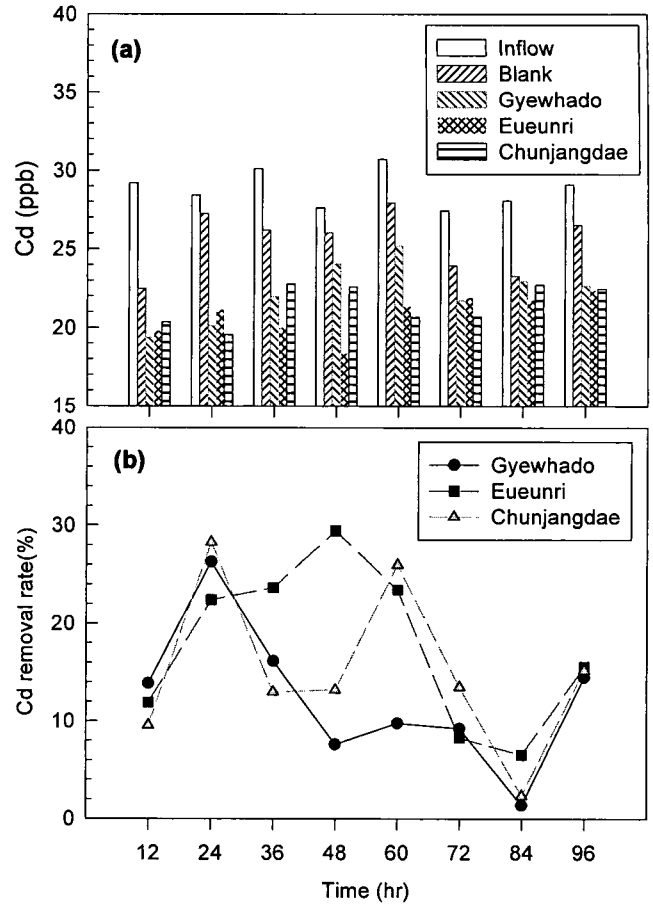


Fig. 8. Variations of Cd concentration (a) and removal rate (b) in each reactor with the tidal flats.

이상에서와 같이 갯벌의 중금속 정화능력은 앞서 언급한 갯벌의 특성 중 입자의 크기나 Al, Fe, Mn의 양에 관계 있는 것으로 생각된다.

요 약

우리나라 갯벌의 오염물질 정화능력을 알아보기 위해 물리, 화학적 특성이 서로 다른 충남 서천군 춘장대 갯벌, 전북 옥구군 어은리 갯벌 그리고 전북 계화도 갯벌을 채취하였다. 실험은 갯벌의 물리화학적 성분분석을 행하고, 갯벌을 채운 반응기를 이용해 유기물, 영양염류 및 중금속의 정화능력을 평가해 보았다.

1. 3개 갯벌의 입도분석 결과 어은리 갯벌이 니질의 함량이 98.8%로 가장 높고, 춘장대 갯벌은 모래성분이 97.84%로 가장 높았다. 유기물함량(IL,COD,POC)은 니질 함량이 높은 어은리 갯벌에서 다른 두 갯벌 보다 2~8배 이상 높았다.

2. 갯벌의 유기물 정화능력을 COD로 계산한 결과, 어은리 갯벌 0.75 kg/ha/12 hr, 계화도 갯벌 0.60 kg/ha/12 ha 그리고 춘장대 갯벌 0.55 kg/ha/12 hr 이었고, 3개 갯벌의 1일 평균 COD 정화능력은 1.27 kg/ha/day이었다. 앞의 결과를 새만금 간척사업으로 소멸될 면적 (20000 ha)에서 제거될 수 있는 유기물량으로 환산하면 25.4 ton/day로 계산되었다.

3. 갯벌의 영양염류 정화능력은 인산 인의 경우, 계화도에서 0.21 kg/ha/12 hr, 어은리에서 0.39 kg/ha/12 hr, 그리고 춘장대에서 0.22 kg/ha/12 hr였고, 질산질소는 계화도에서 0.53 kg/ha/12 hr, 어은리에서 0.74 kg/ha/12 hr 그리고 춘장대에서 0.43 kg/ha/12 hr 이었다.

4. 갯벌의 중금속 정화능력은 Cu의 경우, 계화도 갯벌 88.9 g/ha/12 hr, 어은리 갯벌 89.1 g/ha/12 hr 그리고 춘장대 갯벌 55.3 g/ha/12 hr이고 Pb는 계화도 갯벌 11.0 g/ha/12 hr, 어은리 갯벌 18.0 g/ha/12 hr 그리고 춘장대 갯벌 13.1 g/ha/12 hr 그리고 Cd는 계화도 갯벌 1.7 g/ha/12 hr, 어은리 갯벌 2.6 g/ha/12 hr 그리고 2.1 g/ha/12 hr 이었다.

이상의 결과에서 갯벌의 정화능력은 니질의 함량이 많은 어은리 갯벌이 모래로 이루어진 춘장대 갯벌보다 상대적으로 높은 정화능력을 나타내어, 갯벌의 물리, 화학적 성상이 중요한 역할을 하는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

- Bartlett, M.S., Brown, L.C., Hanes, N.B. and Nickerson, N.H., 1979, Denitrification in freshwater wetland soils, *J. Environ. Qual.*, 3 : 409~413.
- Brinson, M.M. and Rheinhardt, R., 1996, The role of reference wetlands in functional assessment and mitigation, *Ecological Applications* 6 (1), 69~76.
- Cooke, J.G., 1992, Phosphorus removal processes in a wetland after a decade of receiving sewage waters, *J. Environ. Quality*, 21, 733~739.
- Gersberg, R.M., 1983, Nitrogen removal in wetland treatment of wastewater, *Water Reseach*, Vol.17, 1009~1014.
- Howard Odum, 1985, Self-organization of ecosystems in marine ponds receiving treated sewage, US Sea Grant Publication # UNC-SG-B5-04.
- Jang S.H., 1998, A study on economic cost of ecosystem service of wetlands and estuaries in the cost-benefit analysis of reclamation project, M.S. Thesis, Dep't of Environ, Planning, Seoul National University, 61~64 (in korean).
- Nakata, K. and Hata, K., 1994, Evaluation of nutrient cycle in tidal flat, *J. of Japan Soc. on Water Environ.* 17 (3), 18~26.
- Nichols, D.S. 1983, Capacity of natural wetlands to remove nutrients from wastewater, *J. of WPCF*, 55 (5), 495~505.
- Kim J.Y. and Noh Y.T., 1997, Feeding habits of *Acanthogobius elongatus* from the Kunsan coast intertidal zone, Neacho-do in the west coast of Korea, *J. Korean Fish. Soc.*, 30 (3), 413~422. (in korean)
- Lee J.Y. and Kim Y.G., 1991, Environmental survey on the cultivation ground in the West coast of Korea, *J. Aquaculture*, 4 (2), 111~128. (in korean)
- 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)
- 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. (in korean)
- Turner, R.E., 1990, Landscape development and coastal wetland losses on the northern Gulf of Mexico. *American Zoology*, 30, 89~105
- 福田 和國, 横山 正樹, 原 浩史, 1992, Mitigation를 目的とした 人工干潟造成事業, *土木施工* 3 (10), 53~60.
- 木村 賢史, 1994, 人工干潟の水質浄化機能, *ヘドロ*, 60 ; 59~81.
- 李正奎, 1998, 干潟의 創出에 關する 基礎的 研究, 廣島大學, 博士學位論文, pp19~22.
- 日本水産資源保護協會, 1980, 水質汚濁調査指針, 恒星社厚生閣, pp 237~261.
- 今岡務, 鹽谷降亭, 龜井幸一, 1995, 人工干潟の水質浄化能に關する實驗的檢討, *用水と廢水*, 32 (12), 978~985.
- 海洋水産部, 海洋環境汚染公定試驗法, 1998, pp233~243.
- 환경오염공정시험법, 1996, 동화기술, pp115~275.
- 박태운 · 이동근, 1997, 연안습지의 보전 및 효율적 이용방안에 관한 연구, 한국환경정책평가연구원, pp8~22.
- 안창우, 1995, 습지를 이용한 수처리의 이론적고찰, *첨단환경기술*, 4 : 60~69.
- 유봉석, 1992, 서해 연안어장의 환경오염에 따른 대체 수산자원 개발의 필요성과 대책, 한국수산 학회, 추계심포지움, pp41~57.
- 홍재상, 1998, 한국의 갯벌, 대원사, pp114~118.
- 한국해양연구소, 1996, 갯벌보전과 이용의 경제성 평가, 환경부, pp62~63.
- 환경부, 1998, '97 하수도통계, 수도정책과.
- 해양수산부, 1998, 우리 나라의 갯벌, pp3~7.

1999년 2월 24일 접수

1999년 6월 23일 수리