한국환경과학회지 제9권(제3호), 223~228, 2000
J. of the Korean Environmental Sciences Society

통수실험에 의한 갯벌의 오염물질 정화능력 평가

김 종 구 · 유 선 재
군산대학교 해양환경공학과
(1999년 4월 30일 접수)

Evaluation to Purification Capacity of Pollutants by Column Test with the tidal flat sediment

Jong-Gu Kim and Sun-Jae You
School of Civil and Environmental Engineering, Kunsan National University, Kunsan 573-702, Korea
(Manuscript received 30 April, 1999)

The purpose of this study is to evaluate the purification capacity of pollutants by column test with the tidal flat sediment. Sediment materials were taken from Chunjangdae tidal flat which located in Chungnam Seochungun. The column tests were conducted on four conditions(R1 : raw sewage filtered by G2 filter, R2 : sterilized sewage after filtered by GF/C filter, R3 : R2 /filtered(membrane) seawater (1:1), R4 : R2 /filtered(membrane) seawater(1:2)). The results of this study may be summarized as followed ;

The removed COD by column tests were increased according to increasing the quantity of sewage. During the column tests of 580min, the total removed ammonia nitrogen were 90.1㎎ for R1, 81.0㎎ for R2, 27.6㎎ for R3 and 4.1㎎ for R4. The result was similar to COD experiment. During the 580min, the total removed total-phosphates were 3.4㎎ for R1, 4.2㎎ for R2, 5.6㎎ for R3 and 2.0㎎ for R4.

The removal efficiency of Pb and Cd for R3 and R4 reactor were higher than R1 and R2 reactor. The remove of heavy metal by the column test was high in sample with seawater. But in the initial 20min, the adsorbed Pb and Cd showed about 3% of the total adsorbed Pb and Cd during 580min.

Key words : tidal flat sediment, column test, purification capacity, removal efficiency

1. 서 론

우리나라는 서 · 남해안을 중심으로 광대한 갯벌이 발달되어 있으며, 그 면적은 국토면적의 3%에 해당되는 약 2,800km^{2}로 세계 5대 갯벌에 속한다. 특히 갯벌 전체 면적의 83%에 해당하는 서해안 갯벌은 우리나라 패류의 주 생산지로 수산업 측면에서 대단히 중요한 지역이라 할 수 있다.[1]

그러나 산업발전에 따른 토지수요의 증가 및 국토확장과 식량확보라는 국가정책에 따라 많은 갯벌이 간척 매립되었다. 하지만 최근 매립사업에 따른 갯벌상실이 환경적인 측면에서 그 중요성을 인식하여 갯벌매립에 대한 국가 정책이 전면 수정되었으며, 갯벌보호와 관련된 법안이 제정되고, 갯벌의 경제성 평가 및 갯벌 관련 연구가 시작되고 있다.

이러한 연구 중에서 갯벌에 의한 오염물질 제거능력을 경제적인 가치로 환산하는데는 실제로 많은 어려움이 있다. 왜냐하면 현재 경제적 가치를 평가하는데 이용되는 자료는 외국의 염습지 및 mangrove습지 자료를 이용함으로써 국내 갯벌의 가치를 정확히 평가하지 못하고 있는 실정이다. 따라서 갯벌의 정화능력을 경제적 가치로 정확히 환산하기 위해서는 실제의 오염물질 수용능력 및 정화능력에 기초한 평가가 중요하다.

갯벌에서 오염물질의 정화과정을 살펴보면 먼저 육상으로부터 유입된 오염물질은 조석작용과 침강에 의해 갯벌로 이동되고, 이동된 오염물질은 미생물에 의한 유기물의 분해과정과 갯벌에 의한 흡착 등이 일어난다. 그리고 저서생물에 의한 무기물 섭취과정을 통하여 생물생산으로 나타나게 된다.

습지의 정화기능에 관련된 연구를 보면, 외국의 경우 습지를 이용한 폐수 및 하수 유출수의 영양염류 제거와 관련된 연구,[2~10] 습지에서의 영양염 수지 및 모델링에 관한 연구[11~11] 등 습지에 관한 많은 연구가 있으나, 국내의 경우 습지와 관련된 연구의 대부분이 생태계와 관련된 조사로서 오염물질의 정화능력에 대한 연구는 없는 실정이다.

갯벌의 오염물질 정화능력 측정방법은 mangrove습지의 경우 단위지역내의 유입수에 대한 유출수의 농도변화를 바탕으로 정화능력을 평가하고 있고,[2] 우리나라와 같

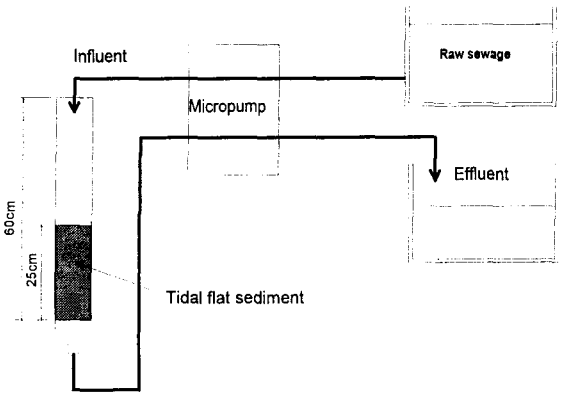

Fig. 1. Schematic diagram of experimental system.

은 모래나 뻘 갯벌에 대한 정화능력 측정법은 정해진 방법은 없다. 이에 대한 유사한 실험으로 유와 김[15]이 plate반응기를 이용한 갯벌의 정화능을 평가한 예가 있고, 일본의 인공간석지를 대상으로 통수실험에 의한 정화능을 평가한 예가 있다.

본 연구에서는 갯벌의 정화기능 평가를 위한 하나의 실험적 접근방법으로, 투수 가능한 충남 서천군 춘장대 갯벌을 이용해 통수실험에 의한 하수와 해수의 비율에 따른 오염물질 제거능력을 평가해 보았다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구대상지역

갯벌의 오염물질 정화능력을 평가하기 위하여 투수능이 15㎖/min이상이 되는 충남 서천군 춘장대 갯벌을 이용하였다. 춘장대 갯벌은 주변에 인위적 오염원이 거의 없는 모래갯벌로서 현재 해수욕장으로 이용되고 있으며, 여러 종류의 저서생물이 공존하는 지역이다.

2.2. 연구내용 및 방법

2.2.1. 갯벌의 물리, 화학적 특성조사

갯벌의 물리 · 화학적 특성 조사를 위하여 코아채니기를 이용하여 25cm 까지의 갯벌을 채취하여 표층에서부터 5cm 간격으로 입경분포, pH, 산화환원전위, COD, 유기탄소와 유기질소(CHN ,Yanaco MT-2), 강열감량, 황화물, 중금속(Simadzu 6601F) 및 영양염 용출량을 측정하였다.[16,17]

2.2.2. 오염물 정화능력 측정

2.2.2.1. 실험시료의 조제

실험에 사용한 시료수는 익산시 하수처리장의 최초침전지에서 채취한 생하수를 이용하였다. 생하수와 해수의 혼합비에 따른 오염물질 제거능을 살펴보기 위하여 4종류의 시료수를 만들어 사용하였다.

첫째는 하수처리장 최초침전지의 생하수를 G2여과지(6㎛)로 여과한 여액(**R1**)을 이용하였고, 둘째는 생하수를 GF/C여과지(1.2㎛)로 여과 후 하수중의 미생물에 의한 영향을 제거하기 위하여 고압멸균기(autoclaver)로 120℃에서 15분간 멸균한 하수(**R2**)를 사용하였다. 셋째는 여과 · 멸균된 생하수를 membrane filter로 여과한 해수와 1:1(하수:해수)로 혼합한 시료수(**R3**)를 이용하였으며, 넷째는 R3에서 사용된 하수와 해수의 비를 1:2로 혼합한 시료수(**R4**)를 이용하였다.

실험 대상 오염물질은 유기물(COD), 영양염류(질소와 인), 중금속(Cd, Pb)으로 하였다. 중금속은 생하수중 농도가 낮아 미량첨가하여 시료수 농도가 Cd 66.2~104.1 ㎍/ℓ, Pb 607~976㎍/ℓ)되게 하였다.

2.2.2.2. 통수실험을 통한 갯벌 정화능력 평가

통수실험을 통한 갯벌의 정화능력 평가를 위해 충남 서천군 춘장대 갯벌을 현장에서 아크릴칼럼(직경 60mm ×높이 60cm)에 채취해서 실험을 행하였다. 하부에 갯벌의 유출을 막기 위하여 망사를 사용하였다(Fig. 1).

실험방법은 칼럼에 앞에서 조제된 시료수를 연속적으로 공급하고 일정 시간간격(220분까지는 20분 간격, 그 후 330분까지는 30분 간격 그리고 나머지는 60분 간격)으로 시료를 채취하여 시험수로 하였으며, 전체 실험시간은 1,060분이었지만 580분 이후 R1과 R2 칼럼에서 서서히 막힘현상이 나타나 정확한 유량을 구할 수 없었기 때문에 본 연구의 결과는 580분까지만 이용하였다. 칼럼으로의 유입속도는 15㎖/min로 연속 유입 및 유출을 시켰다. 실험에 사용된 칼럼 내 갯벌의 높이는 모두 25cm로 맞추었다.

2.2.2.3. 수질분석

통수실험에서 채취된 시험수에 대하여 화학적산소요구량(COD), 영양염류(질산질소, 암모니아질소, 인산인), 중금속(Cd, Pb)을 측정하였다. COD는 산성 $KMnO_4$법과 알카리성 $KMnO_4$법으로 측정하였고, 질산질소는 Cd-Cu환원법, 암모니아질소는 indophenol법, 인산인은 ascorbic-acid법으로 측정하였다. 중금속은 원자흡광광도계(Shimadzu, 6601F)로 직접 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 갯벌의 물리, 화학적 특성

춘장대 갯벌의 수직적 입도 특성을 살펴보면, 모래성분이 전체의 98.0%를 차지하고 있었으며 그 중 세립사가 63.6%로 가장 많았다. 하지만 표층에서 아래로 갈수록 미세립사의 함량이 증가하였다.

춘장대 갯벌의 화학적 특성을 살펴보면, pH는 평균 8.6, 산화환원전위(ORP)는 평균 162mV를 나타내었다. 유기물 오염지표와 관련이 있는 강열감량(Ignition Loss)은 0.9%, COD는 1,789mg/kg을 나타내었다. 유기탄소는 평균 1.56mg/g, 유기질소는 0.47mg/g이었으며, 저층으로 갈수록 낮아지는 경향을 나타내었다. 중금속의 함량은 Cu가 평균 8.34mg/kg, Cd가 1.62mg/kg, Pb가 29.89mg/kg을 나타내었고, 영양염 용출실험으로 구한 용출량은 암모니아질소가 0.712mg/kg, 질산질소가 0.530mg/kg, 인산인이 0.323mg/kg을 나타내었다.

춘장대 갯벌의 수리학적 특성은 평균 투수속도가

0.01584cm/s로서 투수량이 18.66㎖/min으로 나타났다.

3.2. 통수실험에 의한 오염물질 정화능력

오염물질 정화능력을 평가하기 위한 실험적 연구로서 통수실험을 이용하였다. 투수실험에서 양호한 투수능을 보인 준장대 갯벌을 이용하여 앞에서 조제된 4종류의 시료수(R1~R4)에 대하여 통수실험에 의한 오염물질의 정화능력을 비교 평가해 보았다. 각 칼럼에서 580분 실험한 후 오염물질의 평균 유입수 농도와 평균 유출수 농도의 차이를 이용해 구한 평균 제거율을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Average removal percentage of pollutants in each column

Column \ Item		COD (mg/ℓ)	Total-P (mg/ℓ)	NH_4^+-N (mg/ℓ)	NO_3-N (mg/ℓ)	Pb (μg/ℓ)	Cd (μg/ℓ)
R1	Inf.	47.7	1.42	29.25	3.47	858	66.2
	Eff.	42.7	0.99	15.37	1.01	288	25.7
	R.P.(%)	10.5	30.3	47.5	70.9	66.4	61.2
R2	Inf.	47.9	1.32	24.35	4.47	607	83.4
	Eff.	44.6	0.78	12.86	3.68	140	14.4
	R.P.(%)	6.9	40.9	47.2	17.7	76.9	82.7
R3	Inf.	16.4	1.41	11.94	4.69	976	104.1
	Eff.	14.7	0.71	8.66	4.40	53	7.2
	R.P.(%)	10.4	49.6	27.5	6.2	94.6	93.1
R4	Inf.	13.1	1.14	7.85	4.76	681	90.9
	Eff.	12.0	0.91	7.24	5.39	35	10.5
	R.P.(%)	8.4	20.2	7.8	-13.2	94.9	88.4

*) Inf. : Mean inffluent conc., Eff. : Mean effluent conc., R.P. : Removal percentage

3.2.1. 유기물 정화능력

통수실험에서의 유기물 정화능력은 화학적산소요구량(COD)의 제거능력으로 표현하였다. 일반적으로 연안해역으로 유입된 유기물은 침강 및 흡착에 의해 갯벌이나 저질로 이동된 후 생물학적 작용에 의하여 1차 생산자가 이용할 수 있는 무기물로 변환되어진다.

본 실험에서 유기물의 제거는 갯벌에 의한 여과, 흡착이 주 반응인 것으로 생각되며, 흡착 후 갯벌의 미생물학적 분해가 일어난다고 볼 수 있다.

각 칼럼(R1~R4)에서 시간에 따른 유입수와 유출수의 COD 농도 차이와 COD의 제거된 누적 양을 Fig. 2에 나타냈다.

각 칼럼에서 580분 실험한 후 제거된 COD의 총 제거양은 R1 49.1㎎, R2 23.5㎎, R3 14.8㎎, R4 7.5㎎으로 R1에서 가장 높게 나타났다. 칼럼 실험(R1~R4) 시작 후 180분 동안에 제거된 양은 총 제거 양의 23%, 43%, 40%와 72%로 각각 나타나 R2~R4는 40% 이상이 180분 동안에 빠르게 제거되어지는 것으로 생각되었다. 하지만 R1의 경우는 초기 제거는 느리게 일어났지만 400분 이후에 급격히 증가하였는데 이는 미생물 분해작용 때문인 것으로 판단되었다.

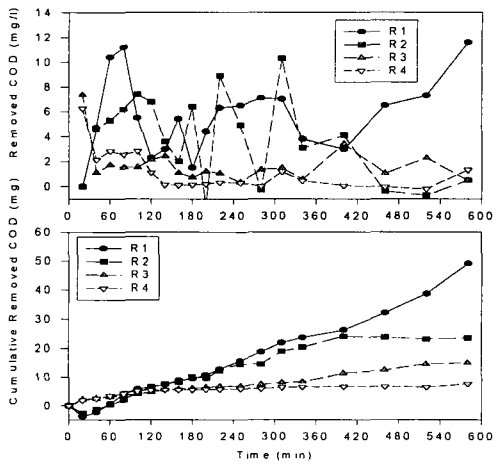

Fig. 2. Variations of removed COD and cumulative removed COD in each reactor.
R1 : raw sewage filtered by G2 filter
R2 : sterilized sewage after filtered by GF/C filter
R3 : R2 sewage + seawater filtered membrane (1:1)
R4 : R2 sewage + seawater filtered membrane (1:2)

또한 평균 유입수 농도와 평균 유출수 농도로 구한 유기물 제거율은 R1과 R3에서 11%와 10%로 R2의 7%보다 다소 높게 나타났는데 이는 시료수의 입상 유기물 흡착과 미생물 분해작용의 영향인 것으로 판단되었다.

해수를 다른 비율로 한 R3와 R4의 경우 R3가 R4 보다 약간 높은 제거율을 나타냈는데, 이와 같은 결과는 今岡 등[18]이 인공간석지의 통수실험에서 보고한 해수에 대한 하수 첨가율(10~40%)을 다르게 한 경우 COD 제거율에서 하수 첨가율이 높을수록 제거율이 증가한다는 결과와 유사하였다. 그리고 유와 김[15]이 plate 반응기로 구한 COD 제거율인 약 6%보다는 훨씬 높은 제거율을 보였다.

3.2.2. 영양염류 정화능력

갯벌에서의 영양염류 제거는 미생물을 포함한 갯벌생물에 의해 이루어진다. 질소성분의 변환, 제거과정을 보면, 유기질소는 가수분해에 의해 암모니아질소로 변환되고, 암모니아질소는 질산화박테리아에 의한 질산화작용을 통하여 아질산 및 질산으로 변환된다. 이러한 과정 중에서 무기질소는 광합성작용 및 갯벌생물에 의하여 흡수되어 제거된다.

인산인의 제거는 주로 흡착과 침전에 의해서 이루어지며,[7] 그 외에 생물의 섭취 및 분해작용으로 제거되어진다.

본 통수실험에서의 영양염류는 주로 흡착 및 미생물

학적 반응에 의해 제거되는 것으로 판단된다.

각 칼럼에서 시간에 따른 유입수와 유출수의 암모니아질소 및 질산질소 농도 차이와 제거된 누적 양을 Fig. 3~4에 나타내었다.

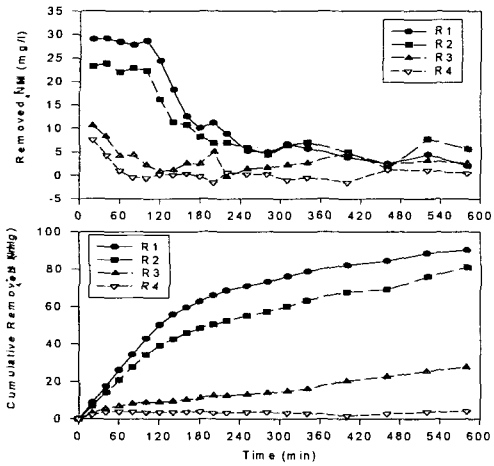

Fig. 3. Variations of removed NH_4^+-N and cumulative removed NH_4^+-N in each reactor.
R1 : raw sewage filtered by G2 filter
R2 : sterilized sewage after filtered by GF/C filter
R3 : R2 sewage + seawater filtered membrane (1:1)
R4 : R2 sewage + seawater filtered membrane (1:2)

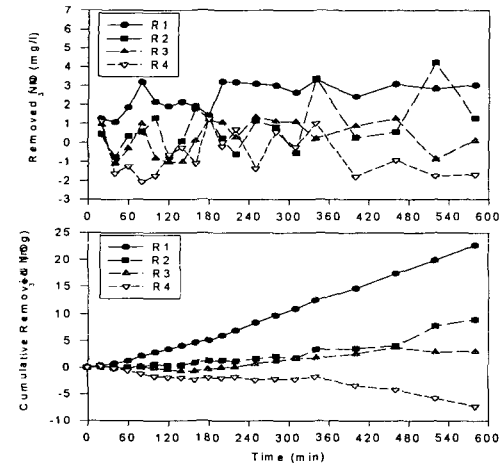

Fig. 4. Variations of removed NO_3^--N and cumulative removed NO_3^--N in each reactor.
R1 : raw sewage filtered by G2 filter
R2 : sterilized sewage after filtered by GF/C filter
R3 : R2 sewage + seawater filtered membrane (1:1)
R4 : R2 sewage + seawater filtered membrane (1:2)

암모니아질소의 경우 각 칼럼에서 580분 실험한 후 총 누적 제거양은 R1 90.1㎎, R2 81.0㎎, R3 27.6㎎, R4 4.1㎎으로, R1과 R2에서 총 누적 제거 양이 해수가 1:1로 함유된 R3보다는 약 3배 높았고, 생하수와 해수가 1:2로 함유된 R4보다는 약 20배 높아 시료수에 생하수의 함량이 높을수록 암모니아질소가 잘 제거되는 것으로 나타났다. 칼럼 실험(R1~R4) 시작 후 120분까지 제거된 암모니아질소는 총 제거 양의 56%, 48%, 33%와 90%로 각각 나타났다. 하지만 R4는 초기 20분 실험에서 56%의 빠른 흡착이 일어나고 그 이후에는 뚜렷한 제거가 나타내지 않았다. 또한 평균 유입수 농도와 평균 유출수 농도로 구한 암모니아질소의 제거율은 R1과 R2에서 48%와 47%로 R4에서 8% 보다 약 6배 높았다.

질산질소의 경우 580분 실험한 후 제거된 총 누적 양은 R1 22.1㎎, R2 9.0㎎, R3 3.0㎎, R4 -7.3㎎이었다. 멸균하지 않은 R1이 시료수를 멸균한 R2 보다 2.5배 높았는데, 이는 R1 칼럼에서의 탈질효과 때문인 것으로 생각되며, 해수를 함유시킨 R4에서는 미생물에 의한 탈질작용이 억제되어 질산질소가 오히려 증가된 것으로 판단되었다. 또한 평균 유입수 농도와 평균 유출수 농도로 구한 질산질소의 평균 제거율은 R1에서 71%로 가장 높았고 R4에서는 -13%로 오히려 질산질소가 생성됨을 알 수 있었다.

각 칼럼에서 시간에 따른 총인의 유입수와 유출수 농도 차이와 제거된 누적 양을 Fig. 5에 나타내었다. 총인의 경우 각 칼럼에서 580분 실험한 후 제거된 총 누적 양은 R1 3.4㎎, R2 4.2㎎, R3 5.6㎎, R4 2.0㎎으로 R3에서 총 제거양이 가장 높았고, R4에서 가장 낮았다. 또한 평균 유입수 농도와 평균 유출수 농도로 구한 총인의 평균 제거율은 R3에서 50%로 R4에서의 20%보다 2배 이상 높았다.

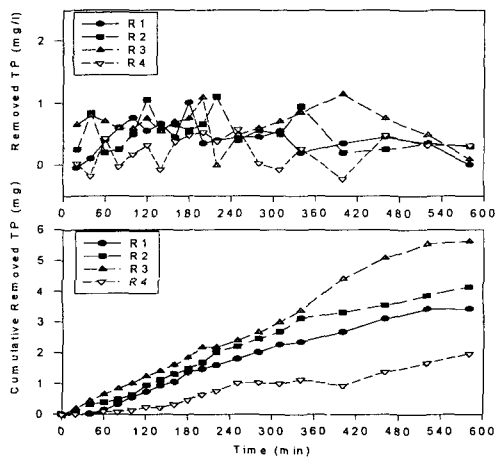

Fig. 5. Variations of removed TP and cumulative removed TP in each reactor.
R1 : raw sewage filtered by G2 filter
R2 : sterilized sewage after filtered by GF/C filter
R3 : R2 sewage + seawater filtered membrane (1:1)
R4 : R2 sewage + seawater filtered membrane (1:2)

이는 Gersberg *et. al.*[6]의 연구 결과 중 칼슘이 많은 수역에서 인의 순환은 pH에 좌우된다. 즉 pH가 상승하면 $CaCO_3$의 응집으로 인산인의 침전이 증가하고, 반대로 pH가 감소하면 인산인의 용출이 일어나는 현상과는 역의 관계를 나타내었다.

3.2.3. 중금속 정화능력

하천을 통해 연안으로 유입된 중금속은 해수 중 유기, 무기 리간드와 결합해 침전되어 갯벌로 이동하게 되고, 갯벌로 이동된 중금속은 흡착/탈착의 반복 과정과 확산을 통해 고형물격자에 이동된다. 또한 갯벌의 중금속은 퇴적되거나 일정 조건에서 용출되기도 하며, 저서생물에 섭취되어 갯벌에서 빠져 나오게 된다. 본실험에서 중금속은 주로 흡착에 의해 제거되는 것으로 생각된다.

각 칼럼에서 시간에 따른 중금속(Pb, Cd)의 유입수와 유출수 농도 차이와 제거된 누적 양을 Fig. 6~7에 나타내었는데 누적양은 앞의 다른 오염물질들과는 달리 직선적 증가 형태를 나타내 본 실험시간 동안에는 완전히 반응이 끝나지 않은 상태임을 알 수 있었다.

Pb의 경우 각 칼럼에서 580분 실험한 후 제거된 총 누적 양은 R1 5341μg, R2 4028μg, R3 8121μg, R4 5673μg으로 R3에서 총 제거 양이 가장 높았고, 나머지 칼럼에서는 비슷한 수준이었다. 칼럼 실험(R1~R4) 시작 후 초기 20분에 제거된 양은 총 제거 양의 3%~4%로 나타나 시료수의 조제방법이나 유입농도에 관계없이 초기에는 비슷한 제거가 일어나는 것을 알 수 있었다.

또한 평균 유입수 농도와 평균 유출수 농도로 구한 Pb의 평균 제거율은 R3와 R4에서 95%로 R1과 R2에서의 67%와 77%보다 약간 높았는데 이는 Pb이 해수 중 무기리간드와 결합해 침강이나 흡착형태로 갯벌에서 제거되기 때문인 것으로 판단되었다.

Cd의 경우 각 칼럼에서 580분 실험한 후 제거된 총 누적 양은 R1 358μg, R2 596μg, R3 838μg, R4 690μg으로 해수가 함유된 R3와 R4에서 약간 높았다. 칼럼 실험(R1~R4) 시작 후 초기 20분에 제거된 양은 총 제거 양의 모두 4%로 나타나 초기에는 비슷한 제거가 일어나는 것을 알 수 있었다.

평균 유입수 농도와 평균 유출수 농도로 구한 Cd의 평균 제거율은 R3와 R4에서 93.1%와 88.5%로 R1과 R2에서의 61%와 83%보다 약간 높았는데, 이는 앞서 Pb의 경우와 같이 Cd 또한 해수 중 무기리간드와 결합해 침강이나 흡착형태로 갯벌에서 제거되기 때문인 것으로 판단되었다.

이상과 같이 칼럼실험에서 중금속은 해수가 첨가된 시료에서 제거율이 높게 나타났는데 이는 Romkens와 Dolfing[19]의 Ca이온이 중금속과 흡착되어 응집된다는 보고와 유사한 결과를 보였다.

4. 요 약

충남 서천군 춘장대에서 채취한 갯벌을 통수칼럼에 넣고 오염물질 정화능력을 평가 해 보았다. 각 칼럼에 사용된 시료수는 하수를 G2여과지(6μm)로 여과한 여액(R1), 생하수를 GF/C여과지(1.2μm)로 여과 후 하수중의 미생물에 의한 영향을 제거하기 위하여 고압멸균기(autoclaver)로 120℃에서 15분간 멸균한 하수(R2), 여과·멸균된 하수를 membrane filter로 여과한 해수와 1:1(하수:해수)로 혼합한 시료수(R3) 그리고 R3에서 사용된 하수와 해수를 이용해 그 비를 1:2로 혼합한 시료수(R4)

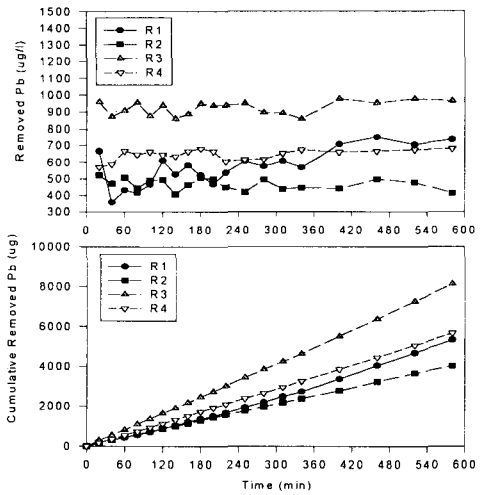

Fig. 6. Variations of removed Pb and cumulative removed Pb in each reactor.
R1 : raw sewage filtered by G2 filter
R2 : sterilized sewage after filtered by GF/C filter
R3 : R2 sewage + seawater filtered membrane (1:1)
R4 : R2 sewage + seawater filtered membrane (1:2)

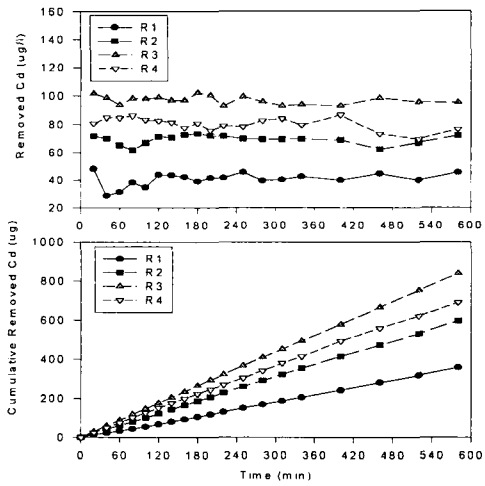

Fig. 7. Variations of removed Cd and cumulative removed Cd in each reactor.
R1 : raw sewage filtered by G2 filter
R2 : sterilized sewage after filtered by GF/C filter
R3 : R2 sewage + seawater filtered membrane (1:1)
R4 : R2 sewage + seawater filtered membrane (1:2)

를 이용하였다. 4종류로 조제된 시험수를 이용한 통수실험 결과를 요약하면 다음과 같다.

통수실험에 의해 제거된 COD 양은 시료수에 하수의 함유량이 증가할수록 증가하였다.

암모니아질소의 경우 각 칼럼에서 580분 실험한 후 총 누적 제거양은 R1 90.1㎎, R2 81.0㎎, R3 27.6㎎, R4 4.1㎎이었다. R1과 R2에서 총 누적 제거 양이 해수가 1:1로 함유된 R3보다는 약 3배 높았고, 생하수와 해수가 1:2로 함유된 R4보다는 약 20배 높아 시료수에 하수의 함량이 높을수록 COD와 마찬가지로 암모니아질소가 잘 제거되는 것으로 판단되었다. 총인의 경우 각 칼럼에서 580분 실험한 후 제거된 총 누적 양은 R1 3.4㎎, R2 4.2㎎, R3 5.6㎎, R4 2.0㎎이었다.

평균 유입수 농도와 평균 유출수 농도로 구한 Pb의 평균 제거율은 R3와 R4에서 94.6%와 94.9%로 R1과 R2에서의 66.5%와 77.0%보다 약간 높았고, Cd의 평균 제거율도 R3와 R4에서 93.1%와 88.5%로 R1과 R2에서의 61.2%와 82.7%보다 약간 높았다. 이상과 같이 칼럼실험에서 중금속은 해수가 첨가된 시료에서 제거율이 높았다. 하지만 초기 20분간 흡착된 중금속의 양은 580분 동안 흡착된 총 양의 3~4%로 유사한 값을 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 군산대학교 수산과학연구소 지원금에 의해 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1) 해양수산부, 1998, 우리나라의 갯벌, 3-7.
2) Odum, H., 1985, Self-organization of ecosystems in marine ponds receiving treated sewage, US Sea Grant Publication # UNC-SG-B5-04.131-145.
3) Nakata, K. and K. Hata, 1994, Evaluation of nutrient cycle in tidal flat, *J. of Japan Soc. on Water Environ.* 17 (3), 18-26.
4) Tilton, D. L. and R. H. Kadlec, 1979, The utilization of a fresh-water wetland for nutrient removal from secondarily treated wastewater effluent, J. Environ. Qual., Vol.8, No.3, 328-334.
5) Cooke, J. G., 1992, Phosphorus removal processes in a wetland after a decade of receiving sewage waters, J. Environ. Quality, 21, 733-739.
6) Gersberg R. M., B. V. Elkins, and Goldman C. R., 1983, Nitrogen removal in artificial wetlands, Water Res., Vol.17, No.9, 1009-1014.
7) Nichols, D. S. 1983, Capacity of natural wetlands to remove nutrients from wastewate, J. of WPCF, 55 (5), 495-505.
8) Breen, P. F., 1990, A mass balance method for assessing the potential of artificial wetlands for wastewater treatment, Water Res. Vol.24, No.6, 689-697.
9) James G. C., 1992, Phosphorus removal processes in a wetland after a decade of receiving a sewage effluent, J. Environ. Qual., Vol.21, 733-739.
10) 木村 賢史, 1994, 人工干潟の水質浄化機能, ヘドロ No.60, 59-81.
11) Williams, C. H., 1985, Cycling and retention of nitrogen and phosphorus in wetlands : a theoretical and applied perspective, Freshwater Biology, Vol.15, 391-431.
12) Jesper Dorge, 1994, Modelling nitrogen transformations in freshwater wetlands. Estimating nitrogen retention and removal in natural wetlands in relation to their hydrology and nutrient loadings, Ecological Modelling, Vol.75/76, 409-420.
13) Childers, D. L., H. N. Mckellar, R. F. Dame, F. H. Sklar, and E. R. Blood, 1993, A dynamic nutrient budget of subsystem interactions in a salt marsh estuary, Estuarine, Coastal and shelf science, Vol.36, 105-131.
14) Kadlec, R. H. and D. E. Hammer, 1988, Modeling nutrient behavior in wetlands, Ecological Modelling, Vol.40, 37-66.
15) 유선재, 김종구, 1999, 갯벌의 오염물질 정화능력 평가, 한국수산학회지 32(4), 409-415.
16) 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,
17) 海洋水産部, 海洋還境汚染公定試驗法, 1998
18) 今岡務, 鹽谷隆亭, 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, Vol.32, No.12, 978-985.
19) Romkens, P. F. A. M. and J. Dolfing, 1998, Effect of Ca on the solubility and molecular size distribution of DOC and Ca binding in soil solution samples, Environ. Sci. Technol., Vol.32, 363-369.