한국환경과학회지 제7권(제6호), 803~809, 1998
J. of the Korean Environmental Sciences Society

Ulva pertusa 및 *Sargassum horneri*를 이용한 수중 Cd(Ⅱ) 및 Pb(Ⅱ) 이온의 제거

김 영 하* · 박 미 아 · 박 수 인** · 김 택 제*** · 이 기 창**** · 박 광 하
강릉대학교 공업화학과 · *강릉대학교 환경과학연구소
**서울시립대학교 화학공학과 · ***경기대학교 화학과 · ****명지대학교 화학공학과
(1998년 8월 5일 접수)

Removal of Cd(Ⅱ) and Pb(Ⅱ) Ions in water by the *Ulva pertusa* and *Sargassum horneri*

Young-Ha Kim*, Mi-A Park, Soo-In Park, Tack-Je Kim*****
Ki-Chang Lee****, and Kwang-Ha Park**
Department of Industrical Chemistry, Kangnung National University, Kangwon 210-702, Korea
**Environmental Science Institute, Kangnung National University, Kangwon 210-702, Korea*
***Department of Chemical Engineering, Seoul City University, Seoul 130-743, Korea*
****Department of Chemistry, Kyonggi University, Suwon, Kyonggi 440-760, Korea*
*****Department of Chemical Engineering, Myongji University, Yongin, Kyonggi 449-728,Korea*
(Manuscript received 5 August 1998)

Heavy metal ions in water were removed using algal biomass as adsorbents. Absorbents were dried for 3 days, ground them by 40~60 mesh and then were swelled in a buffer solution for 1hr. After being packed in the column, commercially available standard solution of Cd(II) and Pb(II) ions were diluted to get the suitable concentration and then it was eluted with the rate of 1㎖/min. Heavy metals on the adsorbents were recovered with nitric acid.

More amounts of Cd(II) or Pb(II) ions in green algae, *Ulva pertusa*, than in brown algae, *Sargassum horneri*, were adsorbed. Pb(II) ion was adsorbed more than Cd(II) ion in both algae. The pH effect of adsorbed amounts of Cd(II), Pb(II) ions on the biomass was shown the following order ; pH 10.5 〉 8.5 〉 7.0 〉 5.5 〉 3.5. Recovery ratio of metal ions from algae is shown higher in acidic or neutral conditions than it in alkalic ones. Pb(II) ion is recovered relatively more than Cd(II) ion in our system.

Key words : biomass, biosorption, heavy metal, green algae, brown algae.

1. 서 론

최근 산업의 발달로 각종 수자원의 오염화가 심화되어 가고 있다. 오염된 물을 정화하기 위한 각종 연구가 수행되고 있으며 그 중 중금속을 제거하는 일은 가장 시급히 해결해야 할 과제이다.

폐수로부터 유독성 중금속을 제거하는 일은 오늘날 가장 중요한 환경문제중 하나일 것이다. 중금속 제거에 관한 연구가 최근에 와서 활발히 진행되고 있으나 효과적인 처리에는 한계점을 나타내고 있다. 가장 널리 사용되고 있는 방법으로는 화학침전법,이온교환법,지올라이트법,역삼투압법,용매추출법등이 이용되어오고 있으나 (Rich & Cherry, 1987), 이러한 방법들은 완전한 중금속 제거가 어렵고 많은 시약이 필요하며 고독성슬러지를 생산하는 단점이 있다. 또한 이러한 단점들은 저농도의 중금속이 포함된 폐수처리에서도 나타난다.

따라서 최근에는 새로운 중금속처리방법에 대한 연구로 미생물의 금속결합용량에 초점이 맞춰진 연구가 진행되고 있다. 효소(Pryfogyle *et al.*, 1988), 조류(Darnall *et al.*, 1968, 1986; Jennett *et al.*, 1982),박테리아(Norberg *et al.*, 1984), 수중식물(Burton et *al.*, 1979 ; Ngo *et al.*, 1987)등의 일부가 묽은 수용액으로부터 독성 중금속을 흡수하는 성질이 있는 것으로 알려졌으며, 미생물의 금속흡수 메카니즘은 세포내외에서의 화학결합인 것으로 밝혀졌다(Doyle *et al.*, 1980; Volesky, 1987; Greene, 1990).

여기서 살아있는 미생물은 유독성중금속을 효과적으로 흡수한다고 하더라도, 처리과정이 매우 번거롭다. 살아있는 미생물을 이용하는 시스템은 미생물을 건강한

Table 1. Operating conditions of polarographic analysis

Element	Cd(II)	Pb(II)
Technique	DPP	DPP
Supporting electrolyte	1M HCl	1M HCl
Pugge time(sec)	240	240
Initial E(㎷)	-0.04	-0.25
Final E(㎷)	-0.08	-0.55
Drop time(drop/sec)	1	1

상태로 유지하기 위하여 가끔 영양분을 주어야 하며, 중금속을 흡수한 미생물을 분리하기가 어려운 문제점이 있다.

그런데 일부 효소 또는 조류등은 살아있는 생물질(living biomass)보다 사체생물질(nonliving biomass)이 더 많은 금속을 효과적으로 흡수하는 것으로 알려졌다(Kuyucak & Volesky, 1989). 사체생물질은 영양분을 공급할 필요도 없으며 중금속의 독성작용에 의한 영향도 받지 않는다.

따라서 본 연구에서는 인근 동해안에서 채취한 해조류인 *Ulva pertusa* 및 *Sargassum horneri*를 적당히 전처리한 후 사체흡착제를 만들고, pH 변화에 따른 금속 Cd(II) 및 Pb(II) 이온의 최적흡착조건을 조사하며 이들 중금속들을 정량적으로 회수함으로써 금속 흡착제로서의 이용 가능성을 살펴보고자 하였다.

2. 실 험

2.1 기기 및 시약

중금속이온의 정량은 EG & G PARK사의 Model 384B Polarographic Analyzer를 사용하여 Ar gas 상태에서 행하였으며, 단위는 ㎎/ℓ 으로 표시하였다. pH 조절은 Fisher사의 Model 230A pH Ion Meter를 사용하였으며, 중금속 이온의 흡착 및 회수 실험에 사용한 컬럼은 다공성 유리 필터를 부착한 pyrex 유리컬럼(20㎝×15㎜ id)을 제작하여 사용하였다.

중금속 Cd(II)및 Pb(II) 등의 표준용액은 Aldrich사의 특급시약(1000ppm)을 일정 농도로 묽혀서 사용하였으며, 나머지 시약들도 특급및 1급시약을 그대로 사용하였다.

유기물 제거는 methylene chloride를 사용하였고, pH 3.5, 5.5, 7.0, 8.5, 10.5의 완충용액은 표준방법[9]에 의해 제조하여 사용하였으며, 본 실험에서 사용된 증류수는 모두 3차 증류한 탈염수를 사용하였다.

2.2 흡착제의 제조

흡착제로 사용한 구멍갈파래(*Ulva pertusa* Kjellman)및 괭생이모자반(*Sargassum horneri*(Turner) C. Agarch)은 동해안 근해 여러 장소에서 고루 채취 하였다. 3차 증류수 및 묽은 아세트산으로 여러번 씻어 시료 표면에 붙어 있는 미생물및 갑각류와 염분 등을 먼저 제거한 후 그늘진 곳에서 풍건하고, 오븐 속에서 80℃로 72시간 건조시켰다. 건조시킨 시료를 막자 사발로 분쇄한 후 표준체로 시료의 크기를 40~60mesh로 만들어 흡착제로 사용 하였다. 시료는 진공오븐 속에 보관하여 사용하였으며 모든 실험은 실온에서 행하였다.

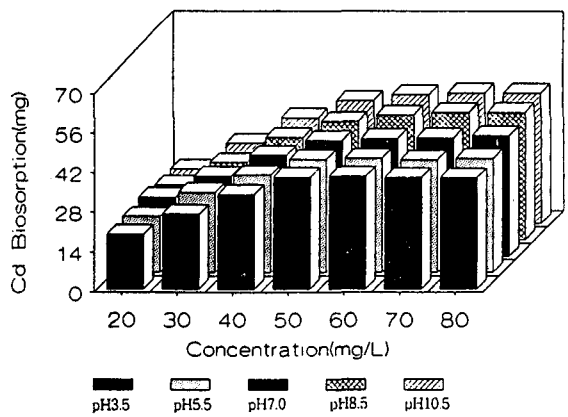

Fig. 1. Biosorption of Cd(Ⅱ) by *Ulba pertusa*.

2.3 컬럼법에 의한 용리실험

40~60mesh의 분말흡착제를 증류수에서 먼저 90분간 팽윤시키고 미세 분말및 염분을 재차 제거하였다. 흡착제 1g을 각각 취하여 pH 3.5, 5.5, 7.0, 8.5, 10.5로 조절한 완충용액이 들어있는 5개의 100㎖비이커에 옮기고 충분히 침윤되도록 1시간 동안 정치하였다. pH가 조절된 흡착제를 각각의 컬럼속에 충진시키고 최대한 안정화 시킨후 용리실험을 하였다.

2.4 중금속이온의 흡착

완충용액속에서 적당한 pH로 조절된 흡착시료인 구멍갈파래 및 괭생이 모자반 1g을 각각 컬럼에 충진 시키고 안정화 시킨 다음 일정 농도로 조제된 중금속이온 용액 30㎖를 1㎖/min의 속도로 용리 시켰다. 흡착되지 않고 컬럼내에 있는 금속 이온을 증류수 20㎖로 씻어내린 다음 두 용액을 합하고 유출액 중에 포함된 유기물은 methylene chloride를 사용하여 추출 제거한 후 흡착제로 사용된 충진제는 흡착된 중금속을 회수하기 위한 실험에 사용하였다.

2.5 중금속이온의 회수

중금속이 흡착된 충진제를 100㎖ 비이커에 다시 옮기고 컬럼 안에 붙어 있는 충진제를 0.2M HNO_3 50㎖ 산성용액으로 씻은 다음 120 rpm으로 1시간 동안 진탕시켜 금속을 추출하고 유리거르게를 이용하여 거른 후 거른 액 중에 포함된 중금속의 양을 Polarographic Analyzer로 정량하여 회수량을 조사하였다. 정량 조건은 Table 1.과 같다.

3. 결과및 고찰

3.1 녹조류 *Ulva pertusa*에 대한 중금속이온의 흡착

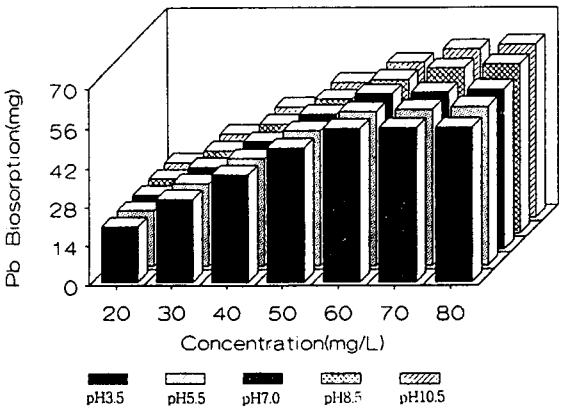

Fig. 2. Biosorption of Pb(Ⅱ) by *Ulba pertusa*.

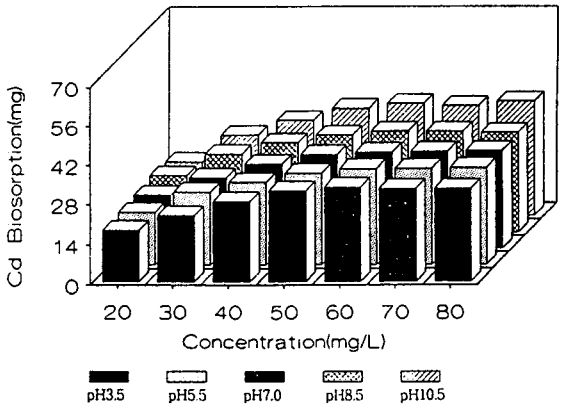

Fig. 3. Biosorption of Cd(Ⅱ) by *Sargassum horneri*.

3.1.1 Cd(II) 이온의 흡착

흡착제로 조제된 녹조분말 *Ulva* 0.5g을 컬럼에 충진한 후 용리액인 Cd(II) 이온용액의 농도를 변화시키면서 pH변화에 따른 Cd(II) 이온의 흡착관계를 살펴 보았다. Fig 1.에서 보면 용리액의 농도가 20㎎/ℓ 에서 50㎎/ℓ 에 이르기 까지는 Cd(II)이온의 흡착량이 용리액의 농도 증가와 비례하고 있음을 알 수 있으나, 용리액의 농도가 50㎎/ℓ 이상의 경우는 Cd(II)이온의 흡착량이 더 이상 증가하지 않고 일정한 값을 보이고 있다. 이는 *Ulva* 0.5g에 의해 흡착할 수 있는 Cd(II)이온의 양이 최대 흡착량에 도달했기 때문으로 생각된다.

pH변화에 따른 흡착율을 보면 용리액의 농도가 같을 경우, 산성 보다는 알칼리성에서 높은 흡착율을 보였다. 용리액의 Cd(II)이온 농도가 40㎎/ℓ 이하인 경우는 90%이상이 흡착 되었으며, 용리액의 농도가 50㎎/ℓ 이상인 경우는 44.3%~58.9%로 나타나 용리액의 농도가 클수록 흡착율은 낮아졌다.

Ulva 1g에 대한 Cd(II)이온의 최대 흡착량을 보면 산성인 pH3.5및 pH5.5에서 80.06㎎, 80.96㎎, 중성인 pH7.0에서 85.40㎎, 알칼리성인 pH8.5 및 pH10.5에서 각각 90.20㎎, 92.40㎎으로 나타났다.

용리액의 Cd(II)이온 농도가 40㎎/ℓ 이하일 경우는 pH값과는 무관하게 대부분의 Cd(II)이온이 흡착되는 경향을 나타냈으나, 60㎎/ℓ 이상인 경우는 농도가 커질수록 pH 변화에 따른 흡착량의 차이도 커지고 있음을 알 수 있었다. 흡착량에 영향을 미치는 pH의 영향은 pH 10.5〉8.5〉7.0〉5.5〉3.5의 순으로 산성에서 알칼리성으로 갈수록 흡착량이 증가함을 알 수 있었다.

3.1.2 Pb(II) 이온의 흡착

용리액 Pb(II)이온의 농도를 변화시키며 *Ulva* 0.5g에 대한 흡착실험을 한 결과는 Fig.2와 같다. 용리액의 Pb(II)이온 농도가 20㎎/ℓ ~30 ㎎/ℓ 인 경우는 모든 pH영역에서 100%의 흡착량을 보였으며, 40㎎/ℓ ~50 ㎎/ℓ 인 경우도 38.84-55.54mg의 흡착량을 보여 90% 이상이 흡착되었다. 즉 Pb(II)이온의 농도증가와 함께 흡착량도 비례적으로 증가 하는 경향을 나타냈다. 그러나 Pb(II)이온의 농도가 60㎎/ℓ 이상에서는 더 이상 흡착되지 않고 일정한 흡착량을 나타내 최대흡착량에 도달하였음을 알 수 있다.

Ulva 1g에 대한 Pb(II)이온의 최대흡착량을 보면 산성인 pH3.5 및 pH5.5에서 110.7㎎, 113.6㎎, 중성인 pH7.0에서 114.3㎎, 알칼리성인 pH8.5 및 pH10.5에서 120.1㎎, 122.5㎎으로 나타났다. 알카리성에서의 흡착량이 다소 많음을 알 수 있다.

Pb(II)이온의 농도에 따른 흡착율을 보면, 농도가 20~30㎎/ℓ 일 때 100%의 흡착율을 나타냈는데 이는 Cd(II)이온의 흡착율 93-98%에 비해 높은 흡착율이다. 40㎎/ℓ 이상의 농도에서도 흡착율이 60-90%로서 Cd(II)이온의 흡착율 44.3%~58.9% 보다 높은 흡착율로 나타났다.

3.2 갈조류 *Sargassum horneri*에 대한 중금속이온의 흡착

3.2.1 Cd(II) 이온의 흡착

갈조류인 *Sargassum*을 *Ulva*의 경우와 마찬가지 과정에 의해 전처리한 후 중금속 흡착제로 사용 하였다. *Sargassum* 0.5g을 충진시킨 칼럼에 용리액 Cd(II) 이온용액의 농도를 변화시키면서 1 ㎖/min흘려주면서 흡착실험을 하였는데, 용리액의 농도 변화에 따른 흡착량 관계를 Fig 3.에 나타내었다. Fig.3에서 보는바와같이 용리액 Cd(II) 이온용액의 농도가 20㎎/ℓ 의 저농도인 경우는 흡착량이 18.01㎎-19.01㎎으로 90-95%의 흡착율을 보이나 *Ulva* 의 경우 100%의 흡착율을 보인 것과 비교해보면 다소 낮은 흡착량이다. 용리액 Cd(II)이온의 농도가 50㎎/ℓ 까지는 흡착량이 농도에 비례하나, 50㎎/ℓ 이상에서는 일정한 흡착량을 보이고 있다.

*Sargassum*에 대한 Cd(II)이온의 흡착량은 pH변화의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다. 산성인 pH3.5, pH 5.5에서는 흡착율이 40.9%-90.1%이며, 중성인pH7.0에서는 43.25%-93.8%, 알카리성인 pH8.5, pH10.5에서는 44.1%-95.1%이었다.

Sargassum 1g에 대한 Cd(II)이온의 최대흡착량을 pH영역별로 보면 산성인 pH3.5, pH5.5에서는 65.

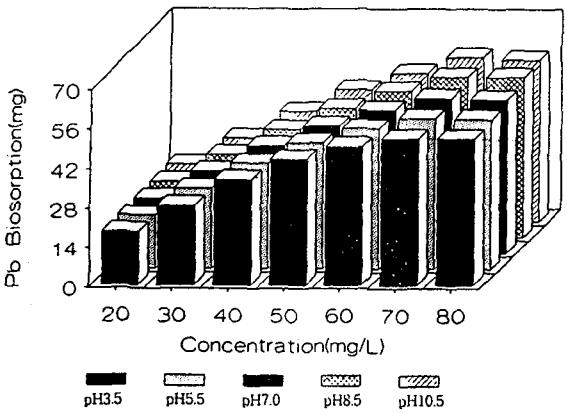

Fig. 4. Biosorption of Pb(Ⅱ) by *Sargassum horneri*.

6mg, 68.6mg이며, 중성인pH7.0에서는 69.2mg, 알카리성인 pH8.5, pH10.5 에서는 71.6mg, 81.5mg으로 나타났다. 이는 *Ulva*의 경우와 비교해 보았을 때 다소 낮은 수치이다.

3.2.2 Pb(II) 이온의 흡착

Sargassum 0.5g에 대한 Pb(II) 이온의 흡착량은 Fig. 4에서 보는바와같이 용리액 Pb(II)이온의 농도가 20㎎/ℓ 인 경우 모든 pH 영역에서 19.07mg-19.86mg의 흡착량을 나타냈으며, 농도가 30㎎/ℓ 인 경우는 28.49mg-29.18mg의 흡착량을 나타내었다. 이는 95.35%의 높은 흡착율을 나타낸다. 그러나 농도가 40㎎/ℓ 이상인 경우는 농도증가와 함께 흡착율이 낮아지는 경향을 보이고 있는데, pH변화에 따른 농도별 흡착율을 살펴보면 다음과 같다.

산성인 pH3.5, pH5.5에서는 흡착율이 65.1%-94.1%이며, 중성인pH7.0에서는 68.2%-95.2%, 알카리성인 pH8.5, pH 10.5 에서는 71.2%-95.2%이었다.

pH변화에 따른 *Sargassum* 1g에 대한 Pb(II)이온의 최대흡착량을 살펴보면 산성인 pH3.5, pH5.5에서 104.2mg, 106.8mg이며, 중성인pH7.0에서는 109.1mg, 알카리성인 pH8.5, pH10.5 에서는 113.6mg, 113.9mg으로 나타났다. 이는 Cd(II)이온의 경우와 비교해 보았을 때 높은 흡착량이다.

3.3 *Ulva pertusa* 및 *Sargassum horneri*의 흡착력 비교

3.3.1 중금속이온의 농도 변화에 따른 흡착력 비교

Ulva 및 *Sargassum* 1g에 대한 중금속 Cd(II), Pb(II) 이온의 흡착량비교 결과를 Fig. 5에 나타내었다. Cd(II) 이온의 경우 *Ulva* 및 *Sargassum* 1g에 대한 최대흡착량이 85.66mg, 71.72mg으로 *Ulva*에 대한 흡착량이 13.94mg 정도 더 많았다.

또한 Pb(II)이온의 경우는 *Ulva* 및 *Sargassum* 1g에 대한 최대흡착량이 114.6mg, 107.0mg으로 *Ulva*에 대한 흡착량이 7.6mg 정도 더 많았다. 따라서 Cd(II),Pb(II)이온 모두 *Ulva*에 대한 흡착량이 *Sargassum*에 대한

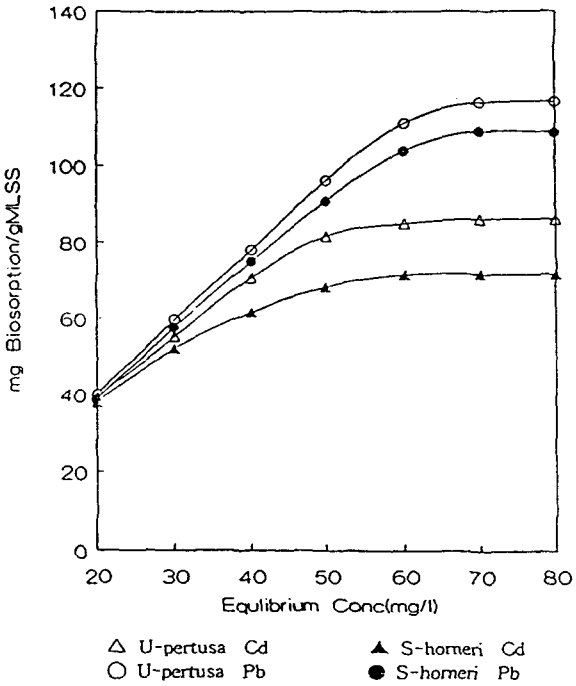

Fig. 5. Comparative curve for the biosorption of cadmium and lead ions by *Ulba pertusa* and *Sargassum horneri*.

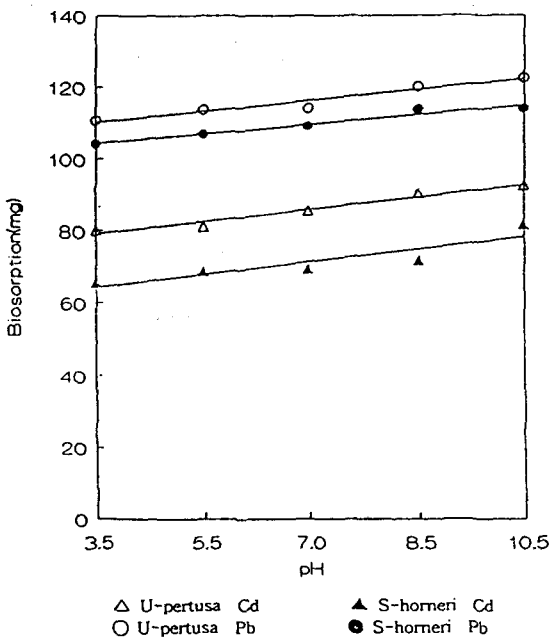

Fig. 6. Biosorption isotherm of cadmium and lead.

흡착량보다 더 많은 결과를 나타냈다.

한편 *Ulva*에 대한 Cd(II), Pb(II)이온의 흡착량을 비교해 보면 Pb(II)이온의 흡착량이 Cd(II)이온 보다 28.94mg 정도 더 많음을 알 수 있으며, *Sargassum*도 Pb

(II)이온의 흡착량이 Cd(II)이온 보다 35.28mg 정도 더 많은 것으로 나타났다.

3.3.2 pH 변화에 따른 흡착력 비교

pH변화에 따른 *Ulva* 및 *Sargassum* 1g에 대한 Cd (II)및 Pb(II)이온의 흡착량 변화곡선을 Fig. 6에 나타내었다. 각 pH에서의 *Ulva* 및 *Sargassum* 1g에 대한 Cd (II)이온의 흡착량을 비교해 보면 pH3.5 80.06mg(65.6mg), pH5.5 80.96mg(68.6mg), pH7.0 85.4mg (69.2mg), pH8.5 90.2mg(71.6mg), pH10.5 92.4mg(81.5mg)과 같다. 즉 산성에서 알카리성으로 갈수록 흡착량이 증가하고 있으며 *Ulva*에 대한 흡착량이 *Sargassum*에 대한 흡착량보다 평균 4.76㎎정도 높았다. 한편 Pb(II)이온의 흡착량을 비교해 보면 pH3.5 110.7㎎(104.2mg), pH5.5 113.6㎎(106.8mg), pH7.0 114.3㎎(109.1mg), pH8.5 120.1㎎(113.6mg), pH10.5 122.5㎎(113.9mg)이었다. pH변화에 따른 흡착량의 변화는 Cd(II)이온의 경우와 같은 경향을 나타내고 있다.

각 pH값에서 *Ulva*와 *Sargassum* 1g에 대한 흡착량 차이를 보면 Cd(II)이온의 경우 *Ulva*에 대한 흡착량이 더 많으며 그 차이는 pH3.5 14.46mg, pH5.5 12.36mg, pH7.0 16.2mg, pH8.5 18.6mg, pH10.5 10.9mg등으로서 pH8.5에서의 흡착량 차이가 제일 크게 나타났다. 또한 Pb(II)이온도 Cd(II)이온과 마찬가지로 *Ulva*에 대한 흡착량이 더 많으며 *Sargassum*에 대한 흡착량과의 차이는 pH3.5 6.5㎎, pH5.5 6.8㎎, pH7.0 5.2㎎, pH8.5 6.5㎎, pH10.5 8.6㎎등으로 나타났다. Pb(II)이온의 흡착량 차이는 pH값의 변화에 관계없이 거의 일정한 값을 보여 주고 있다.

이와같이 pH값에 따라 흡착량이 영향을 받는것은 pH변화에 따라 해조류 세포벽에 존재하는 작용기의 하전량이 달라지면서 중금속과의 배위결합능력에 영향을 받기 때문으로 판단된다.

해조류에 대한 중금속의 결합형태는 해조류 세포벽 내부 또는 외부의 여러 작용기가 중금속과 배위결합하기 때문인 것으로 알려져 있으며 이때 결합에 관여하는 킬레이트기는 carboxyl, imidazole, sulfhydryl, amino, phosphate, sulfate, thioether, phenol, carbonyl, amide, hydroxl moities 등이 있는 것으로 알려져 있다(Bedell *et al.*, 1990).

해조류의 종류나 또는 세포의 종류에 따라 중금속이온에 대한 친화력은 서로 다르며, 해조류의 종류가 같더라도 중금속이온의 종류에 따라서 친화력은 다르게 나타나는 것으로 알려져 있다(Darnall *et al.*, 1968). 각각의 해조류종에 대한 중금속 이온의 결합성이 서로 다른 이유는 해조류는 속에 따라 서로 다른 세포벽으로 구성되어 있기 때문이다. 따라서 해조류중 어떤것은 특정 중금속 이온을 수용액으로 부터 제거하는데 다른 조류에 비해 더욱 선택적이고 효과적일 수도 있다(Greene *et al.*, 1990).

3.4 금속이온의 등온 흡착식

유기체에 대한 중금속이온의 흡착관계를 설명하기 위

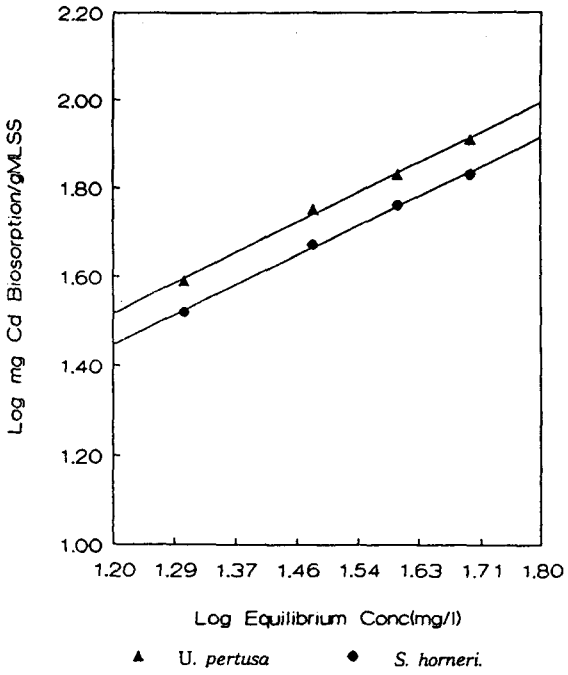

Fig. 7. Freundlich isotherm of cadmium.

하여 여러 종류의 흡착등온모델(Adsorption isotherm models)이 보고되어 왔다. 이중 Freundlich등온식은 유기체에 의한 금속 이온의 흡착관계를 설명하는데 사용되는 가장 일반적인 방법중의 하나이다. Freundlich흡착등온식은 다음과 같다(Su, 1993)

$Xb/M = k\,C^{1/n}$

여기에서

Xb/M : 흡착제 1g당 중금속 흡착량(㎎/gMLSS)

C : 흡착후 중금속 평형농도(㎎/ *l*)

k : 흡착 용량상수

1/n : 중금속 친화상수

Ulva 및 *Sargassum*에 대한 Cd(II)이온의 Freundlich 흡착등온곡선을 Fig. 7에 나타내었으며, 흡착등온상수를 Table 2에 나타내었다. 중금속이온의 농도가 60㎎/ *l* 이상에서는 최대 흡착량에 도달하여 일정한 흡착량을 보이기 때문에 X축의 범위를 20~60㎎/ *l* 으로 한정 하였다. Fig. 7과 Table 2에서 보는바와같이 흡착용량상수인 k값을 비교해 보면 *Ulva*가 *Sargassum* 보다 8.4%정도 큰 수치를 보이고 있어 Cd(II)이온이 *Sargassum* 보다 *Ulva*에 더 많이 흡착한다는 실험결과와 잘 일치하고 있다. 중금속친화상수인 1/n의 값도 *Ulva*의 경우가 *Sargassum*보다 0.029정도 크게 나타났는데 이는 Cd(II)이온의 *Ulva*에 대한 친화도가 *Sargassum*에 대한 친화도 보다 더 크다는 사실을 알려준다. Pb(II)이온의 경우도 Cd(II)이온과 같은 경향을 나타냈으나 흡착량은 Pb(II)이온이 Cd(II)이온보다 더 많았다.

Table 2. Freundlich isotherm constant for cadmium biosorption by the *Ulva pertusa* and the *Sargassum horneri*

	Ulva pertusa	*Sargassum horneri*
K	4.437	4.094
1/n	0.738	0.709
R^2	0.986	0.992

*. R^2 is correlation coefficient.

3.5 금속이온의 회수

Ulva 및 *Sargassum*에 흡착된 Cd(II) 및 Pb(II)이온을 0.2M 질산용액으로 추출하여 유리거르게로 여과한 후 Polarographic analyzer를 이용하여 여액중 Cd(II)및 Pb(II)이온의 양을 정량 하였다. Cd(II) 및 Pb(II)이온의 평균 회수율을 Table 3에 나타내었다. Table 3에서 *Ulva*에 흡착된 Cd(II)이온의 회수율은 전체 pH영역에서 55.2% - 61.6%의 범위내의 회수율을 나타냈으며, 평균 회수율은 58.3%이다. Pb(II) 이온의 경우는 59.7% - 66.9%의 회수율을 나타내고 있으며, 평균회수율은 63.3%이다. 따라서 Pb(II)이온의 회수율이 Cd(II)이온의 회수율보다 다소 높으며 모든 pH영역에서 안정된 회수율을 보이고 있다.

한편 *Sargassum*에 흡착된 Cd(II) 이온의 회수율은 전체 pH영역에서 58.4%-62.6%의 회수율을 나타냈으며, Pb(II)이온의 경우는 61.2%-64.5%로 나타났다. *Ulva*의 경우와 같이 Pb(II)이온의 흡착율이 Cd(II)이온보다 더 높았으며, 모든 pH영역에서 일정한 안정된 회수율을 보였다.

4. 결 론

1) *Ulva*에 대한 Cd(II)이온의 흡착율은 농도가 30㎎/ℓ 이하일때 93%-98%인데 비해, Pb(II)이온의 흡착율은 100%로 나타났다. 농도가 40㎎/ℓ 이상인 경우는 Cd(II)이온의 흡착율이 44.3%~58.9%, Pb(II)이온은 60-90%로서 Pb(II)이온의 흡착율이 높았다. 흡착량에 영향을 미치는 pH의 영향은 pH 10.5〉8.5〉7.0〉5.5〉3.5의 순으로 산성에서 알칼리성으로 갈수록 흡착량이 증가함을 알 수 있었다. *Sargassum*에 대한 Cd(II)이온의 흡착율은 Pb(II)이온보다 pH의 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.

2) Cd(II)이온의 경우 *Ulva* 및 *Sargassum* 1g에 대한 최대흡착량이 85.66mg, 71.72mg으로 *Ulva*에 대한 흡착량이 13.94mg 정도 더 많았다. 또한 Pb(II)이온의 경우는 *Ulva* 및 *Sargassum* 1g에 대한 최대흡착량이 114.6mg, 107.0mg으로 *Ulva*에 대한 흡착량이 7.6mg 정도 더 많았다. 따라서 Cd(II),Pb(II)이온 모두 *Ulva*에 대한 흡착량이 *Sargassum*에 대한 흡착량보다 더 많은 결과를 나타냈다.

Table 3. Recovery percentage of metal ions from the biomass at various pH conditions

pH	*Ulva pertusa* (%)		*Sargassum hornri* (%)	
	Cd(II)	Pb(II)	Cd(II)	Pb(II)
3.5	60.9	66.9	62.6	64.1
5.5	58.0	61.6	58.9	64.5
7.0	55.2	62.1	58.4	61.2
8.5	61.1	66.1	59.9	64.0
10.5	56.5	59.7	62.4	62.7

3) *Ulva*에 대한 Cd(II), Pb(II)이온의 흡착량을 비교해 보면 Pb(II)이온의 흡착량이 Cd(II)이온 보다 28.94mg 정도 더 많았으며, *Sargassum*도 Pb(II)이온의 흡착량이 Cd(II)이온 보다 35.28mg 정도 더 많은 것으로 나타났다.

4)흡착용량상수인 k값을 비교해 보면 *Ulva*가 *Sargassum*보다 8.4%정도 큰 수치를 보이고 있어 Cd(II)이온이 *Sargassum*보다 *Ulva*에 더 많이 흡착한다는 실험결과와 잘 일치하고 있다. 중금속친화상수인 1/n의 값도 *Ulva*의 경우가 *Sargassum* 보다 0.029정도 크게 나타났는데 이는 Cd(II)이온의 *Ulva*에 대한 친화도가 *Sargassum*에 대한 친화도 보다 더 크다는 사실을 알려준다. Pb(II)이온의 경우도 Cd(II)이온과 같은 경향을 나타냈으나 흡착량은 Pb(II)이온이 Cd(II)이온보다 더 많았다.

참 고 문 헌

Bedell, G.W and D.W. Darnall, 1990, " Immobilization of Non-viable, Biosorbent Algal Biomass for the Recovery of Metal Ions ", in Biosorbents and Biosorltion Recovery of Heavy Metals. B.Volesky ed., pp.313-326, CRC Press, Boca Raton, FL.

Burton, M.A. and Peterson, P.J. 1987, "Metal Accumulation by Aquatic Bryophytes from Polluted Mine Streams," Environmental Pollution, Vol.19, No.1, pp.39-46.

Darnall, D.W., B. Greene, M. Henzl, J.M. Hosea, R. A. McPherson, J. Sneddon and M.D. Alexander, 1968, Selective Recovery of Gold and Other Metal Ions from an Algae Biomass, *Env. Sci. Tec.*, 20, pp.206-208.

Darnall, D.W., B. Greene, M. Henzl, J.M. Hosea, R. A. McPherson, J. Sneddon and M.D. Alexander, 1968, Selective Recovery of Gold and Other Metal Ions from an Algae Biomass, *Environmental Science and Technology* 20, pp. 206-208

Doyle, R.J., Matthews, T.M., and Streips, U.N., 1980, "Chemical Basis for the Selectivity of

Metal Ions by the *Bacillus Subtilis* Cell Wall," *Journal of Bacteriology*, Vol.143, No.1, pp. 471-480.

Greene, B. Darnall, D.W., M. Nosea, R.A. McPherson, M. Henzl and M.D. Alexander, 1986, "Recovery of Heavy Metal Ions by Immobilized Alga." in Trace Metal Remove from Aquous Solution, R.Thomson ed., London: Royal Society of Chemistry, Special Publication. No.61, PP.1-24.

Greene, B. and D.W. Darnall, 1990, " Algae for Metal Binding," in Microbial Metal Recovery Jennett, J.C., Smith, J.E., and Hassett, J.M., 1982, "Facters Influencing Metal Accumulation by Algae," NTIS PB 83-149377, 124pp.

Kuyucak, N. and B. Volesky, 1989, Accumulation of cobalt by marine alga, Biotechnology and Bioengineering, Vol.33, pp.809-814.

Ngo, V. and Poole, W., 1987. "Boosting Treatment Pond Performance," Pollution Engineering, Vol.19, No.9, pp.62-63.

Norberg, A. and Rydin, S., 1984. "Development of a continuous process for Metal Accumulation by *Zoogloea Ramigera*," *Biotechnology and Bioengineering*, Vol.26, No.3, pp.265-268.

Pryfogyle, P.A., Maiers, D.T., Wichlacz, P.L., and Wolfram, J.H., 1988. "Biosorption of Molybdenum and Chromium,"Proceedings of 1989 SME Symposium on biotechnology in Minerals and Metal Processing,ed.by B.J. Scheiner, F.M. Doyle, and S.K. Kawatra, SME, pp. 201-207.

Rich, G., and Cherry, K., 1987. Hazardous Waste Treatment Technologies, Pudvan Publishing Co., 169pp.

Su, M.C., 1993, "Evaluation of Selector Technology for Heavy Metal Removal by Activated Sludge" IIT, Chicago.

Volesky, B., 1987. "Biosorbents for Metal Recovery," Trends in Biotechnology, Vol.5, pp96-101.