

***Saccharomyces uvarum*에 의한 중금속 생체흡착에 관한 연구**

안 갑 환 · 서 근 학*

지산전문대학 환경관리과, *부산수산대학교 화학공학과
(1995년 5월 9일 접수)

Biosorption of Heavy Metals by *Saccharomyces uvarum*

Kab-Hwan Ahn and Kuen-Hack Suh

Dept. of Environmental science & Technology, Jisan Junior College, 609-757, Korea
**Dept. of Chemical Engineering, National Fisheries University of Pusan, 608-737, Korea*
(Manuscript received 9 May 1995)

Abstract

The waste biomass of *Saccharomyces uvarum*, used in fermentation industries to produce ethanol, were studied for their ability to absorb various heavy metal ions. Heavy metal ions studied in this research were Cd, Co, Cr, Cu, Ni and Pb. The order of the sorption capacity was $Pb > Cu > Co = Cr = Cd > Ni$. The living *Saccharomyces uvarum* exhibited higher metal-uptake capacity than the dead *Saccharomyces uvarum*. After we compare the uptake capacity of the *Saccharomyces uvarum* for individual metal ions with for a mixture of them, the following was observed: in the mixed heavy metal solution the uptake capacity was decreased than the one heavy metal solution. The selective uptake was observed when all the heavy metal ions were dissolved in a mixed solution. The adsorption isotherm modelling was described with the Langmuir and Freundlich model. The results were in good agreement with the Langmuir model.

Key Words : biosorption, heavy metals, uptake capacity, selective uptake, adsorption isotherm.

1. 서 론

화학공업의 발전과 더불어 각종 산업 분야에서 인체에 유해한 중금속이 다량 함유된 폐수의 배출이 증대되어 환경을 오염시키고 있다. 수계에 방류된 유독 중금속들은 생태계를 파괴하고, 인체에 축적될 경우 치명적인 영향을 미친다.

여러가지 중금속을 배출하는 업소로는 전기도금공업, 피혁제조공업, 염색공업, 석유정제공업, 석유화학공업, 금속제련, 농약제조 등이며, 각종 중금속의 증가 및 다양화로 인하여 오염이 점차 확산

되고 있다.

중금속이 함유된 폐수를 처리하는 방법으로는 침전법, 이온교환법, 활성탄 흡착법, 생물학적 처리법 및 계면활성제 등의 응집제를 사용하는 부상 분리법 등이 있다(Thomas, 1989). 침전법은 화학 응집제를 사용하여 중금속을 수산화물, 황화물, 탄산염 혹은 기타 불용성염 등으로 만들어 분리 처리하므로 처리비용은 비싼편이지만 시설설치 비용은 상대적으로 낮아 현재 가장 광범위하게 사용되고 있는 방법이다. 그러나 중금속이 완전히 제거되지 않아 제거효율이 낮고, 응집제 투여로 생성된 침전 슬러지는 2차적인 공해문제가 유발되는

등의 문제점을 가지고 있다.

이온교환수지법은 단일 이온 성분만 있는 폐수의 경우 농축과 회수를 겸하여 처리할 수 있으므로 재이용 가능하나, 대부분의 공업폐수중에 함유된 중금속 이온은 여러종류의 양이온이 용해되어 있어, 이들 모든 양이온들도 동시에 이온교환하여 제거하기 때문에 비효율적이다. 최근 중금속이온만을 선택적으로 제거하는 수지가 개발되었지만 수지의 가격이 고가여서 다른 처리법보다 비경제적이다.

생물학적 처리법으로는 최근 활성 슬러지법, RBC 및 고정 생물막법(fixed-film process) 등으로 Cu, Pb, Cr, Cd, Hg 등의 중금속이온이 미생물에 미치는 영향에 관한 연구가 보고되고 있으나 (Holger, 1993; Chang *et al.*, 1986) 중금속 농도가 20~50 mg/L이상의 경우 미생물에게 독성을 일으켜 활성이 저하되거나 사멸되어 실제의 처리법으로 응용되기 어려운 점을 가지고 있다.

금속류가 미생물과 같은 생물체에 물리, 화학적 작용으로 흡착되는 것을 생체흡착(biosorption)이라 한다. 생체흡착(biosorption)은 미생물을 이용한다는 점에서 생물학적 처리법으로 분류할 수도 있으나, 미생물의 신진대사를 이용하지 않고 음이온으로 하전된 미생물 자체의 특성을 이용하면 이온교환수지나 활성탄 처럼 흡착공정의 흡착제로 사용 가능하다는 것이다.

Yeasts, bacteria, fungi 및 algae와 같은 미생물이 어떤 다른 물질 보다 중금속을 잘 축적할 수 있다는 것은 오래전 부터 보고되고 있다 (Volesky, 1993; Rudd, 1984; Kuycak, 1989; Pighi, 1989). 그 이유는 다당류, 단백질 및 지방질로 구성된 미생물 세포벽의 carboxylate, hydroxyl, sulphate, phosphate 및 amino 기가 중금속을 흡착할 수 있기 때문이다 (Eric, 1994). 미생물에 의한 중금속 이온의 제거는 물리, 화학 및 생물학적 상호작용에 기인하며, 중금속 제거의 메카니즘은 (-)하전을 가지는 세포벽 성분 혹은 점액질로 구성된 세포외벽으로의 흡착, 세포내 단백질과 화합물 형성, 세포내 효소에 의한 불용화, 산화 환원등으로 인한 중금속의 변환 등으로 가정하고 있다. 생체흡착현상은 이온교환 및 활성탄 흡착과 유사하며 미생물의

종류 및 중금속의 종류에 따라 흡착성능이 다르다.

생체흡착에 사용되는 생흡착제들은 대부분 발효 산업공정의 폐 yeasts, 폐수처리장의 폐 슬러지등과 같은 폐 biomass를 사용한다. 이 폐 biomass가 죽어있는 미생물이라 하여도 살아있는 미생물에 비해 그 흡착 성능이 조금 낮아질 수는 있으나 미생물의 활성을 높이기 위한 조치를 취하지 않아도 되며 장시간 여러번 재생하여 사용할 수도 있다 (Beate, 1993). 폐 biomass를 흡착제로 사용하면 발효산업등으로 부터 손쉽게 구할수 있고, 흡착제의 가격이 저렴하고, 폐자원을 가공 처리없이 그대로 이용할 수 있어 경제적이며, 미생물의 종류에 따라 특정 중금속을 선택적으로 흡착하는 성질을 가지고 있어 고가의 중금속 회수에 사용가능하다 (Volesky, 1994). 흡착이 진행되는 시간 또한 1시간 이내로 대단히 빨라 단시간내에 많은 양의 중금속 함유 폐수를 처리할 수 있어 경제적이다 (Volesky, 1990).

이러한 여러가지 장점때문에 최근 미생물로 부터 새로운 생체흡착제(biosorbent) 개발이 급속히 진행되고 있으나 기술 개발은 초기 단계이며, 국내에서도 연구를 충실히 한다면 중금속에 의한 환경오염을 크게 감소시킬 수 있으리라 예상된다.

본 연구에 사용된 흡착제는 에탄올 발효시 사용되는 *Saccharomyces uvarum*으로 생체흡착 실험을 수행하였다. *Saccharomyces uvarum*은 에탄올 발효후 남은 부산물로서 이들 폐 효모를 재이용하면 폐기처리에 따르는 폐기물의 양을 줄일 뿐만 아니라 폐자원의 재활용이라는 면에서 그 의의가 크며, 환경오염 방지에 있어서 중금속도 제거/회수해 주는 이중 효과를 갖는다.

본 연구의 목적은 폐 *Saccharomyces uvarum*으로 Cd, Co, Cr, Cu, Ni 및 Pb 이온의 흡착성능을 규명하고, 실제 현장으로의 적용을 위해 이들 중금속이온들을 혼합하였을때의 흡착성능과 선택적 흡착 능력을 조사한 후 여러 흡착 모델식에 적용하여 흡착공정의 기본적인 설계인자를 구하고자 하였다.

2. 실험내용 및 방법

2.1 미생물 및 중금속

실험에 사용된 미생물은 에탄올 생산에 이용되는 *Saccharomyces uvarum*을 성장시켜 중금속 흡착제로 사용하였다. 중금속은 $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$, $3\text{CdSO}_4 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$, $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, $\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 으로 중금속 표준원액 농도를 1000 mg/L로 제조하여 실험시 필요한 농도(20, 50, 100 그리고 200mg/L)로 희석하여 사용하였다.

2.1.1 미생물 접종, 배양 및 회수

*Saccharomyces uvarum*의 배양은 Table 1의 배지를 조제하여 121°C에서 20분간 멸균한 후 사면배지 형태의 종균을 1 ~ 2 백금이 씩 접종하여 진탕 배양기에서 32°C, 150 r.p.m.으로 20~24 시간 배양하였다. 진탕 배양한 균주 배양액을 원심분리로(5000g, 15분) 농축한 후 증류수로 3 ~ 4회 세척한 후 여과로 *Saccharomyces uvarum*을 농축, 회수하였다. 회수된 *Saccharomyces uvarum*은 살아있는 *Saccharomyces uvarum*과 죽어있는 *Saccharomyces uvarum* 두가지로 나누어 보관 사용하였다. 살아있는 *Saccharomyces uvarum*은 농축 회수된 상태를 그대로 4°C에 보관하고, 죽어있는 *Saccharomyces uvarum*의 제조는 살아있는 *Saccharomyces uvarum*을 80°C로 유지된 건조기에 20시간 건조한 후 막자사발로 분쇄하여 분말상태로 제조하여 데시케이터에 보관하여 실험에 사용하였다.

Table 1. Composition of medium

Components	Concentration(g/L)
Glucose	100
Yeast Extract(Difco)	8.50
Ammonium Chloride	1.32
Magnesium Sulfate	0.11
Calcium Chloride	0.06

2.2 실험방법

2.2.1 생체흡착 실험

단일 중금속 흡착실험은 Cd, Co, Cr, Cu, Ni 및 Pb 이온의 표준원액을 각각 3차 증류수로 필요한 농도의 2배 농도로 희석하여 500mL의 삼각플라스크에 각각 75mL씩 채워 진탕 배양기에 넣어 30°C로 되게하였다. 일정량의 *Saccharomyces uvarum*을 건조 무게로 정량하여 3차 증류수로 충분히 혼합하여 온도가 30°C가 되도록 하였다. 30°C로 조절된 중금속이온과 *Saccharomyces uvarum*을 1:1 혼합하여 진탕 배양기에 넣어 150 r.p.m.으로 회전시켰다. 일정 시간 마다 2mL의 시료를 채취하여 원심분리기에 20분간 10,000 r.p.m.으로 원심분리하여 상등액을 중금속 농도 분석에 사용하였다.

혼합 중금속 흡착실험은 단일 중금속 흡착 실험과 같은 방법으로 수행하였으며, 혼합 중금속 용액의 농도는 Ag, Cd, Co, Cr, Cu 및 Pb를 각각 50 mg/L씩 만들어 혼합하여 사용하였다.

죽어있는 *Saccharomyces uvarum* 흡착실험은 살아있는 *Saccharomyces uvarum*의 흡착실험 방법과 동일하며 생체흡착제인 죽어있는 *Saccharomyces uvarum*은 건조 분쇄된 것을 중금속 용액에 넣어 사용하였다.

모든 중금속의 농도 분석은 원자흡수 분광계(Shimadzu AA-670)로써 분석을 하였으며, 분석조건은 Standard methods(APHA, AWWA & WPF, 1989)에 의해 행하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 *Saccharomyces uvarum*에 의한 중금속이온 흡착

초기 중금속 농도(C_i) 20mg/L, *Saccharomyces uvarum* 농도 1 g/L에서 Cd, Co, Cu, Cr, Ni 및 Pb이온들의 흡착 시간에 따른 잔류 중금속이온 농도(C_t) 변화를 Fig. 1에 나타내었다. 그림에서 보여지는 바와 같이 중금속 이온이 흡착평형에도

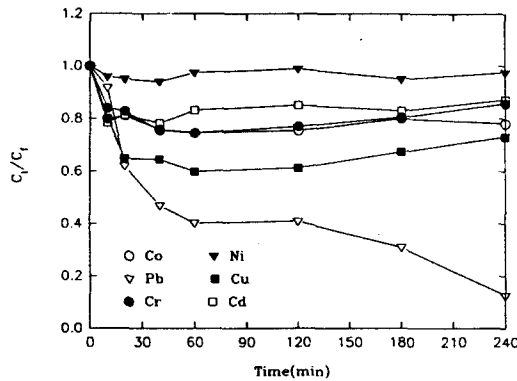


Fig. 1. Bioremoval kinetics of heavy metals.
Initial metal concentration, 20 mg/L
Saccharomyces uvarum dry mass, 1 g/L
Temperature, 30°C

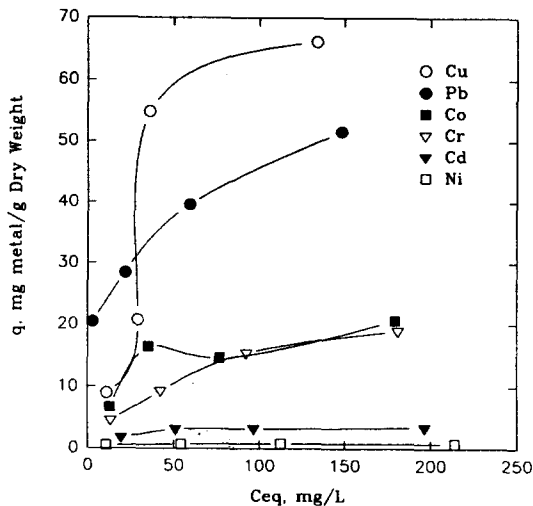


Fig. 2. Biosorption isotherms of living *Saccharomyces uvarum* for various metals.

달되는 시간은 30분 이내로 매우 빠르게 진행되었으며, 각 중금속이온의 종류에 따라 흡착평형에 도달되는 시간과 흡착량이 달라졌다. 이들 6개 종류의 중금속이온 중에서 Pb이온이 다른 중금속에 비해 흡착성능이 우수한 것으로 나타났으며, 흡착평형에 도달하였을 때 초기 유입 중금속이온 중 87%가 제거되었다. 각 중금속의 흡착량은 Pb>Cu>Co=Cr=Cd>Ni의 순으로 이루어 졌다. 중금속

이온의 종류에 따라 *Saccharomyces uvarum*의 흡착량이 달라지는 것은 이온반경, 세포벽의 기능기, 전기적 상호관계가 있을 것이라고 가정을 하고 있으나 물리, 화학, 생물학적인 상관관계가 너무 복잡하여 아직 정확한 메카니즘을 규명을 못하고 있는 실정이다. 본 연구의 결과를 이온반경과 전기하전의 값과 비교한 결과 흡착량과는 무관한 것으로 나타났다.

각 중금속이온 농도 범위를 20 mg/L 에서 200 mg/L로 높여 주었을 때 평형농도에 따른 흡착량을 Fig. 2에 도시하였다. 초기 중금속 농도가 낮은 경우에는 Pb이온이 Cu이온에 비해 흡착량이 많았으나, 농도가 높아질수록 Cu이온이 Pb이온 보다 더 많이 흡착되어져 중금속이온의 농도가 100 mg/L 이상 높아졌을 때의 중금속 흡착 순서는 Cu>Pb>Co=Cr>Cd>Ni이온 순으로 바뀌어 졌다.

중금속이온의 흡착량 계산 방법은 아래와 같이 하였다.

$$q = \frac{V(C_i - C_f)}{M}$$

여기서 q는 미생물 단위질량에 대한 중금속이온의 흡착량(mg/g Dry Weight), V는 용해된 중금속이온의 부피(mL), C_i 는 중금속이온의 초기 농도(mg/L), C_f 는 잔류 중금속이온의 농도(mg/L), M은 미생물의 건조무게(g Dry Weight)이다.

초기 중금속 농도 50mg/L에서 살아있는 *Saccharomyces uvarum*과 죽어있는 *Saccharomyces uvarum*과의 흡착량을 비교하여 Table 2에 나타내었다. 살아있는 *Saccharomyces uvarum*은 Pb이온 및 Cu이온의 흡착량은 각각 28.5, 20.7 mg/g Dry Weight이었으나, 죽어있는 *Saccharomyces uvarum*은 각각 15.0, 7.8 mg/g Dry Weight으로 되어졌다. 또한 죽어있는 *Saccharomyces uvarum*의 Cd, Co 및 Ni이온의 흡착량은 5 mg/g Dry Weight 이하로 되어, 이들 중금속이온들의 제거를 위한 흡착제로는 적절치 않은 것으로 사료되었다. 그러나 살아있는 *Saccharomyces uvarum*은 Ni이온을 제외하고 모두 5 mg/g Dry Weight이상의 흡착량을 보여주어 살아있는 *Saccharomyces uvarum*이

죽은 *Saccharomyces uvarum*에 비하여 우수한 흡착성능을 나타내었다.

Table 2. Metal sorption by *Saccharomyces uvarum* from one metal ions

	Living q (mg/g Dry Weight)	Dead q (mg/g Dry Weight)
Cd	5.5	2.1
Co	18	2.5
Cu	20.7	7.8
Cr	6.1	4.4
Ni	0.7	0
Pb	28.5	15.03
Zn	0	0

*Initial ion concentration : 50 mg/L
Saccharomyces uvarum dry mass : 1 g Dry Weight/L
 Temperature : 30°C

Table 3. Metal sorption by *Saccharomyces uvarum* from mixed metal ions

	Living q (mg/g Dry Weight)	Dead q (mg/g Dry Weight)
Cd	0	0.78
Co	1.64	0
Cu	5.25	1.8
Cr	0.52	0
Ni	0	0
Pb	7.29	12.76
Zn	0	0

*Initial ion concentration : 50 mg/L
Saccharomyces uvarum dry mass : 3 g Dry Weight/L
 temperature : 30°C

중금속이온을 함유하고 있는 산업폐수는 대부분 다양한 종류의 금속이온들이 용해되어 있다. 여러 종류의 중금속이온들이 용해되어 있는 경우의 흡착성능을 알아보기 위해 Cd, Co, Cu, Cr, Ni 및 Pb이온을 각각 50mg/L씩 혼합하여 그 흡착량의 결과를 Table 3에 나타내었다. Table 3에서 보여주는 바와 같이 여러 중금속이온이 혼합된 용액에서는 중금속이온들의 선택적 흡착현상이 뚜렷이 나타났고, 단일 중금속 용액에서와 마찬가지로 Pb

이온과 Cu이온이 다른 중금속이온에 비해 흡착이 잘되었다. 혼합 중금속에서 죽어있는 *Saccharomyces uvarum*은 Co, Cr 및 Ni이온을 전혀 흡착하지 하지 않은 반면에 Pb이온은 12.76 mg/g Dry Weight를 흡착하여 살아있는 *Saccharomyces uvarum*의 흡착량(7.29mg/g Dry Weight)보다 더 많았다. Kuycak(1988) 등도 일부 중금속이온에 대해서는 죽어있는 미생물이 살아있는 미생물 보다 흡착성능이 좋다고 보고 하였다. 그러나 Pb이온을 제외한 다른 모든 중금속이온들은 살아있는 *Saccharomyces uvarum*이 죽어있는 *Saccharomyces uvarum*보다 흡착성능이 우수한 것으로 보여졌지만, 전체 이온의 흡착량을 보면 살아있는 *Saccharomyces uvarum*은 14.7 mg/g Dry Weight이었고 죽어있는 *Saccharomyces uvarum*은 15.34mg/g Dry Weight로 비슷한 흡착성능을 보였다.

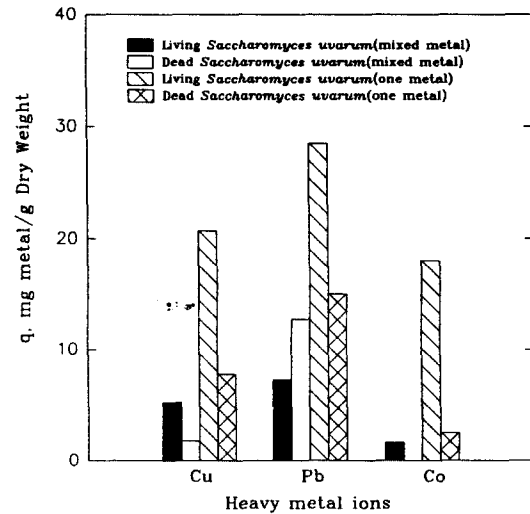


Fig. 3. Heavy metal uptake of one metals and of a mixture of them.

Fig. 3은 단일과 혼합된 중금속이온 및 살아있는 *Saccharomyces uvarum*과 죽어있는 *Saccharomyces uvarum*에서의 Pb, Cu 및 Co이온의 흡착량을 보여주고 있다. 그림에서 살아있는 *Saccharomyces uvarum*이 3종류의 중금속을 가장

많이 흡착하였으며, 죽어있는 *Saccharomyces uvarum*도 중금속이온이 한 종류만 존재할 때에는 혼합 중금속이온의 흡착량 보다 많았으나, 전체적으로는 살아있는 *Saccharomyces uvarum*이 죽어있는 *Saccharomyces uvarum*보다 흡착능력이 우수한 것으로 나타났다.

3.2 중금속이온의 흡착평형

중금속이온이 흡착평형에 도달하면 흡착제 (*Saccharomyces uvarum*) 단위 무게당 흡착량은 잔류 중금속이온의 평형농도 함수로서 흡착등온식으로 표시되어진다(Michio, 1975). 흡착등온식은 흡착제와 중금속이온 상호간의 흡착특성에 의해 결정되므로 흡착등온 관계로부터 *Saccharomyces uvarum*의 흡착상태를 정량화하여 흡착제로써의 성능을 평가할 수 있다.

흡착등온식에 관한 여러가지 모델이 개발되어 있지만 본 실험에서는 Freundlich등온식과 Langmuir등온식을 평형등온실험 자료에 적용하여 보았다.

표면에서 불균일한 흡착에너지를 갖는 흡착에 적합한 Freundlich등온식은 다음과 같이 표현된다.

$$q = K Ceq^{1/n} \quad (2)$$

여기서 K와 1/n은 Freundlich 상수로서 흡착제의 특성에 따라 결정되는 매개변수이며, 이들 매개변수를 구하기 위해 식(2)를 선형화 시키면 아래와 같이 전개할 수가 있다.

$$\log q = (1/n) \log Ceq + \log K \quad (3)$$

여기서 q는 흡착된 중금속의 양(mg/g Dry Weight), Ceq는 용액에 잔존하는 중금속이온의 잔류 평형농도(mg/L)이다. 1/n은 흡착강도, K값은 절편으로 특정 중금속이온에 대한 흡착제의 상대적인 흡착용량을 나타낸다. 따라서 흡착제의 선택은 이들 두 값에 의해 결정되어진다.

Fig. 4는 20~200mg/L의 농도범위에서 Pb, Cu, Co 및 Cr이온들의 흡착량과 잔류 평형농도와의 관계를 도시하여 보여주고 있다.

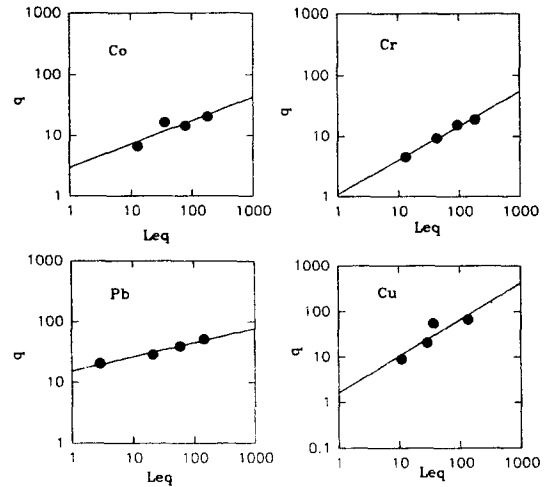


Fig. 4. Freundlich isotherms of biosorption by living *Saccharomyces uvarum*.

Table 4. Freundlich isotherm constants for metal biosorption by *Saccharomyces uvarum*

	K	1/n	R ²
Co	2.951	0.388	0.884
Cr	1.084	0.566	0.993
Cu	1.656	0.805	0.890
Pb	8.830	0.235	0.986

평형농도에 대한 자료들은 Pb이온과 Cr이온에 대해서는 R²= 0.99이상으로 선형관계가 잘 부합되었으나, Co이온 및 Cu이온에는 R²= 0.9 이하로 되어졌다. Freundlich 흡착등온식으로부터 평형흡착 후 Pb이온의 직선식은 $\log q = 0.2351 \log(Ceq) + 1.1811$ (R²=0.99)이었다. Freundlich 흡착등온식으로부터 구한 K 및 1/n의 상수를 Table 4에 나타내었다. 흡착용량을 나타내는 K는 Pb이온이 가장 크게 나타났으나, 흡착강도는 Cu이온이 가장 높은 값을 보였다.

흡착제 표면이 균일한 경우에 많이 적용되는 Langmuir등온식은 일반적으로 다음과 같이 나타낼 수가 있다.

$$1/q = 1/Q + 1/(Q b)(Ceq) \quad (4)$$

여기서, Q는 단분차층 표면에서의 중금속흡착량 (mg/g Dry Weight), b는 반응에너지와 관련된 상수이다.

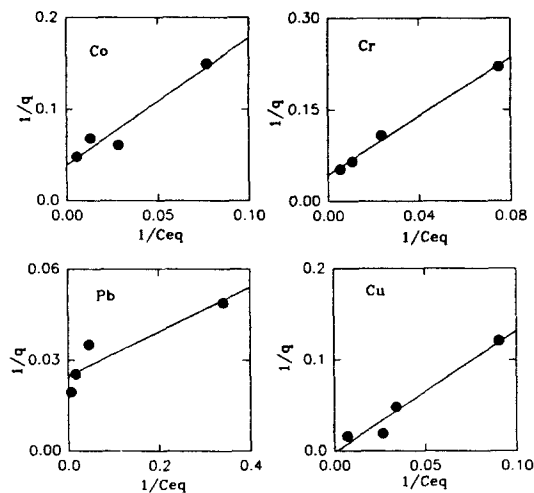


Fig. 5. Langmuir isotherms of biosorption by living *Saccharomyces uvarum*.

Fig. 5는 각각 4개의 중금속(Pb, Cu, Co 및 Co)에 대하여 Langmuir 흡착등온식에 적용한 결과를 보여 주고 있다. Cu이온의 직선식은 $1/q = 1.3527(1/Ceq) + 0.016(R^2=0.997)$ 로 되어졌다. 선형 관계로부터 구한 $1/Q$ 과 $1/Qb$ 의 값은 Table 5와 같았다.

Table 5. Langmuir isotherm constants for metal biosorption by *Saccharomyces uvarum*

	1/Q	1/(bQ)	R ²
Co	0.0389	1.387	0.963
Cr	0.016	1.353	0.975
Cu	0.0426	2.410	0.997
Pb	0.0246	0.073	0.912

Fig. 4와 Fig. 5를 보면 Freundlich등온식 보다 Langmuir등온식에 더 잘 부합함을 볼 수가 있는

데 이는 *Saccharomyces uvarum*의 표면이 균일하기 때문으로 생각되어졌다.

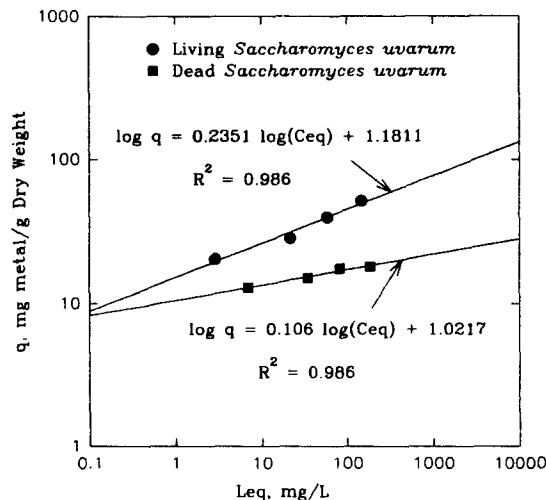


Fig. 6. Freundlich isotherms of Pb sorption by living and dead *Saccharomyces uvarum*.

Fig. 6은 살아있는 *Saccharomyces uvarum*와 죽어있는 *Saccharomyces uvarum*으로 Pb이온에 대한 흡착평형 관계를 살펴보기 위해 Freundlich 흡착등온식에 적용하였다. 그림에서 보여주는 바와 같이 K값은 비슷한 값을 나타내고 있으나 $1/n$ 값은 2.2배 높게 나타나 흡착강도는 살아있는 *Saccharomyces uvarum*가 우수한 것으로 나타났다.

4. 결 론

에탄올 발효산업에 많이 이용되는 *Saccharomyces uvarum*의 폐 yeasts를 사용하여 여러 중금속 이온들의 흡착성능을 조사 연구하였다. 이번 연구에 사용된 중금속들은 Cd, Co, Cr, Cu, Ni 및 Pb이온들이다. 각 중금속의 흡착량은 $Pb > Cu > Co = Cr = Cd > Ni$ 의 순으로 이루어 졌다.

단일 중금속이온 흡착실험에서는 전체적인 중금속 흡착은 능력 살아있는 *Saccharomyces uvarum*

이 죽어있는 *Saccharomyces uvarum* 보다 우수하였다. 그러나 혼합 중금속 실험에서는 살아있는 *Saccharomyces uvarum*과 죽어있는 *Saccharomyces uvarum*의 전체적인 흡착 성능은 비슷하였다. 단 일이온만 존재할 때의 중금속 흡착량이 중금속이 혼합되었을 때 보다 많이 되어졌다. 또한 여러 중금속이 혼합되면 선택적 흡착이 이루어졌다.

Freundlich등온식과 Langmuir등온식을 평형등온실험 자료에 적용하여 보았다. 그 결과 Langmuir등온식이 실험 자료와 잘 부합되었다.

참고문헌

- APHA, AWWA & WPF, 1989, Standard methods for the examination of water and wastewater, 17th ed.
- Beate M. and Gunhild S.s, 1993, Biosorption of metals by a waste biomass, J. Chem. Tech. Biotechnol., 58, 57-63.
- Chang S. Y., Huang J. C. and Liu Y. C., 1986, Effects of Cd(II) and Cu(II) on a biofilm system, J. of Environ. Eng., 112(1), 94-104
- Eric F., Catherine C. and Roux J. C., 1994, Improvement of heavy metal biosorption by mycelial dead biomass:pH control and cationic activation, FEMS Microbiol. 14, 325-332.
- Gourdon R. Diard P. and Funtowicz N., 1994, Evaluation of a countercurrent biosorption system for the removal of lead and copper from aqueous solutions, FEMS Microbiol. 14, 333-338.
- Holger H., Ralf E. and Wilken R. D., 1993, Accumulation of Mercury(II) and Methymercury by microbial biofilms, Wat. Res., 27(2), 237-242.
- Kuyucak N. and Volesky B., 1989, The mechanism of cobalt biosorption, Biotechnol. and Bioeng. 33, 823-831.
- Kuyucak N. and Volesky B., 1988, Biosorbents for recovery of metals from industrial solutions, Biotech. Lett., 10(2), 137-142.
- Mullen M. D., Wolf D. C., Ferris F. G., Beveridge T. J., Flemming C. A. and Bailey, 1989, Bacterial sorption of heavy metals, Appl. Environ. Microbiol., 55(12), 3143-3149.
- Michio I, Mitsuyoshi Y. and Teruaki K., 1975, Adsorption of metal ions on yeast cells at varied cell concentration, Plant & Cell Physiol, 16, 1167-1169
- Pighi L. Pumpel T. and Schinner F., 1989, Selective accumulation of silver by fungi, Biotech. Lett., 11(4), 275-280.
- Prasad S. K., James W. P. and Rao Y. S., 1994, Sorption and Precipitation of metals in activated sludge, Biotech. and Bioeng., 43, 874-880.
- Rudd T., Sterritt R. M. and Lester J. N., 1984, Complexation of heavy metals by extracellular polymers in the activated sludge process, WPCF, 56(12), 1260-1268.
- Thomas E. H. and Drew P. D., 1989, Metal finishing and processing, WPCF, 61(6), 897-901.
- Volesky B. May H. and Holan Z. R., 1993, Cadmium biosorption by *Saccharomyces cerevisiae*, Biotech. and Bioeng., 41, 826-829.
- Volesky B., 1994, Advances in biosorption of metals : Selection of biomass types, FEMS Microbiol. 14, 291-302.
- Volesky B., 1990, Biosorption of Heavy Metals, CRC Press, 21.