

2,2'-Iminodibenzoic acid-cellulose 흡착제의 합성과 Cu(II) 및 Pb(II)의 흡착에 관한 연구

심상균 · 민병도

단국대학교 자연과학대학 화학과

(1997. 5. 24. 접수)

Synthesis of 2,2' -Iminodibenzoic Acid-Cellulose Adsorbent and Its Adsorptivity of Cu(II) and Pb(II)

Sang-Kyun Shim and Byoung-Do Min

Department of Chemistry, Dankook University, Cheonan, Korea

(Received May. 24, 1997)

요약 : 톱밥의 주성분인 cellulose를 이용하여 cellulose-OH를 cellulose-Cl로 전환시킨 다음 킬레이트 시약인 2,2'-iminodibenzoic acid염을 반응시켜 킬레이트 흡착제인 2,2'-iminodibenzoic acid-cellulose를 합성하였다. 그리고 합성된 흡착제를 이용하여 Pb(II)와 Cu(II)의 흡착성을 연구하였다. 흡착 특성에 대한 실험 결과, pH가 증가할수록 금속 이온의 흡착량이 증가함을 알 수 있었다. 최적 흡착 반응시간은 약 1시간, 흡착능과 회수량은 Cu(II)보다 Pb(II)의 경우가 더 좋음을 알 수 있었다.

Abstract : 2,2'-iminodibenzoic acid-cellulose was prepared by reacting 2,2'-iminodibenzoic acid salt with cellulose-Cl obtained by chlorination of cellulose-OH which is the major component of sawdust. The adsorptivity of Pb(II) and Cu(II) was studied using the synthetic chelating adsorbent. The adsorption amounts of those ions increased with increasing pH and the optimum adsorption time of metal ion was about 1hr. The adsorptivity of Pb(II) was larger than that of Cu(II).

Key words : chelating adsorbent, adsorption capacity, 2,2'-iminodibenzoic acid-cellulose

1. 서 론

킬레이트 흡착제는 분석화학¹과 응용화학 분야인 수처리² 및 환경관리³ 측면에서 중요한 관심사로 떠오르고 있다. 킬레이트 흡착제는 주로 킬레이트 수지와 킬레이트 이온교환체⁴로 나누어지며, 대부분 고분자 기질과 킬레이트제⁵⁶를 도입하여 합성한다.

킬레이트 고리의 합성은 대개 질소나 산소 또는 황

원자를 포함하고 있어야 하는데, 질소 계열로는 1차, 2차, 3차 amine, nitro, nitroso, azo, diazo 등이 있으며, 산소 계열로는 phenol, carboxyl, ketone, aldehyde, phosphoryl 등이 있다. 그리고 황 계열로는 thiol (-SH), thioester (-SR'), thiocarbamate (-NHCO-S R'), disulfide (-SSR') 등이 이 부류에 속한다.¹ 그리고 대부분 이용되는 고분자 기질로는 styrene-divinylbenzene, vinylpyridine, methacrylate, acrylonitrile

의 공중합체와 cellulose 등이 있다. Cellulose를 기질로 하는 킬레이트 흡착제의 합성은 대개 cellulose의 -OH기를 이용하여 aminobenzene, tosyl, epoxy, cyanuric cellulose 등의 cellulose 유도체를 출발물질로 한다. 그 다음 이들과 킬레이트작용기를 포함하는 단량체 화합물(예 : iminodiacetic, anthranilic, aminophenylarsonic group)과 반응시켜 cellulose 흡착제를 합성한다.⁷⁻¹⁰ Cellulose는 구슬, 미세 입자, 종이와 직물 등의 섬유질 등 여러 가지 다양한 형태로 얻을 수 있으며 자연계에 풍부하게 존재하므로 경제적이다. 또한 cellulose는 반응성과 친수성, 흡착능 등이 매우 좋으며 화학적으로 처리된 cellulose를 이용하여 금속 이온의 선택적 분리^{12,13}와 미량 금속 이온 농축¹⁴⁻¹⁷ 등의 활발한 연구가 진행되고 있다.

한편, 이러한 킬레이트 흡착제를 이용하여 금속 이온을 분리하고 농축하는 방법에는 정적(static)인 방법과 동적(dynamic)인 방법, 크로마토그래피법 등이 있다. 그리고 컬럼을 이용하는 방법은 킬레이트 흡착제를 컬럼에 충전시키고 원소의 분리와 농축을 한다.

원소를 정량하는 방법에는 atomic absorption spectrometry¹⁸⁻²⁰, neutron activation analysis²¹⁻²³, X-ray fluorescence spectrometry²⁴⁻²⁶, atomic emission spectrometry^{27,28}, uv-vis spectrophotometry^{29,30} 등과 같은 방법으로 정량한다.

따라서 본 연구에서는 미량의 금속 이온을 선택적으로 분리 농축시키기 위해 cellulose를 주성분으로 하고 있는 톱밥을 이용하여 cellulose-OH를 cellulose-Cl로 전환시킨 뒤 2,2'-iminodibenzoic acid(IDB) 염과 반응을 시켜 킬레이트 흡착제인 2,2'-iminodibenzoic acid-cellulose(IDBC)를 합성하였다. 그리고 벅치법을 이용하여 Cu(II) 및 Pb(II)의 흡착능에 미치는 pH, 흡착능 및 반응시간을 조사하고 컬럼법으로 금속 이온의 흡착능과 회수량을 연구하였다.

2. 실험

2.1. 시약

본 실험에 사용한 톱밥은 소나무의 톱밥을 이용하여 실험하였다. 흡착제 합성시 이용된 2,2'-iminodibenzoic acid(95%)는 Aldrich사제이며, 그외의 시약은 특급 내지 1급 시약으로 정제하지 않고 그대로 사용하였다. Cu(II) 표준 용액은 금속구리(99.99%) 1g을 진한

질산으로 1:1로 묽힌 용액 10mL에 녹여 1000ppm으로 만든 후 필요할 때마다 묽혀서 사용하였고, Pb(II) 표준 용액은 질산납(99%) 1.598g을 진한 질산 1mL를 포함하는 수용액에 녹여 1000ppm으로 만든 후 필요할 때마다 묽혀서 사용하였다. 그리고 실험에 이용된 증류수는 모두 3차 증류수였다.

2.2. 기기

금속 이온의 정량에는 Shimadzu AA-680 Atomic Absorption/Flame Emission Spectrophotometer를 사용하였다. 2,2'-iminodibenzoic acid salt의 확인에는 MIDAC FT-IR M series와 Varian EM-360A ¹H-NMR를 이용하였으며, 염소이온의 농도와 pH는 Fisher Model 750 pH meter로 측정였다.

2.3. 2,2'-Iminodibenzoic acid(IDB) salt의 제조

IDB 1g을 에탄올(99.9%) 50mL에 녹이고 수산화칼륨 0.65g(3eq.)을 가하여 45°C에서 약 2시간 동안 반응시킨 후 거른 다음 에탄올로 잘 씻은 다음 90°C에서 약 3시간 동안 건조시켰다. 합성한 IDB는 ¹H-NMR과 FT-IR 스펙트럼으로부터 그 구조를 확인하였다.

2.4. cellulose-chloride의 제조

톱밥의 점착성(gelatinous)을 제거하기 위해 톱밥 50g에 수산화나트륨(10%) 500mL를 가하고 혼합물을 60°C에서 2시간 동안 격렬히 섞어 주었다. 혼합물의 상층액이 무색으로 될 때까지 증류수로 씻고 거른 후 105°C에서 2시간 동안 건조시켰다. 건조된 톱밥 2g에 수산화나트륨 수용액(30%) 20mL와 클로로포름 16mL, 상전이 촉매인 tetrabutyl ammonium hydrogen sulfate(10%) 0.2g을 가한 후 기름중탕에서 2시간 동안 강하게 저어 주면서 환류시켰다. 혼합물을 거른 후 남아 있는 고체를 증류수와 에탄올(95%)로 각각 2회씩 씻고 105°C에서 2시간 동안 건조시킨 후 다음과 같은 방법으로 염소의 함량을 측정하였다.³¹ 약 0.05g의 나트륨을 도가니에 넣고 가열하여 나트륨의 증기가 발생하기 시작할 때, 약 0.5g 정도의 건조된 고체를 정확히 달아 도가니에 넣고 약 1분 동안 반응시켰다. 도가니를 식히고 반응하지 않은 나트륨을 제거하기 위해 에탄올 4mL를 가하였다. 남아 있는 용액에 소량의 증류수를 넣고 약 3분간 끓이고 식힌 후 걸렸다. 거른액을 염소 이온 전극을 이용한 전위차법으로 염소의 함

량을 측정하였다.

2.5. 2,2'-Iminodibenzoic acid-cellulose(IDBC)의 합성

염소화된 톱밥 1g에 정제한 DMF 50mL, IDB salt 1.72g(3eq) 및 증류수 25mL를 넣고 기름증탕에서 약 3시간 동안 저어 주면서 환류시켰다. 혼합물을 거른 후 증류수로 3회 씻고 105℃에서 2시간 동안 건조시킨 다음 질소의 함량을 측정하였다.³² 즉 건조된 고체 약 0.03g 정도를 정확히 달아 Kjeldahl flask에 넣고 황산칼륨 1g, 무수 황산구리(97.5%) 0.1g과 진한 황산(98.8%) 25mL를 가하고 상층액이 맑아질 때까지 가열하였다. 이 용액을 공기 중에서 식힌 후 다시 얼음물 속에서 약 15분간 냉각시키고 차가운 증류수 50mL를 가하였다. 용액을 증류 플라스크에 옮기고 다시 증류수 50mL로 kjeldahl 플라스크를 5회 씻고 씻은 액을 증류 플라스크에 옮겼다. 미리 0.1M 염산 50mL를 취하여 증류액을 받는 용기에 넣은 후 증류 플라스크에 6M 수산화나트륨 50mL를 약 1분간에 걸쳐 방울로 떨어뜨린 후 가열한 다음 처음 액이 약 1/3 정도 남아 있을 때까지 증류하였다. 받는 용기에 지시약으로 bromocresol green 6방울을 가한 후 0.1M 수산화나트륨 용액으로 적정하여 질소의 함량을 구하였다.

2.6. 금속 이온 흡착에 미치는 pH의 영향

Cu(II)와 Pb(II) 10ppm 용액을 만든 후 이 용액을 각각 20mL씩 취하여 삼각 플라스크에 넣은 후 pH를 3~6 범위로 만든 완충 용액 20mL와 IDBC 흡착제 50mg을 가하고 1시간 동안 강렬하게 흔들어 주었다. 거른 다음 거른 액 중에 함유된 금속 이온의 함량을 AAS를 이용하여 정량하였으며, 바탕 실험은 출발 물질인 톱밥을 이용하였다.

2.7. IDBC 흡착제에 대한 금속 이온의 흡착능

Cu(II)와 Pb(II)를 각각 50에서 250ppm으로 만든 후 이 용액을 각각 20mL씩 정확히 취하여 삼각 플라스크에 옮겼다. Cu(II)는 pH 5의 완충 용액, Pb(II)는 pH 4의 완충 용액 20mL와 IDBC 흡착제 50mg을 가하여 1시간 동안 강렬하게 저어 준 후 걸렀다. 거른 액 중에 함유된 금속 이온의 함량을 AAS법으로 정량하였으며 바탕 실험은 출발 물질인 톱밥을 이용하였다.

2.8. 금속 이온 흡착에 미치는 시간의 영향

Cu(II)와 Pb(II) 100ppm 용액을 각각 20mL씩 취하여 삼각 플라스크에 옮기고 Cu(II)는 pH 5의 완충 용액, Pb(II)는 pH 4의 완충 용액 20mL와 IDBC 흡착제 50mg을 가하여 30분에서 2시간 동안 반응시간을 변화시키면서 강렬하게 흔들어 준다. 거른 다음 거른 액 중에 함유된 양을 AAS법으로 정량하였으며, 바탕 실험은 출발 물질인 톱밥을 이용하였다.

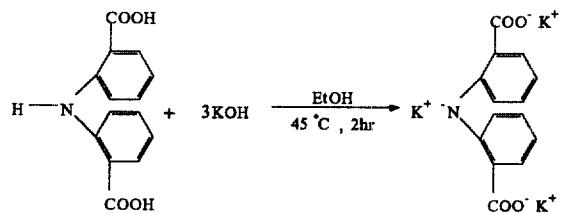
2.9. 컬럼법에 의한 금속 이온의 흡착능과 회수량 측정

컬럼(높이=30cm, 안지름=2cm)에 IDBC 흡착제 4g을 충전시킨 후 Cu(II)와 Pb(II) 100ppm 용액 50mL를 가하고 1시간 동안 평형에 도달시켰다. Cu(II)와 Pb(II) 100ppm 용액 1000mL를 50mL/min.의 흐름 속도로 용리시킨 다음 용출액을 각각 50mL씩 20회 분취하고 금속 이온의 함량을 AAS를 이용하여 정량하였다. 그리고 금속 이온 용액을 용리시킨 컬럼에 3M 질산 200mL를 50mL/min. 흐름 속도로 통과시킨 다음 용출액을 각각 10mL씩 10회, 25mL씩 4회 분취하고 회수된 금속 이온의 함량을 AAS를 이용하여 정량하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 2,2'-Iminodibenzoic acid(IDB) salt의 제조

킬레이트 시약인 IDB는 질소 원자의 주변에 있는 벤젠 고리와 공명으로 비교적 안정하기 때문에 cellulose-Cl과의 반응성이 매우 약하다. 따라서 IDB를 염상태로 만들어 IDB에 있는 질소의 염기도를 증가시킴으로써 이러한 문제점을 해결할 수 있었다. IDB염을 합성하기 위한 반응식은 다음과 같다.



위 반응식에서와 같이 IDB염을 합성한 다음 ¹H-NMR과 FT-IR로 그 구조를 확인한 결과를 Fig. 1

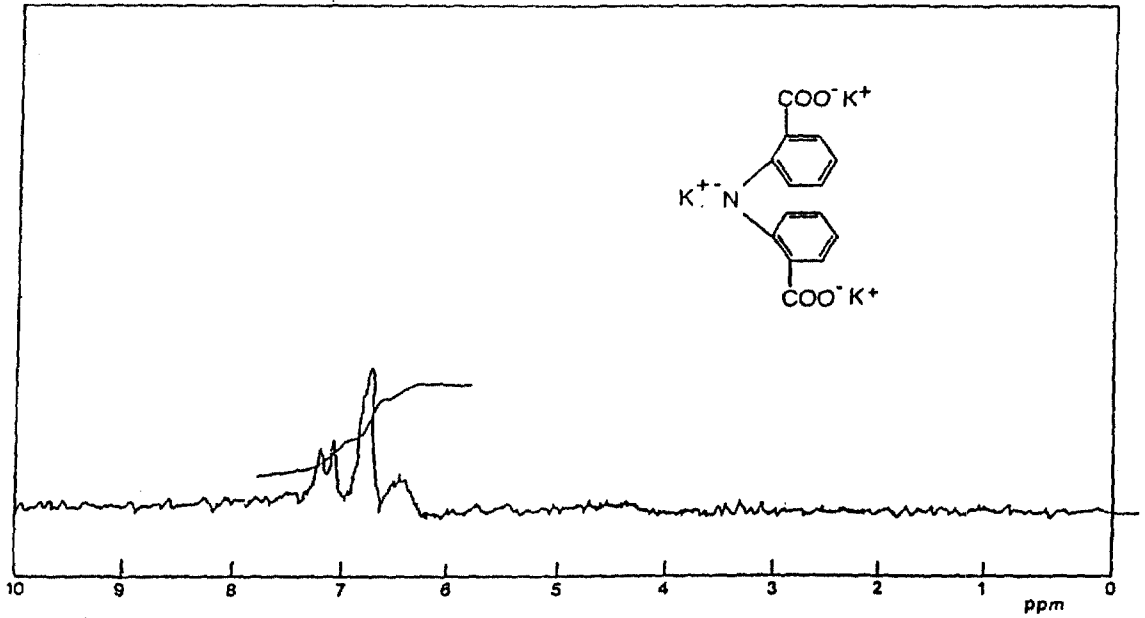


Fig. 1. ¹H-NMR spectra of 2,2'-Iminodibenzoic acid salt.

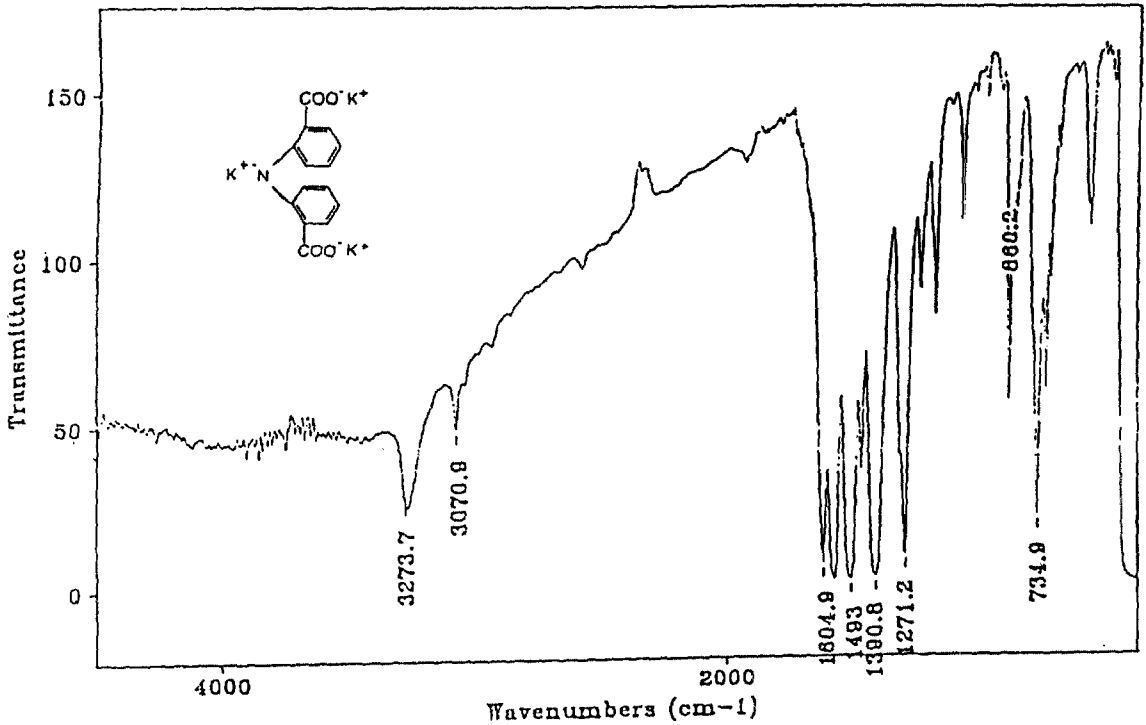


Fig. 2. FT-IR spectrum of 2,2'-Iminodibenzoic acid salt.

과 Fig. 2에 각각 나타내었다.

Fig. 1의 ¹H-NMR 스펙트럼을 보면 δ=7ppm 부근

에서 두 개의 페닐기에 결합된 H의 스펙트럼이 나타

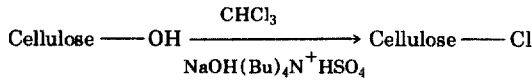
났다. 그리고 Fig. 2의 FT-IR 스펙트럼을 보면

3070cm⁻¹에서 방향족의 특성 스펙트럼과 1604cm⁻¹에서 이온화된 카르보닐기(C=O), 그리고 1390cm⁻¹에서 C-N 결합의 흡수띠가 나타난 결과로 보아 IDB염이 합성되었다는 것을 확인할 수 있었다.

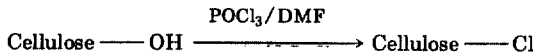
3.2. Cellulose-chloride의 제조

흡착의 주성분인 cellulose를 기질로 하는 2,2'-iminodibenzoic acid-cellulose를 합성하기 위하여 cellulose-OH를 먼저 cellulose-Cl 상태로 치환을 시켰으며, cellulose의 2,3,6의 위치에 있는 3개의 -OH기는 모두 할로젠 화합물에 의하여 치환이 가능하다.³³ cellulose-OH를 cellulose-Cl로 합성하는 방법에는 상전이 촉매법과 POCl₃법의 두 가지 방법이 있다.³⁴

먼저 상전이 촉매법은 다음과 같다.

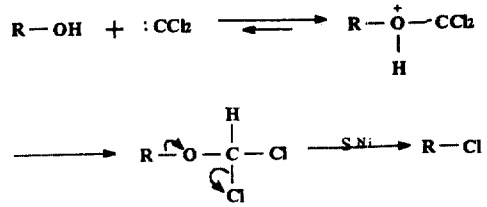
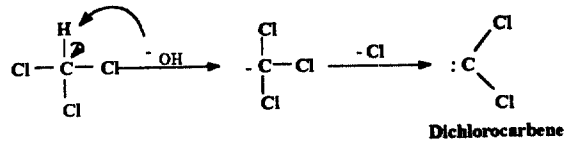


그리고 POCl₃법(phosphoryl chloride method)은 아래와 같은 반응식에 따라 합성한다. 즉,



그러나 POCl₃법은 흡착의 섬유 조직을 분해시키므로 상전이 촉매법을 주로 이용한다.³⁴

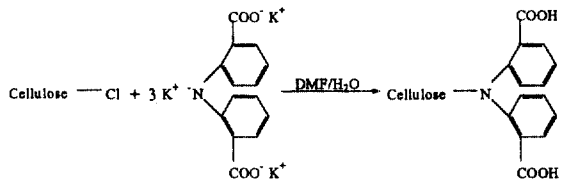
상전이 촉매법에서 클로로포름이 디클로로카르벤을 형성시킨 다음 R-OH를 R-Cl로 염소화시키는 반응 메카니즘은 아래와 같다.



따라서 상전이 촉매법을 이용하여 cellulose-Cl를 합성한 후 Cl의 함량을 측정된 결과를 Table 1에 수록하였다.

3.3. 2,2'-Iminodibenzoic acid-cellulose(IDBC)의 제조

앞에서 합성한 cellulose-Cl와 IDB염으로부터 IDBC를 합성하는 반응식은 다음과 같다.



앞 식에 따라 IDBC를 합성한 후 cellulose-Cl로부터 IDBC의 함성률을 구하기 위해 Kjeldahl법으로 질소의 함량을 측정하였다. 그리고 바탕값을 출발 물질인

Table 1. Degree of functionality of the cellulose-chloride

Substrate	mg Cl/g adsorbent	Degree of functionality
Cellulose-chloride	39.23	0.1812

Table 2. Yield and nitrogen content of the IDBC adsorbent

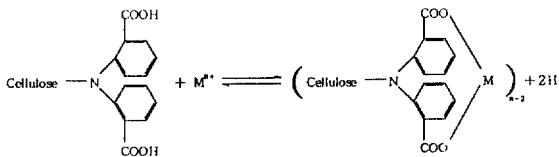
Substrate	mg hetero atom/g adsorbent		Degree of functionality	% Yield
	Cl	N		
Cellulose-Cl	39.23	-	0.1812	-
IDBC adsorbent	-	13.92	-	89.92%

흡착을 이용하여 구하였으며, 그 결과를 Table 2에 수록하였다.

3.4. 금속 이온 흡착에 미치는 pH의 영향

Cellulose를 주성분으로 하고 있는 톱밥은 물리적인 흡착에 의해서도 금속 이온을 제거시킬 수 있는 성질을 가지고 있다. 그러므로 합성의 출발 물질인 톱밥을 이용하여 바탕시험을 함으로써 IDBC 흡착제가 어느 정도의 금속 이온을 흡착하는가를 정확하게 알 수 있다.

금속 이온과 IDBC 흡착제와의 착물형성은 리간드 원자들이 양성자를 잃게 되어 일어남으로 pH의 영향을 받게 되며 IDBC 흡착제와 금속 이온과의 반응식은 다음과 같다.



따라서 pH 변화에 대한 IDBC와 금속 이온과의 결합을 알아보기 위해 Cu(II)와 Pb(II) 용액의 pH 3에서 6까지 조절하고 배치법을 이용하여 1시간 동안 흡착시킨 뒤 용액 중에 남아 있는 금속 이온의 농도를 AAS로 정량하였으며, 위와 동일한 조건으로 출발물질인 톱밥을 이용하여 바탕시험을 하고 그 결과를 Fig. 3에 나타내었다.

결과에서 보는 바와 같이 pH가 증가할수록 금속 이

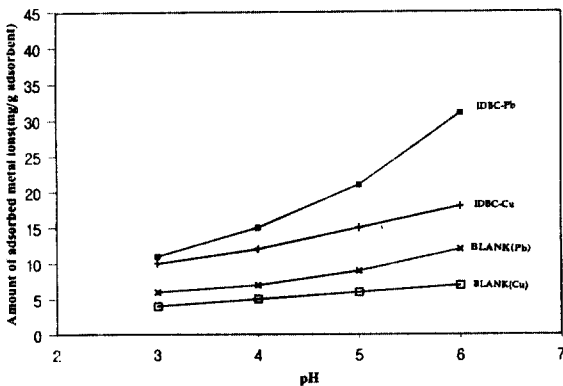


Fig. 3. Effect of pH in the adsorption of metal ions.

온이 IDBC에 흡착되는 양도 증가함을 알 수 있었으며, 이러한 결과로 pH 3 이상에서 흡착제와 금속 이온과의 착물이 형성됨을 알 수 있었다. 그러나 pH가 너무 높아지게 되면 금속 이온은 수산화물 침전을 형성하며³⁾, Cu(II)는 pH 5, Pb(II)는 pH 4에서 출발물질인 톱밥을 이용한 바탕 시험값과 IDBC에 흡착되는 양의 차이가 약 0.33mg 정도의 일치성을 보여 흡착제의 흡착능과 반응시간에 대한 실험은 Cu(II)는 pH 5, Pb(II)은 pH 4의 조건에서 실시하였다.

3.5. IDBC 흡착제의 금속 이온에 대한 흡착능

흡착제를 합성하여 금속 이온의 흡착능을 조사하는 것은 대단히 중요하다. 흡착제가 금속 이온을 흡착시키는 양은 흡착제의 킬레이트 자리에 금속 이온이 완전히 결합되었을 때, 금속 이온의 양이 최대로 흡착될 것이다. 따라서 IDBC 흡착제의 흡착능을 알아보기 위하여 흡착제의 양을 일정하게 고정시킨 후, 각 이온의 농도를 증가시키면서 Cu(II)는 pH 5, Pb(II)은 pH 4의 조건하에서 배치법을 이용하여 금속 이온의 흡착능을 측정하였다. 위와 동일한 조건으로 출발물질인 톱밥을 이용하여 바탕시험을 한 후, 흡착된 양의 차이를 Fig. 4에 나타내었으며, 화학적 흡착과 물리적 흡착량을 합한 전체 흡착량을 Table 3에 수록하였다.

결과에서 보는 바와 같이 Cu(II)는 화학적 흡착량이 약 4.95mg adsorbent, Pb(II)은 약 20.77mg adsorbent를 흡착하였으며, 물리적 흡착량을 포함한 전

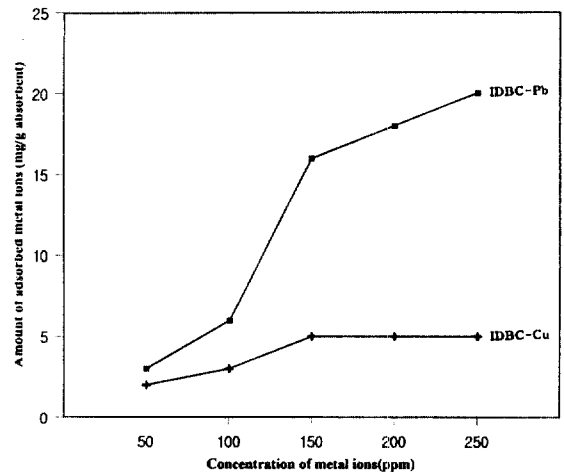


Fig. 4. Effect of ion concentration in the adsorption of metal ions.

Table 3. Adsorption capacity of adsorbent for metal ions

Metal ion	pH	Physical absorption (mg metal ion/g adsorbent)	Chemical absorption (mg metal ion/g adsorbent)	Total absorption (mg metal ion/g adsorbent)
Cu(II)	5	5.72	4.95	10.67
Pb(II)	4	28.43	20.77	49.20

체 흡착량은 Cu(II) 10.67mg/g adsorbent, Pb(II) 49.20mg/g adsorbent으로서 IDBC 흡착제는 Cu(II) 보다 Pb(II)의 흡착량이 더 큼을 알 수 있다.

3.6. IDBC 흡착제와 금속 이온과의 반응시간에 의한 영향

IDBC 흡착제에 있는 다수의 -OH기는 친수성의 성질을 가지므로 수용액으로부터 금속 이온을 흡착하는 성질이 대단히 크다. 따라서 IDBC 흡착제가 금속 이온을 흡착시키는 데 필요한 시간을 알아보기 위해 시간을 30분 간격으로 증가시키면서 Cu(II)는 pH 5, Pb(II)은 pH 4의 조건에서 배치법을 이용하여 측정 한 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 결과에서 보는 바와 같이 Cu(II)의 경우 30분에서 1시간 정도에서 모두 IDBC에 흡착됨을 알 수 있었다. 그리고 Pb(II)의 경우는 30분일 때 최대 흡착량의 약 47%, 1시간일 때 약 93% 정도가 흡착되며 시간이 경과됨에 따라 흡착되는 양이 서서히 증가하였다. 결과적으로 IDBC 흡착제가 금속 이온을 흡착시키는 시간은 약 1시간 정도면 충분하다는 것을 알 수 있었다.

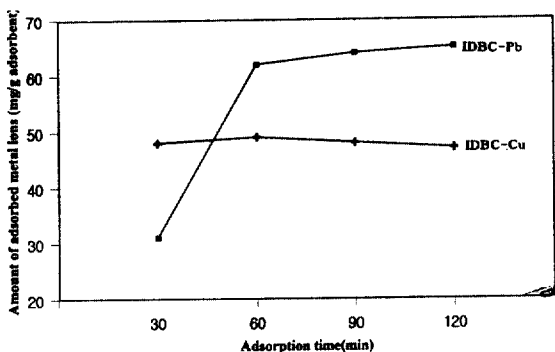


Fig. 5. Adsorption equilibrium of the adsorbent for Pb²⁺ and Cu²⁺ ion.

3.7. 컬럼법에 의한 금속 이온의 흡착능과 회수량

배치법으로 얻은 실험 결과를 토대로 컬럼법으로 IDBC에 대한 금속 이온의 흡착능과 회수량을 조사하였다. 즉 양을 변화시킨 흡착제를 컬럼에 충전시킨 후 금속 이온 용액을 용리시키고 용출액을 일정량씩 분취한 다음 금속 이온의 흡착량을 구한 결과를 Fig. 6에 나타내었다.

결과에서 보는 바와 같이 Cu(II)의 경우 150mL 이후에 흡착되는 양이 약 20ppm으로 감소함을 알 수 있

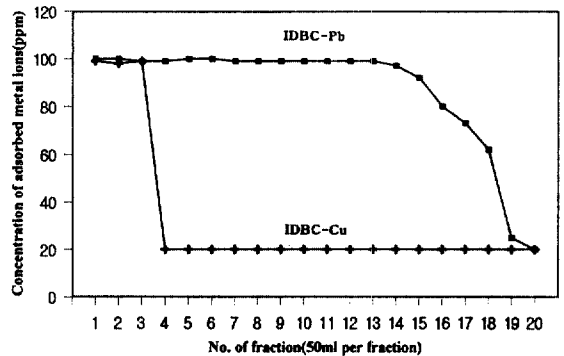


Fig. 6. Metal ion adsorption by column method.

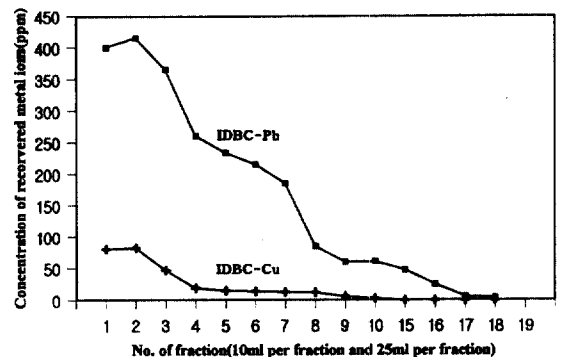


Fig. 7. Recovery of metal ions from the adsorbent by column method.

었고, Pb(II)의 경우 약 750mL까지 90ppm 이상을 흡착하였으며 1000mL일 때 약 20ppm을 흡착하였다. 따라서 IDBC 흡착제는 Cu(II)보다 Pb(II)의 흡착능이 더 크다는 것을 알 수 있었다. 그리고 컬럼법을 이용한 금속 이온의 회수량을 구한 결과를 Fig. 7에 나타내었다.

Fig. 7에 나타낸 바와 같이 금속 이온의 회수되는 양이 Cu(II)의 경우 50mL 이후에 10ppm 이하로 감소하였으며, Pb(II)의 경우 175mL 이후에 10ppm 이하로 감소함을 알 수 있었다. 따라서 산처리에 의한 금속 이온의 회수량은 그래프의 면적으로 계산될 수 있으며, Pb(II)의 경우 약 30mg, Cu(II)의 경우 약 3mg 정도를 회수할 수 있었다.

컬럼법을 이용하여 금속 이온의 흡착량과 회수량을 측정할 때, 용출액의 흐름속도를 느리게 한다면 더 많은 양의 금속 이온이 흡착될 수 있을 것으로 생각되며, cellulose의 염소화를 증가시키는 방법과 가격이 낮은 킬레이트 시약을 합성할 수 있는 방법들은 앞으로의 연구 과제이다.

4. 결론

흡착의 주성분인 cellulose를 이용하여 킬레이트 시약인 2,2'-iminodibenzoic acid염과 반응을 시켜 킬레이트 흡착제인 2,2'-iminodibenzoic acid-cellulose를 합성한 후 금속 이온(Cu^{2+} , Pb^{2+}) 흡착에서 pH 및 반응시간의 영향, 그리고 흡착능과 회수량 등을 조사한 결과는 다음과 같다.

1. 2,2'-iminodibenzoic acid(IDB)를 염 상태로 만들어 킬레이트 흡착제인 2,2'-iminodibenzoic acid-cellulose(IDBC)를 합성하였다.
2. IDBC 흡착제는 pH가 증가할수록 금속 이온의 흡착력이 증가함을 알 수 있었다.
3. IDBC 흡착제를 이용하여 Cu^{2+} 및 Pb^{2+} 의 농도를 증가시키면서 흡착능을 조사하여 본 결과, Cu^{2+} 보다는 Pb^{2+} 의 흡착력이 더 큼을 알 수 있었다.
4. 배치법을 이용하여 IDBC 흡착제에 금속 이온을 흡착시켰을 때 이들이 평형에 도달하는 시간은 약 1시간 정도면 충분하다는 것을 알 수 있었다.
5. 컬럼법을 이용하여 IDBC 흡착제에 대한 금속 이온 흡착능 및 회수량을 비교하였을 때, Cu^{2+} 보다는

Pb^{2+} 의 흡착능 및 회수량이 더 크다는 것을 알 수 있었다.

참고문헌

1. G. V. Myasoedova, and S. B. Savrin, *CRC Critical Rev. in Anal. Chem.*, **17**, Issue 1, 1-64(1986).
2. M. Streat, *Ion Exchange for Industry*, p.3-123, Ellis Horwood, Chichester, 1988.
3. L. Pawlowski, G. Alarts, and W. J. Lacy, *Chemistry f1. or Prot2. ection of the Environment*, p495-538, Elsevier, Science, Amsterdam, Netherlands, 1986.
4. R. Hering, *Chelatidende Ionenaustauscher*, Akademie Verlag, Berlin, Germany, (1967).
5. G. V. Myasoedova, and S. B. Savrin, *Chelating Sorbents*, Nauka, Moscow, Russia(1984).
6. G. V. Myasoedova, and S. B. Savr in, *Zh. Anal. Khim.*, **37**, 499(1982).
7. W. Wegscheider, and G. Knapp, *Crit. Rev. Anal. Chem*, **11**, 793(1981).
8. V. N. Tolmachev, L. V. Miroshnik, E. A. Chaikina, and S. Galbraikh, *Vysokomol. Soed.*, **13B**, 454(1971).
9. G. V. Myasoedova, M. P. Volynets, T. A. Koveshnikova, Yu. I. Belyeav, and T. V. Dubrova, *Zh. Anal. Khim.*, **29**, 2252(1974).
10. M. P. Volynets, E. V. Egorov, and G. V. Myasoedova, *Zh. Anal. Khim*, **26**, 1434(1971).
11. W. Wegscheider, and G. Knapp, *CRC Critical Rev. in Anal. Chem.*, **11**, 79-102(1981).
12. K. H. Lieser, H. M. Rober, and P. Burba, *Z. Anal. Chem.*, **284**, 361(1977).
13. T. Hayashita, and M. Takagi, *Talanta*, **32**, 399-405 (1985).
14. S. Imai, M. Muroi, A. Hamaguchi, and M. Koyama, *Anal. Chim. Acta.*, **113**, 139(1980).
15. S. Imai, M. Muroi, A. Hamaguchi, and M. Koyama, *Anal. Chem.*, **55**, 1215-1219(1983).
16. S. Imai, M. Muroi, and A. Hamaguchi, *Analyst*, **110**, 1083-1086(1985).
17. E. Beinrohr, M. Cakot, J. Garaj, and M. Rapta, *Anal. Chim. Acta*, **230**, 163-170(1990).
18. A. Isozaki, Y. Fikuda, and S. Utsumi, *Bunseki Kagaku*, **31**, 404(1982).
19. A. Isozaki, N. Soeda, T. Okutani, and S. Utsumi, *J. Chem. Soc. Jpn. Chem. Ind. Chem.*, 549(1979).
20. A. E. Watson, and G. I. Moore, *S. Afr. J. Chem.*, **37**,

- 81(1984).
21. J. A. Buano, R. W. Karin, and J. L. Fashing, *Anal. Chim. Acta.*, **80**, 327(1975).
22. P. Burba, K. H. Lieser, V. Neitzer, and H. M. R. ber, *Anal. Chem.*, **291**, 273(1978).
23. L. J. Kr mer, and B. Neidhart, *J. Radionanal. Chem.*, **37**, 835(1977).
24. R. E. Van Griken, *Anal. Chim. Acta.*, **143**, 3(1982).
25. V. G. Lambrev, M. M. Ivanova, V. A. Koptyuk, and N. M. Kuzmin, *Zh. Anal. Khim.*, **38**, 138(1983)
26. F. I. Lovanov, I. M. Yanovskaya, and N. V. Makarov, *Uspekhi. Khim.*, **52**, 854(1983).
27. F. I. Danilova, I. A. Fedotova, and R. M. Nazarenko, *Zavod, Lab.*, **48**, 9(1982).
28. F. I. Danilova, I. A. Fedotova, I. A. Rozdukhova, G. V. Myasoedova and I. I. Antokolskaya, *Zh. Anal. Khim.*, **33**, 2191(1978).
29. S. B. Savvin, I. I. Antokolskaya, G. V. Myasoedova, L. I. Bolshakova, and O. P., *Shvoeva, J. Chromatogr.*, **102**, 287(1974).
30. I. I. Anokolskaya, G. V. Myasoedova, L. I. Bolshakova, M. G. Ezernitskay, M. G. Ezernitskaya, M. P. Volynets, A. V. Karyakin, and S. B. A. Savvin, *Zh. Anal. Khim.*, **31**, 742(1976).
31. A. I. Vogel, *Practical Organic Chemistry*, 3rd ed., Longman, London, p.1040, 1971.
32. D. C. Harris, *Quantitative Chemical Analysis*, 2nd ed., p.686, Freeman, New York U. S. A., 1987.
33. R. C. De Geiso, L. G. Donaruma, and E. A. Tomic, *Anal. Chem.*, **34**, 845(1962).
34. W. H. Chan, S. Y. Lam-Leng, K. W. Cheng, and Y. C. Yip, *Analytical Letters*, **25**(2), 305-320(1992).