

이온 교환수지를 이용한 우라늄(VI) 이온의 흡착에 관한 연구

강영식 · 김준태
광주보건대학 환경위생과

A Study on the Adsorption of Uranium(VI) Ion Using Ion Exchange Resin

Young-Sik Kang · Joon-Tae Kim
Dept. of Environmental Hygiene, Kwangju Health College, Kwangju, Korea

요 약

클로로메틸화된 스티렌, 1,4-디비닐벤젠과 동공의 크기를 달리한 여러 가지 거대고리 화합물을 개시제로 하여 공중합법에 의하여 1%, 2%, 5% 및 10%의 가교도를 가진 새로운 이온 교환수지를 합성하였다. 그리고 이들 수지에 대한 우라늄(VI) 이온의 흡착특성을 검토하였다. 이 수지들은 강산, 강염기 및 열에 대해서 안정하였으며, pH 4.0 이상에서는 우라늄 이온에 대한 결보기 용량이 가장 크게 나타났고, 이들 수지들과 우라늄 이온의 흡착력은 용매의 유전상수 값과 가교도 크기에 반비례하였으며, 흡착 시간은 2시간이 지나면 완전히 흡착 평형에 도달하고, 흡착 순서는 OdenNtn-H₄ > OenNtn-H₄ > OtnNen-H₄ > OenNen-H₄의 순이었다.

Abstract

Several new ion exchange resins have been synthesized from chloromethyl styrene-1,4-divinylbenzene with 1%, 2%, 5% and 10%-crosslink and macrocyclic ligands of cryptand type by interpolymerization method. The adsorption characteristics and the pH, time, solvents and concentration dependence of the adsorption of uranium ion by this resins were studied. The resins were very stable in both acidic and basic media and have good resistance to heat at 300°C. The uranium ion are not adsorbed on the resins below pH 3.0, but the power of adsorption of it increased rapidly above pH 4.0. The optimum equilibrium time for adsorption of uranium ion was two hours and adsorptive power decreased in proportion to crosslink size of the resins and order of dielectric constants of solvents used and the adsorption for uranium ion was in the order of OdenNtn-H₄ > OenNtn-H₄ > OtnNen-H₄ > OenNen-H₄.

I. 서 론

우라늄을 분리 회수하는 방법으로는 용매 추출법, 이온 교환 크로마토그래피법¹⁾ 등이 있는데 이온

교환 크로마토그래피법을 제외한 나머지 방법들은 간단하고 신속하며 대규모의 생산이 가능한 장점을 갖고 있으나 방법에 따라 회수된 우라늄의 순도가 낮거나 사용하는 용매 및 시약의 손실이 비

교적 큰 단점²⁾을 지니고 있다. 이온교환 크로마토그래피법은 다른 방법에 비해 비교적 시간을 많이 요구하는 단점이 있지만 선택성이 있으며 용액뿐만 아니라 반죽 상태의 시료도 정량적인 분리가 가능한 장점이 있다. 또한 화학 약품의 소비가 비교적 적고 수지를 계속 재생하여 쓸 수 있기 때문에 경제성이 있는 유용한 방법으로 알려져 있다.

거대고리 화합물을 이용한 분리 연구는³⁻⁵⁾ 용매 추출계의 평형 연구에서부터 시작되었는데 이는 거대고리 화합물이 양이온 선택성 착물을 형성할 뿐 아니라 형성된 착물이 여러 가지 유기용액에 잘 녹는다는 특성을 이용한 것이다.

King 등⁶⁾은 crown 화합물을 이용하여 희토류 원소의 상호분리에 대해 연구한 바 있으며, Igawa⁷⁾ 등은 polyamide crown ether을 입힌 silica gel을 고정상으로 하여 여러 가지 음이온을 분리하였다. Blausius^{8,9)} 등은 여러 가지 거대고리 화합물과 HCHO를 축합하거나 divinyl benzene과 vinyl기를 갖고 있는 거대고리 화합물을 공중합하여 수지를 합성하였다. 이들¹⁰⁾은 역시 styrene-1,4-divinyl benzene(이하 styrene-DVB로 약칭함)의 공중합체에 cryptand를 치환반응에 의해 도입시켜서 수지를 제조하였다. 그들은 이들 수지를 이용하여 알칼리 및 알칼리토족의 원소 분리 동위 원소의 분리, 할로겐산 음이온의 분리, 유기물의 분리 등 광범위한 분리 연구를 수행한 바 있다.^{11,12)}

거대고리 착물에 대해서도 상당한 연구가 진행되었다. 그러나 물 아닌 유기용매 중에서도 희토류 원소¹³⁾ 또는 우라늄¹⁴⁻¹⁶⁾의 고체착물 합성에 관한 연구가 한정되어 있어 거대고리 화합물을 포함한 공중합체수지에 의하여 이들 착물들을 분리 회수하는 연구들은 매우 드물다. 따라서 본 연구자는 미량 우라늄 금속이온을 선택적으로 분리하고 회수할 목적으로 우라늄과 안정한 착물을 이룰 수 있는 리간드를 여러 가지 문헌의 방법^{17,18)}에 따라 합성하였다. 그리고 styrene-DVB 공중합체를 합성하여 클로로메틸화시킨 다음 거대고리 리간드 OenNen-H₄, OenNtn-H₄, OdienNtn-H₄, 및 OtnNen-H₄ 등과 반응시켜 새로운 기능성 수지를 합성한 다음 여러 가지 이온 교환 수지(이하 수지로 약칭함)에 대한 우라늄 이온의 흡착 특성을 조사하였다.

II. 실험

1. 시약 및 기기

Salicylaldehyde, 1,2-dibromoethane, 1,3-dibromopropane, 1,3-diaminopropane, 2,2'-dichloroethylether 등과 수지합성에 사용한 styrene, divinyl benzene, chloromethyl methyl ether, 및 benzoyl peroxide는 Tokyo Kasai 제품을, uranium(VI) nitrate, 2-amino-1-bromo-propane, hydrogen bromide는 Aldrich사 제품을, nickel acetate, sodium borohydride, EDTA, borax, NaI, Na₂SO₄와 ligand 합성시 용매로 사용한 기타 시약들은 동양화학시약을 정제하지 않고 그대로 사용하였다.

적외선 스펙트럼은 KBr 원판법을 이용하여 Shimadzu IR-440 (5000~300cm⁻¹)과 IR-420 (4000~400cm⁻¹) spectrophotometer로, 원소분석은 Yano-ko사의 CHN 원소분석기로, 그리고 pH측정은 Tokyo electric 회사의 potentiometer 625의 유리조합 전극을 사용하였고, 열분석은 Perkin Elmer의 TGA를, 금속이온의 정량은 ICP-AES(Inductively coupled plasma atomic emission spectrometer) Lab-test 710형을 각각 사용하여 측정하였다.

2. 리간드 합성

Lindoy¹⁷⁾ 등이 제안한 합성법에 따라 Fig. 1과 같은 거대고리 리간드 OenNen-H₄[3,4:9,10-dibenzo-1,12-diaza-5,8-dioxacyclotetradecane (C₁₈H₂₂N₂O₂)], OenNtn-H₄[3,4:9,10-dibenzo-1,12-diaza-5,8-dioxacyclopentadecane (C₁₉H₂₄N₂O₂)], OdienNtn-H₄[3,4:12,13-dibenzo-1,15-diaza-5,8,11-trioxacyclooctadecane (C₂₁H₂₈N₂O₃)], 및 OtnNen-H₄[3,4:10,11-dibenzo-1,13-diaza-5,9-dioxacyclopentadecane (C₁₉H₂₄N₂O₂)] 등을 각각 합성하였다.

합성된 거대고리 화합물들 (Fig. 1)의 녹는점, 원소분석, IR 스펙트럼들은 분석결과 문헌값^{17,20,21)}과 잘 일치하였다.

3. 거대고리 리간드 작용기를 갖는 수지 합성¹⁹⁾

스티렌-DVB 공중합체를 합성하기 위한 장치로

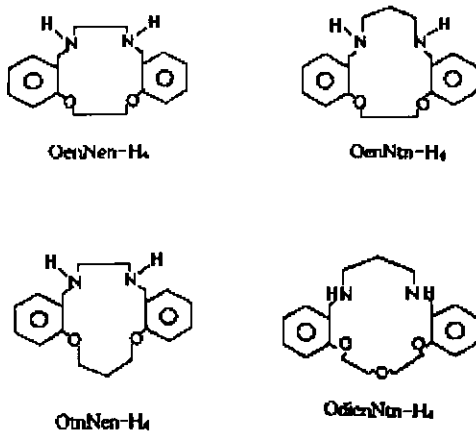


Fig. 1. Structures of synthetic macrocyclic compounds.

는 환류 냉각기와 온도계를 장치한 1000ml의 플라스크에 질소가스 도입관을 연결하고 교반 속도를 알 수 있는 교반기를 사용하였다. 이와 같은 장치에 500ml의 증류수를 가하고 수지의 가교도에 따라 5%의 경우는 스티렌 95ml/DVB 9.0ml, 10%경우는 스티렌 90ml/DVB 18.0ml을 가하고 개시제로 1g의 benzoyl peroxide, 안정제로 20g의 NaCl, 0.5g의 gelatin 및 1.5g의 아라비아고무를 가한 후 1500 rpm으로 교반하면서 90℃에서 5시간 반응시켰다. 냉각시킨 다음 상등액을 기울여 버리고 50ml의 메탄올을 가하여 공중합체를 씻었다. 같은 방법으로 메탄올로 2번 반복하여 씻은 후 증류수로 여러번 씻고 다시 메탄올로 씻었다. 가교도가 10%인 경우는 다공성수지(macroporous resin)로서 다공성을 갖추게 하기 위해서 14.3ml의 헵탄과 57.1ml의 톨루엔을 반응 혼합물에 더 첨가하여 반응시켰다.

이와 같이 합성한 스티렌-DVB 공중합체를 110℃에서 4시간동안 건조시킨 다음 10g을 취하여 500ml의 플라스크에 넣고 300ml의 ClCH₂OCH₃을 가하여 실온에서 1시간동안 팽윤시켰다. 50ml의 ClCH₂OCH₃에 4g의 ZnCl₂을 녹여서 플라스크에 가하고, 방치한 후 상등액을 기울여서 버리고 100ml의 di-oxane-water(70:30)에 가하여 30분간 교반하면서 공중합체를 씻었다. 같은 방법으로 여러번 씻은 다음 증류수와 메탄올로 씻고 건조기에서 50℃로 3일간 건조시켰다. 그리고 1%와 2%의 공

중합체는 Merrifield's peptide resin 1%, 2% crosslinked (200~400 mesh approx, 1meq Cl/g) Aldrich사·제품의 시약을 정제하지 않고 그대로 사용하였다.

이와 같이 클로로메틸화시킨 5%와 10% 가교도를 가진 스티렌-DVB공중합체와 1~2%의 Merrifield's peptide resins 2g에 100ml의 벤젠을 각각 넣고 끓는 온도에서 2시간동안 교반환류하여 팽윤시킨 다음 벤젠을 기울러 따라 버렸다. 그리고 각 가교도를 가지는 클로로메틸화 DVB-스티렌 공중합체에 100ml의 톨루엔, 1.5g의 KI 및 각각의 합성 거대고리 리간드 3g씩을 가하고 질소 분위기에서 55℃로 30시간 교반환류 하였다. 실온에서 냉각 후 여과하고 2M염산, 증류수, 1M수산화나트륨, 증류수 순으로 잘 씻은 다음 최종적으로 메탄올로 여러 번 씻어 공기 중에서 건조시켰다.

4. 우라늄이온의 흡착

1) pH변화에 따른 수지의 흡착

pH변화에 따른 수지들의 흡착 특성을 조사하기 위하여 $1.0 \times 10^{-3} M$ UO₂(NO₃)₂용액을 질산 또는 수산화나트륨으로 pH를 조절한 다음 1% 가교도를 갖는 수지 0.1g씩을 가하여 실온에서 2시간 동안 저었다. 이것을 여과한 다음 여액중의 우라늄 이온을 ICP-AES로 정량 분석하였다.

2) 시간의 변화에 따른 흡착

실험 종결시 용액의 산도가 pH 6.0이 되도록 우라늄의 용액산도를 미리 조절하여 0.1g씩의 수지를 가하여 자석 컵으로 저으면서 일정 시간마다 여액의 우라늄을 분석하여 수지의 양이온의 흡착 평행도달 시간을 조사하였다.

3) 가교도에 따른 흡착

최적 pH와 흡착시간을 고정시킨 가교도(1%, 2%, 5%, 10%)에 따라 수지의 금속 이온 흡착 특성을 조사하기 위하여 $1.0 \sim 6.0 \times 10^{-3} M$ 의 우라늄을 사용하여 위와 같은 방법으로 수지의 가교도에 따라 흡착 실험을 하였다.

4) 수지 종류에 따른 흡착

우라늄이온의 흡착 특성에 따른 실험의 최적 조건에서 수지의 종류에 따른 흡착 특성을 알아보기 위하여 OenNtn-H₄, OdienNtn-H₄, OenNen-H₄ 및 OtnNen-H₄수지 1.0g씩에 1.0×10⁻³M UO₂(NO₃)₂을 각각 흡착시켜 여과한 다음 여액중의 우라늄의 함량을 각각 분석하였다.

5) 용매에 따른 흡착

용매를 달리할 때 수지에 대한 우라늄(VI)이온의 흡착효과를 알아보기 위하여 유전상수 크기가 다른 종류수, 아세토니트릴 및 메탄올을 용매로 하여 UO₂(NO₃)₂을 일정 농도로 조절한 다음 흡착 조건으로 조절한 1%와 5%수지에 UO₂(NO₃)₂의 용액을 각각 흡착시킨 다음 미흡착액중에 우라늄의 함량을 ICP-AES로 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. N_mO_n계 거대고리 작용기를 가지는 음이온 교환수지 합성

거대고리 화합물이 작용기 역할을 하는 수지의 합성은 중합반응의 종류에 따라 다음 세 가지로 나눌 수 있다. 즉 거대고리 화합물과 HCHO의 축합, vinyl기를 가진 거대고리 화합물과 DVB의 공중합, 그리고 클로로메틸화된 styrene-DVB와 거대고리 화합물의 치환반응에 의해 합성된다.

본 연구는 치환반응에 의하여 수지를 제조하였다. styrene-DVB공중합체는 기존의 중합형 이온 교환 수지의 합성에 많이 사용하는 benzoyl peroxide를 개시제로하는 수용액에서 서스펜션중합에 의해 합성하였다.^{19, 20)} 가교도 10%의 다공성 공중합체의 합성에서는 세척과정에서 헤파탄과 톨루엔이 빠져 나옴으로서 중합체내의 공동이 일그러지지 않도록 하기 위해서 가교체인 DVB 10%를 충분히 가하였다. 공중합체의 색깔은 백색이며 가교도가 클수록 공중합체입자는 구형을 잘 이룬다.

클로로메틸화 과정²⁰⁾에서 ClCH₂OCH₃은 클로로메틸화제와 용매의 역할을 한다. 가교도 1% 공중합체는 ClCH₂OCH₃에 의해 크게 팽윤되기 때

문에 반응중 겔화되어 구형을 잃게되고 클로로메틸화된 공중합체는 가교도가 낮으면 연한 황색을 띠는 백색이지만, 10%의 공중합체의 경우는 밝은 갈색을 띤다.

클로로메틸화된 styrene-DVB 및 OdienNtn-styrene-DVB resin의 IR-스펙트럼은 Table 1과 같다.

Table 1에 나타난 바와 같이 클로로메틸화된 styrene-DVB에 OdienNtn을 결합시키면 700cm⁻¹ 부근에서 C-Cl의 흡수 피크가 보이지 않는 것으로 보아 OdienNtn이 치환된 것으로 생각되며, 또한 거대고리 리간드의 도입으로 1240cm⁻¹에서 강하고 넓은 C-O-C와 C-N-C의 새로운 신축 피크와 1080cm⁻¹에서 예민한 C-N의 새로운 신축진동 피크를 볼 수 있으며, 3400cm⁻¹에서 N-H의 흡수피크가 나타나지 않은 것으로 보아 OdienNtn-styrene-DVB 합성수지가 형성됨을 알 수 있었다.

최종합성수지에 대한 원소분석 결과는 Table 2와 같다. Table 2에서 이론값은 거대고리 리간드

Table 1. IR-spectrum of OdienNtn-H₄(A), chloromethylated styrene-DVB resin(B), and OdienNtn-styrene-DVB resin(C)

Kinds of resin function groups	Frequency(cm ⁻¹)		
	(A)	(B)	(C)
Aromatic (C-H)	3000~3100	3000~3100	3000~3100
Aliphatic (C-H)	2850~2980	2850~2980	2850~2800
Benzene ring	1480~1520	1480~1520	1480~1520
Mono substitution (4 peaks)	1720	1720~2100	1720~2100
C-Cl		700	-----
C-O-C와 C-N-C	1240		1240
C-N			1080
N-H	3400		-----

기를 갖는 수지 형태에서 스티렌-DVB만의 고분자로 가정하고, 최종생성물이 스티렌-DVB 단위 하나에 한 분자의 거대고리 리간드가 결합된 것으로 보고 계산하였다.

Table 2에서 탄소와 수소의 이론값과 실험값은 잘 일치하고 있으나 질소 함량은 큰 차이를 보여 주고 있다. 스티렌 한 분자에 거대고리 한 분자가 도입되는 경우 질소 함량이 이론값과 차이를 보이는 것은 치환과정에서 상당량의 거대 고리 리간드가 두 벤질그룹을 연결하는 가교제 역할을 하면서 거대고리 리간드의 수소기에 도입됨을 알 수 있다. 가교도의 크기에 따라 OdienNtn-H₄ 수지를 합성시켜 원소 분석한 결과를 Table 3에 대표적으로 나타내었다.

Table 3에서 가교도가 증가함에 따라 질소 함량이 줄어든다. 이와 같은 결과는 가교도가 증가함에 따라 치환반응 과정에서 상당량의 거대고리 리간드가 가교제에 도입된다는 것을 알 수 있다. 다른

거대고리 리간드를 갖는 수지에서도 가교도 증가에 대하여 비슷한 현상을 보여 주고 있다.

2. 흡착 시간과 수지 종류의 영향

수지들을 5M의 염산, 질산 및 수산화나트륨용액에 12시간 담가 두어도 아무런 변화도 없었다. 본 연구 과정중 배치법 또는 관분리법에 의하여 연속으로 3개월간 사용하여도 IR-스펙트럼 및 금속이온의 흡착 특성은 아무런 변화 없이 처음과 같았다.

Fig. 2는 1% 가교도를 갖는 OdienNtn-styrene-DVB수지의 열분석 곡선이다. 385~562°C 범위에서 무게감량은 75.6%(이론값 76.3%)로 본 실험에서 합성한 수지의 작용기인 거대고리 리간드(OdienNtn)가 결합된 스티렌 분자가 열분해하고 562~605°C 범위에서 무게감량 23.6%(이론값 24.7%)로 나머지 DVB가 열분해 하였음을 보여주고 있다. 다른 수지들에서도 Fig. 2와 비슷한 현상을 보여주며 모든 수지들은 300°C이하에서 매우 안정함을 알 수 있다.

Table 2. Composition of the resins

Kinds of resin	experimental value(%)			theoretical value (%)		
	C	H	N	C	H	N
OenNen-H ₄	78.6	6.35	5.40	77.0	6.9	4.73
OenNtn-H ₄	78.5	7.12	5.82	78.3	7.2	4.62
OdienNtn-H ₄	75.9	7.33	6.06	76.1	7.3	4.94
OtnNen-H ₄	78.3	7.08	5.46	78.3	7.2	4.62

Table 3. Composition of copolymer resins of OdienNtn-H₄ with various cross linkage

crosslinked (%)	C (%)	H (%)	N (%)
1	78.4	6.27	4.86
2	76.2	6.38	4.79
5	81.6	6.78	3.94
10	84.9	6.70	3.32

3. 우라늄이온의 흡착

1) pH의 영향

흡착대상 이온으로 UO₂⁺ 이온을 택하여 수지들의 흡착특성을 조사하였다. 여기에서 합성수지중의

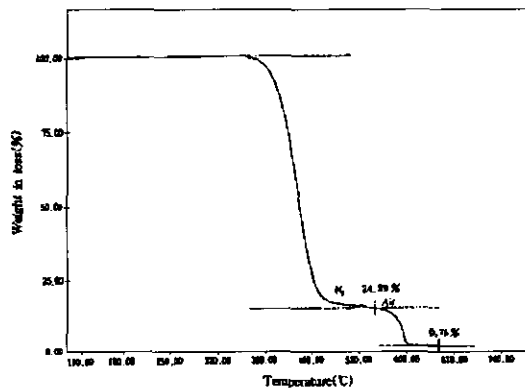


Fig. 2. TGA curve of 1% crosslinked OdienNtn-styrene-DVB resin

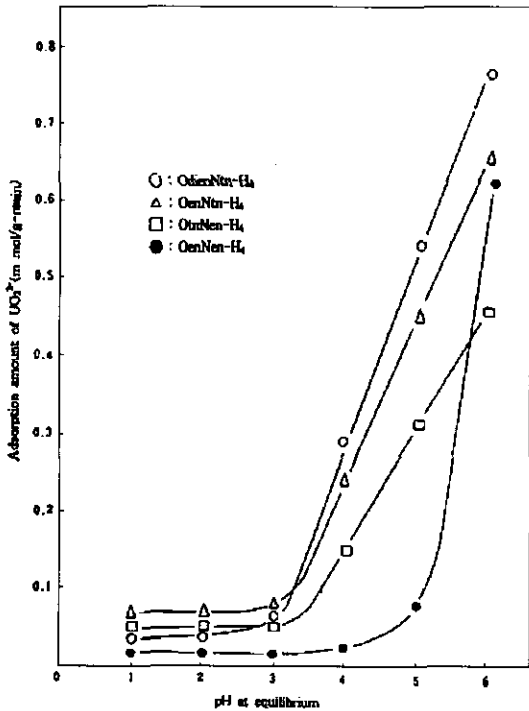


Fig. 3. Amount of UO_2^{2+} adsorbed on 1% cross-linked resin at various pH in methanol solution.

작용기인 거대고리 리간드와 UO_2^{2+} 이온은 안정한 착물을 만들므로^{17,21,22)} 수지에 대한 금속이온의 흡착 가능한 산도 영역을 확인하기 위하여 pH변화에 따라 UO_2^{2+} 이온의 흡착특성을 조사한 결과는 Fig. 3과 같다.

Fig. 3은 여러 pH조건하에서 OenNen- H_4 , OenNtn- H_4 , OdienNtn- H_4 , 및 OtnNen- H_4 의 작용기를 가지는 합성수지 대한 UO_2^{2+} 이온의 흡착특성을 조사하였는데 pH 3이하에서 모든 합성수지는 UO_2^{2+} 이온을 흡착하지 못하지만 pH 4이상에서는 흡착 능력이 급격히 증가한다. 이는 UO_2L 의 안정도 상수가 큰 결과이며, UO_2^{2+} 이온의 이온 반지름이 크기 때문에 수지중의 작용기인 거대고리 리간드의 동공의 크기가 알맞게 클수록 거대고리 리간드에 UO_2^{2+} 이온이 끼어 들어 갈 수 있기 때문이다. 그리고 동공의 크기에 따라 안정도 상수가 달

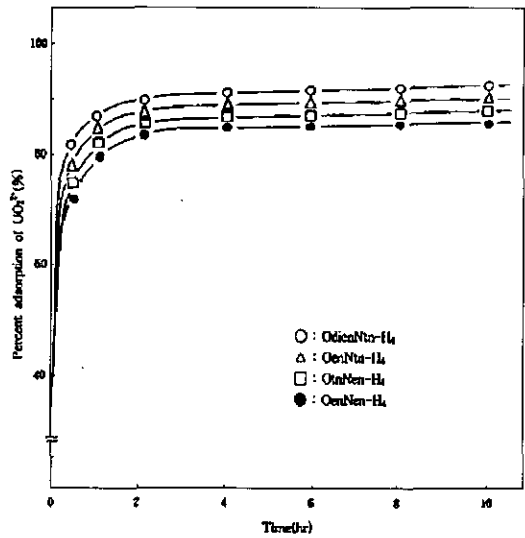


Fig. 4. Adsorption rate of UO_2^{2+} on 1% cross-linked resins in methanol solution.

라질 수 있다.

또한, 이들 수지를 이용한 양이온 금속의 흡착은 pH 4이상에서 가능할 것이며, 이 결과로부터 pH 4이상에서 수지중에 포함된 거대고리 리간드들은 UO_2^{2+} 이온과 안정한 착물을 만들고, 착물 형성에 나타난 pH범위와도 잘 일치한다.^{20~23)}

2) 흡착 시간과 수지 종류의 영향

수지에 대한 UO_2^{2+} 이온의 흡착 평형 시간을 조사한 결과는 Fig. 4와 같다.

Fig. 4는 1% 수지의 흡착 평형 속도를 나타낸 결과로 2시간이 지나면 흡착 평형에 완전히 도달하였고, 모든 이온 교환 수지에서 80%이상의 UO_2^{2+} 이온 흡착율을 보여주었다. 따라서 이들 수지를 크로마토그래피에 이용하는데 수지의 평형 문제는 큰 지장이 없을 것으로 생각한다.

Fig. 4에서 수지의 종류에 따른 흡착 능력은 UO_2^{2+} 이온에 대하여 OdienNtn- H_4 > OenNtn- H_4 > OtnNen- H_4 > OenNen- H_4 의 순으로 감소한다. 이는 작용기의 동공 크기와 금속이온의 비에 따라 착물의 안정도가 달라지기 때문에²⁴⁾ 수지 종류에 따라 금속이온의 흡착능력이 달라진다고 볼

수 있다.

3) 수지의 가교도 영향

Fig. 3~4에서 얻어진 UO_2^{2+} 이온에 대한 최적 흡착조건을 실험조건으로 한 다음 수지의 가교도에 따라 흡착특성을 UO_2^{2+} 의 농도변화에 대하여 알아보기 위하여 얻은 흡착 곡선은 Fig. 5와 같다.

1~2% 수지는 묽은 용액에서도 UO_2^{2+} 이온을 잘 흡착하지만 5%와 10% 수지는 묽은 용액에서도 흡착도가 매우 낮고, 진한 용액에서는 1~2% 수지에 가까운 흡착도를 보여준다. UO_2^{2+} 농도가 $1.0 \times 10^{-3}M$ 에서 급격한 흡착력을 보이는 것은 UO_2^{2+} 농도에 따라서 수지에 대한 UO_2^{2+} 이온의 확산속도가 수지의 흡착 효과를 증가하기 때문이다. 가교도가 증가할수록 흡착도가 감소한 것은 수지의 다공성이 커지므로 수지 내부에서 이온의 이동이 용이

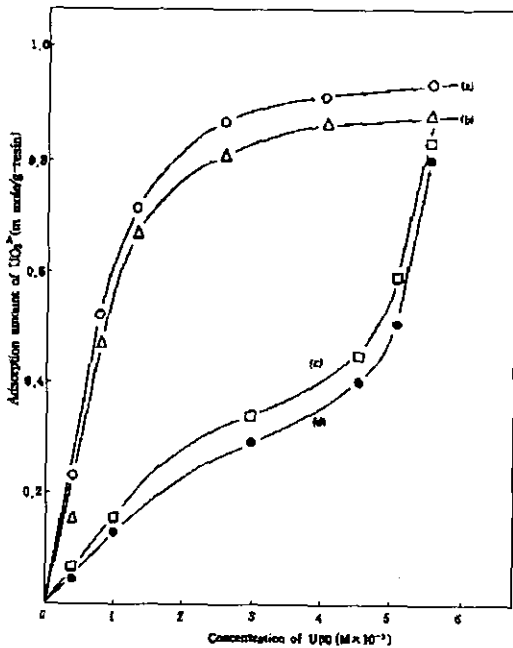


Fig. 5. Adsorption rate of UO_2^{2+} on crosslinked resins in methanol solution
(a) 1% crosslinked (b) 2% crosslinked
(c) 5% crosslinked (d) 10% crosslinked OdienNtn-styrene-DVB resin.

하게 되고 양이온이 결합 능력이 떨어지기 때문으로 볼 수 있다. 관측된 Fig. 5의 흡착 곡선에서 최대 흡착력을 보이는 점이 수지의 겉보기 용량이며 1%, 2%, 5% 및 10% 수지에 대하여 UO_2^{2+} 이온의 겉보기 용량은 각각 0.91, 0.85, 0.82 및 0.80mmole/g이었다. 이들은 Bombieri²⁵⁾의 거대고리 리간드를 가지는 4% 축합수지의 이론 용량보다 크면서 서²⁶⁾가 합성한 cryptand 2,2의 작용기를 포함한 수지의 관측된 겉보기 용량과 거의 같다.

4) 용매 종류에 따른 흡착 영향

흡착 용액을 만들 때 사용한 용액의 종류에 따라 흡착 특성을 알아보기 위하여 유전상수의 크기가 다른 물, 아세토니트릴 및 메탄올 용액중에서 UO_2^{2+} 이온의 흡착특성을 조사한 결과는 Fig. 6~7과 같다.

Fig. 6은 1%, Fig. 7은 5%의 OdienNtn- H_4 수지를 사용하였다. Fig. 6~7에서 UO_2^{2+} 이온의 흡착물은 수용액, 아세토니트릴 및 메탄올 용액 순으로 증가하였으며, 이는 유전 상수가 감소하면 수지내

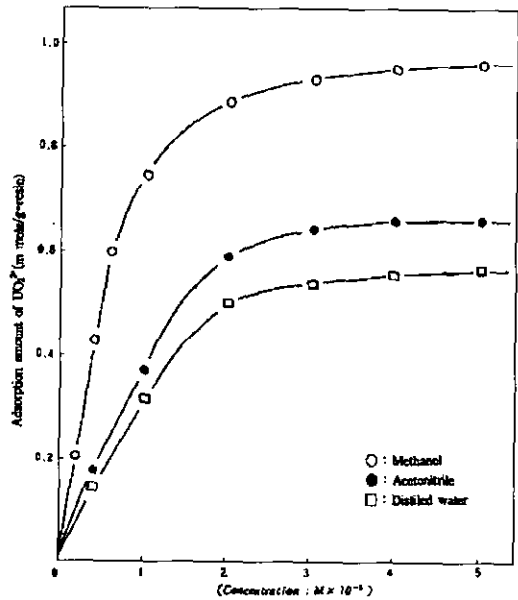


Fig. 6. Adsorption of UO_2^{2+} on 1% crosslinked OdienNtn-styrene-DVB resin with concentration of UO_2^{2+} in various solution.

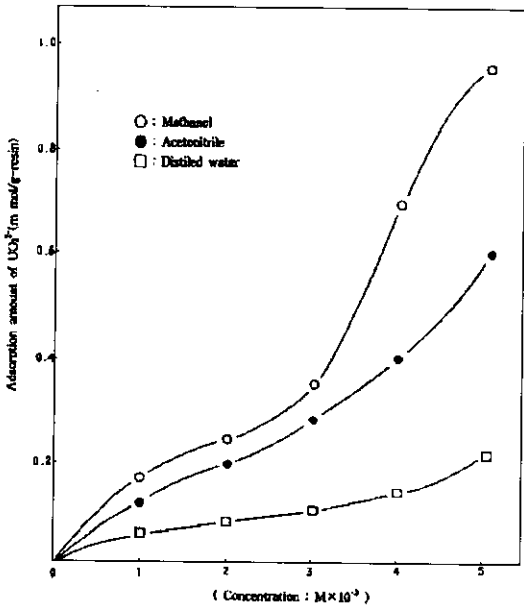


Fig. 7. Adsorption of UO_2^{2+} on 5% crosslinked OdienNtn-styrene-DVB resin with concentration of UO_2^{2+} in various solution.

의 작용기인 거대고리 리간드와 결합한 금속 착물과 양이온의 용매간 상호 작용이 증가하여 더욱 안정한 착이온을 만드므로 흡착력이 증가하는 것으로 보인다. 그리고 가교도가 큰 5% 수지의 경우 UO_2^{2+} 이온 농도가 증가하여도 흡착력이 증가하지 않은 것으로 보아 모든 용액중에서 수지의 팽윤이 1%수지보다 적기 때문에 수지의 작용기에 이온 반경이 큰 UO_2^{2+} 이온의 침투가 힘든 것으로 생각된다.

IV. 결 론

우라늄을 선택적으로 분리 회수할 목적으로 이온 교환수지를 합성하여 우라늄 이온과의 흡착 특성을 조사하고, 여러 가지 조건에 따른 상관 관계를 알아본 주요 결과는 다음과 같다.

1. 여러 수지들의 원소 분석 자료에서 탄소와 수소의 이론값과 실험값은 잘 일치하나 질소 함량은 큰 차이를 보이는 것은 스티렌 한 분자에 거대고리 리간드 한 분자가 도입되는 경우 치환반응

- 과정에서 상당량의 거대고리 리간드가 두 벤질 그룹을 연결하는 가교제 역할을 하기 때문이다.
2. 합성한 수지들은 $300^{\circ}C$ 이상에서 분해되는 고분자 물질이며 5M의 HCl, HNO_3 및 NaOH-용액에서 3개월 동안 담가두어도 구조적 변화가 일어나지 않고 우라늄의 흡착성에도 아무런 변화가 없었다.
3. 모든 합성수지는 pH 4 이상에서 우라늄의 흡착능력이 급격히 증가하였으며, 2시간이 지나면 흡착 평형에 완전히 도달한다.
4. 1~2%의 수지는 묽은 용액에서도 UO_2^{2+} 이온을 잘 흡착하지만, 5%와 10%의 수지는 묽은 용액에서 매우 낮은 흡착도를 보여주고, 흡착능력은 가교도 크기와 유전상수 크기에 반비례하였다.
5. 우라늄 이온의 흡착 능력은 OdienNtn- H_4 > OenNtn- H_4 > OtnNen- H_4 > OenNen- H_4 의 순이었다.

감사의 글

본 연구는 2000학년도 광주보건대학 학술연구비 지원에 의하여 수행되었음.

참 고 문 헌

1. M. Haissinsky: "Nuclear chemistry and its Applications" Translated by D. G. Tuck, Addison-weslery publishing Co., New York, U. S. A., 14 (1964)
2. G. H. Morrison and H. Freiser: "Solvent extraction on analytical chemistry," John Wiley and Sons, INC., New York, U. S. A., 1 (1957)
3. M. M. Khater and J. Korisch: *Talanta*, 18, 1001 (1971)
4. R. B. King and P. R. Heokly: *J. Am. Chem. Soc.*, 96, 3118 (1974)
5. R. M. Izatt, J. D. Lamb, J. J. christemen and B. L. Haymore: *J. Am. Chem. Soc.*, 99, 8344 (1977)

6. R. B. King and P. R. Heckly : *J. Am. Chem. Soc.*, 96, 3118 (1974)
7. M. Igawa, K. Saito, J. Tsukamoto and M. Tanaka : *Anal. Chem.*, 53, 1942 (1981)
8. E. Blasius, K. P. Janzen, M. Keller, H. Lander, T. Nguyen-Tien and G. Scholten : *Talanta*, 27, 107(1980)
9. E. Blasius, K. P. Janzen, W. Adrian, W. Klein, H. Klotz, H. Luxenburger, E. Mernke, V. B. Nguyen, T. Nguyen-Tien, R. Rausch, J. Stockemer and A. Toussaint : *Talanta*, 27, 127 (1980)
10. E. Blasius and P. G. Maurer : *Makromol. Chem.*, 178, 649 (1977)
11. E. Blasius, K. P. Janzen and W. Neumann, *Mikrochim. Acta*, 279 (1977)
12. E. Blasius, K. P. Janzen, H. Luxenburger, V. B. Nguyen, H. Klotz and J. Stockemer, *J. Chromat.*, 167, 307 (1978)
13. A. Cassol, A. Seinara and G. de Paoli : *Inorg. Nucl. Chem. Lett.*, 9, 1163 (1973)
14. R. M. Costes, G. Folcher, P. Plurien and P. Rigny : *Inorg. Nucl. Chem. Lett.*, 12, 13 (1976)
15. J. Klimes, A. Knochel and G. Rudolph : *Inorg. Nucl. Chem. Lett.*, 13, 45 (1977)
16. R. M. Costes, G. Folcher, N. Keller, P. Plurien and P. Rigny : *Inorg. Nucl. Chem. Lett.*, 11, 469(1975)
17. L. F. Lindoy : *Inorg. Chem.*, 19, 3360 (1980)
18. L. C. Armstrong and L. G. Lindoy : *Inorg. Chem.*, 14, 1322 (1975)
19. L. D. Morse, W. T. Grundner and C. Calmon : *U. S. Pat.*, 3, 627,708 (1971)
20. G. D. Jones, *Indust. Eng. Chem.*, 44, 2686 (1952)
21. E. Blasius, K. P. Janzen, M. Keller, H. Lander, T. Nguyen-Tien and G. Scholten : *Talanta* 27, 107(1980)
22. K. R. Adam : *J. Adam Chem. Soc.* 105, 4645 (1983)
23. R. B. King and P. R. Heckley : *J. Am. Chem. Soc.*, 96, 3118 (1974)
24. H.k. Frensdorff : *J. Am. Chem. Soc.*, 93, 4684 (1971)
25. G. Bombieri, G. de Paoli and A. Immizi : *J. Inorg. Nucl. Chem.*, 40, 799 (1978)
26. M. Y. Suh : Thesis for Degree of PH. D., Korea Univ., Seoul, Korea 1985