

스타이렌 위험물을 포함한 거대고리 합성수지 흡착제에 의한 금속 이온들의 흡착특성

김준태[†]

조선대학교 화학과

Adsorption Characteristics of Metal Ions on the Macrocyclic Synthetic Resin Adsorbent with Styrene Hazardous Material

Joon-Tae Kim[†]

Department of Chemistry, Chosun University, Gwangju 501-759, Korea

Received January 10, 2012/Accepted March 24, 2012

Macrocyclic ligand resins were synthesized by mixing 1-aza-18-crown-6 into styrene (2th petroleum in 4th class of hazardous materials) divinylbenzene (DVB) copolymer with crosslink of 1%, 2%, 5% and 20% by substitution reaction. The synthesis of these resins was confirmed by content of chlorine, element analysis, electron micrograph, and IR-Spectrum. The effects of pH, time, crosslink of resins and dielectric constant of solvent on adsorption of metal ions by resin adsorbent were investigated. Metal ions showed a great adsorption in over pH 4 and adsorption equilibrium of metal ions were about two hours. In addition, adsorptive selectivity of resin in ethanol solvent was uranium (VI) > copper (II) > gadolinium (III) ion and adsorption of uranium ion was 1%, 2%, 5% and 20% according to the order of crosslink and was inversely in proportional to the order of dielectric constant of solvents.

Key words: Macrocyclic ligand, 1-aza-18-crown-6, Resin, Crosslink, Styrene divinylbenzene (DVB)

1. 서 론

거대고리 화합물을 이용한 분리 연구는 Frensdorff¹⁾에 의한 용매 추출계의 평형 연구에서 시작 되었는데 이는 거대고리 화합물이 양이온 선택적 착물을 형성할 뿐만 아니라 형성된 착물이 여러 가지 유기 용매에 잘 녹는다는 특성을 이용한 것이다.

Lindoy와 공동 연구자들은 거대고리 리간드를 합성하여 전이 금속 이온과 후전이 금속 이온의 착물 형성을 연구하고, 특정 금속 이온에 대한 선택성을 갖는 거대고리 리간드를 찾고, 그러한 선택성이 나타나게 되는 원인을 조사하였다²⁾.

또한, 중화 반응이나 침전을 이용한 금속 이온의 제거는 금속 이온의 높은 용해도로 제거 효과가 낮고 기

술적으로 어려움이 있는 반면 무기물을 이용한 금속 이온의 흡착과 분리는 고도의 기술이나 복잡한 설비 없이도 쉽게 할 수 있기 때문에 다양한 형태로 이용이 검토되고 있다^{3,4)}.

X-ray 분석법에 의하여 란탄족과 우라늄 착물에 대한 구조 결정을 하였는데 동일 평면상의 모든 산소 원자들은 우라늄 이온과 결합 한다는 사실을 밝혔다⁵⁾. 한편, 용매 추출법이나 거대고리 화합물을 직접 고정상 또는 이동상으로 하는 크로마토그래피에서 발생할 수 있는 독성이 있는 거대고리 화합물의 유실에 의한 환경오염을 막고 분리효과가 보다 우수한 분리방법을 개발하기 위한 연구가 활발히 진행되어 왔다^{6,7)}.

Blausius 등은 여러 가지 거대고리 화합물과 포름알데히드를 축합시키거나 디비닐벤젠과 비닐기를 갖고

[†]To whom correspondence should be addressed.

Tel: 82-62-673-0096, E-mail: kjt7614@hanmail.net

있는 거대고리 화합물을 공중합시켜 수지를 합성하였으며, 또한 스타이렌-1, 4-디비닐벤젠(스타이렌-DVB)에 거대고리를 치환시키고 이들 수지를 이용하여 금속 이온의 분리에 관한 연구를 하였고, 수지와 금속 이온의 흡착력은 이온 직경-공동 반경 개념의 특성에 따른다고 하였다⁸⁾.

스타이렌은 제4류 위험물 중 제2석유류에 속하며 무색의 독성이 있는 벤젠 유도체로서 독특한 냄새를 가진 액체이고 알콜, 에테르, 이황화탄소 등에 녹으며 물에는 불용성이고, 중합(가열, 빛, 과산화물) 반응으로 무색의 고체 상태를 형성하는 물질이다⁹⁾.

한편, 20세기에 들어 세계 각 국들은 환경을 최대한 보존하면서 에너지원으로 이용할 수 있는 항구적인 해결책의 하나로 우라늄을 이용한 원자력산업을 등장시켰다. 그런데 최근 문제가 되고 있는 용해성 우라늄의 영향은 골격계의 암 유발, 당뇨 등을 들 수 있다. 그러나 우라늄은 석유 대체 에너지원으로 비중이 점차 증가하고 있으며, 국내에서도 피산의 저질탄, 인산비료의 폐액 등에서도 산지에 따라 우라늄 함량이 0.42~1.2%¹⁰⁾로 폐기물처리 면이나 자원 보존이란 측면에서도 분리 회수가 시급한 실정이다.

원자력 발전에 적합한 핵연료의 제조와 품질관리를 위하여 이산화우라늄에 함유되어 있는 미량 불순물의 분석이 매우 중요한 것으로 인식되고 있으며, 특히 중성자 흡수 단면적이 큰 란탄족 원소와 자원 회수의 의미에서 미량 우라늄의 분리, 농축은 핵연료 및 핵 재료 물질의 분리에 있어서 필수적인 연구 분야이다.

따라서 본 연구에서는 우라늄과 전이금속들을 선택적으로 분리, 회수 할 수 있는 스타이렌-DVB 공중합체를 합성하여 클로로메틸화시키고 여기에 1-aza-18-crown-6 거대고리 리간드를 화학 결합시켜 새로운 기능성 수지를 합성한 다음 우라늄(UO_2^{2+}), 구리(Cu^{2+}) 및 가돌리늄(Gd^{3+}) 이온들의 흡착특성에 대하여 알아보 고자 하였다¹¹⁾.

2. 재료 및 방법

2.1. 재료 및 기기

Uranium nitrate, gadolinium nitrate, 1-aza-18-crown-6 및 styrene은 Aldrich사의 제품을, 1,4-divinyl benzene (55%), 1,4-dioxane, benzoyl peroxide는 동경화성의 특급 시약을, copper nitrate, benzene, toluene, potassium iodide 등은 일반 시약을 그대로 사용하였다.

염소 이온의 정량은 Orion 사의 염소 선택성 전극을, 적외선 스펙트럼은 Shimadzu IDP-440 A로, 원소분석은 Carlo-Erba사의 Model 1108로, 전자 현미경은 Hitachi S-4700으로, pH 측정은 Corning사의 pH meter 320의 카로멜 유리 전극을 사용하였다. 우라늄, 구리 및 가돌리늄 이온은 Agilent사의 ICP-AES(Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer) Lab-test 710과 Shimadzu사의 Coleman spectrophotometer(350~750 nm)를 사용하여 양을 측정하였다.

2.2. 거대고리 리간드 수지의 합성

2.2.1. 스타이렌-DVB 공중합체 합성

환류 냉각기와 온도계를 장치한 500 mL의 삼구플라스크에 질소 가스 도입 관을 연결하고 교반 속도를 알 수 있는 장치를 설치하여 스타이렌-DVB 공중합체를 합성하였다¹²⁾. 삼구플라스크에 250 mL의 증류수를 가하고 수지를 가교도에 따라 1%(DVB의 함량) 경우는 스타이렌 99 mL/DVB 1.8 mL, 2% 경우는 스타이렌 98 mL/DVB 3.6 mL, 5% 경우는 스타이렌 95 mL/DVB 9.0 mL 그리고 20% 경우는 스타이렌 80 mL/DVB 36.0 mL을 가하고 개시제로 1g의 벤조일퍼옥사이드, 안정제로 10g의 NaCl, 0.5g의 겔라틴 및 1.5g의 아라비아고무를 가한 후 1500 rpm으로 교반하면서 90°C에서 10시간 동안 반응시켜 냉각시킨 다음 상등액을 버리고 메탄올을 가하여 공중합체를 세척한 다음 증류수 메탄올 순으로 다시 세척하였다.

2.2.2. 공중합체의 염소화(공중합체)

2.2.1에서 합성한 스타이렌-DVB 공중합체를 110°C에서 48시간 이상 건조시킨 다음 7g을 취하여 250 mL의 플라스크에 넣고 100 mL의 클로로에테르를 가하여 실온에서 2시간 동안 팽윤 시켰다. 25 mL의 클로로에테르에 2g의 염화아연을 녹여서 플라스크에 가하고, 방치한 후 상등 액을 버리고 100 mL의 디옥산-증류수 (70:30) 혼합용액을 가하여 2시간 교반하면서 클로로메틸화된 스타이렌-DVB 공중합체(이하 공중합체로 표기함)를 세척한 다음 건조기에서 50°C로 4일간 건조시켰다.

2.2.3. 1-aza-18-C-6-스타이렌-DVB 수지의 합성(수지)

클로로메틸화시킨 1%, 2%, 5% 그리고 20%의 공중합체 각각 2.83g씩에 50 mL의 벤젠을 넣고 끓는 온도에서 2시간 동안 교반 환류하여 팽윤시킨 다음 여액의

벤젠을 제거한 후, 50 mL의 톨루엔과 0.75 g의 KI, 그리고 1-aza-18-C-6 거대고리 리간드 2.63 g을 가하고 질소 분위기에서 55°C로 30시간 교반 환류 하였다. 실온에서 냉각시킨 후 여과하고 2 M 염산, 증류수, 1 M 수산화나트륨, 증류수 순으로 잘 세척한 다음 최종적으로 메탄올로 여러 번 세척하여 공기 중에서 건조시켜 얻은 1%, 2%, 5% 및 20%의 가교도를 가진 1-aza-18-C-6-스타이렌-DVB 수지(이하 수지로 표기함)는 300~500 mesh 였다.

2.3. 실험방법

수지의 합성과정에서 가교도 결합에 따른 염소의 함량을 측정하기 위하여 염화이온 선택성 전극을 사용하여 염소의 함량을 측정하고, 수지들의 합성은 KBr 원판법에 의한 IR-스펙트럼으로 확인하였으며, 최종 합성수지인 1%, 2%, 5%, 20%의 가교도를 가진 수지들은 원소분석기로 C, H, N, O원소들의 함량을 분석하였다. 또한 pH, 시간, 가교도 그리고 용매에 따른 금속 이온의

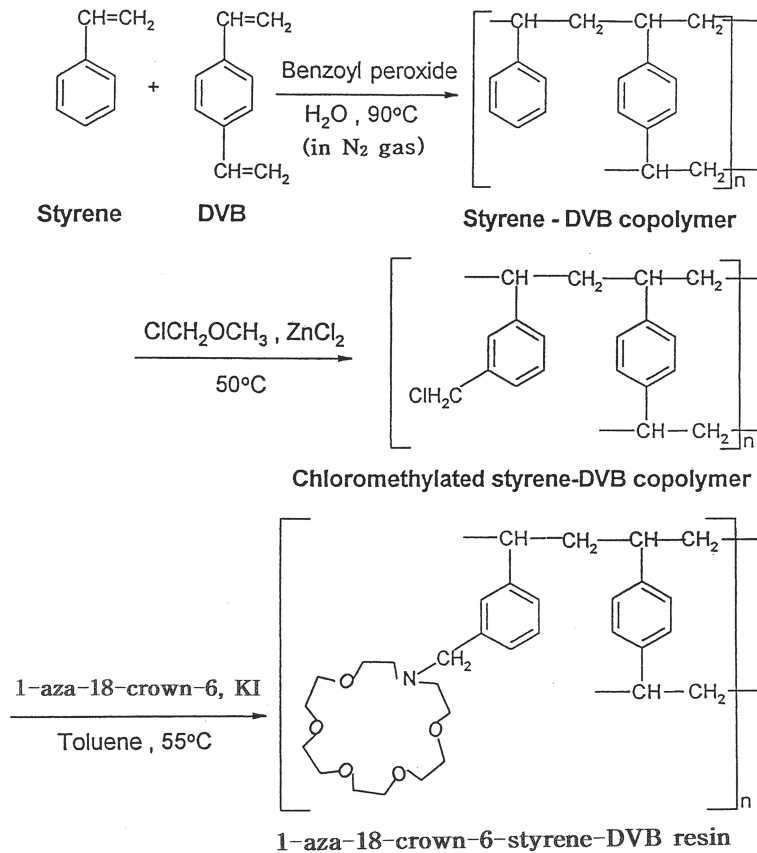
흡착 특성을 조사하기 위하여 3.0 mM의 $UO_2(NO_3)_2$ 과 $Cu(NO_3)_2$ 및 $Gd(NO_3)_3$ 용액 일정량을 취하여 묽은 질산 또는 수산화나트륨으로 pH를 조절하고 대표적으로 1% 가교도의 수지 2g씩을 가한 후 실온에서 2시간 동안 저은 후 이것을 여과한 다음 여액에 남아있는 우라늄, 구리 및 가돌리늄 이온을 묽은 질산 매질에서 ICP-AES로 정량 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 합성수지의 확인

수지들은 기존의 중합형 이온 교환수지 합성에 많이 사용되는 벤조일 퍼옥사이드를 개시제로 하여 수용액에서 서스펜션 중합반응으로 Scheme 1과 같이 합성하였다¹²⁾.

공중합 과정에서 가교도에 따른 염소의 함량을 측정하기 위해서 열 가수분해 시켜 생성되는 HCl을 증류수에 흡수시키고 염화 이온 선택성 전극을 사용하여 측



Scheme 1. Reaction progress of 1-aza-18-crown-6-styrene-divinylbenzene resin (resin).

Table 1. Chlorine contents in copolymer

Degree of crosslinking (%)	Percent of chlorine (%)
1	12.35
2	11.86
5	10.21
20	9.95

Table 2. IR-data of 1% crosslinked copolymer (A), 1-aza-18-C-6 (B), and 1% crosslinked resin (C)

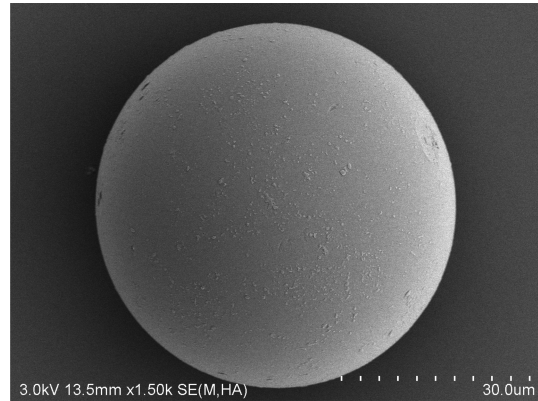
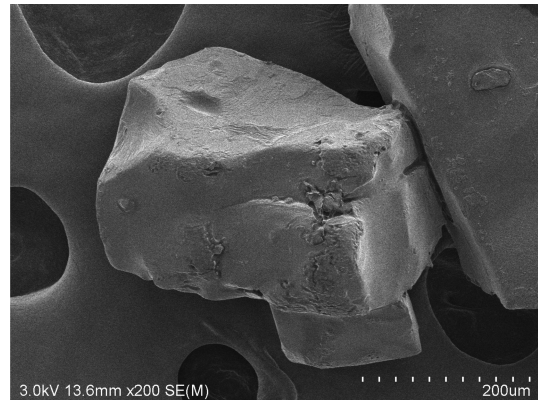
Kinds of resin function groups	Frequency(cm ⁻¹)		
	(A)	(B)	(C)
N-H		3400	---
Aromatic(C-H)	3000-3100		3000-3100
Aliphatic(C-H)	2850-2950	2800-2950	2850-2950
Benzene ring (C=C)	1450-1500		1450-1500
C-O-C, C-N-C		1050-1150	1260
Mono Substitution (4 peaks)	1750-1950		1750-1950
C-Cl	700		-
C-N			1030

정한 염소의 함량을 Table 1에 실었는데 가교도가 증가할수록 염소 함량이 감소하였다. 이는 가교도가 증가할수록 DVB 함량이 증가하여 가교 밀도가 증가되고 공중합체의 가교 밀도 증가에 따른 다공도는 낮아져 치환반응 과정에서 염소의 함량이 감소되었다.

Table 2는 KBr 원판법으로 얻은 1% 가교도를 대표적으로 나타낸 IR-data로 공중합체에 1-aza-18-C-6를 결합시켰더니 3400 cm⁻¹부근에서 N-H 피크와 700 cm⁻¹부근에서 C-Cl의 흡수 피크가 보이지 않는 것으로 보아 1-aza-18-C-6가 치환된 것으로 생각되며, 거대 고리 리간드의 도입으로 1260 cm⁻¹의 강하고 넓은 C-O-C와 C-N-C의 신축진동 피크와 1030 cm⁻¹에서 예민한 C-N의 새로운 신축진동 피크가 나타났다. 여기에 나타나지 않은 2%, 5%, 20%의 공중합체와 수지들도 모두 같은 특성을 나타내었다.

클로로메틸화 과정에서 클로로에테르는 클로로메틸 화제와 용매의 역할을 한다. 1%와 2%의 가교도를 갖는 공중합체는 연한 황색을 띤 백색이지만 가교도가 높은 5%와 20%의 공중합체는 밝은 갈색을 띤다.

한편, 대표적으로 1% 공중합체와 수지에 대한 전자현미경 사진을 Fig. 1과 2에 실었는데, Fig. 1의 사진은 구형을 이루고 있으나, Fig. 2의 사진은 찌그러진 형태인데, 이는 거대고리 리간드의 수소가 스타이렌 분자의 염소원자와 치환 반응을 일으키면서 입자모양이

**Fig. 1.** SEM image of 1% crosslinked copolymer.**Fig. 2.** SEM image of 1% crosslinked resin.

찌그러짐을 알 수 있었다. 여기에 나타나지 않은 2%, 5%, 20% 수지들도 같은 현상을 보여주었다.

또한, 가교도의 크기에 따라 수지를 합성하고 원소 분석한 결과를 Table 3에 나타내었는데 가교도가 증가함에 따라 질소 함량이 감소되는 실험 결과를 얻었다. 이와 같은 결과는 가교도가 증가함에 따라 DVB 함량이 증가하여 가교 밀도의 증가에 따른 다공도가 낮아져 치환반응 과정에서 염소의 함량이 감소되고, 이것이 치환되는 거대고리 리간드에 영향을 미쳐 질소 함량의 감소를 초래하였다.

또한, 흡착 특성 요소 중의 하나인 다공도를 알아보

Table 3. Compositions of resins with various crosslinked

Degree of crosslinking (%)	C (%)	H (%)	N (%)	O (%)
1	73.05	8.51	2.75	15.69
2	73.08	8.52	2.69	15.71
5	73.11	8.55	2.56	15.78
20	73.36	8.71	2.04	15.89

Table 4. Surface area characteristics of resins with various crosslinked

Degree of crosslinking (%)	BET surface area (m ² /g)	Pore volume (cm ³ /g)
1	14.75	0.0283
2	13.02	0.0207
5	9.11	0.0159
20	6.14	0.0042

기 위해 비표면적을 분석하여 Table 4에 나타내었는데, 본 연구에서 합성한 1%, 2%, 5% 및 20%의 가교도를 가진 수지를 150°C에서 30분 감압 건조시킨 후 비표면적 측정기를 사용하여 -196°C에서 질소가스 흡착법으로 BET 표면적을 측정된 결과 가교도가 증가할수록 비표면적은 감소되는 경향을 보였는데, 이는 Howdle 등¹³⁾의 연구에서도 보고되었으며 기공 부피도 감소하는 경향을 나타냈다.

3.2. 금속 이온의 흡착

3.2.1. pH에 따른 영향

수지에 대한 금속 이온의 흡착 가능한 산도 영역을 확인하기 위하여 3.0 mM의 우라늄, 구리 및 가돌리늄 이온을 에탄올 용매에서 2시간 동안 저으면서 대표적으로 1% 가교도를 가진 수지의 pH 변화에 따른 흡착 특성을 조사한 결과는 Fig. 3과 같다. 수지를 이용한 우라늄 이온의 흡착률은 pH 2~3 사이에서 서서히 증

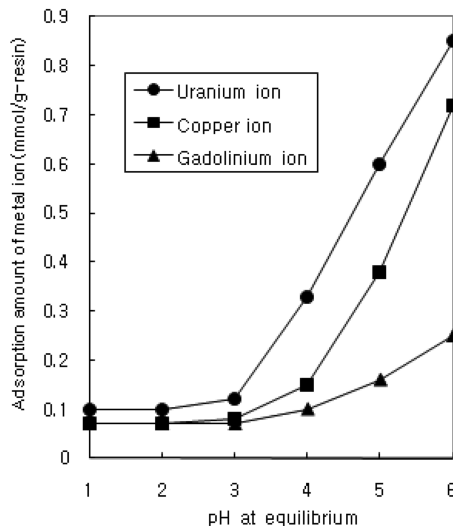


Fig. 3. Amount of UO₂²⁺, Cu²⁺, and Gd³⁺ absorbed on 1% crosslinked resin at various pH in ethanol (concentration : 3.0 mM, time : 2 h).

가 하다가 pH 3 이상에서 안정한 착물 형성이 급격히 증가되고, 구리 이온의 흡착률은 pH 3~4 사이에서 서서히 증가하다가 pH 4 이상에서 안정한 착물 형성이 급격히 증가됨을 나타내는데, 이는 수지가 염기성 아민 이므로 강산성(pH<2) 용액에서는 수지의 질소 원자가 양성자화되어 금속 양이온의 흡착을 방해하고, 약산성(pH>4) 용액으로 갈수록 우라늄과 구리 이온은 안정한 착물을 형성하여 큰 흡착률을 보여준다. 또한, 우라늄은 수용액 pH 4 이상에서 가수분해에 의해 UO₂(OH)₂이 생성되기 시작하여 수산화기 침전에 의한 영향도 있으리라 사료된다. 반면, 가돌리늄 이온은 높은 pH 영역(산성)에서도 착물을 형성하지 못함을 보이고 있는데, 이는 +3가의 희토류원소 이온들은 강하게 수화되어 있어 수지와 착물을 형성하기 위해서는 이 수화에너지를 극복해야 되므로 착물 형성이 쉽지 않은 것으로 생각된다¹⁴⁾. 한편, 수지는 중합되어 고분자화 됨으로써 그 물구조를 이루기 때문에 금속 이온의 포집 능력이 향상되는 것으로 생각되어진다. 그리고 본 연구에서는 수지가 염기성이므로 pH 6 이하인 산성 용액에서만 금속 이온의 흡착 실험을 수행하였다.

3.2.2. 평형 도달 시간에 따른 영향

수지로써 갖추어야 할 조건중의 하나는 흡착 평형에 빨리 도달해야 하는 것이다. 따라서 본 연구에서는 에탄올 용매 pH 6에서 1% 가교도를 가진 수지에 3.0 mM의 우라늄, 구리 및 가돌리늄 이온들의 흡착평형 시간에 대하여 조사한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 수지와 착물을 잘 형성하는 우라늄과 구리 이온은 흡착률이 86%와 72%로 크며, 가돌리늄 이온은 24%정도로 수지와 착물을 잘 형성하지 못함을 보여준다. 그리고 수지에 대한 각 금속 이온의 흡착률은 우라늄>구리>가돌리늄 이온의 순서인데, 이는 수지에 대한 금속 이온 공동의 비가 0.7~0.9 정도면 정전기적 상호작용이 매우 커 안정한 착물을 형성한다는 이론¹⁵⁾에 의하여 수지 공동(3.0 Å)의 크기 대 우라늄(2.38 Å), 구리(2.06 Å), 가돌리늄(2.16 Å) 이온의 크기 비를 살펴보면 0.79(우라늄), 0.69(구리), 0.72(가돌리늄)로 모두 착물을 잘 형성할 것 같지만, 가돌리늄 이온은 수화에너지의 영향으로 낮은 흡착률을 보인다. 그리고 이러한 금속 이온들은 각 흡착률에 관계없이 1% 수지와 착물형성시 정전기적 결합과 수지의 질소 원자에 의한 공유결합이 첨가되기 때문에 2시간 정도만 지나도 흡착 평형에 도달한다. 이것으로 보아 질소 원자를 주게 원자로 가지고 있

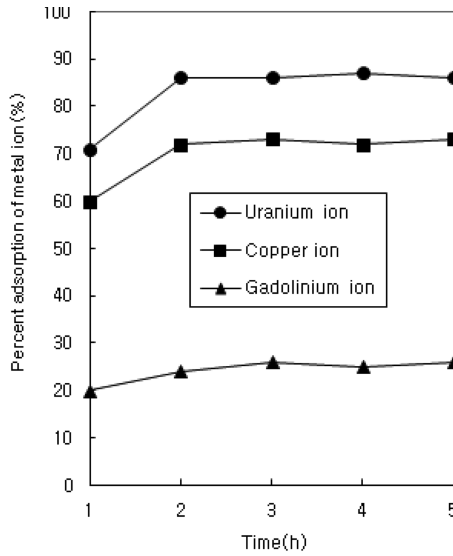


Fig 4. Adsorption rate of UO_2^{2+} , Cu^{2+} , and Gd^{3+} on 1% crosslinked resin at various time in ethanol (concentration : 3.0 mM, pH : 6.0).

는 거대고리 금속 착물의 경우는 이온 직경-공동 반경 개념⁸⁾ 뿐만 아니라 금속 이온과 수지간의 공유결합성, 금속이온의 수화에너지 등이 복합적으로 작용됨을 알 수 있다.

3.2.3. 수지의 가교도에 따른 영향

Fig. 5는 1%, 2%, 5% 그리고 20%의 가교도를 가

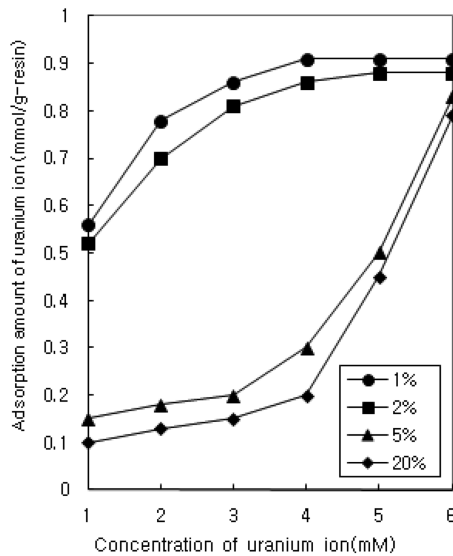


Fig 5. Adsorption rate of UO_2^{2+} on 1%, 2%, 5%, and 20% crosslinked resin at various concentration in ethanol (time : 2 h, pH : 6.0).

진 수지를 이용하여 대표적으로 우라늄 이온의 농도를 1.0~6.0 mM 범위에서 변화시키면서 에탄올 용매에서 흡착량을 살펴보았다. Fig. 5에서 보는 바와 같이 1%와 2%의 가교도를 가진 수지는 1.0 mM에서 0.5 mmol/g 이상을 흡착하나 5%와 20%의 가교도를 가진 수지는 0.1 mmol/g 밖에 흡착하지 못하고, 1%~2% > 5%~20%의 흡착 결과를 보이는데 이는 스타이렌-DVB 공중합체 합성시 DVB의 양에 따라 가교도가 결정되며 DVB 함량이 감소할수록 수지의 가교 밀도는 감소한 반면 다공도가 높아져 1%, 2%는 5%, 20%에 비하여 수지 속으로 우라늄 이온의 확산 속도가 크기 때문이다. 그러나 우라늄 이온의 농도가 높은(6.0 mM) 범위에서는 5%, 20%가 1%, 2%의 수지와 거의 같은 정도로 흡착된다. Fig. 5의 흡착 곡선에서 관측된 최대 흡착량을 보이는 점의 수지의 겉보기 용량이며 1%, 2%, 5% 및 20% 수지에 대한 우라늄 이온의 겉보기 용량은 각각 0.91, 0.88, 0.83 및 0.79 mmol/g 이었다.

3.2.4. 용매의 유전상수에 따른 영향

용매의 종류에 따라 대표적으로 우라늄 이온의 흡착 영향을 알아보기 위해서 유전상수(ϵ , 25°C)의 크기가 다른 증류수(78.54), 메탄올(32.63) 및 에탄올(24.30) 중에서 우라늄 이온의 흡착률을 조사한 결과는 Fig. 6과 같다. Fig. 5에서 5%와 20%의 가교도를 가진 수지는 1%의 가교도를 가진 수지보다 전반적으로 금속 이온의

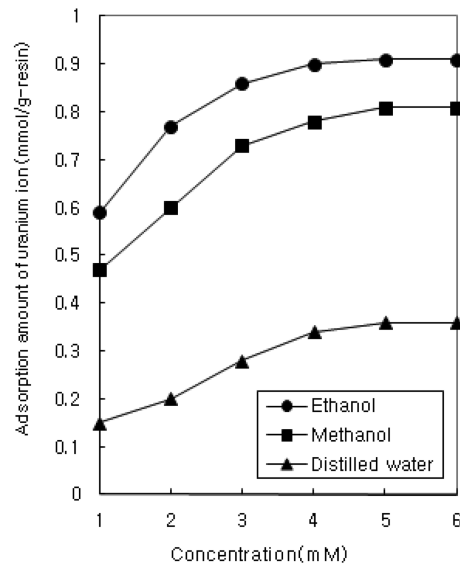


Fig 6. Adsorption rate of UO_2^{2+} on 1% crosslinked resin at various solvent in ethanol (time : 2 h, pH : 6.0).

흡착률이 저조하므로 Fig. 6에서는 1%의 가교도를 가진 수지를 선택하여 금속 이온의 농도를 1.0~6.0 mM로 조절하면서 우라늄 이온의 흡착률을 살펴보았더니 에탄올 > 메탄올 > 증류수의 순으로 흡착률이 증가하였다. 이는 유전상수 값이 작을수록 정전기적 결합력(쿨롱의 힘)이 크기 때문이다.

4. 결 론

전이금속 이온과 우라늄 이온을 선택적으로 분리 회수할 목적으로 거대고리 수지를 합성한 다음 여러 가지 조건에 따른 흡착특성 실험을 한 결과는 다음과 같다.

수지의 가교도에 따른 밀도 차이로 다공도가 달라져 염소의 함량이 변화되면서 리간드에 영향을 미쳐 질소 함량도 달라졌다. pH 2 이하(강산성)에서는 수지의 질소원자가 양성자화 되어 금속 이온의 흡착을 방해하나, pH 4 이상(약산성 쪽)으로 갈수록 안정한 착물을 형성하여 큰 흡착률을 나타냈다. 금속 이온의 흡착률은 수지에 대한 금속 이온 공동의 비, 금속 이온과 수지간의 공유결합성 그리고 금속 이온의 수화에너지 등에 영향을 받으며, 수지와 금속 이온의 착물 형성시 정전기적 결합과 수지의 질소 원자에 의한 공유결합이 첨가되어 2시간 정도만 지나도 흡착 평형에 도달하였다. 낮은 가교도를 가진 수지는 높은 가교도를 가진 수지에 비하여 DVB 함량이 적어 가교 밀도가 낮고 다공도가 높아져 묽은 용액에서도 수지 속으로 우라늄 이온의 확산 속도가 커서 우라늄 이온을 잘 흡착하고, 수지에 대한 우라늄 이온의 흡착률은 용매의 유전상수 크기에 반비례하였다.

이와 같은 결과들을 이용하여 인산비료나 저질탄의

폐액 속에 함유되어있는 금속 이온들과 에너지원으로 이용될 수 있는 우라늄 이온을 선택적으로 분류하여 폐처리되고 있는 자원을 활용하면 환경오염을 줄이면서 에너지원도 얻을 수 있는 일거양득의 효과를 거둘 수 있으리라 사료된다.

참고문헌

1. H. K. Frensdorff, *J. Am. Chem. Soc.*, **1971**, 93, 4684-4692.
2. L. F. Lindoy, K. R. Adam, D. S. Bladwine, A. Bashall, M. McPartlin, and H. R. Powell, *J. Chem. Soc., Dalton Trans.*, **1984**, 237-246.
3. 박영재, 박경균, 서무열, 윤수경, 지광용, 김원호, *대한화학회*, **2000**, 44, 305-311.
4. 정구춘, 이민아, *한국환경분석학회지*, **2009**, 12, 49-58.
5. G. Bombieri and G. Depaoli, *Inorg. Chem. Acta.*, **1976**, 18, 123-129.
6. T. Hayashita, J. H. Lee, S. Chem, and R. A. Bartsch, *Anal. Chem.*, **1991**, 63, 1844-1851.
7. 윤병석, 김학철, 김용연, 이상태, *한국환경분석학회지*, **2009**, 12, 151-158.
8. E. Blasius and K. P. Janzen, *Pure & Appl. Chem.*, **1982**, 54, 2115-2122.
9. 박창원, *위험물산업기사*, **2007**, 3-92, 남양문화사, 한국.
10. 하용구, *대한화학회*, **1979**, 23, 136-140, 1979.
11. 김준태, *공업화학*, **2009**, 20, 165-171.
12. L. F. Lindoy, P. G. Grimslery, H. C. Lip, R. J. Smith, and J. T. Baker, *Aust. J. Chem.*, **1977**, 30, 2095-2113.
13. S. M. Howdle, K. Jerabek, V. Leocorbo, P. C. Marr, and D. C. Sherrington, *Polymer*, **2000**, 41, 7272-7281.
14. Y. Marcus, *Introduction to liquid state chemistry*, **1997**, John Wiley & Sons, England.
15. C. J. Pederson, *J. Am. Chem. Soc.*, **1970**, 92, 386-391.