

물 소화약제에서 스타이렌 위험물을 포함한 합성수지에 의한 금속 이온들의 흡착

이치영 · 김준태^{*,†}

광주보건대학 임상병리과, *조선대학교 화학과
(2009년 7월 21일 접수, 2009년 10월 6일 채택)

Adsorption of Metal Ions on Synthetic Resin with Styrene Hazardous Materials in Water Fire Extinguishing Agent

Chi-Young Lee and Joon-Tae Kim^{*,†}

Department of Clinical Pathology, Gwangju Health College, Gwangju 506-701, Korea

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

(Received July 21, 2009; Accepted October 6, 2010)

1%, 2%, 10% 및 18%의 가교도를 가진 스타이렌(제4류 위험물 중 제2석유류) 디비닐벤젠 공중합체에 1-aza-18-crown-6 거대 고리 리간드를 치환반응으로 결합시켜 수지들을 합성하였으며, 이들 수지의 합성은 염소 함량과 원소 분석, 비표면적(BET), 그리고 IR-분광법으로 확인하였다. 물 소화약제로부터 합성수지 흡착제에 대한 금속 이온의 흡착에 미치는 pH, 시간 그리고 수지의 가교도에 따른 영향들을 조사한 결과 금속 이온들은 pH 3 이상에서 큰 흡착율을 보였으며, 금속 이온들의 흡착 평형은 2 h 정도였고, 수용액에서 수지에 대한 흡착 선택성은 나트륨(Na^+) > 아연(Zn^{2+}) > 크롬(Cr^{3+}) 이온의 순서이며, 금속 이온의 흡착력은 1%, 2%, 10% 및 18%의 가교도 순이었다.

Cryptand resins have been synthesized from 1-aza-18-crown-6 macrocyclic ligand attached to styrene (2th petroleum in 4th class hazardous materials) divinylbenzene copolymer with crosslinkage of 1%, 2%, 10%, and 18% by substitution reaction. The synthesis of these resins was confirmed by the content of chlorine, element analysis, surface area (BET), and IR-spectroscopy. The effects of pH, time and crosslinkage on adsorption of metal ion from water fire extinguishing agent by synthetic resin adsorbent were investigated. Metal ions showed a great adsorption over pH 3 and adsorption equilibrium of metal ions was about two hours. The adsorption selectivity determined in water was in the increasing order of sodium (Na^+) > zinc (Zn^{2+}) > chromium (Cr^{3+}) ion. The adsorption was in the order of 1%, 2%, 10%, and 18% crosslinkage resin.

Keywords: 1-aza-18-crown-6, macrocyclic ligand, styrene, crosslinkage, divinylbenzene

1. 서 론

Cryptand계(crown계에 질소나 황을 포함한 물질) 거대 고리 화합물은 고리를 형성하고 있는 주계 원자의 성질에 따라서 알칼리, 알칼리 토금속, 전이 금속 및 중금속 이온과 안정한 착물[1]을 이루고 있으며, 이러한 물질을 이용한 금속 이온의 흡착 및 분리는 Frensdorff[2] 등에 의한 용매 추출계의 평형 연구에서부터 시작되었다.

Lindoy와 공동 연구자들[3-5]은 일련의 질소-산소 주계 거대 고리 리간드를 합성하여 전이 금속 이온과 후전이 금속 이온의 착물 형성을 조사하여 특정 금속 이온에 대한 선택성을 갖는 거대 고리 리간드를 찾고, 그러한 선택성이 나타나게 되는 원인을 조사하였다.

또한, 중화 반응이나 침전을 이용한 금속 이온의 제거는 금속 이온의 높은 용해도로 제거 효과가 낮고 기술적으로 어려움이 있는 반면 무기물을 이용한 금속 이온의 흡착과 분리는 고도의 기술이나 복잡한 설비 없이도 쉽게 할 수 있기 때문에 다양한 형태로 이용이 검토되고

있다[6-8].

Bombieri[9] 등은 X-ray 분석법에 의하여 란탄족과 우라늄 착물에 대한 구조 결정을 하였는데 동일 평면상의 모든 산소 원자들은 우라늄 이온과 결합한다는 사실을 밝혔다. 한편, 용매 추출법이나 거대 고리 화합물을 직접 고정상 또는 이동상[10]으로 하는 크로마토그래피에서 발생할 수 있는 독성이 있는 거대 고리 화합물의 유실에 의한 환경오염을 막고 분리효과가 보다 우수한 분리방법을 개발하기 위한 연구가 활발히 진행되어 왔다. Blasius[11,12] 등은 여러 가지 거대 고리 화합물과 포름알데히드를 축합시키거나 디비닐벤젠과 비닐기기를 갖고 있는 거대 고리 화합물을 공중합시켜 수지를 합성하였으며, 또한 스타이렌에 1, 4-디비닐벤젠(스타이렌-DVB)을 공중합시키고 cryptand계를 치환 반응시켜 이들 수지를 이용하여 금속 이온들의 분리에 관한 연구를 하였고, cryptand계 수지와 금속 이온들의 흡착력은 수치 공동 환경에 대한 금속 이온 직경 개념의 특성에 따른다고 하였다.

한편, 물 소화약제는 동결기에 어는 약점을 보완하고자 강화액 소화약제를 만들기 위하여 탄산칼륨(K_2CO_3), 황산암모늄[(NH_4) $_2$ SO $_4$], 인산암모늄[(NH_4) $_3$ PO $_4$], 침투제 등을 가하여 응고점을 -17~-30 °C로 유

† 교신저자(e-mail: kjt7614@hanmail.net)

지시하는데, 물 소화약제에 나트륨(Na^+), 아연(Zn^{2+}) 및 크롬(Cr^{3+}) 등의 금속 이온들이 존재시 이들이 양이온 교환수지의 역할을 하면서 강화액 소화약제의 기능을 떨어뜨리며, 침전 등이 일어나 저장·취급 및 유지관리를 어렵게 할 뿐만 아니라 처분시 환경오염의 주범이 되기도 한다.

본 연구에서는 이러한 금속 이온들을 흡착할 수 있는 스타이렌(제4류 위험물 중 제2석유류) 위험물을 함유한 1%, 2%, 10% 및 18%의 가교도를 가진 DVB 공중합체를 합성하여 클로로메틸화시키고, 여기에 1-aza-18-crown-6 (1-aza-18-C-6) 거대고리 리간드를 화학 결합시켜 수지를 합성[12-14] 한 후, 이들 수지를 이용하여 나트륨, 아연 및 크롬 이온들의 흡착에 대하여 알아보려고 한다.

2. 실험

2.1. 시약 및 기구

1-aza-18-crown-6 (98%), styrene (98%), 1,4-divinyl benzene (80%), chloroether (97%)는 Aldrich사(U.S.A)의 제품을, 1,4-dioxane (95%), benzoyl peroxide (87%)는 Junsei사(Japan) 시약을, sodium chloride (99.5%), zinc chloride (99%), chromium chloride (99%), benzene (97%), toluene (95%), potassium iodide (98%) 등은 일반시약(동양화학, Korea)을 정제하지 않고 그대로 사용하였다.

적외선 스펙트럼은 Shimadzu사(Japan) IDP-440A로, 원소분석은 Carlo-Erba사(Italy)의 Model 1108을 사용하였으며, pH 측정에는 Coming사(U.S.A)의 pH meter 320의 카로멜 유리 전극으로, Cl^- 정량은 Orion사(Japan)의 염소 선택성 전극을, 비표면적(BET)은 미래 SI사(Korea)의 Nanoporosity-XQ를 사용하였다. 그리고 나트륨, 아연 및 크롬 이온의 정량 측정에는 Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometer (ICP-AES) (Agilent사, U.S.A) Lab-test 710과 Coleman spectrophotometer (350~750 nm) (Shimadzu사, Japan)를 사용하여 각각 측정하였다.

2.2. 수지의 합성

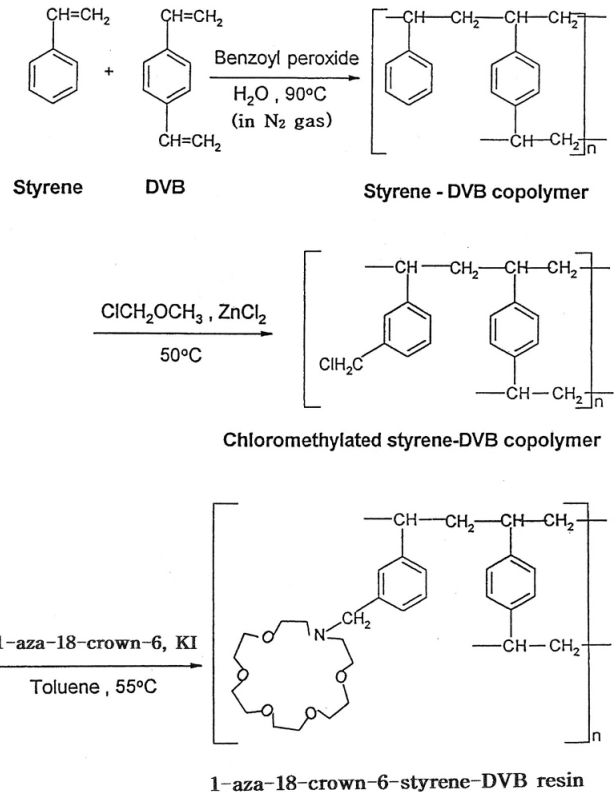
2.2.1. 스타이렌 위험물을 포함한-DVB 공중합체의 합성

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 물질[15]이다.

공중합체의 합성은 환류 냉각기와 온도계를 장치한 500 mL의 삼구 플라스크에 질소 가스 도입 관을 연결하고 교반 속도를 알 수 있는 장치를 설치하여 스타이렌-DVB 공중합체를 합성[11-13]하였다. 삼구 플라스크에 250 mL의 증류수를 가하고 수지를 가교도에 따라 1% 경우는 스타이렌 99 mL/DVB 1.25 mL, 2% 경우는 스타이렌 98 mL/DVB 2.5 mL, 10% 경우는 스타이렌 90 mL/DVB 12.5 mL, 그리고 18% 경우는 스타이렌 82 mL/DVB 22.5 mL을 가하고 개시제로 1 g의 벤조일퍼옥사이드, 안정제로 10 g의 NaCl, 0.5 g의 겔라틴 및 1.5 g의 아라비아고무를 가한 후 1200 rpm으로 교반하면서 90 °C에서 5 h 동안 반응시켜 냉각시킨 다음 상등액을 버리고 메탄올을 가하여 공중합체를 세척한 다음 증류수 메탄올 순으로 다시 세척하였다.

2.2.2. 공중합체의 염소화

2.2.1에서 합성한 스타이렌-DVB 공중합체를 110 °C에서 12 h 이상 건조시킨 다음 10 g을 취하여 250 mL의 플라스크에 넣고 100 mL의



Scheme 1. Reaction process of 1-aza-18-crown-6-styrene-DVB resin.

클로로에테르를 가하여 실온에서 2 h 동안 팽윤시켰다. 25 mL의 클로로에테르에 2 g의 염화아연을 녹여서 플라스크에 가하고, 방치한 후 상등 액을 버리고 100 mL의 디옥산-증류수(70:30) 혼합용액을 가하여 1 h 교반하면서 공중합체를 세척한 다음 건조기에서 50 °C로 3일간 건조시켰다.

2.2.3. 공중합체의 관능화

클로로메틸화시킨 1%, 2%, 10%, 그리고 18%의 스타이렌-DVB 공중합체 각각 2.83 g씩에 50 mL의 벤젠을 넣고 끓는 온도에서 2 h 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 24 h 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%, 10% 및 18%의 가교도를 가진 1-aza-18-C-6-스타이렌-DVB 수지(수지 혹은 cryptand 이온교환 수지)는 200~300 mesh였다.

2.3. 실험방법

수지의 합성과정에서 가교도에 따른 염소의 함량을 측정하기 위하여 염화이온 선택성 전극을 사용하여 염소의 함량을 측정하고, 수지들의 합성은 KBr 원판법에 의한 IR-분광법으로 확인하였으며, 최종 합성수지인 1%, 2%, 10% 및 18%의 가교도를 가진 수지들의 비표면적과 원소분석기로 C, H, N, O 원소들의 함량을 분석하였다. 또한 pH, 시간, 그리고 가교도에 따른 금속 이온의 흡착을 조사하기 위하여 3.0 mM의 NaCl 과 ZnCl_2 및 CrCl_3 용액 일정량을 취하여 묽은 질산 또는

Table 1. Chlorine Contents in Copolymer (3-Chloromethylated Styrene-DVB)

Degree of crosslinking (%)	Percent of chlorine (%)
1	12.35
2	11.86
10	10.08
18	9.97

Table 2. Compositions of 1-Aza-18-C-6-Styrene-DVB-Resins with Various Crosslinked

Degree of crosslinking (%)	C (%)	H (%)	N (%)	O (%)
1	72.73	8.51	2.75	16.01
2	72.86	8.52	2.69	15.93
10	73.08	8.66	2.38	15.88
18	73.15	8.69	2.09	16.07

수산화나트륨으로 pH를 조절하고 1% 가교도의 수지 2 g씩을 가한 후 실온에서 2 h 동안 저은 후 이것을 여과한 다음 여액에 남아있는 나트륨, 아연 및 크롬 이온을 묽은 질산 매질에서 ICP-AES로 정량 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 수지의 특성

스타이렌-DVB 공중합체는 기존의 중합형 이온 교환수지 합성에 많이 사용되는 벤조일 퍼옥사이드를 개시제로 하여 수용액에서 서스펜션 중합반응으로 Scheme 1과 같이 합성하였다.

한편, 공중합 과정에서 가교도에 따른 염소의 함량을 측정하기 위해서 열 가수분해시켜 생성되는 HCl을 증류수에 흡수시키고 염화이온 선택성 전극을 사용하여 측정된 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.

또한, 가교도의 크기에 따라 수지를 합성하고 원소 분석한 결과를 Table 2에 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 거대 고리 리간드에 영향을 미쳐 질소 함량의 감소를 초래하였다.

Figure 1은 KBr 원판법으로 얻은 가교도 1%의 공중합체를 대표적으로 나타낸 IR-스펙트럼으로 3000~3100 cm⁻¹의 방향족 C-H, 1480~1520 cm⁻¹의 벤젠고리 C-C 이중결합 등이 나타나고, 1700~2000 cm⁻¹에서 mono-치환체의 특성을 나타내는 4개의 흡수피크를 볼 수 있으며, 700 cm⁻¹에서 C-Cl 진동에 관련된 강한 흡수피크를 확인할 수 있다. 여기에 나타나지 않은 2%, 10%, 18%의 공중합체도 모두 같은 특성을 나타내었으며, 클로로메틸화 과정에서 클로로에테르는 클로로메틸화제와 용매의 역할을 한다. 공중합체는 클로로에테르에 의해 크게 팽윤되며, 클로로메틸화된 1%와 2%의 공중합체는 연한 황색을 띠는 백색이지만, 10%와 18%의 공중합체의 경우는 밝은 갈색을 띤다.

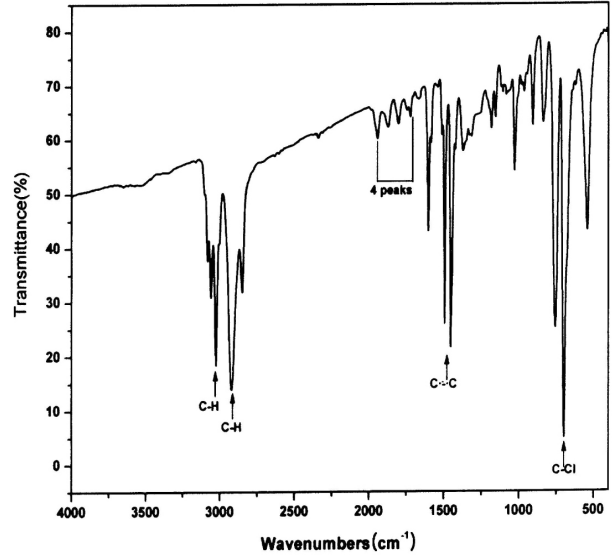


Figure 1. IR-spectrum of 1% crosslinked chloromethylated styrene-DVB copolymer.

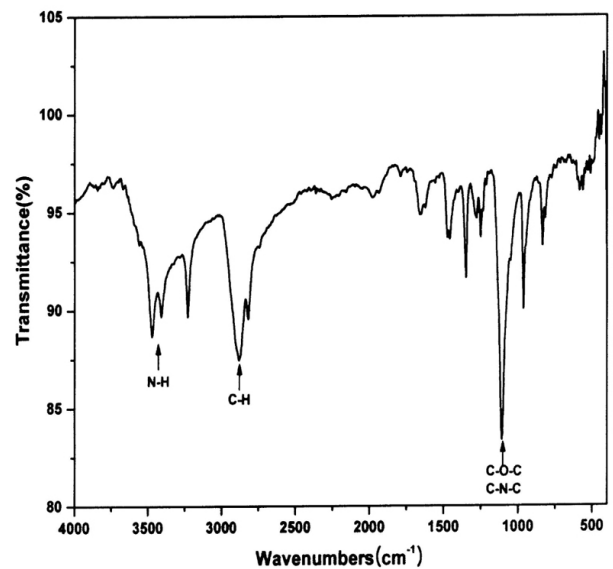


Figure 2. IR-spectrum of 1-aza-18-C-6.

Figure 2는 KBr 원판법으로 얻은 1-aza-18-C-6의 IR-스펙트럼이다. 3400 cm⁻¹에서 N-H의 피크와 2850~2980 cm⁻¹에서 지방족 C-H, 그리고 1050~1150 cm⁻¹에서 C-O-C와 C-N-C의 피크, 1500 cm⁻¹에서 H-C-H의 피크를 각각 볼 수 있다.

Figure 3은 KBr 원판법으로 얻은 1% 가교도를 가진 1-aza-18-C-6-스타이렌-DVB 수지의 IR-스펙트럼을 대표로 나타내었다. 여기에 나타난 바와 같이 클로로메틸화된 스타이렌-DVB 공중합체에 1-aza-18-C-6 리간드를 결합시키면 700 cm⁻¹ 부근에서 C-Cl의 흡수 피크와 3400 cm⁻¹의 N-H 피크가 보이지 않는 것으로 보아 1-aza-18-C-6가 치환되었으며, 거대고리 리간드(1-aza-18-C-6)의 도입으로 1050~1150 cm⁻¹의 강하고 넓은 C-O-C와 C-N-C의 피크가 나타났다.

또한, 흡착 특성 요소 중의 하나인 다공도를 알아보기 위해 비표면적을 분석하여 Table 3에 나타내었는데, 본 연구에서 합성한 1%, 2%, 10% 및 18%의 가교도를 가진 1-aza-18-C-6-스타이렌-DVB 수지를

Table 3. Surface Area Characteristic of 1-Aza-18-C-6-Styrene-DVB Resin 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
10	8.04	0.0107
18	6.61	0.0059

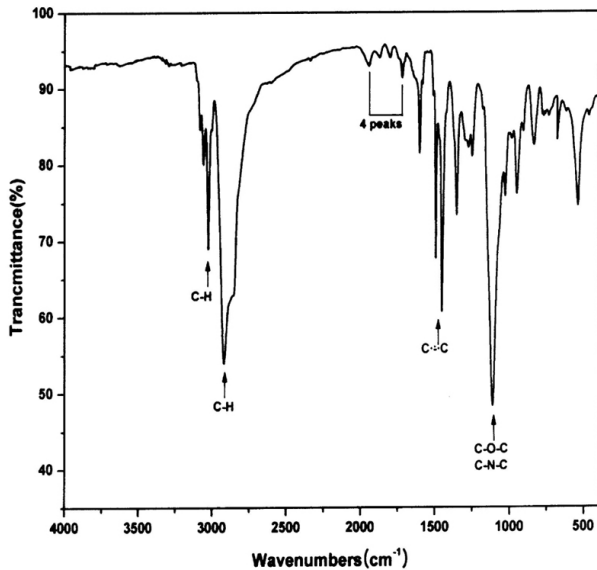


Figure 3. IR-spectrum of 1% crosslinked 1-aza-18-C-6-styrene-DVB resin.

150 °C에서 30 min 감압 건조시킨 후 비표면적 측정기를 사용하여 -196 °C에서 질소가스 흡착법으로 BET 표면적을 측정한 결과, 가교도가 증가할수록 비표면적은 감소되는 경향을 보였는데 이는 Howdle [16] 등의 연구에서도 보고되었으며, 기공 부피도 감소하는 경향을 나타냈다.

3.2. 물 소화약제에서 금속 이온의 흡착

3.2.1. pH에 따른 영향

수지에 대한 금속 이온의 흡착 가능한 산도 영역을 확인하기 위하여 3.0 mM의 나트륨, 아연 및 크롬 이온을 수용액에서 2 h 동안 저으면서 대표적으로 1% 가교도를 가진 수지의 pH 변화에 따른 흡착특성을 조사한 결과는 Figure 4와 같다. 수지를 이용한 나트륨 이온의 흡착능은 pH 2~3 사이에서 서서히 증가하다가 pH 3 이상에서 NaL의 안정한 착물 형성이 급격히 증가되며, 아연 이온의 흡착능은 pH 3~4 사이에서 서서히 증가하다가 pH 4 이상에서 ZnL₂의 안정한 착물 형성이 급격히 증가됨을 나타내는데, 이는 cryptand 수지가 염기성 아민이므로 강산성(pH < 2) 용액에서는 수지의 질소 원자가 양성자화되어 금속 양이온의 흡착을 방해하고, 약산성(pH > 3) 용액으로 갈수록 비양성자화된 수지의 가수분해된 부류에 나트륨과 아연 이온은 안정한 착물을 형성하여 큰 흡착율을 나타냈다. 이는 수지가 약염기성이기 때문에 본 연구에서도 이점을 고려하여 산성용액에서 실험을 수행하였다. 반면, 크롬 이온은 높은 pH 영역(산성)에서도 착물 형성이 낮음을 보이고 있는데, 이는 크롬 이온이 강하게 수화되어 있어

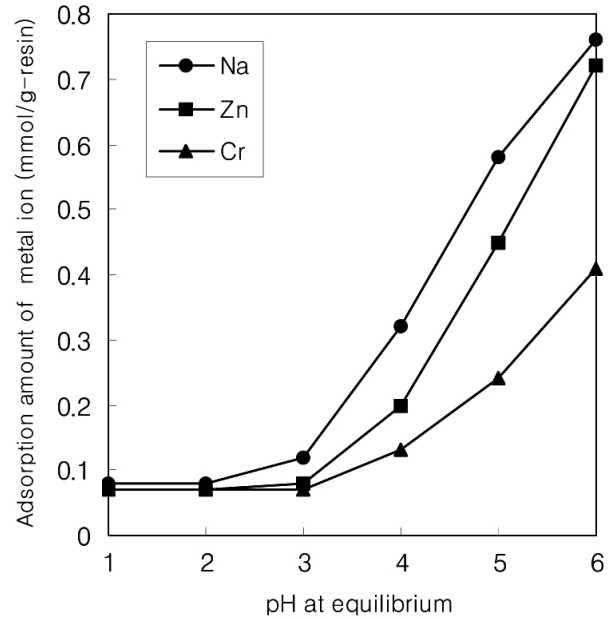


Figure 4. Adsorption amount of Na⁺, Zn²⁺, Cr³⁺ adsorbed on 1% crosslinked 1-aza-18-C-6-styrene-DVB resin with various pH in water (concentration : 3.0 mM, time : 2 h).

cryptand 수지와 착물을 형성하기 위해서는 이 수화에너지[17]를 극복해야 되므로 착물 형성이 쉽지 않을 것이다. 한편, 수지는 중합되어 고분화 됨으로써 그물구조를 이루기 때문에 금속 이온의 포집 능력이 향상되는 것으로 생각된다.

3.2.2. 시간에 따른 영향

수지로서 갖추어야 할 조건 중의 하나는 흡착 평형에 빨리 도달해야 하는 것이다. 따라서 본 연구에서는 수용액 용매 pH 6.0에서 1% 가교도를 가진 수지에 3.0 mM의 나트륨, 아연 및 크롬 이온의 흡착평형 시간에 대하여 조사한 결과를 Figure 5에 나타내었다. 수지에 대한 각 금속 이온의 흡착능은 나트륨 > 아연 > 크롬 이온의 순서인데, 이는 수지 공동에 대한 금속 이온의 크기 비가 0.7~0.9 정도면 정전기적 상호작용이 매우 커서 안정한 착물을 형성[18]한다는 이론에 의하여 수지(3.0 Å)에 대한 나트륨(2.64 Å), 아연(2.08 Å), 크롬(2.50 Å) 금속 이온의 크기 비를 살펴보면 0.88 (나트륨), 0.69 (아연), 0.83 (크롬)으로 모두 결합이 잘 이루어 질것 같지만 크롬은 수화에너지의 영향으로 흡착능이 낮게 나타났다. 그리고 이러한 금속 이온들은 수지와 착물 형성시 정전기적 결합과 수지의 질소 원자에 의한 공유결합이 첨가되기 때문에 2 h 정도만 지나도 흡착 평형에 도달한다. 이것으로 보아 질소 원자를 주게 원자로 가지고 있는 cryptand형 금속 착물의 경우는 수지 공동에 대한 금속 이온 직경의 비[11] 뿐만 아니라 금속 이온과 수지간의 공유결합성, 금속이온의 수화에너지 등이 복합적으로 작용됨을 알 수 있었고, 나트륨은 76%, 아연은 72%, 그리고 크롬은 41%의 흡착율을 나타내었다.

3.2.3. 수지의 가교도에 따른 영향

Figures 6~8은 1%, 2%, 10% 그리고 18%의 가교도를 가진 수지를 이용하여 나트륨, 아연, 크롬 이온의 농도를 1.0~6.0 mM로 변화시키면서 수용액에서 흡착량을 살펴보았다.

Figure 6과 7에서 보는 바와 같이 나트륨과 아연 이온에서는 1% ≈

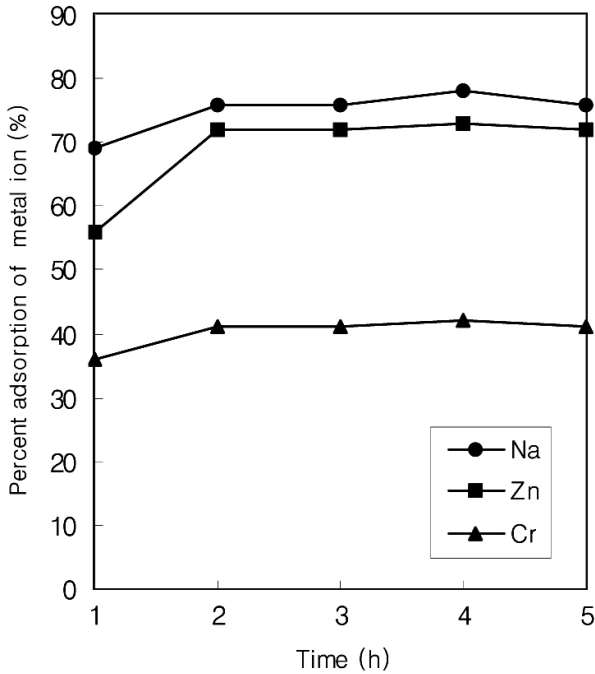


Figure 5. Adsorption rate of Na⁺, Zn²⁺, Cr³⁺ on 1% crosslinked 1-aza-18-C-6-styrene-DVB resin with various time in water (concentration : 3.0 mM, pH : 6.0).

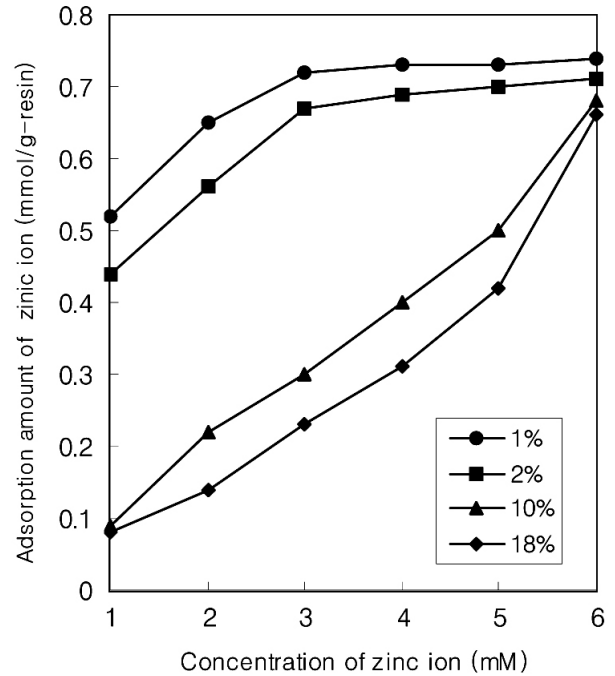


Figure 7. Adsorption amount of Zn²⁺ on 1%, 2%, 10%, and 18% crosslinked 1-aza-18-C-6-styrene-DVB resin with various concentration in water (time : 2 h, pH : 6.0).

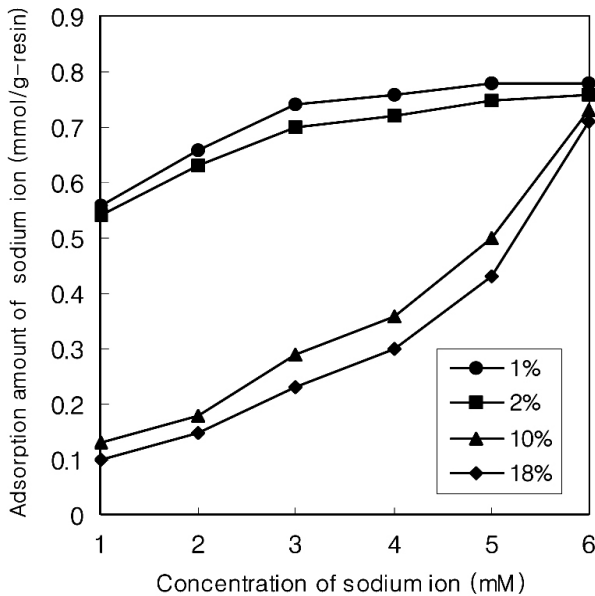


Figure 6. Adsorption amount of Na⁺ on 1%, 2%, 10%, and 18% crosslinked 1-aza-18-C-6-styrene-DVB resin with various concentration in water (time : 2 h, pH : 6.0).

2% > 10% ≈ 18%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 10%, 18%에 비하여 수지 속으로 금속 이온의 확산 속도가 크기 때문이다. 이는 Table 3의 비표면적 특성에서 다공도와 기공 부피를 살펴 보았다. 그러나 금속 이온의 농도가 높은(6.0 mM) 범위에서는 10%, 18%가 1%, 2%의 수지와 거의 같은 정도로 흡착된다. 반면, Figure 8

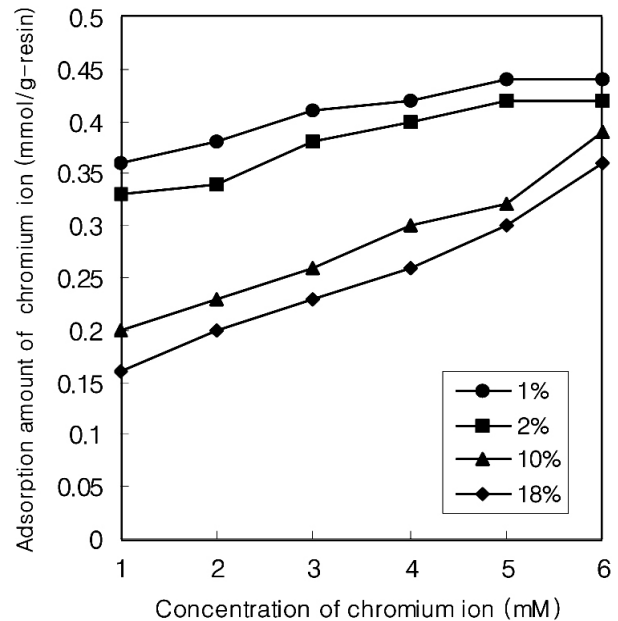


Figure 8. Adsorption amount of Cr³⁺ on 1%, 2%, 10%, and 18% crosslinked 1-aza-18-C-6-styrene-DVB resin with various concentration in water (time : 2 h, pH : 6.0).

의 크롬 이온의 흡착율은 가교도가 1%, 2%, 10%, 및 18% 모두에서 수화에너지의 영향으로 흡착율이 낮게 나타났다.

Figures 6~8의 흡착 곡선에서 관측된 최대 흡착량을 보이는 점의 수지의 겉보기 용량인데 1% 수지에 대한 나트륨, 아연, 크롬 이온의 겉보기 용량은 각각 0.78, 0.74, 및 0.43 mmol/기이었다.

4. 결 론

참 고 문 헌

물 소화약제에서 스타이렌 위험물을 포함한 합성수지를 이용하여 금속 이온들을 분리 회수할 목적으로 여러 가지 조건에 따른 흡착 실험을 한 결과, 합성수지는 가교도가 증가할수록 가교 밀도가 증가되고 다공도가 낮아져 염소의 함량이 감소되며 이 과정에서 치환되는 거대 고리 리간드에 영향을 미쳐 질소 함량의 감소를 가져왔다. 합성수지들은 수용액 용매 pH 2 이하(강산성)에서 수지의 질소원자가 양성자화 되어 금속 이온의 흡착을 방해하고, pH 3 이상(약산성 쪽)으로 갈수록 금속 이온은 비양성자화된 수지의 가수분해된 부류와 안정한 착물을 형성하여 큰 흡착율을 나타내었다. 수지에 대한 금속 이온의 흡착능은 나트륨 > 아연 > 크롬 이온의 순으로 수지 공동에 대한 금속 이온의 비, 금속 이온과 수지간의 공유결합성, 그리고 금속 이온의 수화 에너지 등에 영향을 받는다. 또한, 수지와 금속 이온의 착물 형성시 정전기적 결합과 수지의 질소 원자에 의한 공유결합이 첨가되어 2 h 정도만 지나도 흡착 평형에 도달한다. 1%와 2%의 가교도를 가진 수지는 10%와 18%의 가교도를 가진 수지에 비하여 DVB 함량이 적어 가교 밀도가 낮고 다공도가 높아 묽은 용액에서도 수지 속으로 금속 이온의 확산속도가 커서 금속 이온을 잘 흡착한다.

이와 같은 결과로부터 스타이렌 위험물을 포함한 수지를 합성하여 물 소화약제에 함유되어 있는 금속 이온들을 흡착하여 분리시킬 수 있고, 고체 membrane 수지를 제조하여 사용하면 반복하여 사용할 수 있는 장점도 가지고 있어 환경오염의 주범인 중금속 흡착제로도 사용될 수 있으리라 사료된다.

감 사

본 연구는 2009년도 광주보건대학 교내연구비에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

1. K. W. Choi, Y. S. Ahn, K. T. Shim, H. Huh, and J. S. Ahn, *Bull. Kor. Chem. Soc.*, **23**, 688 (2002).
2. H. K. Frensdorff, *J. Am. Chem. Soc.*, **93**, 4684 (1971).
3. L. F. Lindoy, P. G. Grimsley, H. C. Lip, R. J. Smith, and J. T. Baker, *Aus. J. Chem.*, **30**, 2095 (1997).
4. L. F. Lindoy, K. R. Adam, D. S. Bladwine, A. Bashall, M. McPartlin, and H. R. Powell, *Chem. Soc., Dalton Translation*, 237 (1994).
5. M. A. Ahearn, J. Kim, A. J. Leong, L. F. Lindoy, G. V. Meehan, and O. A. Matthews, *Chem. Soc., Dalton Translation*, 3591 (1996).
6. S. J. Park, B. R. Jun, and J. Kawasaki, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **15**, 11 (2004).
7. H. D. Jeong, D. S. Kim, and K. I. Kim, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **16**, 123 (2005).
8. M. Y. Suh, S. C. Sohn, C. H. Lee, K. S. Choi, D. Y. Kim, Y. J. Park, K. K. Park, K. Y. Jee, and W. H. Kim, *J. Kor. Chem. Soc.*, **44**, 526 (2000).
9. G. Bombieri and G. Depaoli, *Inorg. Chem.*, **18**, 123 (1976).
10. T. Hayashita, J. H. Lee, S. Chem, and R. A. Bartsch, *Anal. Chem.*, **63**, 1844 (1991).
11. E. Blasius and K. P. Janzen, *Pure & Appl. Chem.*, **54**, 2115 (1982).
12. H. Egawa, T. Nonaka, and M. Ikari, *Appl. Poly. Sci.*, **29**, 2045 (1984).
13. S. K. Park and J. T. Kim, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **13**, 765 (2002).
14. G. W. Roh, K. C. Kim, S. H. Kim, and J. T. Kim, *J. Korean Ind. Eng. Chem.*, **20**, 21 (2009).
15. C. W. Park, *Industry an Engineer of Hazardous Materials*, Nam Yang Mun Hwa, Publication Co, 3-92, (2007).
16. S. M. Howdle, K. Jerabek, V. Leocorbo, P. C. Marr, and D. C. Sherrington, *Polymer*, **41**, 7272 (2000).
17. Robert C. Weast, *Handbook of chemistry and physics*, 87th, D52-D93, (2003).
18. C. J. Pederson, *J. Am. Chem. Soc.*, **92**, 386 (1970).