

인산기를 함유한 Glycidylmethacrylate-Divinylbenzene 공중합체의 제조와 우라늄의 흡착특성(제1보)

— 인산기를 함유한 GMA-DVB 공중합체의 제조와 물성 —

허 광 선[†] · 신 세 건

경남정보대학 공업화학과
(1998년 3월 20일 접수, 1998년 7월 6일 채택)

Preparation of Glycidylmethacrylate-Divinylbenzene Copolymers Containing Phosphoric Acid Groups and Adsorption Characteristics of Uranium(I)

— Preparation of Glycidylmethacrylate-Divinylbenzene Copolymers Containing Phosphoric Acid Groups and Their Adsorption Characteristics of Uranium —

Kwang-Sun Huh[†] and Se-Geun Sin

Department of Industrial Chemistry, Kyungnam College of Information & Technology, Pusan 617-701, Korea
(Received March 20, 1998; Accepted July 6, 1998)

요 약: 친수성 단량체 glycidylmethacrylate (GMA)에 가교제인 divinylbenzene (DVB)과 세공형성제인 2,2,4-trimethylpentane (TMP)량을 각각 0~10 mol %과 0~100 vol %로 변화시켜 현탁중합법으로 macroreticular (MR)형 GMA-DVB 공중합체 (RG라 칭함)를 합성하였다. 이들 공중합체를 벤젠 존재 하에서 인산으로 인산화시켜 인산기를 갖는 거대망상형 양이온 교환수지 (macroreticular type cation exchange resins containing phosphoric acid groups, RGP)을 제조하였으며, 이들 수지에 대한 물성과 우라늄의 흡착능을 고찰하였다. RGP수지들의 물성은 합성시 가교도와 회석제량에 따라 영향이 있었으며, 우라늄의 흡착능은 가교도 영향인 경우 RGP-10(50) ≅ RGP-1(50) > RGP-2(50) > RGP-5(50) > RGP-0(50)이며, 회석제량의 영향인 경우는 RGP-2(100) > RGP-2(75) > RGP-2(50) > RGP-2(30) > RGP-2(0)순이었다. RGP수지들의 물성과 우라늄의 흡착능에서 가교도의 영향인 경우 RGP 수지의 세공구조, 양이온 교환 용량 및 팽윤비에 의존하며, 회석제량의 영향인 경우는 양이온 교환 용량보다도 비표면적과 세공구조에 더 영향이 있었다.

Abstract: The macroreticular (MR) type glycidylmethacrylate (GMA)-divinylbenzene (DVB) copolymer (polyglycidylmethacrylate) beads (RG) were prepared by a suspension polymerization using 0~100 vol % of 2,2,4-trimethylpentane (TMP) as a diluent. Macroreticular type cation exchange resins containing phosphoric acid groups (RGP) were prepared by the reaction of GMA-DVB copolymer and poly (glycidyl methacrylate) bead (RG) with phosphoric acid in the presence of benzene. In this study, the effect of degree of crosslinking and the amount of the diluent on physical properties and adsorbability of uranium of RGP resins were investigated respectively. The chemical and physical properties of RGP resins were affected by both of the amount of the diluent and the degree of crosslinking. The effect of degree of crosslinking on the adsorbed amount of uranium for RGP resins were decreased in the order of RGP-10(50) ≅ RGP-1(50) > RGP-2(50) > RGP-5(50) > RGP-0. The effect of the diluent amount were as follows RGP-2(100) > RGP-2(75) > RGP-2(50) > RGP-2(30) > RGP-2(0). The crosslinking degree effect on uranium adsorbability depended on pore structure, cation exchange capability and swelling ratio. On the other hand, the effect of the diluent amount were relied on surface area and pore structure rather than cation exchange capability.

Key words: Adsorption, Glycidylmethacrylate, Phosphoric Acid Groups, Cation Exchange Resin, Uranium

1. 서 론

미량으로 용존하고 있는 유용한 금속 이온을 높은 흡착량과 빠른 흡착속도로 선택적으로 분리할 수 있는 유기계 흡착제를 개발하기 위해 최근 활발한 연구를 진행하고 있는 실정이다. 특히 우라늄 이온을 선택적으로 분리할 수 있는 유기계 흡착제로서는 amidoxime형 수지[1-10], 인산형 수지[11-14], hydroxamic acid형 수지[15], mercapto형 수지[16], acetamide oxime형 수지[17], polyhydroxy

anthraquinones[18] 및 18-crown-6, diazo-18-crown-6[19] 등이 있다. 이 중에서 amidoxime형 수지는 구상[1-6], 박막상[7], 섬유상[8] hollow fiber[9,10] 등 다양한 형태로 제조할 수 있을 뿐만 아니라 해수에도 다양하게 접촉할 수 있어 우라늄의 흡착속도와 흡착용량을 크게 함과 동시에 수지에 흡착된 우라늄을 염산 혹은 황산으로 용이하게 탈리할 수 있다는 장점 때문에 많은 연구 결과가 보고되어 있다. Egawa 등[1-5]는 acrylonitrile(AN)과 divinylbenzene(DVB)과 공중합체를 합성하여 hydroxylamine 공중합체로 amidoxime화로 amidoxime형 수지를 제조하여 우라늄 흡착실험을 한 결과 선택 흡착성은 우수하지만 흡착속도가 느리고 수지와 물과의 친화성이 낮다고 밝혔다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 친수성 가교제인

[†] 주 저자 (e-mail: kwangsun@nengjung.kit.ac.kr)

tetraethyleneglycoldimethylacrylate(TEGDM)와 acrylonitrile(AN)과 공중합체를 합성하여 hydroxylamine으로 amidoxime화하여 amidoxime형 수지를 제조하여 우라늄에 대해 흡착 실험한 결과 수지와 물과의 친화성이 우수할 뿐만 아니라 흡착속도도 빠르며 이를 다시 알칼리 처리하면 흡착속도는 현저히 증가한다고 밝히고 있으나 산 또는 알칼리 처리시에 용적 변화가 크고 산에서는 불안정하다는 단점을 가진다고 보고하였다.

인산형 수지에 대한 연구를 보면 인산화된 유기화합물은 우라늄의 회수와 정제용 추출제로서 잘 알려져 있는데, Kennedy 등[11]은 diallyl phosphate가 우라늄 이온과 베릴륨 이온에 대해 선택성이 뛰어나고 또한 인산화합물을 폴리머에 도입시켜도 우라늄이온에 대해 선택성이 높다고 밝혔으며, Egawa[12]는 DVB와 Styrene (S₁)을 현탁중합법으로 공중합체를 합성하여 인산화와 클로로메틸화반응으로 phosphono기를 갖는 MR형 킬레이트 수지인 RSP와 RCSP를 제조한 후 RSP와 RCSP를 다시 산화시켜 dihydroxyphosphino기를 갖는 RSPO와 RCSPO수지를 제조하여 우라늄 이온에 대한 우라늄 흡착능을 실험한 결과 RCSPO = RCSP > RSPO > RSP순으로 흡착능을 보였다고 보고하였는데, 이는 dihydroxyphosphino형 수지중에 phosphino기의 함량이 많고 dihydroxyphosphino기 2개중 1개는 벤젠 환에 직접 붙어 있고 다른 1개는 -CH₂기를 간격관 (spacer arm)기로 하여 벤젠 환에 붙어있고 수지의 물리적 화학적 안정성 때문에 우라늄의 흡착능이 뛰어난 것으로 보고하였으며, 수지에 흡착된 우라늄을 Na₂CO₃과 NaHCO₃으로 회분법과 컬럼법으로 탈착 실험 결과 84.9%와 90.5%의 회수율을 보였다고 밝혔다.

K. Sharik 등[13]은 Styrene와 DVB를 현탁중합하여 겔형 S₁-DVB 공중합체를 합성한 후 유기 추출제인 Di-(2-ethylhexyl) phosphoric acid로 여러 종류의 유기 용매 하에서 인산기를 도입하여 인산형 수지를 제조하여 우라늄에 대한 용출 실험을 행한 결과 nitrobenzene 존재 하에서 인산기를 도입시켜 제조한 수지가 우수한 흡착능을 보였다고 보고하였다.

Egawa 등[14]는 친수성 모노머인 glycidylmethacrylate (GMA)와 DVB와의 공중합체를 인산과 phosphorous oxychloride로 인산화 반응으로 인산기를 갖는 거대 망상형 양이온 교환수지 (macroreticular type cation exchange resin)를 제조하여 우라늄과 중금속 이온에 대한 흡착실험에서 거대 망상형 양이온 교환수지가 물과 친화력이 큰 GMA가 DVB와 공중합체로 되어 있고, 인산기가 긴 spacer arm에 있기 때문에 중금속과 우라늄 흡착능에는 크게 영향을 미치지만, 수지내부에 ester기와 ether기가 존재하여 강산이나 강알칼리 용액에서는 가수분해의 가능성이 있다고 보고하였다.

그러나 인산기를 갖는 MR형 양이온 교환 수지에 대한 가교도 및 회석제량의 변화에 따른 수지의 물성과 우라늄의 흡착특성에 관한 연구는 거의 보고되어 있지 않은 실정이다.

본 연구에서는 미량으로 용존하는 우라늄을 회수하기 위한 유기계 흡착제 합성을 위하여 친수성 단량체인 GMA에 가교제인 DVB와 세공형성제 (또는 회석제)인 2,2,4-trimethylpentane (TMP)을 사용하여 가교제 및 회석제량을 변화시켜 현탁중합법으로 공중합체를 합성한 후 인산으로 GMA-DVB 공중합체를 인산화시켜 인산기를 갖는 거대 망상형 양이온 교환수지를 제조하여 합성 조건에 따른 수지의 물성과 우라늄의 흡착능에 대하여 고찰하였다.

2. 실험

2.1. 단량체의 정제

가교제인 DVB (Wako. Pure Chem. Ind., Ltd, 55%)과 GMA (Fluka, GR) 중에 포함되어 있는 중합금지제를 제거하기 위하여 상온에서 5% NaOH수용액으로 수회 세척하고 다시 이온 교환수로

수회 세척한 다음 무수 CaCl₂을 첨가하여 잔류 수분을 제거시키고 진공 증류하여 사용하였다. Polyvinylalcohol (PVA, Junsei Chem. Co., Ltd), benzoylperoxide (BPO, Hayashi; Pure Chem. Ind., Ltd), TMP (Junsei Chem. Co., Ltd.) 등은 1급 이상의 시약을 정제없이 그대로 사용하였다.

2.2. DVB-GMA 공중합체의 중합

DVB-GMA의 공중합체를 개시제 BPO와 안정제인 PVA를 사용하여, 교반기, 온도계, 질소 주입구, 냉각기 등이 장치된 반응기를 설치하여 항온조 내에서 현탁 중합법으로 합성하였다[1,14].

DVB-GMA 공중합체는 사구 플라스크에 PVA 0.5 g을 이온 교환수 350 mL에 가하고, 단량체인 GMA와 가교제인 DVB의 혼합액에 TMP 100 mL로 희석시킨 뒤에 BPO 0.54 g을 용해시켜 가한 후에 질소 가스로 주입하면서, 250 rpm에서 1시간 동안 교반하여, 입자의 크기가 균일함을 확인한 후, 80 °C에서 6시간 동안 반응시킨 다음 90 °C에서 2시간 동안 중합하여 구형의 공중합체를 제조하였다.

중합이 완결되면 40 °C의 증류수로 수회 세척하여 PVA를 제거시키고, 아세톤으로 12시간 soxhlet 처리하여 여별한 후에 80 °C에서 24시간을 열풍 건조시킨 다음, 80~100 mesh로 분급하여 구상 공중합체 (RG로 칭함)로 사용하였다.

가교도의 영향을 고찰하기 위하여 세공형성제인 TMP를 50 vol %로 일정하게 두고 DVB의 함량을 0~10 mol %로, 세공형성제의 영향을 고찰하기 위해서는 가교도 2 mol %에서 TMP량을 0~100 vol %로 변화시켜 DVB-GMA 공중합체를 합성하였다. 이때 얻어진 각 가교제량과 세공형성제량별로 각각 RG-0(50), RG-1(50), RG-2(50), RG-5(50), RG-10(50), RG-2(0), RG-2(30), RG-2(75) 및 RG-2(100)이라 칭하며, RG다음의 숫자는 가교도를, 괄호안의 숫자는 기공형성제의 vol %를 나타내었다.

2.3. 인산기를 갖는 MR형 양이온 교환 수지 (RGP)의 제조

인산기를 갖는 MR형 양이온 교환 수지 제조는 GMA-DVB 공중합체 80~100 mesh 5 g에 인산 40 mL와 benzene 100 mL를 혼합하여 80 °C에서 3시간을 반응시킨 다음, 인산화된 수지를 여별한 후 여액이 증식이 될 때까지 증류수로 세척하여 50 °C에서 24시간 열풍 건조시켜 흡착제로 사용하였으며, 이때 인산기를 갖는 MR형 양이온 교환 수지를 RGP라 하며 각 가교도와 회석제별로 RGP-0(50), RGP-1(50), RGP-2(50), RGP-5(50), RGP-10(50), RGP-2(0), RGP-2(30) RGP-2(75) 및 RGP-2(100)이라 칭하였다.

2.4. 공중합체의 물성 측정

GMA-DVB 공중합체와 인산기가 도입된 MR형 양이온 교환수지 (RGP)의 구조를 확인은 FT-IR Spectrophotometer [Model IFS-45 Bruker Co.]로, 비표면적 (BET표면적) 측정은 RGP수지를 50 °C에서 30분간 감압 건조시킨 후에 비표면적 측정장치 [Micrometrics Co. Accusorb 2100E]를 사용하여 -196 °C에서 질소 흡착법으로 측정하였으며, 겉보기 밀도와 벌크밀도, 세공 분포와 세공 용적은 Mercury porosimetry [Model MVP-1, Quantachrome Co.]을 사용하여 수은 압입법으로 측정하였으며, 평균 세공반경 (\bar{r})은 비표면적(S) 및 세공 용적 (V_p)을 사용하여 $\bar{r} = \frac{2V_p}{S}$ 로 계산하였다[41]. 흡착장치의 소요용적에 관한 중요한 인자인 겉보기체적(V_a)는 10 mL 메스실린더에 충전한 흡착제 단위중량당의 체적으로 측정하였으며, 세공율 (ϵ_p)은 수지의 세공용적 (V_p)과 겉보기밀도 (ρ_a)로부터 다음의 식을 이용하여 계산하였다.

$$\epsilon_p = \frac{V_p \rho_a}{1 + V_p \rho_a} \quad (-)$$

중합체의 팽윤비 (swelling ratio ; S.R.)은 건조한 시료 1 g를 10 mL 메스 실린더에 넣어 겔보기 체적을 측정한 다음, 용매인 dioxane을 가해서 24시간 상온에서 방치하여 팽윤된 체적을 측정하여 다음의 식을 이용하여 구하였다.

$$\text{팽윤비 (S.R.)} = \frac{\text{팽윤제에 의한 수지의 팽윤체적}}{\text{공기중에서의 수지의 겔보기 체적}}$$

2.5. 이온 교환 용량의 측정

RGP수지의 양이온 교환 용량 측정은 수지를 50 °C에서 2시간 동안 진공 건조 시켜, 100 mL 용량 플라스크에 RGP 0.25 g와 0.1 M NaOH-0.1 M NaCl 혼합액 50 mL를 넣고, 25 °C에서 10시간 동안 진탕한 후에 0.1 M HCl용액으로 NaOH의 농도를 중화 적정법으로 측정하였다[14].

2.6. 우라늄의 흡착능 실험

RGP 수지에 대한 우라늄의 흡착능 실험은 회분 현탁법으로 RGP 수지 0.03 g를 우라늄 초기 농도 50 ppm, 100 mL를 250 mL 용량의 삼각플라스크에 넣고 25 °C에서 24시간 진탕시킨 후 용액중 잔류한 우라늄의 농도를 전 보고서[21]에서 측정된 방법과 동일한 arosenazoIII을 발색제로 하는 비색법으로 UV-Spectrophotometer [CECIL, CE594]를 이용하여 측정하였다. 즉 시료용액 50 mL에 염산 0.1 mL와 0.05% arosenazoIII 수용액 1 mL을 넣고 충분히 교반한후 기준 물질로서 증류수를 사용하여 파장 650 nm에서 흡광도를 측정하고 별도로 작성한 검량선과 비교하여 농도를 결정하였다. 또한 우라늄의 흡착량 q (mg/g)은 다음 식으로 구하였다.

$$q = \frac{V(C_0 - C_\infty)}{m}$$

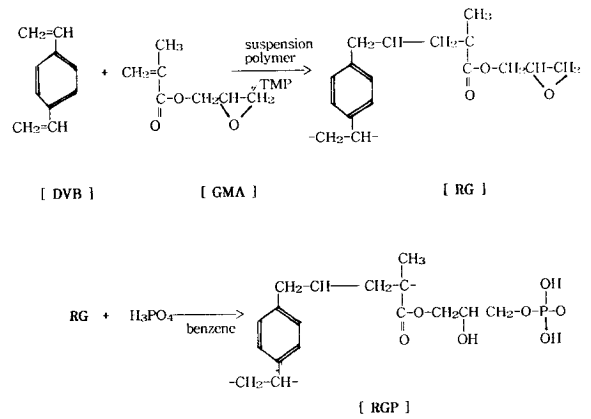
여기서 C₀는 우라늄의 초기 농도(mg), C_∞는 우라늄의 평형농도(mg), V는 용액의 부피(mL), m은 흡착제의 무게(g)이다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 인산기를 갖는 MR형 양이온 교환 수지 (RGP)의 합성

우라늄 이온에 대해 높은 흡착량과 빠른 흡착속도로 선택적으로 분리할 수 있는 고성능 흡착제를 합성하기 위해서는 우라늄 이온을 배위하는 배위기가 불용성 고분자중에 있어야 하며, 그 배위기와 우라늄 이온간에 착화합물을 생성하는데 충분한 입체 공간을 갖는 거대 망상형 공중합체 수지가 좋다. 따라서 거대 망상형 공중합체를 합성시, 희석제의 종류, 희석제의 양, 가교제의 종류, 가교제의 양, 합성 조건 및 MR형 수지에 배위기 도입시 배위기의 종류, 반응 조건에 따라서 우라늄 흡착능에 큰 영향이 있다고 보고되어 있다 [22-23].

본 연구에서는 MR형 공중합체 합성시 가교도와 세공형성제의 량에 대한 영향을 고찰하고자 단량체 GMA에 가교제인 DVB와 세공형성제인 TMP를 각각 사용하여 공중합체를 현탁 중합법으로 합성하였다. 가교도가 2 mol % 일때 희석제를 사용하지 않은 RG-2(0)인 경우에는 투명한 구상 중합체로 희석제의 양을 75 vol %이상으로 사용한 RG-2(75)와 RG-2(100) 경우는 분말 입상형태의 중합체로 나머지 공중합체들은 MR형 구상 입자를 얻을 수 있었다. 분말 입상으로 된 것은 다른 공중합체들과 마찬가지로 80~100 mesh로 분급하여 벤젠 하에서 인산으로 인산화를 시킨 결과 공중합체들의 색깔은 갈색과 회색으로 변화하였다. 이때 인산기를 갖는 거대 망상형 양이온 교환 수지 (RGP)의 합성반응 기구를 Scheme 1에 나타내었다[14].



Scheme 1. Preparation of macroreticular type cation exchange resin containing phosphoric acid group.

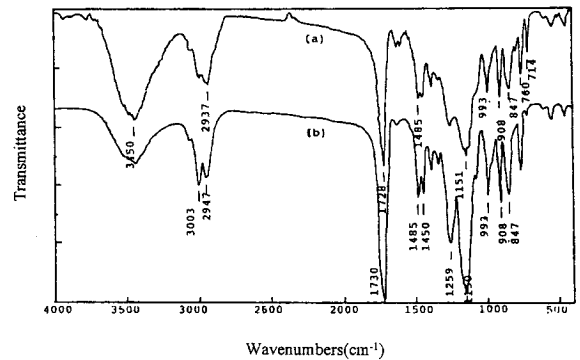


Figure 1. Infrared spectra of RG-0(50) (a) and RG-2(50) (b).

Scheme 1에서 RG내에 물과 친화력이 강한 epoxide기가 존재하고 있고, RG에 인산으로 인산화 시킨 RGP 수지 내에서는 우라늄 이온의 흡착 과정에 작용하는 인산기가 긴 spacer arm내에 있는 것으로 보아 우라늄 흡착능에 크게 영향을 미칠 것으로 여겨진다.

3.2. GMA-DVB 공중합체 (RG) 및 RGP 수지의 구조확인

MR형 양이온 교환 수지를 합성하기 위하여 단량체 GMA에 가교제, DVB와 희석제 TMP량을 변화시켜 현탁중합법으로 합성한 PGMA (polyglycidylmethacrylate)와 RG를 인산으로 인산화시킨 RGP의 구조를 확인하기 위하여 Figure 1(a)에 가교제를 사용하지 않은 PGMA(RG-0(50)), (b)에 가교제 2 mol %인 RG-2(50), Figure 2 (a)에 RG-2(50)를 인산으로 인산화한 RGP-2(50)와 (b)에 RGP-2(50)를 질산 우라늄 수용액으로 흡착시킨 RGP-2(50)-U에 대해서 적외선 분석을 행한 결과를 각각 나타내었다.

Figure 1에 나타난 바와 같이 가교제를 사용하지 않은 RG-0(50) (a)과 가교제를 사용한 RG-2(50) (b)가 차이가 있음을 알 수 있으며 (b)의 경우 1259, 1450, 3003 cm⁻¹ 부근에서 DVB에 의한 가교가 일어났음을 확인할 수 있으며 (a), (b) 모두에서 847, 908과 993 cm⁻¹ 부근에서 GMA내에 있는 epoxide 특성을 확인할 수 있는데, epoxide 특성은 acetone, tetrahydrofuran, dimethylformamide 등과 같은 용매에서는 용해하지만 물이나 메탄올에서는 불용성인 것으로 알려져 있다.

Figure 1(b)에서 RG-2(50)인 경우 epoxide기가 존재하지만 Figure 2(a)에서 RGP-2(50)인 경우는 인산으로 처리후 epoxide기의 흡수대 847, 908과 993 cm⁻¹부근이 사라진 반면 1051, 1395, 2361

Table 1. Effect of Degree of Crosslinking and Amount of Diluent on RGP Resins

Resin abbreviation	S (m ² /g)	V _p (cm ³ /g)	ρ _b (g/cm ³)	ρ _a (g/cm ³)	\bar{r} (Å)	ε _p (-)	C _c (meq/g)	V _a (cm ³)	S.R. (-)	Resin type
RGP-0(50)	12.50	0.243	1.069	1.414	388.8	0.255	2.76	2.00	1.30	M
RGP-1(50)	20.00	0.649	0.737	1.414	649.00	0.478	2.62	2.60	1.69	M
RGP-2(50)	47.70	0.408	0.759	1.490	171.07	0.379	2.58	2.60	1.41	M
RGP-5(50)	56.10	0.396	0.881	1.387	141.18	0.355	2.44	2.88	1.32	M
RGP-10(50)	47.60	0.261	1.088	1.472	109.66	0.229	2.84	2.28	2.01	M
RGP-2(0)	-	0.044	1.408	1.472	-	0.061	2.68	1.60	1.25	G
RGP-2(30)	23.32	0.106	1.302	1.456	90.91	0.134	2.59	1.64	1.36	M
RGP-2(50)	47.70	0.400	0.881	1.491	171.08	0.379	2.58	2.60	1.41	M
RGP-2(75)	57.20	0.949	0.592	1.391	331.82	0.569	2.22	2.96	1.49	P
RGP-2(100)	84.10	0.980	0.517	1.352	233.06	0.569	2.08	3.20	1.87	P

M : Macroreticular bead type, G : Gel type, P : Powder type

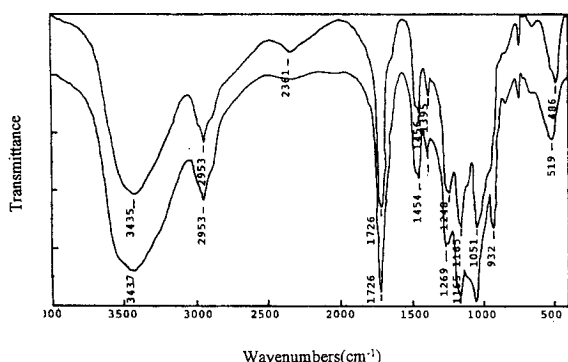


Figure 2. Infrared spectra of RG-2(50) copolymer (a) and after uranium adsorption (b).

부근에서 각각 P-O, C-OH, P-H 흡수대가 나타나 인산화가 되었음을 확인할 수 있다.

Figure 2.(b)는 RGP-2(50)수지에 우라늄을 흡착시킨 경우로 2361 cm⁻¹이 사라진 반면 932 cm⁻¹부근의 O=U=O 흡수대를 확인할 수 있으며 이것으로부터 우라늄이 흡착되었다는 것을 입증할 수 있다 [24,25].

3.3. RGP 수지의 세공도 (porosity)

가교도와 회석제량을 변화시켜 제조한 RGP수지에 대한 비표면적 (S), 평균 세공반경 (\bar{r}), 세공용적 (V_p), 겔보기 체적 (V_a), 겔보기 밀도 (ρ_a), 벌크밀도 (ρ_b), 및 세공율 (ε_p) 등을 측정하여 Table 1에 나타내었다.

Table 1에서 RGP수지에 대한 가교도의 영향에서 비표면적(S)과 겔보기 체적 (V_a)은 각각 12.50~56.10 m²/g과 2.00~2.88 cm³으로서 RGP-0(50)에서 RGP-5(50)까지 비표면적과 겔보기 체적이 증가하다가 다시 감소하며 또한 가교제를 사용하지 않은 RGP-0(50)인 경우는 다른 RGP수지보다도 비표면적과 겔보기체적이 낮음을 알 수 있다. 회석제량의 영향에서는 비표면적과 겔보기 체적은 각각 23.32~84.10 m²/g과 1.60~3.20 cm³으로서 회석제를 사용하지 않은 RGP-2(0)인 경우는 겔상으로서 비표면적을 측정할 수 없는 반면 다른 RGP수지들은 회석제의 양이 증가함에 따라 비표면적과 겔보기 체적은 증가함을 알 수 있는데 이는 비표면적과 겔보기 체적과는 서로 상관 관계가 있음을 확인할 수 있다.

RGP-5(50)인 경우 MR형으로서 비표면적과 겔보기 체적이 가장 높다는 것을 알 수 있는데, 이는 Egawa[14]가 밝힌 회석제량을 단량체에 대해 50 vol %를 사용한 경우가 MR형으로서 최대 비표면적을 나타낸다는 것 과도 잘 일치하고 있다.

가교도 영향에서 가교도가 증가함에 따라 비표면적과 겔보기 체적이 최대치에 도달한 후 감소하는 이유는 MR형 수지의 중합제에서 중합 초기에는 단량체, 가교제 및 회석제가 균일하게 분포하고 있지만 중합이 진행되면서 분자량이 어느 한계에 도달하여, 회석제에 의해 연속적으로 상의 분리가 수반되기 때문에 중합체의 분자량이 어느 한계 이상으로 증가할 수 없어 비표면적이 증가하였다가 감소하는 것으로 여겨진다. 회석제량의 영향에서 회석제의 양이 75 vol % 이상일 경우 고분자 주쇄간의 가교가 회석제에 의해 중합을 억제하지 못하기 때문에 MR형을 벗어나 분말상의 수지를 얻게 되는데, 이는 가교도를 낮게 함으로서 고분자 주쇄간의 강한 가교를 형성하여 MR형 구상형태로 생성시킬 수 있는 것으로 여겨진다 [24,25].

가교도의 영향에서 겔보기 밀도 (ρ_a)와 벌크밀도 (ρ_b)의 경우 각각 1.387~1.490 g/cm³과 0.737~1.088 g/cm³으로서 겔보기 밀도는 가교도 변화에 따라 불규칙적인 반면 벌크밀도는 가교도가 증가함에 따라 증가함을 알 수 있고, 회석제량 영향에서는 겔보기 밀도와 벌크밀도는 각각 1.352~1.491과 0.517~1.408 g/cm³으로서 회석제 양이 증가함에 따라 대체로 감소함을 알 수 있다.

가교도의 영향에서 세공용적 (V_p), 평균 세공반경 (\bar{r})과 세공율 (ε_p)은 각각 0.243~0.649 cm³/g, 109.66~649.00 Å, 0.229~0.478 (-)이며 RGP-1(50)일 때 세공용적, 평균 세공반경과 세공율이 각각 0.649 m³/g, 649.0 Å, 0.478(-)로서 최대값을 나타낸 이후 가교도가 증가함에 따라 세공용적 세공반경 및 세공율은 감소함을 알 수 있다. 또한 회석제량의 영향에서 세공용적과 세공율은 0.044~0.98 cm³/g과 0.061~0.569(-)로서 회석제량이 증가함에 따라 세공용적과 세공율이 증가함을 알 수 있으며 반면 평균 세공반경은 90.91~233.06 Å으로서 RGP-2(75)까지 증가하다가 다시 감소함을 보여 주는데 이는 회석제량을 75% 이상 첨가할 경우 RGP수지는 분말 형태로 변하기 때문으로 생각되며, 평균 세공반경이 90.91~649.0 Å으로서 macropore을 가지는 거대 망상형 이온 교환수지임을 확인할 수 있다.

따라서 RGP수지 제조시 가교도와 회석제량에 따라 비표면적, 겔보기 체적, 겔보기 밀도, 벌크밀도, 세공용적, 세공반경, 세공율 등에 크게 영향을 미치며 또한 평균 세공반경이 90.91~649.00 Å으로서 macropore을 가지는 거대 망상형 이온 교환수지를 합성할 수 있음

을 확인할 수 있다.

3.4. RGP 수지의 팽윤도

대부분 MR형 공중합체의 수지는 소수성이므로 친수성을 갖는 화합물과는 상용성이 없어 이온교환 반응에 영향을 미치지 때문에 미리 팽윤된 상태에서 극성기들을 도입하는데, 이때 팽윤정도, 하전기의 고정화 반응 및 이온 교환 용량등이 중요한 영향을 미치며 일반적으로 가교도가 낮고 세공 형성체의 함량이 클수록 팽윤이 잘 일어난다고 알려져 있다[25]. 본 연구에서는 2중 결합간의 거리가 긴 친수성 단량체인 GMA를 사용하여 합성한 RGP수지에 대해 dioxane으로 팽윤시켜 측정된 팽윤비(S.R)를 Table 1에 나타내었다.

Table 1에서 RGP 수지에 대한 가교도의 영향에서 팽윤비는 1.30~2.01(-)로서 RGP-1(50)일 때 세공부피와 마찬가지로 팽윤비가 1.69 (-)로 최대가 된 후 가교도가 증가함에 따라 팽윤비가 감소하다가 RGP-10(50)에서 증가하였으며, RGP-0(50)인 경우는 다른 RGP 수지보다도 세공부피와 팽윤비가 낮음을 알 수 있다. 회석제량의 영향에서 팽윤비는 1.25~1.87(-)로서 회석제의 양이 증가함에 따라 세공부피와 팽윤비는 증가함을 알 수 있는데 이는 회석제의 함량이 증가함에 따라 수지 내부에 세공이 많이 형성되어서 여기에 들어가는 dioxane의 양이 증가하기 때문이라 생각된다.

또한, RGP-0 (50)과 RGP-2(0)인 경우를 비교하면 겔 형태인 RGP-2(0)가 RGP-0(50)보다도 팽윤비와 세공부피가 더 낮게 나타냄을 알 수 있다.

따라서 가교도와 회석제의 함량에 따라 RGP수지의 팽윤비에 크게 영향을 미치며 특히 팽윤비와 세공부피가 서로 상관 관계가 있고 또한 낮은 가교도에서는 느슨한 망상구조의 macropore가 생성되어 가교제의 2중 결합간의 거리를 변화시키면서 macropore의 형성에 영향을 주며, 높은 가교도에서는 가교 밀도가 큰 micropore가 형성되기 때문에 가교제의 2중 결합간의 거리 변화는 팽윤에 크게 영향을 미치는 것으로 알려져 있다[5-7]. 본 연구에서는 macropore보다 micropore가 더 팽윤비에 크게 영향을 미치는 것으로 보여지고 있는데, 그 이유는 RGP 수지내에 2중 결합이 길고 친수성 단량체인 GMA로 공중합 되어 있기 때문이라고 여겨진다.

3.5. RGP수지의 양이온 교환용량

Table 1에서 RGP수지에 대한 가교도 영향에서 양이온 교환용량은 2.44~2.84 meq/g으로서는 가교도가 증가함에 따라 양이온 교환 용량이 감소하다가 RGP-10(50)에서 양이온 교환 용량이 2.84 meq/g로 최대가 됨을 알 수 있는데 이러한 이유는 epoxide기의 함량과 팽윤비 때문이라고 여겨진다[14]. 즉 가교도가 증가함에 따라 이온 교환할 수 있는 epoxide함량이 감소되어 인산화 될 때 반응이 어렵게 진행되기 때문에 양이온 교환 용량이 감소할 것으로 여겨지나 RGP-10(50)인 경우는 팽윤비가 다른 가교도에서 보다도 크기 때문에 양이온 교환 용량이 큰 것으로 사료된다.

회석제량의 영향에서 양이온 교환 용량은 2.08~2.68 meq/g으로서 회석제량이 증가함에 따라 양이온 교환 용량이 증가함을 알 수 있으며 회석제의 양이 증가함에 따라 팽윤비가 증가함에도 불구하고 양이온 교환용량은 감소하며 RGP-2(0)인 경우가 가장 높은 양이온 교환 용량을 가짐을 알 수 있다. 일정한 가교도에서 회석제량의 변화에 따라 제조된 RGP수지의 양이온 교환 용량은 수지의 형태에 따라 영향이 있는 것으로 여겨지는데, 겔형이 MR형과 분말형보다도 양이온 교환 용량이 높고 또한 MR형이 분말형보다도 양이온 교환 용량이 크다는 것을 알 수 있다. 따라서, 가교도와 회석제량의 변화에 따라 제조된 RGP수지의 양이온 교환 용량은 epoxide기의 함량, 팽윤비와 수지의 형태에 따라 영향이 있는 것으로 생각된다.

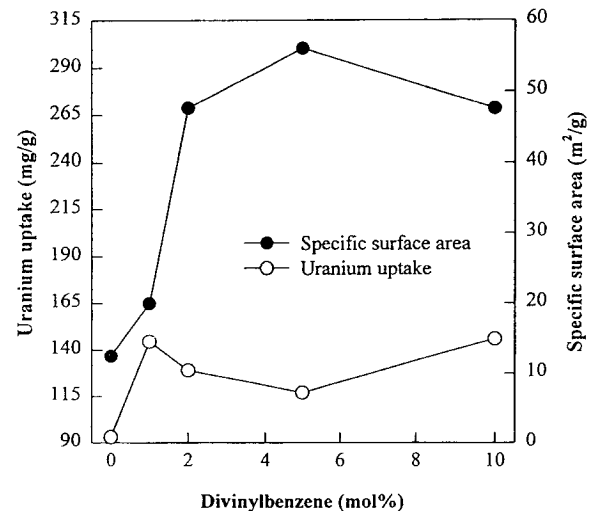


Figure 3. Effect of degree of cross-linking on the specific surface area and the adsorptivity of uranium.

3.6. 우라늄의 흡착능에 대한 가교도의 영향

우라늄 이온을 선택적으로 흡착하는 수지는 본질적으로 킬레이트기 또는 이온 교환기의 종류에 따라 결정되지만 흡착 기능면에서는 수지의 내부 구조에 크게 영향을 받는다고 알려져 있다[3,25]. 본 연구에서는 수지 내부 구조에 영향을 미치는 DVB 함량을 변화시켜 합성한 인산기를 갖는 MR형 양이온 교환 수지에 대하여 우라늄의 흡착능을 고찰하고자 흡착 온도 25 °C에서 초기 질산 우라늄 농도 50 ppm, 초기 pH 4.86, 용액 부피 100 mL에 가교도를 변화시킨 RGP 수지를 각각 0.03 g을 넣고, 24시간 진탕한 후 우라늄의 최대 흡착량을 측정하였다. 우라늄의 최대 흡착량은 RGP-10(50) > RGP-1(50) > RGP-2(50) > RGP-5(50) > RGP-0(50)순으로 각각 146.06, 144.62, 129.25, 117.11 및 93.13 mg/g이며 pH 변화는 3.13, 3.12, 3.16, 3.33, 3.43이었다.

이들 결과에서 보면 RGP-0(50)과 RGP-10(50)을 제외하고는 가교도가 증가함에 따라 우라늄의 흡착량이 감소되며 RGP-10(50)과 RGP-1(50)에서는 거의 같은 우라늄 흡착량을 나타내므로 이때 최적 가교도는 RGP-10(50)과 RGP-1(50)임을 알 수 있으며 또한 pH 변화와 우라늄 흡착과의 상호관계가 있음을 알 수 있다.

RGP-1(50)과 RGP-10(50)에 대한 물성과 우라늄의 흡착능을 고찰해 보면 RGP-1(50)인 경우 세공용적, 평균 세공반경, 세공율이 최대이며 RGP-10(50)인 경우는 양이온 교환 용량과 팽윤비가 최대로서 우라늄이 흡착될 때 RGP-1(50)은 세공구조에 RGP-10(50)은 이온교환 용량에 크게 영향을 미친다고 생각된다.

Figure 3은 RGP수지에 대한 가교도 영향에 따른 우라늄의 흡착량과 비표면적과의 관계를 나타낸 것으로서 RGP-1(50)인 경우는 다른 RGP수지보다 비표면적이 낮음에도 불구하고 우라늄의 흡착량이 많으며, RGP-5(50)인 경우는 다른 RGP수지보다 비표면적이 높음에도 불구하고 우라늄의 흡착량이 낮음을 알 수 있는데, 이러한 관계에서 RGP수지에 대한 가교도 영향에 따른 우라늄의 흡착능은 비표면적보다는 다른 인자들이 더 큰 요인으로 작용하는 것으로 생각된다.

Figure 4는 RGP수지에 대한 가교도 영향에 따른 우라늄의 흡착량과 평균 세공반경의 관계를 나타낸 것으로서 RGP-1(50)에서 우라늄의 흡착량과 평균 세공반경이 최대이며 RGP-0(50)에서는 평균세공반경이 388.8 Å인 반면 우라늄 흡착량은 다른 RGP수지보다도 적으며 RGP-10인 경우는 평균세공반경이 다른 수지보다도 가

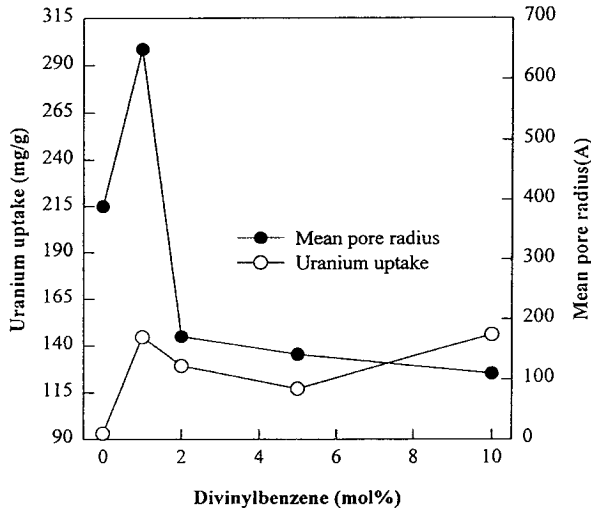


Figure 4. Effect of degree of cross-linking on the pore radius area and the adsorptivity of uranium.

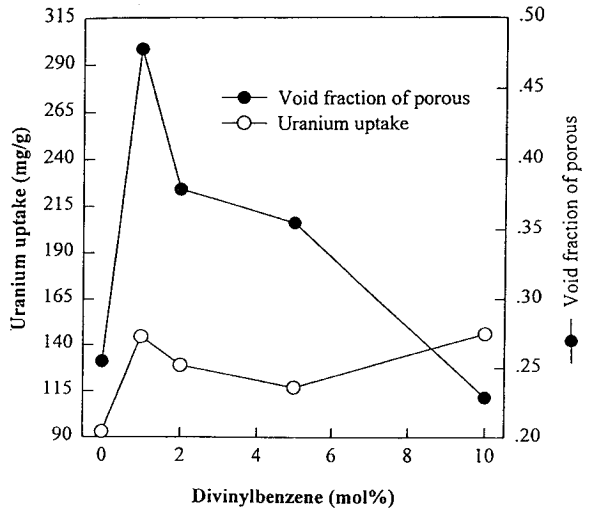


Figure 5. Effect of degree of cross-linking on the void fraction of porous and the adsorptivity of uranium.

장 적은 데도 우라늄의 흡착량이 최대임을 알 수 있다.

RGP-1(50)인 경우는 우라늄과 흡착할 수 있는 충분한 macropore를 형성하고 있고 또한 RGP-10(50)은 우라늄과 흡착할 수 있는 macropore보다는 팽윤에 의한 micropore을 형성하고 있기 때문에 우라늄의 흡착량이 큰 것으로 생각된다.

Figure 5는 RGP수지에 대한 가교도 영향에 따른 우라늄의 흡착량과 세공율과의 관계를 나타낸 것으로서 RGP-0(50)에서는 세공율과 우라늄의 흡착량은 같은 경향을 나타내는 반면 RGP-10(50)인 경우는 세공율이 최소인 반면 우라늄의 흡착량은 최대가 됨을 알 수 있다.

RGP-0(50)인 경우는 RGP-10(50)보다 세공율이 큰데도 불구하고 우라늄의 흡착량이 적고 RGP-10(50)은 다른 RGP수지보다도 세공율이 적은데도 우라늄의 흡착량이 크며, RGP-1(50)인 경우는 RGP-0(50)보다도 세공율이 크면서 우라늄의 흡착량이 약 1.5배 정도 많음을 알 수 있다. 이러한 관계에서 RGP-0(50)인 경우는 micropore을 형성하고 있지 않기 때문에 우라늄의 흡착량이 적은 것으로 여겨지며, RGP-1(50)인 경우는 우라늄과 흡착할 수 있는 많은 충분한

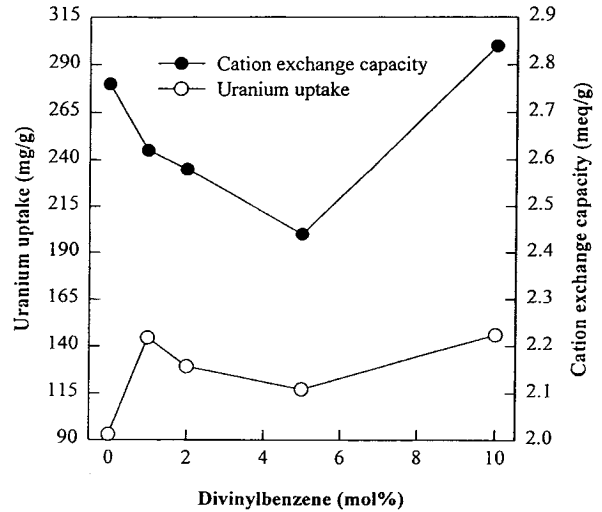


Figure 6. Effect of degree of cross-linking on the cation exchange capacity and the adsorptivity of uranium.

macropore와 양이온 교환 용량 및 팽윤성을 가지고 있기 때문에 또한 RGP-10(50)은 우라늄과 흡착할 수 있는 세공율보다는 양이온 교환기가 많기 때문에 우라늄의 흡착량이 큰 것으로 생각된다.

Figure 6은 RGP수지에 대한 가교도 영향에 따른 우라늄의 흡착량과 양이온 교환 용량과의 관계를 나타낸 것으로서 RGP-5(50)까지는 가교도가 증가함에 따라 양이온 교환 용량은 감소하고 RGP-10(50)일때는 양이온 교환 용량이 최대가 되는 반면 우라늄 흡착량은 RGP-0(50)과 RGP-10(50)을 제외하고는 가교도가 증가함에 따라 우라늄의 흡착량도 감소함을 알 수 있다. RGP-0(50)인 경우는 다른 RGP수지보다 양이온 교환 용량이 많음에도 불구하고 우라늄의 흡착량이 적고 RGP-10(50)은 다른 RGP수지보다도 양이온 교환 용량과 우라늄의 흡착량이 크며 RGP-1(50)인 경우는 RGP-0(50)보다도 양이온 교환 용량이 적으면서도 우라늄의 흡착량이 약 1.5배 정도 많음을 알 수 있다. 이러한 관계에서 RGP-0(50)인 경우는 양이온 교환기는 많지만 우라늄 이온과 이온교환할 수 있는 충분한 세공을 가지고 있지 않기 때문에 우라늄의 흡착량이 적은 것으로 여겨지며, RGP-1(50)인 경우는 우라늄과 흡착할 수 있는 많은 양이온 교환기와 충분한 세공을 가지고 있기 때문에 또한 RGP-10(50)은 우라늄과 흡착할 수 있는 양이온 교환기가 많기 때문에 우라늄의 흡착량이 큰 것으로 생각된다.

Figure 7은 RGP수지에 대한 가교도 영향에 따른 우라늄의 흡착량과 팽윤비의 관계를 나타낸 것으로서 팽윤비가 증가하면 우라늄의 흡착량도 증가하고 팽윤비가 감소하면 우라늄의 흡착량도 감소함을 알 수 있는데 이는 RGP수지의 팽윤비와 우라늄의 흡착량과 서로 상호관계가 있음을 나타내며, RGP-10(50)인 경우 다른 RGP수지보다도 팽윤비가 크기 때문에 우라늄과 흡착할 수 있는 micropore가 많아서 우라늄의 흡착량이 많다고 생각된다. 인산기를 갖는 MR형 양이온 교환수지(RGP)에 대한 우라늄 흡착에서 팽윤비가 다른 물성보다도 크게 영향을 미친다고 여겨진다.

따라서 일정 희석계량에서 가교도 변화에 따른 MR형 RGP수지에 대한 우라늄 흡착량은 RGP-1(50)인 경우 세공용적, 평균 세공 반경, 세공율, macropore와 같은 물리적 구조에, RGP-10(50)인 경우는 RGP수지의 물리적 구조보다는 양이온 교환 용량과 같은 화학적 구조와 팽윤비에 의한 micropore에 크게 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

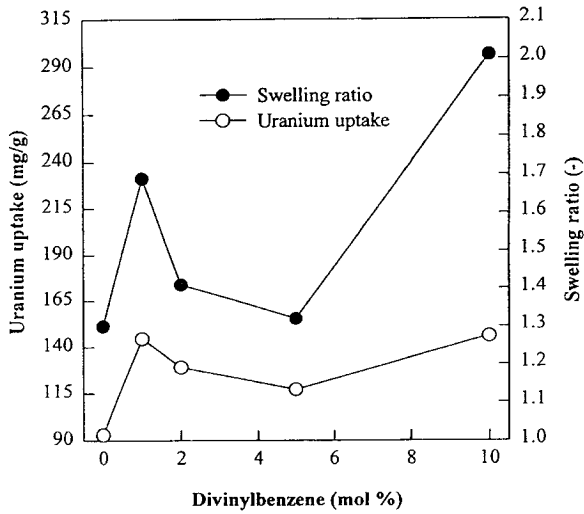


Figure 7. Effect of degree of cross-linking on the swelling ratio and adsorptivity of uranium.

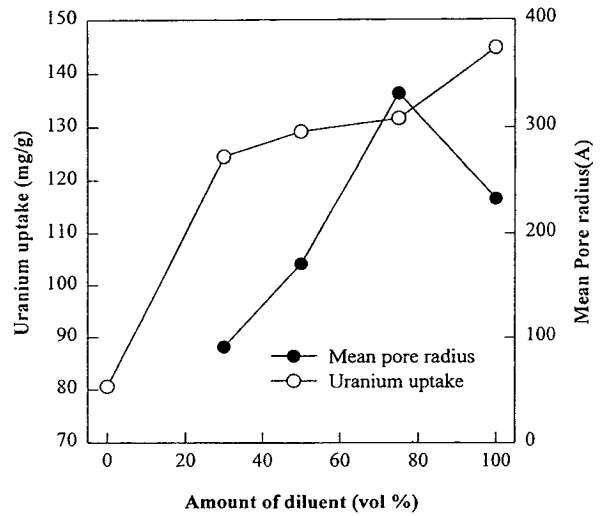


Figure 9. Effect of amount of diluent on the mean pore radius and adsorptivity of uranium.

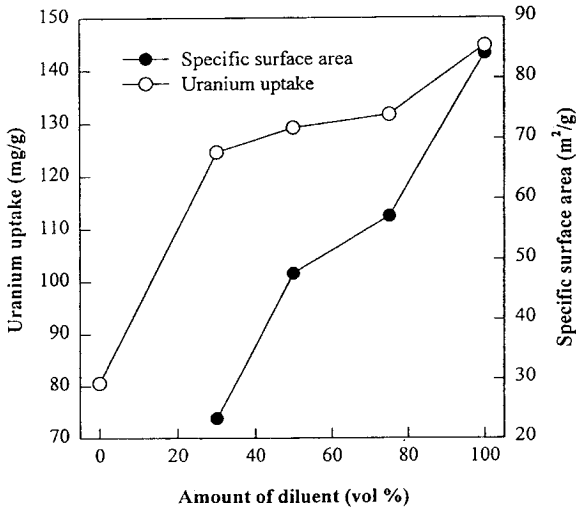


Figure 8. Effect of amount of diluent on the specific surface area and adsorptivity of uranium.

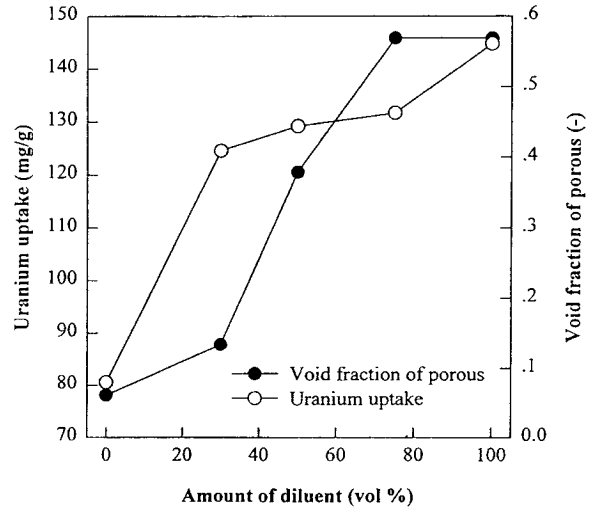


Figure 10. Effect of amount of diluent on the void fraction of porous and adsorptivity of uranium.

3.7. 우라늄 흡착능에 대한 회석제량의 영향

RGP수지의 제조시에 회석제량의 영향과 우라늄 흡착능과의 관계를 고찰하기 위하여 흡착온도 25 °C에서 초기 우라늄 농도 50 ppm, 초기 pH 4.86, 용액 부피 100 mL에 RGP 수지 0.03 g을 넣고, 때때로 흔들면서 24시간 경과한 후 우라늄의 흡착량과 최종 pH를 측정 한 결과 RGP-2(100) > RGP-2(75) > RGP-2(50) > RGP-2(30) > RGP-2(0) 순으로 각각 144.79, 131.69, 129.25, 124.61 및 80.60 mg/g의 우라늄의 최대 흡착량과 pH 3.11, 3.13, 3.16, 3.20, 3.45의 변화를 보였다. 이들 결과로서 회석제량이 증가함에 따라 우라늄의 흡착량은 증가하고, pH변화는 초기 pH 4.86에서 최종 pH 3.45~3.11로서 pH의 변화량이 많음을 알 수 있는데 이는 인산기를 갖는 MR형 양이온 교환수지(RGP)이기 때문에 우라늄 흡착시 양이온 교환이 이루어지는 것으로 추정할 수 있다.

RGP-1(50)와 RGP-2(100)인 경우에 우라늄의 흡착량이 각각 144.62과 144.79 mg/g으로서 거의 같은 흡착량을 나타내는데 이는 회석제량과 RGP수지의 물성간에 상호 관계가 있을 것으로 생각된다.

Figure 8은 RGP수지에 대한 회석제량에 따른 우라늄의 흡착량과 비표면적과의 관계를 나타낸 것으로서 비표면적이 증가할수록 우라늄의 흡착량이 증가함을 알 수 있는데, 이는 일정 가교도에서 회석제의 량을 변화시킨 경우에 비표면적과 우라늄의 흡착량과의 상관 관계가 있는 것으로 여겨진다.

Figure 9는 RGP수지에 대한 회석제량에 따른 우라늄의 흡착량과 평균세공반경과의 관계를 나타낸 것으로서 RGP-2(75)까지는 평균세공반경이 증가할수록 우라늄의 흡착량이 증가하며 RGP-2(100)인 경우는 평균 세공반경이 RGP-2(75)보다도 작음에도 우라늄의 흡착량이 많음을 알 수 있다. 이는 일정 가교도에서 회석제의 량을 변화시킨 경우에 RGP-2(75)까지는 평균세공반경이 우라늄의 흡착량에 영향을 미치지만 RGP-2(100)인 경우는 평균 세공반경보다 다른 인자들이 우라늄의 흡착량에 영향을 미치는 것으로 여겨진다.

Figure 10은 RGP수지에 대한 회석제량에 따른 우라늄의 흡착량과 세공율과의 관계를 나타낸 것으로서 RGP-2(75)까지 세공율이 증가할수록 우라늄의 흡착량이 증가하며 RGP-2(100)인 경우는

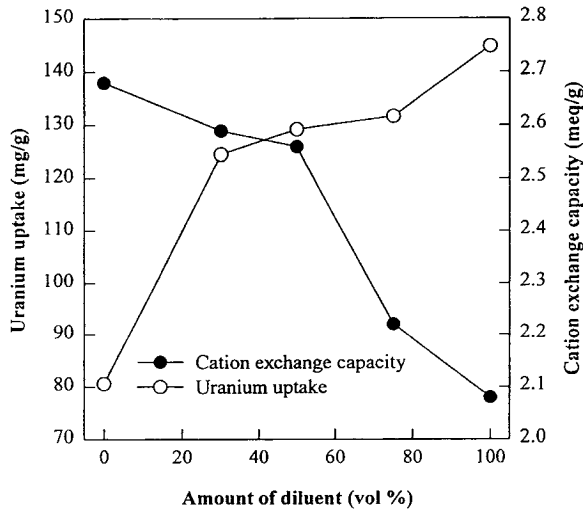


Figure 11. Effect of amount of diluent on the cation exchange capacity and d adsorptivity of uranium.

RGP-2(75)와 같은 세공율인데도 우라늄의 흡착량이 많음을 알 수 있는데, 이는 일정 가교도에서 희석제의 량을 변화시킨 경우에 RGP-2(75)까지는 세공율과 우라늄의 흡착량과의 상관관계가 있으나 RGP-2(100)인 경우는 평균세공반경과 세공율보다도 다른 물성에 더 영향이 있는 것으로 여겨진다.

Figure 11은 RGP수지에 대한 희석제량에 따른 우라늄의 흡착량과 양이온 교환 용량과의 관계를 나타낸 것으로서 RGP-2(0)인 경우는 다른 RGP수지보다 양이온 교환 용량이 많음에도 불구하고 우라늄의 흡착량이 적으며, RGP-2(75)과 RGP-2(100)인 경우는 양이온 교환 용량이 적음에도 불구하고 우라늄의 흡착량이 많음을 알 수 있다. 이러한 관계에서 RGP-2(0)인 경우는 양이온 교환 용량은 많지만 겔 형태로 인한 우라늄 이온과 이온교환할 수 있는 충분한 세공을 가지고 있지 않기 때문에 우라늄의 흡착량이 적은 것으로 여겨지며, RGP-2(100)인 경우는 분말로 인하여 양이온 교환이 쉽기 때문에 우라늄의 흡착량이 큰 것으로 생각되며 이들은 최종 pH로서 입증할 수 있다.

Figure 12은 RGP수지에 대한 희석제량에 따른 우라늄의 흡착량과 팽윤비의 관계를 나타낸 것으로서 팽윤비가 증가함에 따라 우라늄의 흡착량이 증가하며, 일정 가교도에서의 희석제 변화에 따른 우라늄의 흡착량은 일정 희석제량에서 가교도 영향 일때와 마찬가지로 팽윤비에 서로 상관관계가 있음을 알 수 있다.

따라서 일정 가교도에서의 희석제량을 변화시켜 제조한 RGP수지에 대한 희석제량의 영향에서 RGP-2(75)까지는 우라늄의 흡착량은 비표면적, 세공부피, 세공율, 평균세공반경, 양이온 교환 용량 및 팽윤비에, RGP-2(100)은 세공율과 평균세공반경보다도 비표면적, 세공부피, 팽윤비에 크게 영향을 미치며, 희석제량이 75 vol %이상일 경우에는 MR형 구상 RGP수지가 아닌 분말 형태이기 때문에 실용면과 경제적인 측면에서 검토할 때 RGP-2(50)보다도 불리할 것으로 생각된다.

3.8. 우라늄 흡착능에 대한 흡착온도의 영향

RGP수지에 대한 흡착온도에 따른 우라늄의 흡착량과의 관계를 고찰하기 위하여 RGP-2(50)을 초기 pH 4.86, 초기농도 50 ppm, 용액 부피 100 mL, 흡착온도 25 °C, 35 °C, 45 °C에서 평형 흡착한 후 흡착량을 측정된 결과 각각 129.25, 137.01, 및 144.52 mg/g이었다. 이들 결과에서 보면 흡착온도가 증가함에 따라 우라늄 흡착량이 증

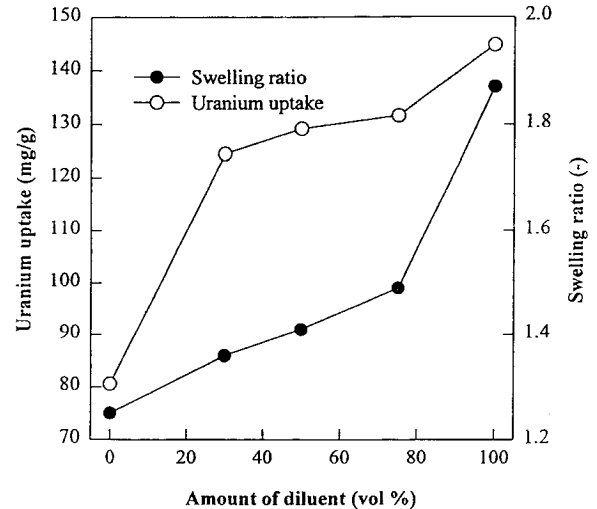


Figure 12. Effect of amount of diluent on the swelling ratio and adsorptivity of uranium.

가함을 알 수 있으며 흡착온도가 10 °C 상승함에 따라 흡착량은 5.5~6%로 증가하였다. 또한 pH변화는 초기 pH 4.86에서 흡착온도 25 °C, 35 °C, 45 °C일 때 각각 3.16, 3.13 및 3.10으로서 흡착온도가 증가함에 따라 pH변화가 증가하여 이온교환은 더욱 활발히 일어남을 알 수 있다.

따라서 RGP수지에 대한 우라늄의 흡착에서는 온도가 증가함에 따라 양이온 교환 반응이 활발히 일어나기 때문에 RGP수지의 물성 못지 않게 흡착온도도 크게 영향을 미침을 알 수 있다.

4. 결 론

해수나 핵폐기물 등에서 미량으로 용존하는 우라늄을 회수하기 위한 우수한 유기 흡착제 합성을 위하여 친수성 단량체인 glycidylmethacrylate (GMA)에 가교제인 divinylbenzene (DVB)과 세공형성제인 2,2,4-trimethylpentane (TMP)을 사용하여 GMA-DVB공중합체 (RG)를 현탁 중합법으로 합성한 후 공중합체에 벤젠 존재하에서 인산으로 인산화시켜 인산기를 갖는 MR형 양이온 교환수지 (RGP)를 제조하여, 가교도 및 희석제량의 변화에 따른 RGP수지에 대한 물성과 우라늄의 흡착능을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) DVB-GMA 공중합체 (RG)에 인산으로 인산화 시켜 인산기를 갖는 MR형 양이온 교환수지를 제조한 결과 가교도 및 희석제량의 변화에 따라 RGP수지들의 물성인 비표면적, 세공 구조, 이온 교환 용량 및 팽윤비에 크게 영향이 있었다.

2) 가교도를 변화시켜 합성한 RGP수지에 대한 우라늄 흡착에서는 RGP-10(50) ≅ RGP-1(50) > RGP-2(50) > RGP-5(50) > RGP-0(50) 순으로 각각 146.02, 144.62, 129.25, 117.11 및 93.13 mg/g의 우라늄 흡착량을 나타내었으며 이때 최적 가교도는 1 mol %와 10 mol %이었다.

3) 희석제량을 변화시켜 합성한 RGP수지에 대한 우라늄 흡착에서는 RGP-2(100) > RGP-2(75) > RGP-2(50) > RGP-2(30) > RGP-2(0)순으로 각각 144.79, 131.69, 129.25, 124.61, 80.6 mg/g 의 우라늄의 흡착량을 나타내었으며 이때 구상을 갖는 최적 희석제량은 50 vol %이었다.

4) RGP 제조시 가교도와 희석제량의 변화에 따라 제조된 RGP수지의 물성과 흡착온도에 따라 우라늄의 흡착능에 크게 영향이 있었다.

감 사

본 연구는 1997년도 한국학술진흥재단의 공모과제연구비(과제번호:997-004-E00252)지원에 의하여 이루어진 것 중 일부이며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 江川博明, 原田日路史, 野中敬正, 日本化學會誌, 1767(1980).
2. H. Egawa, T. Nonaka and M. Nakayama, *J. Macromol. Sci. Chem.*, **A 25**, 1407(1988).
3. T. Kato, T. Kago, K. Kusakabe, S. Morooka and H. Egawa, *J. Chem. Eng. Japan*, **23**, 744(1990).
4. H. Egawa, M. Nakayama, T. Nonaka, H. Yamamoto and K. Uemura, *J. Appl. Poly. Sci.*, **3**, 4, 1557(1987).
5. M. Nakayama, K. Uemura, T. Nonaka and H. Egawa, *J. Appl. Poly. Sci.*, **36**, 1617(1988).
6. T. Hirotsu, S. Katoh, K. Sugasaka, N. Takai, M. Seno and T. Itagaki, *J. Appl. Poly. Sci.*, **36**, 1741(1988).
7. K. Saito, T. Hori, S. Furusaki, T. Sugo and J. Okamoto, *Ind. Eng. Chem. Res.*, 1977(1987).
8. N. Takagi, T. Hirotsu, J. Sakakibara, S. Katho and K. Sugasaka, *Bull. Soc. Seawater Sci., Japan*, **42**, 279(1989).
9. T. Takeda, K. Saito, K. Uezu, S. Furusaki, T. Sugo and J. Okamoto, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **30**, 185(1991).
10. T. Takeda, K. Saito, K. Uezu, T. Sugo and J. Okamoto, *Ind. Eng. Chem. Res.*, **30**, 185(1991).
11. J. Kennedy, *J. Appl. Chem.*, **9**, 26(1959).
12. H. Egawa, T. Nonaka and M. Ikari, *J. Appl. Poly. Sci.*, **29**, 2045(1984).
13. K. Shakir and S. G. Beheir, *J. Chem. Tech. Biotechnol.*, **30**, 563(1980).
14. H. Egawa, T. Nonaka and H. Maeda, *J. Appl. Poly. Sci.*, **30**, 3239(1985).
15. T. Hirotsu, S. Katoh, K. Sugasaka, M. Sukuragi, K. Ichimura, Y. Suda, M. Fujishima, Y. Abe and T. Misonoo, *J. Appl. Poly. Sci. part A*, **24**, 1953(1986).
16. 前田弘憲, 江川博明, 日本化學會誌, 578(1983).
17. T. Hirotsu, S. Katoh, K. Sugasaka, N. Takai, M. Seno and T. Itagaki, *J. Chem. Soc. Dalton Trans.*, 1609(1986).
18. T. Sakaguchi and A. Nakagima, *Sep. Sci. Technol.*, **21**, 519(1986).
19. P. Fux, J. Lagrange and P. Lagrange, *J. Am. Chem. Soc.*, **107**, 5927(1985).
20. S. Lowell and J.E. Shields, "Powder Surface Area and Poresity", 2nd. B. Scarlott, 61, Chapman and Hall Press New York(1984).
21. 徐吉德, 金鐘現, 許光善, 化學工學, **28**, 303(1990).
22. 北柔 編, キレート樹脂, イオン交換樹脂, 講談社(1976).
23. 高分子學會編, 高分子新素材便覽, 丸善(株), 203(1989).
24. K. Kum and R. Kunin, *J. Polymer Sci. Part C*, **16**, 1457(1967).
25. W. L. Sederel and J. DE Jong, *J. Appl. Polymer Sci.*, **17**, 2835(1973).