

E-beam 전조사법에 의한 SAPP-g-(AN/St) 섬유상 이온교환체의 합성 및 우라늄 흡착특성

황태성[†] · 박진원 · 김광영*

충남대학교 화학공학과, *(주)에이스 랩
(2000년 10월 23일 접수)

Synthesis of SAPP-g-(AN/St) Fibrous Ion-Exchanger by E-beam Pre-irradiation and Their Adsorption Properties for Uranium Ion

Taek-Sung Hwang[†], Jin-Won Park, and Kwang-Young Kim*

Department of Chemical Engineering, Chungnam National University, Taejeon 305-764, Korea

*ACE Lab. Inc., Taejeon 305-380, Korea

[†]e-mail : tshwang@cuvic.chungnam.ac.kr

(Received October 23, 2000)

요약: 비닐계 단량체인 아크릴로니트릴과 스티렌을 E-beam 전조사법에 의해 폴리프로필렌 섬유에 그래프트 반응시켜 PP-g-(AN/St) 공중합체를 제조한 후 아미드옥심기와 술폰기를 도입하여 이관능성 이온교환섬유를 제조하였다. 그래프트율은 단량체 내에 아크릴로니트릴의 조성이 감소할수록 증가하였으며 최대 101.1% 이었고 최대 아미드옥심화율은 7.2 mmol/g이었다. 또한 섬유상 이온교환체의 초기 열분해 온도는 120 °C 이었고 함수율은 공중합체 내에 아미드옥심화율이 증가할수록 감소하였고 술폰화율이 증가할수록 증가하는 경향을 나타냈다. APP-g-AN, SPP-g-St, ASPP-g-(AN/St) 이온교환체의 우라늄 흡착량은 각각 12.4, 34, 38 mg/g 이었으며 최적 흡착시간은 약 50시간이었다. 우라늄 흡착 실험결과, 본 실험에서 합성한 이온교환체 (ASPP-g-(AN/St))는 UO_2^{2+} 에 대하여 우수한 성능을 보였다.

ABSTRACT: The bi-functional ion exchangers, SAPP-g-(AN/St) were synthesized with mixed vinyl monomers (acrylonitrile and styrene) onto PP fabric by the pre-irradiation grafting with E-beam and its subsequent amidoximation and sulfonation. The degree of grafting of PP-g-(AN/St) was increased with decreasing acrylonitrile composition in the mixed monomers. The water uptake of copolymers increased with decreasing in the amidoxime ratio in the copolymers and increased by sulfonation, but decreased by amidoximation. The UO_2^{2+} adsorption capacity of SPP-g-St, APP-g-AN, and SAPP-g-(AN/St) were 12.4, 34.0, and 38.0 mg/g, respectively and the optimum adsorption time is about 50 hrs. As a result of uranium adsorption, the synthesized ion exchanger, which we obtained have also good affinity toward the adsorption or chelating with UO_2^{2+} ions.

Keywords: E-beam, irradiation graft, sulfonation, amidoximation, Uranium adsorption.

서 론

최근 산업의 발전과 더불어 에너지의 수요가 급증하고 있어 화석 연료를 이용한 화력발전이나 수력발

전에 의한 에너지 공급은 한계가 있어 세계 각국에서는 제 3의 에너지로 일컫는 원자력 발전에 의존하고 있다. 특히 최근에는 원유가의 급등으로 비산유국의 에너지 수급에 막대한 차질이 있어 원자력 에너지에

대한 관심이 날로 고조되고 있는 실정이다. 그러나 현재 원자력발전 및 산업에 사용되는 우라늄, 리튬과 같은 육상 자원이 한정되어 앞으로 추세라면 머지않아 자원의 고갈이 예상되어 이들의 자원의 새로운 source 발굴이 시급한 실정이다.

따라서 최근 관심을 갖는 분야가 지구의 약 70%를 차지하는 해수나 특정광산 폐수이다. 해수 중에는 우라늄 이온이 극히 저농도의 안정한 착물형태로 용존되어 있어 이들로부터 우라늄을 선택적으로 회수하기 위해서는 고도의 분리기술과 고기능성 선택 흡착성이 있는 소재의 개발이 필수적이다.¹⁻⁴

이 분야에 대한 지금까지 연구결과를 살펴보면 Egawa 등은⁵ 해수 중의 우라늄 분리를 위해 아미드옥심기를 도입한 비드형 킬레이트 수지를 합성하고 흡착실험을 행하였으며 그 결과 아미드옥심기가 우라늄에 고도의 선택흡착성이 있다고 보고하였다. 그러나 비드형 수지는 흡착공정에서 압력 손실이 있어 처리속도가 낮은 단점을 지니고 있다. 따라서 이의 단점을 보완하기 위해 방사선을 이용한 섬유상 이온교환체의 합성에 관한 연구가 이루어지고 있다.

Sugo 등은⁶ Co⁶⁰를 이용하여 PP 섬유를 조사하고 아크릴로니트릴을 그래프트시켜 아미드옥심기가 도입된 이온교환체를 합성하고 우라늄 이온에 대한 흡착 실험을 한 결과 비드형의 단점을 개선할 수 있다고 보고하였다.

그러나 해수 및 특정 폐수 중에는 우라늄 이외에 고농도의 이온이 수 십종 존재하여 흡착능을 높이고 이들 성능을 장시간 유지하기 위하여 우라늄에 대한 선택흡착성을 높일 수 있는 기능기를 갖는 새로운 다관능성 이온교환체의 개발이 필요하다.⁷⁻¹⁰ 이 분야에 대한 연구결과를 살펴보면 Kawai 등은¹¹ PP섬유에 아크릴로니트릴과 메타크릴산을 방사선 그래프트시켜 아미드옥심화한 섬유상 이온교환체를 합성하고 우라늄이온에 대한 흡착 실험을 행한 결과 단일 관능기를 갖는 소재에 비해 흡착용량이 증가하였다고 보고하였다. Choi 등은^{12,13} PE섬유에 아크릴로니트릴과 아크릴산을 방사선 동시조사법으로 그래프트하고 아미드옥심화한 섬유상 이온교환체를 합성하고 우라늄 이온 흡착실험을 한 결과 흡착능이 향상되었다고 하였다. 그러나 지금까지 연구 결과 아미드옥심기는 우라늄 이온의 선택성은 높으나 pH=5.0 부근에서 최

적 흡착능이 있어 pH=8.3 부근인 해수 등에 적용의 한계가 있다.¹⁴

따라서 본 연구에서는 이들의 단점을 개선한 PP-g-(AN/St) 공중합체를 E-beam 전조사법으로 합성하고 관능화 반응을 통하여 아미드옥심기와 술폰산기를 도입한 이관능성 이온교환 섬유(이하 SAPP-g-(AN/St)로 칭함)를 합성하였다. 또한 이들의 구조 확인 및 흡착능, 흡수율 등 기본물성을 측정하였으며, 이를 토대로 정제염 제조 공정에서 발생하는 간수 및 우라늄을 함유한 특정폐수로부터 우라늄 이온에 대한 섬유상 이온교환체의 흡착성능을 시험하였다.

실 험

시 약. 폴리프로필렌(PP) 기재(trunk polymer)는 전방산업(주)사의 중량 100 g/m², 섬유 직경 20 μm의 부직포 형태를 사용하였고, 단량체인 acrylonitrile(이하 AN이라 칭함), styrene(이하 St라 칭함)은 Junsei Chemical사의 특급시약을 사용하였다.

또한 관능화 반응시약인 hydroxylamine(NH₂OH·HCl, 이하 HA라 칭함)과 chlorosulfonic acid(Cl-SO₃H)는 Aldrich Chemical사의 특급시약을 사용하였고, 금속염 FeSO₄·7H₂O와 uranyl nitrate[[(UO₂)₃(NO₃)₃]·6H₂O]는 Merck사 제품의 특급 시약을 사용하였다.

또한 발색시약인 Arzenazo III(C₂₂H₁₆As₂N₄Na₂O₁₁S₂)는 Fluka의 분석용 시약을 사용하였으며 용매 등 기타 시약은 특급 시약을 정제하지 않고 그대로 사용하였다.

PP-g-(AN/St) 공중합체의 합성. PP-g-(AN/St) 공중합체를 합성하기 위해 아세톤과 증류수로 세척, 건조한 PP섬유 10 g을 폴리에틸렌 백에 넣고 질소 치환시킨 후 밀봉하고 E-beam 가속기로 총 조사선량(total dose) 15 Mrad로 전조사하였다.

그래프트 반응을 하기 위해 교반기, 냉각기, 질소 주입구 및 온도계가 부착된 1 L 반응기에 St와 AN을 총부피가 700 mL되도록 고정하고 질소 치환시킨 후 방사선 조사시킨 PP 섬유를 넣고 교반하면서 Table 1과 같은 조건으로 50 ℃에서 5시간 동안 반응시켜 PP-g-(AN/St) 공중합체를 합성하였다. 이

Table 1. Monomer Feed Ratios for the Preparation of PP-g-(AN/St) at 55 °C for 5 hrs

No.	PP (g)	acrylonitrile (vol%)	styrene (vol%)
1	10	100	0
2	10	90	10
3	10	80	20
4	10	70	30
5	10	60	40
6	10	50	50
7	10	40	60
8	10	30	70
9	10	20	80
10	10	10	90
11	10	0	100

때 반응 중 단일중합체 생성을 억제하고 그래프트율을 증가시키기 위하여 공용매에 대하여 1.25 wt%의 $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 와 0.2 M의 황산을 첨가하였으며¹⁵ 반응 생성물을 Benzene으로 세척하여 단일중합체 및 미반응 단량체를 완전히 제거하고 탈이온수 (DDW)로 세척한 후 60 °C 진공오븐에서 감압 건조하여 (1)식에 의해 공중합체의 그래프트율을 계산하였다.

$$\text{Degree of grafting (\%)} = \frac{W_g - W_0}{W_0} \times 100 \quad (1)$$

여기서 W_0 와 W_g 는 각각 그래프트 반응 전, 후의 PP의 무게를 나타낸다.

아미드옥심화 반응. PP-g-(AN/St) 공중합체에 우라늄에 선택흡착성이 있는 아미드옥심기 [-CN-(OH)(NH₂)]를 도입하기 위하여 HA를 물/메탄올 혼합용매에 희석시켜 5 vol% 용액을 제조한 후 질소 치환이 가능한 반응기에 공중합체 10 g을 넣고 0.1 N HCl과 NaOH 표준용액을 사용하여 pH를 6~8로 조절한 후 5 vol% 물/메탄올 혼합용매로 반응물의 총 부피를 500 mL되게 채우고 질소 치환하면서 80 °C에서 2시간 동안 반응시켜 아미드옥심화 반응에 의해 APP-g-(AN/St) 공중합체를 합성하였다. 반응 후 생성물을 DDW로 여러번 반복세척하고 60 °C 진공오븐에서 24시간 건조 후 무게를 측정하고¹⁶ (2)식에 의해 아미드옥심율을 계산하였다.

$$\text{Amount of amidoxime groups (mmol/g)} = \frac{(W_2 - W_1)/33}{W_2} \times 100 \quad (2)$$

여기서 W_1 과 W_2 는 아미드옥심화 전, 후의 공중합체 무게, 33은 HA의 분자량을 나타낸다.

술폰화 반응. APP-g-(AN/St) 공중합체에 술폰산기 (-SO₃H)를 도입하기 위해 상온에서 일정량의 시료를 반응기에 넣고 3% $\text{ClSO}_3\text{H}/\text{ClCH}_2\text{CH}_2\text{Cl}$ 혼합산을 서서히 적가한 후 2시간 동안 교반하여 반응시켰다. 반응 후 생성물을 20~50% 황산용액으로 세척하고 증류수로 중성이 될 때까지 반복하여 세척한 후 60 °C 진공오븐에서 건조하여 SAPP-g-(AN/St) 이관능성 이온교환 섬유를 합성하였다.

분석. 그래프트 반응 및 관능화를 통하여 합성한 시료의 구조를 확인하기 위하여 Mattson사의 FT-IR spectrometer를 사용하여 파장범위 4000~400 cm^{-1} 에서 주사회수를 32, resolution은 4 cm^{-1} 으로 하여 분석하였다. 또한 이온교환 섬유의 열분해 특성을 알아보기 위해 Dupont사의 TGA (model V5.1A-2000)를 이용하여 유속 50 mL/min, 질소기류 하에서 승온속도를 10 °C/min으로 하여 20~500 °C 범위에서 열분석하였다. 한편 자외선 분광분석은 Arzenazo III ($\text{C}_{22}\text{H}_{16}\text{As}_2\text{N}_4\text{Na}_2\text{O}_{11}\text{S}_2$) 발색제를 이용한 비색법으로 CECIL사의 UV-spectrophotometer (model 594)를 이용하여 석영 표준셀 (standard cell)에 넣고 파장범위 210~800nm에서 분석하였다.

함수율 측정. 이온교환 섬유의 함수율 (swelling ratio, S.R.)은 시료 1g을 10 mL 메스실린더에 넣어 겔보기 체적을 측정한 다음, 증류수, 아세톤, dioxane 용매를 가한 후 일정시간 방치하여 충분히 팽윤시켜 체적을 측정하여 다음 식 (3)에 의해 함수율을 측정하였다.

$$\text{Swelling ratio (S.R.)} = \frac{\text{Swelling volume of copolymer}}{\text{Apparent volume of dry copolymer}} \quad (3)$$

우라늄 이온 흡착능성 시험. SAPP-g-(AN/St) 이온교환 섬유 일정량을 미량펌프가 부착된 직경 1 cm, 길이 20 cm 칼럼에 넣고 500 ppm 우라늄 용액을 유속 10 mL/min로 하여 용출시켜 일정 간격으로 시료를 분취한 후 UV 스펙트럼 분석하고 (4)식을 이용하여 흡착량을 구하였다.

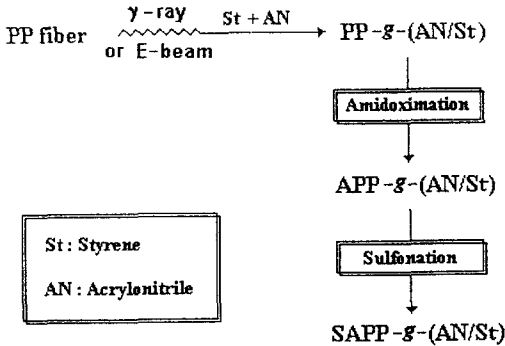


Figure 1. Synthetic diagram for the preparation of multifunctional ion exchanger.

$$\text{Amount of uranyl uptake} = \frac{(C_1 - C_2) V}{0.3} \quad (4)$$

여기서 C_1 는 초기농도, C_2 는 평형농도, V 는 용액의 부피이고 0.3은 공중합체의 무게를 나타낸다.

결과 및 고찰

PP-g-(AN/St) 공중합체 합성. E-beam 전조사법으로 PP 섬유에 대한 AN 및 St 단량체 비율 달리하여 Figure 1의 반응경로로 그래프트 반응시켜 PP-g-(AN/St) 공중합체를 합성한 후 관능화 반응으로 공중합체 내에 amidoxime기를 도입한 이온교환 섬유를 합성하였고 이 때 단량체 양의 변화에 따른 그래프트율과 amidoxime화율을 계산하였는데 그 결과가 Figure 2에 나타나 있다.

Figure 2에서 보는 바와 같이 공단량체인 St의 양이 증가함에 따라 그래프트율은 최대 101.0%까지 증가하였으며 amidoxime화율은 7.2~0.7 mmol/g으로 감소하는 경향을 나타내었는데 그래프트율이 증가하는 이유는 St과 AN 단량체를 일정비율로 혼합하여 반응을 진행할 때 St 단량체의 반응성비가 AN의 그것보다 커서 반응계에 St의 농도가 높을수록 그래프트율은 증가하고 AN 공단량체의 그래프트율이 낮아 amidoxime화율은 감소하는 것으로 판단되었으며 이들 결과는 방사선 조사법을 이용하여 PE 기재에 아크릴산(AAc)과 AN을 그래프트시켜 금속의 흡착 성능을 시험한 Choi 등의¹⁰ 연구결과와도 잘 일치하였다.

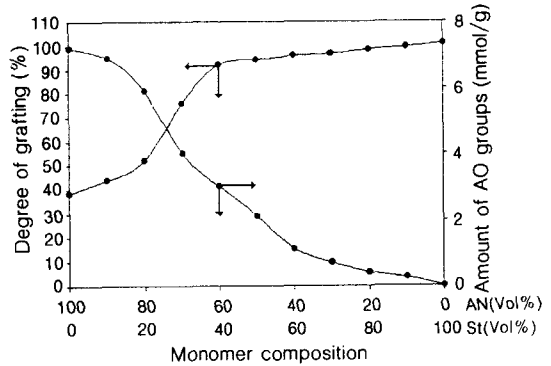


Figure 2. Relationship of Degree of Grafting and amount of amidoxime groups according to the monomer composition.

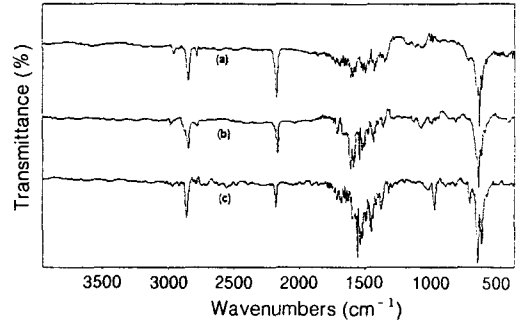


Figure 3. FT-IR spectra of different PP graft copolymers prepared by using different comonomer mixtures: (a) AN:St (80:20), (b) AN:St (50:50), and (c) AN:St (20:80). Grafting conditions: radiation dose, 15 Mrad.

FT-IR 스펙트럼 분석. Figure 3은 St 및 AN 단량체의 농도를 변화시켜 합성한 PP-g-(AN/St) 공중합체의 구조확인을 위해 분석한 FT-IR 스펙트럼 결과이다.

Figure 3에서 보는 바와 같이 AN 및 PP의 C-H 신축진동 피크가 3000~2800 cm^{-1} 에서 나타나고, St 단량체의 방향족 CH 신축진동 피크가 3030 cm^{-1} 부근에서 나타나며 벤젠기의 C=C 특성피크가 1450~1600 cm^{-1} 부근에서 그리고 AN의 $\text{-C}\equiv\text{N}$ 특성피크가 2250 cm^{-1} 에서 강하게 나타나는 것으로 보아 PP-g-(AN/St) 공중합체의 구조를 확인할 수 있었다. 또한 AN/St 단량체 조성비가 증가함에 따라

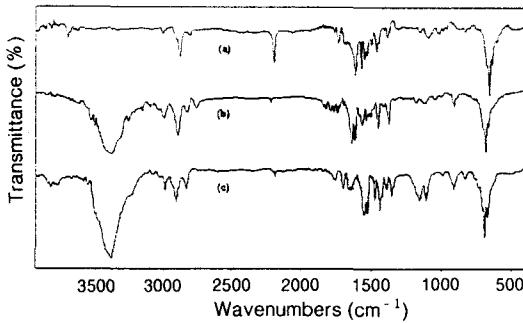


Figure 4. FT-IR spectra of different PP graft copolymers prepared by functionalization: (a) PP-g-(AN/St), (b) APP-g-(AN/St), and (c) SAPP-g-(AN/St). Grafting conditions: Monomer composition, AN:St (70:30); radiation dose, 15 Mrad.

Figure 2(a), (b)에서 보는 바와 같이 $-C\equiv N$ 특성 피크 intensity는 감소하고 St의 특성피크의 intensity가 증가하는 것으로 보아 Figure 2에서 설명한 바와 같이 단량체의 조성변화가 공중합체의 그래프트율에 영향을 미친다는 것을 다시 한번 확인할 수 있었다.

한편 PP-g-(AN/St) 공중합체 내에 관능화 반응을 통하여 아미드옥심기와 술폰기를 도입한 이온교환 섬유상의 구조를 확인하였는데 그 결과가 Figure 4에 나타나 있다.

Figure 4는 AN/St=1인 공중합체를 아미드옥심화 시킨 이온교환 섬유상의 FT-IR 스펙트럼으로 Figure 4(b) APP-g-(AN/St) 스펙트럼에서 보는 바와 같이 아미드옥심화 반응이 진행됨에 따라 2250 cm^{-1} 부근의 $-C\equiv N$ 특성피크 intensity가 현저히 감소하고 반응 전 나타나지 않던 $-NH_2$ 및 $-OH$ 기에 의한 특성피크가 3500 cm^{-1} 부근에서 broad하게 나타나고 1650 cm^{-1} 부근에서 $-C=N-$ 신축진동 피크와 935 cm^{-1} 부근에서의 $=N-O-$ 특성피크에 새롭게 나타나는 것으로 보아 공중합체 내에 아미드옥심기가 도입되었음을 확인할 수 있었다.

한편 SAPP-g-(AN/St) 이온교환 섬유상의 FT-IR 스펙트럼인 Figure 4(c)에서 보는 바와 같이 공중합체 내에 술폰산기 도입에 의하여 $-SO_3H$ 에 의한 특성피크가 $1200\sim 1300, 1020\text{ cm}^{-1}$ 에서 새롭게 나타나고 $-OH$ 에 의한 피크 intensity가 증가하는 것으로

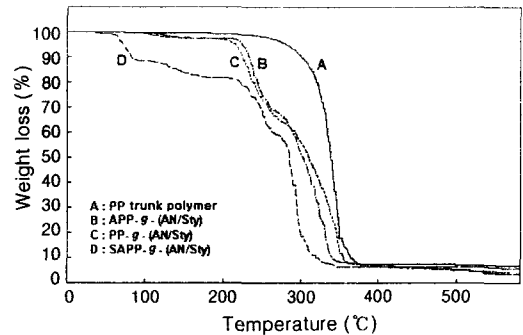


Figure 5. TGA thermograms of (a) PP trunk fiber, (b) PP-g-(AN/St), (c) APP-g-(AN/St), and (d) SAPP-g-(AN/St). Grafting conditions: AN: St (70:30); radiation dose, 15 Mrad.

로 보아 술폰화되었음을 확인할 수 있었다.

열분석. 관능화 반응에 따른 공중합체의 열적 특성의 변화는 흡착반응에 있어 중요한 변수로 작용한다. 따라서 본 연구에서도 합성한 공중합체 및 관능화 반응 후의 섬유 이온교환체의 열특성을 관찰하기 위하여 열중량 분석을 하였는데 그 결과가 Figure 5에 나타나 있다.

Figure 5에서 보는 바와 같이 PP-g-(AN/St) 공중합체의 초기 열분해 온도는 약 $300\text{ }^\circ\text{C}$ 로 높게 나타났으며 아미드옥심기 및 술폰산기가 도입된 SAPP-g-(AN/St) 섬유상 이온교환체는 초기 열분해 온도가 약 $120\text{ }^\circ\text{C}$ 로 급격히 감소하였다.

이렇게 관능기의 도입에 따른 초기 열분해 온도가 낮아지는 이유는 Nasef 등의¹⁷ 결과와 마찬가지로 공중합체 내에 관능기가 도입되는 과정에서 아미드옥심화 및 술폰화 반응 외에 반응기내에 존재하는 미량의 산소가 AN 및 St의 주쇄와 반응하여 카르보닐기($C=O$), $-OH$ 기 등이 생성되어 열분해 시 이들 부분의 사슬절단이 이루어지기 때문으로 사료되었다.

함수율 측정. 섬유상 이온교환체의 함수율은 해수 중 우라늄 및 리튬이온의 흡착 시 중요한 흡착 변수로 작용한다. 따라서 본 연구에서도 이들의 변화를 알아보기 위하여 PP-g-(AN/St), APP-g-(AN/St) 및 SAPP-g-(AN/St) 이온교환체의 함수율을 측정하였는데 그 결과가 Figure 6에 나타나 있다.

Figure 6에서 보는 바와 같이 관능화에 따른 PP-g-(AN/St) 이온교환 섬유상의 함수율은 아미드옥심

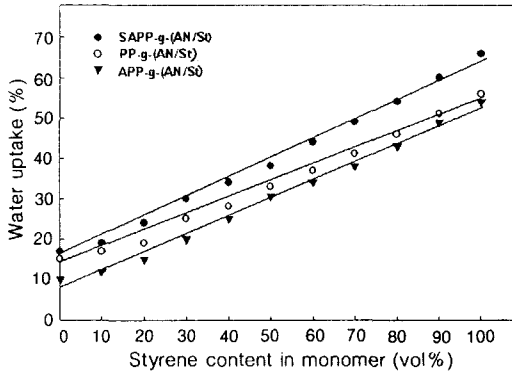


Figure 6. Water uptake (%) of copolymers according to the functionalization. Grafting conditions: AN:St (70:30); radiation dose, 15 Mrad.

화 반응에 의해 선형적으로 감소하였으며 술폰화 반응에 따른 술폰기의 도입에 따라 선형적으로 증가하는 경향을 나타냈다. 아미드옥심화 반응에 의해 공중합체의 함수율이 감소하는 것은 공중합체 내에 아미드옥심기가 도입됨에 따라 도입되어진 관능기 간의 인력에 의해 사슬의 전개가 어렵고, 공극의 감소로 인한 용매의 침투가 어렵기 때문으로 사료되었다. 또한 술폰화 반응에 의해 공중합체의 함수율이 증가하는 술폰화 반응에 따라 친수성인 술폰산기가 공중합체 내의 공단량체인 St와의 핵치환 반응이 진행되어 술폰화율이 증가하였기 때문으로 사료되었다.

우라늄이온의 흡착. 해수로부터 우라늄이온의 흡착 실험은 50 ppm의 인공해수로부터 SAPP-g-(AN/St), APP-g-AN 및 SPP-g-St 섬유상 이온교환체를 사용하여 pH=8에서 흡착시간의 변화에 따른 흡착성능을 시험하였는데 그 결과가 Figure 7에 나타나 있다.

Figure 7에서 보는 바와 같이 우라늄이온의 흡착량은 SAPP-g-(AN/St), APP-g-AN 및 SPP-g-St 이온교환 섬유 모두 흡착시간이 증가함에 따라 약 50 시간까지 급격히 증가하였으며 그 이후에서는 약간 증가하나 거의 일정한 경향을 보였다. 이때 우라늄의 흡착량은 SPP-g-St, APP-g-AN 및 ASPP-g-(AN/St) 이온교환체의 경우 각각 12.4, 34, 38 mg/g으로 아미드옥심기와 술폰산기가 도입된 SAPP-g-(AN/St)가 가장 높게 나타났으며 APP-g-AN의 경우 약간의 차이는 있지만 이관능성 이온교환체와 비슷한 흡

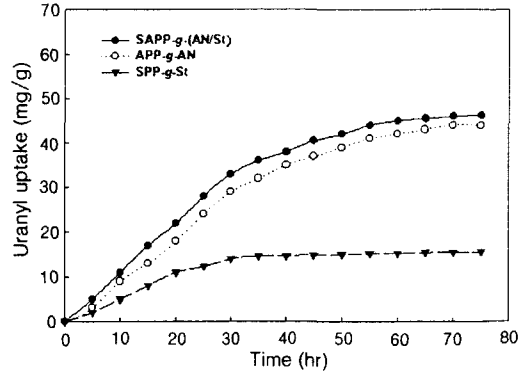


Figure 7. Adsorption capacities of Uranium ion according to time. Adsorption conditions: batch process, pH 8, degree of grafting 70%, AN:St (70:30).

착량을 나타내었다. 술폰화 이온교환체의 우라늄에 대한 흡착량이 낮은 이유는 술폰산기가 강산성으로 산성 영역에서 해리되어 우라늄과 착물형성이 용이하나 해수의 pH는 7.8~8.3으로 결합강도가 낮아져 착물형성이 용이하지 않기 때문이다. 반면 아미드옥심기가 함유된 이온교환체의 경우 우라늄 이온과 착물형성이 용이하고 선택 흡착성이 용이하기 때문으로 사료되었다.

또한 본 연구 결과는 Egawa 등이⁵ PE 필름에 AN을 공중합하고 아미드옥심기를 도입하여 해수 중 우라늄 흡착 실험을 행한 결과와 비슷한 경향을 보였다.

결론

E-beam 전조사법에 의해 ASPP-g-(AN/St) 이온교환 섬유를 합성하고 우라늄 이온에 대한 흡착 실험을 한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 공중합체의 그래프트율은 공단량체인 St의 양이 증가함에 따라 최대 101.0%까지 증가하였으며 아미드옥심화율은 7.2~0.7 mmol/g으로 감소하는 경향을 보였다.
2. PP-g-(AN/St) 공중합체의 초기 열분해 온도는 약 300 ℃ 이었고 아미드옥심기 및 술폰산기가 도입된 SAPP-g-(AN/St) 섬유상 이온교환체는 초기 열분해 온도가 약 120 ℃로 감소하였다.
3. PP-g-(AN/St) 섬유상 이온교환체의 함수율은 아미드옥심화에 의해 선형적으로 감소하는 경향을 나

타냈으며 술폰화 반응에 의해 선형적으로 증가하는 경향을 나타냈다.

4. 우라늄이온의 흡착량은 SPP-g-St, APP-g-AN 및 ASPP-g-(AN/St) 이온교환 섬유의 흡착량은 각각 12.4, 34, 38 mg/g이었으며 ASPP-g-(AN/St)가 가장 우수하였다. 또한 흡착량은 흡착시간이 증가함에 따라 약 50시간까지 급격히 증가하였으며 그 이후에서는 약간 증가하나 거의 일정한 경향을 보였다.

감사의 글: 이 연구은 한국과학기술평가원(KISTEP)의 “99 원자력 연구개발 성과확산 사업”의 연구비로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. J. Okamoto, T. Sugo, A. Katakai, and H. Omichi, *J. Appl. Polym. Sci.*, **30**, 2967 (1985).
2. M. Suzuki, T. Fujii, and S. Tanaka, *Rep. Sprc. Proj. Res. Energy*, 49 (1987).
3. M. Suzuki, K. Chihara, M. Fujimoto, H. Yagi, and A. Wada, *Bull. Seawater Soc. Japan*, **39**, 152 (1985).
4. T. S. Hwang, J. K. Park, S. K. Hong, H. T. Shin, and Y. C. Nho, *Kor. J. Mat. Research*, **6**, 761 (1996).
5. H. Egawa, *Polymer Processing Japan*, **32**, 38 (1983).
6. T. Sugo and K. Saito, *Membrane*, **71**, 58 (1990).
7. K. M. El-Salmawi, A. M. El-Naggar, H. M. Said, and A. H. Zaharan, *Polymer International*, **42**, 225 (1997).
8. A. M. Dessouki, N. H. Taher, and M. B. El-Arnaouty, *Polymer International*, **45**, 67 (1998).
9. M. H. Zohdy, S. M. Sahar, M. S. Hassan, E. M. Khalil, M. El-Hossamy, and A. M. El-Naggar, *Polymer Degradation & Stability*, **63**, 187 (1999).
10. A. C. Patel, R. B. Brahmabhatt, P. V. C. Rao, K. V. Rao, and S. Devi, *Euro. Polym. J.*, **36**, 2477 (2000).
11. T. Kawai, K. Saito, K. Sugita, T. Kawakami, J. Kanno, A. Katakai, N. Seko, and T. Sugo, *Radi. Phys. and Chem.*, **59**, 405 (2000).
12. S. H. Choi and Y. C. Nho, *Radi. Phys. & Chem.*, **57**, 187 (2000).
13. S. H. Choi and Y. C. Nho, *Radi. Phys. & Chem.*, **58**, 157 (2000).
14. K. S. Huh and G. S. Suh, *J. of the Korean Inst. of Chem. Engineers*, **29**, 63 (1991).
15. O. H. Kwon, Y. C. Nho, and H. S. Yang, *J. of Korean Ind. & Eng. Chemistry*, **8**, 934 (1997).
16. T. S. Hwang, D. S. Hwang, and Y. C. Nho, *Polymer (Korea)*, **24**, 174 (2000).
17. M. M. Nasef, *Polymer Degradation & Stability*, **68**, 231 (2000).