

방사선 중합에 의한 ACF/PP-g-AN 복합섬유의 합성 및 우라늄 분리에 관한 연구

황택성[†] · 황대성 · 노영창^{*}

충남대학교 공과대학 화학공학과, *한국원자력연구소 동위원소·방사선응용팀
(1999년 11월 26일 접수)

A Study on the Synthesis of ACF/PP-g-AN Hybrid Fibers by Irradiation and Separation of Uranium

Taek-Sung Hwang[†], Dae-Sung Hwang, and Young-Chang Nho^{*}

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

*Radioisotopes-Radiation Application Team, Korea Atomic Energy Research
Institute, Taejeon 305-606, Korea

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

(Received November 26, 1999)

요약: 방사선 전조사법을 이용하여 아크릴로니트릴을 ACF/PP 복합섬유에 그래프트 반응시켜 섬유형 ACF/PP-g-AN 공중합체를 합성하였다. 합성한 공중합체의 FT-IR 결과 2250 cm^{-1} 부근에서 $\text{-C}\equiv\text{N}$ 에 대한 피크, 3450 cm^{-1} 부근에서 -OH 와 -NH_2 에 의한 피크 확인으로 그래프트 반응 및 아미드옥심화 반응을 확인할 수 있었다. 아미드옥심화된 ACF/PP-g-AN 공중합체의 우라늄 이온에 대한 흡착능의 최적시간은 8일이었으며, 최적 pH는 8이었다. 동일 조건하에서의 흡착능은 아미드옥심기의 함량이 증가할수록, 그래프트율이 116.3%일 때 최대 흡착능을 나타내었다. 또한 ACF/PP-g-AN 공중합체는 10회 이상 흡착능의 변화없이 흡탈착이 가능한 흡착제임을 알 수 있었다.

ABSTRACT: The ACF/PP-g-AN copolymers were synthesized by the irradiational grafting of acrylonitrile onto ACF/PP hybrid fabric. The synthesis of the ACF/PP-g-AN copolymer was evidenced by the band of $\text{-C}\equiv\text{N}$ absorption peak at 2250 cm^{-1} and amidoximation was evidenced by the band of -OH and -NH_2 peak at 3450 cm^{-1} on FT-IR spectrum. The optimal time for the uranium ion adsorption equilibrium on ACF/PP-g-AN copolymers was 8 days and the optimal pH was 8. The adsorption capacities of ACF/PP-g-AN copolymers increased according to the content of amidoxime and were not varied even after more than 10 times of regeneration.

Keywords: irradiation, graft copolymerization, uranium ion, separation.

서론

최근 세계 각국에 있어서 장래 석유의 대체 에너지로서 원자력에 의존하는 비율이 점차 증가하고 있으며, 이에 필요한 우라늄 자원의 탐사가 계속되어 확

인 매장량이 증가하고 있으나 장래의 수요를 만족시키기에는 충분하지 못하여, 머지않아 핵연료인 우라늄의 확보가 중요한 자원문제로 대두될 것이기 때문에^{1,2} 선택성이 큰 채취방법의 개발이 시급히 요청되고 있으며, 해수중의 우라늄을 회수하는 방법으로서

현재 흡착법이 가장 적합하다고 알려져 있다.³

지금까지 알려진 흡착제로는 크게 무기계 흡착제와 유기계 흡착제가 있는데, 무기계 흡착제로 함수산화 티탄산 흡착제가 우라늄 분리에 가장 우수한 성질을 나타낸다고 보고한 바 있으나, 이들 흡착제는 기계적 마모 저항 및 산에 대한 저항력이 낮은 단점을 지니고 있다.⁴ 한편 유기계 흡착제는 무기계 흡착제의 단점을 보완한 것으로 멤브레인계와 비드형 이온교환수지가 알려져 있으나 이들 또한 내구성에 문제점이 있고, 기재가 입상 또는 막의 형태로 실용화에는 그 한계성이 있어 최근에는 방사선 그래프트 중합법을 이용하여 흡착 표면이 큰 펠터 등으로 가공이 용이한 기존의 섬유재료 등 기존 소재의 특성을 손상하지 않고 이온이나 탈취성분의 흡착기능을 도입하여 고기능성 탈취성능을 지닌 탈취재료를 제조하는 연구가 활발히 진행되고 있다.⁶⁻⁸

방사선 중합은⁹⁻¹¹ 고분자를 합성할 때 기존의 고분자를 파괴하지 않고 부반응을 최소화할 수 있으며, 중합방법이 간단하고 저온에서 뿐만 아니라 고체상태에서도 용이하게 화학반응을 진행시킬 수 있는 특징이 있어 화학적 방법으로 제조할 수 없는 고기능성 고분자 재료의 합성에 이용되고 있다. 특히 방사선을 이용한 그래프트 중합법은 기존의 고분자 소재를 방사선 개질하여 신물질 또는 고기능성 제품을 생산할 수 있다. 최근 들어 기능성 관능기를 고분자에 도입하여, 이온교환막이나 섬유형태로 제조함으로써 우라늄과 같은 중금속 포집제로 사용하고, 유해가스 흡착 등의 환경공해물질을 손쉽게 처리할 수 있는 획기적인 방법으로 각광을 받고 있다.¹²

따라서 본 연구에서는 무기계 흡착제와 유기계 흡착제의 단점을 보완하고, 물리·화학적 흡착이 동시에 가능하여 흡착성능을 증가시켜 우라늄을 효과적으로 분리하기 위한 복합섬유 흡착제를 합성하기 위하여 비표면적이 큰 활성탄소섬유 (ACF)와 폴리프로필렌 (PP)을 혼재시킨 섬유에 방사선 중합법을 이용하여 그래프트 중합시켜 ACF/PP-g-AN 공중합체를 합성하였고, 우라늄에 대해 선택 흡착성이 있는 관능기를 도입하기 위해 아미드옥심화 반응을 통하여 아미드옥심기를 도입하였다. 또한 이들 흡착제의 구조를 FT-IR 분석을 통하여 확인하였으며, 흡착 특성을 알아보기 위하여 pH, 그래프트율, 아미드옥심화율 등

을 변수로 모의 용액에서 우라늄 이온의 흡착 특성을 규명하였다.

실 험

시 약. 본 연구에서 사용된 기재 (trunk polymer)는 활성탄소섬유/폴리프로필렌 복합섬유 (ACF/PP)로 (주)대정에서 구입하여 사용하였으며, 단량체인 acrylonitrile (AN)은 Junsei Chemical사 제품, uranyl nitrate-6-hydrate $UO_2(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ 와 황산은 Merck사의 특급 시약, hydroxylamine은 Aldrich Chemical사에서 제조된 50 wt%의 시약을 사용하였으며, 금속염 $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 은 Wako Pure Chemical사 제품의 특급시약을 사용하였다. 그 밖의 시약은 특급 시약을 정제하지 않고 그대로 사용하였다.

그래프트 반응. ACF/PP-g-AN 공중합체를 합성하기 위해 ACF/PP를 4×5 cm (약 1.5 g) 크기로 절단한 시료에 ^{60}Co γ -ray를 9.93 kGy/hr의 선량률로 조사하여 라디칼을 생성시킨 후 -130 °C로 보관하여 사용하였다. 반응앰플에 메탄올을 용매로 하고 여러 가지 농도의 아크릴로니트릴 단량체와 혼합하여 전체 혼합용액의 부피는 70 mL로 일정하게 하였으며, 이때 그래프트율의 증가와 단일중합체의 생성을 억제하기 위해 금속염 $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 와 H_2SO_4 를 첨가하였다.

고순도 질소가스 (99.99%)를 이용하여 10분간 치환시킨 다음 전조사한 시료를 넣고 다시 10분간 치환시켜 산소를 완전 제거후 60 °C 항온조에서 공중합 반응을 하였다. 그래프트 반응 종료 후 생성물로부터 미반응 모노머 및 호모폴리머를 제거하기 위하여 증류수 및 *N,N*-dimethylformamide (DMF)로 세척한 후 메탄올로 다시 한번 더 세척하고 공중합체를 60 °C 이하의 진공오븐에서 완전히 건조하여 처음 시료 무게에 대한 그래프트 중합 후의 무게 차로 다음 (1)식과 같이 그래프트율을 계산하였다.

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

여기에서 W_0 와 W_g 는 각각 그래프트 반응 전과 반응 후의 ACF/PP의 무게를 나타낸다.

아미드옥심화 반응. ACF/PP-*g*-AN 공중합체의 시아노기 (-CN)를 hydroxylamine (HA)과 반응시켜 아미드옥심기를 도입하기 위하여, 메탄올/물=1/1 (v/v) 혼합용매에 3%의 hydroxylamine 용액을 제조한 후, 이 용액에 ACF/PP-*g*-AN 공중합체를 넣고 반응온도 80 °C, 질소분위기 하에서 아미드옥심화 반응을 행하였다. 반응 종료 후 반응 생성물을 탈이온수로 여러번 세척한 다음 함량이 될 때까지 진공오븐에서 감압 건조한 후, 다음 (2)식에 의하여 아미드옥심기의 함량을 계산하였다.

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

여기에서 W_1 와 W_2 는 각각 아미드옥심화 반응 전과 반응 후의 ACF/PP-*g*-AN의 무게, 33은 hydroxylamine의 분자량을 나타낸다.

분석. 그래프트 반응 및 아미드옥심화 반응을 통하여 합성한 시료의 구조를 확인하기 위하여 Mattson사의 FT-IR spectroscopy를 사용하여 파장범위 4000~400 cm^{-1} 에서 주사횟수를 32로 하고 분해능은 4 cm^{-1} 로 하여 분석하였다. 모든 시료는 KBr pellet법으로 시료/KBr=1 : 200 (w/w)의 비율로 혼합하여 사용하였다.

우라늄 흡착 실험. ACF/PP-*g*-AN 공중합체를 아미드옥심화한 후, 흡착제의 우라늄 이온에 대한 흡착량을 알아보기 위해, 50 mg/L로 제조된 우라늄 이온 용액을 염산과 수산화나트륨으로 pH를 조절하였고, 회분식 공정으로 ACF/PP-*g*-AN 공중합체 0.3 g을 정량하여 조제용액에 넣고 흡착실험을 행하였다. 또한 이 용액을 150 rpm의 일정한 속도로 진탕하면서 상등액 1 mL를 부취한 후 여러 조건 변화에 따른 흡착량의 변화를 Arsenazo-III ($\text{C}_{22}\text{H}_{16}\text{As}_2\text{N}_4\text{Na}_2\text{O}_{11}\text{S}_2$)를 발색제로 하는 비색법으로¹³ UV-spectroscopy (CE1020)를 이용하여 655 nm에서 측정하였다.

내구성 실험. ACF/PP-*g*-AN 공중합체의 흡·탈착을 통한 우라늄 이온의 흡착능 변화를 관찰하기 위하여 우라늄 이온이 흡착된 ACF/PP-*g*-AN 공중합체를 1 N 황산용액 100 mL에 넣고 상온에서 2시간 동안 교반시킨 후 증류수로 중성이 될 때까지 세척하고 감압 건조하였다. 이와 같이 흡·탈착 실험을 10

회 반복한 후 각 cycle에서 흡착량을 UV-spectroscopy (CE1020) 분석 방법으로 결정한 후, 이를 토대로 흡착제의 내구성을 시험하였다.

결과 및 고찰

ACF/PP-*g*-AN 공중합 반응. 방사선 중합법으로 ACF/PP 복합 섬유에 대한 아크릴로니트릴 모노머를 그래프트 반응시켜 ACF/PP-*g*-AN 공중합체를 합성하였다. 총조사량 70 kGy, 중합온도 60 °C, 질소분위기에서 아크릴로니트릴 단량체의 농도 및 금속염과 산의 농도변화에 따른 그래프트율을 고찰하였는데 이에 대한 결과를 Figure 1과 Figure 2에 나타내었다.

Figure 1과 Figure 2는 ACF/PP 복합 섬유를 방사선 조사시킨 후, 아크릴로니트릴 단량체 농도 변화에 따른 금속염과 산의 효과를 살펴본 것으로 아크릴로니트릴 단량체의 농도가 80% (v/v)에서 최고 그래프트율을 나타내고 그 이상에서는 감소하고 있다. 이는 고농도에서 아크릴로니트릴의 호모폴리머의 생성이 촉진될 뿐만 아니라 성장하고 있는 그래프트 고분자의 라디칼간의 충돌이 쉽게 일어나고 정지반응이 우선적으로 진행되기 때문인 것으로 판단되며, 이것은 Trommsdorff 효과에¹⁴ 의해 유발되는 것으로 용매를 사용하는 그래프트 반응에서 일반적으로 나타나는 현상이다.

그래프트 반응시 금속염과 산의 존재 유무에 따른 그래프트율에 미치는 영향을 확인하기 위해 금속염과

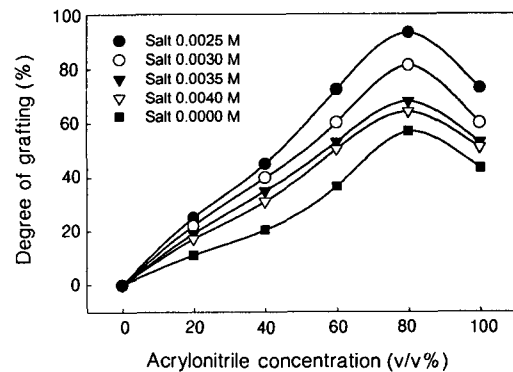


Figure 1. Relationships between degree of grafting and concentration of acrylonitrile at a different salt content.

산의 농도 변화에 따른 그래프트율의 영향에 대해 고찰하였다.

Figure 1에서 보는 바와 같이 금속염을 첨가함으로써 그래프트율이 향상됨을 알 수 있는데, 이 결과는 그래프트 반응시 금속염을 첨가하면 단일중합체의 생성을 효과적으로 억제시킬 수 있기 때문이다. 그러나 금속염의 농도가 증가할수록 그래프트율도 함께 감소하게 되는데, 이는 금속이온이 반응계에 첨가됨으로써 성장하고 있는 고분자 자유 라디칼까지 주변 금속이온에 의하여 소멸되기 때문이다. 그래프트 반응시 첨가된 금속염의 반응 억제효과에 대하여 Collinson 등은¹⁵ 성장 고분자로부터 분리된 전자가 금속 양이온의 불완전한 d-궤도로 이동함으로써 소멸되기 때문이라고 보고한 바 있다.

Figure 2에서 보는 바와 같이 금속염과 산을 동시에 첨가시키는 경우, 단일 중합체의 생성이 억제될 뿐만 아니라, 생성된 수산 이온(OH⁻)이 산의 영향을 받아 계속적으로 소멸되므로 상대적으로 높은 그래프트율을 기대할 수 있게 되며, 산의 농도가 증가할수록 그래프트율에 미치는 산의 효과 역시 향상됨을 알 수 있었다. 따라서 금속염과 산이 동시에 존재하면 단일중합체의 생성이 억제될 뿐만 아니라 산의 영향으로 수산 이온이 소멸되기 때문에 그래프트 성장반응은 종결되지 않고 계속 진행되면서 원하는 그래프트율을 얻을 수 있다.

아미드옥심화 반응. ACF/PP-g-AN 공중합체에 우라늄을 흡착할 수 있는 관능기를 부여하기 위해 메탄올/물=1/1 혼합용매에 3%의 hydroxylamine 용액을 제조하여 아미드옥심화 반응 후의 결과를 Figure 3~Figure 5에 나타내었다.

Figure 3에서 보는 바와 같이 아미드옥심화 반응 시간이 1시간까지는 증가하다가 그 이상에서는 증가율이 거의 없는 것을 알 수 있는데, 반응개시 1시간 이내에 CN기가 전부 아미드옥심기로 변환 것을 의미하며, PP 부직포의 표면에 AN 모노머가 그래프트되어서 유동성이 좋아 반응물인 hydroxylamine 과 쉽게 접촉이 되므로 반응속도가 빠른 것으로 사료된다. 또한 Figure 4는 hydroxylamine 용액의 pH 변화에 따른 아미드옥심화율을 나타낸 것으로 pH 7에서 가장 높은 아미드옥심화율을 나타내는 것으로 보아 hydroxylamine 용액이 중성일 때 아미드옥심

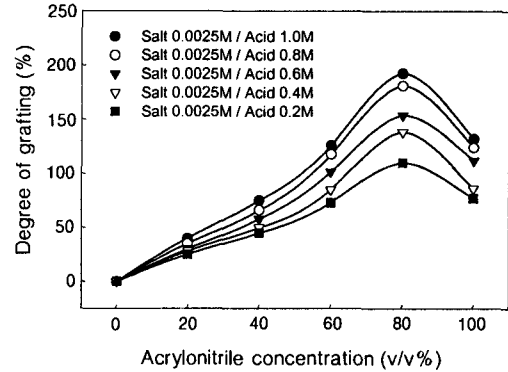


Figure 2. Relationships between degree of grafting and concentration of acrylonitrile at a different acid and 0.0025 M salt.

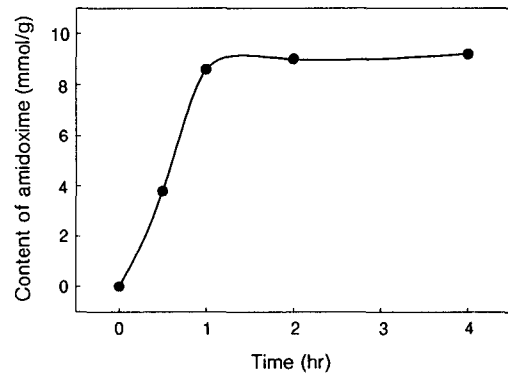


Figure 3. Relationship between content of amidoxime and reaction time (degree of grafting 134.5%, pH 7).

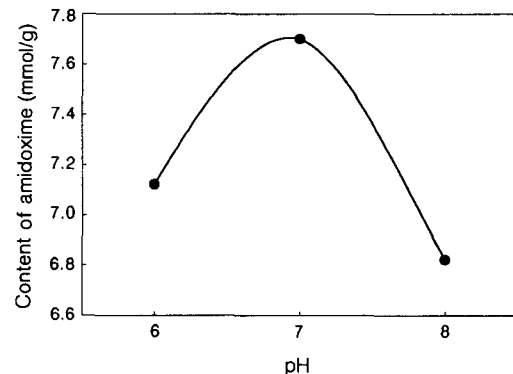


Figure 4. Relationship between content of amidoxime and pH (degree of grafting 90.3%, reaction time 1 hr).

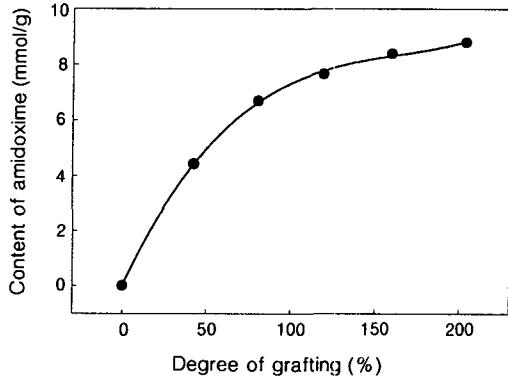


Figure 5. Relationship between content of amidoxime and degree of grafting (pH 7, reaction time 1 hr).

화 반응의 수율이 높다는 것을 의미한다.

Figure 5는 ACF/PP-*g*-AN 공중합체의 그래프트율에 따른 아미드옥심화율을 나타낸 것이다. 그래프트율이 100%까지 급격히 증가하였으나 그 이상에서는 증가율이 낮게 나타나는데, 이는 그래프트율이 높을수록 ACF/PP 혼성 부직포의 팽윤성이 낮아 hydroxylamine 용액의 확산 및 침투가 어렵기 때문에 증가율이 낮아지는 것으로 사료되었다.

FT-IR 스펙트럼 분석. ACF/PP 부직포에 아크릴로니트릴 단량체를 그래프트시킨 후 반응전후의 구조변화를 확인하기 위하여 측정된 대표적인 FT-IR 스펙트럼을 Figure 6에 나타내었다.

Figure 6(a)에서 보는 바와 같이 기재인 ACF/PP 혼성 부직포에서 ACF는 3600~3300 cm^{-1} 에서 -OH기의 신축진동 피크와 1660~1500 cm^{-1} 에서 방향족 -C=C- 이중결합의 특성피크 및 1250~1000 cm^{-1} 에서 에테르와 페놀 등의 특성 피크가 나타났다. Figure 3(b)는 ACF를 방사선 조사한 후 그래프트 반응시킨 FT-IR 스펙트럼으로 그래프트 전 Figure 3(a)의 피크와 거의 동일한 것으로 보아 ACF에는 그래프트 반응이 일어나지 않음을 확인할 수 있었는데, 이는 ACF 기재가 안정한 구조로 되어 있고 결정성이 높아 방사선 조사에 의해 활성화가 되지 않기 때문으로 사료되었다.

한편 Figure 6(c)에서 보는 바와 같이 3100~2872 cm^{-1} 에서 -CH₃에 의한 신축진동피크가 나타나 있으며, 1435 cm^{-1} 에서 -CH₂-의 rocking deforma-

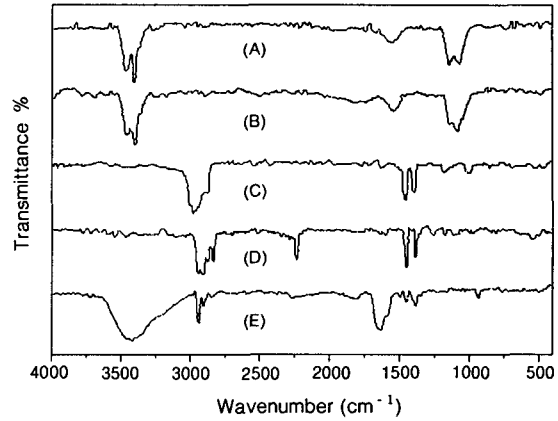


Figure 6. FT-IR spectra of polymers A) ACF fabric, B) grafted ACF fabric, C) PP fabric, D) grafted PP fabric, E) amidoximated PP fabric.

tion 피크, PP의 대특성 피크가 1383 cm^{-1} 에서 나타나고 있는 것으로 보아 PP의 구조를 확인할 수 있었다.

또한 Figure 6(d)에서 보면 2250 cm^{-1} 에서 AN의 -C≡N기에 의한 신축진동 특성 피크가 강하게 나타났으며, -CH₂-에 의한 피크가 2800 cm^{-1} 에서 나타나는 것으로 보아 아크릴로니트릴이 그래프트 되었음을 확인할 수 있었다.

Figure 6(e)에서 보는 바와 같이 hydroxylamine이 도입됨에 따라 CN기에 의한 피크가 나타나지 않았으며 이로부터 아미드옥심화 반응에 의한 시아노기가 거의 모두 아미드옥심기로 전환되었음을 확인할 수 있었다. 또한 Figure 6(d)에서 볼 수 없었던 3450 cm^{-1} 에서 -OH와 -NH₂에 의한 피크가 강하게 나타나고 1640 cm^{-1} 에서 -C=N-기의 신축진동 피크가 나타나며, 930 cm^{-1} 부근에서 =N-O-기에 의한 특성피크가 나타나고 있는 것으로 보아 -C≡N기가 아미드옥심화 되었음을 확인할 수 있었다.

우라늄 이온 흡착능. 방사선 조사를 이용하여 ACF/PP 혼성 부직포에 라디칼을 생성시킨 후, 아크릴로니트릴을 그래프트시켜 합성한 ACF/PP-*g*-AN 공중합체에 hydroxylamine 용액으로 아미드옥심화 반응 후, 우라늄 이온에 대한 물리·화학적 흡착 성능을 Figure 7~Figure 10에 나타내었다.

Figure 7은 그래프트율이 119.4%인 ACF/PP-

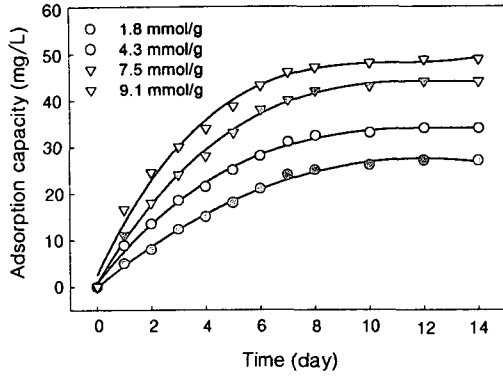


Figure 7. Adsorption capacity of uranium ion according to time at a different content of amidoxime (Degree of grafting 119.4%, pH 8).

g-AN 공중합체를 이용하여 아미드옥심화 반응 후, pH 8에서 우라늄 이온의 흡착량 변화를 나타낸 것이다. 흡착시간이 증가함에 따라 흡착량도 증가하였고 아미드옥심기의 양이 많을수록 더욱 높은 흡착능을 나타내었는데, 이는 ACF/PP-g-AN 공중합체에 우라늄 이온과 반응할 수 있는 아미드옥심기의 양이 많아졌기 때문인 것으로 사료되었다. 또한 모든 경우에 있어서 흡착 반응경과 8일에 이르기까지는 거의 일정한 속도로 흡착량이 증가하였으나 반응이 진행됨에 따라 더 이상의 현저한 흡착량의 변화는 관찰되지 않는 것으로 보아 아미드옥심기가 부착된 ACF/PP-g-AN 공중합체의 우라늄 이온에 대한 최적흡착시간은 8일인 것으로 판단되었다.

용액에서 일어나는 킬레이트화 반응은 여러 가지 인자에 의해서 영향을 받지만 그 중에서도 중요한 인자중의 하나가 용액의 pH이다. 이것은 흡착제 분자 사슬중에 포함하고 있는 리간드와 금속 이온과의 킬레이트화 반응이 pH에 의해서 크게 영향을 받기 때문이라 생각되어, 이온 용액의 pH에 따른 흡착제의 흡착성능에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 여러 가지의 pH가 조절된 우라늄 이온 용액을 제조하고 동일한 조건에서 흡착반응을 수행하였으며 이에 대한 결과를 Figure 8에 나타내었다.

Figure 8에서 보면 우라늄 흡착량이 pH 8 부근까지 증가하다 그 이상의 pH에서는 감소하였다. 산성 영역과 pH 8 이상의 알칼리 영역에서 흡착량이 낮은 이유는 우라늄 용액 50 mg/L 제조시 초기 pH를

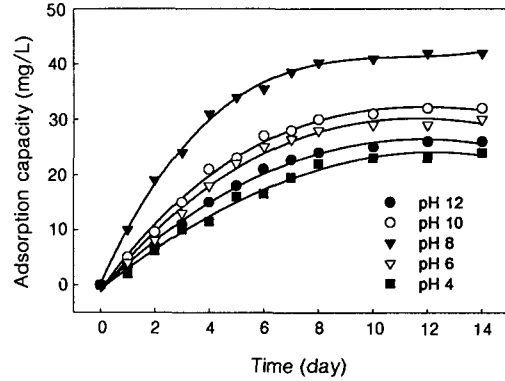


Figure 8. Adsorption capacity of uranium ion according to time at a different pH (Degree of grafting 148.6%, content of amidoxime 8.2 mmol/g).

조절하기 위하여 우라늄 용액에 HCl과 NaOH를 첨가함으로써 우라늄 이온과 강한 배위 능력을 갖는 Cl^- 과 OH^- 기가 리간드를 교환하여 NO_3^- 이온 보다도 더 안정한 착물을 형성하기 때문에 낮은 pH와 높은 pH범위에서는 흡착량이 감소하는 것으로 여겨진다.

Saito 등은¹⁶ 해수에 존재 가능한 우라늄 이온의 화학적 형태와 pH의 영향에서, 산성영역에서는 amidoxime기의 해리로 인하여 흡착 용량이 저하되고 알칼리영역에서는 우라늄 이온과 탄산이온과의 착물형성으로 흡착 용량이 저하된다고 밝혔는데, 본 연구 결과도 pH 8 부근에서 최대 흡착량을 나타내는 것으로 보아 최적 pH는 8부근임을 알 수 있었으며 해수의 pH가 8.3 부근임을 감안할 때 해수로부터 우라늄 분리에 적합한 재료로 생각되었다.

아미드옥심화된 ACF/PP-g-AN 공중합의 그래프트율이 흡착성능에 미치는 영향을 Figure 9에 나타내었다. 동일한 그래프트율에서 아미드옥심기의 양이 증가할수록 흡착성능은 증가하였지만, 동일한 아미드옥심기의 양에서 살펴보면 그래프트율이 증가할수록 흡착능도 증가하다가 그래프트율이 116.3%일 경우에 가장 높은 흡착능을 나타내었고, 그 이상에서는 감소하는 경향을 나타내었다. 이러한 사실은 그래프트 반응이 과다하게 진행될 경우 trunk polymer 상에 도입되는 아크릴로니트릴 단량체의 양이 많아지게 되므로 보다 견고한 결합을 형성함으로써 우라늄 이온의 활동이 자유롭지 않아 흡착능이 감소하는 것으로 생각되었다.

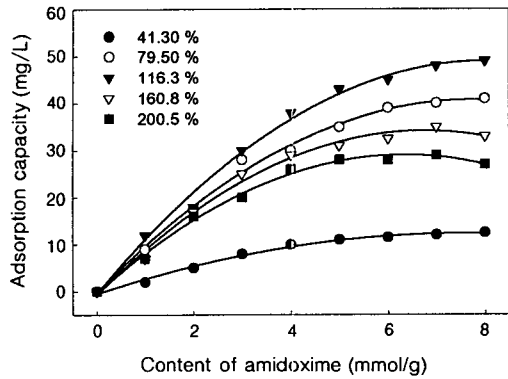


Figure 9. Adsorption capacity of uranium ion according to content of amidoxime at a different degree of grafting (pH 8, adsorption time 8 day).

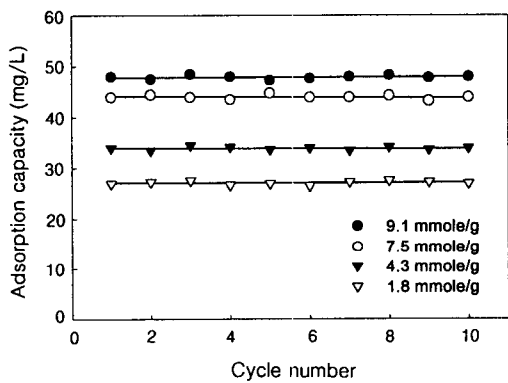


Figure 10. Adsorption capacities of ACF/PP-*g*-AN copolymers with regeneration frequency (Degree of grafting 119.4%, pH 8).

회분식법으로 우라늄이 흡착된 ACF/PP-*g*-AN 공중합체의 탈착실험을 1 N H₂SO₄ 용액을 이용하여 2시간동안 교반시킨 후 증류수로 중성이 될 때까지 세척하고 감압 건조함으로써 흡·탈착 실험을 10회 반복하여 ACF/PP-*g*-AN 공중합체의 내구성을 알아보았다. 본 연구에서는 흡·탈착을 1 cycle로 하여 10회 반복한 결과를 Figure 10에 나타내었는데, 10회 이상 반복하여도 우라늄 이온에 대한 흡착능은 거의 변하지 않았으며, 기계적 강도도 초기 ACF/PP-*g*-AN 공중합체와 거의 동일하였다. 이들 결과로부터 본 연구에서 합성한 ACF/PP-*g*-AN 공중합체는 우라늄 이온에 대한 적합한 흡착제로 생각되었다.

결론

방사선 전조사법을 이용하여 아미드옥심형 ACF/PP-*g*-AN 공중합체를 합성하고 이들의 우라늄 이온에 대한 흡착 성능을 실험한 결론은 다음과 같다.

1. ACF/PP-*g*-AN의 그래프트율은 금속염의 농도가 감소할수록, 산의 농도가 증가할수록 증가하였다.

2. ACF/PP-*g*-AN 공중합체의 아미드옥심화 반응은 반응시간 1시간까지 일정하게 증가하였고 그 이후에서는 일정하였으며, pH 7에서 최적을 나타내었다.

3. ACF/PP-*g*-AN 공중합체의 그래프트 반응, 아미드옥심화 반응에 의한 FT-IR Spectrum 분석 결과, 2250 cm⁻¹에서 AN의 -C≡N, -CH₂-에 의한 피크는 2800 cm⁻¹에서 나타나는 것으로 보아 아크릴로니트릴이 그래프트 되었음을 확인할 수 있었고, 3450 cm⁻¹에서 -OH와 -NH₂에 의한 피크, 1640 cm⁻¹에서 -C=N-기의 신축진동 피크 등으로 보아 아미드옥심화가 진행되었음을 확인할 수 있었다.

4. 아미드옥심화된 ACF/PP-*g*-AN 공중합체의 우라늄에 대한 흡착량은 아미드옥심기의 함량이 증가함에 따라 증가하였으며, 그래프트율이 116.3%, pH 8에서 최대를 나타내었다. 또한 흡·탈착 반복 실험 결과, 10 cycle 이상 반복하여도 흡착능이 거의 변화하지 않았으며, 이로부터 본 연구에서 합성한 아미드옥심화된 ACF/PP-*g*-AN 공중합체는 우라늄 이온 분리에 대한 우수한 소재임을 확인할 수 있었다.

감사의 글: 본 연구는 한국과학재단의 '98 핵심연구과제 (과제번호: 981-1110-058-2) 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. H. Miyasaki, *J. Mech. Soc. Jpn.*, **81**, 475 (1978).
2. G. D. Suh, J. H. Kim, and K. S. Hea, *Korean J. Chem. Eng.*, **28**, 303 (1990).
3. H. Omiichi, A. Katakai, T. Sugo, and J. Okamoto, *Sep. Sci. Technol.*, **20**, 163 (1985).
4. H. Yamasita, Y. Ozawa, F. Nakajima, and T. Murata, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **53**, 1331 (1980).
5. G. K. Kostov and S. C. Turmanova, *J. Appl. Polym.*

방사선 중합에 의한 ACF/PP-g-AN 복합섬유의 합성 및 우라늄 분리에 관한 연구

- Sci.*, **64**, 1469 (1997).
6. W. Lee, S. Furusaki, K. Satio, T. Sugo, and K. Makuuchi, *Biotechnol. Prog.*, **12**, 178 (1996).
 7. I. Szleifer, *Biophys. J.*, **72**, 595 (1997).
 8. L. Furlan, V. T. Favere, and M. C. M. Laranjeira, *Polymer*, **37**, 843 (1996).
 9. T. Sugo and K. Saito, *Membrane*, **13**, 272 (1988).
 10. T. Hori, K. Saito, S. Frusaki, T. Sugo, and J. Okamoto, *Chem. Soc. Jpn.*, **12**, 1792 (1986).
 11. T. Sugo and K. Saito, *Membrane*, **71**, 58 (1990).
 12. J. S. Park, O. H. Kwon, and Y. C. Nho, *Polymer(Korea)*, **21**, 718 (1997).
 13. K. Motojima, T. Yamamoto, and Y. Kato, *Japan Analyst.*, **18**, 208 (1969).
 14. E. Trommsdorff, H. Kohle, and P. Lagally, *Makromol Chem.*, **1**, 169 (1948).
 15. E. Collinson, F. S. Dainton, D. R. Smith, G. J. Trudel, and S. Tazuke, *Discussions Faraday Soc.*, **29**, 188 (1960).
 16. K. Satio and T. Miyauchi, *J. Nucl. Sci. Technol.*, **19**, 145 (1982).