

방사선 중합법에 의한 Kapok 이온교환 섬유의 합성

조인희^{*,**} · 강필현^{**} · 임운목^{**} · 최재학^{**} · 황택성^{*} · 노영창^{*,†}

*충남대학교 바이오응용화학부, **한국원자력연구원 정읍 방사선과학연구소 방사선공업환경연구소
(2007년 7월 13일 접수, 2007년 10월 17일 채택)

Preparation of Ion Exchange Kapok Fiber by Radiation Polymerization

In Hee Cho^{***}, Phil Hyun Kang^{**}, Youn Mook Lim^{**},
Jae Hak Choi^{**}, Taek Sung Hwang^{*}, and Young Chang Nho^{***,†}

^{*}School of Applied Chemistry and Biological Engineering, College of Engineering,
Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

^{**}Radiation Research Center for Industry & Environment,
Advanced Radiation Technology Institute, Korea Atomic Energy Research Institute,
Jeongeup-si, Jeollabuk-do 580-185, Korea

(Received July 13, 2007; Accepted October 17, 2007)

초록 : Co⁶⁰ γ -ray 방사선 조사법을 이용하여 kapok 섬유에 styrene, glycidylmethacrylate(GMA) 또는 acrylic acid(AAc)를 그래프트 공중합 반응하여 합성한 공중합체의 그래프트율은 단량체의 농도와 방사선 조사량에 따라 증가하는 것으로 나타났으며, 또한 합성된 이온교환 섬유의 도입된 관능기를 확인하고 이온교환 능을 측정하였으며, SEM과 FT-IR을 통하여 이온교환 섬유의 표면과 구조를 분석하였다.

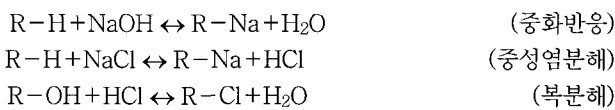
Abstract : The grafting of styrene, glycidylmethacrylate (GMA) or acrylic acid (AAc) onto kapok fiber were performed by Co⁶⁰ γ -ray radiation-induced graft copolymerization. Degree of grafting (DG) of copolymers were increased with increasing monomer concentration and radiation dose. In addition to we confirmed the introduced functional group and measured ion exchange capacity. Morphology of the ion exchange fibers and their structures were analyzed by SEM and FT-IR.

Keywords : degree of grafting, ion exchange capacity, radiation polymerization.

서 론

최근 산업의 발전으로 인한 공장폐수 및 생활하수 발생량이 증가하고 동시에 육상에 존재하는 천연자원이 고갈되어 가고 있기 때문에 이러한 두 가지 문제를 동시에 해결하고자 수중에 존재하는 중금속을 회수하여 이를 에너지원으로 재사용하는 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이러한 중금속 회수를 위한 이온교환 수지의 사용이 급격히 증가되고 있다.

이온교환 수지란, 이온교환을 할 수 있는 이온을 지닌 불용성 합성 수지로서 관능기에 따라 양이온교환 수지와 음이온교환 수지로 나눌 수 있고 형태에 따라 이온교환 섬유와 이온교환 비드로 분류되며, 다음과 같은 중화반응·중성염분해·복분해 등의 반응 형태를 보인다.



이온교환 수지를 이용한 수중의 중금속 흡착은 기존에 사용되어 왔던 화학 침전법, 활성탄을¹ 사용하는 물리적 침전법, 미생물을 이용하는 생물학적 방법에 비해 처리공정이 간단하고 효율이 높으며, 처리 후 재생이 가능한 장점이 있다.² 따라서 이러한 장점을 가진 이온교환 수지가 흡착 반응 공정에 유용하게 응용되고 있으며, 다양한 관능기를 가진 보다 효과적인 새로운 형태의 이온교환 수지를 합성하고자 노력하고 있다. 이를 바탕으로 Chen 등은 이온교환법을 이용하여 폴리프로필렌(PP) 필름을 아크릴아마이드와 아크릴산으로 그래프트시켜 수화겔을 합성하였고 Kawai 등은 PP 섬유에 아크릴로니트릴과 메타크릴산으로 친수성 아미드 옥심화 이온교환 섬유를 합성하여 연구에 사용하였다.^{3,4} 현재 주로 사용되고 있는 이온교환 섬유는 대부분이 합성섬유로서 이것은 실험실적인 처리에 의하여 제조하여 사용될 수 있으며, 이러한 이온교환 섬유의 합성은 방사선 또는 전자선 조사 방법으로 섬유기체를 조사하여 활성화하고 단량체와 반응시켜 그래프트 공중합체를 합성하는 방법이 주로 이용된다.⁵

본 연구에서는 흡착능이 우수할 뿐만 아니라, 재활용이 가능하고 경제적이며, 친환경적인 흡착제를 제조하기 위해 천연섬유 기재인 kapok 섬유를 사용하여 흡착제를 제조하였다. 견면(絹綿)이라고도

†To whom correspondence should be addressed.
E-mail: ycnho@kaeri.re.kr

불리는 kapok 섬유는 광택이 나고 노란색이 도는 갈색으로 가볍고 리그닌과 셀룰로오스를 모두 함유하고 있으며, 친유성으로 중공구조를 가지고 있는데 이와 같은 kapok 섬유를 중공구조가 파괴되지 않는 한도 내에서 화학적 처리하여 수용성 섬유로 변화시키고 주요 관능기를 카복실산 및 카보닐기로 전환하여 단량체인 styrene과 glycidylmethacrylate(GMA), acrylic acid(AAc)를 제조된 친수성 kapok 섬유 기재와 함께 방사선 조사하고 이를 관능화 반응하여 이온교환 섬유를 합성하였다.

실 험

시약 및 재료. 본 연구에서는 한국원자력연구원의 Co^{60} γ -ray 조사 설비를 이용하여 방사선 조사선원으로 반응기재를 활성화하는데 사용하였다. 또한 보다 다양한 관능기가 도입된 이온교환 섬유를 합성하기 위하여 단량체로 styrene, acrylic acid, glycidylmethacrylate를 사용하였으며, 순도가 99, 98%인 KANTO chemical CO., INC.와 Junsei chemical Co. Ltd사 제품을 사용하였고 용매로는 methanol, ethanol, acetone, benzene으로 그래프트 반응을 수행하였다. 단일중합체 생성을 억제시키고 그래프트 반응을 향상시키기 위해 Junsei chemical Co. Ltd사 99%인 $CuSO_4 \cdot H_2O$ 와 97% H_2SO_4 를⁶ 사용하였으며, 설폰화체인 chlorosulfonic acid와 sodium sulfite 및 sodium hydrogen sulfide는 각각 KANTO Chemical Co., Inc., Junsei Chemical Co. Ltd, SHOWA Chemicals Inc. 사 제품을 구입하여 사용하였다. 관능화 반응에 의해 도입된 관능기의 양을 측정하기 위하여 HCl과 NaOH를 증류수와 혼합하여 사용하였고 기타 반응시약은 1급 시약을 정제 없이 그대로 사용하였다.

그래프트 반응. Table 1에 나타낸 반응조건으로 kapok 섬유를 그래프트 반응하였다. 우선 건조된 kapok 섬유를 0.25 g 정량하고 이를 반응용액에 침지시키기 전 반응용액 내 잔존하는 산소를 제거하기 위해 15분 정도 질소 퍼지하여 주었으며, 퍼지가 종료된 반응용액에 섬유를 침지시켜 방사선 조사함으로써 그래프트 공중합체를 합성하였다. 방사선 조사 후, 그래프트 공중합체를 메탄올로 충분히 세척하고 70 °C 진공오븐에서 24시간 건조 후, 식 (1)을 사용하여 공중합체의 그래프트율을 계산하였다.⁷⁻⁹

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

여기서, W_0 , W_g 는 그래프트 반응 전, 후 시료의 무게를 나타낸다.

Table 1. Synthetic Conditions of Graft Copolymer by Co^{60} γ -Ray Radiation-Induced Copolymerization

Total dose (kGy)	Dose rate (kGy/h)	Monomer	Concentration of monomer (v/v%)	Solvent (v/v%)	$CuSO_4$ (M)	H_2SO_4 (M)
1	1	Styrene	10	90	-	-
2			30	70		
3			50	50		
4			70	30		
2	0.5	Acrylic acid	15	85	0.01	0.1
3			20	80		0.2
						0.3
2	0.5	GMA	5	95	0.01	-
3			15	85		

Table 2. Synthetic Conditions of Sulfonated Kapok-g-Styrene

Sulfonation of styrene copolymer				
Solution		Temperature (°C)	Swelling (min)	Reaction time (min)
Chlorosulfonic acid (mL)	Dichloroethane (mL)			
0.20	60	20	30	10
0.25	60			
1.00	60			

Table 3. Synthetic Conditions of Sulfonated Kapok-g-GMA

Sulfonation of GMA copolymer			
Solution		Temperature (°C)	Reaction time (h)
Na_2SO_3 (M)	$NaHSO_3$ (M)		
2.0	-	80	2
			4
			8
1.8	0.2	80	10
			12

설폰화 반응. 설폰화 반응의 경우 Tables 2, 3의 두 조건으로 각각 실험하였다. 그래프트 반응에 의해 합성된 kapok-g-styrene을 내부까지 반응이 유도되도록 하기 위해 dichloroethane에 담귀 30분 동안 팽윤시킨 후,¹⁰ Table 2와 같이 반응하였으며, kapok-g-GMA 역시 반응 전 30분 동안 팽윤처리 하였다. kapok-g-GMA는 강산에 의한 관능기의 도입이 수월하지 못하기 때문에 sodium sulfite, sodium hydrogen sulfide를 설폰화제로 사용하여 Table 3의 조건으로 반응하여 주었다. 설폰화 반응 후 시료는 메탄올과 탈이온수로 여러 번 반복 세척하고 60 °C 진공 오븐에서 24시간 건조하였다.

이온교환용량 측정. 우선 이온교환용량은 불용성 물질이 주변 용액에 존재하는 반대 전하를 띤 이온들에 의해 불용성 물질의 구조 내에 이미 붙어 있거나, 느슨하게 결합되어 있는 이온들을 치환시키는 정도를 말하며, 본 연구에서 이온교환용량 측정에 주목해야 할 대상은 $-SO_3H$ 기이다. $-SO_3H$ 기를 함유한 양이온교환 수지는 기타 화합물의 양이온과 H^+ 를 서로 교환하여 흡착, 제거시키는 능력이 우수할 뿐만 아니라, 벤젠고리와 핵치환 반응이 우수하기 때문에 가장 널리 사용되고 있는 수지로서 이를 보다 효율적으로 사용하기 위해서 더욱 많은 양의 관능기 도입에 중점을 맞추고 있다.

또한, 섬유기체에 단량체의 도입이 원활하게 되면 이온교환용량은 도입된 관능기의 양과 비례관계가 형성되는데 이는 Cho 등의¹¹ 연구 결과를 통해 확인된 바 있으며, Figure 1은 이를 토대로 styrene 단량체를 사용하여 그래프트 반응 및 관능화 반응을 수행한 경우의 메카니즘을 나타낸 것이다. Figure 1에서 보는 바와 같이 단량체가 반응기체에 그래프트된 양이 많을수록 도입된 벤젠고리의 수와 기타 화합물과 이온교환할 수 있는 수소 이온의 양 또한 증가하게 됨으로 결론적으로 이온교환능이 향상되게 된다. 다시 말해 높은 이온교환용량은 이온교환 수지 내 많은 양의 관능기가 존재함을 의미하기 때문에 이온교환용량 측정을 통해 도입된 관능기의 수가 판단 가능하다. 따라서 본 논문에서는 설폰산기의 양을 별도로 측정하지 않고 이온교환용량 측정만을 통해 도입된 관능기의 양을 확인하였다.

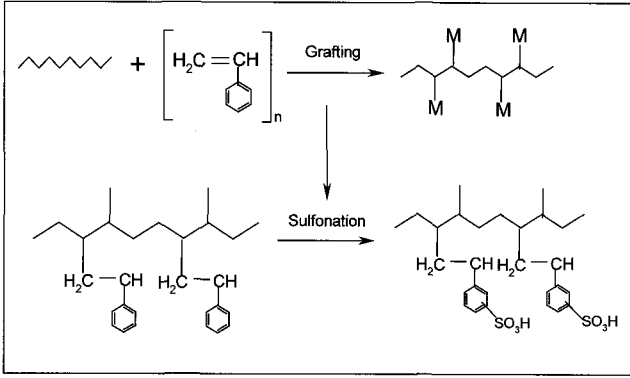


Figure 1. Synthesis mechanism of fibrous cationic exchange resin.

먼저, 이온교환용량 측정은 1 N HCl로 섬유를 1차 세척하고 증류수를 사용하여 중성이 될 때까지 2차 세척한 후, 60 °C 오븐에서 건조하였으며, 건조가 완료된 섬유는 정량하여 0.1 N NaOH 표준 용액으로 48시간 반응하였고 0.1 N HCl 표준용액으로 적정하였다. 또한 합성된 이온교환 섬유의 이온교환용량은 식 (2)를 사용하여 계산하였다.

Ion exchange capacity (meq/g) =

$$\frac{N_{\text{HCl}} \times \frac{V_{\text{HCl}}}{1000} - \frac{V_{\text{HCl}}}{V_{\text{sample}}} \times N_{\text{NaOH}} \times \frac{V_{\text{HCl}}}{1000}}{\text{gram of dry sample}} \quad (2)$$

여기서, V_{HCl} 와 V_{NaOH} 은 적정에 사용된 HCl과 NaOH의 부피, N_{HCl} 과 N_{NaOH} 은 노르말 농도, 분모는 건조된 섬유의 무게 (g)를 나타낸다.

Kapok 섬유 기재 및 그래프트 섬유, 이온교환 섬유의 구조 변화를 BRUKER사의 TENSOR 37, ATR FT-IR spectrophotometer를 사용하여 파장 범위 4000~500 cm^{-1} 에서 시료의 주사수 32회, 분해능을 4 cm^{-1} 로 하여 스펙트럼 분석하였다.

표면 관찰. 반응 전·후 기재섬유의 외부 및 내부 표면변화를 JEOL사의 SEM(JSM-840A)을 통해 관찰하였다. 이때 섬유에 도전성을 부여하기 위하여 gold coating한 후 섬유 표면의 변화를 확인하였다.

결과 및 토론

그래프트 반응. 방사선 조사량과 단량체의 농도 및 종류에 따른 그래프트 섬유의 그래프트율을 Figures 2~4와 Table 4에 나타내었다.

Figure 2는 styrene 단량체와 메탄올 용매를 사용하여 합성한 kapok-g-styrene 그래프트 섬유의 그래프트율을 나타낸 것으로 단량체의 농도가 50 v/v%일 때, 가장 높은 그래프트율을 보였다. 단량체의 농도가 50 v/v% 이상에서 그래프트율이 낮아지는 이유는 단량체의 농도가 증가함에 따라 반응계의 점도가 높아져

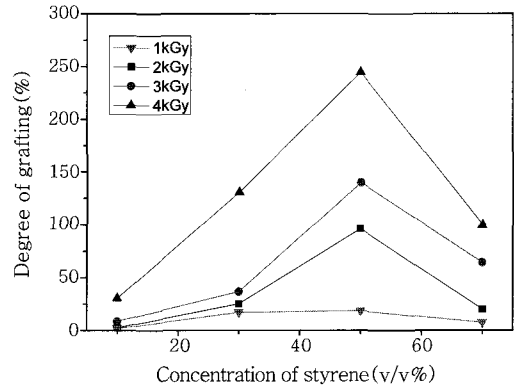


Figure 2. Effect of total dose and styrene concentration on the degree of grafting.

Table 4. Results for Degree of Grafting of Kapok-g-Ac

Total dose (kGy)	Dose rate (kGy/h)	Acrylic acid (v/v%)	Solvent (v/v%)	Degree of grafting (%)	Note
2	0.5	15	85	61.2	Sulfuric acid : 0.2 M
		20	80	68.8	
3	0.5	15	85	64.6	CuSO ₄ : 0.01 M
		20	80	83.6	

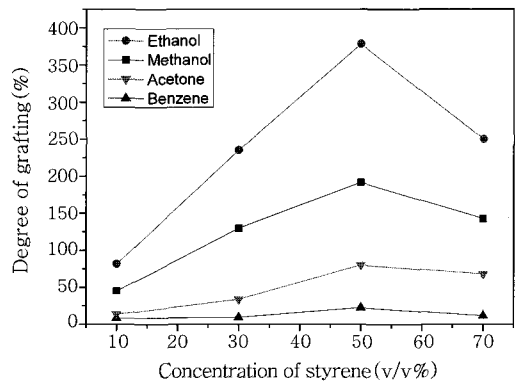


Figure 3. Effect of the solvents on the degree of grafting in the copolymer.

Trommsdorff effect에 의한 단일중합체의 생성량이 증가하기 때문으로 사료되었으며,¹² 방사선 조사량이 증가함에 따라 역시 그래프트율이 증가하는 경향을 보였는데 이는 방사선 조사량이 증가함에 따라 kapok 기재섬유 표면에 활성화된 라디칼의 양이 증가하면서 반응성이 증가하기 때문으로 사료된다.¹³

Figure 3은 방사선 조사량을 4 kGy로 하여 용매의 종류에 따른 kapok-g-styrene의 그래프트율을 나타낸 것으로 ethanol을 용매로 사용하였을 때 최대 380%의 그래프트율을 얻었으며, ethanol > methanol > acetone > benzene의 순서로 나타났다. 여기서 benzene은 styrene과 동일한 방향족 탄화수소이기는 하나, 벤젠링은 대표적인 라디칼 포획제(scavenger)로 작용하기 때문에 그래프트율이 가장 낮게 관찰된 것으로 사료된다.

Figure 4는 GMA를 단량체로 사용하였을 때 합성된 그래프트 섬유의 그래프트율을 측정된 것으로 GMA의 경우 styrene보다 반응

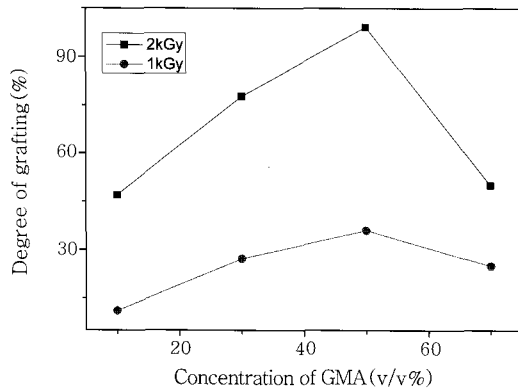


Figure 4. Effect of total dose and GMA concentration on the degree of grafting.

Table 5. Ion Exchange Capacity (IEC) of Sulfonated Kapok-*g*-Styrene Ion Exchange Fibers

Monomer	Degree of grafting (%)	Chlorosulfonic acid (mL) / Dichloroethane (mL)	IEC (meq/g)
Styrene	100	0.20/60	0.18
		0.25/60	0.41
		1.00/60	0.58

성이 우수하기 때문에 방사선 조사량 및 단량체 농도를 Table 1과 같이 낮추어 실험하였다. Figure 4에서 보는 바와 같이 방사선 조사량이 증가함에 따라 그래프트율이 증가하였으며, 이 역시 단량체의 농도가 50 v/v%일 때 가장 높은 그래프트율을 보였다.

또한 kapok-*g*-AAc의 단량체 농도와 방사선 조사량에 따른 그래프트율 변화를 Table 4에 나타내었는데 AAc 역시 GMA와 같이 단일중합체 생성 가능성이 높기 때문에 방사선 조사량과 단량체의 농도를 Table 1과 같이 고정하여 실험하였으며, 이러한 조건으로 실험한 결과 83.6%의 그래프트 섬유를 얻었다.

이온교환용량 측정. 위에서 서술한 바와 같이 그래프트 섬유를 관능화 반응하여 합성된 세 종류의 이온교환 섬유의 이온교환용량을 측정된 결과가 다음과 같았다.

Table 5는 그래프트율이 100%인 kapok-*g*-styrene를 설폰화 반응하여 합성한 이온교환 섬유의 이온교환용량을 측정된 결과로써 설폰화제의 농도에 따라 이온교환용량을 측정하였다. Table 5에서 보는 바와 같이 설폰화제의 농도가 증가함에 따라 설폰화 kapok-*g*-styrene의 이온교환용량이 약 0.40 meq/g 정도 증가하는 것으로 나타났다. 이는 설폰화제의 농도가 증가함에 따라 도입될 수 있는 관능기의 양 또한 증가하기 때문인 것으로 사료되어진다.

Sodium sulfite와 sodium hydrogen sulfide의 설폰화 반응용액 사용에 의한 설폰화 kapok-*g*-GMA 이온교환 섬유의 이온교환용량을 Figure 5에 설폰화제의 농도와 반응시간에 따라 측정하였다. Figure 5에서 보는 바와 같이 sodium sulfite와 sodium hydrogen sulfide를 혼합하여 사용하였을 때 sodium sulfite만을 사용하였을 때 보다 이온교환용량이 높게 측정되었다. 이는 설폰화 반응 과정에서 sodium sulfite와 sodium hydrogen sulfide 두 화합물 간에 경쟁반응으로 인한 것으로 보이며, 반응시간이 증

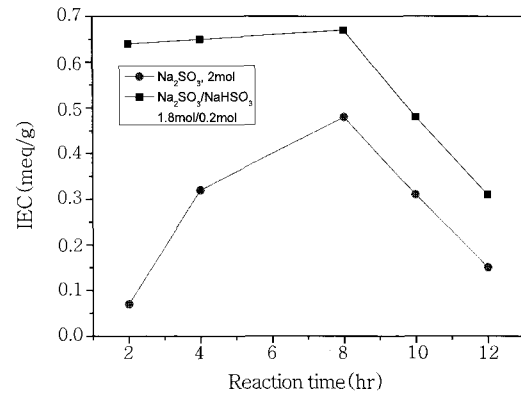


Figure 5. Ion exchange capacity of sulfonated kapok-*g*-GMA ion exchange fibers.

Table 6. Ion Exchange Capacities (IEC) of Kapok-*g*-AAc Ion Exchange Fibers on the Degree of Grafting

Ion exchange fiber	Weight of fiber (g)	Degree of grafting (%)	IEC (meq/g)
Kapok- <i>g</i> -AAc	0.24	20	0.63
	0.25	40	0.64
	0.34	60	0.63
	0.22	80	0.80
	0.33	100	0.84

가함에 따라 섬유의 이온교환능이 증가하다가 반응 8시간 이후에는 오히려 감소하는 경향을 보였는데 이는 반응용액과 그래프트 섬유를 오랫동안 접촉시킴에 따라 관능기 도입이 유리하나, 그래프트 섬유 내 일부 사슬 분해 및 관능기의 탈리를 동반함으로써 이온교환용량이 감소하는 것으로 사료되고 이는 Cho 등의¹¹ 연구결과와 동일한 결과를 보였다.

또한 AAc는 앞서 말한 styrene, GMA와는 달리 약산이지만 이온교환 수지로 사용하기 위한 부가적인 관능화 과정이 필요 없이 자체적으로 이온교환할 수 있는 관능기를 함유하고 있으므로 본 연구에서는 kapok-*g*-AAc 이온교환 섬유의 이온교환용량 또한 기타 이온교환 섬유의 이온교환능과 함께 비교분석하였고 앞서 나타낸 식 (1)을 사용하여 그래프트 반응 전·후 섬유의 무게차를 통해 kapok-*g*-AAc의 그래프트율을 계산하였으며, Table 6에 나타낸 바와 같이 그래프트율이 각각 20~100%(오차범위 +4이하)인 그래프트 섬유만을 선택하여 실험하였다.

Table 6은 그래프트율에 따른 kapok-*g*-AAc의 이온교환능을 나타낸 것으로 그래프트율은 kapok-*g*-AAc의 경우 역시 반응용액과의 접촉 시간이 증가함에 따라 이온교환용량이 증가하는 것으로 확인되었다.

적외선 분광 분석. 기재섬유와 그래프트 섬유, 이온교환 섬유들 간의 구조 변화를 FT-IR을 통하여 확인하였다.

Figure 6은 GMA 단량체를 사용하여 합성한 그래프트 섬유의 IR 측정 스펙트럼으로써 기재섬유인 kapok 섬유의 구조가 3500 cm⁻¹에서 -OH와 1700 cm⁻¹에서 C=O, 1000~1100 cm⁻¹ 사이에서 CH₂OH, 1100~1200 cm⁻¹에서 ether기가 나타나는 것으로 보아 kapok 섬유의 구조임을 확인할 수 있었다. Figure 6(b)는 관

능화 반응 전 그래프트 섬유의 구조이며, Figure 6(c)는 관능화 반응 후 섬유의 IR 피크이다. GMA를 단량체로 하여 그래프트 반응할 경우 GMA 구조 내 존재하는 에폭시 그룹이 Figure 6(b)에서와 같이 $700\sim 800\text{ cm}^{-1}$ 에서 나타났고 sulfonated kapok-*g*-GMA의 경우 Figure 6(c)에서 보는 바와 같이 관능화 반응에 의해 에폭시기가 개환되어 $1100\sim 1300\text{ cm}^{-1}$ 와 $600\sim 700\text{ cm}^{-1}$ 에서 $-\text{SO}_3\text{H}$ 의 피크가 새로이 확인되었고 이것은 또한 $-\text{OH}$ 기를 생성 시킴으로 3500 cm^{-1} 부근과 1000 cm^{-1} 이하에서 $-\text{OH}$ 피크가 보다 넓게 나타났다.

표면 관찰. Figure 7은 kapok 섬유와 AAc, styrene가 그래프트된 섬유, kapok-*g*-GMA를 관능화 반응한 이온교환 섬유의 표면

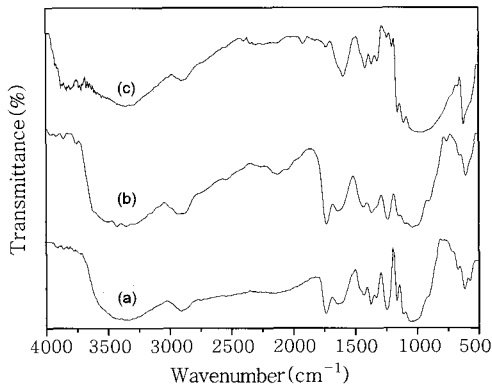


Figure 6. ATR FT-IR spectra of (a) kapok, (b) kapok-*g*-GMA, and (c) sulfonated kapok-*g*-GMA ion exchange fibers.

및 단면을 SEM을 통하여 관찰한 사진으로서 (a)에서와 같이 기계 섬유의 표면은 매우 매끄러운 반면, 그래프트 반응 후 섬유의 표면에 굴곡이 형성된 것을 확인할 수 있었고 kapok-*g*-acrylic acid 그래프트 섬유의 경우 섬유 표면에 불순물이 많이 달라붙어 있는 것을 확인할 수 있었다. 이는 acrylic acid의 경우 단일중합체 생성이 많아짐으로 인한 현상으로 보인다.

사진 (d)는 kapok-*g*-GMA를 설폰화 반응시킨 것으로써 높은 온도에서 오랜 시간 반응용액에 침지시킴에 따라 섬유가 손상되어 깨짐 현상을 유발함으로 기타 기재섬유 및 그래프트 섬유보다 기계적 물성이 감소하는 것을 확인할 수 있다.

결론

Co^{60} γ -ray 선원을 이용한 kapok 섬유의 방사선 동시조사에 의해 합성된 그래프트 섬유와 이온교환 섬유의 특성을 확인한 결과 다음과 같았다.

1) 그래프트 공중합체 합성 시 styrene, GMA 단량체의 농도가 50 v/v%에서 그래프트율이 가장 높게 나타났으며, 조사선량이 증가할수록 그래프트율이 2.7~380%까지 증가하였다. 또한 kapok-*g*-styrene의 경우 ethanol을 용매로 사용하였을 때 가장 높은 그래프트율을 보였으며, kapok-*g*-AAc의 경우 최대 그래프트율 83.6%를 얻었다.

2) 이와 같은 kapok-*g*-styrene 그래프트 공중합체에 관능기를 도입함으로써 합성된 이온교환 섬유의 성능을 평가한 결과 설폰화제의 농도 증가에 따라 이온교환용량이 증가하였다.

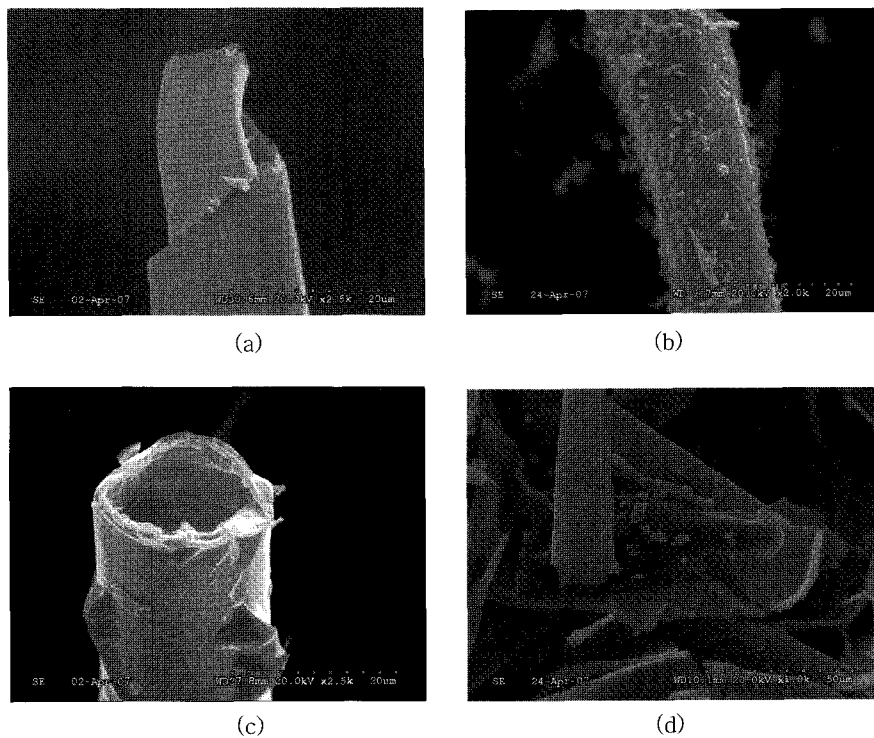


Figure 7. Photographies of grafted and functionalized fibers. (a) kapok fiber, (b) kapok-*g*-acrylic acid, (c) kapok-*g*-styrene, and (d) sulfonated kapok-*g*-GMA.

3) 또한 설폰화 kapok-g-GMA 이온교환 섬유의 이온교환용량은 sodium sulfite를 단독 사용하였을 때보다 sodium hydrogen sulfide를 1.8/0.2 mol 혼합하여 사용하였을 때 보다 높은 이온교환능을 얻었고 반응시간이 8시간까지 이온교환용량이 증가하다가 감소하는 경향을 보였다.

4) 그래프트 반응 및 관능화 반응이 진행됨에 따라 섬유 표면에 굴곡이 형성되고 섬유의 물성이 다소 감소하는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. T. Yoshizawa, *et al.*, *Proceedings of the 11th Annual Tech. Meeting on Air Cleaning and Contamination Control*, pp.165~168, April 21-22 (1992).
2. K. W. Baek, I. H. Cho, Y. C. Nho, and T. S. Hwang, *Polymer (Korea)*, **30**, 525 (2006).
3. J. Chen, L. Yang, M. Wu, Q. Xi, S. He, Y. Li, and Y. C. Nho, *Radiat. Phys. Chem.*, **59**, 313 (2000).
4. T. Kawai, K. Saito, K. Sugita, T. Kawakami, J. J. Kanno, A. Katakaic, N. Seko, and T. Sugo, *Radiat. Phys. Chem.*, **59**, 405 (2000).
5. I. H. Cho, N. S. Kwak, P. H. Kang, Y. C. Nho, and T. S. Hwang, *Polymer (Korea)*, **30**, 217 (2006).
6. N. Kabay, A. Katakai, and T. Sugo, *Radiat. Phys. Chem.*, **46**, 883 (1995).
7. M. Ulbricht, *React. Funct. Polym.*, **31**, 165 (1996).
8. H. Ma, R. H. Davis, and C. N. Bowman, *Polymer*, **42**, 8333 (2001).
9. H. Borcherdig, H. G. Hiche, D. Jorcke, and M. Ulbricht, *Desalination*, **149**, 297 (2002).
10. J. S. Park and Y. C. Nho, *Polymer (Korea)*, **22**, 47 (1998).
11. I. H. Cho, K. W. Baek, C. S. Lee, Y. C. Nho, S. K. Yoon, and T. S. Hwang, *Polymer (Korea)*, **31**, 1 (2007).
12. E. Trommsdorff, H. Kohle, and P. Lagally, *Macromol. Chem.*, **1**, 169 (1948).
13. T. S. Hwang, J. H. Lee, and M. J. Lee, *Polymer (Korea)*, **25**, 451 (2001).