

폐수중 암모늄 이온 회수를 위한 불균질 양이온교환막의 제조 및 특성

정부영 · 송상헌 · 백기완 · 조인희 · 황택성[†]

충남대학교 바이오응용화학부 화학공학전공
(2006년 5월 17일 접수, 2006년 10월 24일 채택)

Preparation and Properties of Heterogeneous Cation Exchange Membrane for Recovery of Ammonium Ion from Waste Water

Boo-Young Jeong, Sang-Hun Song, Ki-Wan Baek, In-Hee Cho, and Taek-Sung Hwang[†]

School of Biological Chemistry and Applied Engineering,
220 Gung-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-764, Korea
(Received May 17, 2006; accepted October 24, 2006)

초록 : 본 연구에서는 폐수중에 함유된 암모늄 이온을 전기투석 방법으로 회수하기 위하여 불균질 이온교환막을 압축성형 방법으로 제조하였다. 설폰화 양이온교환수지의 설폰화도는 설폰화제인 chlorosulfonic acid의 함량이 증가함에 따라 증가하였고, 최대 설폰화율은 10 vol%일때 3.32 meq/g이었다. 불균질 이온교환막의 인장강도와 신장률은 이온교환수지의 함량이 증가함에 따라 각각 감소하였으며 인장강도는 LLDPE 막이 가장 높게 나타났으며, 신장률의 경우 EVA 막이 가장 높게 나타났다. 불균질 이온교환막의 함수율은 이온교환수지의 함량이 증가함에 따라 증가하였으며 이온수송수는 PE 막의 경우 최대 0.973이었고, 전기저항값은 LLDPE막이 가장 낮게 나타났으며 수지의 함량 70 wt%일때 10.36 Ω/cm^2 이었다.

Abstract : Heterogeneous membranes were prepared by compression molding for the recovery of ammonium ion from waste water. Degree of sulfonation for sulfonated ion exchange resin increased with increasing amount of chlorosulfonic acid. It was 3.32 meq/g at 10 vol%. The tensile strength and elongation of the heterogeneous membrane was decreased with increasing contents of ion exchange resin. The tensile strength for LLDPE matrix membrane was the highest and also the elongation for EVA matrix membranes were the highest. The water content of heterogeneous membrane was increased with increasing contents of ion exchange resin. The maximum value of transport number for PE matrix membrane was 0.973. The electrical resistance of LLDPE matrix membrane was the lowest. It was value of 10.36 Ω/cm^2 at 70 wt% resins.

Keywords : ion exchange, ammonium, EDR, waste water, membrane.

서 론

최근 화학, 생물, 전자, 제약, 철강 등 산업의 발달과 더불어 각종 산업의 제조 공정에서 다량의 이온성 폐수가 발생되고, 국제적으로 환경오염물질 배출에 대한 규제가 강화되어 이의 처리가 시급한 실정이다. 지금까지 알려진 폐수처리 방법에는 역삼투압법, 이온교환법, 생물학적 방법, 전기 탈이온법 등 다양한 방법이 알려져 있다. 역삼투압법은 처리효율은 좋으나 에너지 소비량이 많고, 생물학적 방법은 대량처리가 가능하나 특정 이온에 대한 미생물 확보가 어렵고, 처리비용이 많이 드는 단점이 있다. 또한 전기탈이온법은 실험실적 성능은 우수하나 현장적용에 한계성이 있다. 따라서 이들

단점을 보완한 이온교환법에 대한 관심이 더욱 고조되고 있다.¹⁻⁵

이온교환 방법은 처리비용은 물론 효율이 좋고, 특히 재생이 가능하며, 경제성이 있으며, 폐수로부터 이온성 물질의 분리가 용이하여 다른 방법에 비해 유리한 장점을 지니고 있다.

그러나 이온교환법에 사용되는 수지는 분리성능은 우수하나 공정 적용시 충전밀도는 높으나 처리속도가 늦어 사용에 한계가 있다. 따라서 대량의 수처리를 위해 새로운 형태의 소재 개발이 필요한 실정이다. 이러한 단점을 개선하기 위해 사용되는 소재로 이온교환막이 사용되고 있다. 이온교환막은 매트릭스에 이온교환수지를 분산시켜 제조한 후 전기투석막 등으로 사용되고 있다.

지금까지 상업적으로 이용되고 있는 이온교환막은 크게 균질 이온교환막과 불균질 이온교환막으로 분류되며, 용도에 따라 탈염용막, 농축용막, 특수 선택투과성막 등이 있다.⁶

[†]To whom correspondence should be addressed.
E-mail: tshwang@cnu.ac.kr

이중 불균질 이온교환막은 균질막에 비해 매트릭스내 수지의 분포량에 따라 이온교환능을 증가시켜 성능을 향상시킬 수 있고, 공정적용이 간편한 특징이 있어 최근들어 그 사용량이 증가하고 있는 실정이다. 이러한 불균질 이온교환막의 제조방법은 압출 및 압축방법과 고분자 용액에 이온교환수지를 분산시킨 후 용매를 증발시키는 방법 등이 있다.⁷

지금까지 이들 막의 연구동향을 살펴보면 1890년에 Ostwald에 의해 전기 막 공정이 개발된 이후,⁸ 1940년대 말 이온사의 Juda에 의해 염 분리 이온교환막이 상업화되기 시작하였다.⁹ 한편 Liu 등은 염으로부터 산과 염기를 양극성(bipolar) 교환막을 사용하여 높은 수율로 산과 염기를 분리하였다고 보고하였다.¹⁰ 또한 Giuffrida 등은 기존 막의 낮은 기계적 물성을 개선하기 위하여 폴리에틸렌 수지와 이온교환체를 이용하여 불균질 이온교환막을 제조하고 성능시험을 한 결과 기계적 물성의 향상은 있으나 막성능의 저하가 수반되어 문제점이 있다고 보고하였다.¹¹

따라서 본 연구에서는 이와 같은 불균질 이온교환막의 단점을 보완한 막을 제조하기 위하여 이온교환수지를 합성하였고, 이들을 기체의 종류를 달리하여 매트릭스에 분산시킨 후 압축방법으로 불균질 이온교환막을 제조하고 이들 막 특성과 폐수 중 암모늄 이온의 분리특성을 평가하였다.

실 험

시약 및 재료. 본 실험의 이온교환수지 합성에 사용된 styrene monomer, divinylbenzene(DVB), *n*-heptane, benzoyl-peroxide(BPO), poly(vinyl alcohol)(PVA) 등은 Aldrich사의 특급시약을 사용하였으며 관능화제로 사용된 chlorosulfonic acid, dichloroethane은 Aldrich사의 1급시약을 사용하였다. 또한 불균질 이온교환막의 제조시 사용된 기재인 EVA, LDPE, LLDPE는 국내 호남석유 및 한화에서 생산되는 Table 1과 같은 물성을 지닌 수지를 사용하였다.

실험 방법.

St-co-DVB 공중합체의 합성 : 불균질 이온교환막의 매트릭스 분산용 이온교환수지를 합성하기 위하여 현탁중합 방법에 의해 교반기, 냉각기, 시료 및 질소주입구가 부착된 1 L 사구 플라스크에 액상반응기에 넣고, 스티렌(St) 기준 비용매인 증류수를 400 mL 넣고 여기에 시료주입구를 통하여 St과 divinylbenzene(이하 DVB라 칭함) 단량체와 BPO, toluene 및 PVA를 넣은 후 질소치환 하면서 8시간 동안 반응시켜 St-co-DVB 공중합체를 합성하였다. 합성후 반응생성물을 여과하고 비드상 물질을 증류수로 충분히 세척하여 미반응 단량체와 PVA를 제거하고 50 °C 진공오븐에서 24시간 동안 건조하여 공중합체를 합성하였으며 구

Table 1. Basic Properties of Matrix

Resin	Melt index (g/10 min)	Density (g/cm ³)	Tensile strength (kg/cm ²)	Elongation (%)
LLDPE	20	0.92	112	650
LDPE	22	0.915	90	400
EVA	18	0.949	140	920

체적 합성조건은 Table 2에 나타나 있다.

관능화 반응 : 합성한 St-co-DVB 공중합체에 설폰산기를 도입하기 위하여 부피측정이 가능한 drop funnel과 교반기, 냉각기가 부착된 1 L 삼구 플라스크에 공중합체와 dichloroethane을 넣고, 서서히 교반하면서 drop funnel을 통하여 chlorosulfonic acid를 30분 동안 적가하고 일정온도에서 2시간 동안 설폰화 반응을 진행하였다. 반응후 반응물을 여과하고 메탄올과 증류수로 여러번 세척한 후 50 °C 진공오븐에서 24시간 건조하여 설폰화 St-co-DVB 이온교환수지를 합성하였으며, 설폰화 반응의 구체적인 조건은 Table 3에 나타나 있다.

불균질 양이온교환막의 제조 : 암모늄 이온에 선택적 흡착특성이 있는 전기투석장치용 이온교환막을 제조하기 위하여 합성한 설폰화 St-co-DVB 이온교환수지를 불밀을 이용하여 파쇄하고 sieving한 후 20~50 μm의 이온교환수지 입자를 참고문헌을 참고로 전기투석용막의 기재로 이온운반올과, 투과성 및 막제조시 수지와의 상용성을 고려하여 LDPE, LLDPE 및 EVA를 기재로 선정하였다. 막 제조를 위하여 이들 매트릭스와 수지를 혼합한 후 일정 두께의 SUS 몰드에 넣고 압축성형하여 불균질 이온교환막을 제조하였다. 이때 수지와 매트릭스 및 첨가제의 양을 Table 4와 같은 조건으로 하여 막을 제조하였다.

FTIR 스펙트럼 분석 : 합성한 St-co-DVB 공중합체 및 설폰화

Table 2. Synthesis Conditions of St-co-DVB Copolymers

No	DW* (mL)	Styrene (mL)	<i>n</i> -Heptane (mL)	DVB (mol%)	Atmospher (%)	PVA, BPO (g)	Temp. (°C)
1	300	50	10	2	N ₂	0.5	90
2	300	50	10	2.5	N ₂	0.5	90
3	300	50	10	3	N ₂	0.5	90
4	300	50	10	4	N ₂	0.5	90
5	300	50	10	5	N ₂	0.5	90

*DW : deionized water.

Table 3. Sulfonation Conditions of St-co-DVB Copolymers

Copolymer (g)	Dichloroethane (vol%)	Chlorosulfonic acid(vol%)	Temp. (°C)	Weight (g)	IEC* (meq/g)
10	95	5	20	13.9	2.7
10	90	10	20	24.45	3.92
10	85	15	20	24.51	3.97
10	80	20	20	24.3	3.89

*IEC : Ionexchange capacity.

Table 4. Preparation Conditions of Heterogeneous Ion-Exchange Membranes

Sample No	IXR* (wt%)	Matrix (wt%)	Temp. (°C)	Forming agent (wt%)	Reaction time (min)
1	40	60	120	3~5	30
2	50	50	120	3~5	30
3	60	40	120	3~5	30
4	70	30	120	3~5	30

* IXR : Ion exchange resin.

이온교환수지의 합성 유무를 확인하기 위하여 Shimadzu사의 FTIR model IR protage 21을 이용하여 KBr pellet 법으로 scan number 32, resolution 4 cm⁻¹, 파장범위 4,000~400 cm⁻¹에서 모든 시료의 스펙트럼 분석을 하였다.

원소 분석 : 이온교환수지의 설폰화 반응 조건에 따른 설폰기의 함량을 알아보기 위하여 Yanaco CHONS Coder MT-3EA 원소 분석기를 사용하여 시료를 분석하였다. 이때 운반 기체는 He를 사용하였으며 유속을 15 mL/min으로 하여 시료를 연소시켜 흡수관에 흡수시키고 시료의 조성을 백분율로 환산하여 설폰화율을 계산하였다.

막의 이온교환용량^{11,12} : 설폰화 이온교환수지와 불균질 양이온교환막의 이온교환용량을 측정하기 위하여 이온교환수지 1 g을 200 mL 삼각플라스크에 넣고 0.1 N NaOH 용액 100 mL를 넣은 후 일정온도의 항온수조에 넣고 24시간 교반하여 평형에 도달시켰다. 이들 용액 20 mL를 분취하여 0.1 N HCl 표준용액으로 적정하여 다음 식에 의하여 이온교환수지의 이온교환용량을 측정하였다. 한편 불균질 이온교환막의 이온교환용량은 매트릭스와 수지 배합비를 고려하여 전체 막의 무게 중 수지의 무게로 환산하여 수지 환산무게가 1 g이 되도록 절단한 후 이온교환수지의 이온교환용량 측정조건과 동일한 방법으로 측정하였다.

$$\text{Capacity (meq/g)} = \frac{(V_{\text{NaOH}} \times N_{\text{NaOH}}) - 5(V_{\text{HCl}} \times N_{\text{HCl}})}{\text{수지의 무게}}$$

함수율 측정^{11,12} : 이온교환수지와 불균질 이온교환막의 함수율 측정을 위하여 세척 건조된 이온교환수지 1 g을 50 mL 메스실린더에 넣고 탈이온수로 부피를 맞춘 후 24시간 동안 담가 평형에 도달시켜 감압여과한 후 무게를 측정하여 함수율을 다음 식에 의해 측정하였다.

$$\text{Wateruptake (\%)} = \frac{(W_w - W_g)}{W_g} \times 100$$

여기서 W_g 와 W_w 는 각각 팽윤전과 팽윤후의 시료의 무게를 나타낸다.

전기저항 측정¹³ : 불균질 이온교환막의 전기저항 측정을 위하여 이온교환막을 일정크기로 절단하고 100 mL 삼각플라스크에 넣고 여기에 0.1 M NaCl 50 mL를 넣어 24시간 방치하여 평형에 도달하게 한 후 Figure 1과 같은 2-compartment cell을 이용하여 0.1 M NaCl에서 측정된 저항값을 다음 식에 대입하여 전기 저항을 측정하였다.

$$ER (\Omega \cdot \text{m}^2) = R2 - R1$$

이온운반율¹²⁻¹⁴ : 이온교환막의 이온운반율을 측정하기 위하여 Figure 1의 2-compartment cell을 이용하여 0.1 M NaCl 용액에 24시간 방치한 시료를 2-compartment cell의 사이에 장착한 후 cell의 양쪽에 각각 0.1 M, 0.01 M NaCl 용액을 채운 후 Ag/AgCl wire가 있는 Luggin capillary를 설치하여 (+)와 (-) 전

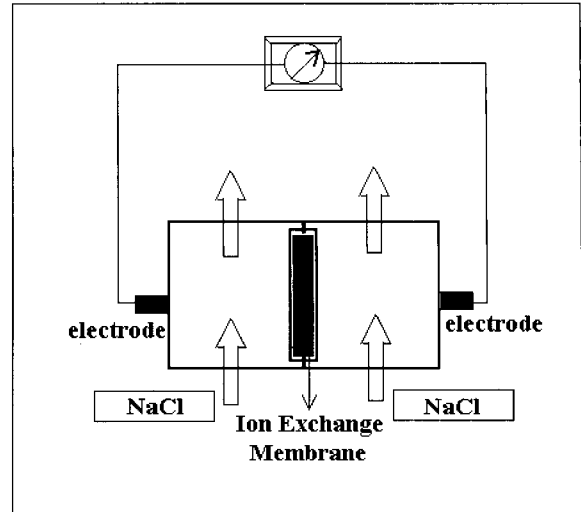


Figure 1. Scheme of electro dialysis with ion exchanger.

기를 흘려 측정된 전위차를 다음 식에 대입하여 이온운반율을 계산하였다.

$$Em = (R \cdot T / F) \cdot (2t - 1) \cdot \ln(C1 / C2)$$

R = 기체상수

F = Faraday 상수

T = Kelvin temperature

C1, C2 = 용액의 농도 (1: 높은 농도, 2: 낮은 농도)

Em = 얻어진 평균 전위

막의 기계적 물성 시험 : 불균질 이온교환막의 기계적 물성을 시험하기 위하여 시편을 ASTM D 412 규격에 따라 시편을 제작하고, 만능시험기 (universal testing machine, instron series IX, UTM)를 이용하여 막의 인장강도를 측정하였다. 이때 sample rate 10.0 pts/secs, crosshead speed 50.0 mm/min 및 full scale load range 500.0 kgf로 고정하여 측정하였으며, 얻어진 값 중에서 최소값과 최대값을 제외한 나머지의 평균값을 결과치로 하였다.

결과 및 토론

FTIR 스펙트럼 분석 : 합성 이온교환수지의 구조를 확인하기 위하여 FTIR 스펙트럼 분석을 하였는데 그 결과가 Figure 2에 나타나 있다. Figure 2(a)는 St-co-DVB 공중합체의 FTIR 스펙트럼으로 Figure 2(a)에서 보는 바와 같이 방향족의 C-H 신축진동 피크가 3100 cm⁻¹ 부근에서 나타나고, 2850 cm⁻¹ 부근에서 비닐기의 C-H 신축진동 피크 및 방향족 C=C의 특성피크가 1400~1650 cm⁻¹ 영역에서 나타나는 것으로 보아 St-co-DVB 공중합체가 합성되었음을 확인할 수 있었다. 한편 Figure 2(b)는 설폰화 St-co-DVB 이온교환수지의 구조 확인을 위한 FTIR 스펙트럼으로 Figure 2(b)에서 보는바와 같이 3500 cm⁻¹ 부근에서 OH

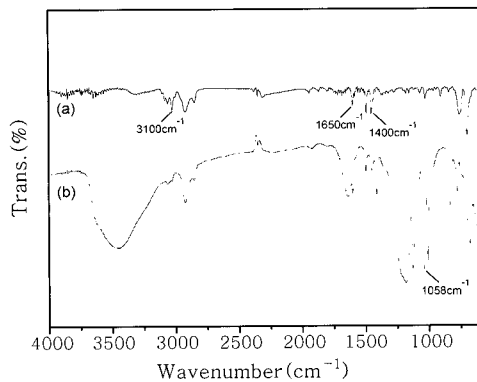


Figure 2. FTIR spectra of St-co-DVB copolymer and Ion exchanger.

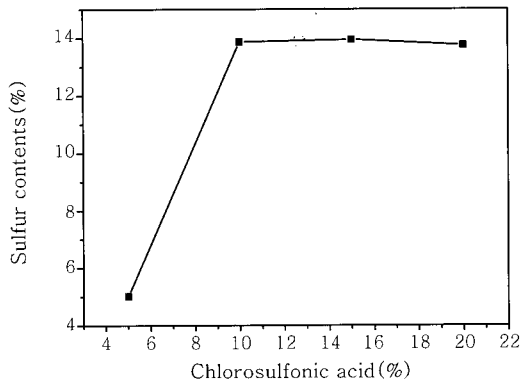


Figure 3. Effect of chlorosulfonic acid contents on the sulfur contents in the IXR.

특성피크와 1058 cm^{-1} 에서 SO_3H 의 특성피크가 나타나는 것으로 보아 공중합체의 설포화 반응이 진행되었음을 확인할 수 있었다.

원소분석. 설포화 양이온교환수지의 설포기 함량을 정량적으로 확인하기 위하여 원소분석한 후 설포화제인 chlorosulfonic acid의 양에 따른 이온교환수지 내 황의 조성 변화와의 관계를 plot 하였는데 그 결과가 Figure 3에 나타나 있다. Figure 3에서 보는 바와 같이 이온교환수지내 sulfur의 조성은 설포화제인 chlorosulfonic acid의 농도가 10 vol%까지 급격히 증가하였으며 그 이상의 농도에서는 변화하지 않는 경향을 보였다. 이러한 경향은 chlorosulfonic acid의 농도가 10 vol%까지는 공중합체 내의 벤젠고리의 ortho- 및 para- 위치에 설포산기가 도입되는 반응이 진행되기 때문이며 그 이상의 농도에서는 벤젠고리의 활성점이 없어 반응성이 낮아지기 때문으로 사료되었으며, 고농도에서는 설포화제의 심한 발열반응으로 오히려 역반응이 진행되어 설포화도가 증가되지 않는 것으로 판단되었다.

기계적 물성 시험. 설포화 양이온교환수지를 PE, EVA 수지에 양을 달리하여 분산시켜 불균질막을 제조한 후 이들의 이온교환수지 함량에 따른 인장강도와 신율을 측정하였다. Figure 4는 PE 및 EVA 매트릭스에 이온교환수지의 함량을 변화시켜 제조한 불균질막의 이온교환수지 함량에 따른 불균질막의 인장강도 변화를 나타낸 그래프이다. Figure 4에서 보는 바와 같이 불균질막의 인장강도

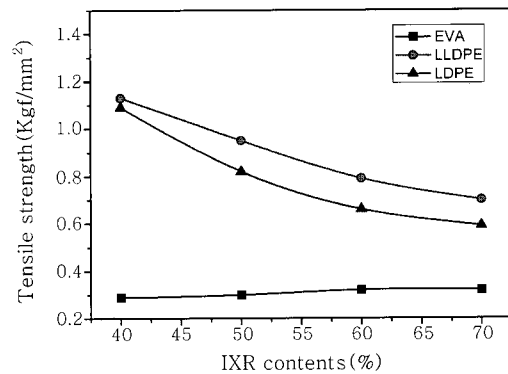


Figure 4. Effect of IXR contents on the tensile strength of heterogeneous membrane.

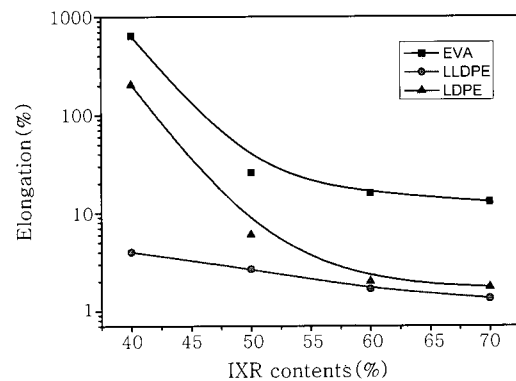


Figure 5. Effect of IXR contents on the elongation of membrane.

는 PE 매트릭스의 경우 이온교환수지의 함량이 증가함에 따라 감소하였으며, LLDPE막의 인장강도가 LDPE막의 인장강도보다 크게 나타났다. 반면에 EVA막의 인장강도는 이온교환수지의 함량변화에도 크게 변하지 않았으며, 매우 낮은 인장강도 값을 나타내었다. PE막의 경우 인장강도가 수지 증가에 따라 감소하는 것은 매트릭스 내에 수지가 분산됨에 따라 수지와 매트릭스간의 계면결합력이 낮아져 brittle 해지기 때문으로 사료되었으며, EVA막의 경우 인장강도가 낮은 것은 PE 매트릭스보다 EVA의 탄성이 좋아 수지량에 관계없이 연신이 잘 되기 때문으로 판단되었다.

한편, Figure 5는 Figure 4와 동일한 배합비를 가진 막의 신율과 수지함량 변화와의 관계를 나타낸 것이다. Figure 5에서 보는 바와 같이 막의 신율은 이온교환수지의 함량이 증가함에 따라 모두 감소하는 경향을 보였으며, 수지량이 50 wt%까지 급격히 감소하다 그 이후에는 서서히 감소하는 경향을 보였다. 또한 EVA막의 신장률이 가장 높게 나타났으며, LLDPE막의 신율이 가장 낮게 나타나는 경향을 보였다.

Figure 5에서 보는 바와 같이 EVA 막의 신율이 최대 640%로 높게 나타나는 것은 EVA가 고무 특성을 나타내기 때문이며 반면 인장강도가 낮게 나타나는 것으로 사료되었다. Figure 4와 Figure 5의 결과로부터 불균질막의 기계적 물성은 LLDPE 매트릭스막이 가장 우수한 것으로 나타났으며, 따라서 전기투석장치에 제조한 막을 적용할 경우 막저항이 중요한 요소로 이를 고려하여 본 연구에

서는 LLDPE 수지를 매트릭스로 사용한 불균질막이 본 연구 목적에 적합할 것으로 사료되어 선정하였다.

불균질 이온교환막의 이온교환용량. 전기투석에서 이온교환용량은 막의 성능을 평가하는 중요한 척도이다. 따라서 본 연구에서도 제조한 불균질 이온교환막의 이온교환용량을 측정하였는데 그 결과가 Figure 6에 나타나 있다. Figure 6은 PE 및 EVA막의 이온교환수지 함량에 따른 막의 이온교환용량과의 관계를 나타낸 것이다. Figure 6에서 보는 바와 같이 막의 이온교환용량은 이온교환수지의 함량이 증가함에 따라 60 wt%까지 증가하다 그 이후에서는 서서히 증가하는 경향을 보였다. 또한 LLDPE 막의 경우 이온교환용량이 가장 크게 나타났으며, EVA막의 경우가 가장 낮게 나타나는 경향을 보였다. 이러한 이유는 PE막의 경우 용매 내에서 막내의 이온교환수지가 팽윤됨에 따라 PE 매트릭스도 함께 팽윤되어 이온의 이동이 자유롭기 때문에 이온교환수지의 기능이 발휘되기 때문에 높게 나타난다고 사료된다. 반면 EVA막의 경우 매트릭스 자체가 고무 성질을 가지고 있어 팽윤성이 떨어져 이온교환수지의 기능이 저하되기 때문으로 생각되었다.

불균질 이온교환막의 함수율. 매트릭스와 수지함량의 배합비를 변화시켜 제조한 불균질 이온교환막의 함수율을 측정하고 함수율과 수지 함량과의 관계를 도식한 결과가 Figure 7에 나타나 있다. Figure 7에서 보는 바와 같이 함수율은 막내 수지의 함량이 증가할수록 모두 증가하는 경향을 보였으며, PE막의 경우보다 EVA막의 함수율이 높게 나타나는 경향을 보였다. 이렇게 EVA막의 함수율이

높은 것은 기재인 EVA의 신율이 PE보다 높고, 분자내 acetate기가 있어 PE보다 친수성이 높아 막 제조시 첨가되어 있는 이온교환수지의 이온교환용량과 상관없이 불균질막으로 물분자의 투과가 용이하기 때문으로 사료되었다.

이온수송수 및 전기저항 특성. 불균질 이온교환막의 중요한 전기화학적 특성 중 하나인 이온수송수 및 막전기저항 측정 결과가 Figures 8, 9에 각각 나타나 있다. Figure 8은 막내 이온교환수지의 함량과 이온수송수의 관계를 나타낸 것으로 Figure 8에서 보는 바와 같이 이온교환수지의 함량이 증가함에 따라 이온수송수는 증가하는 경향을 보였다. 또한 EVA막의 이온수송수가 PE막보다 낮게 나타났으며 EVA막의 경우 이온수송수는 50 wt%까지 증가하다 그 이후에서는 큰 변화를 보이지 않았다. 또한 PE막의 경우 수지 함량이 증가함에 따라 약간 증가하였으나 큰 변화가 없는 것을 확인할 수 있었다. 한편 막의 전기저항은 EVA 수지의 함량이 증가함에 따라 모두 감소하였고, EVA막의 전기저항이 PE막보다 크게 나타났다. 이렇게 EVA막의 전기저항이 크게 나타나는 것은 EVA 자체의 특성에 기인하는 것으로 사료되고 또한 막의 두께에 영향이 있는 것으로 생각되었다.

결론

폐수중 암모늄 이온에 선택적 흡착특성이 있는 불균질 양이온교환막을 제조하고 이들의 특성을 평가하여 얻은 결론은 다음과 같다.

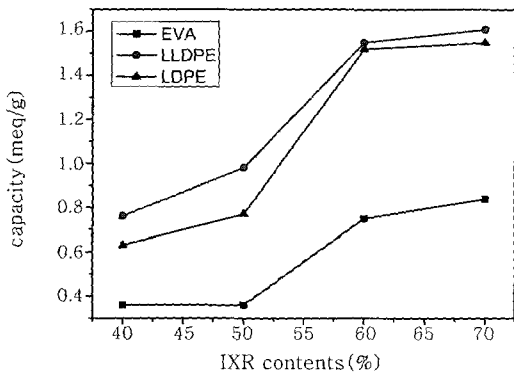


Figure 6. Effect of IXR contents on the Ion exchange capacity.

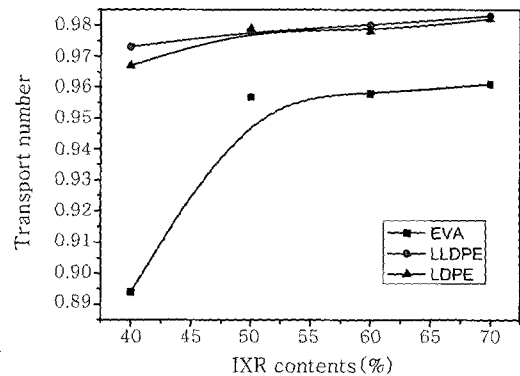


Figure 8. Effect of IXR contents on the transport number.

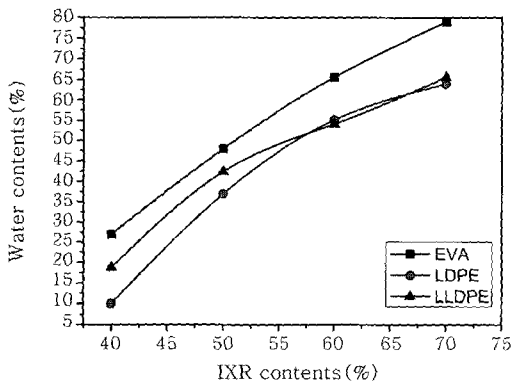


Figure 7. Effect of IXR contents on the water contents.

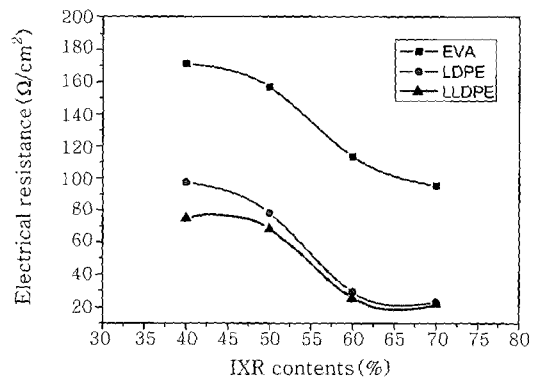


Figure 9. Effect of IXR contents on the electrical resistance.

1. 설폰화 양이온교환수지의 설폰화도는 설폰화제인 chloro-sulfonic acid의 함량이 증가함에 따라 증가하였고, 최대 설폰화율이 10 V%일때 이온교환용량은 3.32 meq/g 이었다.

2. 불균질 이온교환막의 인장강도와 신장률은 이온교환수지의 함량이 증가함에 따라 각각 감소하였으며 인장강도는 LLDPE막이 가장 높게 나타났으며, 신율의 경우 EVA막이 가장 높게 났다.

3. 불균질 이온교환막의 흡수율은 이온교환수지의 함량이 증가함에 따라 증가하였으며 이온수송수는 PE막의 경우 최대 0.973 이었고, 전기저항값은 LLDPE막이 가장 낮게 나타났으며 수지의 함량 70 wt%일때 $10.36 \Omega/\text{cm}^2$ 이었다.

감사의 글 : 본 연구는 산업자원부 지정 공주대학교 자원재활용 신소재연구센터(RIC/NMR)의 연구비 지원에 의하여 이루어졌으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. H. R. Lijnen and D. Collen, *Tromb. Haemost.*, **66**, 88 (1991).
2. K. H. Chung, M. W. Sunwoo, H. S. Woo, and S. B. Baik, *Korean J. Biotechnol. Bioeng.* **5**, 183 (1990).
3. J. R. B. Williams, *Brit. J. Exp. Pathol.*, **32**, 530 (1951).
4. O. K. Albrechtsen, *Acta Physiol. Scand.*, **39**, 284 (1957).
5. O. K. Albrechtsen, *Brit. J. Haematol.*, **3**, 284 (1957).
6. K. S. Kim, S. H. Kim, and I. H. Jung, *J. Kor. Ind. Eng. Chem.*, **12**, 560 (2001).
7. W. S. Winston and K. K. Sirkar, *Membrane Handbook*, Van Nostrand Reinhold, Marwell, 1992.
8. S. Tsuneda, K. Saito, H. Mitsuhashi, and T. Sugo, *J. Electrochem. Soc.*, **142**, 11 (1995).
9. W. Juda and W. A. McRae, *J. Am. Chem. Soc.*, **72**, 1044 (1950).
10. K. J. Liu, F. P. Chlanda, and K. J. Magasubramanian, *J. Membrane Sci.*, **2**, 109 (1997).
11. G. P. Simon, *Desalination*, **59**, 61 (1986).
12. T. Sata and R. Izou, *Colloid. Polym. Sci.*, **256**, 757 (1978).
13. U. S. Hwang and J. H. Choi, *J. KSEE*, **27**, 36 (2005).
14. H. J. Weimann and G. Malewski, *Spectrochim. Acta. A*, **24**, 789 (1968).