

기능성 나노섬유에 의한 중금속 이온의 제거에 관한 연구

안 형 환

충주대학교 테크노시스템공학부 안전공학과
(2004. 7. 12. 접수 / 2004. 9. 13. 채택)

A Study on the Removal of an Heavy Metal Ions by an Functional Nano Fibers

Hyung-Hwan An

Department of Safety Engineering, School of Technosystem Engineering, Chungju National University
(Received July 12, 2004 / Accepted September 13, 2004)

Abstract : This is the study for the removal of a toxic heavy metal ions and the recycling of expanded polystyrene wastes. Thus expanded polystyrene wastes collected from the packing materials of TV or chemicals and dissolved by 80wt.% solvent(N, N-Dimethylacrylamide), electrospun in DC 20kV by power supply.

Generally, the electrospinning is a process of manufacture to the fibers of nanosize from polymer solution.

Manufactured nanofiber mats by electrospinning were sulfonated by conc.-sulphuric acid with Ag_2SO_4 catalysts for the exchange capacity of heavy metal ions and the properties of structure with sulfonated time investigated by FESEM(Feild Emission Scaning Electron Microscope).

The ion exchange capacity of light metal(Na^+), Cd(II) and Ni(II), and by a nanofiber mats were 1.94[mmol/g-dry-mat], 1.72[mmol/g-dry-mat], 1.24[mmol/g-dry-mat], respectively., and water uptake content showed a similar trend with IEC. and The selectivity coefficients K_{H}^M of Cd(II), Ni(II) ions showed 0.324, 0.228. respectively

Key Words : ion exchange fiber, removal of heavy metal ions, electrospinning, nano fiber

1. 서 론

지난 몇 년 동안 산업의 발달과 인구의 증가로 인한 수질 오염은 점차 증가하고 있고 특히 수은이나 카드뮴과 같은 독성 물질은 아주 낮은 농도에서도 인체에 심각한 피해를 가져다주기 때문에 그 오염에 심각성을 더해준다. 이들 중금속들에 의해 오염되었을 경우 사람뿐만 아니라 각종 농작물 및 동물에 피해를 일으킴으로서 돌이킬 수 없는 결과를 낳을 수 있다.

따라서 이러한 중금속의 오염의 피해를 최소화하기 위하여 연구자들은 여러 가지 방법을 개발하여 왔다. 그 방법에는 화학 침강법(chemical precipitation), 응집(coagulation or flocculation), 이온교환이나 용매 추출, 복합체화(complexation), 전기화학적 조작 방법,

생화학적인 방법, 흡착(adsorption), 증발 및 여과 그리고 막(membrane)을 이용한 방법 등이 있다¹⁻³⁾. 이 방법들은 각각의 이들 만의 장단점을 가지고 있다. 이들의 장단점의 기준은 우선 공정의 단순성과 유연성 그리고 가격과 기술적 문제 및 유지 보수일 것이다.

폐기 유출물로부터 오염되는 중금속의 제거는 주로 화학적인 응집 및 침강 법을 활용하고 있다. 그러나 이것은 중금속의 오염 농도가 큰 경우에 주로 이용되고 낮은 농도의 경우는 흡착과 이온교환에 의한 방법을 사용하는 것이 일반적인 경향이다⁴⁾. 이러한 흡착에 의한 방법은 주로 흡착제로 실리카, 흙, 활성탄, 셀룰로오스와 그 유도체들을 이용하고 있고 이것을 사용하여 좋은 흡착능력을 보였다고 연구자들은 보고하고 있다⁵⁾. 그리고 이온교환에 의한 방법은 스티렌 모노머와 디비닐 벤젠을 공중합시켜 수 지형태로 만들어 사용하고 있다. 그러나 이것은 가

격이 비싸고 제조과정이 복잡하고 시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 그러므로 이러한 단점을 보완하기 위한 연구들이 진행되고 있으나 아직 미미한 정도에 불과하다⁶⁾.

또한 최근 플라스틱기술의 급격한 발전으로 과거의 금속 재질의 전기 전자 제품들의 케이스나 부품이 플라스틱으로 대체되고 있고, 상품의 가치를 높이고 운송과정에 제품의 변질 및 파괴에 대비하기 위한 수단으로 플라스틱류가 많이 사용되고 있다. 이러한 급격한 변화는 보건 및 환경에 큰 문제를 야기하고 있다. 특히 제품의 포장재로는 폴리스티렌을 발포시킨 소위 스티로폼이라는 것을 사용하고 있고 이 스티로폼의 사용은 전자제품 뿐만 아니라 각종 음식물의 포장 용기로서 각광을 받고 있다. 그러나 이러한 스티로폼의 폐기물은 주로 소각 및 매립처리하고 회수율도 저조한 편이다⁷⁻⁹⁾. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위하여 국내는 물론 국제적으로 높은 관심에 대상이 되고 있고 반드시 해결해야 할 필수적 과제이다.

이 문제의 가장 좋은 해결방법은 아마도 재활용 기술을 개발하고 재활용 율을 높이는 방법이라 하겠다. 그러나 재활용하기 위해서는 많은 에너지가 소요될 뿐만 아니라 기술 개발도 높은 기술이 요구된다¹⁰⁾.

일반적으로 폐 플라스틱들의 재활용 방법에는 크게 3가지로 분류할 수 있다. 첫째 화학적 변형에 의한 방법과 둘째 연소에 의한 방법 그리고 셋째 재료 그 자체를 다시 이용하는 방법이 있다. 이들 방법 중 화학적 변형에 의한 방법은 열분해를 통하여 모노머(monomer)로 전환하거나 가지기술(grafting technology)에 의한 공중합체를 만들어 여러 가지 기능을 갖는 막(membrane)을 만드는 방법이다. 그리고 연소에 의한 방법은 연소를 통해서 열 에너지를 얻는 방법으로서, 이러한 방법은 높은 에너지가 요구되고 연소할 때 발생하는 유해가스가 대기오염 문제를 크게 야기 시키기 때문에 2차적 처리 설비가 요구된다. 마지막으로 재료 그 자체를 다시 사용하는 방법은 아주 단순한 방법이다. 이 방법은 주로 플라스틱 공정 산업에 응용되는 방법으로 다른 플라스틱과 혼합 압출하여 물리적 특성을 변화시켜 각종 포장재나 단열재 등으로 사용하는 방법이다¹¹⁾.

폴리스티렌(polystyrene)의 재활용에 대한 연구는 여러 형태로 이루어지고 있다. L. B. Brennan, D. H. Isaac 등은 컴퓨터 케이스에 사용된 폐 고충격 폴리

스티렌 acrylonitrile-butadiene-styrene(ABS)을 혼합하여 여러 가지 기계적 특성을 검토한 결과 충격 특성만 제외하고 일반적으로 우수하다고 보고하였다¹²⁾. 그리고 Ali Karaduman, Emir H. Simsek 등은 열을 가한 고압의 솥(autoclave)에 용매로서 노르말펜탄(n-pentane)과 사이클로헥산(cyclohexane) 그리고 톨루엔(toluene)을 사용한 경우와 용매를 사용하지 않고 단지 온도를 400°C에서 열분해한 경우를 비교 실험한 결과, 열분해 후 잔여물을 기준으로 고체는 32%에서 5%미만으로 되었고 액체와 가스는 68%에서 95%로 전환되어 용매를 사용한 경우가 매우 우수하다고 하였다¹³⁾. 또한 Yirong Liu와 Jialin Qian 등¹⁴⁾은 유동화 반응장치를 이용하여 분해온도 450~600°C범위에서 폐 폴리스티렌을 분해 실험한 결과 최적 분해온도는 600°C이고 이 때 스티렌모노머의 수율은 78.7%이었고 이것을 진공 반응후 순도 99.6%의 스티렌 모노머를 얻었다고 발표하였다. XI Guoxi, Liang Rui 등¹⁵⁾은 폐 폴리스티렌을 열분해하는데에 금속촉매 Al, Zn, Fe, Ni, 그리고 Cu가 큰 영향이 있다고 보고하였다. Lee와 Noh등은 폴리스티렌과 폴리에틸렌(polyethylene) 그리고 폴리프로필렌(polypropylene)을 400°C에서 촉매를 이용한 반회분식 조작(semi-batch operation)에 의해 분해 실험한 결과 80%이상 수율로 분해 액체를 얻었다고 하였다¹⁶⁾. 이외에 연구자들이 폐 폴리스티렌을 열분해나 광분해를 이용하여 스티렌모노머를 얻기 위하여 많은 노력을 기울이고 있다¹⁷⁻¹⁹⁾. 그러나 이러한 연구들이 주로 에너지가 많이 소비되는 방법으로 실질적 오염문제를 해결하기는 어려울 것이다.

따라서 본 연구에서는 대기 및 토양오염의 주범인 페스티로폼 문제를 해결하고 산업 폐수로 인한 중금속 피해를 최소화하기 위한 방법으로 기존의 방법보다 한층 진보된 방법 즉, 폐 스티로폼을 용매(N, N-Dimethylacrylamide)에 녹여 전기적인 방사에 의해 나노크기의 직경을 갖는 섬유로 매트를 만들고 이것에 중금속 이온을 제거할 수 있는 기능을 부여하는 방법으로 중금속 제거 능력을 조사하고자 하였다. 이러한 교환능력을 갖는 나노 매트와 특성을 측정하기 위해 전계방사전자현미경(FESEM)을 이용하였다. 그리고 기능성 나노 매트의 교환능력(ion exchange capacity)과 물 흡수함량(water uptake content %), 카드뮴 이온과 니켈 이온의 흡착 등은, 선택계수를 조사하여 환경 안전관련 기초자료로 활용하고자 하였다.

2. 실험방법 및 재료

2.1. 기능성 나노 매트 준비

중금속 이온 능력을 갖은 페스티로폼의 기능성 나노섬유를 제조하기 위하여 약품 포장용 케이스(페스티로폼) 및 전자제품 포장용 케이스를 수집하였다. 이것을 약 0.5mm이하의 크기로 절단한 후, 용제인 N, N-Dimethylacrylamide(Aldrich, 99%) 100mL (99.13g)에 넣고 24시간 교반한다. 기포 및 첨가제가 일부 분리된 용액을 피펫(약 2mL)에 넣고 power supply(Gamma, ES40P-5W)를 이용하여 약 15~25kV 범위에서 Fig. 1에서와 같이 electrospinning을 실시하였다. 이 때 피펫 끝에서 방사되는 나노 크기의 섬유는 접지 판을 향하여 모아지게 되고 이렇게 접지 판에 모여져 만들어진 매트는 70℃ 오븐에서 24시간동안 건조하고 FESEM(field emission scanning electron microscope)을 이용하여 그 구조적 특성을 보았다.

2.2. 슬폰화

준비된 매트를 크기 약 5×5cm² 정도로 절단한 후 촉매화된 황산 용액(100mL)에 넣고 시간 변화에 따라 5분에서 3시간까지 변화시켜가며 슬폰화 시킨다. 이때 촉매는 Ag₂SO₄(Sigma, 98%)로 0.2g을 사용하였다. 이렇게 하여 슬폰화된 매트는 용액에서 꺼내어 황산용액의 농도를 70%, 50%, 30%로 조절하여 순차적으로 2시간씩 황산용액을 닦아내고 최종적으로 초순수 증류수(18.3mΩ 이상)에서 24시간 다시 반복적으로 세척하였다. 깨끗이 세척된 매트를 항온조(70℃)에 넣고 24시간 건조하여 정확히 무게를 측정하였다.

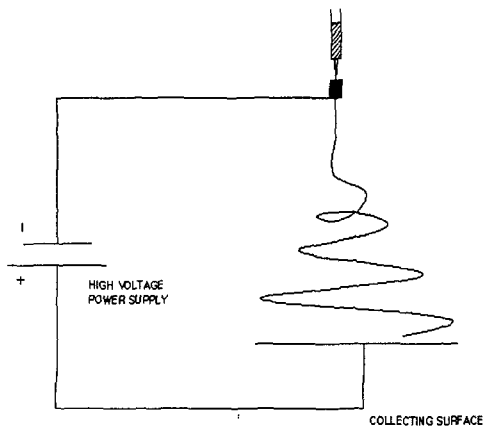


Fig. 1. Schematic diagram of electrospinning process.

2.3. 교환능력 측정

여러 가지 과정을 거친 후 매트의 교환능력을 측정하기 위하여 NaCl(Aldrich, 99.5%) 용액 0.1M을 이용하여 식 2-1에 의해 양이온교환 능력을 측정하였다. 이 때 농도분석 방법은 pH와 농도와의 보정곡선을 작성하고 pH미터를 이용하여 H⁺이온농도를 측정하였다.

$$IEC = \frac{C_o - C_i}{W_{(dry-mat)}} \dots \dots 2-1$$

여기서 IEC는 이온교환 능력[mmol/g-dry-mat]을 나타내고 C_o는 나중 H⁺이온의 농도[mmol], C_i는 처음 H⁺이온의 농도[mmol], 그리고 W는 매트의 질량[g]이다. 이 때 기능성 나노 매트와 용액에서의 이온과의 이온교환은 nRSO₃H + M⁺ ↔ nRSO₃Mn⁺ + nH⁺의 원리로 이루어진다.

2.4. 물 흡수 함량(water uptake content)

슬폰화되기 전의 매트와 슬폰화 후의 매트에 대한 물 흡수 함량을 측정하기 위하여 24시간동안 70℃ 항온조에서 완전건조 시킨 매트를 정확히 무게를 측정하고 순수 증류수에 약 3시간 동안 담군다. 그리고 꺼내어 표면의 물기를 티슈를 이용하여 접촉 제거한 다음 무게를 측정한다. 이렇게 하여 측정 무게는 식 2-2에 의해 물 흡수 함량을 구하였다.

$$W_{up} = \frac{W_o - W_i}{W_i} \dots \dots 2-2$$

W_{up}[weight ratio]는 매트 질량에 대한 무게비율을 나타내고, W_o[g]는 나중 질량, W_i[g]는 초기 질량이다.

2.5. 온도의 대한 영향

온도에 대한 이온교환 능력에 영향을 위하여 주된 제작한 항온조(±0.5℃)를 이용하였고 온도의 범위는 15~80℃이었다. 측정은 0.1M NaCl용액의 온도를 조절하여 일정한 상태에 도달하였을 때 나노섬유를 넣어 실험하였다.

2.6. 카드뮴 이온과 니켈 이온의 흡착

카드뮴 흡착에 관한 본 실험에 들어가기 전에 예비실험을 통하여 pH에 관한 실험을 하였다. 예비 실험 방법은 산-염기 적정법을 이용하였으며 pH가 2 이하에서는 H⁺이온의 다량 존재로 인하여 교환된

H^+ 이온과 기존의 H^+ 이온 때문에 교환 능력 측정이 불가능하였고 pH가 7이상에서는 pH조절을 위한 첨가 양이온에 영향을 받아 정확한 교환능력을 측정하기 어렵기 때문에 우리는 흡착시키고자 하는 이온만 순수(pH 6.3)에서 제조하여 흡착실험을 실시하였다. 이때 사용한 시약은 0.1M cadmium sulfate (Aldrich, 98%)와 0.1M nickel(II) chloride hexahydrate (Aldrich, 99.5%)를 사용하였다. 그리고 18.3m Ω 이상의 초순수를 사용하였다. 그리고 금속이온의 농도는 ICP(inductively coupled plasma spectrometer, Optima 2000DV)를 이용하였다.

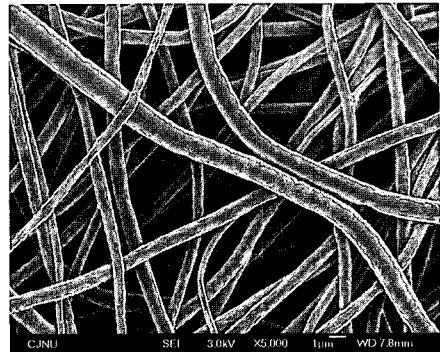
3. 결과 및 고찰

3.1. 나노매트의 구조적 특성

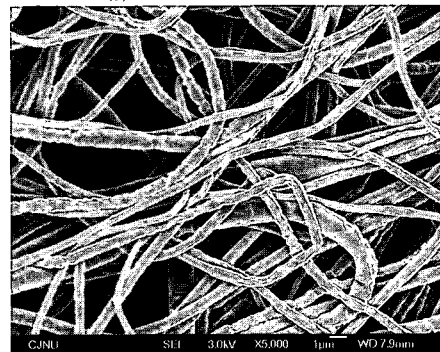
페스티로폼의 재활용과 동시에 독성이 강한 카드뮴 이온과 니켈 이온을 제거하는 기능성 나노매트를 제작하고 이들 이온들의 교환 특성을 보고자 하였다. 제작 방법은 위에서 언급한바와 같이 페스티로폼을 비이커에 넣고 용매에 녹여 약 20wt.%의 용액을 조제한 후 power supply DC 15~20kV를 인가하여 알루미늄 접지 판(ground)을 향해 방사를 행하였다. 이렇게 만들어진 매트 는 Fig. 2에 (a)에서 보는 바와 같이 약 1 μ m의 직경을 갖는 가는 가닥 nonwoven 섬유로 서로 무질서하게 엉겨 있는 모습을 볼 수 있다. 이 때 이 매트의 표면적은 specific surface area analyzer(ASAP 2010 Micropore, Micromeritics)을 사용하여 [65m²/g]으로 측정되었다.

3.2. 매트의 술폰화에 따른 구조적 특성

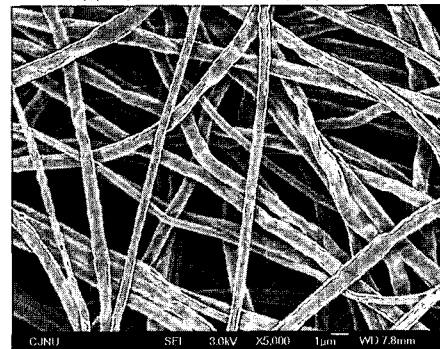
전기방사에 의해 만들어진 약 0.5mm의 두께를 갖는 매트를 조심스럽게 가로 10cm, 세로 10cm로 잘라 이들을 200mL 비이커에 진한 황산 100mL와 촉매로서 Ag₂SO₄ 0.2g과 함께 넣고 시간을 5분~3시간까지 변화시켜가며 술폰화 하였다. 이때 술폰화 과정에서 매트는 투명하게 된다. 이렇게 시간에 맞게 술폰화된 매트는 핀셋으로 조심스럽게 꺼내어 70%, 50%, 30%의 황산용액에 차례로 2시간씩 세척한 다음 마지막으로 순수 증류수로 24시간 동안 담고 꺼내어 5회 이상 새로운 증류수로 반복 세척하였다. 이렇게 세척된 매트는 70℃오븐에서 24시간 건조한 다음 꺼내어 질량을 정확히 측정한다. 이렇게 만들어진 매트의 구조적 특성의 변화를 알아보기 위하여 전계방사 전자현미경(FESEM)을 이용하여 관찰하였다.



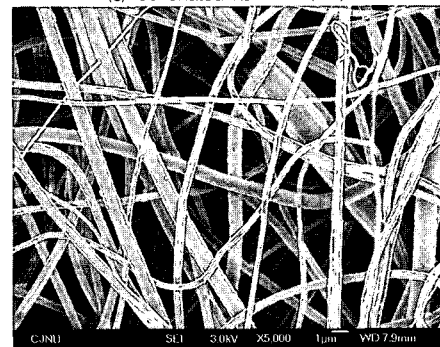
(a) Nonsulfonated nanofiber.



(b) Sulfonated nanofiber(10minute).



(c) Sulfonated nanofiber(1hr).



(d) Sulfonated nanofiber(3hr).

Fig. 2. Scanning electron micrographs of nanofiber by waste polystyrene foam on sulfonation time.

Fig. 2에 나타낸 (b), (c), (d)의 경우는 슬폰화 시간을 10분, 1시간, 3시간으로 변화시켜 슬폰화에 따른 구조적 변화를 알아보기 위한 그림으로 가속 전압 3kV에서 5,000배의 배율로 관찰하였다. 이 때 슬폰화 시간이 길어지면 길어질수록 섬유 직경이 작아져 1 μ m에서 약 0.5~0.8 μ m까지 가늘어지는 경향을 나타내었다. 이 때 비표면적 변화는 65 [m²/g]에서 71[m²/g]로 증가되었다. 이런 현상은 슬폰화 과정 중 진한 황산에 의하여 표면이 일부 용해되는 것이라 판단된다. 따라서 슬폰화 시간과 IEC의 관계는 섬유의 단위 질량당 슬폰화 시간이 길어질수록 IEC가 커지는 것으로 예측이 가능하다. 그러나 슬폰화 시간이 일정시간 이상 길어질(2시간 이상) 경우 IEC가 일정하게 되어 한계 보였다. 이러한 현상은 슬폰화 시간이 일정시간 이상 길어질 경우 섬유 표면으로 부터 내부로 침투 황산의 한계로 인하여 슬폰화가 더 이상 이루어지지 못하여 한계가 있는 것으로 판단된다. 이 때 이론값은 5.43mmol/g이다.

3.3. IEC(ion exchange capacity)의 측정

Fig. 3은 슬폰화 시간과 이온교환능력의 관계를 나타낸 그림으로서 슬폰화 시간이 150분까지는 슬폰화 시간이 길면 길수록 이온교환능력이 커지는 현상을 알 수 있다. 그러나 150분 이후에는 이온교환능력(IEC)이 일정하게 나타나 각각 Na⁺: 1.94[mmol/g-dry-mat], Cd²⁺: 1.72[mmol/g-dry-mat], Ni²⁺: 1.24[mmol/g-dry-mat]인 것으로 나타났다. 따라서 이러한 현상은 슬폰화 과정에서 어느 한계 시간이 지날 경우 매트 내에 섬유의 슬폰화가 더 이상 진행되지 못하기 때문이라고 판단된다.

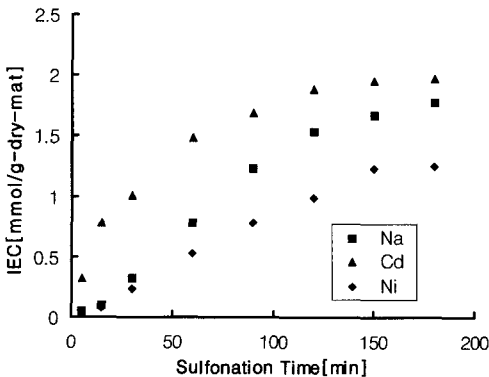


Fig. 3. Effect of IEC on sulfonation time.

3.4. 물의 흡수능력(water uptake content)

이온교환막의 이온교환 능력을 측정할 때 주로 물의 흡수 능력을 검토하는 것이 일반적이라 할 수 있는데 이것은 슬폰화되지 않은 모재가 슬폰화가 이루어짐에 따라 소수성(hydrophobic property)에서 친수성(hydrophilic property)으로 변화됨으로써 물의 흡수력이 늘어나기 때문이다. 왜냐하면 이온교환막이라 하는 것은 특정 이온을 분리하기 위해서 특정의 분리 능력을 막에 부여하여야 한다. 특히 양이온 교환 막의 경우는 슬폰화를 통하여 이러한 기능성을 부여하고 있다. 따라서 본 연구에서도 물의 흡수 능력과 이온교환능력과 연관성이 있는 것인가 대한 실험을 실시한 결과 Fig. 4에서 볼 수 있는 것과 같이 이온교환능력은 물의 흡수 능력과 거의 같은 경향을 보인다는 것을 알 수 있었다.

3.5. 기능성 섬유와 양이온교환 막의 특성 비교

균일성 막(homogeneous membrane) H⁺ Type의 Nafion 117과 H⁺ Type의 비균일성 나노 매트(heterogeneous nanomat)의 물리적 특성 및 교환 능력 등을 Table 1에 나타내었다. Table 1에서 보는데와 같이 이온교환 능력의 경우 Nafion 117이 1.4[mmol/g]이고 나노 매트는 1.94[mmol/g]인 것을 알 수 있었다.

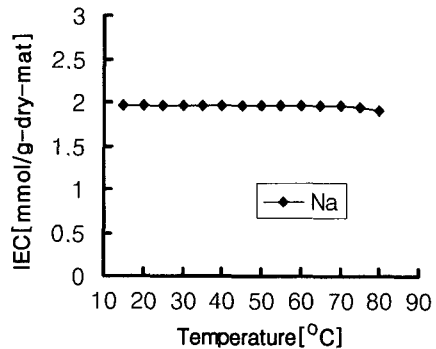


Fig. 4. Effect of water uptake content on sulfonation time.

Table 1. Properties of Nafion 117 membranes and nano-mat

	Nanommat (experiment)	Nafion 117	Cation Exchange Resin
Type	Heterogeneous	Homogeneous	Heterogeneous
Ionic form as shipped	H ⁺	H ⁺	H ⁺
Exchange capacity	1.94mmol/g	1.37mmol/g	0.6-1.7meq/mL
Thickness or Mesh	0.32mm	0.200mm	50-400
Specific surface area	71m ² /g	-	-

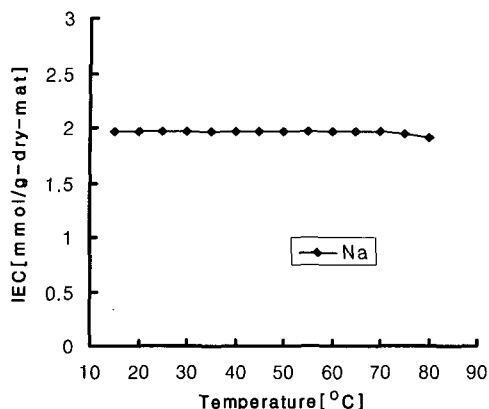


Fig. 5. Effect of IEC on temperature.

3.6. 온도와 IEC에 관한 영향

Fig. 5는 온도에 따른 이온교환 능력의 영향을 살펴보기 위하여 온도를 15~80°C로 변화시켜가며 측정된 결과를 나타낸 그림으로서 온도에 큰 영향은 받지 않으나 75°C와 80°C에서 약간의 영향이 있어 이온교환 능력이 저하되는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 온도가 올라가면 폴리스티렌에 결합되어 있는 슬폰산기의 이완으로 인하여 교환능력이 떨어지는 것으로 판단된다. 이러한 현상은 일반적인 물리적 흡착인 경우 온도 증가에 따라 $\Delta G^\circ = -RT \ln K_e$ 가 증가 증가하기 때문에 분배계수 K_d 와 평형상수 K_e 는 증가된다. 그러나 이온교환 매트리의 경우 온도가 높아지면 고정된 슬폰산기가 분리되어 이온흡착의 확률이 떨어지고 그에 따른 교환 능력이 떨어지는 것으로 판단된다.

3.7. Cd^{2+} , Ni^{2+} 이온의 흡착 등온과 선택계수

카드뮴 이온과 나트륨 이온 그리고 니켈 이온에 대한 IEC[mmol/g-dry-mat]와 이온 농도에 대한 흡착 등온을 알아보기 위하여 실험한 결과 Fig. 6과 같이 나타났다. 초기 농도가 증가함에 따라 나트륨 이온, 카드뮴 이온, 그리고 니켈 이온 모두가 IEC의 증가를 볼 수가 있다. 단, IEC의 경우 나트륨 이온이 가장 큰 것으로 나타났다. 이것은 같은 온도에서 grain 크기에 따른 용액내에서의 확산속도 및 섬유 내에서의 이동도 및 SO_3^- 이온과의 결합력에 따른 결과이다. 이때의 실험 조건은 25°C에서 Na^+ 의 실험과 마찬가지로 $3CdSO_4 \cdot H_2O$ 와 $NiCl_2 \cdot 6H_2O$ 5mmol에서 50mmol까지 변화시켜 실험하였다. 그림에서 보는 바와 같이 세 가지 이온 모두가 농도의 증가에 따라 흡착량[mmol]이 증가하는 것을 알 수 있었고 흡착

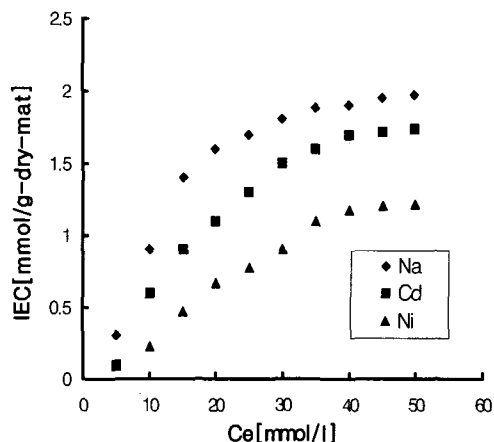


Fig. 6. Adsorption isotherms of Cd(II), Na(I) and Ni(II) on nano-mats.

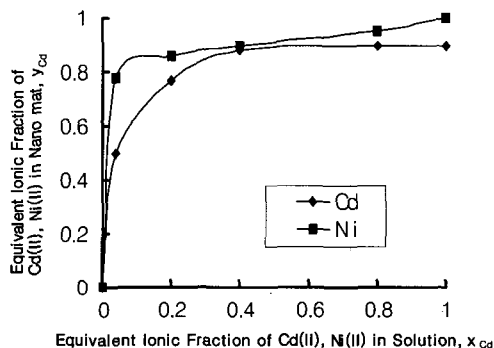


Fig. 7. Equivalent ionic fraction and selectivity coefficient ($K_H^{Cd,Ni}$) of Cd(II), Ni(II) for nano-mats.

량은 물질에 따라 달리 나타남으로서 선택도가 다른 것을 알 수 있었다. 기능성 섬유에서 H^+ 이온에 대한 카드뮴 이온과 니켈 이온에 대한 선택계수는 $K_H^M = [y_H(1-X_H)^3 C_T^2] / [(1-y_H)^3 X_H IEC^2]$ 로 나타낼 수 있고 여기서 y 는 섬유내에서 상당이온 분율이고 X 는 용액에서의 상당이온 분율이다. C_T 는 전해질[mmol/l]에서 총 농도, IEC는 교환능력을 나타낸다. 그리고 M 은 금속이온이다. 선택계수의 실험은 전해질의 총농도(C_T)를 50[mmol/l]로 하고 흡착시간 30분을 기준으로 실험하였다. 따라서 H^+ 이온에 대한 Cd^{2+} , Ni^{2+} 이온의 선택계수는 Fig. 7에서 볼 수 있는 바와 같이 각각 $K_H^{Cd} = 0.324$, $K_H^{Ni} = 0.238$ 이었다.

4. 결론

본 연구는 독성 물질인 카드뮴 이온과 니켈 이온

의 제거를 위하여 페스치로폼을 electrospinning과정을 거쳐 매트를 만든 후, 슬폰화하여 이온교환이 가능한 기능성 나노매트를 제조하였다. 이렇게 하여 얻어진 기능성 나노매트의 특성을 알아보기 위해 실험적으로 얻은 결과는 다음과 같다.

1) 슬폰화 시간의 증가에 따라 매트를 구성하고 있는 섬유 직경이 용매의 영향으로 $1\mu\text{m}$ 에서 약 $0.8\mu\text{m}\sim 0.5\mu\text{m}$ 까지 점차 작아지는 경향을 보여 단위 질량당 접촉 면적이 $65[\text{m}^2/\text{g-dry-mat}]$ 에서 $71[\text{m}^2/\text{g-dry-mat}]$ 로 증가하는 현상을 보였다.

2) 이온교환능력과 슬폰화 시간에 대한 영향은 슬폰화 시간이 커지면 커질수록 증가하나 그 값은 한계가 있는 것으로 나타났다. 따라서 나트륨 이온과 카드뮴 이온 그리고 니켈 이온의 교환능력은 $1.94[\text{mmol/g-dry-mat}]$, $1.72[\text{mmol/g-dry-mat}]$, $1.24[\text{mmol/g-dry-mat}]$ 임을 알 수 있었다. 또한 물의 흡수 능력과 교환 능력은 유사한 경향을 보였다.

3) 온도에 대한 이온교환능력을 알아보기 위하여 온도를 $15\sim 80^\circ\text{C}$ 까지 변화시켜 실험한 결과 온도에 많은 영향을 미치지 않는으나 75°C 이상에서는 작은 변화를 보여 IEC가 작아지는 것을 알 수 있었다.

4) 카드뮴 이온과 크롬이온의 선택계수를 알아본 결과 각각 $K_H^{\text{Cd}} = 0.324$, $K_H^{\text{Ni}} = 0.238$ 로 나타남으로서 이온 교환의 선택성이 $\text{Na} > \text{Cd} > \text{Ni}$ 순서이었다.

참고문헌

- 1) D. Bhattacharyya, D. A. Jumawan, G. Sun, K. Sschwitezbel, AIChE Symposium Series, Water-1980, 77(209), pp. 31, 1981.
- 2) T.L. Jester, T.H. Taylor, Proceedings of the 28th Purdue Industrial Waste Conference, Vol. 28, pp. 129, 1973.
- 3) F. Banat, S. Al-Asheh, D Al-Rousan, Adsorption Sci. Technol. Biotechnol., pp. 66, 1996.
- 4) Bpgpczel, R., Kocioek-Balawejder, E. and Kogut, A., Usuwanie jonówrtczive scieków., Przem. Chem. 68, pp. 83~85, 1989.
- 5) G. Bereket, A. Argouz, M. Ozel, J., Colloid Interface Sci. pp. 187, 1997.
- 6) J.C. Moreira, L.C. Paran, Y. Gushikem, Mikrochim, Acta III, pp. 167, 1996.
- 7) Wioletta Bajdur, Justyna Pajaczkowska, "Effective polyelectrolytes synthesised from expanded polystyrene wastes", European Polymer Journal, 38, pp. 299, 2002.
- 8) Yoshinnari Taguchi, Masato Tanaka, "Preparation of Microcapsules Composed of Waste-Expanded Polystyrene and Paper Fiber by Semichemical Recycle", Journal of Applied Polymer Science, Vol. 80, pp. 266, 2001.
- 9) Zhang Zhibo, Suehiro Nishio, Yoshio Morioka, Akifumi Ueno, "Thermal and chemical recycle of waste polymers", Catalysis Today, 29, pp. 303, 1996.
- 10) A.M. El-Nashar, Energy and water conservation through recycle of dyeing waste water using dynamic ZrC(V)-PAA membrane, Desalination, 33, pp. 21, 1980.
- 11) Aiman M Atta, "Graft copoly merization of Polyisobutylene and Polychlorobutyl onto Polystyrene Waste", Polymer International, 48, pp. 837, 1999.
- 12) L.B. Brennan, D.H. Isaac, J.C. Arnold, "Recycling of Acrylonitrile-Butadiene-Styrene and High Impact Polystyrene from Waste Computer Equipment", Journal of Applied Polymer Science, Vol. 86, pp. 572, 2002.
- 13) Ali Karaduman, Emir H. Simsk etc., "Thermal degradation of Polystyrene Waste in various solvents", Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, 62, pp. 273, 2002.
- 14) Yirong Liu, Jialin Qian, Jianqiu Wang, "Pyrolysis of polystyrene waste in a fluidized-bed reactor to obtain styrene monomer and gasoline fraction", Fuel Processing Technology, 63, pp. 45, 2000.
- 15) XI Guoxi, Liang Rui, Tang Qinhu, Li Jinghua, "Mechanism studies on the catalytic degradation of waste polystyrene into styrene in the presence of metal powers", Journal of Applied Polymer Science, Vol. 73, pp. 1139, 1999.
- 16) K.H. Lee, N.S. Noh, D.H. Shin, Y.H. Seo, "Comparison of plastic types for catalytic degradation of waste plastic into liquid product with spent FCC catalyst", Polymer Degradation and Stability, 78, pp. 539, 2002.
- 17) A. Karaduman, E.H. Simsk, B.Cicek, A.Y. Bilgesu, "Flash pyrolysis of polystyrene waste in a free-fall reactor under vacuum", Journal of Analytical and

안 형 환

- Applied Pyrolysis, 60, pp. 179, 2001.
- 18) W. Stevenson, J. R. White, "Photosensitivity of recycled photo-degraded polystyrene", Journal of Materials Science, 37, pp. 1091, 2002.
- 19) M. Joshi, A. K. Mukherjee, B. D. Thakur, "Development of a new styrene copolymer membrane for recycling of polyester fibre dyeing effluent", Journal of Membrane Science, 189, pp. 23, 2001.