

전기탈이온 장치용 이온교환섬유의 합성과  
특성분석, 그리고 원자력 발전소에서의 응용

연경호, 송점훈, 최용진, 문승현  
광주과학기술원 환경공학과

Preparation and characterizations of ion-exchange  
textiles, and its applications in a nuclear power plant

Kyeong-Ho Yeon, Jung-Hoon Song, Yong-Jin Choi, Seung-Hyeon Moon  
Department of Environmental Science and Engineering,  
Kwangju Institute of Science and Technology

1. 서론

전기탈이온 공정을 이용한 원자로 일차냉각수 정화에서, 이온전도성 스페이서인 이온교환섬유의 영향이 조사되었다. 본 연구의 목적은 기존 이온전도성 스페이서로 사용하던 이온교환수지에 비해 높은 반응속도 상수와 여과계수를 가지며 취급이 용이한 이온교환섬유를 합성하는데 있다.

2. 이론

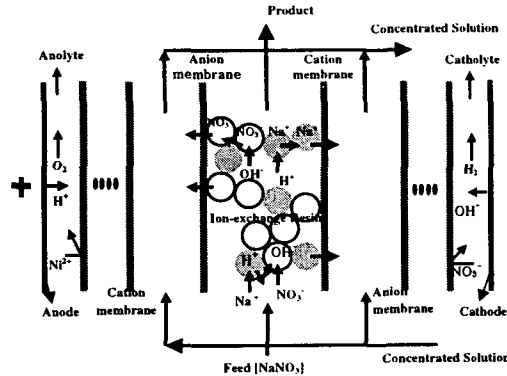


그림 1에서 보는 바와 같이 전기투석의 회석실에 이온교환수지와 같은 이온교환매개체를 충전한 공정이 전기탈이온 공정이다. 원수보다 높은 전기전도성이 있는 이온교환매개체를 충전함으로써 이온의 전달을 촉진하며 이온교환매개체는 전기장하에서 연속적으로 재생된다. 따라서 폐이온교환수지의

Fig. 1. Schematic diagram of the CEDI system 발생이 없으며 이온교환수지탑과 다르게 재생을 위하여 화학약품이 필요하지 않다. 그러나, 회석실에서의 500~650 $\mu$ m 크기의 이온교환수지 충전과 이를 이용한 스택조립은 용이하지 않으며 회석실에서 중력에 의해 아래로 물리거나 운전시 유입압력에 의해

이온교환수지가 유출쪽으로 쏠리는 현상이 발생된다. 이러한 현상은 유입수의 관로흐름 (channelling of flow)을 유발하고 이온교환수지의 균일하지 않은 분포로 인해 유효막면적을 감소시켜 전기저항의 증가와 더불어 전류효율을 감소시킨다. 따라서 그림 2와 같이 방사선이 조사된 폴리프로필렌 부직포에 이온교환기를 갖는 단량체를 그래프트 중합시켜 양이온 교환섬유와 음이온 교환섬유를 합성하였다.

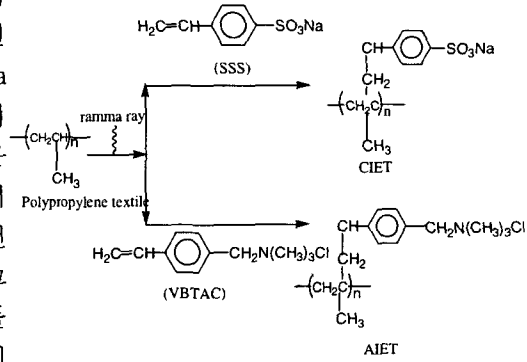


Fig.2. Synthesis of ion-exchange textile(IET)

### 3. 실험

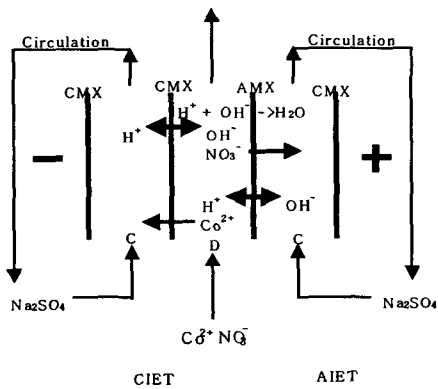


Fig. 3. Cell configuration of the CEDI

정운전을 위하여 그림 3 에서와 같이 다층식충전방법(layered bed)을 이용하여 실험하였으며, CIET와 AIET의 부피비를 3:2로 하여 실험을 하였다. 다층식 충전방법은 양이온을 먼저 제거하기 위해 양이온교환섬유(CIET)를 충전하고, 그 다음 음이온제거를 위해 음이온교환섬유(AIET)를 충전하는 방법이다. 이는 전기탈이온 스택내에서 발생하는 수산화이온과 유입수 중의 금속이온의 반응을 억제하기 위해 적용되었다.

### 4. 결과 및 토론

#### 4.1 이온교환섬유의 특성분석

전기탈이온 장치에 이용될 이온 교환 섬유를 제조하기 위하여  $10 \times 10 \text{cm}^2$  크기의 폴리프로필렌 부직포(전방산업)를 방사선으로 조사한후 양이온교환섬유는 Sodium Styrene Sulfonate(SSS)를 이용하여 제조하였고, 음이온교환섬유는 vinylbenzyl trimethyl ammonium chloride (VBTAC)을 이용하여 제조하였다. IET의 특성분석을 위하여 전기전도도, 반응속도, 흡착등온식, Pore Plug model, 전기탈이온 스택내에서의 여과속도 등 다양하게 수행되었다.

**4.1.1 FT-IR 스펙트럼**

합성된 이온교환섬유를 FT-IR분석하였다. 그 결과 합성된 이온교환섬유가 약 1200~1250cm<sup>-1</sup>에서 Sulfonic acid group을, 1600~1650cm<sup>-1</sup>사이에서 aromatic group을 가지고 있음을 확인 할 수 있었다.

**4.1.2 pH영향**

Co(II) 제거에 대한 IET의 pH에 대한 영향을 조사한 결과 코발트이온은 pH 8.5 이상에서 수산화이온과 침전현상을 일으키며 pH 2~8사이에서 IET에 의해 99%이상 제거됨을 알 수 있었다.

**4.1.3 등온흡착식**

코발트이온의 등온흡착식을 조사Table 1. Adsorption capacity and energy from langmuir adsorption isotherm 한 결과 용액농도와 흡착되어진 양

사이의 그래프로부터 Langmuir 등온흡착식이 적합한 것으로 판단되었으며 표 1에 그 결과를 나타내었다. IET의 경우 IRN77보다 흡착용량이 상대적으로 적음에도 불구하고 흡착에너지가 적기 때문에 같은 용액농도에 대해서 흡착이 일어나기 쉬움을 나타낸다. 이러한 현상은 가교결합이 없는 IET의 구조적인 특성 때문에 이온의 이동이 가교결합이 있는 IRN77보다 촉진되기 때문인 것으로 사료된다.

Ion exchange media	Adsorption capacity Q <sub>o</sub> , mg/g	Adsorption energy b, dm <sup>3</sup> /mg
IRN77	833.33	12.00
CIET	23.15	3.00

**4.1.5 반응속도상수**

Table 2. Rate constants for the removal of Co(II) IET와 코발트 용액사이의 흡착반응속도를 조사하여 그 결과를 표 2에 나타내었다. 반응속도 상수는 IET의 가교결합이 없는 구조적인 특성 때문에 이온교환수지보다 100배 높은 것으로 측정되었다.

NO.	Media	Co(II)농도 (mg/l)	Overall rate constant k= k <sub>1</sub> +k <sub>2</sub> (h <sup>-1</sup> )
1.		50	1.4626
2.	IRN77	100	1.3111
3.		150	1.2376
4.		50	147.0
5.	CIET	100	115.7
6.		150	105.8

**4.1.6 스택내 여과계수**

전기탈이온 스택내에서 여과실험을 수행하여 각 이온전도성 스페이서의 수리적 저항을 측정하였다. IET의 경우 18000 l/m·hr·bar이었으며 IRN77(0.87g/cm<sup>3</sup>)의 경우 9000 l/m·hr·bar이었다. IRN77의 경우 용액의 유입압력에 의해 수지가 쏠리는 현상이 발생하였으나 IET의 경우 0.36~0.45g/cm<sup>3</sup>의 밀도로 인해 매우 높은 여과계수를 나타내었다.

## 4.2 Porous plug model

이온전도성 매개체의 전기적인 이동현상을 이해하기 위해서 Porous plug 모델을 이용하여 특성분석을 하였다. 그림4에서 보는 바와 같이 IET와 IRN77 모두 전기적인 이동경로가 용액(그림의 흰부분)보다 이온교환물질(그림의 회색부분)을 통해 대부분 이동함으로써 이온의 이동을 촉진하는 것으로 조사되었다. 따라서 전기장하에서 이온의 이동을 촉진하는 이온전도성 스페이서로 적합한 것으로 판단되었다.

## 4.3 다층식 충전법을 이용한 전기탈이온 공정

다층식 충전 방법에 의한 전기탈이온 시스템의 제거효율은 99% 이상을 나타내었으며 정상상태에

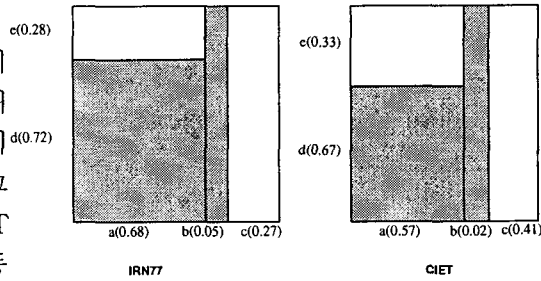


Fig. 4. Ratio configuration for conductance through the solid phase and the solution phase; Gray blocks are solid phases and white blocks are solution phases

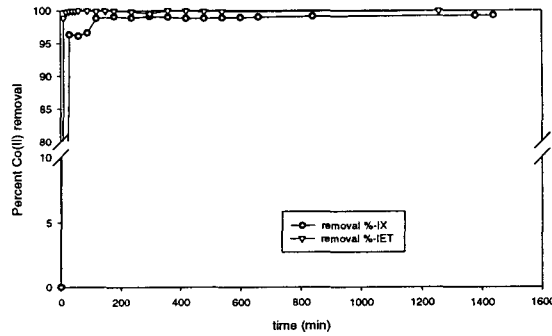


Fig. 5. Variation of Co(II) percent removal with time

도달하는 시간이 이온교환수지보다 빠른 것으로 조사되었다.

## 5. 결론

가교결합이 없는 이온교환섬유는 총괄비표면적의 증가와 더불어 높은 속도상수와 여과계수를 가지기 때문에 이온전도성 스페이서로서 적합한 것으로 판단되었다. 또한 전기탈이온 공정의 주요한 영향인자는 이온교환용량보다는 이온교환속도에 좌우되는 것으로 사료되었다.

## 5. 사사

본 연구는 한국과학기술기획평가원(KISTEP)에서 주관하는 국가지정연구실(NRL) 사업(Project No. 2000-N-NL-01-C-185)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 6. 참고 문헌

1. Kyeong-Ho Yeon and Seung-Hyun Moon, Principles and applications of continuous electrodeionization, Vol.11, No.2, June, (2001) pp61-65