

전기탈이온 공정운전중 이온교환섬유에서의 니켈이온의 이동도 결정

심봉섭, 송정훈, 이진우, 문승현*
광주과학기술원 환경공학과

Determination of Apparent Mobility of Nickel Ion in a Cation Exchange Textile during CEDI Operation

Bong-Sup Shim, Jung-Hoon Song, Jin-Woo Lee, Seung-Hyeon Moon
Department of Environmental Science and Engineering,
Gwangju Institute of Science and Technology

1. 서론

양이온 교환섬유를 충전한 전기탈이온 시스템에서의 이온의 이동도를 밝히는 것은 시스템에서의 플럭스 예측 및 모델링 수식에서의 중요한 인자가 되어 시스템 디자인에서 매우 중요한 역할을 한다. 따라서, 본 연구를 통하여 이온교환매개체에서의 이동현상 해석과 전기탈이온 시스템의 최적 설계조건을 제시하려 한다.

2. 이론

전기탈이온 시스템에서의 이온의 이동도를 구하기 위해서 porous plug model식을 적용하였다. Porous plug model은 이온의 이동경로를 크게 3가지로 즉, 이온교환수지 및 용액을 통한 이동, 이온교환섬유만을 통한 이동, 용액만을 통한 이동으로 나누어서 이를 해석하고 있다. 일반적으로 이온의 이동은 용액을 따라 이동하거나, 이온교환수지만을 따라 이동하거나, 이온교환수지와 용액을 번갈아 가면서 이동하게 된다. 전기탈이온 시스템에서의 이온이 이동현상을 설명해주는 Nernst-Planck 식을 적용하기 위해서는 전기탈이온 시스템내에서의 이온이 이동하는 매질이 균질해야 하지만 시스템에 용액상과 고체상이 동시에 존재함으로 용액상에 매우 높은 저항을 갖는 초순수를 흘려보내주면, 용액의 높은 저항으로 인하여 전류는 대부분 이온교환매개체를 통하여 이동함으로 이온의 이동현상은 식 (1)과 같이 표시 할 수 있다.

$$J_{i, \text{tot}} = J_{i, \text{diff}} + J_{i, \text{el}} + J_{i, \text{con}} = -\bar{D}_i \frac{d\bar{c}_i}{dx} - z_i \bar{c}_i \bar{u}_i \text{grad}\phi + v\bar{c}_i \quad (1)$$

3. 실험

이온교환섬유의 전기전도도를 flow cell을 이용하여 측정하였다.

니켈이온의 전기탈이온 공정에서의 이동도 계수를 결정하기 위하여 $2 \times 10 \text{ cm}^2$ 의 유효 막면적을 가지고 있는 1 cell pair 3 compartment 전기탈이온 시스템에 코발트 폼의 UV 그래프트 양이온 교환섬유를 충전후 실험하였다. 회석실은 2 ml/min , 농축실과 전극액의 유속은 5 ml/min 이다. 회석실의 셀전압이 10 V 로 유지되었으며, ICP를 이용하여 코발트의 양을 측정하였다.

4. 결과 및 토론

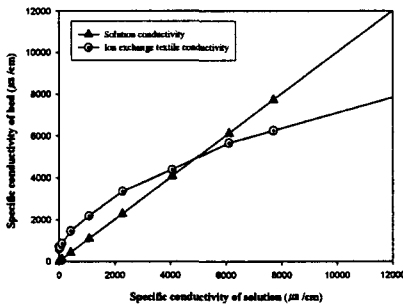


그림 1. 이온교환섬유의 전기전도도

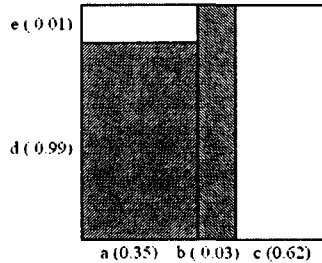
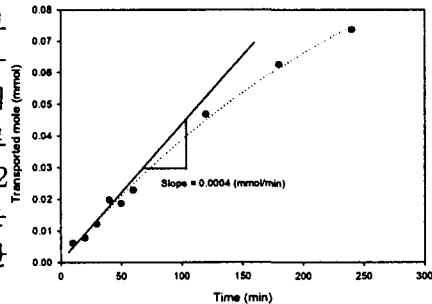


그림 2. 전기탈이온 시스템내의 이온의 이동경로

전기전도도 측정 결과 이온교환섬유는 $4300 \mu\text{S/cm}$ 에서 등전 전도점을 보였다. 이온교환섬유에서의 이온교환용량은 3.5 meq/g 으로 측정되었다. 그림 1. 에서 보여지는 전기전도도를 토대로 porous plug model을 적용하여 그림 2와 같이 나타내었으며 이를 통해 이온의 이동경로가 solid phase만을 통한 이동이 0.03임을 알 수 있었다.

이온교환섬유를 충전한 전기탈이온 시스템의 운전결과는 그림 3과 같다. 그림 3. 시간에 따른 농축실로의 이동몰수 그림3에서 볼 수 있듯이 초기의 mole flux가 거의 일직선을 나타내고 있는데 이러한 현상을 Song et al.은 Nernst-Plank equation이 적용되는 구간을 초기영역으로 제시하였다 [1]. 따라서, 초기의 농축실로의 이동된 몰수 변화를 토대로 선형보간을 할 경우 전기탈이온 시스템에서의 Nernst-Plank equation이 적용되는 구간으로서 생각될 수 있다. 전기탈이온 운전



결과 그림 4에서 전류효율은 1에서부터 지속적으로 낮아짐을 알 수가 있다. 이는 이온교환섬유로의 농축실로부터 수소이온의 이동으로 인해서 일어나는 현상으로 판단된다. 이러한 현상은 전압강하에 의해서도 확인될 수 있었다. 그림 5에서 보여지는바와 같이 전압강하가 지속적으로 일어남을 알 수 있으며, 윗부분에서 더 낮은 전압강하가 일어남을 알 수 있었다. 이는 수소이온의 이동으로 희석실의 이온교환섬유가 수소폼으로 바뀌기 때문에 일어나는 현상이다.

그림 6은 높은 전압하의 운전결과를 보여주고 있다. 높은 전압하에서 전기탈이온 공정을 운전했을 경우 윗부분에서 오히려 더 낮은 셀전압을 가짐을 알 수 있다. 이러한 현상은 물분해로 인해서 윗부분에 전도도의 증가에 기인한 것으로 판단된다. 즉, 낮은 물분해 하에서의 전기탈이온 시스템은 윗부분에 높은 전압강하를 일으키며, 높은 물분해하에서의 전기탈이온 시스템은 아랫부분에서 높은 전압강하가 일어나게 되는 것으로 판단된다. 본 연구를 토대로 제시된 메커니즘이 그림 7에 나타나 있다.

본 실험결과를 토대로 식 (2)와 (3)을 이용하여 전기탈이온 시스템내의 양이온 교환섬유에서의 니켈의 이동도 및 확산계수가 측정되었다.

Nernst-Planck equation을 정리하여 mobility를 식 (2)를 통해 구할 수 있다.

$$\bar{u}_{Ni}^0 = \frac{J_{Ni}^0}{z_{Ni} \bar{c}_{Ni}^0 \text{grad } \varphi} = \frac{1}{z_{Ni} \bar{c}_{Ni}^0} \frac{J_{Ni}^0}{\Delta E / \Delta x} \quad (2)$$

또한, 확산계수는 수식 (3)과 같이 표현된다.

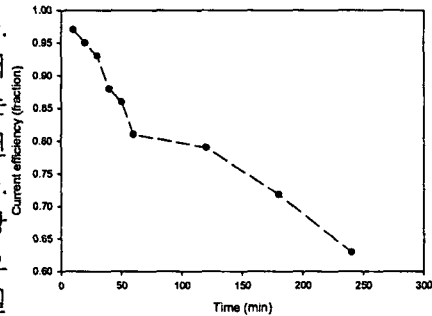


그림 4. 시간에 따른 전류효율의 변화

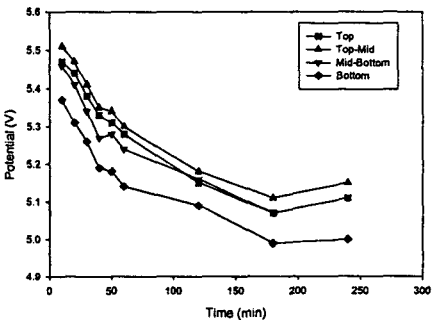


그림 5. 5V 운전에서의 셀포텐셜의 변화

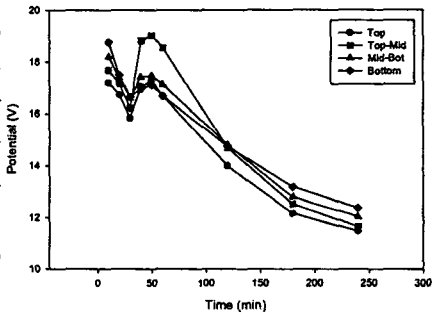


그림 6. 20V 운전에서의 cell potential 변화

$$D_{Ni}^0 = RT \bar{u}_{Co}^0 \quad (3)$$

따라서, 본 실험에 의해서 구해진 표1의 파라미터 값을 수식 (2)와 (3)을 이용하여 계산하였다.

각각의 파라미터를 이용해서 계산된 이온 교환섬유를 통한 니켈이온의 모빌리티는 $4.32 \times 10^{-10} \text{ m s}^{-1} \text{ N}^{-1}$ 으로 평가되었으며, 확산계수는 $1.07 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{sec}$ 로 평가되었다. 이러한 결과는 무한 희석용액에서의 니켈이온의 이동도에 비해서 매우 느린 것으로 나타났지만, 기존의 이온교환수지에 비해서 10 배이상 빠른 것으로 나타났다.

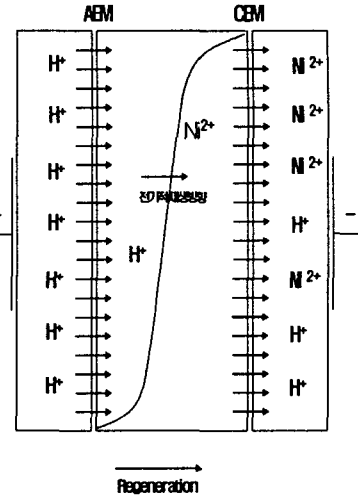


그림 7. 전기적 재생 메커니즘

5. 결론

본 연구결과 이온교환섬유에서의 코발트이온의 이동도와 확산계수가 측정되었으며, 전기탈이온 시스템에서의 이온의 이동메커니즘이 제시되었다. 이온교환섬유가 이온교환수지에 비해서 더 높은 이온속도를 가짐으로서 이온교환매개체로서 효과적임을 알 수 있었다. 본 연구의 결과 이온교환수지를 통한 이동도가 용액을 통한 이동도보다 느리기 때문에 전기탈이온 시스템의 희석실의 두께가 얇아야 함을 간접적으로 제시해 주었다.

표 1. Nernst-Plank 식을 적용하기위한 parameter

Parameters	Values
J_{Ni}^0	$3.33 \times 10^{-7} \text{ mmol sec}^{-1} \text{ cm}^{-2}$
ΔE	5.5 Volt (Initial voltage change)
Δx	1 cm
Z	2
C_{Ni}^0	0.07 mmol/cm^3

6. 사사

본 연구는 한국과학기술기획평가원(KISTEP)에서 주관하는 원자력 기초 공동연구소(BAERI)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

6. 참고 문헌

[1] Jung-Hoon Song, Kyeong-Ho Yeon, Seung-Hyeon Moon. Transport of characteristics of Co^{2+} through an ion exchange textile in a continuous electrodeionization (CEDI) system under electroregeneration, *Separation Science and Technology*, accepted (2004)