

전기탈이온 장치의 전기적 재생과정중 이온교환막과 이온교환섬유에서의 코발트이온의 이동 현상 연구

송정훈, 연경호, 이진우, 박지숙, 문승현
광주과학기술원 환경공학과

Transport of cobalt ion through ion exchange textile and ion exchange membranes in a continuous electrodeionization (CEDI) system under electro-regeneration

Jung-Hoon Song, Kyeong-Ho Yeon, Jin-Woo Lee, Ji-Suk Park,
Seung-Hyeon Moon
Department of Environmental Science and Engineering,
Kwangju Institute of Science and Technology

1. 서론

본 연구는 전기탈이온 시스템내의 코발트 이온이 전기적 재생하에서 이동하는 현상을 이해하고, 시스템을 해석함으로써 전기탈이온 시스템내의 코발트이온의 이온교환수지를 통한 이동 메커니즘을 이해하는데 있다.

2. 이론

그림 1에서 보이는 바와 같이 전기탈이온 시스템은 전기투석의 희석실에 이온교환매개체를 충전하여 낮은 농도의 전해질 물질의 처리시 사용되는 전기화학적 이온교환막 응용기술이다. 전기탈이온 시스템에서 일반적으로 유입수의 농도가 매우 낮은 경우에는 전류의 이동이 전기탈이온 시스템에서 이온교환매개체를 통해서 일어난다. 이때 이온교환매개체에서 전류의 이동경로는

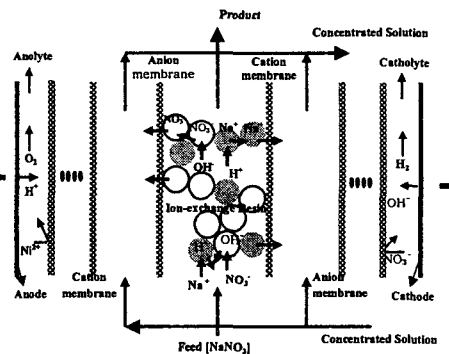


그림1. 전기탈이온 시스템의 개념도

Porous plug model을 이용하여 구해 질 수 있으며, 사용된 이온교환매개체가 균질한 상태라고 가정하면 이동된 이온의 플럭스 관계를 Nernst-Plank 식을 이용하여 연관지을 수 있다. 이온의 이동에 대해 초기에 이온교환수지내의 농도 구배가 무시되면, 일반적인 전기장하의 이온의 이동을 나타내주는 Nernst-Plank식을 적용하여 전기탈이온 시스템을 해석하게 되면, 최종적으로 다음과 같은 식을 유도할 수 있다.

$$J_{i,tot} = z_i \bar{C}_i \left(\bar{u}_i + \frac{\bar{u}_o}{z_i} \right) grad \phi = z_i \bar{C}_i \bar{u}_i^* grad \phi, \quad \left(\bar{u}_i^* \equiv \bar{u}_i + \frac{\bar{u}_o}{z_i} \right)$$

만약, 이때 초기의 농도는 이온교환용량과 매개체의 밀도를 통해서 계산될 수 있으며, 코발트의 경우 $z=2$ 이다. 만약 전기탈이온 시스템내에서 이온교환막을 통해 농축실로 이동된 코발트의 플럭스를 실험을 통해 구한후 그때의 걸리는 potential과 도식을 할 경우 기울기가 이 시스템에서의 이온의 이동도가 된다.

3. 실험

양이온 교환섬유를 UV graft polymerization을 이용하여 제조하였다. 이온교환용량, swelling ratio, 전기전도도가 측정되었다. 제조된 이온교환섬유를 전기탈이온 시스템의 희석실에 충전한후 1cell pair 2 compartment 실험을 수행하였다. 이때 유입수는 초순수, 농축실은 1M H₂SO₄, 전극액은 1000 μ s/cm의 Na₂SO₄를 사용하였다. 전기탈이온 스택에 일정전압모드로 10, 20, 30, 60 Volt를 가해주어, 셀에 걸리는 포텐셜을 전기전도도 모델을 이용하여 계산하였다.

4. 결과 및 토론

4.1 이온교환섬유의 특성분석

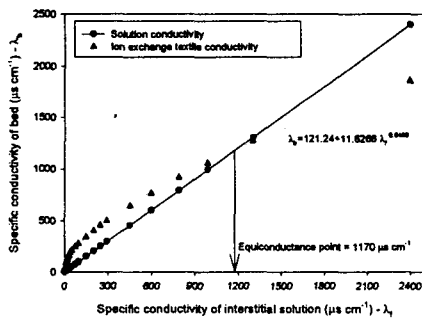


그림 2. 이온교환섬유의 전기전도도

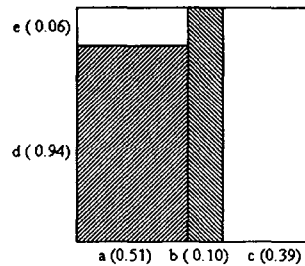


그림 3. 이온교환섬유의 Porous plug model 적용결과

합성된 이온교환섬유의 특성분석결과 이온교환용량이 2.267 meq/g 이며, 밀도가 1.3 g/cm³으로서 이온교환섬유의 농도가 1.472 mmol/cm³으로 계산되었다. 그림 2는 이온교환섬유의 전기전도도를 나타내주며, 그림 3은 porous plug model의 적용결과이다. 위로부터 유입수의 농도가 매우 낮을 경우 전기탈이온 시스템에 충전된 이온교환섬유는 121.24 μs/cm의 전도도를 가지며, 이온교환수지만을 통한 초기농도 (그림 2의 b)는 2.5 mmol/cm³임을 알 수 있다.

4.2 코발트 플럭스에서의 potential의 영향

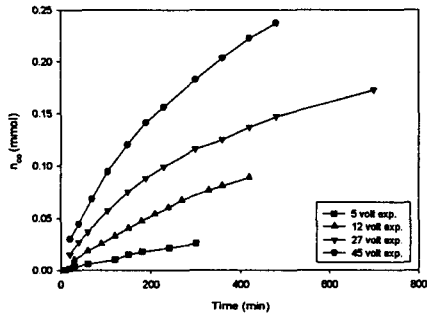


그림 4. 시간에 따른 농축실로 이동된 코발트의 몰수

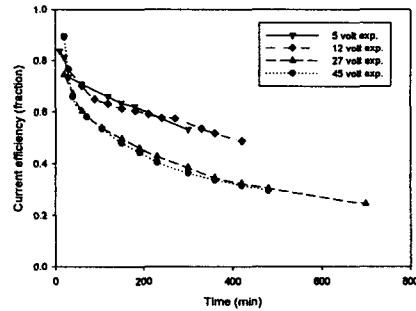


그림 5. 시간에 따른 전류효율의 변화

그림 4는 시간에 따른 전기탈이온 시스템의 공정운전시 시간에 따른 농축실로 이동된 코발트의 몰수를 보여준다. 각각의 기울기는 potential에 따른 플럭스이며, 시간이 따른 기울기의 감소는 플럭스의 감소를 의미한다. Nernst-Plank 식이 적용되는 영역을 결정하기 위해 시간에 따른 potential 변화를 그림 5에 도식결과 각각의 potential에 따라서 전류효율이 초기에 1에서 각각 떨어지고 있음을 알 수 있다. 이는 초기에 거의 모든 전류가 이온교환수지가 코발트로 완전 치환되어 있기 때문에 코발트의 이동에만 사용되며, 초기 이외의 조건에서는 다른 이온의 제거에도 사용됨을 알 수 있다. 그림 6은 가해진 전하량과 농축실로 이동된 코발트의 양을 보여준다. 가해진 전하량이 높아질 경우 각각의 potential에 대해서 deviation이 관찰되는데 이는 전기화학적 반응에 의해

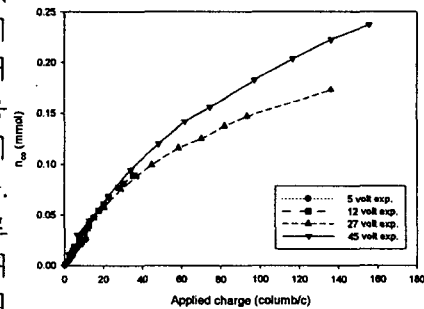


그림 6. 가해진 전하량과 이동된 코발트의 량

일어나는 것으로 추측되며, 이러한 현상을 무시할 수 있는 초기의 조건에서는 각각의 potential에 상관없이 charge balance가 성립함을 알 수 있다. 위의 결과 초기조건의 경우 균질한 상태로 Nernst-Plank식이 적용가능함을 알 수 있다. 그림 7은 시간에 따른 flux 변화로서, 각각의 potential에 대해 시간을 0에서의 보간에 의해 결정된 flux가 초기 flux이다. 그림 8은 그림 7에서 결정된 초기flux와 potential 변화를 보여주고 있고, 이때의 기울기는 이온교환매체를 통한 이온의 mobility이다. 이결과 이온교환매체를 통한 코발트의 mobility가 $1.36 \times 10^{-12} \text{ (m}^2\text{s}^{-1}\text{V}^{-1}\text{)}$ 이며, 기존의 무한희석 용액에서의 코발트의 mobility와 비교시 약 1000배 이상 낮다. 이러한 현상에서 이온의 이동 메커니즘이 “이온교환수지의 높은 이동도로 인해서 이온이 제거되는 것이 아니라, 고분자 전해질 자체의 전도도로 인한 전류의 흐름을 야기시킴으로서 이온이 제거된다”라는 사실을 제시해 준다.

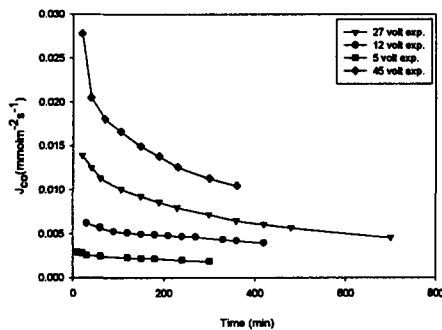


그림 7. 시간에 따른 flux 변화

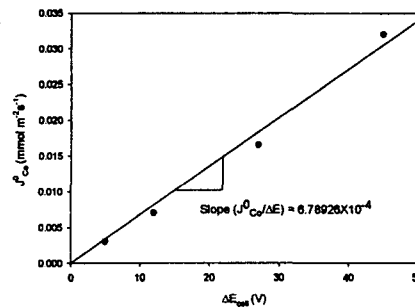


그림 8. potential에 따른 flux 변화

5. 결론

전기탈이온 시스템에서 화학적 반응이 일어나지 않는한 전하량은 보존되며 매질이 균일한 상태에 있는 경우 Nernst-Plank 식을 이용하여 이온교환수지내의 이동도를 구할 수 있음을 보여준다. 또한, 이온의 제거메커니즘이 이온교환수지를 통해 이온의 이동도가 증가 때문이 아닌, 이온교환수지를 통한 전류의 증가에 기인해 이온이 제거되는 것임을 보여주고 있다.

5. 사사

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

6. 참고 문헌

1. F. Helfferich, *Ion exchange*, McGraw-Hill, London (1961)