

원자력 발전소에서의 코발트이온의 제거를 위한 양이온 교환섬유의 전기탈이온 시스템에서의 적용 연구

송정훈, 이진우, 심봉섭, 박지숙, 문승현*

광주과학기술원 환경공학과

A Study on the Application of Cation Exchange Textile
(CIET) in a Continuous Electrodeionization (CEDI) System
for the Remvoal of Cobalt Ion in a Nuclear Power Plant

Jung-Hoon Song, Jin-Woo Lee, Bong-Sup Shim, Ji-Suk Park,
Seung-Hyeon Moon*

Department of Environmental Science and Engineering,
Gwangju Institute of Science and Technology (GIST)

1. 서론

전기투석의 회석실에 이온전도성 매개체를 충전한 전기탈이온 장치는 이온의 제거율이 높고 이온교환매개체가 연속적으로 재생되어 기존의 이온교환수지공정의 대체공정으로 각광받고 있다. 그러나, 현재 상업화된 전기탈이온 장치의 가장 큰 문제점중의 하나는 높은 전류밀도하에서의 중금속 침전현상과 중력에 의한 이온교환수지의 쓸림현상으로 인한 관로흐름의 발생 및 그로인한 전류효율의 감소이다. 이러한 문제를 극복하기 위해서 다층식 충전방식을 통한 중금속 침전 억제방법과 이온교환섬유의 적용연구가 수행중에 있다. 따라서, 본 연구에서는 기존의 전기탈이온시스템의 단점을 위해서 개발된 UV-그라프트 이온교환섬유를 전기탈이온 시스템에 적용후 기존의 전기탈이온 시스템과의 비교실험을 통해서 시스템에서의 적용가능성을 판단하고 코발트의 이동메커니즘을 정성적으로 제시하고자 한다.

2. 실험

전기탈이온 장치의 적용영역을 이해하기 위해서 전기전도도가 측정되었다. 이를 위해서 UV-그라프트방법을 통해 얻어진 이온교환섬유를 Flow cell에 충전한후 다양한 전도도의 $\text{Co}(\text{NO}_3)_2$ 용액을 통과시켜 그때의 이온교환매개체의 전도도를 측정되었다. UV-그라프트 이온교환섬유를 충전한 전기탈이온 시스템에서의 성능 변화를 조사하기 위해 공정변수인 온도, 유속, pH에 따른 연구가 수행되었다.

유효막면적 50 cm^2 인 1 cell pair 3 compartment 셀을 이용하여 전류-전

*corresponding author

압곡선을 측정하였다. 전기탈이온 시스템의 공정운전은 이온교환수지와 이온교환섬유를 충전한후 10 ppm의 코발트 이온의 제거를 위해 전류-전압곡선으로부터 얻어진 최적 전류밀도 하에서 이온교환수지와 이온교환섬유를 충전후 수행하였다.

3. 결과 및 토론

3.1 전기탈이온 시스템의 특성분석

3.1.1 전기전도도

전기전도도 측정결과가 그림 1에 나타나있다. 3700 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 에서 전기탈이온 시스템의 적용가능함이 판단되었으며, 전기탈이온 시스템의 최적효율을 나타내는 영역은 120 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 미만에서 나타남으로서 10 ppm 코발트 이온의 처리에 적합한 것으로 판단되었다.

3.1.2 온도의 영향

전기탈이온 시스템에서의 온도의 변화에 따른 코발트 제거율이 측정되었다. 그림 2는 시간에 따른 코발트 이온의 제거율을 나타내고 있다. 시간의 증가에 따라서 유사한 제거율을 보임을 알 수 있다. 이는 일정전류모드로 전기탈이온 시스템을 운전했기 때문에 일어나는 현상으로 판단된다. 그러나, 온도가 높을 경우 빨리 steady-state 상태에 도달함을 알 수 있다.

3.1.3 유속의 영향

유속의 변화에 따른 전기탈이온 시스템에서의 제거율 변화가 그림 3에 나타나있다. 시간에 따른 제거율은 유속이 낮을수록 증가하였으며, 유속이 매우 빠를 경우에는 오히려 지속적으로 감소함을 알 수 있다. 이는 이온교환섬유에서의 선호도 때문에 일어나는 현상으로 판단된다. 일반적으로 이온교환수지공정에서의 exchange zone front는 높은 유속에서 분산되게 되어 이온의 breakthrough로 인해 제거율이 낮아진다 [1].

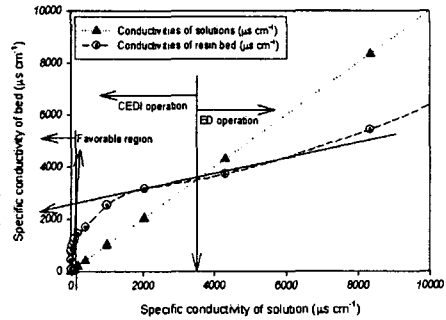


그림 1. 양이온 교환섬유의 전기전도도

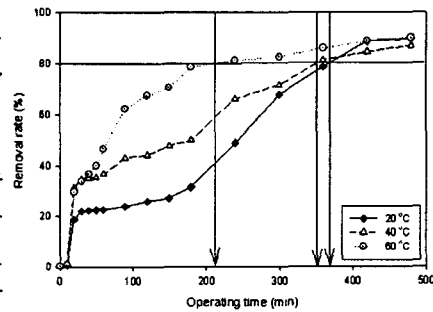


그림 2. 온도의 변화에 따른 제거율의 변화

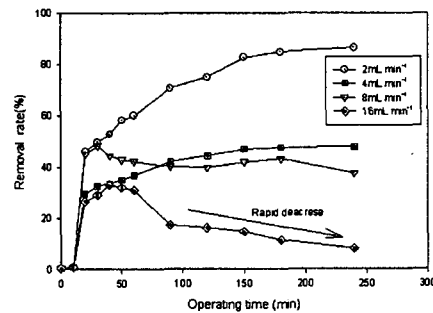


그림 3. 유속의 변화에 따른 제거율의 변화

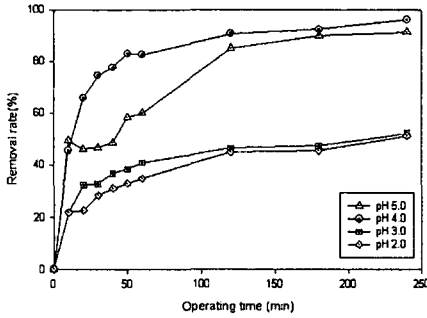


그림 4. 유입수의 pH에 따른 제거율의 변화현상이 일어나게 된다 [2].

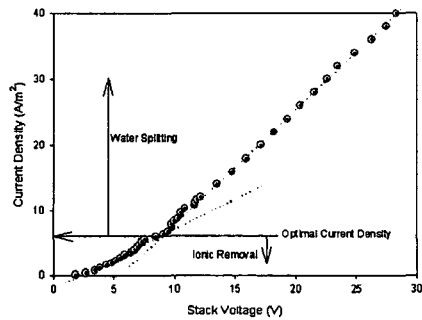
3.1.4 pH의 영향

유입수의 pH에 대한 영향이 그림 4에 나타나있다. 유입수의 pH가 낮을수록 제거율이 급격히 낮아짐을 알 수 있다. 이는 이온교환섬유에서의 코발트 이온에 대한 선택도가 낮은 pH에서 낮아지기 때문에 일어나는 현상으로 파악된다. 즉, 이온교환섬유로의 sorption 현상이 낮아짐으로 인해서 제거율의 감소

3.2 코발트 이온의 제거를 위한 양이온 교환섬유의 적용

3.2.1. 전류-전압 곡선

전기탈이온 시스템에서의 양이온교환섬유의 전류-전압곡선이 그림 5에 나타나있다. 7 A/m²이상에서 물분해가 일어나는 시점으로 판단되었으며, 향후 실험은 7 A/m²에서 수행되었다.



3.2.2. 유출수의 pH변화

양이온 교환섬유를 충전한 전기탈이온 시스템과 양이온 교환수지 (IRN

77, Rhom and Hass co.)를 충전한 전 그림 5. 전기탈이온 시스템의 전류-전압곡선 기탈이온 시스템의 회설실 pH변화를 그림 6에서 보여주고 있다. 이온교환섬유를 충전한 전기탈이온 시스템에서의 유출수 pH가 더 낮음으로서 물분해 현상이 더 많이 일어남을 알 수 있다.

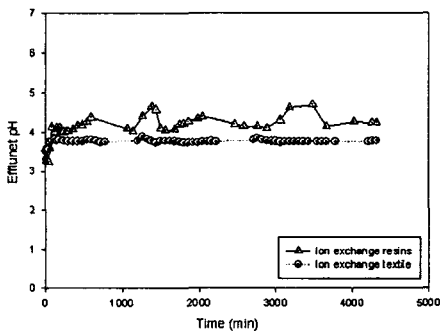


그림 6. 시간에 따른 유출수 pH 변화

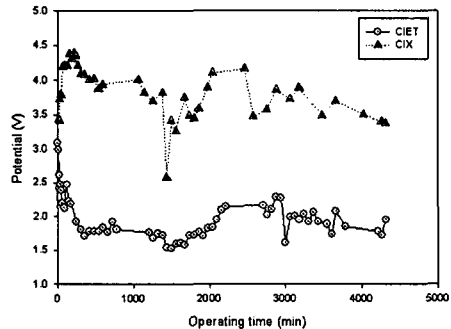


그림 7. 전기탈이온 시스템에서의 전압변화

3.2.3. 전압강하

그림 7은 전기탈이온 시스템에서의 전압강하를 보여주고 있다. 이온교환

섬유를 충전한 전기탈이온 시스템에서의 전압강하가 더 낮은 것으로 나타나 소비 전력이 더 효율적인 것으로 판단되었다.

3.2.4. 제거율

그림 8은 전기탈이온 시스템에서의 제거율을 나타내고 있다. 이온교환섬유를 충전한 전기탈이온 장치의 경우 제거효율이 98% 이상을 유지함으로써 전기탈이온 장치용 이온교환매개체로서 적합한 것으로 판단되었다.

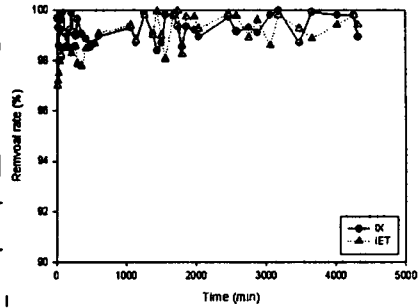


그림 8. 시간에 따른 제거율의 변화

3.2.5. 제거 메커니즘

그림 9는 전기탈이온 공정운전후의 이온교환섬유의 사진 (a)와 제시된 그로 인해서 제시된 제거메커니즘을 나타내고 있다. 실험적인 증명을 통해 아랫부분에는 이온의 제거가 주된 메커니즘이며, 윗부분에 물분해 현상이 일어남을 알 수 있고, convective flow에 의한 수직으로의 이동과 electro migration에 의한 수평으로의 이동의 절충에 의해서 코발트이온의 이동현상이 주로 결정됨을 알 수 있다.

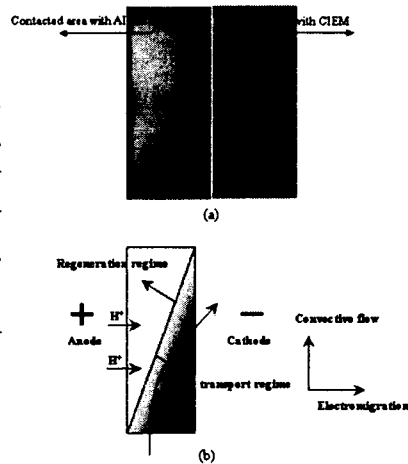


그림 9. 공정운전후 이온교환섬유의 Digital picture (a)와 제시된 제거 메커니즘 (b)

4. 결론

UV그래프트법을 통해 제조된 이온교환섬유가 전기탈이온 시스템용 이온교환스페이서로서 적합한 것으로 나타났으며, 본 연구를 통하여 이온의 이동메커니즘이 제시되었다.

5. 사사

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

6. 참고 문헌

- [1] F. Helfferich, *Ion exchange*, McGraw-Hill, London (1961)
- [2] P.B. spoor, L. Grabovska, L. Koene, L.J.J. Janssen, W.R. ter Veen, *Chemical Engineering Journal*, 89(2002), 193-202