

2003 추계학술발표회 논문집
한국원자력학회

마그네틱 필터 - 전기탈이온 접합공정을 이용한
원자로 일차냉각수 정화에 관한 연구

A Study On the Purification of Primary Coolant
in a Nuclear Power Plant Using a Magnetic Filter -
Electrodeionization Hybrid Separation System

송정훈^a, 송민철^b, 연경호^a, 이건재^b, 문승현^a

^a광주과학기술원 환경공학과

광주광역시 북구 오룡동 1번지

^b한국과학기술원 원자력 및 양자공학과

대전광역시 유성구 구성동 373-1번지

요 약

마그네틱 필터-전기탈이온 시스템을 이용하여 원자로 일차냉각수 정화에 관한 연구가 수행 되었다. 3000 Gauss의 영구자석을 장착한 마그네틱 필터시스템이 입자성 부식생성물의 제거를 위한 전처리 공정으로 사용되었으며, 다층식 충전방식을 이용한 전기탈이온 시스템이 이온성 핵종 물질의 제거 공정으로서 사용되었다. 전기탈이온 시스템내의 니켈 이온의 제거 및 이동기작이 해석되었다. 원자로 일차냉각수 정화를 위해 개발된 마그네틱 필터 - 전기탈이온 접합공정의 제거효율은 입자성 물질과 이온성물질의 제거시 98%이상의 성능을 보임으로서 원자력 발전소에서의 적용 가능성을 확인해 주었다.

Abstract

A study on the purification of primary coolant system in a nuclear power plant is carried out using magnetic filter - electrodeionization hybrid separation process. Magnetic filter system with 3000 Gauss permanent magnet is used for the removal of CRUD (chalk river unidentified deposit) and electrodeionization for ionic nuclide species. The removal and transport mechanism of nickel ion in a electrodeionization system is explained. The developed magnetic filter - electrodeionization hybrid

separation process showed high removal rate over 98 %. The results suggested the applicable possibility for the purification of primary coolant system in a nuclear power plant.

1. 서 론

원자력 발전소 일차냉각수는 원자로의 반응도를 제어하기 위해 주입되는 붕산수 이외에는 고순수로 이루어져 있으며, 열을 제어하는 냉각재로 사용되고 있다. 원자력 발전소의 운전시 일차냉각계통의 표면에서는 부식생성물이 형성되고 이 생성된 부식생성물은 냉각재와 함께 이동하다가 노심의 열전달 표면 즉 핵연료봉에서 침적된 후 중성자나 양자와 핵반응하여 생성되거나 노심재질의 금속물질이 방사화되어 생성된다. 방사성 부식생성물의 침적물들은 냉각재의 수력학적 전단력에 의해 침식과 파쇄 및 침적물의 자체 용해와 마모 등의 현상으로 노심 내에서 떨어져 나온다. 냉각재내의 방사성 부식생성물들은 용해성과 입자성으로 존재하면서 냉각재내 전 계통으로 이동한다. 방사선 구역내의 기기의 유지 및 점검을 위해 작업자가 접근할 때 주요 피폭원이 부식생성물에서 나오는 γ 선 배출 핵종이며 원자력 발전소에서 주된 방사성 핵종은 Co-60, Co-58, Ni-63 Fe-55 등이며 이들은 자성산화철(Fe_3O_4)의 Fe^{2+} 을 치환시킴으로서 냉각재내에서 Ni-Ferrite (NiFe_2O_4)로 존재하거나, Fe, Ni의 금속형태로 존재한다. 따라서, 위의 물질들은 방사성 폐기물의 취급과 처분시에도 특별한 관리가 요구되는 핵종이다. 현재 가압경수로형 일차냉각계통의 정화를 위해 가장 널리 사용되고 있는 정화법은 Cartridge filter - Ion exchange 방법이 가장 널리 사용되고 있다. 이때, 카트리지 필터 시스템은 입자성물질의 제거에 사용되며, 이온교환수지공정은 이온성 물질의 제거를 위해서 사용되고 있다. 하지만, 카트리지 필터 - 이온교환수지공정은 카트리지 필터 시스템의 낮은 제거율과 이온교환수지공정에서의 많은 양의 방사성 고체 폐기물의 발생이 현재 문제가 되고 있다. 현재 발생되는 고체폐기물의 처리를 위해 시멘트로 고화시키거나 유리화하여 처리하고 있으나, 방사선 유출의 문제가 있으며 이를 해결할 수 있는 대체공정의 연구가 시급한 실정이다.

전기탈이온 시스템은 그림 1에서 보여지는 바와 같이 탈염과 물분해를 이용하여 이온을 제거하고 자체적으로 이온교환수지를 재생하는 전기투석과 이온교환법의 혼

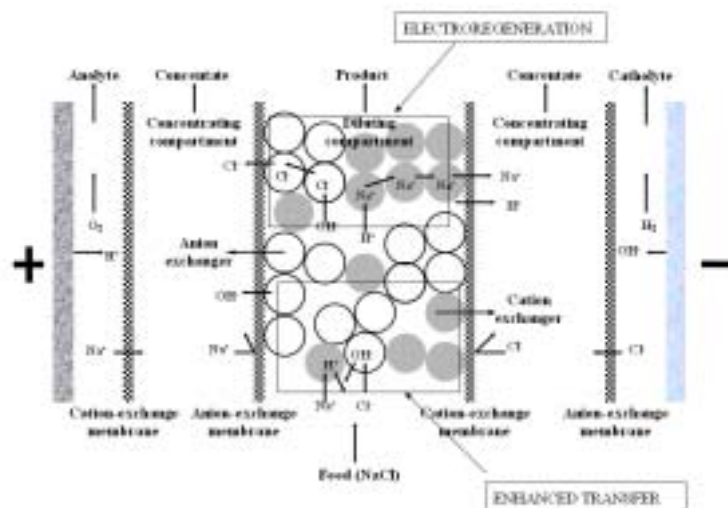


그림 1. 전기탈이온 장치의 원리

합형 공정이다. 전기탈이온 공정의 희석
 실은 직류전류하에서 이온의 이동을 촉진시키는 이온교환수지가 충전되어 있으며, 이온의 이동은 이온교환수지를 통해서 대부분 이동하게 된다. 전기탈이온 시스템에서의 반대되는 전하로 인해서 형성되는 바이폴라면은 전기탈이온 시스템의 운전시 물분해를 일으키게 되며, 생성된 고농도의 수소와 수산화 이온은 이온교환수지를 전기적으로 재생하게된다. 따라서, 전기탈이온 시스템은 자체 전기적 재생으로 인해서 폐 이온교환수지가 형성되지 않으며, 원자로 일차냉각계통의 정화에 이용될 경우 고체폐기물의 발생을 원천적으로 막을 수 있다. 따라서, 전기탈이온 시스템은 원자력 발전소에서 현재의 이온교환수지의 처리문제를 해결할 수 있는 신 공정으로 평가되고 있다¹⁾.

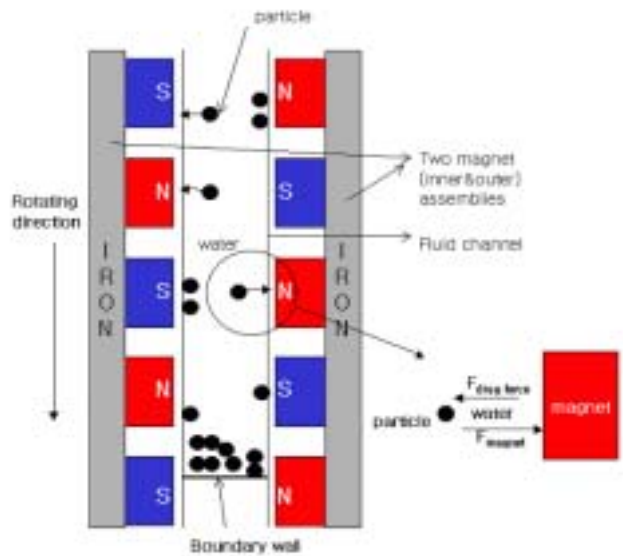


그림 2. 마그네틱 필터 시스템의 원리

마그네틱 필터 시스템은 마그넷 필터 시스템의 새로운 형태로서 높은 온도와 높은 압력과 같은 공정조건에서도 입자성 물질을 99%제거할 수 있는 높은 제거율의 시스템이다. 그림 2에서 보여지는 바와 같이 입자성 부식생성물이 fluid channel 안으로 유입시 자장의 영향으로 인해서 자화가 되며, 자화된 부식생성물은 회전하고 있는 자석의 표면에 달라붙게 되며 회전하는 자석을 따라서 boundary wall으로 입자성 부식 생성물이 모아지게 된다. 마그네틱 필터 시스템이 원자력 발전소의 일차냉각계통의 정화에 응용될 경우 기존의 카트리지 필터 시스템에서의 문제점인 낮은 제거율을 극복할 수 있으며, 높은 압력과 높은 온도에서 사용가능하기 때문에 공정의 적용이 효율적으로 될 수 있다.

따라서, 본 연구는 입자성 부식생성물 제거를 위한 마그네틱 필터 시스템과 이온성물질의 제거를 위한 전기탈이온 공정의 접합공정을 이용하여 원자로일차냉각계통 정화연구를 수행하였다.

2. 실험

2.1. 마그네틱 시스템의 운전조건의 결정

최대 6000 Gauss의 자기장을 가지는 자석이 6쌍으로 구성된 내외측 어셈블리가 사용되었다. 스테인레스 스틸(SS-316)이 유체의 유로에 사용되었으며, 유체에서 크러드의 움직임 제거하기 위해서 3000 가우스의 자기장이 유체 유로에 균형적으로 유지되었다. 최

적유량과 자석회전속도를 결정하기 위해서 10ppm 농도의 마그네타이트가 각각의 실험에 사용되었다. 이때 유입수의 유속은 0.5 gal/min, 0.9 gal/min, 1.3 gal/min으로 변화가 되었으며, 자석회전속도는 30rpm, 50rpm, 70 rpm으로 각각의 유속에 대해서 변화가 되었다. 유출수의 입자성 물질의 분석을 위해서 Particle size analyzer (PMS, 20 channel)이 사용되었다.

2.2. 이온교환수지의 특성분석

플로우셀이 이온교환매개체의 전기전도도의 측정을 위해서 사용되었다. Flow cell내의 전극사이에 니켈이온으로 치환된 양이온 교환수지를 충전한 후 농도가 다른 Nickel nitrate 용액을 이온교환매개체의 사이에 흘려주면서 정상상태에 도달할 때까지 순환시켜 각각의 저항을 측정하였다. 다음식을 이용하여 이온교환매개체의 전기전도도를 계산하였다.

$$R = \frac{1}{k} \frac{l}{A}$$

여기서 l 은 전극간의 거리이고 A 는 전극의 면적이다.

이온교환수지의 separation factor는 Na^+ form으로 이루어진 1.1ml의 이온교환수지가 11개의 50ml bottle에 채워진 후 각각의 bottle은 0.01N의 HNO_3 와 $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 로 이루어진 NO_3^- 용액과 평형을 이루도록 하였다. 하루동안 shaking후 니켈이온의 농도가 ICP를 이용하여 분석이 되었다. 제거된 니켈이온의 당량가가 이온교환수지의 분율로서 계산되었다²⁾.

2.3. 전기탈이온 시스템의 전류-전압 곡선

그림 3에서 보여지는 바와 같이 $5 \times 10 \text{cm}^2$ 의 전극면적과 1cm의 희석실 두께를 갖는 전기탈이온 시스템에 이온교환수지를 다층식 충전법(CIX:AIX:MIX=2:2:3)을 이용하여 희석실을 충전하여 10 ppm $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 가 농축실과 희석실을 각각 3ml/min의 속도로 흘려주었다. Na_2SO_4

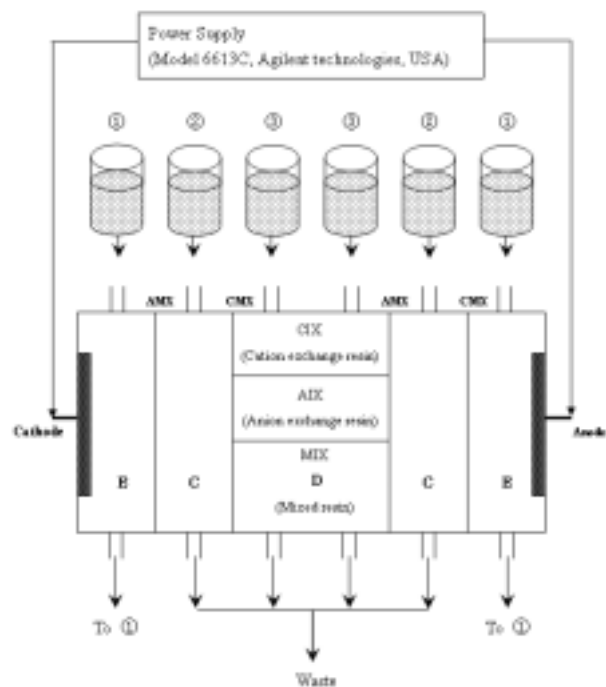


그림 3. 전류전압곡선 측정 실험방법

500 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 의 전극액이 전극실을 10ml/min의 속도로 흘렸다. Power supply (Model 6613C, Agilent technologies, USA)을 이용하여 스택전류는 0.001 A/m²에서 15A/m²까지 변화시키면서 그때 측정되는 셀전압과 스택전압이 멀티미터를 이용하여 측정하였다.

2.4. CEDI 공정운전

그림 4에서와 같이 니켈 이온형태를 가지는 IRN 77과 나이트레이트 형태의 IRN78이 회석실에 전류-전압곡선에서 사용된 다층식 충전법을 이용하여 충전되었다. 다층식 충전법은 금속침전의 방지를 위해서 *Yeon et al*에 의해서 개발되었다¹⁾. 양이온 교환수지와 음이온 교환수지의 혼합비율은 이온교환용량의 비에 기인해서 2:3으로 결정되었다. 10 ppm의 니켈용액이 회석실에 사용되었고 500 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 의 Na₂SO₄가 농축실과 전극액으로 각각 사용되었다. 1cell pair 3 compartment로 구성되며, 회석실의 두께가 1cm인 유효막 면적 5×10cm²의 전기탈이온 시스템이 사용되었다. 유입수의 유속은 전류-전압곡선과 같이 회석실과 농축실의 경우 3ml/min의 속도로 흘려주었으며, 전극액의 경우 10ml/min의 속도를 흘려주었다.

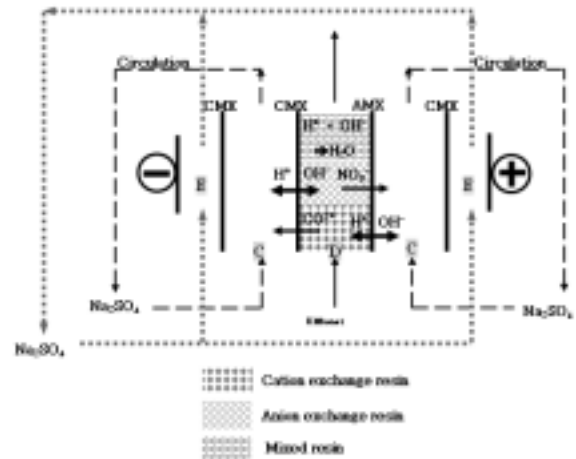


그림 4. Layered bed을 적용한 전기탈이온 셀 구성도
(CMX: 양이온 교환막, AMX: 음이온 교환막
C: 농축실, D:회석실)

2.5. 마그네틱 필터-전기탈이온 혼합공정의 운전

마그네틱 필터-전기탈이온 혼합공정이 최적 공정조건 하에서 운전되었다. 마그네틱 필터시스템은 0.5 gpm의 유속과 회전속도 50 rpm하에서 각각 10ppm의 마그네타이트와 니켈나이트레이트가 혼합된 용액을 마그네틱 필터의 유입수로 사용하였다. 마그네틱 필터시스템의 공정운전후 유출수를 전기탈이온 시스템의 유입수로 사용하였으며, 2A/m²의 전류 밀도 하에서 전기탈이온 시스템은 위에서 사용된 것과 같은 시스템을 이용하였다. 회석실과 농축실은 3ml/min, 전극액은 10ml/min의 유속으로 운전하였다. 전기탈이온 시스템의 유출수는 Inductively coupled plasam spectrophotometer (Model - Thermo Jarrel ash IRIS/AP)를 이용하여 니켈이온이 분석되었으며, Particle size analyzer (PMS, 20 channel)을 이용하여 마그네타이트가 분석되었다. 농축수와 회석수의 pH 및 전도도는 pH meter와 conductivity meter를 이용하여 각각 분석되었다.

3. 결과 및 토론

3.1. 마그네틱 필터 시스템에서의 운전조건의 결정

유입수의 특성을 결정하기 위해서 입자 크기의 분포도가 Particle size analyzer를 이용하여 분석되었다. 마그네틱 필터 시스템에서의 유입수의 유속과 자석회전속도는 마그네틱 필터시스템의 제거효율에 영향을 주는 인자이다. 따라서, 유입수의 유속과 자석회전속도의 영향에 대한 연구가 수행되었다. 그림 5은 높은 자석회전속도와 낮은 유입속도에 대해서 제거효율을 변화하는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 입자들의 시스템 내의 체류시간의 변화에 의한 영향과 자기력과 유체의 수력학적인 힘과의 평형의 문제이다. 유입수의 유속의 증가는 입자들의 자기장하의 체류시간을 감소시키며, 자기장과 수직으로 이루어지는 수력학적인 힘의 증가로 인해 net force의 방향을 변화시키고 입자들의 제거율을 감소시키게 된다. 자석회전속도의 증가는 입자들과 자석들의 접촉면적을 증가시킴으로 인해서 제거율의 증가로 이루어지게 된다. 위 실험의 경우, 마그네틱 필터시스템의 경우 0.5 gpm의 유속과 회전자석속도 50 rpm이 최적조건으로 판단되었으며, 제거율은 입자성 물질의 제거율은 약 98%를 보여주었다. 그림 6는 입자의 크기에 따른 제거효율을 보여주는 그래프이다. 입자의 크기가 클수록 제거효율이 증가하며, 5 μ m 이상의 크기에서는 90% 이상의 제거효율을 보여주고 있다.

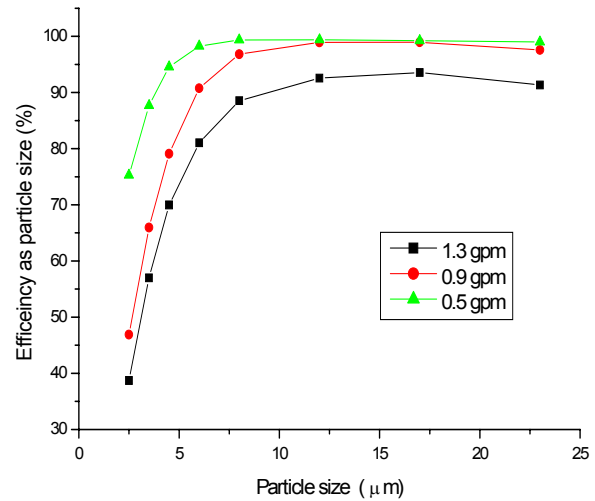


그림 5. 입자크기에 따른 제거효율

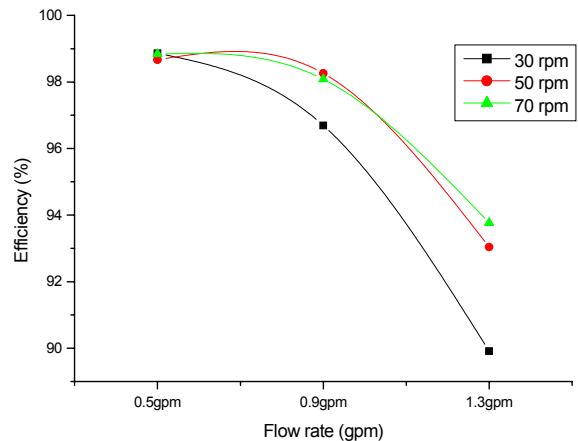


그림 6. 유입수와 자석회전속도에 따른 제거효율 변화

3.2. 전기탈이온 시스템의 운전범위 결정

그림 7는 interstitial solution의 전도도 범위에서의 이온교환수지의 전기전도도의 변화를 보여주고 있다. Interstitial solution의 전도도가 0일때, interstitial의 높은 저항으로 인해서 전류는 이온교환수지만을 통해 전류가 흐르게 된다. 그후, interstitial solution의 전도도가 높아짐에 전류가 이온교환수지와 interstitial solution을 통해서 둘다 이동할 수 있기 때문에 이온교환수지를 통한 전도도가 증가하게 된다. 그후, equiconductance point 이후에는 이온교환수지의 전도도가 interstitial solution의 전도도보다 낮게 되는데 이러한 현상은 이온교환수지의 전도도가 용액의 전도도보다 낮아서 오히려 저항으로 작용하기 때문이다.

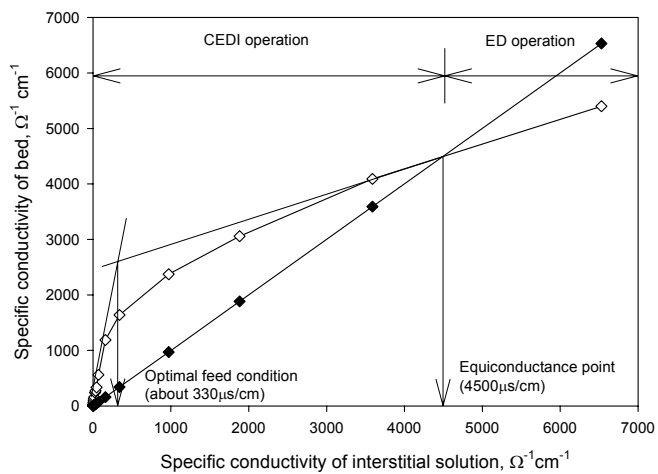


그림 7. 니켈이온교환품을 가지는 IRN 77의 전기전도도

일반적으로 전기탈이온 시스템은 전기투석장치의 회석실에 이온교환수지를 충전함으로써 전기투석장치의 저항을 줄이기 위해서 개발된 것으로 알려져 있다. 따라서, 이온교환매개체의 저항에 관련된 정보는 전기투석과 전기탈이온 시스템의 운전범위를 결정시켜줄 수 있다. 앞에서 설명한 바와 같이 유입수의 전도도가 equiconductance point보다 낮은 경우 이온교환수지가 시스템의 전도도를 증가시킴을 알 수 있으며, 이 영역에서는 이온의 제거시 CEDI시스템의 적용이 유효한 것으로 판단되며, 이후의 영역에서는 ED공정이 유효한 것으로 판단된다. 뿐만아니라, 전기전도도에 관련된 정보를 이용하여 전력소모를 최적으로 줄일 수 있는 유입수의 조건을 판단할 수 있다. 주어진 시스템의 경우 약 330 $\mu\text{S/cm}$ 의 조건의 유입수의 범위가 가장 CEDI 시스템을 이용시 전력소모를 최대한으로 줄일 수 있는 조건임을 알 수 있다.

3.3 전기탈이온 시스템의 최적전류밀도의 결정

전기탈이온 시스템의 최적전류밀도의 결정을 위해서, 전류-전압곡선의 특성분석이 수행되었다. 그림 8은 전류-전압곡선

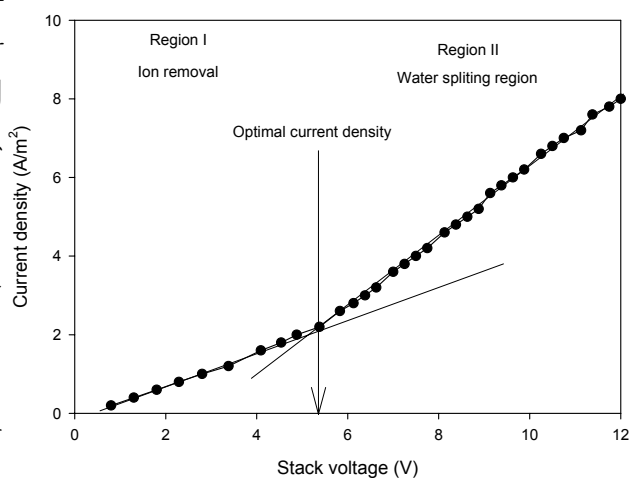


그림 8. 전기탈이온 시스템의 전류-스택 전압곡선

을 보여주고 있다. 전류전압곡선의 관계로부터 전기탈이온 시스템이 낮은 전류밀도하에서 크게 두부분으로 나누어짐을 알 수 있다. 전압에 대해선 전류가 선형적으로 증가하는 영역인 첫 번째 영역과, 전압에 대해서 전류가 급격하게 증가하는 두 번째 영역으로 나눌 수 있다. 일반적으로 이온교환막의 경우 낮은 전류밀도에서는 이온의 제거가 우선적으로 일어나게 되어있으며, 전류밀도가 높아질수록 제거될 이온의 부족으로 인해서 물분해가 일어나게 된다. 따라서, 이러한 경우 낮은 전류밀도하에서는 모노폴라막의 낮은 전류밀도하의 이온의 제거현상과 같이 옴의 법칙을 따르는 전류와 전압의 관계가 선형적인 관계를 유발할 수 있으며, 전압이 옴의 법칙을 따르는 영역이상을 넘기게 될 경우 바이폴라막에서 일어나는 전이영역에서의 급격한 물분해가 일어나는 것으로 생각된다³⁾. Wang et al은 급격한 전류밀도의 증가는 회석실에서 물분해에 의해 생성된 H^+ 와 OH^- 이온에 의한 영향인 것으로 제시하였다⁴⁾. 그림 9은 이온교환수지가 충전된 전기탈이온 시스템에서 생성되는 물분해를 설명해줄 수 있는 바이폴라면에서의 현상과 이온의 제거현상을 설명주는 모노폴라면에서의 현상을 설명해주고 있다.

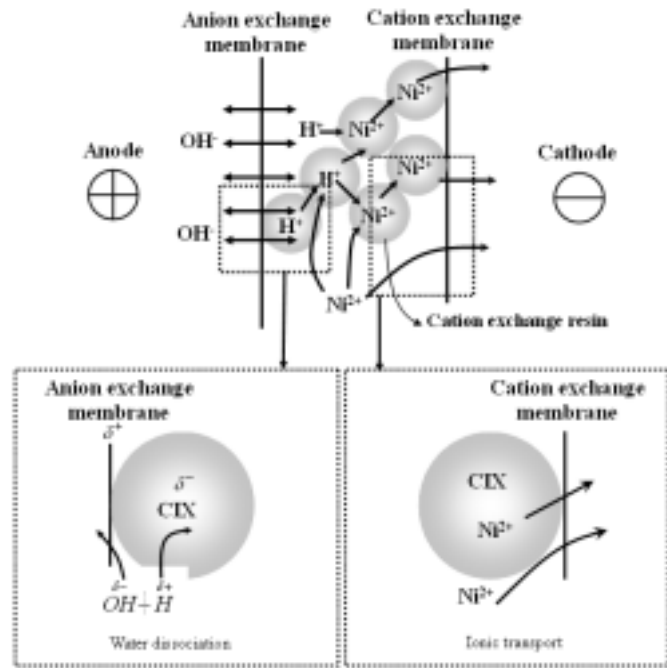


그림 9. 전기탈이온 시스템내의 물분해 현상 및 이온제거현상의 도식적 해석

3.4 세퍼레이션 factor의 결정

전기탈이온 시스템에서 separation factor는 전기탈이온 시스템에서 여러이온이 있는 경우 선택도의 정보를 줄 수 있다. 위 시스템과 같은 경우에서 니켈이온이 제거되기 위해서는 물분해에 의해서 일어나는 수소이온과 경쟁흡착을 한 후 이온교환수지를 통해서 제거되게 된다. 만약 높은 니켈이온의 제거율이 요

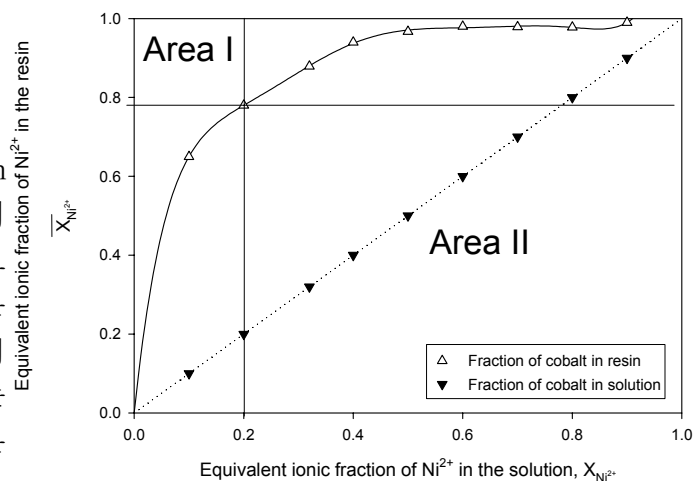


그림 10. 니켈폼의 IRN77의 세퍼레이션 factor

구되어진다면, 전기탈이온 시스템의 경우 이온교환수지를 통해 전류가 흐르기 때문에 이온교환수지에서의 선택도가 높아야 한다. 이러한 선택도를 나타내 주는 인자가 세퍼레이션 factor이다. 그림 10은 니켈과 수소이온사이의 HNO_3 와 $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 로 이루어진 NO_3 0.01M에 대해 흡착 경향을 보여주고 있다. 그래프에서 I의 면적과 II의 면적의 비율이 세퍼레이션 factor (α_{Ni}^H)를 나타내는 것으로 다음과 같이 정의 된다 ⁵⁾.

$$\alpha_{\text{Ni}}^H = \frac{\overline{C_{\text{Ni}}}C_H}{C_H\overline{C_{\text{Ni}}}} = \frac{\overline{X_{\text{Ni}}}X_H}{X_H\overline{X_{\text{Ni}}}} = \frac{\text{Area of II}}{\text{Area of I}}$$

where, $X_{\text{Ni}} = \frac{2C_{\text{Ni}}}{2C_{\text{Ni}} + C_H}, X_H = \frac{C_H}{2C_{\text{Ni}} + C_H}$

만약, 니켈이온이 선호될 경우, α_{Ni}^H 는 1보다 커야하며, 수소가 선호될 경우 α_{Ni}^H 가 1보다 작아야 한다. 따라서, 그래프에서 보여지는 것과 같이 기울기가 1보다 클 경우 이온교환수지가 니켈이온에 대해 선호도를 가지는 것을 나타내며, curve에 대해서 각각 지점에서의 면적의 비율이 세퍼레이션 factor를 나타내게 된다. 위의 그래프의 경우 세퍼레이션 factor가 $X_{\text{Ni}}=0.1$ 일때 16.7을 보이며, $X_{\text{Ni}}=0.9$ 일 경우 11.1을 보임을 알 수 있다. 따라서, 용액에서의 니켈이온의 농도가 낮을 경우 separation factor가 높음을 알 수 있으며, 저농도의 이온의 제거에 대해 전기탈이온 시스템의 적용시 흡착이 잘 이루어짐으로서 더 효율이 높아짐을 알 수 있다. 뿐만아니라, 전기탈이온 시스템의 운전시 전류가 대부분 이온교환수지를 통해서 이동하기 때문에 이온의 제거에도 효율적임을 알 수 있다.

3.5 니켈이온의 제거를 위한 전기탈이온 시스템의 운전

그림 11은 니켈 10ppm의 유입수를 이용할 경우에 대한 전기탈이온 시스템의 운전결과를 보여주고 있다. 약 1시간의 운전후 니켈의 제거율이 약 99%에 이를 수 있으며, 각각의 운전시간 (t_1 에서 t_2) 사이의 전류효율은 다음식을 이용하여 계산되었다.

$$\eta_{\text{Ni}} = \frac{2F(n_{\text{Ni}}^{t_2} - n_{\text{Ni}}^{t_1})}{Q^{t_2} - Q^{t_1}}$$

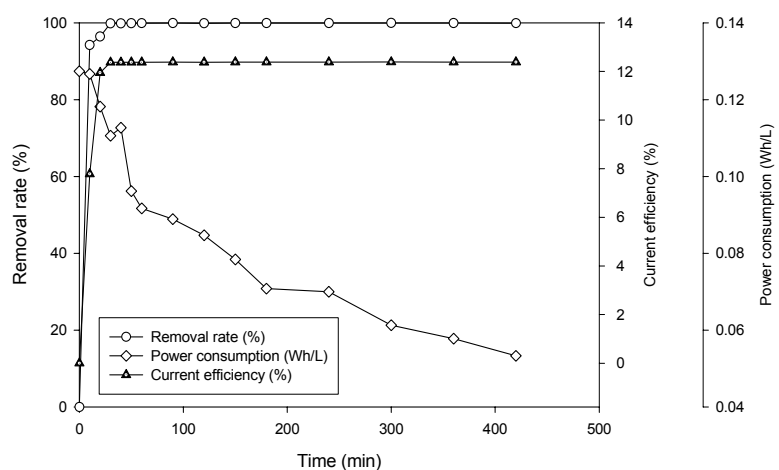


그림11. 시간에 따른 제거율및, 전류효율, 전력소모량

이때, F 는 패러데이상수이며, Q^t 은 시간 t_2 까지 가해진 총 전하량(coulomb), Q^i 은 시간 t_1 까지 가해진 총전하량, $n_{Ni,c}^t$ 은 시간 t_2 까지 제거된 총 니켈이온의 몰수, $n_{Ni,c}^i$ 은 시간 t_1 까지 제거된 총 니켈이온의 몰수를 의미한다.

그림 11에서 보여지는 바와 같이 전류효율은 거의 제거율과 비슷한 경향을 보임을 알 수 있다. 이러한 이유는 일정전류모드에서 운전했기 때문에 나타나는 것으로 생각된다. 또한, 전력소비량이 시간이 지남에 따라서 감소함을 알 수 있는데 이는 이온교환수지가 니켈이온 폼에서 전기적 재생으로 인해 수소 이온 폼으로 바뀜으로서 전기탈이온 시스템의 저항의 감소로 인해서 전압강하가 낮아지는 현상으로 생각될 수 있다. 일반적으로 전기탈이온 시스템의 경우 중금속의 제거시 침전이 일어나는 것으로 알려져 있다. 그러나, 실험후 전기탈이온 시스템의 분해 후 회석실을 관찰 할 경우 어떤 중금속 침전도 일어나지 않았다. 이러한 현상은 다층식 충전방식을 이용해 이온의 제거에 이용했기 때문으로 사료된다. *Spoor et al.*은 다양한 pH 조건하에서 전기탈이온 공정을 운전하였을때 금속물질의 침전현상에 대한 연구를 시도하였다. 그의 결과는 전기탈이온 시스템의 유입수의 pH가 4 미만으로 될 경우 높은 전압에서도 중금속 침전 현상이 일어나지 않음을 관찰하였다 [6]. 이러한 pH 변화는 다층식 방식에서의 중금속이 침전되지 않는 이유를 설명해 줄 수 있다. 즉, 다층식 충전법에서는 앞서 설명된 바와 같이 밑부분에서 양이온 교환수지와 음이온 교환막 사이에서 물분해가 일어나게

되며, 이러한 물분해에 의해서 생성된 수소이온의 형성은 시스템내의 밑부분에서 pH를 낮추는 역할을 하게 된다. pH가 4미만으로 떨어질 경우 중금속 침전은 일어나지 않게 되며, 따라서 다층식 충전법의 경우 중금속 침전이 일어나지 않게 된다. 그림 12은 cathodic 농축실과 anodic 농축실에서의 pH변화를 보여주고 있다. Anodic 농축실에서 일어나는 pH증가와 cathodic 농축실에서 일어나는 pH 감소는 앞서 설명된 바와 같이 그림 4에서 보여지는 바와 같이 반대되는 전하에 의해 일어나는 바이폴라면에서의 물분해 현상으로 설명될 수 있다.

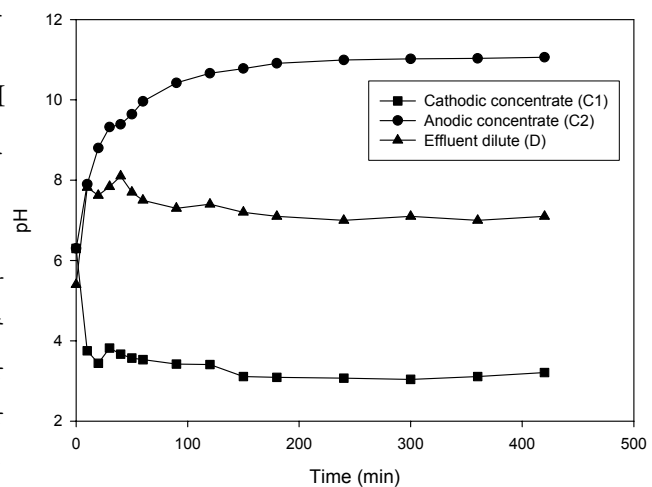


그림 12. 시간에 따른 농축실에서의 pH 변화 및 회석실에서 pH변화

3.6 마그네틱 필터-전기탈이온 시스템의 접합공정 운전

마그네틱 필터-전기탈이온 시스템이 기존의 최적운전조건하에서 이온성물질의 제거 및 입자성 물질의 제거 성능을 평가하기 위해서 혼합공정형태로 운전되었다. Table 1은 혼

합공정의 운전결과를 보여주고 있다. 이 결과로 부터, 마그네틱 필터의 경우 입자성 물질을 제거할 수 있으며, 이온성 물질의 경우에 대해서는 전혀 제거능력이 없는 것으로 평가 될 수 있다. 그러나, 전기탈이온 시스템의 경우 마그네타이트가 약 0.4%까지 제거되는 사실을 알 수 있다. 마그네타이트의 제거에 관한 현상을 설명하기 위해서 마그네타이트 10ppm을 가지고 전기탈이온 시스템에서 같은 운전조건하에서 4시간 동안 운전을 시도하였다. 그 결과 전기탈이온 시스템의 아랫부분에서 파울링 현상이 일어남을 알 수 있으며, 따라서, SEM분석이 시도되었다. 그림 13는 4시간 운전후의 이온교환수지의 표면분석결과를 나타내고 있다. 보여지는 바와 같이 마그네타이트가 화학적 반응 없이 물리적인 흡착을 일으켰음을 알 수 있다. 따라서, 물리적인 흡착을 일으키는 파울런트로서 마그네타이트가 전기탈이온 시스템에 영향을 미침을 알 수 있으며, 파울링 감소연구나 two stage 마그네틱 필터-전기탈이온 시스템등의 파울링 저감 공정연구가 수행되어야 함을 보여주고 있다.

표1. 집합공정에서의 생산수의 제거율 비교

Component	Feed concentration	Removal rate	
		Magnetic filter system	CEDI system
Fe_2O_4	10ppm	98.39%	0.4%
$\text{Ni}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	10ppm	0.00%	99.85%

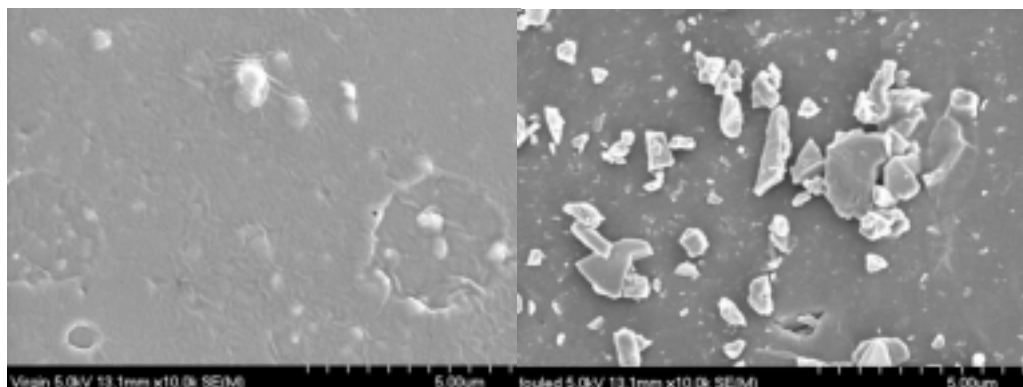


그림 13. Na로 치환된 이온교환수지의 표면 (좌) 및 전기탈이온 공정운전후 마그네타이트로 파울링된 이온교환수지 (우)

4. 결론

이번연구는 마그네틱 필터-전기탈이온 집합공정이 마그네타이트와 니켈이온을 제거시 높은 제거율을 가지고 우수한 성능을 보여주었다. 전기탈이온 시스템의 분석을 위한 전류-전압곡선 연구는 이온의 제거 및 이동에 관한 도식적인 현상이해를 줄 수 있었으며, 최적 전류밀도를 제시해 주었다. 전기탈이온 시스템의 이온교환수지는 이온의 제거시 저농도에서 이온의 흡착을 증가시키며, 시스템내의 전도도를 증가 시켜주는 것으로 나타났다. 니켈이온의 제거를 위해서 사용된 다층식 충전법의 경우, 희석실에서 일어나는 물분해에

의한 pH 감소로 인해 금속침전을 막을 수 있는 것으로 평가되었다. 뿐만아니라, 전기탈이온 시스템에서 일어나는 전기탈이온 시스템의 pH 변화는 물분해 현상으로 설명될 수 있었다. 혼합집합공정을 이용하여 입자성물질과 이온성물질의 제거시 마그네타이트가 이온교환수지에 물리적인 흡착에 의해 파울링을 일으키는 것으로 나타났으며, 파울링 물질의 저감연구와 개선된 공정연구가 더 수행되어야 할것으로 생각된다.

사사

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

참고문헌

- 1) Yeon, Kyeong-Ho, Preparation and characterization of ion-conducting spacers in CEDI and their applications in a nuclear power plant, *Ph.D. Dissertation, Dept. of Env. Sci. & Eng., Kwangju Institute of Science and Technology* (2003)
- 2) K.H. Yeon, J. H. Seong, S. Rengaraj, S. H. Moon, Electrochemical characterization of ion-exchange resin beds and removal of cobalt by EDI, *Separation Science and Technology*, 38 (2003), 439-458
- 3) John Jacco Krol, Monopolar and bipolar ion exchange membranes, *Ph. D, thesis in Univ. Twente, The Netherland*, 1997
- 4) Jianyou Wang, Shichang Wang, Manrong Jin, A study on the electrodeionization process - high-purity water production with a RO/EDI system, *Desalination*, 132 (2002), 349-352
- 5) F. Helfferich, Ion Exchange, Mc Graw-Hill, 1961, London
- 6) P.B. Spoor, L. Koene, W.R. ter Veen, L.J.J. Janssen, The removal of nickel ions from dilute solutions, *Jouranl of Applied Electrochemistry*, 32 (2002)