

# A novel process for the efficient regeneration of spent ion exchange resins by electrochemical method

2026. 06. 18

Byung-Seon Choi



- 01** 기술개발 배경 및 필요성
- 02** 시험 장치 개발 및 성능시험
- 03** 폐이온교환수지 재생성능 평가
- 04** 결과 요약 및 향후 계획

# 1. 기술개발 배경 및 필요성

2026 KHNP-EPRI RS/CHEM/DECOM Workshop

## ❖ 국내 원전이 전력생산에 차지하는 비중이 매우 큼

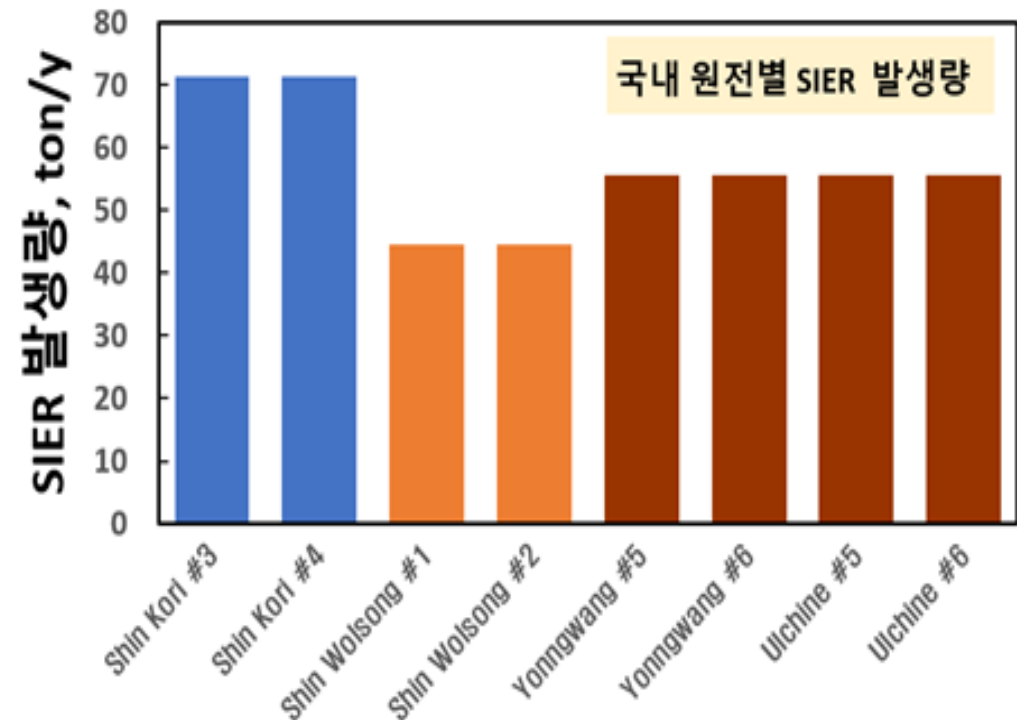
- 산업 발전 및 경제발전에 큰 견인차역할
- 2019년 기준 전체 **전력생산량의 30%**를 차지함

## ❖ 원자력 발전 지속 가능성 제고

- 방사성 폐기물 발생 및 처리 처분관련 문제점
  - 고준위 폐기물: 건식저장, 습식저장, 재처리
  - 중저준위 폐기물: KORAD 처분장에 영구 분리 처분
- 폐이온교환수지 처리, 처분 문제
  - **확정된 처분 방안이 없고, 원전 site에 보관중**

## ❖ 원전 1년 운영시 폐이온교환수지(SIER) 발생량: 40 ~ 70 ton/y

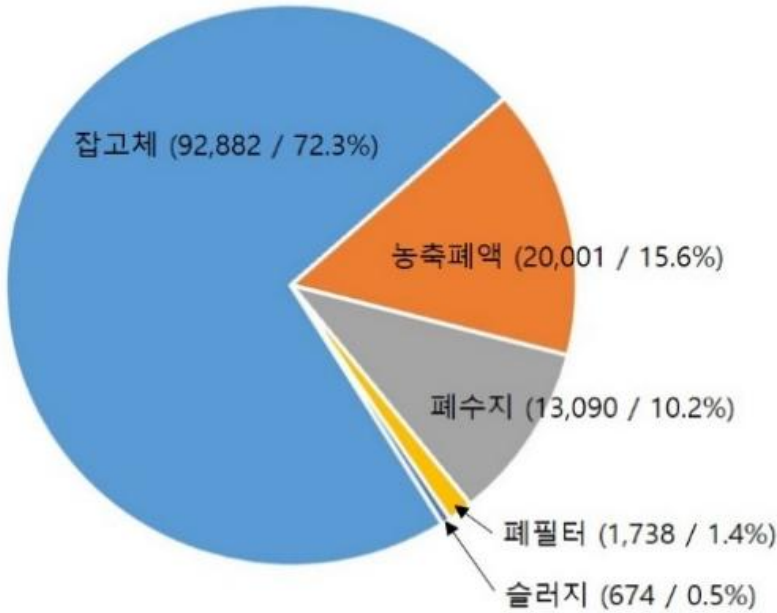
- 노형, 운영방식에 따라 다양
- 방사성 물질이 가장 많이 포함된 SIER는 CVCS의 정화탑에서 발생
- 일차 계통수 정화( $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$  등 방사성 부식산화물 제거), Li제거, 탈 붕소



❖ 현재 국내 운영 중인 25기의 원전에서 발생한 총 폐이온교환수지 발생량 **1,618 m<sup>3</sup>**  
⇒ **2조 원 이상**의 시장 형성 (200 L 드럼당 방사성폐기물 처분비용 약 2,000 만원 가정시)

[국내 원전발생 폐이온교환수지 발생량 (2019년 기준)]

종 류	발생량	
	드럼갯수 (200 L)	부피 (m <sup>3</sup> )
잡고체	92,882	18,576
농축폐액	20,001	4,000
<b>폐이온교환수지</b>	<b>13,090</b>	<b>1,618</b>
폐필터, 슬러지	2,412	482
합 계	6200	24,676



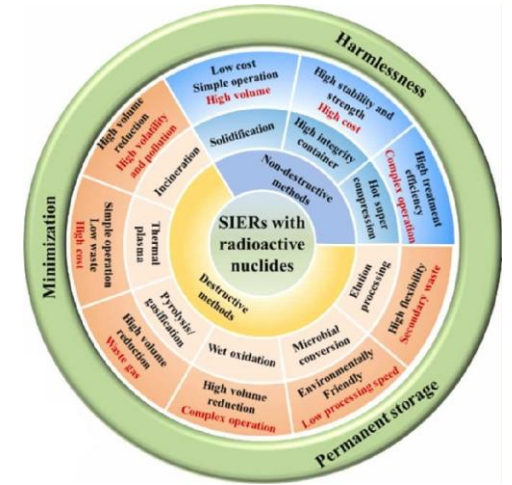
<고체폐기물 종류별 발생량 >

➢ 국내 가동원전의 증가 및 장주기 운전에 따른 **폐이온교환수지 발생량 증가로 시장규모 확대 예상**

## ❖ 원전 발생 폐이온교환수지 처리기술 미확보

- 비 파괴적인 방법: 고형화, HIC, High Pressure Compression
- 파괴적 방법: Incineration, Thermal Plasma, Pyrolysis, Wet Oxidation...

➤ **고비용, 다량의 2차 폐액 발생으로 기술 실용화 한계**



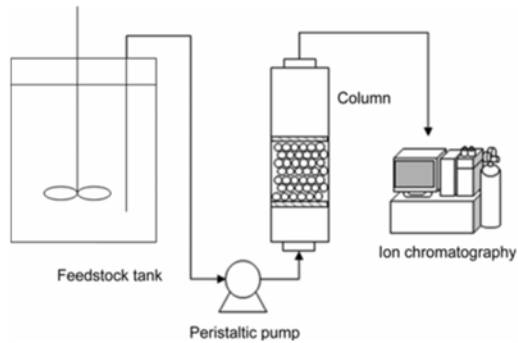
## ❖ 폐이온교환수지의 저감 및 재활용을 위한 친환경 재생기술 확보 필요

- 바이폴라막을 활용한 전기투석기술 적용
- 중성염을 활용한 2차 폐액 무방류 친환경 기술
- 원전 발생 폐이온교환수지 재생 시스템 개발 필요

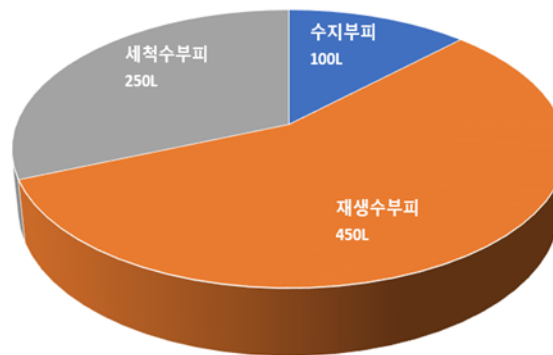
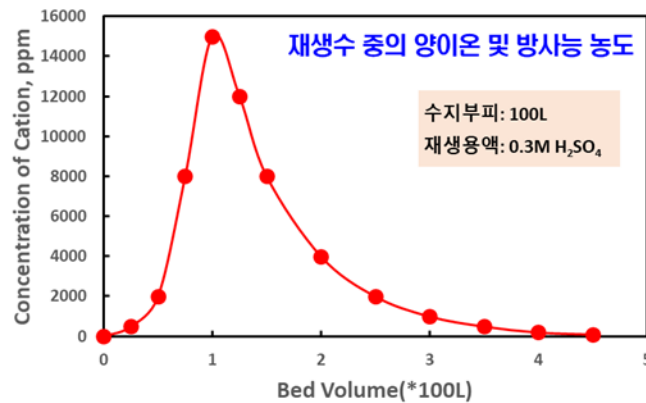
➡ **전기화학적 기술을 활용한 원전 발생 폐이온교환수지 재생성능 평가**

## ❖ 폐이온교환수지 재생시 방사성폐액 발생량 비교

### <일반 수지 재생 기술>

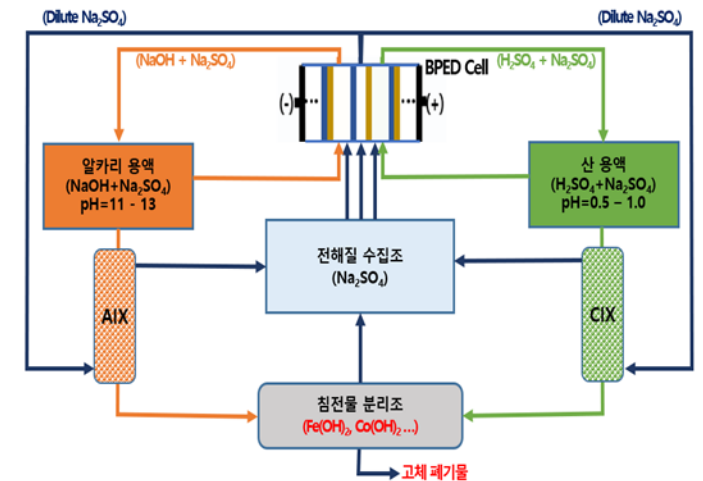


- 폐액 Simulation기본가정
  - SIER : 100L(IRN77)
  - $\text{Ni}^{2+}$  ion 100% Saturation
- 컬럼 Design
  - 120L
  - $50\phi \times 510^H$



➡ 수지 부피의 7배 이상 폐액 발생

### <BPED 기반 재생 기술>

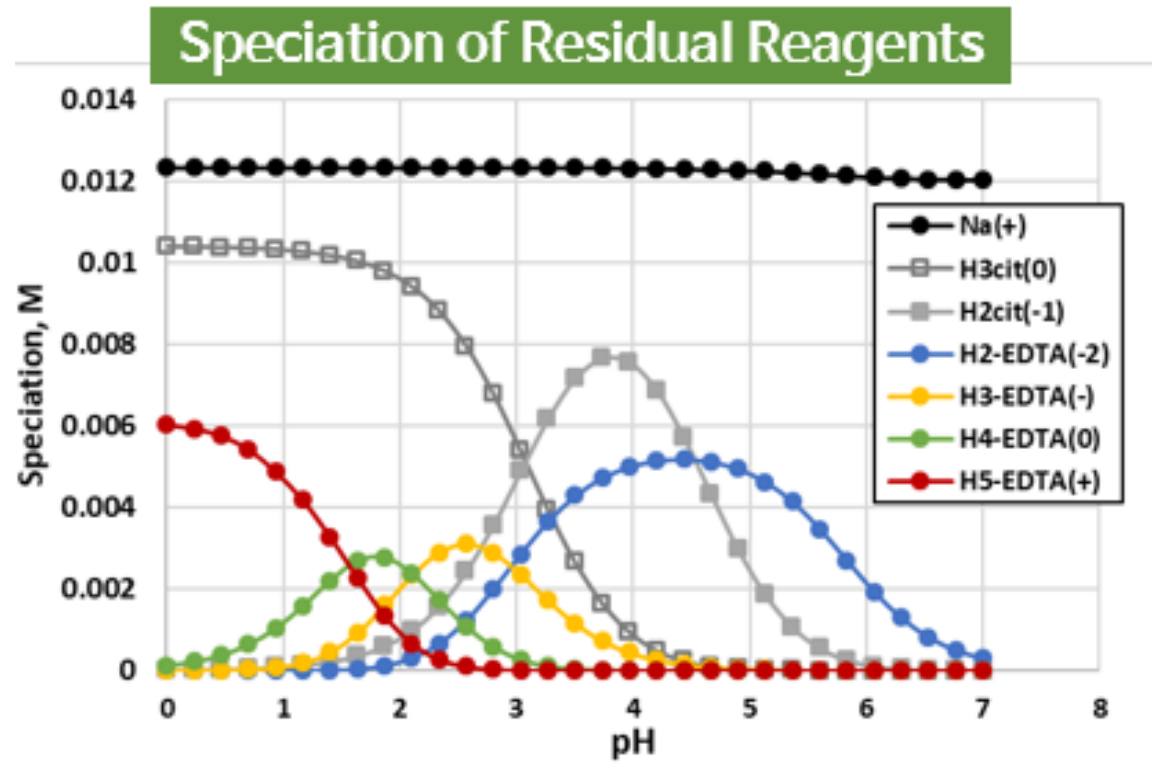


- 폐액 무방출 (중성염 반복사용)
- 폐수지 자체처분
- 극소량의 고체폐기물  
(시멘트 고화/KORAD처분비용 절감)

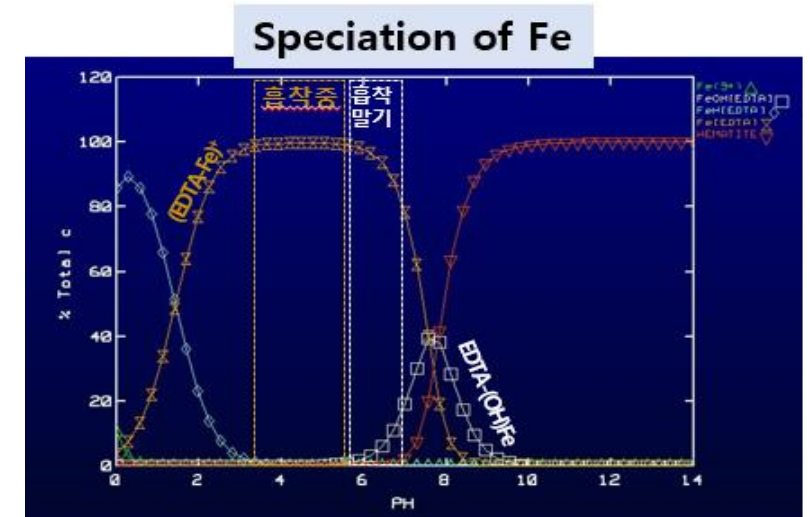
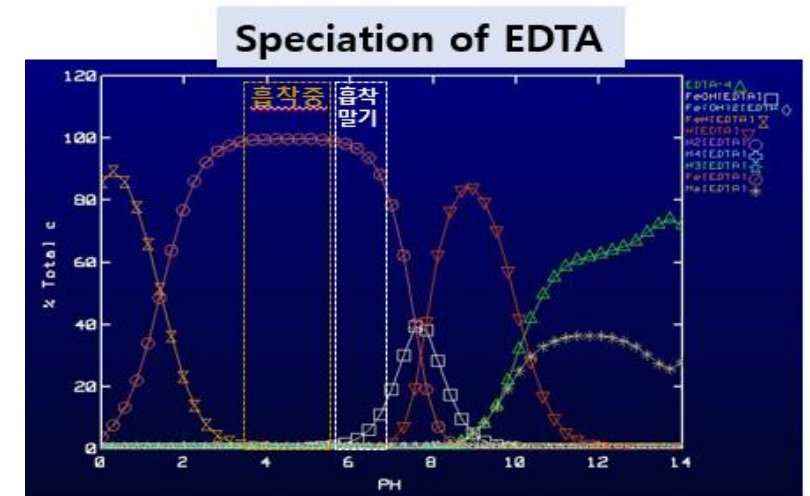
## 2. 폐이온교환수지 특성 분석

2026 KHNP-EPRI RS/CHEM/DECOM Workshop

### ❖ 원전 발생(RCP 제염시) 폐이온교환수지 특성 분석 및 모사



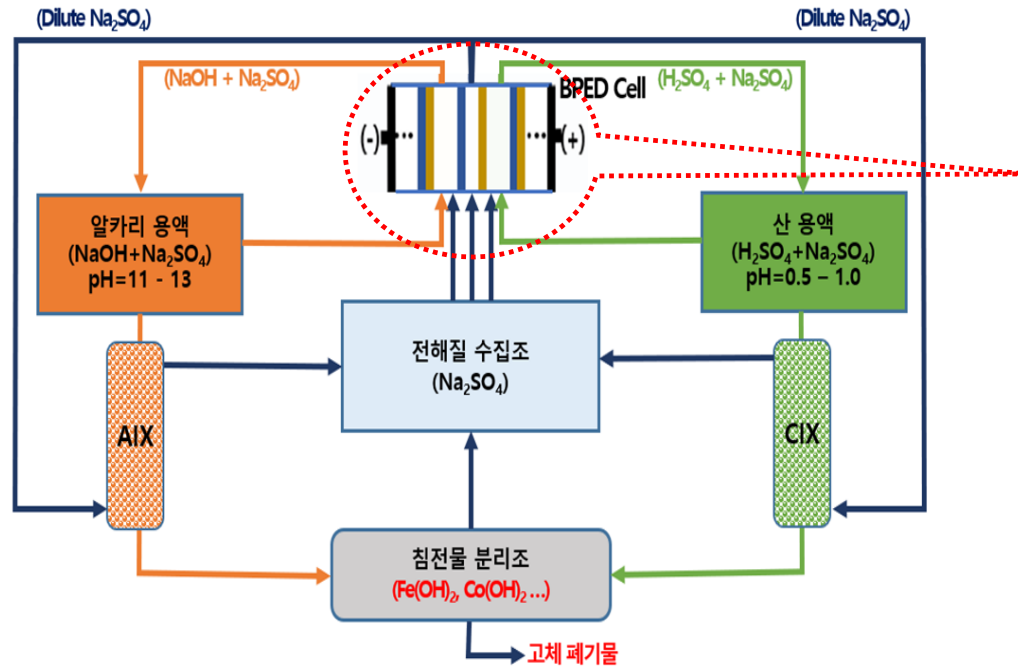
EDTA-IRN77-Fe<sup>2+</sup> 흡/탈착 실험



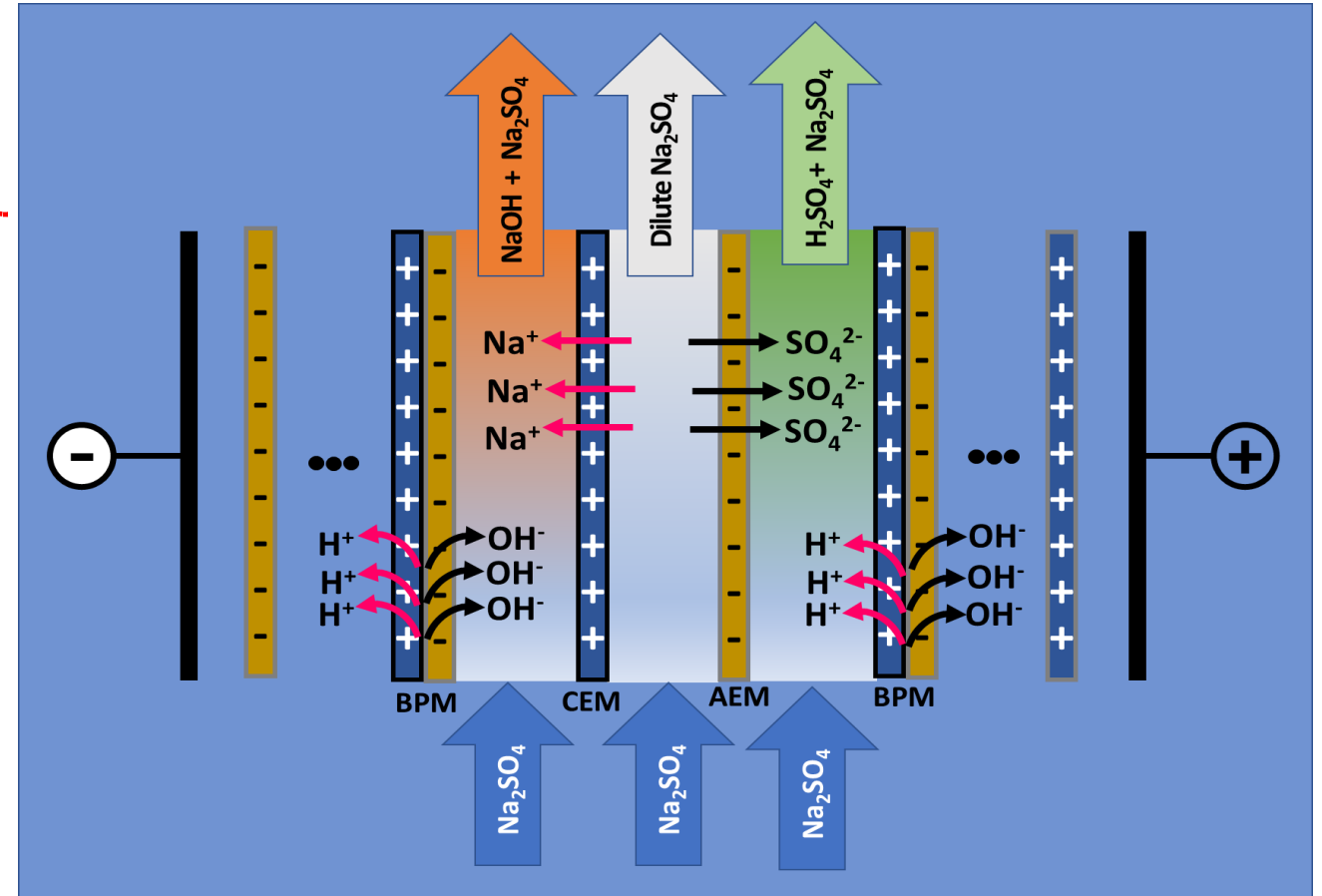
## 2. 폐이온교환수지 재생 단위장치 개발

2026 KHNP-EPRI RS/CHEM/DECOM Workshop

### ❖ BPED 장치설계 및 성능시험



### 바이폴라 전기투석 기반 재생 기술





### 3. 폐이온교환수지 재생 성능 평가

2026 KHNP-EPRI RS/CHEM/DECOM Workshop

#### ❖ 폐수지 컬럼시험 장치설계 및 성능시험

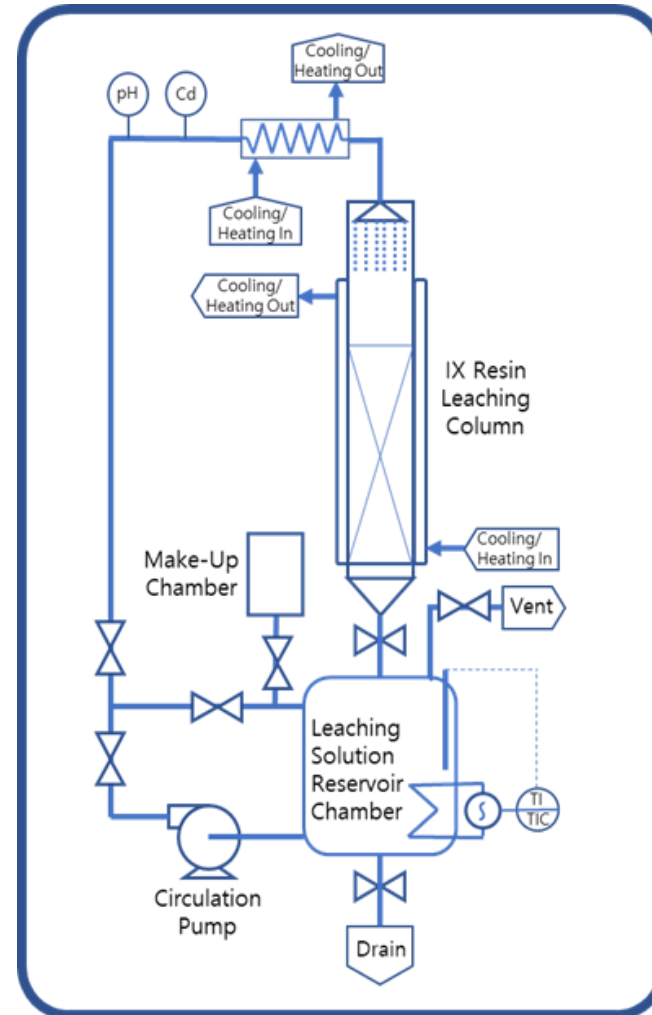
##### 이온교환수지 재생조건

##### 1. 양이온교환수지(IRON77)

- IRN77 20ml 이온교환용량의 60 % 흡착
- 흡착 핵종
  - $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$  : 4.8 mM
  - $\text{Co}^{2+}$  : 2.4 mM

##### 2. 이온교환수지 재생 용액(3종)

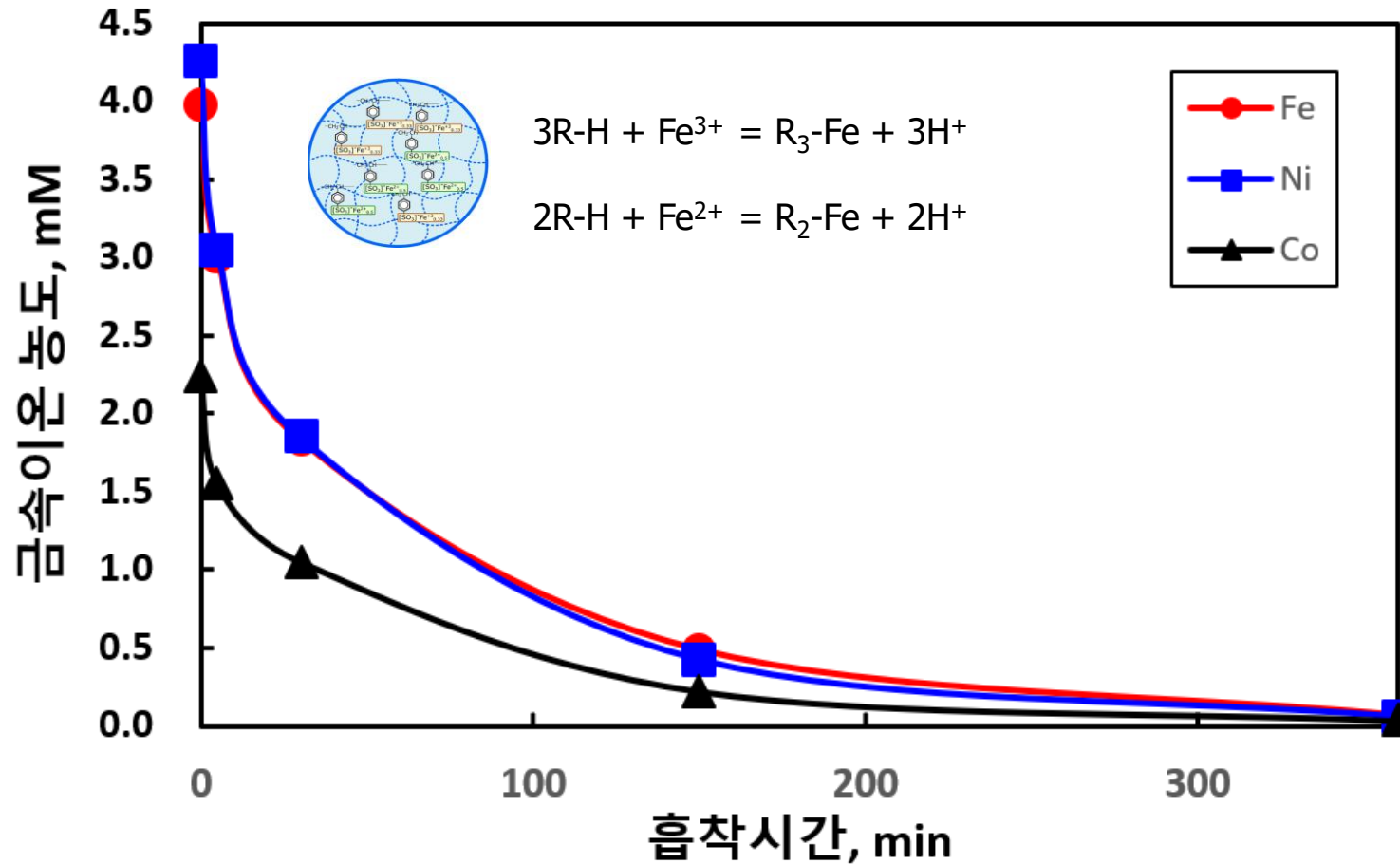
- 0.5M  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ , pH=5.8
- 0.5M  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  +  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , pH=1.0
- 0.5M BPED solution, pH=1.0



### 3. 폐이온교환수지 재생성능 평가

2026 KHNP-EPRI RS/CHEM/DECOM Workshop

#### ❖ 이온교환수지(IRON77) 흡착성능 시험



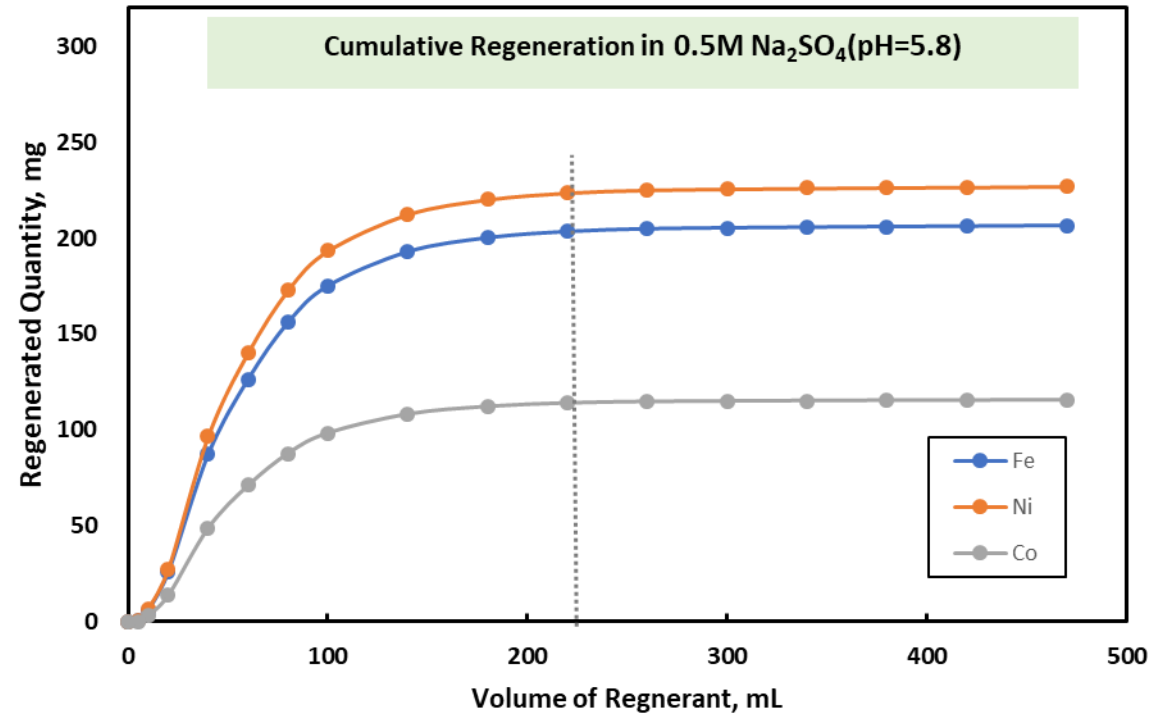
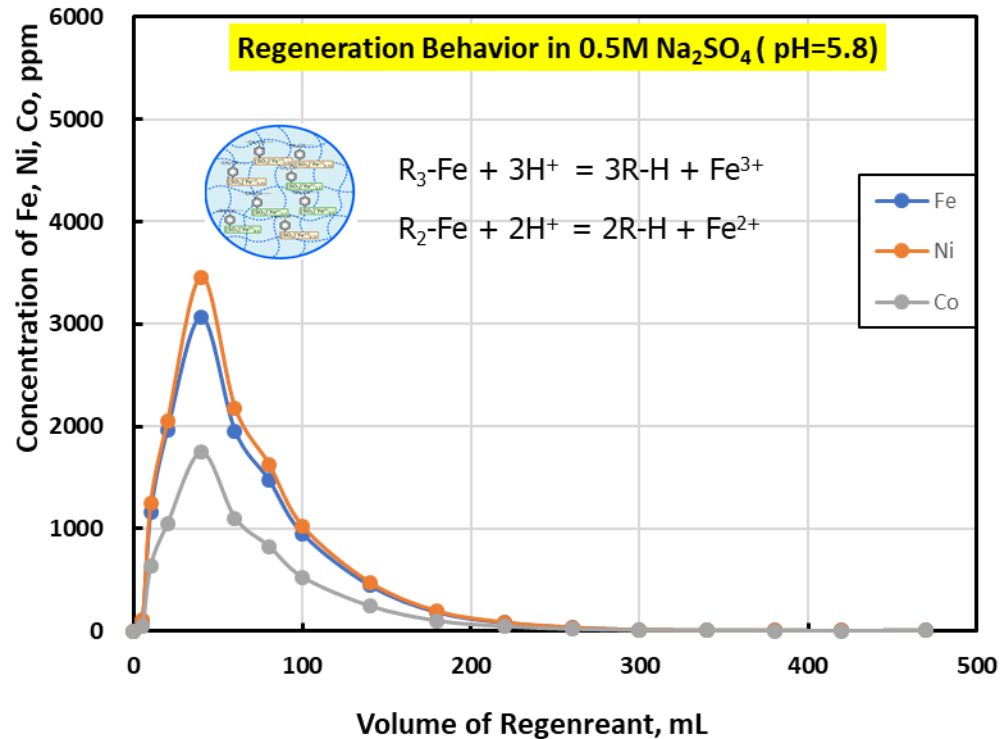
- 총이온교환용량(IRON 77)의 60% 흡착
- 흡착농도  $Fe^{2+} : Ni^{2+}, Co^{2+} = 2:2:1$
- 흡착용액은  $H_3BO_3$  수용액을 환원분위기 유지
- 250rpm 교반 6시간 후 흡착효율 99%

### 3. 폐이온교환수지 재생성능 평가

2026 KHNP-EPRI RS/CHEM/DECOM Workshop

#### ❖ 폐이온교환수지 재생성능 시험

- 우수한 재생성능(>98%)
- 200mL 이상공급시 대부분(>98%) 탈착

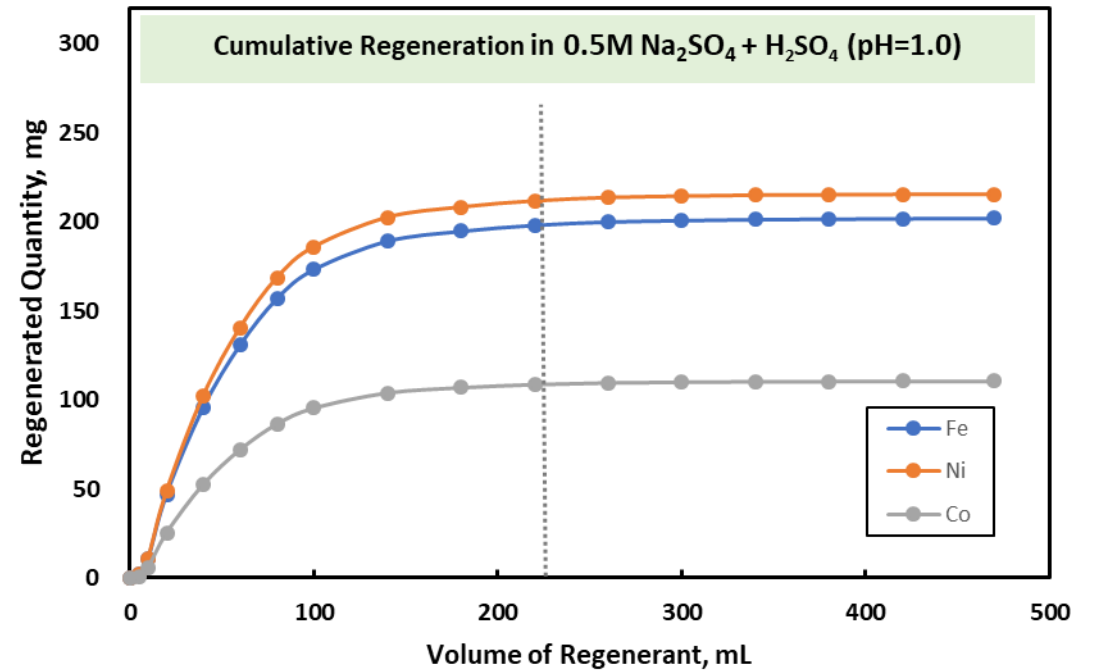
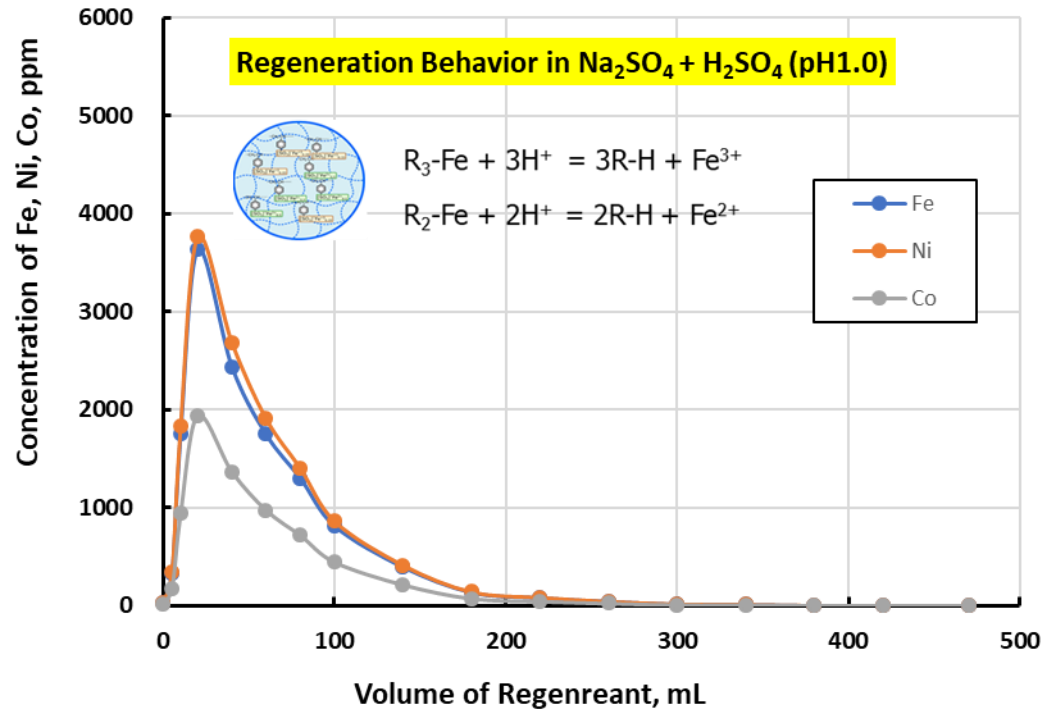


### 3. 폐이온교환수지 재생성능 평가

2026 KHNP-EPRI RS/CHEM/DECOM Workshop

#### ❖ 폐이온교환수지 재생성능 시험

- 우수한 재생성능(>98%)
- 특히 BPED 재생용액 200mL 이상공급시 대부분(>98%) 탈착

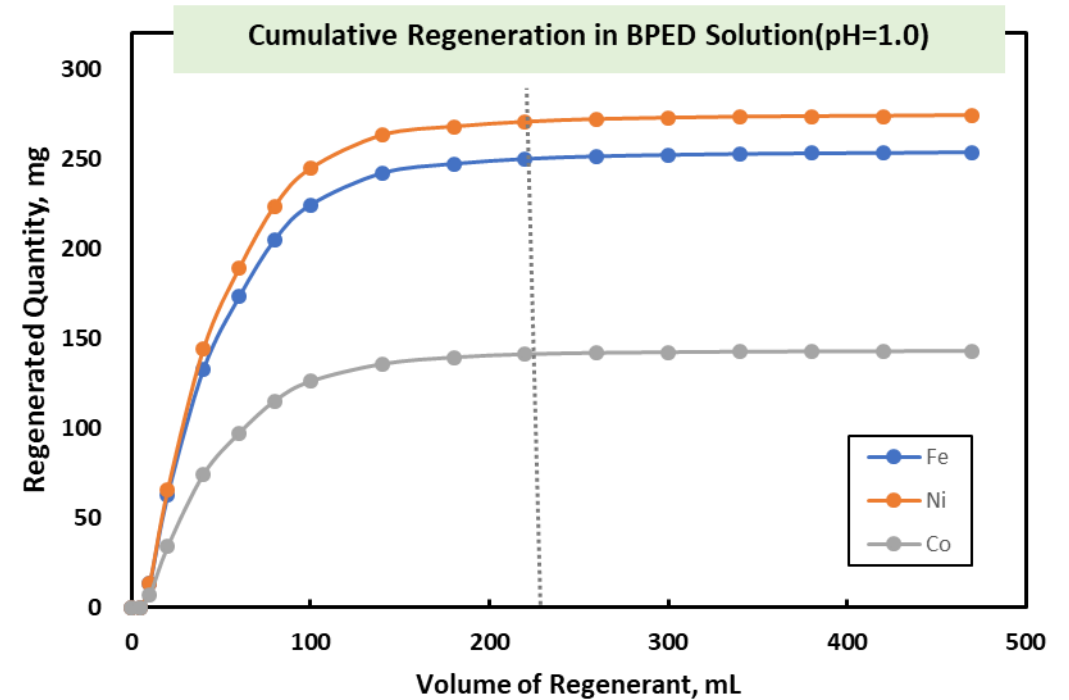
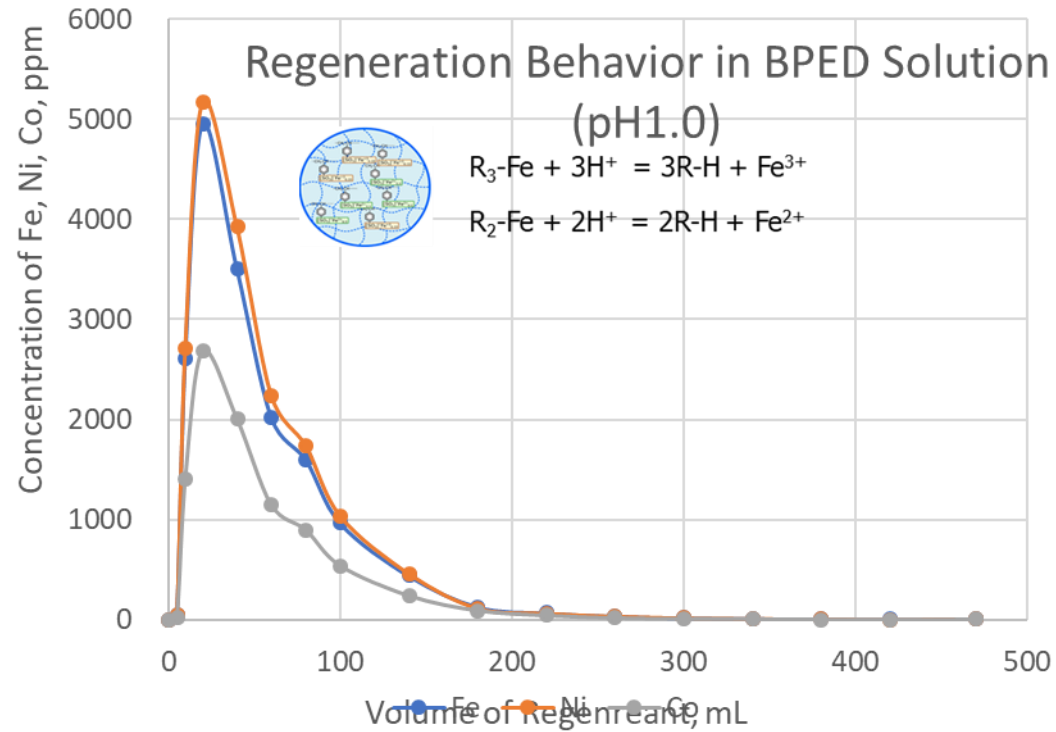


### 3. 폐이온교환수지 재생성능 평가

2026 KHNP-EPRI RS/CHEM/DECOM Workshop

#### ❖ 폐이온교환수지 재생성능 시험

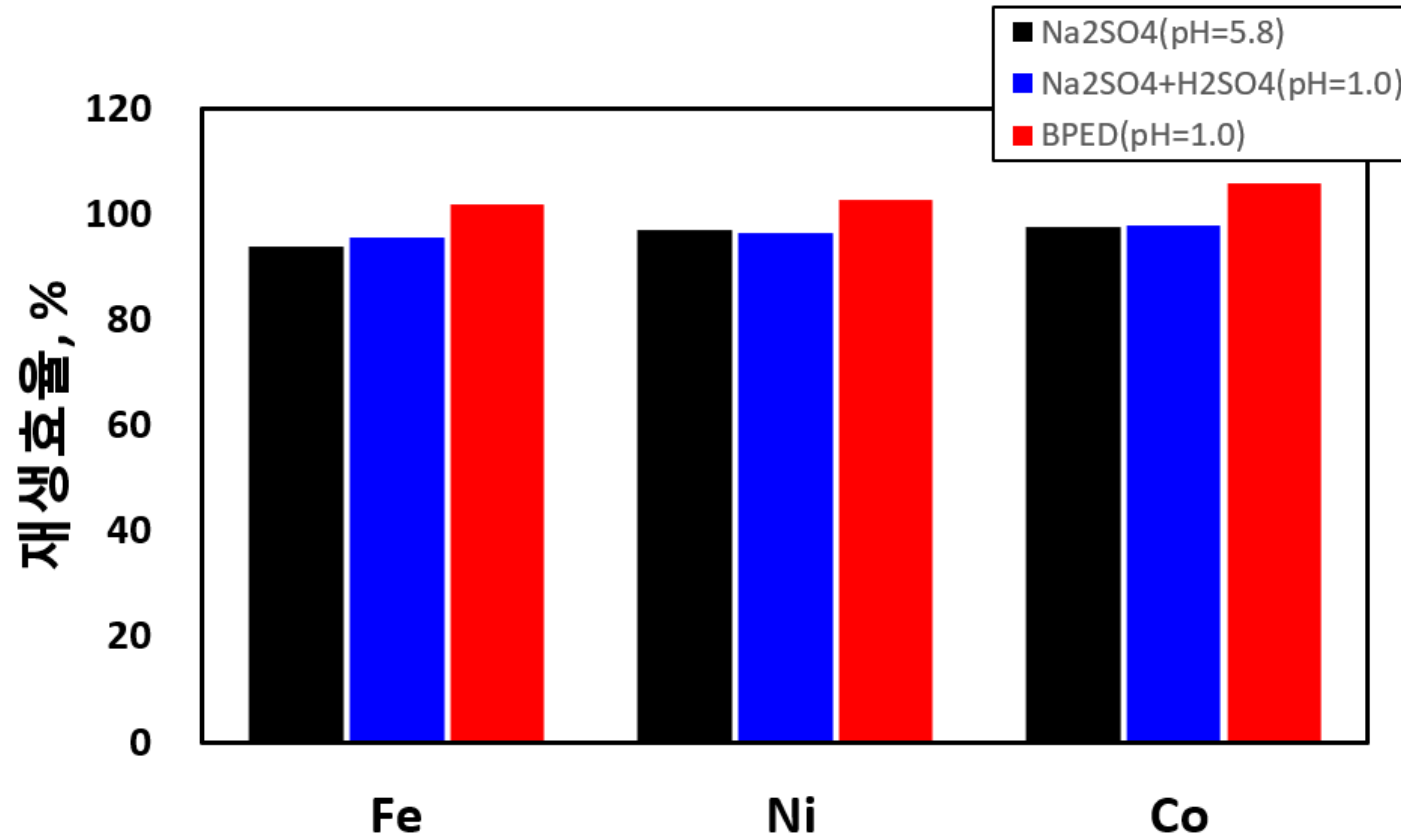
- 우수한 재생성능(>98%)
- 200mL 이상공급시 대부분(>98%) 탈착



### 3. 폐이온교환수지 재생성능 평가

2026 KHNP-EPRI RS/CHEM/DECOM Workshop

#### ❖ 폐이온교환수지 재생성능 시험



- 3종의 재생용액 모두 우수한 재생성능(>98%)
- 특히 BPED 재생용액 우수

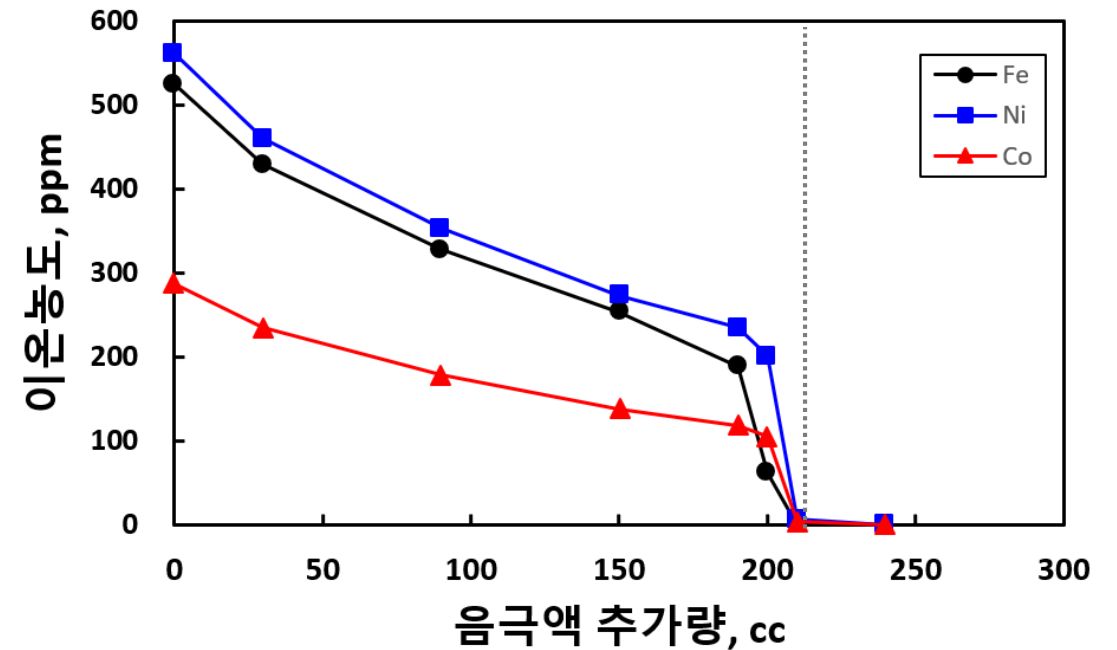
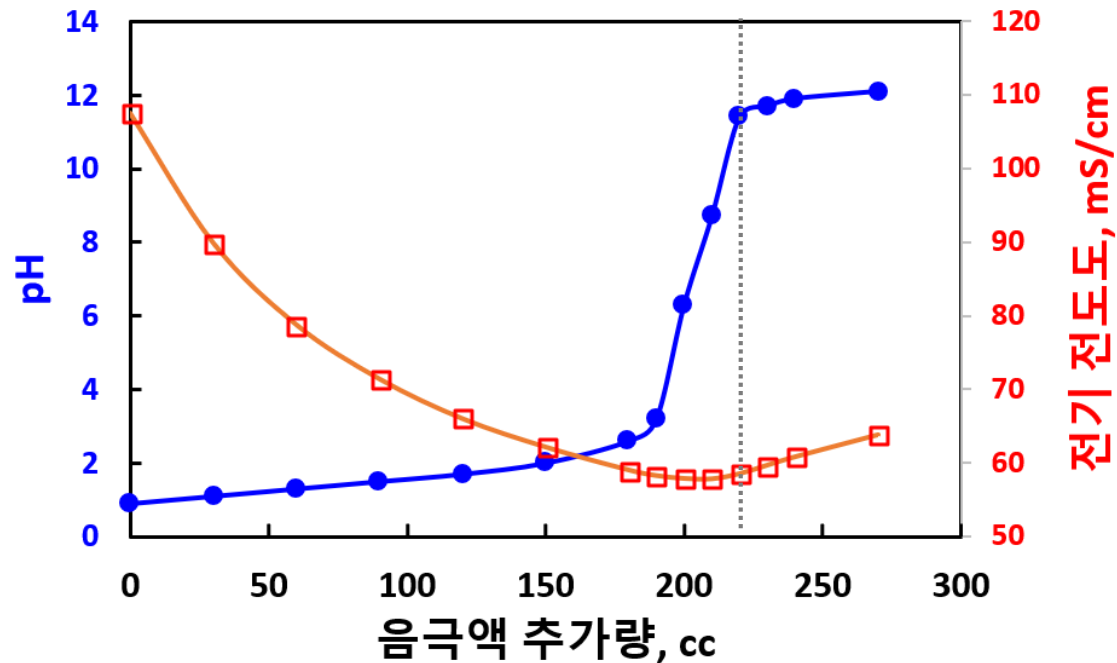
< IRN77에 흡착된  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Ni}^{2+}$ ,  $\text{Co}^{2+}$  이온의 재생효율 >

### 3. 재생용액 침전성능 평가

2026 KHNP-EPRI RS/CHEM/DECOM Workshop

#### ❖ 폐이온교환수지 재생용액의 침전성능 평가

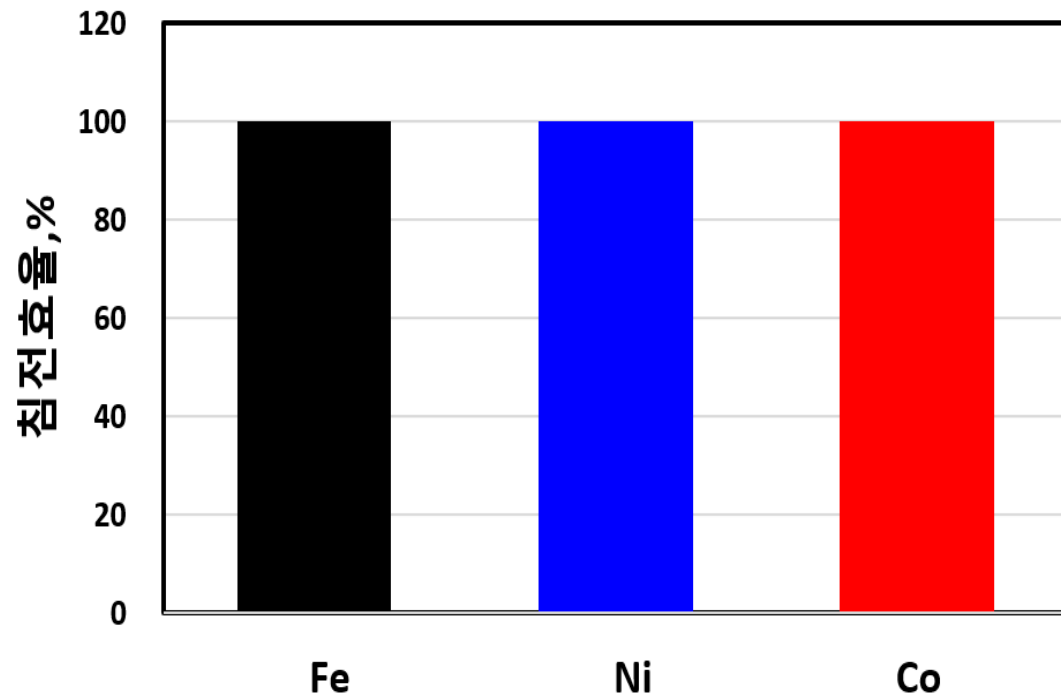
- 음극액 공급량에 따라 pH 급격히 상승
- pH = 11 이상에서 침전효율 우수
- 음극액 200mL 이상 주입시 침전량 급격히 증가
- 재생용액중에 존재하는 이온은 ~100% 제거



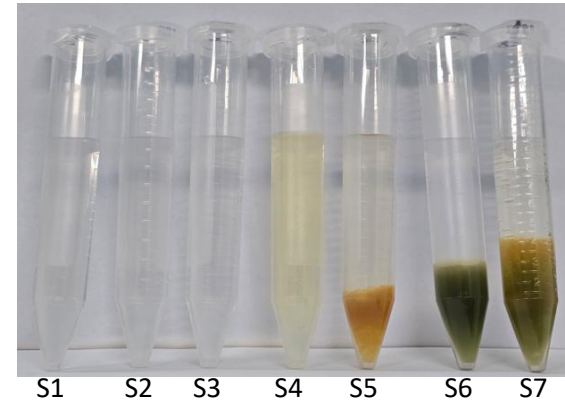
### 3. 재생용액 침전성능 평가

2026 KHNP-EPRI RS/CHEM/DECOM Workshop

#### ❖ 폐이온교환수지 재생용액의 침전성능 평가



<채취된 시료>



#### 최적 침전 조건

- 음극액 첨가량: 210 ~ 240 mL  
(양극액의 1.4 ~ 1.6배)
- pH 11.4 ~ 11.9

0.45um Filtering

ICP 분석



## 4. 결과 요약 및 향후 계획

2026 KHNP-EPRI RS/CHEM/DECOM Workshop

- ❖ 전기화학적방법(전기투석법)을 적용하여 원전발생 폐이온교환수지 재생시 **우수한 재생효율**을 보였음( **> 98% 이상** )
- ❖ 재생용액에 존재하는 방사성 핵종은 침전공정을 통해 100% 제거 가능
- ❖ 폐이온교환수지 재생을 통한 방사성폐기물의 체적저감비(Volume Reduction Ratio, VRR)는 **최소 20배 이상**으로 예상
- ❖ 기존의 화학적인 재생시 **방사성폐액 발생이 전혀 없는 친환경 기술(Zero Release)**
- ❖ 원자력시설에서 실증시험 후 사업화 예정

---

Thank you !

Q&A