

수처리 공정의 이온교환 수지탑의 제염계수 특성

손영준, 이형권, 이은표, 김길수, 전용범
 한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지
 nyzson@kaeri.re.kr

1. 서론

사용후 핵연료 저장수 중 방사능을 띤 성분들은 이온교환수지에서 제거가 가능한 이온 형태의 성분 및 분말형 이온교환수지로 코팅한 프리코트 필터에 의해서 주로 제거되는 입자성 물질로 존재한다. 이러한 이온성분과 입자성 물질 제거를 위하여 조사후시험시설의 풀에서는 원자력 발전소로부터 핵연료가 반입되면 풀과 풀 사이의 수문을 닫고 방사성물질 오염도가 가장 높은 풀부터 법정 규제치 이하 수준으로 떨어질 때까지 3개의 풀을 번갈아 처리하여 수조내 방사능이 10^{-3} ($\mu\text{Ci/cc}$) 이하가 되도록 정화 작업을 수행하고 있다.

2. 이온교환수지의 제염계수 특성

정화 장치에 사용된 이온교환수지는 필요에 따라 재생해 주거나 교체하게 된다. 재생 및 교체 시기는 제염효율로써 알 수 있는데 수지의 정화 장치에서 배출된 정화된 물(Effluent)의 방사능을 정화 장치로 들어가는 풀 물(Feed)의 방사능과 비교하여 제염효율(Decontamination Efficiency : DE)을 구하는데 다음 식과 같이 계산한다.

$$DE = \frac{\text{Feed} - \text{Effluent}}{\text{Feed}} \times 100$$

여기서 제염효율이 음의 값을 나타낼 때는 정화된 물의 방사성 물질 오염도가 정화되기 전 물의 오염도 보다 높은 것을 의미하며 이것은 이미 수지에 흡착된 이온이 다른 이온(친화력이 높은 이온)에 의해 탈착되는 것을 의미한다. 따라서 DE가 음의 값을 나타낼 때는 이온교환수지를 재생하거나 신수지로 교체해야한다. 본 공정에서는 제염계수가 10 이하일 때 수지를 교체하도록 되어있다. 본 공정의 운전 경험에 의하면 새 수지 충전 후 얼마 사용하지 않은 이온교환수지의 제염계수가 이온교환수지에 완벽한 제거가 어려운 입자성 부식생성물과 부유물로 인해 10 이하로 나타낼 때가 있었다. 이것은 사용후핵연료 저장수의 방사능을 띤 성분 중에 이온교환수지에서 제거가 가능한 이온성분과 함께 프리코트 필터에 의해 제거되는 입자성 물질이 함께 존재하는 것에 기인하는 것으로 이온교환수지 제염계수 측정시 입자성 물질 및 부유물을 배제한 후 측정하도록 하고 제염계수 측정은 분말형 이온교환수지로 코팅된 프리코트 필터로 여과된 여액의 방사능 농도를 측정하는 절차를 도입하는 것이 바람직하다고 여겨진다. 이는 프리코트 필터로 여과된 여액으로 방사능 농도를 측정하지 않을 시에는 마치 이온교환수지의 제거능이 낮은 것으로 오판될 수 있기 때문이다. 이러한 측정 오차 인자를 고려하여 수처리 공정의 이온교환 수지의 교환 시점을 정확히 판정함으로써 이온교환수지 절감과 폐액 감용 효과 등의 효과를 기대할 수 있을 것이다.

3. 사용후핵연료 저장조 정화 장치의 이온교환수지 특성 및 제거용량

가. 수지특성

본 수처리 공정에 사용하는 이온교환수지는 일반 용수처리에 사용되는 수지와는 다른 Nuclear Grade 로써 양이온수지인 경우 H^+ 형, 음이온수지인 경우 OH^- 형을 사용함으로써 수조내로 유입될 수 있는 Na^+ 와 Cl^- 를 엄격히 제한하고 있다. 본 시설 사용후결합핵연료 저장수조의 수처리에 사용되는 핵등급 강산성 양이온수지와 강염기성 음이온수지 사양은 다음과 같다.

표 1. 수처리 수지 사양

수 지 명	양이온수지	음이온수지	비 고
수지형태	H^+	OH^-	Mono Bed
교환용량	1.8(meq/ml)	1.2(meq/ml)	
수지 충전량	500 l	670 l	
이온 제거량	17.4kg(^{60}Co 기준)	105.32kg(^{131}I 기준)	

나. 제거능력에 근거한 이온교환수지의 사용시간

사용후핵연료 저장수의 정화는 연속적으로 일정량의 방사능을 함유한 저장수가 이온교환수지와 프리코트 필터를 거치면서 방사성 물질과 화학적 불순물이 제거되는 공정이다. 저장수내에는 방사성 물질과 많은 양의 비방사성 물질이 공존한다. 방사능 농도 기준으로 이온교환수지를 어느 정도 사용할 수 있는지 살펴보면 다음과 같다. 방사능으로 오염된 저장수를 비방사성 농도를 환산하는 식은 다음과 같다.

$$A(\mu\text{Ci/cc}) = 37000(\text{dis/cc}) \frac{T_1(\text{sec})}{\text{Ln}2} \times \frac{M.W(\text{g/mole})}{\text{Avogadro수}(\text{dis/mole})} \times 10^9 \frac{(\text{ppb})}{(\text{g/cc})}$$

위의 식을 활용하면 ^{58}Co 의 비방사능($1\mu\text{Ci/cc}$)는 ^{58}Co 무게농도로 0.0315ppb 이고, ^{131}I 의 비방사능($1\mu\text{Ci/cc}$)는 ^{131}I 무게농도로 0.000807ppb 에 상당한다. 그러나 저장수 중의 비방사능 기준이 $10^{-3}(\mu\text{Ci/cc})$ 이기 때문에 일반적인 방법으로 측정이 불가능하다. 이 기준을 기준으로 평가하면 낮은 비방사능 물질의 질량 농도로 인해 이온교환 수지의 사용 수명은 본 공정의 정화 유량이 $20(\text{m}^3/\text{hr})$ 인 것을 고려할 때 양이온, 음이온 수지의 사용 예측 시간은 각각 2.4×10^7 시간, 1.4×10^8 시간 정도이다.

나. 제거능력에 근거한 입상형 이온교환수지와 분말형수지 필터의 제염효율 비교
 제염효율의 실제적인 예로써 표 1에 나타내었다. 입상형수지인 경우의 제염효율은 Co-60에 대해서는 거의 미소한 변화를 보였으나, Cs-137에 대해서는 서서히 떨어지는 경향을 보여주고 있다. 이것은 Co^{2+} 이온의 이온교환수지에 대한 친화력이 Cs^{+1} 이온 보다 크기 때문이다. 그리고 입상형수지+프리코트 필터로 처리된 제염계수는 전도도 $20(\mu\text{S/cm})$ 이하의 폐액에서는 표1에서 볼 수 있듯이 Co-60에 대해서는 약10, Cs-137에 대해서는 약 30 이상임을 알 수 있었다.

표 2. 수처리 이온수지와 프리코트 필터의 제염효율 비교표

Time 06(year) (months)	Radionuclides	Radioactivity (Bq/ml)		Decontamination Efficiency	Time 06(year) (months)	Radionuclides	Radioactivity (Bq/ml)		Decontamination Efficiency
		Feed	Effluent				Feed	Effluent	
3/24	Co-60	1.98×10^{-5}	8.63×10^{-8}	0.996	6/24	Co-60	5.96×10^{-6}	4.53×10^{-7}	0.924
	Cs-137	5.27×10^{-5}	5.97×10^{-7}	0.989		Cs-137	5.34×10^{-6}	2.40×10^{-6}	0.623
4/24	Co-60	4.88×10^{-6}	2.42×10^{-7}	0.950					
	Cs-137	1.91×10^{-5}	2.38×10^{-6}	0.885					
6/24	Co-60	4.59×10^{-6}	8.99×10^{-7}	0.840					
	Cs-137	7.76×10^{-6}	5.58×10^{-6}	0.281					

다. 제염효율 비교시험시 저장수조의 수질현황

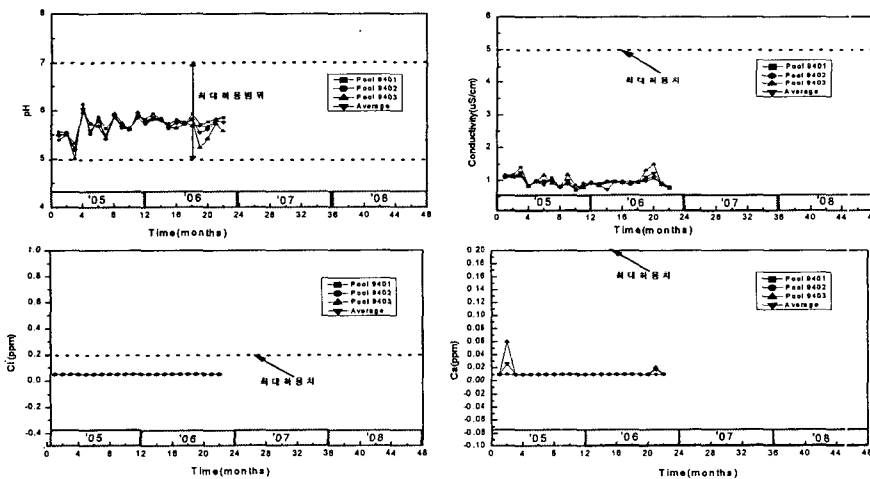


그림 1 제염효율 비교시험시 저장수조의 수질현황

4. 결 론

- 콜로이드나 비이온성 핵종도 방사능을 가지고 있으며 이온교환에 의해서는 제거되지 않고 프리코트 필터에 의해서 제거되는 것으로 추측 된다.
- Crud 및 콜로이드, 비이온성 핵종 등은 수지 오염 및 제염 계수의 감소를 가속화 시킨다.
- 현 공정에서 쓰이는 수지의 제염계수 측정시 저장수조에 방사능을 띤 성분 중에는 이온교환 제거가 가능한 이온성분과 입자성 물질이 함께 존재하므로 탈염기의 제염계수 측정은 입자성 물질을 제거한 후 측정해야 하며 특히 수지 교체시 제염계수 측정은 여과된 여액으로 방사능을 측정하는 것이 바람직하다.