

이온교환수지 성능평가 시스템 구축

김정미, 양호연, 성기방

한수원중앙연구원, 대전광역시 유성구 유성대로 1312번길 70

jeongmi@khnp.co.kr

1. 서론

원자력발전소에서 이온교환수지는 연속적으로 계통수 수질정화 목적으로 계통별 탈염설비에 충전되어 사용되고 있다. 계통수질을 관리 기준 내로 유지하기 위해서는 이온교환수지의 적정성능이 보장되어야 하므로, 수질 모니터링을 통한 성능 감시와 함께 성능 저하 시 교체 또는 재생 등의 조치를 취하여야 한다. 원전에 사용되는 수지의 용량은 원전 1차계통 CVCS 정화탈염기 및 2차계통 증기발생기 취출수탈염설비, 복수탈염설비 등을 포함하여 발전소 1 호기 당 OPR-1000 형 원전 기준 약 90,000 L 정도 된다.

국내외 일부 원전에서 이온교환수지 성능이상으로 인한 계통 수질 악화 및 증수로 감속재 정화계통 독물질 제거 불량 사례를 경험하였다. 이는 수질관리 및 발전소 운영에 영향을 끼칠 뿐만 아니라 방사성폐기물 증가 문제를 야기시킨다. 이에 신규 구매 이온교환수지 및 계통 적용 전 수지에 대한 성능평가 기술 확보 필요성이 제기되었다. 한수원중앙연구원에서는 이온교환수지 성능평가에 대한 사례 분석과 시험규격 분석 등을 통해 평가 항목을 분석하고, 이를 위한 성능평가 시스템을 구축하였다.

2. 본론

2.1 이온교환수지 성능 이상사례

2008~2009년 중 계통에 사용 중이던 일부 이온교환수지의 관능기 이탈, 전도도 증가 및 목표 제거농도로의 도달 시간 지연 등 문제점이 다수 발생하였다(Table 1).

국내·외 이온교환수지 적용 문제점 및 사례 검토 결과, 이온교환수지 제조 과정에서의 오염 및 성능 불량으로 인한 계통 수질 악화 및 수지 성능 저하 경험 사례가 보고되고 있어 이온교환수지 사용 전 성능검사를 통한 성능 관리가 요구되었다.

Table 1. Experience Cases from Ion Exchange Resin Performance Deterioration.

발전소	계통/설비	계통 수질 영향	원인분석
A	고정자냉각수	전도도 증가	음이온수지불량
B	고정자냉각수	전도도 증가	음이온수지불량 (관능기 이탈)
C	감속재정화	독물질제거지연	수지성능미흡
D	감속재정화	독물질제거지연	수지성능미흡
E	감속재정화	독물질제거지연	수지성능미흡
F	SG 취출수	전도도 증가	수지성능조기상실

2.2 이온교환수지 성능평가 항목 분석

이온교환수지 성능평가 항목을 1) 구매규격서 항목, 2) 수지 오염 및 장기 보관에 따른 산화 및 열화평가 항목, 3) 이상사례 관련 항목으로 구분하여 분석하였다(Table 2).

Table 2. Document Analysis for Properties of Ion-Exchange Resins.

구분	구매규격서	산화 및 열화 평가	이상사례 관련
수분함유량	해당	주요 인자	주요 인자
총이온교환용량	해당	주요 인자	주요 인자
입도 및 균질계수	해당	참조 인자	-
재생율	해당	-	참조 인자
불순물	일부 해당 (원자로급수지)	-	참조 인자

발전소 사용 수지에 대한 항목 분석결과, 수지가 산화 또는 열화됨에 따라 수분함유량은 증가하고, 부피 당 총이온교환용량이 감소하였다[1,2]. 이상사례와 관련한 주요 인자는 총이온교환용량으로 판단되어, 수분함유량과 총이온교환용량을 기본 항목으로 선정하였다.

2.3 이온교환수지 성능시험 기술규격

이온교환수지 성능평가법과 관련된 기술규격으로는 KS I 9202('08)[3] <이온교환수지의 성능 시험방법>과 ASTM D 2187-94('09)[4] <Standard Test Method for Physical and Chemical

Properties of Particulate Ion-Exchange Resins>가 있다. 성능평가 시스템 구축을 위한 두 기술규격 비교 결과,

KS 시험법에 1) 수지 재생을 및 염화이온 함량, 탄산염함량, 황산이온 함량에 대한 시험방법이 포함되어 있지 않고, 2) 성능 시험 시 사용되는 각종 시약이 ASTM 규격에 비해 과량으로 요구되며, 3) 수지에 포함된 가용성 함유물을 용출 제거하는 공정(조정 공정) 완료를 세척액의 이온 분석을 통해 판단하도록 하여 세척 종료 판단이 어려운 문제가 있었다(ASTM은 세척시간으로 판단). 따라서 본 연구에서는 ASTM 규격에 근거한 성능평가 시스템을 구축하였다.

2.4 이온교환수지 성능시험 장치 구축

이온교환수지 성능시험은 크게 4단계 공정으로 이루어지는데, 1단계는 수지의 가용성 함유물을 제거하는 조정 및 세척 공정(혼상수지의 경우 분리 공정 포함), 2단계 수분제거, 3단계 염분리, 4단계 적정공정으로 진행된다. 기본항목으로 선정된 수분함유량과 총이온교환능 분석을 위해 ASTM 규격 분석을 통해 다음과 같이 단계별 설비를 구축하였다.

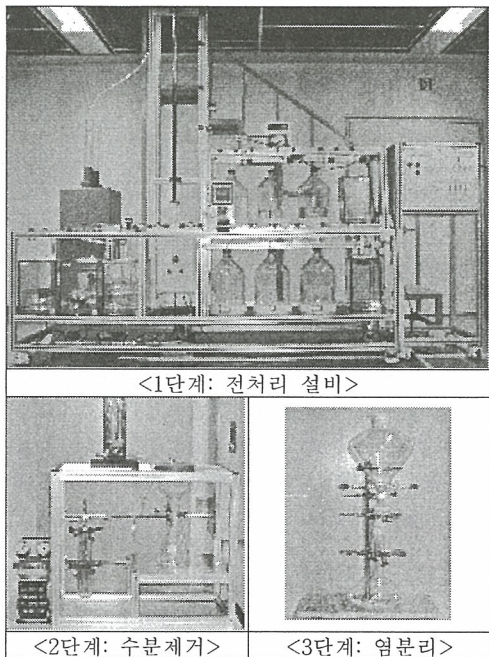


Fig. 1. Testing Equipment for Physical and Chemical Properties of Ion-Exchange Resin.

수분함유량은 1단계 전처리공정 후 일정 시간 건조하여 건조감량 무게 측정을 통해 산출한다. 총이온교환능의 경우, 전처리 및 수분제거 후 양이온 수지와 음이온 수지 각각에 대해 2-3단계의 염분리 공정을 거쳐 얻어진 최종 추출액을 적정 반응시약의 소모량을 통해 산출한다.

기본 평가 항목 외 구매규격서에 포함되어 있는 재생율과 불순물 등의 항목도 구축된 본 설비를 활용하여 성능시험이 가능하다.

4. 결론

이온교환수지 성능이상 사례에 대한 대책의 일환으로 이온교환수지 성능평가 시스템 구축 필요성이 제기되어 관련 시험 규격과 사례 분석을 통해 성능평가 시스템을 구축하였다. 구매규격서와 기술 문서, 사례보고서를 검토한 결과 총이온교환용량과 수분함유량을 기본항목으로 선정하였다. 또한 이온교환수지 성능시험 규격인 KS I 9202('08)와 ASTM D 2187-94('09)을 비교 분석하여 ASTM규격을 시험 기본 규격으로 결정하였다. 시험 규격 검토를 통해 각 공정 단계를 분석하여 시험 장치 설계 및 구축을 완료하였다.

향후 본 설비를 활용하여 기본 항목을 우선으로 성능평가 시험을 진행할 예정이며, 시험 과정 중 도출되는 문제점들을 분석하여 추가적인 설비 개선을 추진할 계획이다.

5. 참고문헌

[1] Kitchener, J.A. Ion Exchange Resins. London: Methuen & Co, and New York: Wiley, 1961.
 [2] Dow Chemical Co. Ion Exchange. Midland, Mich: Dow Chemical Co., 1964.
 [3] KS I 9202(2008) 이온교환수지의 성능 시험방법.
 [4] ASTM D 2187-94(2009) Standard Test Method for Physical and Chemical Properties of Particulate Ion-Exchange Resins.