

# 중수로 혼합폐수지 처분을 위한 처리공정 개념

박승철\*, 소지양, 김덕기

한국수력원자력(주) 중앙연구원, 대전광역시 유성구 유성대로 1312번길 70

\*seung.park@khnp.co.kr

## 1. 서론

국내 중수로 원전은 운영 초기에 여러 계통에서 발생한 폐수지, 폐활성탄, 폐제올라이트 등을 동일 저장탱크에 배출하여 장기간 혼합저장하고 있다. 이 중수로 혼합폐수지는 구성 성분, 형상 등 물리 화학적 특성이 다양하며, 특히 장반감기 베타핵종인 C-14 농도가 중·저준위 방사성폐기물 처분기준을 초과하고 있다. 때문에 이를 처분하기 위해서 음이온수지에 흡착되어 있는 C-14을 처분기준 이하로 탈착/분리하는 과정이 필요하다. 그러나 방사성폐기물 신분류 기준 법제화에 따라 처분기준에서 단위 폐기물포장물 중의 C-14 농도제한이 없어질 전망이다[1]. 이렇게 되면 중수로 혼합폐수지 처분은 방사능 요건보다는 유리수 함량 등 물리화학적 처분요건을 만족하는 고화/안정화 처리 관점에서 공정개발이 중요하다. 따라서 본 논문에서는 중수로 혼합폐수지의 효율적 처분을 위한 처리공정 개념에 대해 검토하고 그 결과를 기술하였다.

## 2. 본론

### 2.1 혼합폐수지의 발생 특성

중수로 원전 냉각재 정화계통, 감속재 정화계통, 사용후연료 저장조 정화계통, 액체방사성폐기물 처리계통 등에서 폐수지가 발생한다. 중수로 원전 운영 초기 pre-coat 제염설비 운영과정에서 사용된 분말형 이온교환 수지(양이온, 음이온), Cs-137 제염효율을 높이기 위해 일시 사용된 제올라이트 및 PCM (Primary Clay Mineral), 그리고 중수 세정계통 및 액체폐기물처리계통에서 사용된 활성탄을 동일한 탱크에 혼합저장하게 되었다. 월성 1호기 안전성분석보고서에 따르면 냉각재계통 폐수지 및 감속재 계통에서 발생하는 폐수지의 C-14 농도를 각각  $1.1E+5Bq/g$  및  $4.6E+6Bq/g$ 로 평가하고 있으며, 발생계통 구분없이 혼재된 저장을 고려할 때 혼합폐수지 중의 C-14 농도는  $2.0E+5 \sim 3.2E+6Bq/g$  범위이다[2]. 현재의 처분기준인  $2.22E+5Bq/g$ 와 비교할 때 폐수지를 분리 저장하였다면 일부 폐수지

는 그대로 처분이 가능하였겠지만 원전여건상 동일 탱크에 혼합저장하고 있어서 전체적으로 처분이 어려운 상황이다. 다행히 최근에는 입상형 수지 이외 분말형 수지, 폐활성탄, 폐제올라이트 등은 더 이상 발생하지 않고는 있으나, 해당 저장탱크가 내부순환, 모니터링 등 기본적 기능이 없는 관계로 이 폐수지의 처분을 위한 처리공정이 현장 적용성을 확보하기 위해서는 앞서 기술한 현장의 미비한 저장여건을 고려할 필요가 있다.

### 2.2 혼합폐수지 처리에 대한 선행 연구결과

한수원은 2003~2006년 사이에 중수로 혼합폐수지 처리 기술개발 연구를 수행하였다. 이때 혼합폐수지 저장탱크에서 bulk 시료를 채취하여 분석한 결과 입상수지와 기타 물질의 중량비 구성이 약 7:3임을 확인하였다. 그리고 수지 혼합물 중에서도 음이온수지를 1차 분리하고 다시 음이온 수지에서 C-14을 탈착(2차 분리)하는 공정에 대한 기초연구를 수행한 바 있다. 그러나 다양한 성상이 혼합된 슬러리상의 혼합폐수지의 현장의 저장여건을 고려할 때 원격 인출/분리 공정개발이 필요하며, 2차분리시 탈착된 C-14이 CO<sub>2</sub> 형태로 배출되지 않도록 C-14을 비수용성염으로 전환한 후 최종적으로 고화/안정화 처리하는 관점에서 처리공정 개발 및 실증이 충분하지 못하였다[3].

### 2.3 혼합폐수지의 처리시 고려 사항

혼합폐수지 발생특성 및 선행연구 결과를 바탕으로 중수로 혼합폐수지의 처분을 위한 처리공정 개발시 고려할 처리공정 단계를 정리하면 다음과 같다. 첫째, 중수로 혼합폐수지 저장에 대한 미비한 현장 저장여건을 고려한 공정개발이 필요하다. 둘째, 탈착된 C-14의 회수 및 불용성염으로의 전환이 필요하다. 셋째, 불용성염을 처분환경 조건에서 장기간 안정성을 유지할 수 있도록 고화/안정화 할 필요가 있다. 아울러, 처분인수 기준에 따른 처분 적합성을 만족할 수 있는 고화/안정화 공정 및 PCP 개발이 필요하다. 다만, 중·저준위 방사성폐기물 신분류 기준의 법제화에 따라 단위 폐기물포장

물의 C-14 농도에 대한 제한이 없어질 경우 C-14 탈착은 필요하지 않을 것이다.

## 2.4 혼합폐수지 처리공정 개념 검토

중수로 혼합폐수지 처분을 위한 처리공정 개발 이전에 경수로 원전에서 폐수지 처리에 사용 중인 SRDS (Spent Resin Drying System)의 적용을 고려해 볼 수 있다. 먼저 경수로 폐수지는 신분류기준 법제화와 관련없이 대부분 C-14 처분농도를 만족하고 있고 성상이 균일하기 때문에 습윤 폐수지를 처분용기인 HIC (High Integrity Container)에 넣고 여기에 120°F(48°C) 건조공기를 8 시간 공급하여 건조하면 처분인수 기준상의 요건인 유리수 1% 조건을 만족하도록 처리할 수 있다. 그러나 중수로 혼합폐수지의 경우 성상이 다양하기 때문에 SRDS에 의한 건조처리를 위해서 우선 종류별로 분리한 분리된 그룹 각각에 대한 건조공정 및 PCP (Process Control Program) 개발이 필요하다. 이와 같은 점을 고려하여 중수로 혼합폐수지 처분을 위한 처리공정의 개념을 Fig. 1과 같이 검토하였다.

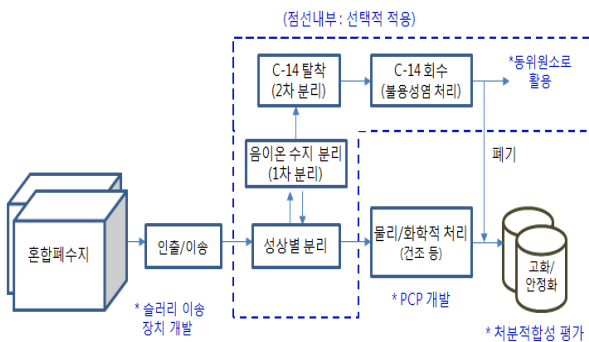


Fig. 1. Process Concept for the Treatment of the Mixed Spent Resin from Domestic PHWRs.

폐수지 저장탱크에서 혼합폐수지의 인출은 재순환하는 carrier water를 이용하는 원격 슬러리 펌핑 공정을 이용할 수 있을 것이다. 그림에서 점선으로 표시된 부분은 방사성폐기물 신분류 기준에 따라 C-14 처분농도 제한이 없어진다면 생략할 수 있기 때문에 보다 간단하고 유용한 처리공정이 될 것이다. 물론, C-14 동위원소를 활용할 목적으로 음이온 수지의 분리(1차분리), C-14탈착(2차분리) 및 회수(불용성 염처리) 등의 공정을 선택할 수 있다. 혼합폐수지의 성상별 분리공정에서는 유동층을 이용한 비중차 분리 및 체분리 등을 고려할 수 있으나 성상별 분리를 하지 않고도 유리수 기준 등

물리화학적 처분요건을 만족할 수 있을 것이다. 예를들면 원심분리를 통한 탈수(dewatering) 후 필요시 추가적인 가열건조를 한다면 유리수 조건을 손쉽게 만족할 것으로 판단되기 때문에 분리공정도 선택적인 공정에 포함된다. 마지막으로 고화/안정과 공정의 경우 binder를 이용한 고화의 경우 폐기물포장물 부피 증가 관점에서 불리할 뿐 아니라 처분조건에서 건조수지의 팽윤에 의해 고화체 건정성이 저해될 수 있다. 따라서 경수로 폐수지 처리에 SRDS를 적용할 경우와는 달리 중수로 혼합폐수지는 선행공정에서 먼저 건조를 하고 다음 공정에서 HIC에 포장하는 단계적 방식을 취하면 쉽게 유리수 기준을 만족하면서 처분안전성도 확보할 수 있다.

## 3. 결론

중수로 원전은 운영 여건상 성상이 다양한 폐수지를 동일 저장탱크에 혼합하여 누적 저장하고 있으며, 그동안 적절한 처리방안이 없었다. 그러나 최근 중·저준위 방사성폐기물 신분류기준 법제화에 따라 혼합폐수지로 부터 C-14를 탈착/분리 단계를 선택하지 않고 물리화학적 처분요건만을 만족하면 용이하게 처분이 가능할 것으로 전망되며 지금까지 고려했던 혼합폐수지 처분을 위한 처리공정의 개념을 재정립 할 필요가 있다. 이를 위해 중수로 혼합폐수지의 발생특성 및 관련 연구현황을 검토하고 이를 바탕으로 중수로 혼합폐수지의 인출/이송, 성상별 분리공정(선택적), 물리화학적 처리 및 고화/안정화 공정으로 구성된 처리공정 개념을 제시하였다.

## 4. 참고문헌

- [1] 중·저준위 방사성폐기물 처분시설 안전성분석 보고서 § 8.3 개정안.
- [2] 월성 1호기 FSAR § 11.4.3.
- [3] 2006-환경-단33, 원전 폐수지 처리기술(C-14 제거) 개발 최종보고서.