

중대사고 발생 대응량 방사성 폐액 비상처리 공정 연구

이근영*, 김지민, 오맹교, 이일희, 김광욱, 정동용, 문제권
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111
*lky@kaeri.re.kr

1. 서론

원자력시설의 비정상적 중대사고로 인해 발생 가능한 대응량의 방사성오염 폐액은 신속하고 정확한 처리 없이 환경으로 누출되었을 시 여러 가지 환경적, 사회적 문제를 야기하게 된다. 따라서 국가적 비상 상황에서 이와 같은 대응량 방사성 폐액을 효과적으로 처리하는 기술의 확보는 원자력 산업의 지속적 발전을 위해서 매우 중요하다.

일본 후쿠시마 원전사고에서는 사고 초기에 대응량(10만톤 이상)의 고방사성/고염 폐액이 발생하였고, 고방사성 주요핵종의 화학적 농도는 극미량(1 ppm 이하)이지만 이들의 방사능세기는 높고 ($10^5 \sim 10^7$ Bq/mL), 이외에도 해수 유입으로 염분, 유분 및 다양한 고형분이 함께 섞여 있다는 점에서 난처리성 액체 폐기물로 간주된다.

일본에서는 고방사성 주요핵종의 제거를 위하여 초기에는 흡착탑 처리(KURRION, 미국)와 응집침전 처리(AREVA, 프랑스)를 주로 적용하였고 이후 추가적인 흡착탑(SARRY, 일본)을 설치하여 병행 운전하였으나, 현재는 SARRY 공정과 담수화 장치(RO)를 정상 조업 가동하고 있다. 고방사성폐액을 처리 후 재순환하지 않고 방류하기 위한 목적으로 흡착/침전 공정으로 구성된 다핵종제거 장치(ALPS, 일본)를 설치하여 2013년부터 운전하고 있다.

대응량으로 발생하는 고방사성/고염 폐액을 처리하기 위해서는 최종적으로는 일본과 같은 정상적 폐액 공정설비의 적용이 필요하나, 이에 앞서 중대 사고 후 정상 처리설비가 갖추어지기 전, 즉 사고 초기 시점에 신속하게 대응하여 발생 폐액의 누적을 원천적으로 최소화하는 개념이 필요하다.

본 연구에서는 원전사고와 같은 비정상적 상황에서 대응량으로 발생하는 고방사성/고염 폐액의 신속한 처리를 통해 방사성물질의 환경 누출을 최소화하는 개념을 도출하고자 하였고, 개념 기술의 적용성 향상을 위하여 폐액 흡착/침전 처리를 위한 단위장치를 벤치규모로 제작하여 시험 평가 하였으며, 이를 바탕으로 공정 설계 연구를 수행하였다.

2. 본론

2.1 장치 구성 및 평가

2.1.1 흡착/침전 반응조

폐액 흡착/침전 처리 반응조는 유분 및 고형분을 사전에 제거한 고방사성/고염 폐액과 고효율 흡착/침전제가 혼합 및 교반되는 반응조이다. 반응조는 1~2개의 흡착 반응조와 1개의 침전 저류조로 구성하여, 흡착 반응조에서는 폐액과 흡착제 및 응집제가 반응하고 침전 저류조에서는 고액분리 처리 전까지 저장되거나 고체를 침강시킨다.

모의 폐액에 흡착제 및 응집제를 주입하여 흡착 반응 단계에서는 시간에 따른 핵종 제거효율을 분석하였고, 응집 침전 단계에서는 고체 floc의 침강 속도를 평가하였다.

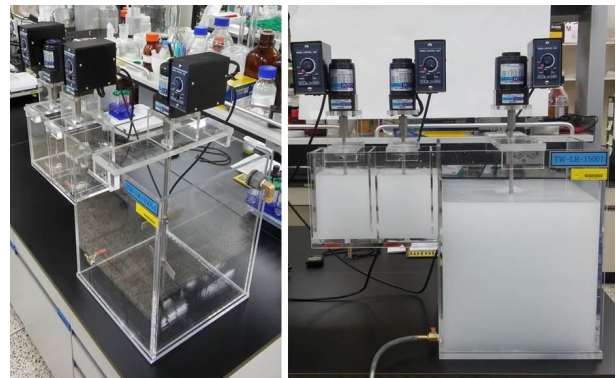


Fig. 1. Bench-scale adsorption/precipitation reactor.

2.1.2 고액분리 장치

비상처리 개념에 있어서 방사성 핵종의 제거속도를 빠르게 하기 위해서는 분말상 흡착제를 사용하는 것이 필요하고, 따라서 흡착/침전 공정의 효율성을 위해서는 적합한 고액분리 장치의 도입이 매우 중요하다. 본 연구에서는 기존의 고액분리 장치들의 특성 및 장단점을 사전 조사하여 폐액 비상처리 공정에 적합할 것으로 판단되는 고액분리 장치로서 가압식 캔들필터를 선정하여 제작하였고, 여과 효율과 처리 용량 등이 평가되었다.

캔들필터 시스템은 압축공기를 만드는 컴프레서,

가압펌프 및 내부에 캔들을 포함하는 가압여과 vessel, 슬러지 토출구, 여액 배출라인 등으로 구성되어 있다.

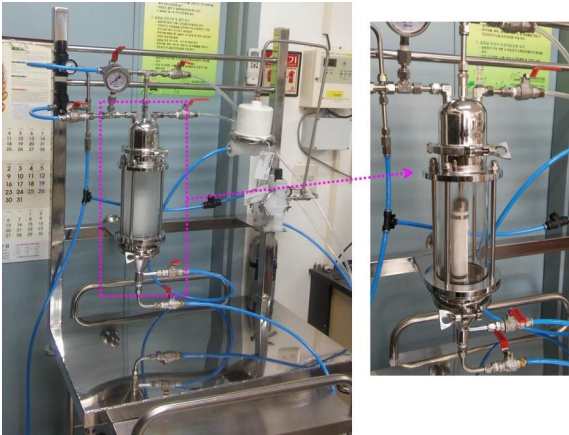


Fig. 2. Bench-scale candle filter system.

2.2 비상처리 공정 설계

처리공정은 크게 폐액 저장조, 유분 및 고형분 제거 가압부상조 (DAF) 설비, 흡착/침전 반응조, 가압식 캔들필터로 구성되었고, 주변시설로 고방사성 주요핵종인 Cs, Sr, I의 선택적 제거를 위한 흡착제 저장조, 잔류 혼합핵종군 제거를 위한 응집제 저장조, pH 조절을 위한 알칼리 저장조, DAF 및 여과장치와 연결된 컴프레셔가 있다.

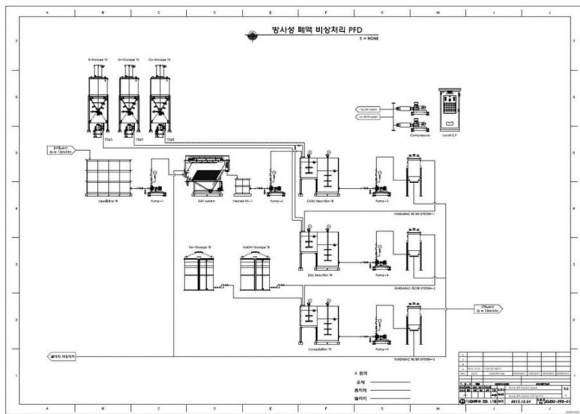


Fig. 3. Process flow diagram for the emergency treatment.

반응조-고액분리 장치는 3조로 구성하여 Cs(Sr) 흡착제거 - I(Sr) 흡착제거 - 잔류 혼합핵종군 응집제거의 단계로 설정하였는데, 여기서 폐액 발생 초기에는 (해수 내 Sr의 이질동상침전으로 인해) Sr의 함량이 매우 낮기 때문에 Cs과 Sr을 첫 번째 조에서 동시 제거하고, I은 초기에 고방사능으로 발생하나 매우 짧은 반감기 (I-131 반감기 8일) 때문에 이후 방사능이

급격히 감소하고 반면, Sr은 폐액이 점차 담수화 되면서 농도가 증가하므로 두 번째 조는 I 흡착조에서 Sr 흡착조로 전환이 가능하도록 하였다.

3. 결론

본 연구에서는 원전 중대사고 발생 폐액에 대응하는 폐액 비상처리 개념을 도출하였고, 고효율 핵종 제거, 고속 처리, 단순조작이 가능한 순차 침전법에 의해 방사성 폐액에 존재하는 핵종이 빠르고 효과적으로 제거될 수 있음을 확인하였다. 원전 중대사고 직후 발생하는 폐액을 신속히 처리하여 냉각수로 재순환시키고 외부에서 지속적인 냉각수 공급을 차단하게 함으로써 원전 중대사고 후 방사성 폐액의 누적을 원천적으로 차단하거나 최소화 할 수 있음을 제시하였다. 이러한 방법은 일본 후쿠시마 사고와 같은 중대사고를 대비하기 위한 안전조치의 일환으로 원전 운영과 관련한 대국민 수용성을 높이는 효과가 있을 것으로 기대된다.

4. 감사의 글

본 연구는 미래창조과학부의 원자력연구개발 중장기 계획사업 일환으로 수행된 연구결과입니다.

5. 참고문헌

- [1] K.Y. Lee, K.W. Kim, M. Park, J. Kim, M. Oh, E.H. Lee, D.Y. Chung, and J.K. Moon, "Novel application of nanozeolite for radioactive cesium removal from high-salt wastewater", *Water Research*, 95, 134-141 (2016).
- [2] K.W. Kim, K.Y. Lee, E.H. Lee, Y. Baek, D.Y. Chung, and J.K. Moon, "A concept for an emergency countermeasure against radioactive wastewater generated in severe nuclear accidents like the Fukushima Daiichi disaster", *Nuclear Technology*, 193, 318-329 (2016).