

처분안전성 확보를 위한 ^{14}C 함유 중수로 폐수지 혼합물 처리기술 개발

박규태*, 안승건, 김대환, 최영구

(주)선광티앤에스, 서울시 관악구 관악로 120(봉천동, 우주빌딩) 6층

*paradoxno1@hanmail.net

1. 서론

국내 중수로 원전 운영중 발생되는 폐이온교환수지(폐수지)는 발전소내 저장탱크에 저장하고 있으며, 저장된 폐수지는 향후 원전해체 계획에 맞춰서 처리할 계획이다. 최근 원자력안전위원회로부터 수명 연장이 승인된 월성 1호기의 경우 약 2022년 이후 원전해체가 예상되고 있으며, 향후 5년 이내에 해체계획서를 작성해야 한다.

중수로 원전에서 발생되는 폐수지는 다양한 방사성핵종을 포함하고 있다. 특히, 장반감기 핵종인 ^{14}C 의 농도가 높기 때문에 중준위 방사성폐기물로 분류되며, 개정된 방사성폐기물 분류기준에 의하여 동굴처분을 해야 한다. 중수로 원전 폐수지의 처분물량 저감 및 처분비용 절감을 위해서 다양한 방식의 처분 시나리오 개발 및 평가가 필요하다.

영국과 독일 등에서는 ^{14}C 감시 및 선량평가에 관한 연구를 수행함으로써 폐수지 처리기술에 대한 기초연구가 진행 중이며, 캐나다 Ontario Hydro에서는 폐수지내 ^{14}C 제거기술을 개발 중이나 초기단계이고, AECL을 중심으로 중수로 원전 폐수지 처리기술 선점을 위한 ^{14}C 제거기술 연구가 진행되고 있다. 국내에서는 원전 사업자인 한국수력원자력과 한국원자력연구원이 함께 2004년도에 산업자원부의 전력산업연구개발사업으로 “원전폐수지 처리기술(^{14}C 제거) 개발” 과제를 수행하였으나, 중수로 원전 폐수지 처리를 위한 요소 기술 개발 위주의 기초적인 연구가 수행되어졌다. 현재 중수로 원전 폐수지 처분을 위한 종합적인 연구는 수행되지 않고 있으며, 한수원은 2016년도에 관련 연구를 수행하기 위해서 준비하고 있다.

따라서, 중수로 원전 폐수지혼합물 처분을 위해서 활성탄과 제올라이트 혼합물을 분리하여 규제해제 타당성을 검토하고, 중준위 폐기물에 해당하는 폐수지로부터 저준위 또는 극저준위 기준 이하로 방사성 핵종을 제거하고 제거된 방사성 핵종은 화학적으로 안정한 형태로 포집/처리하여 처분부피를 감용하여 처분안전성을 확보하기 위한 기술 개발이 필요하다.

2. 본론

2.1 폐수지처리 시나리오

중수로 원전 폐수지혼합물(활성탄, 제올라이트, 폐수지 혼합물)의 경우 활성탄과 제올라이트 혼합물이 약 20%, 혼상수지가 약 80% 비율로 저장되어 있기 때문에 처분물량저감 및 처분비용절감을 위해서 다양한 방식의 처분 시나리오 개발 및 평가가 필요하다. 중수로 원전 폐수지혼합물 처분을 위해서 활성탄과 제올라이트를 분리하여 규제해제 타당성을 검토하고, 중준위 폐기물에 해당하는 폐수지로부터 저준위 또는 극저준위 기준 이하로 방사성 핵종을 제거할 계획이다. 제거된 방사성 핵종은 화학적으로 안정한 형태로 포집/처리하여 처분부피를 감용하고, 처분안전성을 확보하기 위한 기술을 개발하고자 한다. 또한, 고가 자원에 해당하는 ^{14}C 을 처분하기 보다는 폐수지로부터 회수하여 재활용할 수 있는 방안에 대해서 타당성 검토를 수행할 것이다.

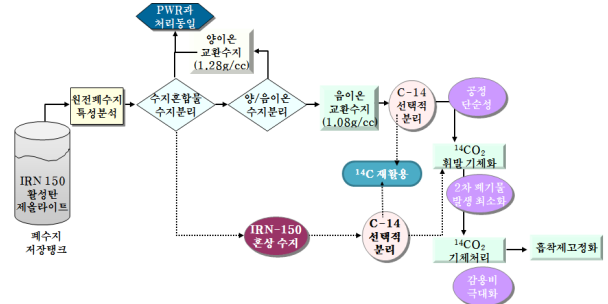


Fig. 1. Disposal scenario.

2.2 마이크로웨이브(Microwave)를 활용한 ^{14}C 탈착

마이크로웨이브(Microwave) 가열 탈착은 마이크로웨이브 영역에서 극성 분자나 이온이 쌍극자회전 및 이온전도를 일으켜 분자들 사이의 결합이 끊어진 후 다시 연결되면서 내놓는 에너지로 용액을 가열한다.



Fig. 2. Principles of Microwave.

Table 1. Comparison with Microwave and Simple heating

| 구분 | 마이크로웨이브 | 단순 가열 |
|----|-------------------------------------------------------|-----------------------------------|
| 특징 | - 시료 내 분자 직접가온 | 간접가온 (열전도) |
| 장점 | - 빠른가온 - 균질가온 - 고효율(80%) - 소음/열기/배기가스 없음 | - 선택가열 - 온도제어 - 조작용이 범용성 |
| 단점 | - 화학적 구조에 따른 적용성 제한 | 비선택성 |
| 비고 | - MW Power On/Off에 의한 조절 - 물 1.2L/hr 증발가능 (전력 1kW) | 가온/냉각 Delay Time 존재 |

기존기술은 탈착용액을 이용함으로써, 폐수지 외에 양이온 및 음이온 물질이 폐수지 내에 잔존하게 되므로, 탈착처리 후 잔류물과 2차 폐기물이 발생되나, 마이크로웨이를 이용한 가온탈착은 빠른 시간 내에 가온이 가능하며, 탈착과정 중에 추가적인 물질투입이 없어 2차 폐기물의 발생이 없고, 수지를 건조할 수 있는 일석 삼조의 탈착기술이다.

탈착 용액과 관련된 장치가 필요가 없어, 마이크로웨이브 가온장치, 포집탑, 응축조 및 가압탱크의 4가지 용기 외에 유지보수가 어려운 구동장치가 불필요하며, 압력제어에 의해서 가스흐름이 이루어지는 단순화된 공정 시스템으로 구축할 수 있다. 탈착잔류물은 규제해제 및 극저준위 방사성폐기물로 처분안전성을 확보하고 산업적 활용목적의 검토를 통하여, ^{14}C 의 농축공정의 분산물/생성물의 재활용이 가능할 것으로 예상된다. 폐수지 이송부터 분리, 탈착 및 흡착 등 일괄공정 실증을 통해서 처분부피 감용과 처분안전성을 확보하고, 기초적인 인허가 자료를 생산할 수 있다.

2.3 ^{14}C 흡착 및 재활용

폐수지처분 시나리오의 공정에 적합한 다공성 알칼리토(^{14}C 회수용) 흡착제를 개발하여 최적효율의 다공성 CaO 흡착 공정의 시험/검증 할 계획이다.

또한, ^{14}C 는 교육연구 및 신약개발 등의 분야에서 주로 추적자로 사용하고 있기 때문에 처리과정을 통해 발생한 ^{14}C 핵종을 재활용 기준에 따라서 재활용 타당성을 평가하고 재활용이 가능한 방안을 검토할 것이다. ^{14}C 표지화합물의 원료가 되는 물질은 주로 러시아에서 생산하고 있으며, 국내에서는 (주)한국표지화합물연구소와 (주)큐라켄이 $\text{Ba}^{14}\text{CO}_3$ 를 수입하여 표지화합물로 합성한 후 일본, 미국 등 해외에 수출하고 있다. ^{14}C 재활용 기준 검토는 상업용 기준으로 50 mCi/mmol 이며, (주)한국표지화합물연구소 제작기준으로는 30 mCi/mmol 이

고 최저하한치는 20 mCi/mmol 이다.

2.4 기대효과

원전 폐수지 처분기술 확보로 원전 안전성 향상이 기대된다. 또한, 처분비용을 50% 이상 절감할 수 있는 제품을 개발하여, 원전 운영 및 방사성폐기물 관리 정책 수립에 유연하게 대처가 가능 하다. 나아가 원전해체를 위한 기반기술 확보로 해체산업에 대국민 신뢰도 향상 시킬 수 있으며, 원전폐수지 처분안전성 확보로 안전적인 처분장 운영에 대한 기대도 상승될 것이다.

3. 결론

중수로 원전 폐수지 혼합물의 처분 시나리오를 도출하고 원전 폐수지 내 ^{14}C 제거기술 최적화 및 실증을 통해서 처분 안전성 확보 기술을 개발하고자 한다. 중준위폐기물인 중수로폐수지혼합물의 50%이상을 극(저)준위폐기물로, 10%는 규제해제, 나머지는 중준위폐기물로 처분안전성을 확보하기 위한 기술 개발로, 원전해체를 위한 기반기술 확보로 경수로 폐수지 및 원전 폐공기정화제 처리기술에도 적용 가능 할 것으로 사료된다.

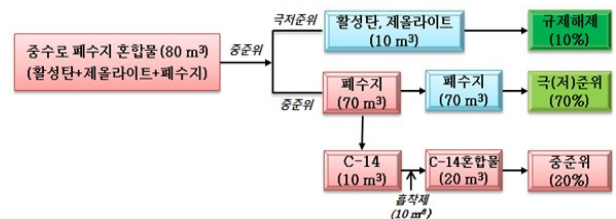


Fig. 3. Final objective of Technology Development.

4. 감사의 글

본 연구는 산업통산자원부의 2015년 원자력핵심기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- [1] 한국수력원자력(주) 원자력환경기술원, 원전 폐수지 처리기술(C-14제거) 개발, 2006.
- [2] "Analysis of ^{14}C in the Spent Resin from Wolsong NPP", Young-Ku Choi외 5인, the Symposium on KNS, 제주, May., 2015.
- [3] " ^{14}C Removal Technology for the Treatment of Spent Resin from Nuclear Power Plants : A Review", Young-Ku Choi외 5인, the Symposium on KNS, 태백, Oct., 2014.