

경수로 원전 사용후 연료저장조수 내의 ^{14}C 거동 특성 평가

양양희, 강덕원, 이갑복, *박경록, **이경호
한전 전력연구원, 대전광역시 유성구 문지로 65
*한수원(주) 원자력발전기술원
**(주)엑트

E-mail: yhyang@kepri.re.kr

중심어 : 방사성탄소(C-14), 사용후연료저장조, 버블링법, 경수로 원전, 방출화학형

서론

방사성탄소 ^{14}C 는 반감기가 5,730년인 순수 베타방출체로써 최대에너지는 0.156 MeV이고, 평균에너지는 0.045 MeV로 우주선 등의 자연적인 요인과 원자력발전소와 같은 인위적인 요인에 의해 생성된다. 발전소에서 배기구를 통해 환경으로 방출되는 ^{14}C 가 유기화학형(주로 CH_4)이 주종을 이룰 경우에는 $^{14}\text{CO}_2$ 보다 분자량이 가벼워 체내 피폭이나 환경에의 영향은 매우 미약하나 $^{14}\text{CO}_2$ 형태의 방출이 주종을 이룰 경우에는 광합성 작용에 의해 곧바로 환경과 우리 인간에 영향을 미칠 수 있다. 이러한 이유로 최근 들어서는 원자력발전소의 배기구를 통해 방출되는 ^{14}C 의 화학적 형태가 어떤 종류인지 그리고 방출량은 얼마인지에 대한 관심이 높아지고 있다. 본 논문에서는 Bubbling법을 이용한 사용후 핵연료 저장조 내에 함유되어 있는 ^{14}C 에 대한 분석을 통해 운전 형태에 따라 다양한 형태로 방출되는 ^{14}C 의 사용후 연료 저장조내의 거동특성에 대해 살펴보았다.

분석 장치 구성 및 방법

액상시료의 전 처리 실험장치의 구성도는 그림 1과 같다. 제일 왼쪽 입구 측에 위치한 Tedlar 백은 질소 기체를 저장한 백으로 실험 준비 완료 후 실험 개시와 함께 백안에 저장된 질소는 후단에 설치한 진공펌

프에 의해 배관 내부에서 부압이 걸려 서서히 빨려 들어가도록 장치를 구성하였다. 실험장치의 구성은 제일 하단에 온도조절용 Hot plate를 설치하고, 플라스틱과 연결된 각 주입장치는 3곳의 유입구 중 첫째 유입구는 질소가 주입되고 두 번째 유입구는 필요한 시약을 투입할 수 있도록 하였고 발전소에서 이송한 액상 시료는 두 번째 유입구를 통해 주입되도록 하였다. 세 번째 연결부는 플라스크 내에서 생성된 기체가 다음 단계로 빠져나가는 출구이며 반응플라스크를 통과한 기체는 다음 단의 1.4 몰의 황산용액이 들어있는 Acidified water trap 용기에서 빠져나온 기체중의 불순물을 제거토록 하였다. 이러한 전처리 과정을 거친 후 ^{14}C 가 포집된 NaOH 용액 3ml와 설파액 17ml를 혼합하여 액체섬광계수기로 방사능을 측정하였다.

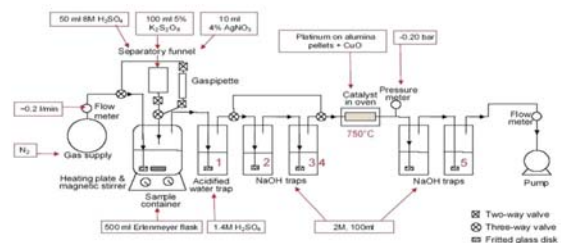


그림1. 포집장치 구성도

^{14}C 분석 및 평가 결과

경수로의 계통 내에서 ^{14}C 가 생성되는 주요 선원

항(Source term)은 주로 핵연료에 잔류해 있는 ^{14}N 및 계통의 cover gas로 사용되는 질소와 원자로보충수탱크(Reactor Make-Up Storage Storage Tank) 및 증발기를 통해 회수된 응축수 중의 용존 ^{17}O 와 용존 질소(NO_2^-)이며 이들이 계통으로 유입시 중성자와의 반응에 의해 ^{14}C 가 생성되어 진다. 사용후 연료저장조 내의 ^{14}C Inventory는 다소 차이가 있지만 수조 내 ^{14}C 농도 그래프에서 보여 주듯이 일정한 값(Fig. 2,3,4)을 유지하고 있으며 계통 내에서 대부분 무기화학형으로 존재하고 있다. 수조 내 ^{14}C inventory는 Framatome형 > W형 > CE형 순으로 높았으며 수조의 크기, ^{14}C 농도 등 운전 특성에 따라 ^{14}C 의 재고량이 다른 것으로 나타났다. 사용후 연료 저장조 내에 존재하는 ^{14}C 의 화학형은 무기형태의 조성이 85.0%(CE형의 경우 약 69.0%) 이상으로 수조내에는 무기물 형태의 방사성탄소가 대부분 차지하는 것으로 나타났다. 이와 같은 경향은 계획에 방정비 기간중 공정별로 측정된 결과와 유사한 무기물 형태가 유기물 형태에 비해 비교적 높은 현상을 보였다.

표1. 정상 운전중 SFP 내 화학형 비교(%)

구 분	Inorganic	Organic	비고
W 형	85.0	15.0	
CE 형	69.0	31.0	
Framatom형	85.7	14.3	

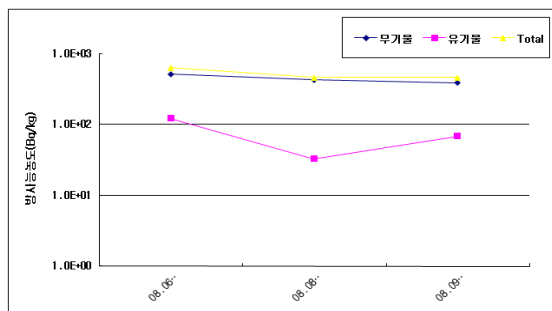


그림2. 정상운전중 SFP 내 ^{14}C 거동(W형)

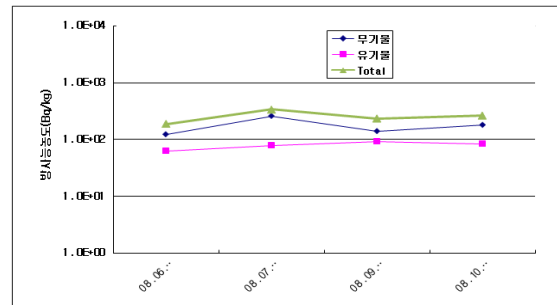


그림3. 정상운전중 SFP 내 ^{14}C 거동(CE형)

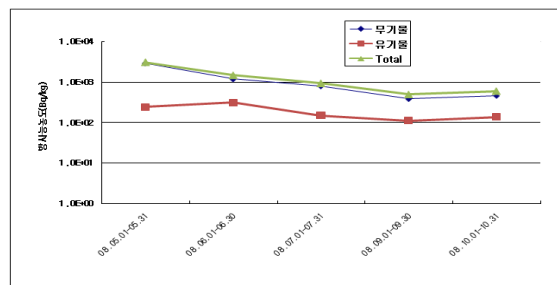


그림4. 정상운전중 SFP 내 ^{14}C 거동(Framatom형)

결론

경수로 원전에서 환경으로 방출되는 ^{14}C 의 방출량 및 화학적 특성 평가와 계통수중의 ^{14}C 거동 평가를 위해 W형, Framatome형 및 CE형 중 4개호기를 선정하여 평가하였다. 정상운전 중 경수로 원전의 사용후 연료저장조 내 ^{14}C 분석결과를 검토해 본 결과, 무기화학형인 $^{14}\text{CO}_2$ 가 W형과 프라마톰형은 85% 이상을 차지하고 있었으며 CE형인 고리3호기는 69%를 차지하고 있었다. 이와 같은 현상은 O/H 기간 중의 공정별 분석결과와 유사한 형태를 보였다. 경수로 원전의 경우 사용후 연료저장조의 ^{14}C 는 주로 무기화학형인 $^{14}\text{CO}_2$ 형태로서, 핵연료건물에서 환경으로 방출되는 ^{14}C 는 무기물형태가 우세한 것으로 나타났다.

참고 문헌

1. 경수로 원전 C-14 방출감시 및 특성평가(최종 보고서), RGNS07, 2008. 전력연구원
2. 경수로 원전 C-14 방출감시 및 특성평가(2차년도 보고서), TM S04, P2008. 0181, 전력연구원