

국내 PWR 사용후핵연료의 방사능 및 열적 특성

심지형, 김용수

한양대학교, 서울시 성동구 행당동 17

yongskim@hanyang.ac.kr

1. 서론

현재 국내에는 16 기의 PWR 원자로가 가동되고 있으며 건설 중인 것과 계획 중인 것이 각각 2기, 6기로 향후 총 28 기의 PWR이 운전될 예정이다. 2020년 까지 이들 원자로에서 예상되는 사용후핵연료의 양은 29,000 ton에 이르며 2016년이면 발전소내 임시저장 시설이 포화 상태에 이를 것으로 예상되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 현재 사용후핵연료 건식저장 연구가 활발히 진행되고 있으며 건식저장의 건전성 평가를 위해서는 사용후핵연료의 특성에 대한 분석이 선결적으로 요구된다. 따라서 본 연구에서는 국내 대표 사용후핵연료의 방사능 및 열적 특성을 분석하였으며 건식저장을 위한 초기 조건을 제시하고자 하였다.

2. 본론

2.1 연소도와 농축도

건식저장 시 사용후핵연료가 집합체 단위로 저장되는 점을 고려하여 14x14, 16x16, 17x17 등 집합체 형태별로 구분지어 연소도와 농축도를 조사하였다. (Fig. 1) 연소도와 농축도 모두 과거로부터 현재까지 꾸준히 증가하여 왔다. 특히 농축도의 경우 그 분포가 단조로워지면서 4.5%에 포화되고 있는데 이를 통해 향후 발생하는 사용후핵연료는 고연소도 장주기 운전된 것으로써 저장조건이 더 까다로워질 것임을 예상할 수 있다.

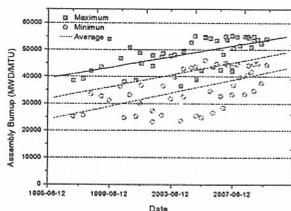


Fig. 1.(a) Burnup of 16x16 spent fuel

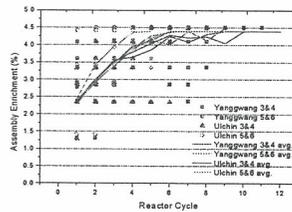


Fig. 1.(b) Enrichment of 16x16 spent fuel

2.2 시간에 따른 방사능과 붕괴열 변화

앞서 설명한 집합체 중 16x16형은 현재 가장 많은 수의 원자로에서 사용되고 있으며 향후 발생량이 가장 많을 것으로 예상되기 때문에 국내 사용후핵연료를 대표한다고 할 수 있다. 따라서 이 형태의 핵연료집합체에 대하여 100만년 동안의 방사능 및 열적 특성을 ORIGEN 코드를 이용하여 분석해 보았다. (Fig 2와3)

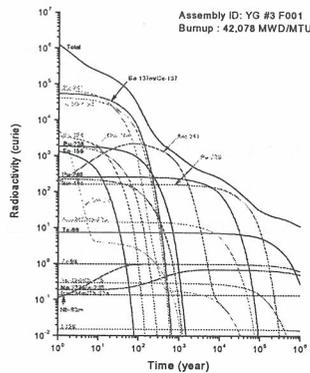


Fig. 2. Change of radioactivity

방사능은 운전 종료 직후 10^6 Ci에 달하지만 10^6 년마다 평균 86%씩 감소하여 100만년이 지나면 10 Ci($\sim 0.001\%$) 정도로 낮아진다. 건식저장 시 중요시되는 10년, 100년 시점에서는 초기 대비 각각 0.1%와 0.01% 수준으로 감소했을 것이라고 예상할 수 있다.

스크 8 개를 준비하여 냉각기를 거쳐 수집되는 증류용액을 각각 10 mL씩 총 80 mL를 수집하였다. 각각의 시료에 대해 함유된 브롬 및 염소화물 이온 크로마토그래피로 정량하여 증류에 따른 각 원소의 회수거동을 조사하였다.

2.5 증류에 따른 브롬 및 요오드 순수분리 조사
 매질 및 타원소의 간섭없이 수증기증류에 의하여 브롬 및 요오드가 순수하게 분리되는 것을 확인하기 위하여 표준시료 및 모의사용후핵연료 시료로부터의 증류용액 일정량에 $AgNO_3$ 를 가하여 침전물로 만든 다음 여과 및 건조 후 미세탐침분석(EPMA)을 수행하였다(Fig. 2).

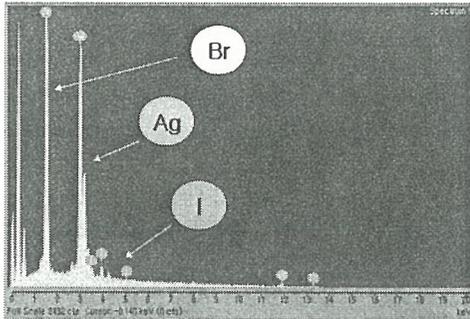


Fig. 2. X-ray spectrum for a precipitate produced after $AgNO_3$ addition into distillate.

2.6 분리용액 중 브롬 및 요오드 정량

수증기증류에 의하여 표준시료 및 모의사용후핵연료시료로부터 분리한 브롬 및 요오드는 일정 부피로 조정된 후 정량 및 회수율을 측정하였다. 브롬 및 요오드의 개별정량은 이온 크로마토그래피를 이용하였으며 비교분석을 위한 총 할로젠농도(bromide + iodide) 정량은 fluorescein 지시약과 0.1 M $AgNO_3$ 용액을 이용한 적정법으로 수행하였다.

3. 결론

조사핵연료의 주요 핵분열생성물이면서 휘발성의 특성을 갖고 용액 중에서는 여러 산화상태로 존재하는 요오드 및 핵연료 내에 미량 함유되어 있는 브롬은 일반 화학적 방법으로 분리 및 정량이 매우 어렵다. 본 수증기증류 방법을 이용할 경우 할로젠원소를 휘발시켜 묶은 산용액으로 회수

하여 정량하므로 화학적 진척리가 간결하고 매우 효과적인 것으로 판단된다. 분리용액을 직접 이온 크로마토그래피로 정량하거나 침전분리 후 방사능계측 혹은 X선 형광분광법으로 정량할 수 있으므로 조사전 후 핵연료시료 및 방사성폐기물시료 중의 브롬 및 요오드 정량에 효과적으로 응용할 수 있을 것으로 기대된다.

4. 참고문헌

[1] J. S. Kim et al., Analytical Science & Technology, Vol. 23, No. 1, pp. 45-53, 2010
 [2] ASTM C 799-99, Annal Book of ASTM Standards, Vol. 12.01, pp. 196-209, 1999