

국내 사용후핵연료의 열·재료 및 구조적 특성

김용수

한양대학교, 서울시 성동구 행당동 17번지

Yongskim@hanyang.ac.kr

1. 서론

현재 발전소내 임시저장시설에 저장되고 있는 사용후핵연료는 2016년이면 포화 상태에 이를 것으로 예상되고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 현재 사용후핵연료 건식저장 연구가 활발히 진행되고 있다.

건식저장에서는 사용후핵연료에서 발생하는 잠열로 인해 연료봉은 높은 온도를 가지게 된다. 이러한 고온과 긴 저장시간은 사용후핵연료의 건전성에 영향을 미치게 되는데, 그 주요한 요인들로는 지연수 소화현상, Creep Rupture 그리고 SCC(stress corrosion cracking)가 있다[1].

위 세 가지 요인들은 모두 사용후핵연료의 잠열과 봉내압에 의해 직접적으로 영향을 받고 있으며 피복관에 용해되어있는 수소함유광과 산화막에 의해 간접적으로 영향을 받고 있다.

따라서 건식저장의 건전성 평가를 위해서는 이러한 사용후핵연료의 특성에 대한 분석이 선결적으로 요구된다. 본 연구에서는 국내 대표 사용후핵연료의 방사능 및 열·재료 및 구조적 특성을 Origen 코드와 Frapcon-3 코드를 통해 평가하였으며 이를 통해 건식저장을 위한 초기 조건을 제시하고자 한다.

2. 본론

2.1 국내 대표 사용후핵연료

사용후핵연료의 특성은 제원, 연소도, 연소이력 등에 의해 결정된다. 따라서 먼저 국내에서 방출된 사용후핵연료들에 대한 자료를 총망라 분석하여 가장 대표적인 사용후핵연료 세 그룹을 선정하였다.

국내 원자력발전소는 크게 4가지 형태(14×14 W.H 형, 16×16 W.H 형, 16×16 표준형, 17×17 W.H형)로 나눌 수 있다. 그 중 17×17 W.H.형에서 발생한 사용후핵연료가 57%로 가장 많으며, V5H (Vantage 5H), OFA, 그리고 KOFA으로 각각 41.6 %, 17%, 29.5%이다[2]. 따라서 W.H.형 발전소 사용후핵연료의 최소, 평균, 그리고 최대 연소도인 27,000,

42,000 55,600 MWd/MTU에서 3가지 핵연료에 대한 특성을 NDR을 통해 조사된 최대와 최소 선출력을 바탕으로 선정된 연소이력을 통해 평가하였다.

2.2 사용후핵연료의 방사능 및 열적특성

방사능 및 열적 특성은 연료의 종류와 연소이력에 따라 큰 영향을 받지 않으므로 연소도에 따라 서만 평가하였다. 붕괴열의 경우 발생 직후 집합체당 5,000 W에 달한다. 하지만 이후의 변화양상은 방사능의 경우와 비슷한데 10년, 100년, 100만년 시점에서 초기 대비 각각 0.1%, 0.01%, 0.003% 수준으로 감소한다(Fig. 1-2).

건식저장 시행이 예상되는 2017년을 기준으로 하여 평가된 방사능과 붕괴열을 Table. 1에 정리하였다. 최대, 평균, 최소 연소도인 집합체를 선정하여 평가된 방사능과 붕괴열은 선형적이지는 않지만 그 경향은 연소도에 비례한다.

Table 1. Decay heat and Radioactivity in 2017

Fuel Type	Burnup (MWd/MTU)	Radioactivity (Ci)	Decay Heat (W)
17x17	55,681	2.259E+05	7.993E+02
	42,951	1.824E+05	5.797E+02
	29,020	8.829E+04	2.886E+02

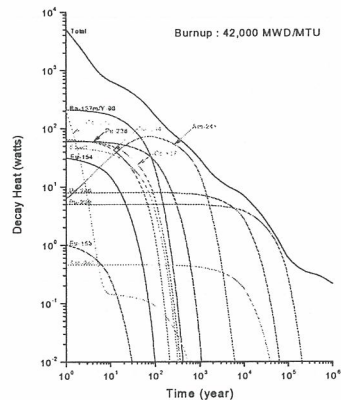


Fig. 1. Change of decay heat

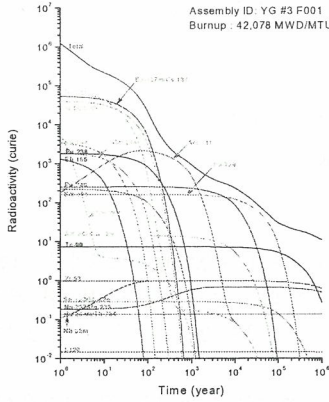


Fig. 2. Change of radioactivity

2.3 사용후핵연료의 재료 및 구조적 특성

수소함유량, 산화막두께, 그리고 봉내압은 연소도와 함께 증가한다(Table. 2). 하지만 동일한 연소도에서 연소이력에 따라 차이가 있는데(Fig. 3) 이러한 경향은 연소도가 높아질수록 더 크다(Fig. 4-5).

핵연료의 제원에 따라라도 사용후핵연료의 특성은 차이가 나는데 그 원인은 연료봉내 우라늄의 양과 clad-coolant film coefficient로 판단된다. 제원에 따른 차이는 연소이력에 비하여 크지 않다.

Table 2. W.H. type spent fuel characteristic

연소도(MWd/MTU)	27,000	42,000	55,600
봉내압(MPa)	2.86	3.51	7.41
산화막 두께(μm)	23.74	45.12	70.77
수소함유량(ppm)	204.63	353.09	553.03

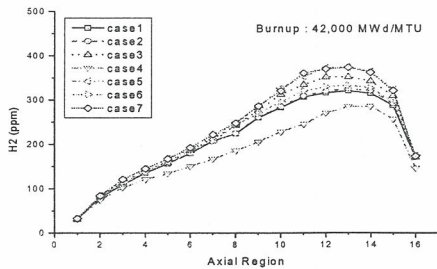


Fig. 3. Hydrogen concentration of OFA fuel (ppm)

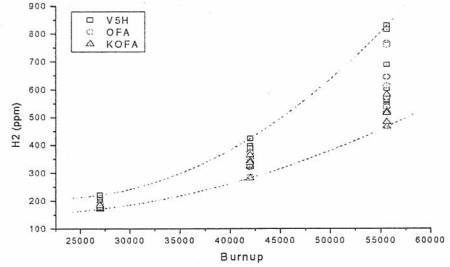


Fig. 4. Hydrogen concentration (ppm)

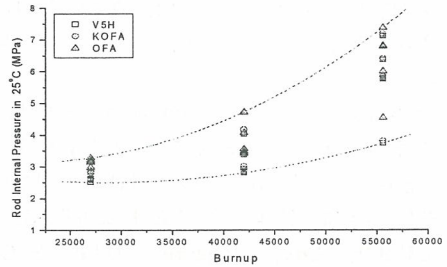


Fig. 5. Rod internal pressure in 25°C (MPa)

3. 결론

Origen 코드와 Frapcon-3 코드를 이용하여 국내에서 대표적인 사용후핵연료의 특성을 평가해보았다. 평가결과 연소도에 따라 열·재료 및 구조적 특성은 증가하는 것으로 나타났다. 그런데 재료·구조적 특성은 연료봉의 제원보다는 연소이력에 따라 큰 차이를 보였는데 그 경향은 연소도가 높아질수록 더 컸다. 따라서 고연소도일수록 연소이력에 따른 특성평가가 매우 중요하다.

4. 감사의 글

본 연구는 원자력연구원에서 시행한 방사성폐기물관리기술개발 사업에 참여하여 수행한 논문입니다.

5. 참고문헌

[1] J. Kessler, Technical Bases for Extended Dry Storage of Spent Nuclear Fuel, EPRI-1003416, p. 3-4, 2002
 [2] Nuclear Design Report for Kori, Ulchin, and Yonggwang Nuclear Power Plant