

사용후핵연료의 재료 및 기계구조적 특성 평가

윤학규, 김용수

한양대학교, 서울시 성동구 행당동 17번지

yoon0462@hanyang.ac.kr

1. 서론

원자력발전소에서 연소된 사용후핵연료는 현재 수중저장조에서 5~10년 동안 저장되고 있다. 하지만 발전소내의 수중저장조는 저장용량의 한계가 있어 그 대안으로 건식저장방식이 고려되고 있다. 건식저장에서는 사용후핵연료에서 발생하는 잠열로 인해 연료봉은 높은 온도를 가지게 된다. 이러한 고온과 긴 저장시간은 사용후핵연료의 건전성에 영향을 미치게 되는데, 그 주요한 요인들로는 지연수소화현상, Creep Rupture 그리고 SCC(stress corrosion cracking)가 있다[1].

위 세 가지 요인들은 모두 원자로내 연소에 따른 기체상/휘발성 핵분열 생성물의 방출에 기인하는 사용후핵연료의 봉내압에 의해 직접적으로 영향을 받고 있다. 또한 피복관에 용해되어 있는 수소는 수소화물을 형성하고 피복관의 산화는 피복관의 두께를 감소시켜 간접적인 영향을 미친다[1].

그러므로 사용후핵연료의 건전성 열화 정도를 평가하기 위해서는 봉내압, 산화, 그리고 수소함유량을 평가하는 것이 중요하다. 그런데 이러한 사용후핵연료의 특성은 연소이력에 따라 변화할 수 있으므로 본 연구에서는 국내 발전소에서 발생한 여러 형태의 사용후핵연료를 선정하여 다양한 연소이력을 토대로 fraccon-3 코드를 통하여 그 특성을 평가하였다.

본 연구를 통하여 향후 수행될 건식저장에서 핵연료 열화기구를 예측하는데 필요한 기초 자료를 확보 할 수 있다.

2. 본론

2.1 Frapcon-3를 이용한 연소이력 묘사

사용후핵연료의 재료적, 기계구조적 특성은 사용후핵연료의 연소 전 특성, 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.H형, 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. 따라서 W.H.형 발전소 사용후핵연료의 최소, 평균, 그리고 최대 연소도인 27,000, 42,000 55,600 MWd/MTU에서 3가지 핵연료에 대한 재료 및 기계구조적 특성을 평가하였다.

이들 자료를 바탕으로 연소 이력은 각 case가 동일한 EFPD와 연소도를 갖고, 주기내에서 출력은 변하지 않으며, 최대, 최소 선출력은 NDR[2]을 통해 조사한 범위(그림 1)내에 있도록 조합하였다.

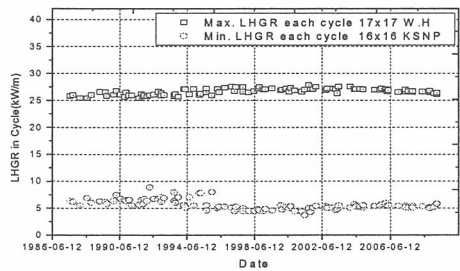


Fig. 1. LHGR of W.H. of type PWR[2]

2.2 국내 대표 사용후핵연료의 특성

먼저 설정된 각 연소이력에 따라 평가된 사용후핵연료의 피복관 산화막 두께, 수소침투량, 그리고 봉내압을 Fig. 2-5에 도시하였다.

주목할 점은 연소이력에 따라 사용후핵연료의 특성이 크게 차이가 나며(Fig. 2) 그 경향은 연소도가 높아질수록 더 크게 나타난다는 것이다(Fig. 3-5).

동일한 연소도에서 봉내압은 KOFA가 가장 높고 V5H와 OFA는 서로 비슷한데 이는 KOFA의 경우 초기 주입된 He 봉내압이 높고(2.15 MPa) 상대적으로 플레넘의 부피가 작기 때문으로 판단된다(6.4cc). 연소도 55,600 MWd/MTU에서 최대 출력으로 3주기를 연

소된 case는 높은 봉내압으로 인해 손상이 발생했다. 산화막 두께와 수소함유량은 그 경향이 유사한데 V5H의 두께가 가장 두껍고 그 뒤로 OFA, KOFA 순이다. 이는 V5H의 연료봉당 우라늄양이 1.76kg인데 반해 OFA와 KOFA의 양은 각각 1.6 kg, 1.67 kg 으로 상대적으로 적어 동일한 연소도를 내기위한 선출력 또는 EFPD(effective full power day)가 더 작기 때문이며 더 작은 선출력에도 OFA의 산화막 두께가 KOFA의 그것보다 더 두꺼운 것은 연료봉의 제원차이로 인해 clad-coolant film coefficient가 다른 두 핵연료봉에 비해 더 낮기 때문인 것으로 판단된다.

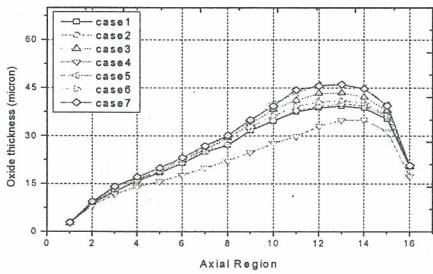


Fig. 2. Oxide thickness of OFA fuel(42,000 MWd/MTU)

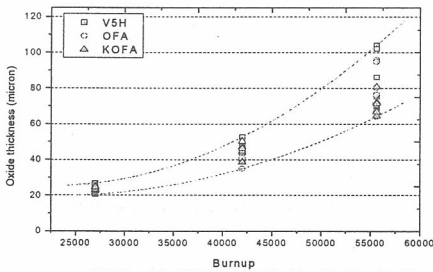


Fig. 3. Oxide thickness (micron)

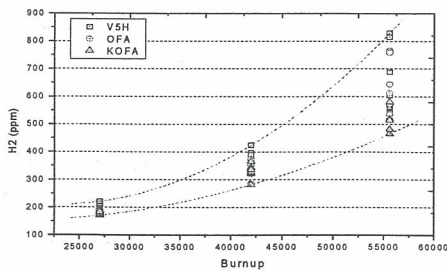


Fig. 4. Hydrogen concentration (ppm)

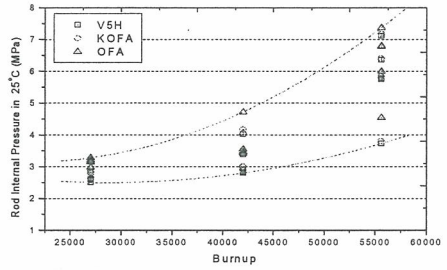


Fig. 5. Rod internal pressure in 25°C (MPa)

Table 1. 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

3. 결론

본 연구에서는 사용후핵연료의 재료적·기계구조적 특성의 대표값을 frapcon-3를 통해 평가해보았다(Table 1). 연소이력과 연료봉의 제원은 사용후핵연료의 특성에 큰 영향을 미치다. 특히 높은 연소도를 가진 사용후핵연료에서 연소이력이 특성에 미치는 영향이 크기 때문에 연소이력에 따른 특성평가가 매우 중요하다.

향후 위 결과를 기초자료로 하여 피복관의 Creep, 지연수소화현상에 대한 건전성 열화기구 평가를 수행할 계획에 있다.

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