

# DRYSIM6 용기의 연료봉 손상 사고 안전성 평가

권형문\*, 양용식, 이형권, 장정남, 김도식, 국동학  
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111  
\*django@kaeri.re.kr

## 1. 서론

DRYSIM6(DRY storage SIMulation test system with 6 spent fuel rods)는 사용후핵연료봉의 열화가속시험을 위한 종합시험장치[1]로 한국원자력연구원 조사후연료시험시설에 설치하는 것을 계획하고 있다. 또한, 시험연료봉을 차폐하는 비용을 줄이고, 시험장비의 냉각성능 향상, 추가적인 안전방벽 등을 고려하여 15 m 깊이의 수조 내에 DRYSIM6를 운용할 예정이다.

이 논문에서는 용기 내의 모든 연료봉이 손상되었을 경우의 사고상황을 가정하여 방출된 핵분열기체에 대한 안전성을 검토하였다.

## 2. 본론

### 2.1 핵분열기체의 방사능 평가

DRYSIM6는 사용후핵연료봉 6봉을 장전하여 열화가속시험을 수행한다. 6봉의 최대 봉평균연소도는 51.6 GWd/tU이고, 2016년 10월을 기준으로 냉각기간은 15.4 년으로, 핵분열기체 중 유의미한 방사능값을 보여주는 핵종은 Kr-85 뿐이다. Origen-S(SCALE 6.0) 코드[2]를 이용하여 연료봉당 Kr-85의 방사능값을 평가하면 0.34 TBq/rod이다. 다음 Table는 냉각기간 동안의 붕괴를 고려하여 봉당 핵분열기체 핵종 생성량을 보여준다.

Table 1. Generation quantity of fission gas nuclides per one spent fuel rod

Nuclide	핵종량, g/rod	방사능량, TBq/rod
Kr-83	0.10	-
Kr-84	0.31	-
Kr-85	0.02	0.34
Kr-86	0.48	-
Xe-131	1.00	-
Xe-132	3.17	-
Xe-134	4.15	-
Xe-136	6.28	-

### 2.2 핵분열기체 방출율

열화가속시험 대상연료봉과의 비교를 위해, 유사한 연소도를 갖는 참조연료봉 6봉에 대한 핫셀시험을 수행하였으며, 참조연료봉의 최대 핵분열기체 방출율은 2.5%로 측정되었다. 다음 Table는 참조연료봉 6봉의 핵분열기체 방출율을 보여준다. 방출율 2.5%를 적용하면 6봉의 Kr-85 방출량은 0.05 TBq로 계산된다.

Table 2. Fission gas release rate for the reference rods

봉번호	연소도, GWd/tU	핵분열기체 방출율, %
K23B04	49.792	2.5
K23D10	50.867	1.7
K23B10	48.812	2.3
K23G14	51.203	1.8
K23H15	51.806	2.4
K23B07	49.641	2.5

사용후핵연료 운반용기의 격납 평가방법을 제시하고 있는 NUREG/CR-6487 보고서[3]에서는 핵분열기체 방출율로 30%를 적용하고 있다. 사고를 좀 더 보수적으로 평가하기 위해, 30% 방출율을 적용하여 계산하면 6봉의 Kr-85 방출량은 0.61 TBq이다.

### 2.3 배출량 평가

DRYSIM6 용기는 조사후연료시험시설 내에 설치할 계획이므로, 용기 내부에서 연료봉 손상이 발생하여 방출한 핵분열기체는 1차적으로는 용기 내부에 채워지게 되고, 용기의 격납기능이 상실하였다고 가정하면, 용기 외부로 누설된 핵분열기체는 조사후연료시험시설의 공조계를 통해 외부로 배출하게 된다.

조사후연료시험시설의 1주일간의 풍량은 약 9,853,000 m<sup>3</sup>으로 Kr-85의 방사능 농도는 6.17×10<sup>4</sup> Bq/m<sup>3</sup>이다. 원자력안전위원회 고시[4]에서 제시하고 있는 Kr-85의 배출관리기준은 1×10<sup>5</sup> Bq/m<sup>3</sup>으로, 연료봉 손상과 용기 격납기능 상실 사고에서도 시설

외부로 배출되는 핵분열기체 농도는 배출관리기준을 넘지 않는 것으로 평가되었다.

## 2.4 시험중 핵분열기체 방출

DRYSIM6는 6개의 연료봉을 이용하여 대략 40 0°C에서 최대 5년간 연속가열환경을 유지하는 열화가속시험을 수행할 예정이다. 따라서 발전소에서 연소하는 과정에서 방출한 핵분열기체에 더하여 열화가속시험중 방출하는 핵분열기체 또한 고려해야 한다. 1% 방출율을 기준으로 연소도와 온도의 함수로 도출한 Vitanza curve[5]에 따르면, 60 GWd/tU에 이르는 고연소도에서도 1% 방출율에 도달하려면 1,000°C 이상이 되어야 하므로, DRYSIM6 운전 조건에서의 방출률은 미미할 것으로 생각된다.

## 3. 결론

사용후핵연료봉의 열화가속시험을 위한 DRYSIM6 시험장치는 모든 연료봉이 손상되는 가상사고 조건에서도 안전성을 확보하고 있는 것으로 평가되었다.

## 4. 감사의 글

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 2014171020166A).

## 5. 참고문헌

- [1] 김대호 외, "사용후핵연료 장기 건식저장 건전성평가 종합시험장치(DRYSIM6) 개념설계보고서", KAERI/TR-6014/2015 (2015).
- [2] I.C. Gauld et al., ORIGEN-S: Scale System Module Calculate Fuel Depletion, Actinide Transmutation, Fission Product Buildup and Decay, and Associated Radiation Source Terms, Vol II, Section F7, NUREG/CR-0200 (2004).
- [3] B.L. Anderson, R.W. Carlson, and L.E. Fischer, "Containment Analysis for Type B Packages Used to Transport Various Contents", NUREG/CR-6587, NRC (1996).
- [4] 방사선방호 등에 관한 기준, 원자력안전위원회

고시 제2014-34호.

- [5] C. Vitanza, E. Kolstad, and U. Graniani, "Fission Gas Release from UO<sub>2</sub> Pellet Fuel at High Burnup", Proc. of the American Nuclear Society Topical Meeting on Light Water Reactor Fuel Performance, Portland Oregon (1979).