

IAEA 안전조치 이행을 위한 사용후연료 조밀건식저장모듈 재검증관의 차폐해석 및 개념설계

임용규, 안재열, 송건호, 이상진*, 김정목*

현대엔지니어링, 서울특별시 양천구 목1동 현대41타워

*원자력발전기술원, 대전광역시 유성구 장동 25-1

marinlim@hec.co.kr

1. 서론

조밀건식저장모듈(MACSTOR/KN-400 Module)은 월성원자력발전소 1,2,3,4호기에서 발생하는 CANDU형 사용후연료를 저장하기 위한 설비로써 6년 이상의 냉각기간을 거친 사용후연료 24,000 다발(60 Bundle/Basket×10 Basket/Cylinder×40 Cylinder/Module)을 저장할 수 있다.

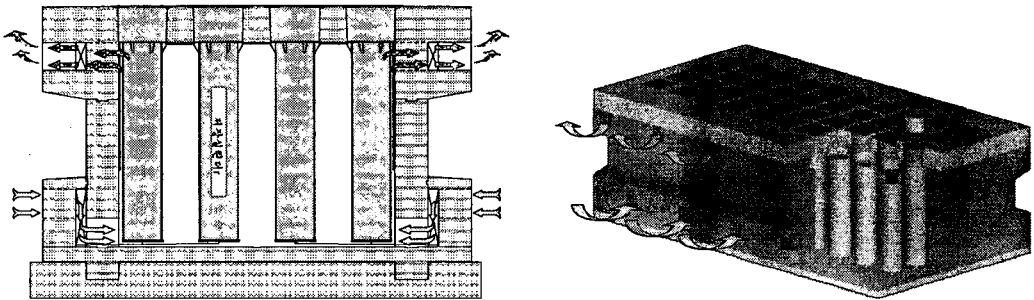


그림 1. 조밀건식저장모듈 개념도

조밀건식저장시설내부에는 IAEA 안전조치의 일환으로 사용후연료의 불법 인입·인출 및 전용을 방지하기 위해 재검증관이 설치되며 감마스펙트럼 측정(Finger-Print)을 통해 운영 중 저장실린더 내 사용후연료의 존재 유무를 감시하거나 장전 중 사용후연료의 불법 인입·인출을 감시할 수 있다. 본 연구에서는 IAEA 요건을 만족하는 재검증관 설계를 위한 차폐해석 및 차폐해석에서 도출된 결과를 토대로 재검증관을 설계하였다.

2. 재검증관 설계를 위한 차폐해석

중앙 재검증관 설계를 위한 계산은 QAD-CGGP-A 전산코드를 사용하였으며 1) 측정하고자 하는 연료바스켓에 대한 선량률, 2) 나머지 9단의 연료바스켓 및 실린더에 대한 선량률, 3) 검출지점에서 선량률이 검출한도인 300~800 Rad/h 이하가 되도록 반복하여 계산을 수행하였다. 최적의 Signal-to-noise를 갖는 중앙재검증관을 설계하기 위해 콜리메타의 모형과 크기, 콘크리트의 두께 및 스틸 차폐체의 두께에 따른 계산을 수행한 결과, 3.81cm×7.62cm 크기의 콜리메타와 30.48cm의 콘크리트 두께, 5.08cm의 스틸 차폐체에 대하여 대략 5의 Signal-to-noise를 갖는 것으로 계산되어, 이 구조를 중앙 재검증관의 설계에 적용하였다.

표 1. 선량률 계산결과

[단위 : Rad/h]

	Total	Near Basket***	Near Column****
In-Line*	23.50	18.52	19.48
Off-line** 10.16cm	4.06	0.38	0.77
Off-line 20.32cm	3.08	0.37	0.71
Off-line 30.48cm	3.71	0.35	0.70

* 중앙재검증관 내부 콜리메타 중심 측정지점

- ** 중앙재검증관 내부 폴리메타 중심으로부터의 거리에서의 측정지점
- *** 측정하고자하는 바스켓으로부터의 총 감마 선량률
- **** near 바스켓을 포함하는 저장실린더로부터의 총 감마 선량률

3. 재검증관 설계 개념

중앙 재검증관은 모듈내부 16개의 저장실린더에 대한 감마스펙트럼을 측정하기 위해 총 4개의 콘크리트 관내에 설치된다. 재검증관을 둘러싼 탄소강과 콘크리트관은 선량률을 감소시키기 위한 차폐체의 역할을 하며 Signal-to-noise를 최소화하고 방사선신호를 최대화하기 위해 폴리메타가 설치된다. 또한 모듈 벽면 24개의 저장실린더에 대한 감마스펙트럼을 측정하기 위한 주변부 재검증관은 벽면으로부터 15.24cm 깊이의 콘크리트 벽에 매립되어 있다. 각 실린더내 바스켓과 동일한 지점에 위치한 재검증관내에 감마선 감시기를 설치하여 측정된 스펙트럼(Finger-Print)의 형상/분포를 비교·분석함으로써 IAEA 안전조치를 이행한다. 또한 각 저장바스켓의 9, 10단 지점에 2개의 감마선 감시기를 설치하여 사용후연료의 장전시 바스켓의 반입·반출을 확인할 수 있다. 측정 결과의 중앙통제실에 실시간으로 입력되도록 설계된다.

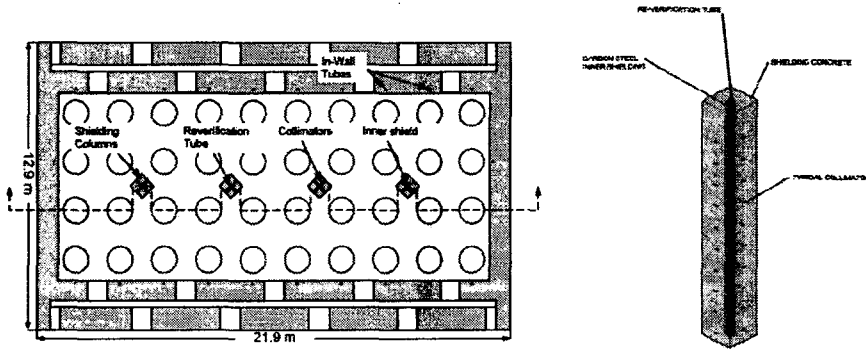


그림 2. IAEA 안전조치용 재검증관의 개념도

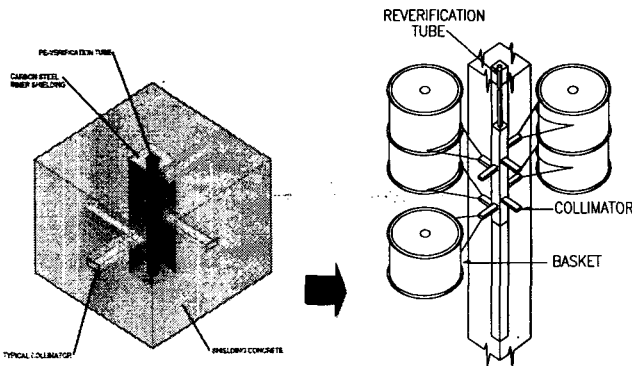


그림 3. 중앙 재검증관

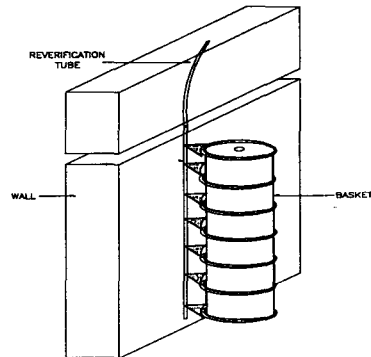


그림 4. 주변부 재검증관

4. 해석결과

본 연구에서는 월성원자력발전소에서 발생한 24,000다발(/모듈)의 사용후연료를 저장할 수 있는 조밀건식저장모듈에 대해서, IAEA 안전조치의 일환으로 설계되는 재검증관의 차폐해석을 수행하였으며 해석결과를 토대로 Signal-to-noise를 최소화하고 방사선신호를 최대화하는 폴리메타 및 차폐체에 따른 재검증관을 설계하였다.