

사용후연료 건식조밀저장시설에서의 안전조치 이행 방안

이상진, 강영근, 최병일

한수원(주) 원자력환경기술원, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

sgjrhee@khnp.co.kr

1945년 이후 핵무기의 위협을 경험한 세계의 각국에서는 원자력 이용과 관련된 의무사항의 준수 여부를 확인할 구체적인 방법의 구축 필요성을 절감하게 되었으며 이에 따라 평화적 목적의 핵물질 및 장비가 군사적 목적으로 전용되지 않았음을 입증하기 위한 안전조치 개념이 대두되었다. 안전조치란 원자력의 평화적 이용에 수반되는 핵물질, 장비, 시설 등이 핵무기나 기타의 핵폭발장치의 제조에 전용되지 못하도록 검증하는 일련의 활동을 의미한다. 안전조치를 행하는 구체적인 주요 수단은 사찰(Inspection)인데 이를 통하여 해당 국가가 제공한 핵물질 보고서를 확인하고 검증한다. 이를 위하여 핵물질 계량(accounting), 격납(containment) 및 감시(Surveillance) 등이 이루어진다. 그리고 격납 확인을 위해서 봉인(sealing)을 하며, 봉인 상태나 핵물질의 이동을 감시하기 위하여 카메라 등을 설치한다. 이러한 활동들은 주로 해당 국가에서 실시되며, IAEA에서는 계량 데이터의 분석 및 확인, 봉인의 파손 여부 확인, 연구개발 활동정보에 대한 분석 등을 하게 된다.

한편, 국내 유일한 CANDU형 원자력발전소인 월성 원자력발전소에서는 소내 사용후연료의 저장 용량을 확보하기 위하여 사용후연료를 안전하게 저장할 수 있는 건식조밀저장시설을 건설 및 운영할 계획이다. 본 시설은 안전조치를 이행하여야 하는 시설로서 안전조치에 대한 구체적인 방안을 수립하여야 한다. 따라서 본 연구에서는 건식조밀저장시설에 이러한 안전조치를 실제적으로 이행하기 방안을 도출하였다.

- 저장모듈 개요

MACSTOR/KN-400 저장 모듈은 그림 1과 같이 월성원자력발전소에서 발생되는 CANDU형 사용후연료를 저장 하기 위한 모듈로서 하나의 모듈에는 4열씩 10줄로 배열된 총 40개의 저장 실린더가 설치되어 있으며, 저장 실린더에는 CANDU 사용후연료 60다발을 넣은 타스켓 10개를 저장 할 수 있다. 월성 원전에 사용후연료 조밀건식저장시설로 건설·운영될 MACSTOR/KN-400 저장 모듈은 총 7기로 168,000 다발의 사용후연료를 저장하게 된다. 저장 모듈의 냉각 시스템은 모듈 양쪽 벽의 바닥 근처에 위치한 10개의 공기 입구와 모듈 상부에 위치한 12개의 공기 출구를 통한 자연대류방식에 의한 냉각 방식이다.

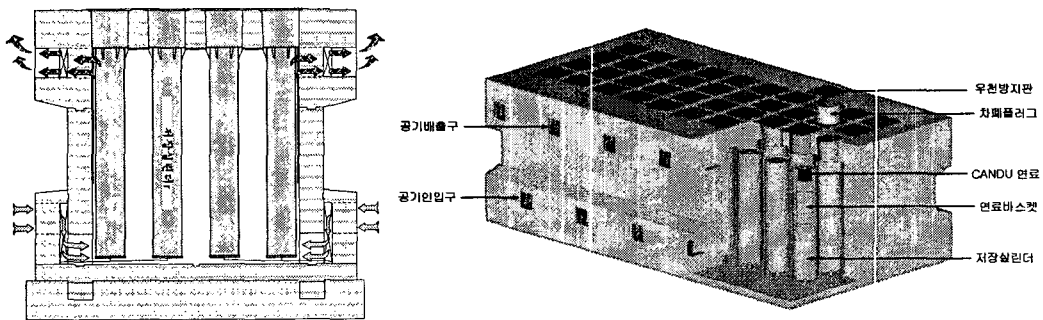


그림 1 MACSTOR/KN-400 개념도

- 안전조치 이행방안

안전조치를 이행하기 위한 구체적인 방안으로 봉인과 재검증관을 고려하였다. 첫 번째로 본 모듈에 그림 2와 3과 같이 사용후연료를 저장한 후에는 두개의 봉인을 적용한다. 두 개의 저장실린더가 채워진 후 한 개의 Cobra-Type 봉인이 이루어지며, 총 4개의 저장실린더가 채워지면 모듈 측면의 공기 입구 하단에 위치한 Junction Box 내에 Cobra-Type 봉인이 설치된다. 1열의 저장실린더(10개)가 채워지면 모듈 옆면의 Junction Box 내에서 E-Type 봉인이 이루어진다. 하나의 Junction Box는 총 20개의 저장 실린더에 대한 E-Type 봉인이 이루어진다. 본 모듈에는 양쪽으로 2개씩의 E-type 봉인을 위한 Junction Box가 설치되어 있다. 모든 봉인은 파이프관내에 설치되며 콘크리트 모듈 안에 묻힌다. 두 번째로 재검증관은 그림 4와 같이 사용후연료가 장전되어 있는 저장실린더내의 조사된 핵연료 바스켓 각각에 대한 감마선량율과 스펙트럼을 측정하기 위한 IAEA 안전 요건으로 Finger-Print를 취득, 비교하여 운영 중 저장실린더내 사용후연료의 존재 유무를 감시하거나 사용후연료의 장전 또는 인출시 무인감시를 위해 필요하다. 모듈내에 위치한 40개의 저장실린더 중 모듈 주변(벽면)에 위치한 24개의 저장실린더는 그림 5와 같은 주변부 재검증관을 설치하여 각각의 저장실린더로부터 선량율과 스펙트럼(Finger Print)을 측정할 수 있게 하였다. 그러나 모듈 내부 중앙의 16개의 저장 실린더에 대하여는 각각의 저장 실린더에 대한 선량율과 스펙트럼(Finger Print)을 측정하기 위한 검증관의 설계 및 설치가 실제적으로 용이하지 않아서 다양한 방안을 구상하여 설계 및 설치에 대한 검토를 수행하여 모듈 내부 저장실린더의 사용후연료 바스켓의 선량율을 측정하기 위해 그림 6과 같이 4개의 저장실린더 중앙부에 독립 구조로 설치되는 사각형 모양의 콘크리트 차폐체내에 재검증관을 설치(총4개)하도록 하였다. 재검증관을 둘러싼 카본 스틸과 콘크리트 차폐체는 선량율을 감소시키는 차폐체 역할을 하고, Signal-to-noise를 최소화하고 방사선 신호를 최대화하기 위해 콜리메타가 설치된다.

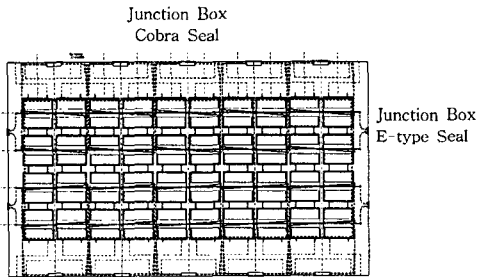


그림 2. 모듈 상부 봉인

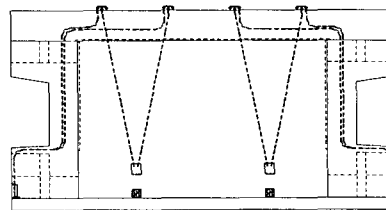


그림 3. 모듈 측면 봉인

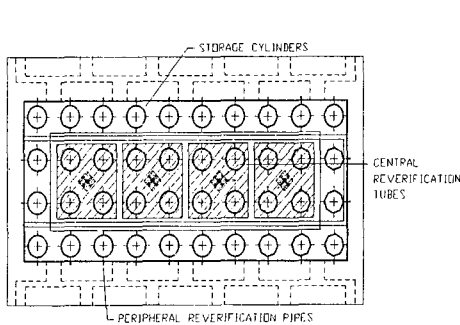


그림 4. 모듈 재검증관 배치도

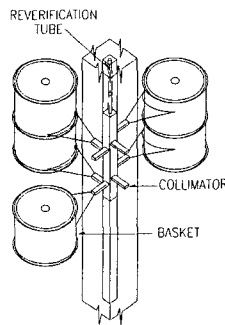


그림 5. 모듈 중앙부 재검증관

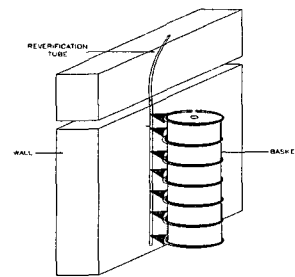


그림 6. 모듈 주변부 재검증관