

# 사용후핵연료 금속검용용기 안전성 입증시험

이상훈<sup>1</sup>, 임종민<sup>2</sup>, 양윤영<sup>2</sup>, 최우석<sup>2</sup>

<sup>1</sup>계명대학교, 대구광역시 달서구 달구벌대로 1095

<sup>2</sup>한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

\*shlee1222@kmu.ac.kr

## 1. 서론

2024년 한빛원전부터 시작되는 사용후핵연료 저장조의 포화를 대비하여 한국원자력환경공단 주도로 한국형 사용후핵연료 수송저장시스템의 개발이 진행 중이다. 개발 중인 시스템은 저장 전용인 콘크리트 용기와 수송, 저장 겸용인 금속용기가 있는데 두 시스템 모두 용접으로 밀봉되는 캐니스터에 사용후핵연료를 1차 포장한 후 적재하도록 설계되었다.

금속검용용기는 기본적으로 수송법적요건을 충족하도록 설계되어 수송인허가 취득을 목표로 개발이 되었으며 별도의 저장인허가를 취득하게 되면 수송 및 저장 겸용으로 사용할 수 있게 된다. 사용후핵연료의 저장을 콘크리트 용기로 하게 되는 경우에도 캐니스터의 수송을 위하여 금속용기가 필요하다. 우리나라는 과거 KSC-1, KSC-4, KN-12, KN-18 등의 사용후핵연료 수송용기의 인허가 경험이 있으며 건식저장을 위한 인허가와 비교하여 상대적으로 법적, 기술적 체계가 잘 수립되어 있는 상황이다.

본 논문에서는 총 7년간의 기술개발의 결과로 개발된 금속검용용기에 대한 간략한 소개를 하고, 이 용기가 법적 수송안전성 요건을 충족시키는지 검증하기 위하여 진행된 안전성 입증시험에 관한 내용을 다룬다.

## 2. KORAD21 금속검용용기

KORAD21로 명명된 금속검용용기는 총 21다발의 경수로 사용후핵연료를 저장할 수 있다. 상세한 사양은 다음 Table 1과 같다. 개발된 용기는 WH 사 및 CE의 경수로핵연료를 모두 수용할 수 있도록 설계되었다. Fig. 1과 Fig. 2에 KORAD21의 개념도 및 시험모델을 도시하였다. 사용후핵연료를 1차 포장하는 캐니스터 및 탄소강 재질의 몸체 및 뚜껑, 몸체에 얇은 케이싱으로 부착되는 중성자 차폐체, 그리고 낙하 충격으로부터 용기를 보호하기 위한 충격완충체로 구성이 된다.

Table 1. Specifications of KORAD21C

Items	Description
Capacity	21 PWR F/A(WH & CE)
Design Basis	- BU: 45,000 MWD/MTU - Enrichment: 4.5wt.% U235
Spent fuel	- Cooling time: 10yrs - Decay heat: 16.8 kw/ canister
Dimensions	- Cask: 2,216 mm φ X 5,285 mm L - Canister: 1,686 mm φ X 4,880 mm L
Weight	- Cask: 104.7t(with loaded canister) - Canister: 33.0t(with loaded fuel)
Material	- Cask: Forged carbon steel - Canister: Stainless steel, BORAL (B4C+Al) or METAMIC

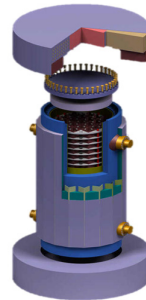


Fig. 1. KORAD21.

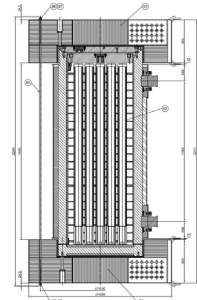


Fig. 2. Test model (1/3 scale).

## 3. KORAD21 낙하시험

### 3.1 낙하시험 요건 및 내용

KORAD21은 B형 운반용기로 분류되며 B형 운반용기의 사고조건을 고려한 법적 안전성시험요건은 원안 위고시 제 2014-50호 제 47조에 명시되어 있다. 정상 조건 및 사고조건 하에 운반용기의 구조적, 열적 건전성을 평가하기 위하여 저온시험, 고온시험, 화재시험과 같은 열시험과 낙하, 파열, 그리고 침수시험과 같은 구조시험을 병행하여 수행하는데 본 논문에서는 9 m 자유낙하 및 1 m 파열시험에 관한 내용만을 다룬다. 본 연구에서는 일반적으로 용기에 가장 큰 손상을 준다고 알려진 총 7가지의 대표적 낙하자세를 고려하여 낙하 시험 및 파열시험을 수행하였다. (Fig. 3)

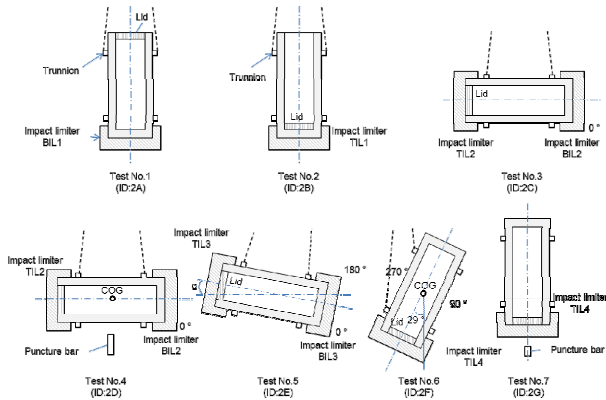


Fig. 3. Drop postures for KORAD21 safety tests.

낙하시험 후 용기의 건전성 평가는 법규에서 정의된 허용누설률을 초과하는 누설이 발생하지 헬륨 누설시험장비로 검사하여 판명하였다.

### 3.2 시험모델 및 계측

KORAD21의 시험모델(Fig. 4)은 시험설비의 제한 조건 및 비용 상의 문제로 1:3 축소하여 설계되었다. 실제시험모델과 달리 충격완충체가 타이로드(tie-rod)에 의하여 체결되었으며 일부 완충체는 동일한 무게의 철판으로 대체하여 시험이 진행되었다. 캐니스터 내부의 구조도 실제 설계에서 축소하여 재현되었으며 사용후핵연료는 등가의 무게를 가지는 각관으로 대체되었다. 원형에서는 Helicoflex사의 HND 타입의 2중 오링을 사용하도록 설계되었으나 시험모델에서는 뚜껑에 설치 공간의 협소함으로 인하여 HN 타입의 단일 오링을 고정용 클립과 함께 사용하였다. 이로 인하여 누설시험을 위한 별도의 진공챔버를 제작, 사용하였다. (Fig. 5)



Fig. 4. Drop test model.

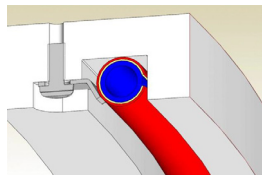


Fig. 5. HN200 O-ring.

시험모델에는 총 12 채널의 변형률계와 3~4 채널의 가속도계, 그리고 4채널의 볼트력센서가 설치되어 낙하 및 파열 순간의 기계적 거동을 평가하도록 하였다.

### 3.3 시험결과

KORAD21의 낙하 및 파열시험은 2015년 7월부터 8월까지 약 2달간에 걸쳐서 진행되었다. 모든 시험

전, 후로 수행한 누설시험에서 허용누설률 이하의 누설이 발생하여 결과적으로 낙하 및 파열사고 조건 하에서 용기의 구조적 건전성이 입증되었다.

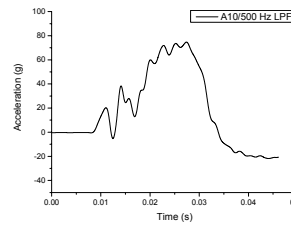
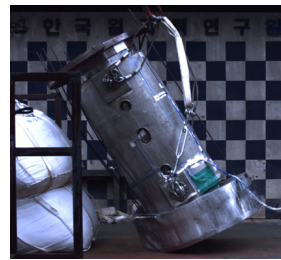


Fig. 6. Corner drop and measured acceleration.

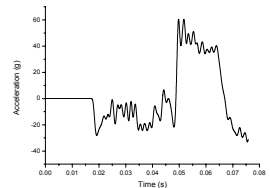
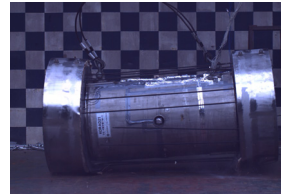


Fig. 7. Oblique drop and measured acceleration.

아래 Table에는 각각의 시험 케이스에서 발생한 최대가속도를 정리한 값이다. 이 가속도는 실제 100k sample/s의 속도로 측정된 데이터에 500 Hz의 차단 주파수로 Low Pass Filter를 적용하여 얻은 값들이다.

Table 2. Measured deceleration during impacts

시험케이스	최대가속도 (g)
바닥부수직낙하	310
뚜껑부 수직낙하	375
수평낙하	305
수평파열	50
경사낙하	55
뚜껑부 모서리 낙하	75
뚜껑파열	48

## 4. 결론

이상과 같이 1차 개발완료된 한국형 사용후핵연료 수송저장 겸용용기의 수송안전성이 성공적으로 입증되었다. 상사법칙에 근거한 축소모델 시험 및 시험모델의 특성을 반영한 별도의 누설시험 절차를 마련하여 성공적으로 시험을 수행할 수 있었다.

## 5. 참고문헌

- [1] 원자력안전위원회고시 2014-50 방사성물질 등의 포장 및 운반에 관한 규정