

방사성물질 운반용기 안전성시험에 대한 ISO체계 적용
Application of ISO system to Safety Test for Radioactive Material
Transport Package

서기석, 이주찬, 방경식

한국원자력연구소
대전광역시 유성구 덕진동 150

요 약

방사성물질 운반용기에 대한 안전성시험은 국내 과기부고시 제 2001-23호, IAEA Safety Standards Series No. TS-R-1 및 미국 10 CFR Part 71 규정에 기술되어 있다. 각 법규에 제시된 시험조건에 적합한 운반용기 안전성시험 시설 혹은 장치를 확보하였다. ISO 국제규격에 적합한 시험방법 및 절차를 수립하여 방사성물질 운반용기 시험분야는 한국공인시험기관 제도(KOLAS)로부터 인정을 받았다.

ABSTRACT

Safety tests for radioactive material transportation package are described in MOST notice 2001-23, IAEA Safety Standards Series No. TS-R-1 and US 10 CFR Part 71. Safety test facilities and equipments were provided to be capable of performing various tests prescribed in those regulations. Test methods and procedures appropriate in International Standard ISO were established and this laboratory of radioactive material transportation package is accredited by Korea Laboratory Accreditation Scheme(KOLAS).

1. 서 론

방사성물질의 안전한 수송을 위하여 국내외 수송 관련 규정 및 법규에서는 방사성물질의 누설이 발생되지 않고 건전성이 유지되도록 엄격히 규제하고 있다.

1996년에 개정된 IAEA Safety Standards Series No. ST-1의 규정을 근간으로 하여 미국의 10 CFR Part 71[1] "방사성물질의 포장 및 운반"과 우리나라의 과학기술부고시 제 2001-23호[2] "방사성물질의 포장 및 운반에 관한 규정"에서 방사성물

질의 포장, 운반용기, 운반물 및 운반 등에 대한 기술기준을 규정하고 있다. 이 규정은 1996년 개정판인 IAEA Safety Standards Series No. ST-1에서의 몇 가지 오류를 수정 보완하여 2002년도에 IAEA Safety Series No. TS-R-1[3]로 개정 공포하였다.

본 논문에서는 관련규정에 기술된 방사성물질 운반에 관한 시험조건을 분석하였다. 또한, 운반용기 안전성시험 장치를 확보하고 국제규격에 적합한 시험방법 및 절차를 수립하여 안전성시험 체계를 구축하였다.

2. 방사성물질 운반용기 시험조건

방사성물질 운반용기에 대한 시험조건을 표 1에 요약하였으며, 그림 1은 정상 및 사고조건에 대한 시험절차를 나타내고 있다.

3.1. 정상운반조건에 대한 입증시험(A형 운반용기)

정상운반조건 시험은 살수시험, 낙하시험, 압축시험 및 관통시험으로 구성되며, 운반물의 시편은 각 경우에 있어 살수시험이 선행되고 낙하시험, 압축시험 및 관통시험을 수행한다. 정상조건시험 후 방사성물질의 유실, 분산이 발생하지 않아야 하며, 표면 방사선량률 증가가 20 %를 초과하지 않아야 한다.

- ① 살수시험 : 시험물에 시간당 5 cm의 강우량에 상당하는 물을 1시간 이상 살수한다.
- ② 낙하시험 : 시험물을 최대 손상이 발생하도록 다음 표에서 정하는 바에 따라 바닥면 위에 낙하한다.

운반물 중량 (kg)	자유낙하높이 (m)
운반물 중량 < 5,000	1.2
5,000 ≤ 운반물 중량 < 10,000	0.9
10,000 ≤ 운반물 중량 < 15,000	0.6
15,000 ≤ 운반물 중량	0.3

- ③ 적층(압축)시험 : 운반물 중량의 5배 하중 또는 운반물의 수직투영 면적에 13 kPa을 곱한 값에 해당하는 하중 중에서 큰 하중으로 24시간 동안 압축한다.
- ④ 관통시험 : 시험물을 단단한 수평면 위에 고정시켜 놓은 후, 직경이 3.2cm, 중량 6 kg 봉을 1 m 높이에서 시험물위에 수직으로 낙하한다.
- ⑤ 추가시험 : A형 액체 또는 기체 상태의 운반물의 경우 추가시험으로 9 m 자유낙하 및 1 m 관통시험을 수행하여야 한다.

3.2. 운반사고조건에 대한 입증시험

운반사고조건 시험은 B형 운반용기에 적용되며, 기계적시험, 열시험 및 침수시험으로 구성된다. 운반사고조건 시험 후 용기 표면 1 m에서 방사선량률이 10 mSv/h, 1주일간 방사성물질 허용 누설량이 A_2 값 이내를 유지하여야 한다.

- ① 기계적 시험 : 3가지의 낙하시험으로 구성되며, 낙하순서는 기계적 시험이 완료된 후 실시하는 열시험에서 시편이 최대 손상을 발생시키도록 한다.
 - 낙하시험 I : 시험물을 9 m 높이에서 낙하
 - 낙하시험 II : 직경 15 cm, 길이 20 cm인 연강봉을 시험바닥면 위에 수직으로 고정시켜 놓고, 시험물을 1 m 높이에서 봉 위에 낙하
 - 낙하시험 III : 시험물을 바닥면에 고정시켜 놓은 후, 중량 500 kg, 한변의 길이가 1 m인 정사각형의 연강판을 9 m 높이에서 낙하
- ② 열시험 : 시험물을 일광조건과 내부 발생열의 최대 설계조건에서 38 °C의 주위온도조건 및 열적 평형상태에 있는 시험물을 800 °C의 화재환경에 30분간 방치 (시험중 및 시험후에 인위적 냉각 금지), 용기표면 흡수율 : 0.8, 최소 평균 화염방사율 : 0.9
- ③ 침수시험 : 시험물을 수두 15 m 이상에서 8시간 동안 침수 (150 kPa의 외부계기압력)
- ④ 강화된 침수시험 : 시험물을 수두 200 m 이상에서 1시간 동안 침수(2 MPa의 외부 계기압력), 방사능량이 A_2 값의 10만배를 초과하는 B형 및 C형 운반물의 경우

다. C형 운반용기에 대한 시험

C형 운반용기에 대한 시험은 기계적시험, 파열시험, 강화된 열시험 및 충격시험으로 구성된다. 시험 후 용기 외부표면으로부터 1 m 지점의 선량률이 10 mSv/h를 초과하지 않고 일주일 동안 유실되는 방사성내용물 축적량이 Kr-85에 대하여 A_2 값의 10배, 그 외의 성핵종에 대하여 A_2 값을 초과하지 않아야 한다.

- ① 기계적시험
 - 낙하시험 I : 시험물을 9 m 높이에서 시험 바닥면 위에 낙하
 - 낙하시험 III : 시험물을 시험바닥면 위에 고정시켜 놓은 후, 중량 500 kg, 한변의 길이가 1 m인 정사각형의 연강판을 9 m 높이에서 낙하
- ② 파열시험 :

- 중량이 250 kg 미만인 운반물의 경우 시험물을 바닥면에 고정시켜 놓고, 직경 20 cm, 중량 250 kg인 원통형 봉을 3 m 높이에서 시험물에 낙하
 - 중량이 250 kg 이상 운반물의 경우 직경 20 cm, 중량 250 kg인 봉을 바닥 면 위에 수직으로 고정시켜 놓고, 시험물을 3 m 높이에서 봉 위에 낙하
- ③ 강화된 열시험: 운반사고조건 열시험조건과 동일한 열적 환경에서 노출시간을 60분으로 유지
- ④ 충격시험: 시험물을 90 m/s 이상의 속도로 바닥면에 충돌

3. 방사성물질 운반용기 안전성 시험체계 구축

3.1 운반용기 안전성시험 시설 및 방법

방사성물질 운반용기의 해당법규의 시험조건을 만족시키는 안전성 시험 장치를 확보하였다.

정상운반조건 및 운반사고조건 시험을 수행하기 위해 원자력연구소 내에 수송용기 안전성시험시설을 건설하였으며, 이 시험시설은 운반용기의 유지 보수에 필요한 각종 성능시험에도 활용이 가능하다. 시험시설은 낙하, 화재, 침수, 열환경 시험설비 등으로 구성된다.

낙하시험시설은 낙하, 파열 및 관통시험 등을 수행하기 위한 설비로서 그림 2와 같이 10톤 용량의 호이스트 크레인이 설치된 15 m 높이의 구조물로 구성된다. 시편을 낙하시험시설의 release 장치에 연결한 후 호이스트에 매달아 9 m 높이로 들어 올린 후 낙하시험시설의 단단하고 평평한 바닥면에 자유낙하 시킨다.

화재시험시설은 800 °C 환경에서 용기를 30분간 노출시키기 위한 설비로서 그림 3과 같이 연료탱크, 물탱크 및 송풍기 등으로 구성되며, pit 치수는 3.5 m x 3.0 m x 0.7 m 이다. 특히, 화재시험시에 발생하는 매연 및 분진 등을 최소화할 수 있도록 화재 pit 연소장에 공기를 강제대류로서 선회류를 형성시켜 연소가 안정되게 하고 또한 화염에 미세한 물입자를 분무시켜 연소시 발생하는 매연을 줄일 수 있다. 시험방법은 시편을 화재시험 설비 내부에 설치하고 석유를 연소시켜 800 °C 화염온도를 30분간 유지시킨 후 자연냉각 시킨다.

침수시험장치는 15 m 또는 200 m 수심에 대한 침수시험을 수행하기 위한 장치로서 시험장치는 그림 4와 같이 압력용기, 고압펌프, 충수펌프, 압력계 및 안전밸브 등으로 구성된다. 압력용기에는 충수를 위한 배관계통 및 고압펌프를 사용한 가압 배관계통 등의 배관 및 밸브 등이 설치되어 있다. 상부에는 내부압력을 측정할 수 있는 압력계, 내부 기체를 배출하는 vent line, drain line 및 안전밸브 등이 설치된

다. 압력용기 내부에 시험모델을 넣고 플랜지를 체결한 후 물을 충수시켜 200m 침수시험의 경우 20기압까지 가압하여 1시간동안 유지시킨다.

열환경 시험장치는 수송용기를 38 °C의 고온조건 및 -40 °C의 저온조건하에서 1주일간 방치하기 위한 시험설비로서 그림 5와 같이 온도제어시스템, blower & damper, 10 kW 용량의 전기 히터, 액체질소 공급라인 등으로 구성된다. 시험실은 4 m x 4 m x 3 m의 규격으로 천장 및 외벽에는 150 mm 두께의 폴리우레탄 단열재를 시공하여 열손실을 방지하도록 하였다. 시험방법은 열전대가 설치된 시편을 환경설비 내부에 설치하고 환경온도는 38 °C 또는 -40 °C로 설정한 후 환경시험설비를 가동하여 1주일동안 환경온도 및 시편온도를 측정한다.

3.2 ISO 시험체계

시험방법 및 절차에 대한 신뢰성과 정확성 등을 향상시키기 위해 방사성물질 안전성시험에 ISO 체계를 도입하였다. ISO 체계는 국제규격으로서 구체적인 시험방법 및 절차를 갖고 있으며, 더 중요한 사항은 시험 기관으로서 운영하여야 할 품질보증체계를 갖고 있어야 한다. 시험기관의 자격에 대한 요구사항은 ISO 17025에 명시되어 있다.[5]

시험기관 자격 요구사항 중에서 중요한 분야는 측정 불확도 추정과 비교속련도이다. 측정 값의 도량학적 또는 통계적으로 유효한 불확도를 추정하여야 한다. 방사성물질 안전성 시험의 불확도 평가는 구조시험 후 변형도 평가를 위한 치수측정과 열시험 후 온도측정에 적용하였다. 그리고 비교속련도는 열환경 시험설비의 고온시험에 대해 4개 기관이 참여하여 수행되었다.

정상조건 및 사고조건 시험후 시편의 허용 누설량 평가를 위하여 ISO 12807 혹은 9978에 따라 헬륨 누설시험, 가압시험 및 진공누설시험 방법에 대한 누설시험 체계를 구축하였다. [5],[6] 헬륨 누설시험은 시편 내부공간에 설계압력의 90 % 이하로 공기압으로 채우고, regulator를 사용하여 헬륨 가스를 총 압력의 10 % 이상으로 채운 후 내부 공간의 압력이 안정되면, 그 상태를 15분 이상 유지한 후 helium leak detector를 사용하여 누설 여부를 검사한다. 가압시험은 시편 내부공간에 설계압력 이상으로 압축기를 사용하여 공기압으로 가압한 후, 내부 공간의 압력이 안정되면, 그 상태를 30분 이상 유지하며, 압력 및 온도를 측정하여 아래의 식에 따라 누설량을 계산한다.

$$L_R = \frac{V \times T_S}{3600 \times H \times P_S} \left(\frac{P_1}{T_1} - \frac{P_2}{T_2} \right) \text{ cm}^3/\text{s}$$

진공누설시험은 진공펌프를 이용하여 시험 내부공간을 0.1 hPa 이하로 감압한 후, 내부 공간의 압력이 안정된 이후 그 상태를 15분 동안 유지한다. 15분 이후의 내부압력을 측정한다.

국제규격 ISO에 따른 품질보증체계, 시험방법 및 절차를 수립하여 안전성시험 체계를 구축하였다.

5. 결 론

방사성물질 운반용기 개발에 필요한 국내외 법규 및 규정을 분석하여 운반용기 기술기준을 체계화하였다. 운반용기 기술기준을 체계화함으로써 운반용기 개발에 소요되는 시간을 단축할 수 있고 보다 객관적이고 신뢰성 있는 운반용기 개발이 가능할 것으로 판단된다. ISO 국제규격에 따른 운반용기 안전성시험 체계를 구축하여 시험분야에 대한 KOLAS 공인시험기관을 획득하였다. 공인시험기관을 획득함에 따라 시험능력을 국제적으로 인정받고 신뢰성 있는 시험결과 확보가 가능하여 보다 안전하고 효율적인 운반용기 개발에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

- [1] U.S. Code of Federal Regulations, "Packaging and Transportation of Radioactive Material", Title 10, Part 71, 1997.
- [2] 과학기술부고시 제 2001-23호, 방사성물질등의 포장 및 운반에 관한 규정, 2001.
- [3] IAEA, "IAEA Safety Standards Series No. TS-R-1 : Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material," 2002.
- [4] ISO, "General Requirement for the Competence of Testing and Calibration Laboratories" ISO/IEC 17025 ; 1999
- [5] ISO, "Safe Transport of Radioactive Materials - Leakage Testing on Packages", ISO 12807, 1996.
- [6] ISO, "Radiation Protection - Sealed Radioactive Sources - Leakages Test Methods", ISO 9978, 1992.

Table 1. Test Condition for Radioactive Material Transport Package

시험조건	운반용기 형태	A형	B형	C형
1. 정상운반조건에 대한 입증시험				
○ 살수시험 : 시간당 5 cm의 강우에 해당하는 물을 1 시간 이상 살수		○	○	○
○ 낙하시험 : 0.3 ~ 1.2 m 높이에서 자유낙하		○	○	○
○ 적층시험 : 운반물의 5배 또는 수직투영 면적에 13 kPa을 곱한 하중으로 24시간 압축		○	○	○
○ 관통시험 : 직경 3 cm, 중량 6 kg의 봉을 1 m 높이에서 시험물에 수직낙하		○	○	○
2. 운반사고조건에 대한 입증시험				
○ 기계적 시험				
- 낙하시험 I : 시험물을 9 m 높이에서 낙하		-	○	○
- 낙하시험 II : $\phi 15$ cm x 20 cm의 봉위에 1 m 높이에서 시험물을 낙하		-	○	-
- 낙하 III : 중량 500 kg, 한변의 길이가 1 m인 연강판을 9 m 높이에서 시험물에 낙하 (B형, 중량 500 kg 이하, 방사능 A ₂ 값의 천배 이상 : 낙하 I 대신 낙하 III)		-	-	○
○ 열시험 : 일광조건, 최대 내부 발생열, 38 °C의 환경 조건 및 열평형 상태의 시험물을 800 °C 화재환경에 30분간 노출		-	○	-
○ 침수시험 : 수두 15 m에 시험물을 8시간 이상 침수		-	○	-
3. 강화된 침수시험 : 수두 200 m 이상에서 1시간 침수 (방사능량 A ₂ 값의 10만배 초과)		-	○	○
4. C형 운반용기에 대한 시험				
○ 과열시험				
- 중량 250 kg 미만 운반물의 경우 : $\phi 20$ cm, 250 kg의 봉을 3 m 높이에서 시험물에 낙하		-	-	○
- 중량이 250 kg 이상 운반물의 경우 : 3 m 높이에서 시험물을 $\phi 20$ cm, 250 kg의 봉위에 낙하		-	-	○
○ 강화된 열시험 : 사고 열시험 조건으로 60분간 노출		-	-	○
○ 충격시험 : 90 m/s 이상 속도로 바닥면에 충돌		-	-	○

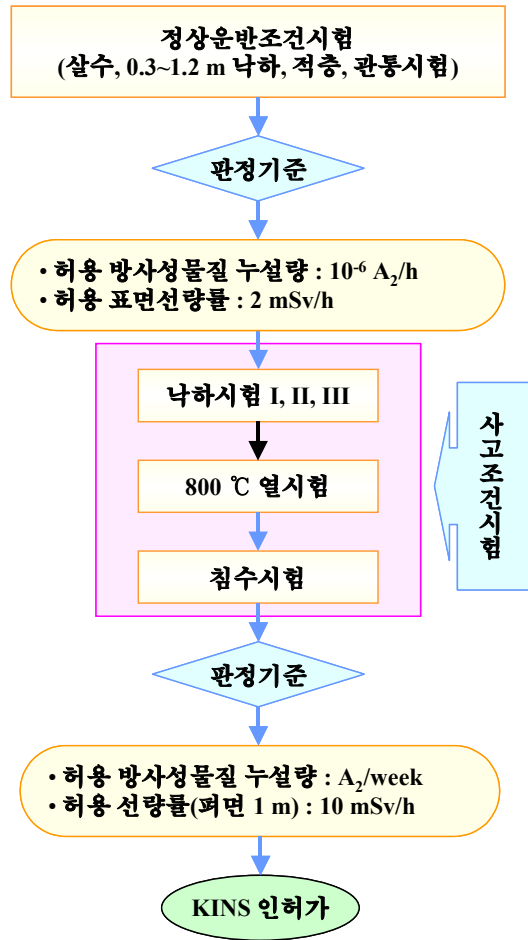


Fig. 1. Test Procedure for Normal and Accident Conditions.

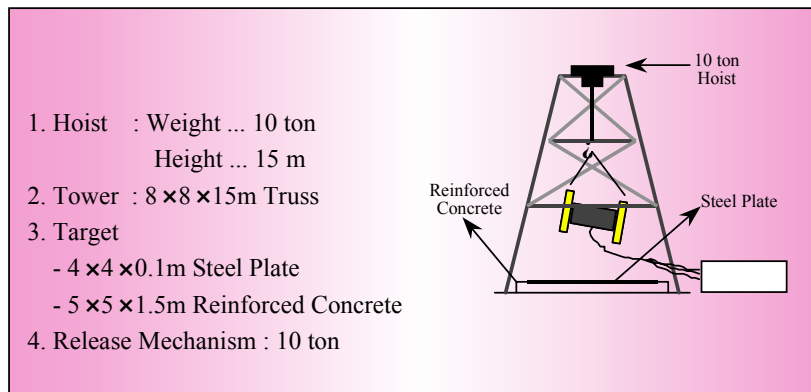


Fig. 2. Schematic Drawing of Drop Test.

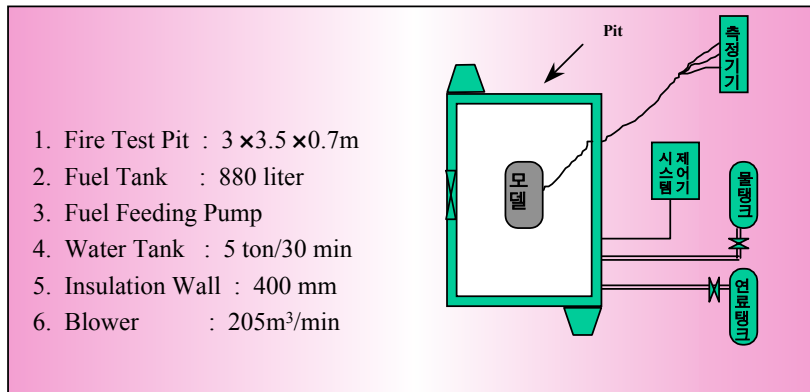


Fig. 3. Schematic Drawing of Fire Test.

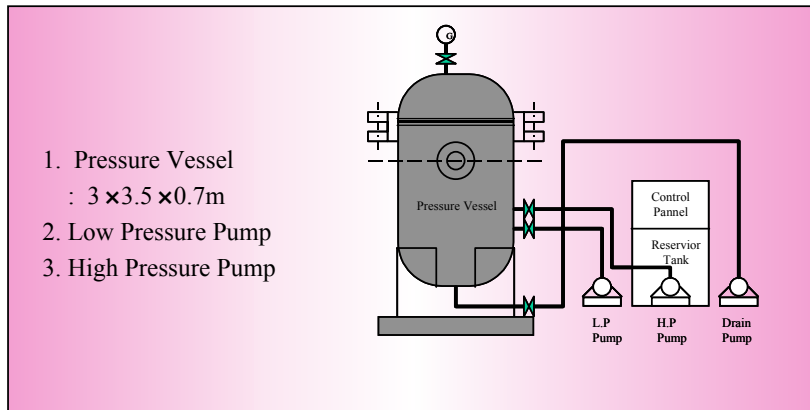


Fig. 4. Schematic Drawing of Water Immersion Test.

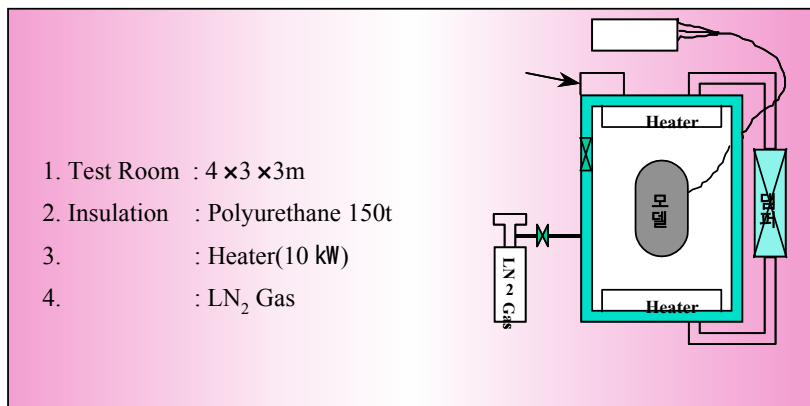


Fig. 5. Schematic Drawing of Environmental Test.