Journal of RADIATION INDUSTRY
Vol. 20, No. 1, pp. 101-105, 2026
https://doi.org/10.23042/radin.2026.20.1.101

Technical article

고방사성물질 취급을 위한 운반용기 개발 및 시험평가

박혜민[1,*] · 김태영[1] · 권서영[1] · 이민호[1] · 송양수[1] · 이운장[1] · 조원제[2] · 정명환[2]

[1](주)오리온이엔씨, [2]한국원자력연구원, 입자빔이용연구부

Development and Testing of a Transport Container for High-Activity Radioactive Material Handling

Hey Min Park[1,*], Tae Young Kim[1], Seo Young Kwon[1], Min Ho Lee[1], Yang Soo Song[1], Un Jang Lee[1], Won Je Cho[2], and Myeong Hwan Jeong[2]

[1]ORION ENC, 37, 22 gil Seongsui-ro, Seongdong-gu, Seoul 04798, Korea
[2]KAERI, Particle Beam Research Division, 181, Mirae-ro, Geoncheon-eup, Gyeongju-si, Gyeongsangbuk-do 38180, Korea

ABSTRACT In this study, a transport container for the safe handling and transportation of high-activity radioactive materials was developed, and a prototype was fabricated and experimentally evaluated in terms of structural integrity and transport safety. The developed transport container was manufactured with a double-layer structure to ensure both radiation shielding and mechanical safety, consisting of an inner container and an overpack container. The shielding and structural designs of the transport container were analytically validated in previous studies; therefore, this study focused on fabrication and testing based on the previously verified design rather than on redesign or optimization. The inner container is a cylindrical structure primarily composed of lead as the shielding material, with a diameter of 160 mm, a height of 150 mm, and a weight of 32 kg. The results of this study demonstrate the suitability of the developed transport container prototype for the safe transportation of high-activity radioactive materials, supporting its potential implementation in actual operating environments.

Key words: Radioactive material, Handling, Container, A Type, Overpack

1. 서 론

원자력 산업의 지속적인 발전과 함께 방사성물질을 취급하고 활용하는 분야는 원전 운영 및 해체, 방사성의약품 생산, 방사화 표적물질 취급, 방사성폐기물 관리 등으로 점차 확대되고 있다. 이러한 분야에서는 고방사능 수준의 방사성물질을 취급하는 사례가 증가하고 있으며, 작업자 피폭 저감과 공공 안전 확보를 위한 체계적인 안전 관리 기술의 중요성이 더욱 강조되고 있다. 특히 고방사성물질은 운송 및 취급 과정에서 방사선 노출, 기계적 손상, 누설 등의 잠재적 위험을 수반하므로, 이에 대한 안전한 이송 체계의 구축은 필수적이다.

고방사성물질에는 방사성의약품, 방사화 표적물질, 방사성폐기물 시료 등 다양한 형태의 물질이 포함되며, 이들 물질은 생산 시설, 연구 시설, 처리 시설 간 이동이 불가피하다. 이러한 이송 과정에서는 관련 법규 및 기술 기준에 부합하도록 설계·제작되어 안전성이 입증된 운반용기의 사용이 요구된다[1]. 주요 원자력 선진국에서는 방사성물질의 특성과 방사능 수준에 따라 차폐 성능과 구조적 안전성을 확보한 운반용기를 적용하고 있으며, 관련 법규 및 국제 기준에 따라 요구되는 시험을 통해 안전성을 검증한 후 현장에 활용하고 있다.

반면, 국내에서는 고방사성물질 취급 수요가 증가하고 있음에도 불구하고, 관련 운반용기의 상당 부분을 수입에 의존하고 있으며, 체계적인 운반용기 개발 및 이송 체계 구축은 아직 미진한 실정이다. 이는 운용비용 증가뿐만 아니라, 국내 운용 환경 및 취급 조건을 충분히 반영하지 못하는 한계로 이어질 수 있다. 따라서 국내 실정에 적합한 고방사성물질 취급용 운반용기의 국산화와 함께, 관련 법규 및 기준을 만족하는 안전성 검증 기술의 확보가 요구된다.

ISSN 1976-2402 **http://www.ksri.kr/**

Copyright© 2026 by Korean Society of Radiation Industry

***Corresponding author:** Heymin Park
Tel: +82-2-3414-2038, Fax: +82-2-3414-2031, E-mail: hmpark@orionenc.com

Received 13 March 2026 **Revised** 30 March 2026 **Accepted** 30 March 2026

이에 본 연구에서는 고방사성물질을 안전하게 취급 및 운반하기 위한 운반용기를 개발하고, 기 검증된 설계를 기반으로 시제품을 제작하여 구조적 건전성 및 운반 안전성을 시험 평가하고자 한다. 본 연구를 통해 고방사성물질 취급용 운반용기의 실제 적용 가능성을 검토하고, 향후 국내 이송 체계 구축을 위한 기술적 기반을 마련하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 운반용기 설계 및 제작

2.1.1. 운반용기 분류기준

국내 방사성물질 운반용기는 "방사선 안전관리 등의 기술기준에 관한 규칙" 및 "방사성물질 등의 포장 및 운반에 관한 규정"에 따라, 운반 대상의 방사능량과 중량에 적합한 기술기준이 적용된다[1]. 운반용기는 L형, IP형, A형, B형, C형 및 핵분열성물질 운반물로 구분되며, 각 운반물에 대한 방사성물질 한도량이 규정되어 있다[2].

L형 및 IP형 운반용기는 주로 저준위 방사성물질의 운반을 목적으로 규정되어 있으며, 상대적으로 낮은 차폐 성능과 구조적 안전성을 가진다. 반면, B형 및 C형 운반용기는 사용후핵연료와 같이 고위험 방사성물질이나 항공 운송용으로 규정되어 중량이 크고 운용 조건이 엄격하여, 일반 산업 현장에서의 취급과 운용에는 제한이 따른다. 이에 비해 A형 운반용기는 일정 수준의 고방사성물질을 안전하게 취급할 수 있으면서도, 일반 산업 환경에서 운용이 가능하도록 규정되어 있다.

따라서 본 연구에서는 고방사성물질을 안전하게 취급하고 운반할 수 있는 A형 운반용기를 설계 및 제작 대상으로 선정하였다.

2.1.2. 방사성물질 특성

고방사성물질 취급용 운반용기 설계 시 차폐 해석의 신뢰성을 확보하고자 운반 대상 방사성물질의 핵종 구성과 방사능 수량이 명확히 규명된 기준 물질을 선정하였다. 고방사성물질 모델로는 핵의학 분야에서 활용 사례가 있는 혼합 방사성 핵종인 ^{68}Ge/^{68}Ga 방사화 표적물질을 적용하였다.

^{68}Ga는 양전자 방출 핵종으로, 핵의학 분야에서 PET 검출기 교정 및 진단용 방사성의약품에 널리 활용되고 있다. 모핵종인 ^{68}Ge는 반감기 270.8일의 전자포획 붕괴 핵종으로 ^{68}Ga로 붕괴되며, ^{68}Ga는 반감기 약 68분을 가지는 β^+ 붕괴 핵종으로 붕괴 과정에서 1,077 keV의 고에너지 감마선과 511 keV 소멸감마선을 방출한다[3]. Table 1은 한국원자력연구원(입자빔이용연구부)에서 ^{68}Ga: 1 Ci (37 GBq) 생산 시, 방사화된 표적물질에서 발생되는 핵종들을 보여준다.

설계에 적용된 표적물질의 총 방사능 수량은 7.18 Ci (265.6 GBq)로, 관련 규정에서 정의한 A형 운반물의 방사능 한도(A_1 및 A_2 값) 이내에 해당하며, 이를 기준으로 A형 운반물 기술기준을 만족하도록 운반용기를 설계하였다[4]. Fig. 1은 방사화 표적물질인 ^{68}Ge/^{68}Ga 타겟의 설계 모델을 보여준다. ^{68}Ge/^{68}Ga 타겟의 크기는 직경 50 mm, 두께 20 mm이다.

Table 1. Radionuclide characteristic of ^{68}Ge/^{68}Ga

Radionuclide	GBq	Ci
^{88}Zr	1.3	0.035
^{89}Zr	1.1	0.029
^{92m}Nb	0.6	0.016
^{88}Y	2.8	0.075
^{91}Nb	0.0	-
^{93m}Nb	0.0	-
^{91m}Nb	0.0	-
^{93}Mo	0.0	-
^{67}Ga	90.5	2.445
^{71}Ge	72.0	1.945
^{68}Ga	37.0	1
^{68}Ge	37.0	1
^{69}Ge	18.1	0.489
^{65}Zn	5.1	0.137
Total	265.6	7.18

2.1.3. 운반용기 설계 및 제작

Fig. 2는 고방사성물질의 운반을 위해 제작된 운반용기를 보여준다. 운반용기는 내부용기와 덧포장 용기로 구성된 이중 구조로 제작되었으며, 내부용기는 납(Pb, 99%) 차폐체와 이를 지지하는 스테인리스강(Stainless Steel 304) 외함으로 제작되었다. 덧포장 용기는 고경도 스펀지와 섬유강화플라스틱(FRP) 케이스를 적용하여 운반 중 충격 및 진동에 대한 물리적 안전성을 강화하였다. 덧포장 용기의 크기는 380 (L)×480 (W)×320 (H) mm, 내부용기의 크기는 160 mm (Ø)×150 mm (H)이다. 내부용기의 유효 수용 체적은 84.82 cm^{3}이며, 내부용기 무게는 32 kg, 덧포장 용기의 무게는 5 kg으로 총 무게는 37 kg 이다.

차폐 설계는 ^{68}Ge/^{68}Ga(7.18 Ci, 265.6 GBq)을 기준으로 MCNP 6.1.0을 이용하여 수행하였으며, 덧포장 용기 표면에서의 방사선 선량률이 2 mSv h^{-1} 이하를 만족하도록 내부용기 납 차폐체 두께를 산정하였다[5]. 선행연구를 통해 차폐설계 조건을 고려한 결과, ^{68}Ge/^{68}Ga 타겟 상·하단 위치에는 55 mm, 좌·우측 및 전·후측 위치에는 45 mm의 차폐체 두께가 요구되었으며, 이를 통해 운반용기 외부에서의 방사선 안전 기준을 만족하도록 설계하였다[6].

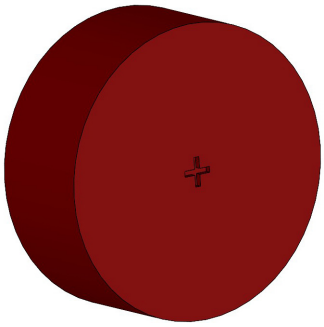

Fig. 1. $^{68}Ge/^{68}Ga$ target model

Fig. 2. Prototype transport container (Type A)

Fig. 3. Water spray test

3. 결과 및 고찰

3.1. 운반용기 시험기준

고방사성물질 운반용기(A형)의 안전성 평가를 위해 원자력 안전위원회고시 제2025-10호 “방사성물질 등의 포장 및 운반에 관한 기술기준”에 따른 시험요건을 적용하였다. A형 운반용기는 정상 운반 조건 및 가상 사고 조건을 고려하여 살수, 낙하, 적층 및 관통 시험을 수행하도록 규정되어 있으며, 이를 통해 운반용기의 구조적 건전성과 차폐 성능이 입증되어야 한다. 시험 후에는 방사성 내용물의 유실 또는 분산이 없어야 하며, 차폐 손실로 인한 외부 표면 방사선량률의 증가는 20%를 초과하지 않고, 운반용기 외부 표면에서의 방사선량률은 2 mSv h^{-1} 이하를 만족해야 한다. 본 연구에서는 이러한 시험기준을 바탕으로 고방사성물질 운반용기의 안전성을 평가하였다.

3.1.1. 운반용기 시험방법

운반용기(A형)의 안전성 시험은 KOLAS 공인시험기관인 한국원자력연구원에서 수행하였다. 고체 방사성물질 운반용기에 대해 살수 시험은 시간당 5 cm의 강우 조건에서 1시간 이상 용기를 노출시키는 방식으로 실시하였으며, 낙하 시험은 중량 5톤 이하의 금속 용기를 대상으로 1.2 m 높이에서 바닥면으로 자유 낙하시키는 조건을 적용하였다. 적층 시험은 운반용기가 적층 가능한 형상일 경우 실제 운반물 중량의 5배 하중을 24시간 동안 가하도록 하였으며, 관통 시험은 직경 3.2 cm, 중량 6 kg의 반구형 관통봉을 1 m 높이에서 운반용기의 구조적으로 가장 취약한 부위에 수직 낙하시켜 수행하였다. 운반용기에 대한 시험은 단일 시편을 사용하여 규정된 순서에 따라 수행되었다.

3.2. 운반용기 시험평가

3.2.1. 살수시험

운반용기의 방수 성능 및 구조적 건전성을 평가하기 위하여 살수시험을 수행하였다. 본 시험은 운반용기가 1시간 이상, 시간당 5 cm의 강우 환경에 노출되는 조건을 가정하여 실시하였다. Fig. 3은 살수시험 과정을 보여준다. 살수시험 결과 운반용기에 대한 외관 검사 및 내관 검사 수행 시, 분사된 물의 내부 침투, 내용물의 유실 또는 분산이 발생하지 않았다. 또한 운반용기 외관 및 체결부에서 구조적 이상이나 변형은 확인되지 않았다. 이에 따라 운반용기는 해당 강우 조건에서도 방수 성능과 구조적 안전성이 충분히 확보됨을 확인하였다.

3.2.2. 적층시험

운반용기의 구조적 건전성을 평가하기 위하여 적층시험을 수행하였다. 본 시험은 운반용기가 자중의 5배에 해당하는 하중을 24시간 동안 받는 조건을 가정하여 실시하였다. Fig. 4는 적층시험 과정을 보여준다. 적층조건을 고려하여, 운반용기의 총 중량이 37 kg이므로 운반용기의 5배 이상의 하중을 주기위해, 하중판(205 kg)을 운반용기에 적층하였다. 적층시험 결과 운반용기에 대한 외관 검사 및 내관 검사 수행 시, 덧포장 용기의 찌그러짐이나 파손

Fig. 4. Stacking test

은 관찰되지 않았으며, 내용물의 유실 또는 분산도 확인되지 않았다. 이에 따라 운반용기는 자중의 5배 하중 조건에서도 구조적 안전성이 충분히 확보됨을 확인하였다.

3.2.3. 관통시험

운반용기의 국부 충격에 대한 구조적 건전성을 평가하기 위하여 관통시험을 수행하였다. 본 시험은 운반용기에 대해 1 m 높이에서 관통봉이 수직 방향으로 타격되는 조건을 가정하여 실시하였다. Fig. 5는 관통시험 과정을 보여준다.

관통시험 결과 운반용기에 대한 외관 검사 및 내관 검사 수행 시, 덧포장 용기 타격 부위에 일부 국부적인 찌그러짐은 관찰되었으나, 용기 일부가 떨어져 나가거나 심대한 파손이 발생한 곳은 발견되지 않았다. 이에 따라 운반용기는 1 m 높이의 수직 관통 충격 조건에서도 구조적 안전성이 충분히 확보됨을 확인하였다.

3.2.4. 낙하시험

운반용기의 낙하 충격에 대한 구조적 건전성을 평가하기 위하여 낙하시험을 수행하였다. 본 시험은 운반용기를 1.2 m 높이에서 자유낙하시키는 조건을 가정하여 실시하였으며, 낙하 방향은 체결부가 위치한 상부 모서리 영역이 상대적으로 구조적 취약성이 큰 부위임을 고려하여, 최대 손상이 발생할 수 있는 상부 모서리 방향으로 설정하였다. Fig. 6은 낙하시험 과정을 보여준다. 낙하시험 결과 운반용기에 대한 외관 검사 및 내관 검사 수행 시, 덧포장 용기 모서리 및 상부에 일부 국부적인 찌그러짐은 관찰되었으나, 용기 일부가 떨어져 나가거나 심대한 파손이 발생한 곳은 발견되지 않았다. 또한 낙하시험 후 내용물의 유실 또는 분산이 발생하지 않았으며, 외부 표면 방사선량률 변화는 3% 이내로 나타났다. Fig. 7은 낙하시험 후 운반용기의 모습을 보여준다. 이에 따라 운반용기는 1.2 m 자유낙하 조건에서도 구조적 안전성과 차폐 성능이 충분히 유지됨을 확인하였다.

Fig. 5. Penetration test

4. 결 론

본 연구에서는 고방사성물질의 안전한 운반을 목적으로 A형 운반용기를 제작하고, 제작된 운반용기에 대하여 안전성 시험평가를 수행하였다. 운반용기는 차폐계통인 내부용기와 격납계통인 덧포장 용기로 구성되며, 실제 운용 환경을 고려한 구조적 안전성과 차폐 성능을 확보하도록 제작되었다.

Fig. 6. Drop test

Fig. 7. Transport container after drop test

제작된 운반용기의 안전성 검증을 위하여 A형 운반용기에 대한 시험요건을 기준으로 살수시험, 적층시험, 관통시험 및 낙하시험을 수행하였다. 각 시험 결과, 운반용기 외관 및 내관에서 구조적 손상이나 물리적 파손은 확인되지 않았으며, 내용물의 유실 또는 분산 없이 운반용기의 구조적 건전성과 기능적 안전성이 유지됨을 확인하였다. 특히 낙하시험 전후 외부 표면 방사선량률 변화가 허용 범위 이내로 나타나, 차폐 성능 또한 충분히 확보됨을 확인하였다. 본 연구를 통해 제작된 운반용기는 관련 시험요건을 만족하는 구조적 안전성과 차폐 성능을 확보한 것으로 평가되며, 향후 고방사성물질의 실제 운반 및 현장 적용이 가능할 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 과학기술정보통신부(MSIT)와 기후에너지환경부(MCEE)의 재원으로 한국연구재단과 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 방사성동위원소 산업육성 및 고도화 기술지원 사업(과제번호: 2021M2E7A107915513)과 원전 안전운영을 위한 핵심소재, 부품, 장비 국산화 기술개발사업(No. RS-2022-KP002854)으로 수행 되었으며, 그 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. Nuclear Safety And Security Commission. 2021. Rules on technical standards of radiation safety control, etc. NSSC Regulation Article 29.
2. Nuclear Safety And Security Commission. 2021. Regulation on Packaging or Transport of Radioactive Material, etc. NSSC Notification 2021-2.
3. Delacroix D. 2002. Radionuclide and radiation protection data handbook. 2th ed. Nuclear Technology Publishing, Kent, pp. 64-65.
4. IAEA. 2018. Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material. 2018 ed. International Atomic Energy Agency, Vienna, p. 30.
5. Lee SB, Kim CY, Jeong GS, Lee HJ, Lee YJ and Lee JW. 2018. Evaluation of Shielding Capability of ^{89}Zr Transport Container Using MCNP Code. *J. Radiat. Ind.* **12**(3):163-168. https://doi.org/10.23042/radin.2018.12.3.163.
6. Park HM, Kim TY, Kim HY, Song YS, Lee UJ, Cho WJ and Jeong MH. 2023. A Study on Design of Transport Container for Radio-activated Targets. *J. Radiat. Ind.* **17**(2):191-197. https://doi.org/10.23042/radin.2023.17.2.191.