Journal of Radiation Industry 14(4) : 407~415(2020)

Technical Paper

처분수용성 및 처분 안전성을 고려한 HIC 용기 최적 인수 기준(안) 제시

박기현[1,*] · 이경호[1] · 정세원[1] · 김태만[2]

[1](주)오리온이엔씨, [2]한국원자력환경공단 방사성폐기물연구소

Suggestion of Waste Acceptance Criteria (draft) based on Acceptance and Safety of Disposal for High Integrity Containers

Ki Hyun Park[1,*], Kyung Ho Lee[1], Se Won Chung[1] and Tae Man Kim[1]

[1]*ORION ENC, 37, 22-gil Seongsui-ro, Seongdong-gu, Seoul, Republic of Korea*
[2]*Korea Radioactive Waste Agency, 168, Gajeong-ro, Yuseong-gu, Daejeon, Republic of Korea*

Abstract - High Integrity Container (HIC) is a container for both transportation and disposal which can be efficiently used for high level radioactive resin, concentrated waste, spent filter, etc. as well as historical radioactive wastes which were produced before the establishment of acceptance criteria, and it is well used as disposal container over the world. In Korea at first stage it was tried to develop over 900 L HIC but now 510 L HIC is under evaluation for approval by KINS. This paper suggests optimal acceptance criteria for HIC in relation with HIC acceptance after analyzing licence and waste acceptance conditions in Korea in consideration of disposal acceptance and disposal safety at disposal site.

Key words : High integrity container, Disposal, Disposal acceptance, Disposal safety, Waste acceptance criteria

서 론

고건전성용기(HIC: High Integrity Container)는 방사성폐기물의 처분과 관련하여 국내의 경우 인수 기준이 제정되기 전 발생된 방사성폐기물 또는 고준위 방사성 레진, 농축폐액, 폐필터 등에 유효하게 이용될 수 있는 운반 및 처분 겸용 용기이다. 따라서 전 세계적으로 많은 회사들이 HIC를 생산하고 있으며 국내도 (주)계림폴리콘이 정부과제를 통해 국산화 개발하여 정부의 사용 인허가를 신청하였고 현재 인허가 심사 중이다. 최초는 900 L 이상 용적의 용기를 제작하고자 하였으나 현재는 처분장의 처분 크기를 고려하여 510 L 용적의 HIC를 개발하여 인허가 심사 중이다.

본 논문에서는 처분 시설에서의 처분 수용성과 처분 안전성을 고려하여 HIC의 인수에 대한 국내의 인허가 및 인수 조건을 분석하고 HIC 인수와 관련하여 최적의 인수 기준을 제시하고자 한다.

* Corresponding author: Ki Hyun Park, Tel. +82-2-3414-2039, Fax. +82-2-3414-2031, E-mail. khpark@orionenc.com

본 론

1. HIC 제작 기준

HIC의 구성은 몸체, 밀봉계통, 배기계통, 원거리조작장치, 탈수 장치 및 건조계통으로 구성되며 제작 기준은 미국

10CFR 61.56 (방사성폐기물의 육지처분에 대한 인허가 요건, 폐기물 특성 규정) 및 10CFR 71 (방사성물질의 포장 및 운송, 운송용기 기준)을 준용하며 주요 기준은 아래와 같다. 국내의 기준도 아래 기준을 따르고 있다.

- 300년 설계 수명 유지, 유리수 1% 미만
- 화학물질 영향 고려(폐기물 내 및 매설 환경)
- 중합체 (polymeric material) 제작 용기는 creep, creep buckling 또는 연성-취성파괴가 발생하지 않아야 함.
- 온도에 따른 하중고려 방사선 안전성 고려
- 생물학적 분해 가능성 고려
- Type A 용기 규정 만족(참조: 10CFR 71.71 (방사성물질의 포장 및 운송) & 49CFR 173.465 (운송자: 운송 및 포장에 관한 일반요건, 운반체 시험)
- 3% 승강 하중 견딤 및 품질보증 만족
- 용기 상부 밀봉 및 물 고임 방지
- 수명기간 동안 완전 밀봉 및 내용물 관찰 가능

2. HIC 재질 특성

일반적으로 HIC에 널리 사용되는 폴리머콘크리트(PC) 등의 사용 재질의 비교는 한국전력공사 전력연구원의 "방사성폐기물 처리용 고건전성 용기개발"을 요약하여 Table 1 및 Table 2와 같이 주어진다(곽과 이 1995).

일반적으로 HIC에 널리 사용되는 폴리머콘크리트(Polymer Concrete; PC) 등의 특징은 일반 시멘트 콘크리트와 비교 시 Table 2와 같이 주어진다. 시멘트 콘크리트보다 압축강도, 탄성계수, 내산성, 내마모성이 우수함을 알 수 있다.

3. HIC 사용현황

전 세계적으로 HIC (High Integrity Container)의 주요 제작사 및 HIC의 주요 제원의 현황은 Table 3과 같다.

국내에서는 1994년에 한수원이 미국 Vectra사 스테인레스 드럼(1,135 L)을 9개 구입하여 최초 도입(페라리움 합금강)하였고 이후 독일 Nukem사에서 HDPE HIC를 구입하고 있다. 이후 (주)계림폴리콘이 정부 과제를 통해 연구개발을 수행하였고 이후 국산화하였으며 920 L HIC를 인허가를 신청하였다. 이후 원자력환경공단의 요청에 따라 510 L HIC를 인허가 신청하여 심사가 진행 중이며(동굴형 대상) 이외 860 L HIC도 표층형 처분 시설에 처분을 위해 개발하고 있다.

현재 한수원이 원전 현장에서 사용 중인 방사성폐기물 포장용기 현황은 Table 4와 같다.

Table 1. Comparison of use materials for HIC

Division	Cement Concrete (CC)	Polymer Potland Cement Concrete (PPCC)	Polymer Invasion Concrete (PIC)	Polymer Concrete (PC)
Use material	Water Cement Aggregate Solidification Agent Admixture	Water Cement Agrregate Monomer Catalyst Starter Cross-linker Surfactant	Reinforced Cement Concrete Monomer Catalyst Starter Cross-linker Surfactant	Aggregate Monomer Filler Catalyst Starter Cross-linker Surfactant

Table 2. Characteristics of use materials for HIC

Division	CC	HIC material		
		PC	PIC	PPIC
Compressed strength ($kg \cdot cm^{-2}$)	280~350	400~1,500	995~1,500	280~560
Tensile strength ($kg \cdot cm^{-2}$)	20~252	700~1,400	85~115	40~65
Fracture coefficient ($kg \cdot cm^{-2}$)	33~37	85~210	–	100~125
Modulus of elasticity ($\times 10^5 kg \cdot cm^{-2}$)	1.96~2.52	0.7~3.5	3.5~3.99	0.98~1.47
Absortion rate (%)	5~6	–	0.3~0.6	–
Freezing-melting resistance (Operating no./Weight loss, %)	700/25	1,500/0~1	2,00~4,000/0~2	–
Acid tolerant (PC/CC)	–	8~10	5~10	1~6
Wear resistance (PC/CC)	–	5~10	2~5	10

Remark: PC/CC means the ratio of polymer concrete towards cement concrete.

Table 3. HIC manufacturers and main specifications

Company		Field	HIC model/Specification
USA	Dufrane	Radwaste treatment, spent fuel	Modular HIC
	Avantech	Vessel, radwaste management	A-43
	Energy Solutions	Decontamination, decommissioning, radwaste transport	El-50, etc.
	Tag technical solutions	Vessel	PL-10
	WCS	Radwaste treatment, vessel	–
	Chem Nuclear	Radawste treatment, vessel	- Polyethylene - FRP - Polyethylene Overpack
	Nuclear Packaging (Nukemmerge)	Radawste treatment, vessel	- HI WDC - Enviralloy
	Phillips Chemical	Radwaste treatment, vessel	- Marlex CL-100
Canada	Snclavalin	Vessel	HIC
Germany	Nukem Siempelkamp	Total engineering Radwaste management	www.nukemtechnologies.de HDPE
Japan	Chichibu	Vessel	SFPIC, PIC
France	COGEMA (now ORANO)	Spent fuel vessel	FRC

Remark: 1. P: Polyethylene, 2. FRP: Fiber Reinforced Plastics, 3. HDPE : High Density Polyethylene, 4: SFPIC : Steel Fiber Polymer Impregnated Concrete, 5: PIC : Polymer Impregnated Concrete, 6. FRC : Fiber Reinforced Concrete

3.1. 폴리에틸렌용기(PE)

폴리에틸렌용기는 폴리에틸렌(Polyethylene)을 사용하여 만든 특수용기로 폐수지건조설비(SRDS)와 함께 도입되어 건조된 폐수지를 포장하는 데 사용 중이다(Refer to Figs. 1, 2).

3.2. PC-HIC용기

폴리머콘크리트 고건전성용기(Polymer Concrete-High Integrity Container)는 강철(외피), 폴리머콘크리트(중간층) 및 폴리에틸렌(내피)의 3단으로 구성되어 우리나라의 일반적인 지하 환경 및 처분 조건에서 300년 이상의 건전성을 유지할 수 있는 특수용기로서, 한수원에서는 원전에서 발생하는 폐수지 처분 및 원전에서 기발생된 PE 용기의 덧포장(overpack)을 위해서 국내에서 자체개발 추진 중이다.

4. HIC 사용 계획

한수원의 HIC 용기 사용계획은 Table 5*)와 같이 파악되었다(2015년 실태조사 자료 기준, 과거폐기물(Historical waste) 대상)(오 등 1015).

5. HIC 인허가 현황 및 처분 시설 수용 현황

미국의 HIC 인허가 현황 및 반웰 처분 시설에 수용된 HIC는 Tables 6, 7과 같다.

미국의 경우 저준위 방사성폐기물을 주로 처분하는 반웰 처분 시설의 HIC 수용 기준은 원자력규제위원회(NRC)의 승인을 못 받은 HIC도 주정부(사우스 캐롤라이나 보건국)에서 허가를 받으면 사용 가능하다(예, HDPE HIC) (참고: 국내는 NRC의 허가를 받지 않을 경우 인정 않음(예, HDPE HIC)).

6. 최적 HIC 인수 기준(안)

국내의 경우 인수시설에서의 HIC의 크기 및 무게 기준(510 L (동굴형)/860 L (표층형))은 다음과 같다(성 등 2012).

1단계 동굴형 처분장에서의 크기제한은 510 L PC-HIC, 510 L 철재, 처분용기(16/9pack)로 한다. 무게제한은 처분용기 25개와 내부 포장물 400개의 무게를 가장 하단 처분용기 1개가 견딜 수 있도록 설정한다.

2단계 표층형 처분장에서의 크기제한은 860 L PC-HIC, 860 L 철재, 현재설계에 반영된 최대 포장용기 크기로 한다. 무게

*)한국원자력환경공단 "방사성폐기물 실태조사 최종보고서" 관련 내용 게재

Table 4. Status of KHNP's use waste packing containers

Div.	Kori 1	Kori 2	Kori 3 & 4	Wolsung	Hanvit	Hanul
DAW	DOT-17H, DOT-17H (Shielding- 6cm)	DOT-17H, DOT-17H (Shielding- 6cm)	DOT-17H, DOT-17H (Shielding- 6cm)	DOT-17H, DOT-17H (Shielding- 6cm)	DOT-17H, DOT-17H (Shielding- 7.6cm)	DOT-17H, Concrete type 1
Concentrate	DOT-17H (Cover design add)	DOT-17H (Cover design add)	DOT-17H	–	DOT-17H (Inner Polyethylene add)	Concrete vessel type 2 (Spent resin)
Spent resin	DOT-17H (Shielding- 5.4cm)	DOT-17H (Cover design add)	DOT-17H	Vault storage	DOT-17H (Inner Polyethylene add)	Concrete vessel type 3
Spent filter	DOT-17H (Shielding- 18.4cm)	DOT-17H (Inner basket add)	DOT-17H (Shielding- 18.4cm)	Carbon steel-Concrete	DOT-17H (Shielding- 7.6cm)	Concrete vessel type 1

Fig. 1. Picture of PE container.

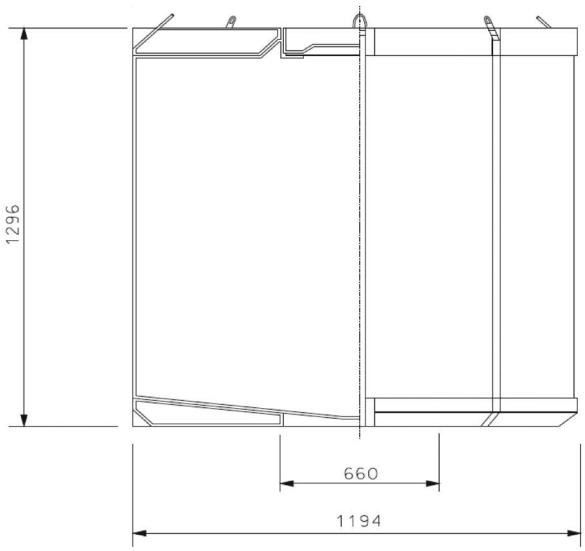

Fig. 2. Drawing of PE container.

제한은 상부 7~8단 적재되는 방폐물 하중을 하단 포장용기가 견딜 수 있도록 설정한다.

인수 기준(안)은 고건전성용기에 대한 안전요건의 기본방향, 처분 수용성 및 처분 안전성을 반영하여야 하며 향후 방사선안전관리 등의 기술기준에 관한규칙 제87조에 의거 처분 시설 운영기준을 반영하거나 별도의 고시로 제정하는 것도 고려하여야 한다.

현재의 HIC 용기에 대한 처분 수용성에 입각한 인수 기준 조건은 Table 8 (국내 인수 기준-원안위 고시 2020-11)과 같다 (Cheong 2011; Kim and Kim 2014). 본 인수 조건은 HIC에도 기본적으로 똑같이 적용된다.

Table 5. Plan of HIC use in KHNP

Type of drum	Packing drum	Q'ty	200 L converted Q'ty	Action plan for disposal
Concentrates repack (C04)	320 L	864	864	Licensing for HIC
Spent resin (R03)	200 L	6,510	6,510	Cement solidification (2,420) → Test conditions shall be identified. Dry ((1,790) → Disposal with HIC or solidification Convert spent resins quantity by 200 L drum which were stored in tank (Wolsung, 2,874) → Disposal with HIC or solidification
Spent resin (R07)	320 L	162	162	Cement solidification (132) → Test conditions shall be identified. Dry (30) → Disposal with HIC or solidification
Spent resin (R05)/ PE HIC	1200 L	619	3,095	Disposal by PE HIC with overpack for structural integrity
Spent resin (R06)	1200 L	412	412	Conditioning required. Disposal with HIC or solidification

Table 6. Status of HIC licences in USA (NRC information no. 89-27)

Supplier	Document	Material	Result
Waste Chem	WM-90**	Solidification (bitumen)	Approved
General Electric	WM-88	Solidification (polymer)	Approved
DOW	WM-82	Solidification (polymer)	Approved
Chichibu	WM-81	HIC (poly impreg/concrete)	Approved
Nuclear packaging	WM-45	HIC (ferralium/FL-50)	Approved
Nuclear packaging	WM-85	HIC (ferralium/family)	Approved
LN Technologies	WM-93	HIC (stainless/poly)	Approved
Chem-Nuclear	WM-18	HIC (polyethylene)	Not Approved
Hittman	WM-80	HIC (polyethylene)	Not Approved
TFC Nuclear	WM-76	HIC (polyethylene)	Not Approved
U.S. Gypsum	WM-51	Solidification (gypsum)	Not Approved
ATI (U.S. Ecology)	WM-91	Solidification (bitumen)	Discontinued
VIKEM	WM-13	Solidification/oil (cement)	Discontinued
Stock	WM-92	Solidification (cement)	Discontinued
Nuclear packaging	WM-71	Solid/Encap (cement/gypsum)	Withdrawn
Chem-Nuclear	WM-19	Solidification (cement)	Withdrawn
Chem-Nuclear	WM-96	Solidification (cement)	Withdrawn
Hittman	WM-79	Solidification (SG-95)	Withdrawn
Nuclear packaging	WM-87	HIC (316-stainless/SDS)	Withdrawn
LN Technologies	WM-57	HIC (polyethylene)	Withdrawn
Chem-Nuclear	WM-47	HIC (fiberglass/poly)	Withdrawn
Chem-Nuclear	WM-101	Solidification (cement #1)	Under review
Chem-Nuclear	WM-97	Solidification (cement #2)	Under review
Chem-Nuclear	WM-98	Solidification (cement #3)	Under review
LN Technologies	WM-20	Solidification (cement)	Under review
LN Technologies	WM-99	Solidification (cement/decon)	Under review
Hittman	WM-46	Solidification (cement)	Under review
ATI (U.S. Ecology)	WM-100	Solidification (bitumen)	Under review
Bondico	WM-94	HIC (fiberglass/poly)	Under review
Baboock & Wilcox	WM-95	HIC (coated carbon steel)	Under review

**: NRC docket No.

Table 7. Status of HIC in Barnwell site (NRC information no. 89-27)

Supplier	Disposal container (HIC)	Issue date
Adwin Equipment Company	55-gallon HIC	05/29/84
Chem-Nuclear	HDPE HICs (×14)	05/28/81
Chem-Nuclear	FRP HIC	02/23/82
Chem-Nuclear	Overpack HIC (×3)	04/08/83
Philadelphia Electric Comp.	PECO-HIC-1	09/28/81
Hittman	Radlok-55 HIC	06/17/82
Hittman	Radlok-100 HIC	06/17/82
Hittman	Radlok-200 HIC	05/05/83
Hittman	Radlok-500 HIC	09/31/85
LN Technologies	Barrier-55 HIC	09/01/83
TFC	NUHIC-120 HIC	11/01/83
NUPAC	HDPE 142 HIC	08/20/84
NUPAC	FL-50 HIC	09/26/85
Chichibu	Concrete HICs (×2)	08/12/86
Vermont Yankee	HDPE HIC	10/10/83

처분 안전성에 입각한 최적의 HIC 인수 기준(안) 반영사항들은 다음과 같다.

가. 고건전성용기에 내장된 폐기물에 대하여는 중·저준위 방사성폐기물 처분 시설 폐쇄 후 정상 자연현상에 대한 안전성평가 시 해당 고건전성용기의 "처분수명" 동안 완전한 격납이 유지되어야 한다. 또한 해당 관리기간과 처분수명 동안 건전성을 유지할 수 있어야 한다. 고건전성용기는 처분수명기간 동안 내장 폐기물을 완전하게 격납할 수 있도록 아래의 성능을 갖추어야 한다.

1. 매립깊이의 수평 및 수직 외부 하중에 대해 내구성을 유지할 것.
2. 내장폐기물이 지하수와 접촉하지 않도록 지하수의 침투를 막을 것 .

단, 격납성능을 평가할 때에는 다른 성능들의 시간에 따른 열화가 당해 성능에 미치는 영향을 고려하도록 한다.

또한 300년 설계수명기간 동안의 건전성 입증 부식시험 및 화학시험을 수행한다(^{137}Cs 및 ^{90}Sr의 반감기 약 10배 기간 (300년) 동안 건전성 유지).

나. 관리기간으로 폐기물 처분 전용 고건전성용기에 대하여는 50년, 처리·저장 및 처분 겸용 고건전성용기에 대하여는 100년을 기본적으로 적용한다. 또한, 고건전성용기의 처분수명은 300년 이상이 되어야 한다. 단, 고건전성용기의 처분수명을 산정함에 있어서는 관리기간 동안 해당용기에 대해 예상되는 최대 열화를 감안하도록 한다.

또한 유기이온교환수지의 열화 및 방사선 조사에 의한 열화 평가를 수행한다.

다. 고건전성용기의 재질은 아래의 안정 특성의 측면에서 관리기간과 처분수명에 걸쳐 HIC 용기의 건전성을 유지하는데 적합하여야 한다.

1. 압축강도, 인장강도, 크리프(Creep) 특성 등 기계적 안정성
2. 지하수침투성(Permeability)
3. 부식특성
4. 재질을 구성하는 성분의 유출특성
5. 미생물에 의한 분해와 관련한 생물학적 저항성
6. 방사선조사에 의한 취화와 관련한 방사선안정성
7. 자외선 노출에 따른 열화와 관련한 안정성
8. 열순환(Thermal cycle)과 관련한 열적 안정성
9. 처분 시설 뒷채움재 등 예상되는 접촉환경에 대한 반응안정성

단, 재질 특성을 평가할 때에는 다른 특성들의 시간에 따른 열화가 당해 특성에 미치는 영향을 고려하도록 한다.

미국의 경우 Class B, C 폐기물에 대하여 압축강도 및 조사 및 조사 후 압축강도, 침수/압축 시험은 STM C39 및 ASTM 1074 (압축강도≥500 psi), 미생물 및 미생물 배양 영향 이후 압축강도는 ASTM G21, G22 및 ASTM D1074 (미생물 성장 징후가 없고 시험 후 압축강도≥500 psi), 침출 시험은 ANS 16.1 (Cs, Co, Sr 침출지수≥6), 열순환/압축 시험은 ASTM B553 및ASTM C39 및 D1074 (90일 침수 후 압축강도≥900 psi)를 조건을 만족토록 요구한다. 또한 유리수 시험은 ANS 55.1 (0.5% 이하 및 pH 4~11 유지), 균일 시험은 파괴 분석(고화체 각 부피 압축강도≥500 psi), 방사능 농도는 10CFR61.55 (<3.7 TBq)의 조건을 만족하도록 요구한다. 국내의 경우, 미국 반웰 처분장의 인수 기준 즉, Class B, C 폐기물에 대한 미국 기준을 많이 참조하여 국내 인수 기준에 인용하였으나 미생물 시험에 대한 규정은 아직 제정된 바 없고 따라서 HIC 용기 인수 기준에 ASTM G21 및 G22 적용이 추가적으로 검토되어야 할 사항이다. 또한 10CFR61.55의 규정에 따른 방사능 농도의 경우도 국내는 이보다 훨씬 보수적 기준으로 인수 기준에 수립되어 있다(^{60}Co의 경우 1.85 TBq 이하). 따라서 위의 조건을 고려하여 다음의 조건을 만족하도록 한다.

1) 용기의 덮개 물질(cover material)의 평균 밀도를 120 lbs·ft^{-3} 이상(미국 사례 반영)을 고려한 구조적 건전성 확보

근거: 미국 NRC BTP (Branch Technical Position) Position 4-d에 의거, 해당 용기가 처분 시설에 묻힐 때 포설 매질에 대하여 수직/수평 하중에 견딜 수 있는 강도를 유지하여야 하며 따라서 콘크리트 매질의 경우 일반 비중(2.3~2.5)에

Table 8. HIC acceptance criteria

Inspection item		WAC
Radiological characteristics	Radioactivity	• Below the limit of disposal concentration by nuclide • If necessary, additional concentration identification is required towards decommissioning wastes besides nuclides in current WAC
	Nuclide identification	• Identify over 95% among total radioactivity quantity in wastes • Hereinbelow nuclides' concentration is required. ^{3}H / ^{14}C / ^{55}Fe / ^{58}Co / ^{60}Co / ^{59}Ni / ^{63}N ^{90}Sr / ^{94}Nb / ^{99}Tc / ^{129}I / ^{137}Cs / ^{144}Ce / Total alpha • If necessary, additional concentration identification is required towards decommissioning wastes besides nuclides in current WAC
	Surface radiation dose	• Below 10 $mSv \cdot hr^{-1}$ • If separate container is used the surface radiation dose of separate container is applied
	Criticality safety	• Concentration of fissile materials shall be sufficiently lower to keep criticality safety
	Surface contamination	• Removable surface contamination value is the average value measured over 300 cm^3 at random surfaces – Beta/gamma and low toxic alpha emitters: under 4 $Bq \cdot cm^{-2}$ – All alpha emitters besides above: under 0.4 $Bq \cdot cm^{-2}$
Physical characteristics	Particle material	• Packing by handling without dispersion
	Filling ratio	• None
	Free water content	• Under 1% of waste volume
	Kilate, etc.	• Chemical name and existing content shall be identified when containing over 0.1% of waste's weight • Solidification when containing over 1% of waste's weight • Waste shall not contain over 8% of kilate, etc.
Chemical characteristics	Ignition materials	• Handling and packing are done to ensure ignition can't be possible
	Toxic materials	• Wastes containing toxic materials shall be removed
	Explosive materials	• None
	Corrosive materials	• Handling and packing are done for wastes containing corrosive materials to remove or reduce
	Gas production	• Integrity of containers or disposal facility performance shall not be degraded
	Combustible materials	• Handling and packing are done for wastes containing combustible materials to remove or reduce
	Living things, pathogen and infections	• Removal (None)

대하여 최소 120 $lbs \cdot ft^{-3}$ (비중 1.922)의 강도를 가지도록 요구하고 있다.

2) ASTM G-21 (Fungal Defacement Test) 및 G-22 (Resistance of Plastics to Bacteria)에 준거한 시험 만족

3) 인수 기준: 10^8 Rad 방사선 조사 시험 수행 미생물 시험 수행 ASTM D-256 (Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics), D-638 (Standard Test Methods for Tensile Properties of Plastics) 및 D-1230 (Standard Test Methods for Flammability of Apparel Textiles) 시험 만족

4) 인수 기준: 자외선 노출 시 재료의 설계 특성 유지 입증

5) 인수 기준: ASTM B-553 (Standard Test Method for thermal cycling of Electroplated Plastics)에 준거한 열적 시험 수행(300년 동안 용기 재료의 탄소량 손실이 10% 미

만 만족)

6) 용기 매립 후 토양 내 유기물질 및 처분 시설 내 수분이 포함되지 않도록 하고 부식이 일어나지 않도록 조치한다.

라. 고건전성용기는 자체용기 및 해당 포장물을 적절히 관리하고 건전성을 저해하지 않도록 아래의 성능과 물리적 특징들을 갖추어야 한다.

1. A형 운반용기의 기술기준 중 물리적 특징과 취급 및 내구성에 관한 기술기준을 충족할 것.
2. 7단 이상으로 안정감 있게 적재할 수 있을 것(예상 최대 중량의 동일 포장물을 6개 이상 지지할 수 있을 것).
3. 내용물과 용기 내부를 검사할 수 있는 뚜껑 및 밀봉 체계를 갖출 것.
4. 용기 또는 내용물의 특성에 따라 내부압력이 증가하여 용기의 건전성에 영향을 미칠 가능성이 있는 경우에는 내장 폐기물의 유출과 지하수 등외 부물질의 유입을 방지하는 피동형 배기구를 갖출 것.
5. 중량, 크기, 형태, 표식 등이 처분 전 관리와 처분 시설 운영 및 폐쇄에 적합할 것.

또한 아래의 조건을 만족하도록 한다.

1) 49CFR 173.398 (b) (Special test for Type A packaging) 충족 및 1010CFR 71.71에 따라 자유낙하 시험 수행
2) 최소 3 g의 수직 가중 하중 시험 수행
3) 용기 꼭대기 표면에 물이 고이지 않도록 설계
4) 기체 vent system 구비, 단, 방사성핵종 배출 금지
5) 화학 및 생물학적 물질의 용기 내부 유입 방지
6) HIC의 압력시험 및 취급 시험은 SCDHEC (사우스 캐롤라이나주 보건환경부 규정: ＞7.5 psig 및 진자 및 낙하 시험)를 만족하고 진동 시험은 DOT SPEC 34 (PE Container에 대한 수송 사고 시험) 및 SCDHEC (수송 사고 시험)을 만족하여야 한다.

마. 성능 입증 방법은 재질별, 기술기준 항목별로 한국산업규격(KS), 전력산업규격(KEPIC) 등 국가표준시험법 또는 이에 준하는 국제표준시험법을 적용하되 재질별, 기술기준 항목별 특성에 따라 이론적 방법, 실험적 방법(실험실 및 현장 시험을 포함한다), 기타 간접적 방법(Natural Analogue 등)을 합리적으로 선별 적용하거나 병용하여 유효성을 높이도록 한다.

HIC 재질의 기준항목은 재질별 특성에 따라 또는 보다 합리적인 입증을 위해 용기 기준 중 관련이 있는 항목과 통합하여 입증되거나 용기 본체에 대하여 입증될 수 있다.

기술기준 시험과 별도로, 취급·폐기물포장·저장·운반 및 처분 등 관리기간 중에 예상되는 각종 작업조건에서 현장 적용성을 확인하기 위하여 고건전성용기의 설계를 위한 용기 시험을 수행하여야 한다.

바. 고건전성용기의 설계·제작·시험·검사·사용준비·폐기물포장·취급·저장·운반·처분 등 모든 단계에 대하여 그 품질을 관리할 수 있는 체계가 용기 개발에 앞서 확립되어야 하고 용기 개발에 반영되어야 하며 각 단계에서 용기 및 포장물의 품질에 영향을 미칠 수 있는 모든 활동, 상호 작용 및 국면들에 적용되어야 한다. 또한 HIC 용기의 설계·제작·시험·검사·사용준비·폐기물포장·취급·저장·운반·처분 등의 제작, 검사 및 품질보증활동은 원자력안전법 64조(폐기 및 운반 허가 기준), 원자력안전법 시행령 113조(운반용기 검사), 원자력안전법 시행규칙 108조(운반용기의 제작 검사) 및 109조(운반용기의 사용 검사) 및 방사선안전관리 등의 기술 기준에 관한 규칙 제 88조(품질보증), 원자력안전위원회 고시 2019-7호, “방사성 물질 등의 포장 및 운반에 관한 규정”, 고시 2020-11호, “중·저준위 방사성폐기물 인도규정”, 고시 2017-67호, “방사성 물질 운반용기 제작 검사 및 사용 검사에 관한 규정 및 기준”에 적합하여야 한다.

결 과

처분 시설에서의 처분 수용성과 처분 안전성을 고려하여 HIC에 적재된 방사성폐기물의 인수에 대한 국내의 인허가 및 인수 조건의 분석에 근거하여 방사성폐기물의 처분과 관련하여 방사성 레진, 농축폐액, 폐필터 등에 유효하게 이용될 수 있는 HIC에 대한 최적의 인수 기준(안)을 제시하였다.

향후 본 연구가 HIC 인수와 관련하여 인수 기준 마련에 도움이 되었으면 한다.

사 사

본 논문은 “원전해체발생 고형화 처리 방폐물의 처분을 위한 인수 기준 적용방안 및 방폐물 인증프로그램(WCP) 요건(안) 개발” 과제(과제번호: 20193210100120)의 지원으로 작성되었습니다.

참 고 문 헌

곽종승, 이종림. 한국전력공사 기술연구원. 1995. 방사성폐기물 처리용 고건전성 용기개발. 방사선폐기물학회지. **92-J03**:10-11.

오원진, 이경호, 박진호, 석태원, 김기홍, 홍용호, 백삼태, 송명재, 최상준, 송종순, 공기찬, 박근일, 김경수, 이현규, 김동연, 이명선, 임덕희, 이종진. 2015. 한국원자력환경공단. 방사성폐기물 실태조사 최종보고서. 한국원자력환경공단. KORAD/TR/2015:82-83.

성낙훈, 최규섭, 이재설, 윤경섭, 송양수, 김해영, 이상헌. 2012. 한국원자력환경공단. 원전 해체폐기물 처분방안 분석 용역 최종보고서. DD-KO-R-100:101-106.

Cheong JH. 2011. Analysis of International Trends in Safe Management of Very Low Level Waste Based upon Graded Approach and Their Implications. Korean Radioactive Waste Society Journal (JNFCWT) **1**:49-62.

Kim BI and Kim CL. 2014. Analysis of Acceptance Criteria of Very Low Level Radioactive Waste for Disposal for Decommissioning Waste. Korean Radioactive Waste Society Journal (JNFCWT) **12**:165-169.

Received: 16 October 2020
Revised: 5 November 2020
Revision accepted: 14 November 2020