

Radwaste characteristics and Disposal Facility Waste Acceptance Criteria

국내 방사성폐기물 특성과 방사성폐기물 처분시설 폐기물인수기준

Suk-Hyun Sung¹⁾, Yi-Yeong Jeong and Ki-Hong Kim*

Korea Htdro & Nuclear Power Co., Ltd, 411 Yongdong-daero, Gangnam-gu, Seoul

* Korea Atomic Energy Research Institute, 150 duckjin-dong, Yusung-gu, Daejeon

성석현¹⁾, 정의영, 김기홍*

한국수력원자력(주) 방폐물기술처, 서울시 강남구 영동대로 411

*한국원자력연구원, 대전시 유성구 덕진동 150

(Received October 28, 2008 / Revised December 04, 2008 / Approved December 16, 2008)

Abstract

The purpose of Radioactive Waste Acceptance Criteria(WAC) is to verify a radioactive waste compliance with radioactive disposal facility requirements in order to maintain a disposal facility's performance objectives and to ensure its safety. To develop WAC which is conformable with domestic disposal site conditions, we furthermore analysed the WAC of foreign disposal sites similar to the Kyung-Ju disposal site and the characteristics of various wastes which are being generated from Korea nuclear facilities. Radioactive WAC was developed in the technical cooperation with the Korea Atomic Energy Research Institute in consideration of characteristics of the wastes which are being generated from various facilities, waste generators' opinions and other conditions. The established criteria was also discussed and verified at an advisory committee which was comprised of some experts from universities, institutes and the industry. So radioactive WAC was developed to accept all wastes which are being generated from various nuclear facilities as much as possible, ensuring the safety of a disposal facility. But this developed waste acceptance criteria is not a criteria to accept all the present wastes generated from various nuclear facilities, so waste generators must seek an alternative treatment method for wastes which were not worth disposing of, and then they must treat the wastes more to be acceptable at a disposal site. The radioactive disposal facility WAC will continuously complement certain criteria related to a disposal concentration limit for individual radionuclide in order to ensure a long-term safety.

Key words : radioactive waste, disposal, waste acceptance criteria, radwaste characteristics, waste form characterization

1) Corresponding Author. E-mail : songsoh@khnp.co.kr

요 약

처분시설 성능을 유지하고 안전성을 확보하기 위해서는 방사성폐기물의 처분 적합성 여부를 확인하기 위한 폐기물 인수기준이 필요하다. 국내 처분장 조건에 맞는 인수기준을 개발하기 위해 경주 처분부지와 유사한 해외 처분장 인수기준과 국내에서 발생하는 방사성폐기물 특성을 분석하여 심층 검토하였다. 방사성폐기물 인수기준은 국내 전문연구기관인 한국원자력연구원과의 기술용역을 통하여 개발되었으며 국내 폐기물 발생기관별 폐기물특성, 발생자의견 등 국내여건을 반영하여 기준이 설정되었다. 또한 설정된 기준은 학계, 연구계, 산업계로 구성된 기술자문 협의체를 통해 협의되고 검증되었다. 폐기물인수기준은 국내에서 발생하는 폐기물을 가능한 수용할 수 있도록 폐기물발생기관의 의견을 수용하고 방사성폐기물 처분시설의 안전성을 확보할 수 있는 수준에서 개발되었다. 그러나 개발된 폐기물인수기준은 현재 각 발생기관에서 발생된 폐기물 전량을 처분할 수 있는 기준이 아니므로 본 폐기물인수기준에 부적합한 폐기물은 각 발생기관에서 별도의 처리방안을 강구하여 처분의뢰될 것으로 예상된다. 앞으로 방사성폐기물 처분시설의 인수기준은 장기 안전성이 보장되도록 핵종별 처분농도 제한치 등 관련기준은 지속적으로 보완해 나갈 계획이다.

중심단어 : 방사성폐기물, 폐기물 처분, 인수기준, 폐기물특성, 특성평가시험

I. 서 론

방사성폐기물은 장기적 안전관리 관점에서 방사성 물질이 분산되지 않도록 처분시스템을 이용하여 종합 관리하게 되는데, 방사성물질의 누출 억제를 위하여 처분시스템을 폐기물포장물(Waste Package), 방사성 폐기물이 직접 적재되는 처분시설(Repository) 그리고 인간 생활권과의 격리를 위한 완충역할의 처분부지(Disposal Site)들을 최적화시켜 유기적 다중방어 역할을 형성시킬 필요가 있다. 이들 구성요소들은 상호 보완적인 관계에 있으며 궁극적으로 처분시설의 성능에 큰 영향을 미치게 된다. 처분부지 조건은 각국의 지형, 지질뿐만 아니라 사회적 영향에 따라 큰 차이가 있으며 부지 조건에서 부족한 부분은 처분시설 설계나 건설시 반영되어 인공적인 방법으로 보완하게 된다. 그러므로 세계적으로 동일한 처분형태나 처분시설 설계는 존재하지 않는다^{1, 2}.

방사성 물질이 들어 있는 폐기물포장물은 방사성 물질이 외부로 누출되는 것을 막는 일차적 방어역할을 담당하지만 포장물에 함유되어 있는 폐기물의 중

류, 폐기물의 물리·화학적 성질, 함유된 핵종 및 방사능량 그리고 고형화된 경우에는 고화매질의 종류에 따라 방사성 고화체의 특성에 많은 차이를 보이게 된다. 따라서 처분시설의 안전성을 확보하기 위해서 처분되는 방사성폐기물이 처분에 적합한 형태로 감용, 처리, 포장하게 되므로 이러한 폐기물의 처분 적합성 여부를 판단하는 기준이 요구된다. 이러한 기준중에서 처분장의 환경 및 규모, 설계기준 또는 목표(Performance Objectives)를 고려하여 처분장에서 설정한 것이 처분장 폐기물 인수기준(Site Specific Waste Acceptance Criteria)이다. 그리고 이 처분장 폐기물인수기준은 교육과학기술부(이하 교과부) 고시 제2008-65호 중·저준위 방사성폐기물 인도규정(General Waste Acceptance Criteria)과 더불어 방사성폐기물 처분시설에 처분되는 모든 폐기물에 적용되는 폐기물관리 기술기준이다.

방사성폐기물 인수기준 개발은 국내 전문연구기관인 한국원자력연구원과의 기술용역을 통하여 개발되었으며 국내 폐기물 발생기관별 폐기물특성, 발생자의견 등 국내여건을 반영하여 기준이 설정되었다. 또

한 설정된 기준은 학계, 연구계, 산업계로 구성된 기술자문 협의체를 통해 협의되고 평가되었다[3].

폐기물인수기준은 크게 처분폐기물의 특성기준과 처분적합성 확인방법으로 구분하여, 폐기물 특성기준에서 폐기물포장물의 일반요건, 고형화 요건, 방사선적 특성, 물리적 특성, 화학적 특성 등을 기술하였으며, 처분적합성 확인방법에서는 폐기물발생기관의 자체검사결과를 확인하는 발생지 예비검사와 폐기물의 운반중 손상유무를 확인하는 처분장 인수검사로 구분하여 기술하였다. 예비검사와 인수검사의 적용방법은 서류검사, 육안검사, 실측검사로 나누어 검사의 효용성을 반영하였다.

II. 국내 중·저준위방사성폐기물의 특성

방사성폐기물은 원자력산업의 급속한 성장과 더불어 원자력발전소(이하 원전)의 운전기간이 늘어나고 신규 원전이 추가로 가동됨에 따라 증가 추세에 있다. 현재 우리나라에서 발생하는 폐기물은 크게 원자력발전소의 운영과정에서 발생하는 원전 운영폐기물, 연구기관과 병원 등의 동위원소(Radioisotope, RI) 이용기관에서 발생하는 RI 폐기물, 한국원자력연구원 실험용 원자로 및 원전연료주식회사의 핵연료성형/가공 공정 등에서 발생하는 핵주기폐기물 등이 있다(Table 1 참조).

가. 폐기물 종류 및 처리현황

① 원자력발전소 폐기물

원자력발전소 운영중에 발생하는 폐기물에는 잡고체, 폐수지, 폐필터 및 농축폐액 등이 있으며, 2007년

말 현재 원전에서 발생된 폐기물 종류별 발생비율은 Fig. 1과 같다[4-6].

잡고체 폐기물은 원전 운영중 가장 많이 발생되고 있는 폐기물로 물리화학적 형태에 따라 분류(14~22 종류)하여 드럼에 넣은 후 압축, 밀봉시키고 있으며, 200 L 일반 잡고체, 200 L 차폐 잡고체, 320 L 일반 잡고체 재포장, 320 L 차폐 잡고체, 그리고 320 L 초고압압축 드럼으로 구분할 수 있다. 대부분의 잡고체는 고형화 처리없이 압축하여 드럼에 저장하고 있다. 200 L 드럼에 일반 압축 처리된 대부분의 잡고체는 다시 초고압 압축처리하여 2 개 내지 3 개의 초고압 압축된 잡고체 드럼이 하나의 재포장 드럼으로 포장되어 있다. 잡고체의 경우 일부 드럼을 제외하고는 방사선준위와 핵종 방사능량이 낮고 처분특성이 좋은 편이다.

액체 방사성폐기물을 증발시킨 후 발생된 부산농축폐액은 시멘트 또는 파라핀으로 고형화처리 되어 있다. 농축폐액 건조설비(Concentrate Waste Drying System)가 도입된 1990년대 중반을 기준으로 고화물질이 달라졌다. CWDS 도입 이전에는 농축폐액이 모두 시멘트 고형화 처리되었으나, CWDS가 도입된 1990년대 중반 이후부터 대부분의 농축폐액은 파라핀 고형화 처리되었다.

농축폐액은 200 L 드럼, 2,000 L 드럼, 320 L 농축폐액 재포장 드럼, 그리고 2,500 L 농축폐액 재포장 드럼으로 구분할 수 있다.

폐수지는 단순 탈수, 시멘트 고형화 및 고건전성용기로 포장하는 등 처리방법이 다양하며, 폐수지 건조처리설비(Spent Resin Drying System, SRDS) 도입을 전후하여 처리방법이 다르다. SRDS 도입 이전에는

Table 1. Storage status at waste generating organizations (2007.12, 200L drum)

Waste Generator		Storage	Other
KHNP	KORI	37,977	
	YONGWANG	18,246	
	ULCHIN	13,506	
	WOLSONG	6,035	
	Sub Total	76,481	NETEC
RI Users		5,240	
KAERI		11,645	
KNFC		6,661	
Sum Total		100,027	

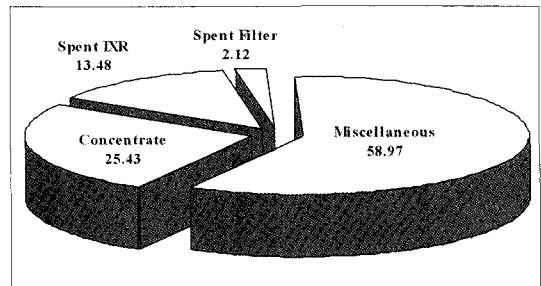


Fig. 1. Waste generation ratio at NPPs

시멘트로 고형화를 하거나 콘크리트로 차폐된 200 L 드럼에 넣어 배수 후 단순 저장하였으나, SRDS 도입 이후에는 건조 처리하여 고건전성용기(High Integrity Container, EA-50 type) 및 폴리에틸렌용기(EL-50 type)에 저장한다. SRDS는 현재 월성 원전을 제외한 전 원전에서 운영되고 있다. 시멘트로 고화된 폐수지는 대부분 200 L 드럼에 포장되어 있으나, 울진1발전소의 경우에는 C1형, C2형 콘크리트 용기에 포장되어 있다. 고리 1호기에서는 부식된 폐수지 200 L 드럼을 원형 콘크리트 용기에 재포장하였다. 월성 원전 볼트(Vault)에 저장중인 폐수지는 추후 추가적인 처리가 필요하다.

액체 방사성폐기물 처리계통에서 발생된 폐필터는 시멘트 고형화 처리되거나 차폐 설계된 드럼에 포장되어 있다. 울진1발전소에서는 폐필터를 C2형과 C4형 콘크리트 용기에 시멘트 고화하였다. 월성 원전에서는 여러 가지 형태의 콘크리트 용기에 저장하고 있으며, 방사능농도가 감쇄된 후에 다시 처리해야 한다.

② 방사성동위원소(RI) 폐기물

연구기관과 병원 등의 동위원소 사용기관에서 발생하는 폐기물로 크게 개봉선원 폐기물과 밀봉선원으로 구분할 수 있다. 개봉선원 폐기물에는 가연성, 비가연성, 비압축성, 유기폐액, 무기폐액 및 폐필터 등으로 분류할 수 있다(Fig. 2 참조). 가연성 폐기물은 주로 의료기관에서 발생하는 시현관, 주사기, 장갑, 튜브류 등이며 종류로는 종이류, 섬유류 및 플라스틱류로 구분된다. 비가연성 폐기물은 유리류와 알루미늄 호일 등이 이에 포함되며 주

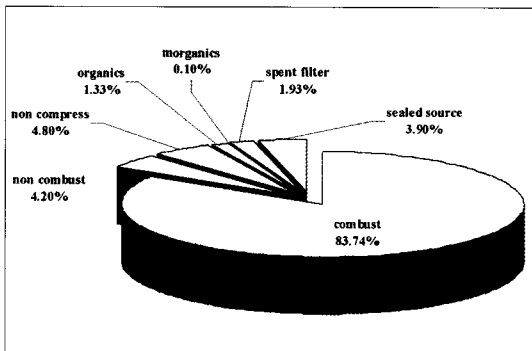


Fig. 2. Generation ratio of RI wastes

로 의료기관에서 발생한다. 비압축성 폐기물은 가연성도 비가연성도 아닌 폐기물을 의미하며, 주로 시계관과 같은 얇은 철재류로서, 군부대나 산업체에서 주로 발생한다. 유기폐액은 주로 의료시설 및 연구기관에서 발생하는 설팅 계측 폐액 및 기타 유기 용매 등으로, 이들의 발생량은 적지만 안전성 측면에서 특별한 관리를 요하는 폐기물이다. 현재 RI 폐기물들은 처리되어 있지 않고 단순 보관되어 있다.

③ 한국원자력연구원 폐기물

한국원자력연구원에서 발생하는 폐기물은 대부분이 실험용 원자로에서 발생하는 폐기물로서 원전 운영폐기물과 거의 유사하게 농축폐액, 폐수지, 폐필터 및 잡고체 등이 있다(Fig. 3 참조). 또한, 실험용 원자로 중 TRIGA-III의 해체가 진행중에 있으며 이에 따라 2003년부터 해체폐기물이 발생되기 시작하였다. 한국원자력연구소 폐기물 중 농축폐액은 아스팔트 고화처리 되어 있고, 잡고체 중 일부가 시멘트 고화처리 되어 있으나, 그 외의 폐기물 들은 처리되어 있지 않고 단순 보관되어 있다.

④ 한전원자력연료(주) 폐기물

핵연료 가공공정 중 발생하는 폐기물로 금속물, 목재류, 석회침전물, 유리류, 잡고체, 콘크리트 및 합성물 등이 있다(Fig. 4 참조). 이중 잡고체, 합성물, 콘크리트, 금속물, 목재류 및 유리류는 분쇄 및/또는 압축 처리되어 있고, 석회침전물은 건조되어 있거나 건조되지 않아 수분이 함유되어 있는 것이 있으며, 기존에 발생된 불화나트륨은 전량 자체처리 후 재활용되었다. 잡고체는 작업복, 신발, 제염휴지 등이며 합

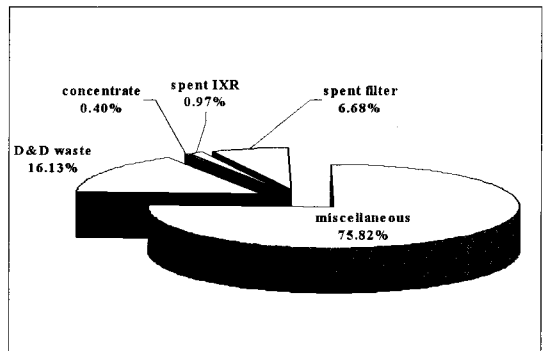


Fig. 3. Generation ratio of KAERI wastes

2. 폐기물 포장물은 쉽게 식별될 수 있도록 외부에 폐기물 포장물의 총 방사능량, 고유번호, 폐기물 발생일자 및 발생장소, 표면선량률 등의 주요 정보를 읽기 쉽고 내구성이 있도록 표시하여야 한다.

3. 폐기물 포장물은 취급, 운반 및 처분설비에 적합하게 표준화되어야 하며, 크레인과 지게차 사용이 용이하도록 제작되어야 하고, 폐기물을 담은 용기는 사전에 처분자의 승인을 받아야 한다.

1) 폐기물 포장물의 단위중량은 콘크리트 포장물의 경우 6톤 이하, 강재드럼 포장물은 1톤 이하이어야 한다.

2) 폐기물 포장물의 단위크기는 최소 0.5 m(L) × 0.5 m(W) × 0.8 m(H), 0.5 m(D) × 0.8 m(H) 이상이어야 하고 최대 1.5 m(L) × 1.5 m(W) × 1.5 m(H), 1.5 m(D) × 1.5m(H) 이하이어야 한다.

나. 폐기물 포장물의 고형화 요건

1. 균질폐기물(농축폐액, 폐수지, 슬러지 등)은 고형화 하여야 하며, 고형화된 폐기물 고화체는 다음의 요건을 만족하여야 한다. 단, 고건전성용기를 사용하는 경우에는 고화체의 시험요건을 적용하지 않는다[3].

1) 폐기물 고화체는 기준치 이상의 압축강도를 가져야 하며, 시멘트등과 같은 경질 고화체의 경우 시편의 압축강도는 3.44 MPa (500 psig) 이상이어야 하고, 연질 고화체의 경우 시편의 수직변형율이 3%일 때 압축강도는 0.41 MPa (60 psig) 이상이어야 한다.

2) 폐기물 고화체는 방사선 열화에 대한 저항성이 있어야 하며, 이온 교환 수지 폐기물 고화체 시편은 1.0 x 10⁶ Gy, 그 이외 고화체 시편은 1.0 x 10⁷ Gy 범위에서 방사선 조사시험을 실시한 후 고형화 요건 가의 1)을 만족하여야 한다.

3) 폐기물 고화체로부터 방사성 핵종 누출은 처분의 안전성을 보장하기 위해 충분히 낮아야 하며, 고화체의 시편에 대한 침출지수는 Cs, Sr, Co 핵종에 대하여 6 이상이어야 한다.

4) 폐기물 고화체는 습기나 물에 접촉되어도 안정된 상태로 남아 있어야 하며, 고화체 시편에 대해 최소 90 일 이상 침수시험을 실시한 후 고형화 요건 가

의 1)을 만족하여야 한다.

5) 폐기물 고화체는 저장 또는 운반 및 처분시 계절변화 및 밤낮의 온도변화에 대한 저항성이 있어야 하며, 고화체 시편에 대한 열순환 시험을 실시한 후 고형화 요건 가의 1)을 만족하여야 한다.

2. 비균질폐기물(폐필터 및 잡오체 등) 중 반감기가 5 년 이상인 핵종의 총 방사능 농도가 74,000 Bq/g (2 μCi/g) 이상인 경우에는 고정화하여야 하며, 폐기물 고화체 시험요건을 적용하지 않는다.

3. 폐기물 고화체의 시편에 대한 시험기준은 Table 2를 적용하며 고화체의 건전성을 확인하기 위한 시험주기는 다음과 같이 한다.

1) 정기적인 유효성 확인은 매 4 년마다

2) 폐기물 처리과정 및 절차 변경으로 폐기물 특성이 변화될 수 있는 경우

3) 압축강도 시험은 매 10 배치 또는 1 년 주기 중 먼저 도래하는 시기

4) 모든 시험용 시편은 실제 폐기물 드럼에서 채취하거나 실 처리과정에서 제작

4. 유동성이 있는 폐기물을 고형화하는 경우, 유동성 폐기물은 균질하게 고형화하여야 한다.

5. 비균질 폐기물을 고정화할 경우, 고정화 재료는 안전성이 입증된 물질을 사용하여야 한다.

다. 폐기물 포장물의 방사선적 특성

1) 핵종함유량

Table 2. Test methods of solidified waste form

Requirement	Test item	Criteria	
		Rigid form ²⁾	Flexible form ³⁾
○ Structural Stability	Compressive strength	KS F2405	KS F2351
	Immersion	NRC 「Technical Position on Waste Form, Rev. 1」	
	Thermal Cycle	ASTM B553	
	Irradiation	NRC 「Technical Position on Waste Form, Rev. 1」	
○ Leaching	Leach	ANS 16.1	
○ Free Standing Liquid ¹⁾	Real size(drum)	ANS 55.1와 유사한 방법 적용	
	Specimens/Misc. waste	EPA Method 9095B (Paint Filter Liquid Test)	

주 1) 고화체 및 비고화체 폐기물에 적용한다.

2) 용력-변형 관계에서 취성을 갖는 물질(시멘트, 열경화성 수지 등)

3) 용력-변형 관계에서 소성변형을 갖는 물질(아스팔트, 열가소성 수지 등)

4) 시편의 직경 : 50 mm ~ 100 mm, 높이/직경 = 2(경질), 1(연질)

폐기물 포장물 내의 방사성 핵종 농도는 Table 3에 명시된 핵종별 처분 농도 제한치를 초과해서는 안된다.

2) 핵종 규명

폐기물 포장물에 포함되어 있는 전체 방사성 핵종의 95% 이상을 규명하여야 하며, ³H, ¹⁴C, ⁵⁵Fe, ⁵⁸Co, ⁶⁰Co, ⁵⁹Ni, ⁶³Ni, ⁹⁰Sr, ⁹⁴Nb, ⁹⁹Tc, ¹²⁹I, ¹³⁷Cs, ¹⁴⁴Ce와 알파방출 방사성 핵종에 대하여는 핵종별로 그 농도가 규명되어야 한다[기].

3) 표면선량률

폐기물 포장물의 최대 표면선량률은 작업자의 방사선피폭 허용수준이 유지되도록 10 mSv/hr를 초과하지 않아야 한다. 단, 별도의 운반용기를 사용할 경우에는 운반용기의 표면선량률을 적용한다.

4) 임계안정

폐기물 포장물 내의 핵분열성 물질의 함유는 임계조건이 일어나지 않도록 제한되어야 한다.

5) 표면오염

폐기물 포장물의 외부표면에 대한 제거성 표면오염도는 임의의 표면 300 cm² 이상에 대하여 측정된 평균값이 베타·감마 방출체 및 저독성 알파 방출체는 4 Bq/cm², 그 외의 모든 알파 방출체는 0.4 Bq/cm²를 초과하지 않아야 한다.

라. 폐기물 포장물의 물리적 특성

1) 구조적 특성

○ 입자성 물질을 포함하는 폐기물은 비분산성이 되도록 처리하여 포장되어야 한다.

- 입자성 물질을 포함하는 폐기물이란 직경 0.01

Table 3. Disposal activity limits of radionuclides

Nuclides	NuclDisposal activity limits(Bq/g)	Other
³ H	1.11 x 10 ⁶	
¹⁴ C	2.22 x 10 ⁵	
⁶⁰ Co	3.70 x 10 ⁷	
⁵⁹ Ni	7.40 x 10 ¹	
⁶³ Ni	1.11 x 10 ⁷	
⁹⁰ Sr	7.40 x 10 ¹	
⁹⁴ Nb	1.11 x 10 ²	
⁹⁹ Tc	1.11 x 10 ³	
¹²⁹ I	3.70 x 10	
¹³⁷ Cs	1.11 x 10 ⁶	
Gross alpha	3.70 x 10 ³	

mm이하의 입자가 폐기물 무게의 1% 이상 구성되어 있거나 직경 0.2 mm이하의 입자가 15% 이상 구성되어 있는 것을 말한다.

○ 고건전성용기를 제외한 모든 포장물은 폐기물 내 빈공간 및 폐기물과 용기사이 공간이 가능한 한 최소가 되어야 하며, 채움률은 용기 내부 부피의 85%(용기 상부 빈공간 15% 이하) 이상이어야 한다.

2) 유리수

폐기물 포장물내 유리수의 양은 처분설비에 영향을 주지 않을 만큼 충분히 적어야 하며, 고건전성용기의 경우는 폐기물 부피의 1%, 그 외의 포장물은 0.5%를 초과하여서는 안된다.

3) 킬레이트제 등

○ 킬레이트제 및 킬레이트 화합물을 함유하는 포장물은 핵종 이동 저감화를 위해 제한하거나 제거하여야 하며, 0.1% 이상 잔존하는 킬레이트제 등은 그 화학명과 존재량을 명시하여야 한다.

○ 킬레이트제 및 킬레이트 화합물이 폐기물 무게의 1% 이상을 함유하는 폐기물은 고형화하여야 하며, 8% 이상 함유하지 않아야 한다.

마. 폐기물 포장물의 화학적 특성

1) 발화성

○ 폐기물 포장물내에 포함된 발화성 물질은 불연성이 되도록 처리되고 포장되어야 한다.

○ 리튬, 칼륨, 나트륨, 황, 황인, 황화인, 적린, 셀룰로이드류, 마그네슘 분말, 알칼리금속, 유기금속화합물, 금속의 수소화물 및 인화물 등은 발화성 물질로 간주한다.

2) 유해성

○ 폐기물 포장물은 운반, 취급 혹은 처분시 독성기체, 증기 또는 인체에 해로운 연기 등을 일으킬 수 있는 물질을 함유하거나 생성되지 않아야 한다.

○ 유해성 물질을 포함하는 폐기물 포장물은 잠재적 위험성을 최대한 줄이기 위해 제거되어야 한다.

○ 유해화학물질관리법에 의해 유해그림이 표시된 물질로서 고독성, 유독성, 유해성 및 자극성 물질은 유해성 물질로 간주한다.

3) 폭발성

○ 폐기물 포장물은 폭발, 고온 및 고압에서 폭발적인 분해 또는 반응, 물과의 접촉시 폭발성 반응이 일어나지 않아야 한다.

○ 질산에스테르류, 니트로 화합물, 니트로소 화합물, 아조 화합물, 디아조 화합물, 하이드라진 및 그 유도체, 유기과산화물 등의 물질은 폭발성 물질로 간주한다.

4) 부식성

○ 폐기물을 포장하는 용기는 부식에 대한 저항력을 가지고 있어야 한다.

○ 부식성 물질을 함유하는 폐기물은 이를 제거하거나 감소시키도록 처리하여 포장하여야 한다.

○ 부식성 산류(농도 20% 이상의 염산, 황산, 질산 또는 농도 60% 이상의 인산, 아세트산, 불산) 및 부식성 염기류(농도 40% 이상의 수산화나트륨, 수산화칼륨) 등의 물질은 부식성 물질로 간주한다.

5) 기체발생

폐기물 포장물내의 기체발생은 포장물 용기 건전성이나 처분시설 성능을 저하시켜서는 안된다.

6) 인화성

○ 폐기물 포장물내 인화성 물질을 포함하는 폐기물은 이를 제거하거나 감소시키도록 처리하여 포장하여야 한다.

○ 에틸에테르, 가솔린, 아세트알데히드, 산화프로필렌, 아황산탄소 및 기타 인화점이 -30°C 미만인 물질 등은 인화성 물질로 간주한다.

7) 생물, 병원균 및 감염 물질은 제거되어야 한다.

바. 발생지 예비검사

1) 예비검사는 발생자가 자체검사를 하여 처분에 적합한 포장물로 판정한 후 처분을 의뢰한 포장물을 처분자가 다음과 같이 검사한다.

○ 검사는 장비의 효율 및 오차를 고려하여 발생자가 사용하고 있는 검사장비를 사용한다.

○ 서류검사 및 육안검사는 전수검사를 하고 이외의 실측검사는 표본검사(항목 10 참조)로 한다.

○ 실측검사는 비파괴검사를 원칙으로 하되 필요시 개봉 및 파괴하여 검사할 수 있다.

○ 검사 후 포장물 별로 합격여부를 표시한다.

○ 발생자는 처분자가 자체검사 결과를 열람할 수 있도록 모든 검사 관련서류를 비치해 놓아야 한다.

○ 검사항목 및 검사방법은 8 항과 같다.

사. 처분장 인수검사

1) 처분장 인수검사는 발생자가 제출한 폐기물 특성자료와 발생자의 자체검사 결과에 대한 확인검사로 다음과 같이 검사한다.

○ 폐기물 포장물의 운반 중 손상 유무 및 용기의 건전성을 육안으로 검사한다.

○ 폐기물 포장물과 제출된 서류가 일치하는지 확인한다.

○ 서류검사, 육안검사, 표면방사선량을 측정, 중량 계량은 전수검사를 하고 이외의 실측검사는 표본검사(항목 10 참조)로 수행한다. 단, 필요한 경우에는 파괴검사를 할 수 있다.

○ 검사항목 및 검사방법은 8 항과 같다.

2) 필요한 경우 폐기물 포장물 처리 이력(재포장 포함)을 확인한다.

아. 예비검사 및 인수검사 적용방법

1) 서류검사

폐기물 포장물 인수의뢰시 제출한 모든 서류와 발생자 자체검사 및 발생지 예비검사 결과를 서류검사를 통해 확인한다.

2) 육안검사

폐기물 포장물의 용기형태, 외관, 건전성 및 표기등을 육안으로 검사한다.

3) 실측검사

○ 핵종농도 측정

- 감마방출 핵종은 드럼 핵종분석기로 측정하고, 알파, 베타 방출핵종은 척도인자(Scaling Factor Method)방법을 이용하여 분석한다.

- 드럼 핵종분석장치의 분석범위를 벗어나는 고선량 포장물과 폐기물 포장물 크기가 규격에 맞지 않아 드럼 핵종분석장치를 사용할 수 없을 경우에는 이동형 핵종분석장치(In-Situ Object Counting System)를 이용할 수 있다.

- 폐기물 내용물
 - 엑스레이 검사로 폐기물 포장물에 대한 내용물 형상을 분석한다(폐기물 종류, 이물질 포함여부 등).
- 채움률
 - 엑스레이 검사 등으로 채움률을 확인한다.
- 유리수
 - 엑스레이 검사 등으로 유리수를 확인한다.
- 고화체의 구조적 건전성
 - 초음파 등으로 압축강도를 확인한다. 필요시 파괴검사를 한다.
- 폭발성 등 유해물질 포함여부
 - 서류검사로 한다. 필요시 샘플링하여 검사 한다.
- 킬레이트제 등 함유량
 - 서류로 검사한다. 필요시 킬레이트제 등이 포함된 물질사용 작업기간을 고려하여 샘플링하여 분석한다.
- 표면방사선량률
 - 방사선측정기로 검사한다.
- 표면오염도
 - 방사능오염측정기로 검사한다.
- 중량
 - 저울로 계량하여 검사한다.

자. 부적합 폐기물 포장물에 대한 조치

- 1) 발생자는 특정기준에 규정하지 않았거나 적합하지 않은 폐기물 포장물을 인도하고자 하는 경우에는 처분자와 사전에 협의하여야 한다.
- 2) 발생지 예비검사 결과 인수기준에 불만족한 폐기물 포장물은 발생자에게 통보하여 처리하도록 한다.
- 3) 발생지에서 처분장으로 운반한 후 인수검사 결과가 불만족한 폐기물 포장물은 발생지로 반송하거나 발생자와 처분자가 협의하여 처리한다.

차. 포본 검사 방법

방사성포장물의 처분 적합성을 판정하기 위하여 발생지 예비검사 및 처분장 인수검사가 수행되는데 이때 포장물에 대한 전수 검사를 계속 적용하여 처분 적합성을 평가는 것은 검사항목 및 검사 소요시간에

따른 단위 시간당 검사드럼수를 고려할 때 포장물 전체에 대한 전수 검사 수행은 매우 비현실적이다. 따라서 발생지 및 처분장에서의 실측검사시 포장물 용기의 다양성, 검사항목, 검사 소요시간 및 처분 부적합성 등을 고려하여 폐기물 처분 적합성 판정에 대한 신뢰성을 확보하기 위한 합리적인 샘플링 방법을 선정할 필요가 있다.

1) 포장물의 샘플링 방법

포장물에 적용 가능한 샘플링 방법을 선정하는데 있어서 검사대상 모집단의 선정방법, 모집단 포장물 용기의 다양성, 검사대상 드럼의 특성, 검사항목에 대한 경중 구분(검사 소요시간 고려, 처분시설 성능에 영향을 주는 정도) 및 불합격 로트 처리 방법 등을 반드시 고려하여야 한다. 포장물에 대한 검사항목 변수들은 연속성의 품질 특성치라고 보기 보다는 특정한계치의 상하 값으로 불량(처분 부적합) 또는 양호한 드럼(처분 적합)으로 명확히 구분되기 때문에 계수형 샘플링 검사방법이 매우 적절하다. 특히 계수조정형 샘플링 검사는 연속적으로 검사되는 로트의 품질수준에 따라 엄격도를 조정할 수 있는 방법으로써, 장기적인 관점에서 합격품질수준(Acceptable Quality Level, AQL)보다 품질이 좋아질 수 있고 방사성포장물에 대한 검사수준과 AQL에 따라 샘플크기를 조절할 수 있는 것이 가장 큰 장점을 갖고 있다.

2) 계수조정형 샘플링 검사 절차

계수조정형 샘플링 검사는 Fig. 6의 절차에 따라 검사대상인 로트의 크기를 결정하고 특별수준 또는 일반수준 중에서 검사수준을 검사대상의 특성에 맞

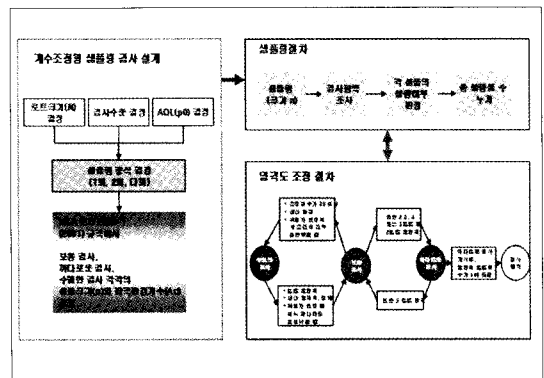


Fig. 6. Sampling procedure for inspection

게 결정한다. 또한 드럼군이 만족스럽다고 생각되는 불량률의 상한 값인 합격품질 수준 AQL 값을 결정한다. 다음으로 샘플링 형식인 샘플링 횟수를 결정하여 1회 샘플링을 수행할 것인지 2회 이상을 수행할 것인지를 결정한다(폐기물 처분에는 1회 샘플링을 수행하여야 함). 샘플링 형식은 앞서 결정된 로트크기, 검사수준, 그리고 AQL 값에서의 샘플링 설계방식을 결정한다. 샘플링 형식이 결정되면 KS A ISO 2859-1(2001)로부터 엄격도 조정수준인 보통검사, 까다로운 검사, 그리고 수월한 검사에 해당되는 설계방식을 결정한다. 즉, 샘플크기(n), 합격판정계수(Ac) 및 불합격판정계수(Re)를 결정한다.

3) 표본검사 샘플링 검사

처분장에서의 방사성폐기물의 연간 인수 수량은 약 13,000 드럼이고 이를 대상으로 전수검사와 샘플링 검사가 모두 수행되어야 하며, 전수검사 및 샘플링 검사의 검사항목, 검사내용, 검사방법에 따라 많은 시간과 경비가 요구된다. 또한 샘플크기와는 무관하게 샘플링 검사에서 불량드럼이 발생한다는 것 자체가 커다란 의미를 갖기 때문에 Table 4에 따라 샘플링 검사하게 된다.

처분 적합성을 평가하는데 있어서 처분장에 인도되는 포장물은 발생기관별, 용기종류별로 1회 반입량을 1개의 검사 로트로 구성하여 일차적으로 전수 검사를 수행한다(1단계). 일차적으로 전수검사를 수행하는 이유로는 대상 로트에 대한 품질 수준을 예상할 수 없어 검사수준을 결정할 수 없기 때문이다. 이 1단계에서 검사대상 로트가 처분적합성으로 판정이 되면 차기 로트부터는 2단계 검사대상이 되며, 이때는 보통검사로 전환되어 AQL을 6.5를 적용한다(2단계). 그러나 1단계에서 처분 부적합 판정을 받는 경우에는 다음 로트에 대하여 다시 전수검사를 수행토록 한다. 2단계에서 검사

로트가 합격판정이 되면 차기 로트에 대하여서는 수월한 검사로, 불합격 판정이 되면 차기 로트에 대하여 까다로운 검사로 전환된다. 이때 연속되는 검사의 전환심사방법(전수검사 - 샘플링 검사)을 적용할 수 있도록 반드시 샘플링 검사 기록대장에 로트별 검사기록을 유지하여 관리한다.

V. 결 론

국내 방사성폐기물 처분시설 폐기물인수기준은 국내에서 발생하는 폐기물을 가능한 수용할 수 있도록 폐기물발생기관의 의견을 반영하고 방사성폐기물 처분시설의 안전성을 확보할 수 있는 수준에서 개발되었다. 그러나 개발된 폐기물인수기준은 현재 각 발생기관에서 발생된 폐기물 전량을 처분할 수 있는 기준이 아니므로 본 폐기물인수기준에 부적합한 폐기물은 각 발생기관에서 별도의 처리방안을 강구하여 처분의뢰될 것으로 예상된다. 앞으로 국내 방사성폐기물 처분시설의 폐기물인수기준은 방사성폐기물 처분시설의 장기 안전성이 보장되도록 핵종별 처분농도 제한치 등 관련기준은 지속적으로 보완해 나갈 계획이다.

참고문헌

- [1] 중·저준위방사성폐기물처분시설 안전성분석보고서, 제8장(기술지침) 제3절(폐기물인수기준)
- [2] 중·저준위 방사성폐기물 천층처분시설 개념설계 종합보고서, 한국전력공사 원자력환경기술원 (2002).
- [3] 중·저준위 방사성폐기물 인수기준 개발 최종보고서, 한국수력원자력 방폐물기술처(2007).
- [4] 처분시설 인도폐기물의 관리기술 개발, 한수원 원자력발전기술원(2008).
- [5] 폐기물 발생량 및 핵종재고량 기술검토보고서, KOPEC(2008).
- [6] 원자력발전소 방사선관리연보, 한국수력원자력 (2007).
- [7] 교육과학기술부고시 제2008-65호 중·저준위 방사성폐기물 인도규정 고시,(2008).

Table 4. Sampling chart for inspection

Acceptable Quality Level (AQL)	Inspection level	Lot size (N)	Inspection type	Sample size (n)	Acceptable Number (Ac)
6.5	Special inspection S-2	9 ~ 90	normal inspection	2	0
			tightened inspection	3	0
			reduced inspection	2	0