

Review of the Acceptance Criteria of Very Low Level Radioactive Waste for the Disposal of Decommissioning Waste

극저준위 해체폐기물 처분을 위한 방사성폐기물 인수기준 분석

Beomin Kim and Chang-Lak Kim*

KEPCO International Nuclear Graduate School, 1456-1 Shinam-ri, Seosaeng-myeon, Ulju-gun, Ulsan, Korea

김범인, 김창락*

한전국제원자력대학원대학교, 울산광역시 울주군 서생면 신암리 1456-1

(Received April 30, 2014 / Revised June 10, 2014 / Approved June 18, 2014)

In order to use the nuclear energy as the sustainable energy source, the safe and efficient management of radioactive wastes generated from the nuclear fuel cycle including NPP decommissioning is one of the most important factors. The establishment of acceptance criteria for very low level radioactive wastes generated from decommissioning of nuclear power plant in a large quantity is seemed to play a key role for developing a radioactive wastes disposal strategy as well as NPP decommissioning strategy. In this thesis, we want to review the acceptance criteria of low-and-intermediate-level radioactive wastes in this country through the analysis of other country's acceptance criteria.

Keywords: Decommissioning wastes, Very low level radioactive waste disposal, Acceptance criteria of VLLW

원자력발전을 지속가능한 에너지원으로 활용하기 위해서는 원전 해체 및 운영 과정에서 발생하는 방사성폐기물의 안전하고 효율적인 처분이 매우 중요하다. 방사성폐기물 종류는 다양하지만 해체과정에서 가장 많이 발생할 것으로 예상되는 극저준위 방사성폐기물 인수기준수립은 원전해체전략수립에 큰 영향을 줄 것으로 보인다. 본 연구에서는 영국과 미국의 극저준위 방사성폐기물처분장 인수기준을 경주에 건설 중인 원자력환경센터의 인수기준과 비교분석을 통해 향후 우리나라 극저준위 방사성폐기물 처분을 위한 폐기물 인수기준을 분석하고자 한다.

중심단어: 해체폐기물, 극저준위방사성폐기물, 극저준위방사성폐기물 인수기준

*Corresponding Author.

Chang-Lak Kim, KEPCO International Nuclear Graduate School, E-mail: clkim@kings.ac.kr, Tel: +82-52-712-7333

1. 서론

우리나라는 현재 총 23기 원전이 가동중에 있으며 2024년까지 11기 원전이 추가 건설되어 총 34원전이 가동 될 것으로 예상된다. 1978년부터 원전 원전을 운영하기 시작한 고리 1호기는 2007년 설계수명이 종료되었으나, 계속운전을 승인 받아 운영 중에 있으며 월성 1호기는 2012년 설계수명이 종료되어 계속운전을 위한 심사 중에 있다(Table 1). 향후 원전 설계수명 종료에 따라 원전해체과정에서 다량의 방사성폐기물이 발생 될 것으로 예상되며 폐기물 중 상당량은 극저준위 방사성폐기물이 발생될 것이다. 일본 원자력규제위원회에서 발간한 해체핸드북에 따르면 1,100 MWe용량의 원전해체시 발생하는 방사성폐기물 중 극저준위방사성폐기물은 68%를 차지 할 것으로 추정하고 있다. 우리나라는 방사성폐기물을 보다 효율적이고 안전하게 관리하기 위해 중·저준위방사성 폐기물 분류기준을(Table 2) 방사성폐기물과 일반폐기물을 정량적 기준(IAEA RS-G-1.7의 규제해제 농도)[1]등을 도입 하여 개정 중에 있다[2]. 중·저준위방사성폐기물 처분을 위해서 경북 경주시에 중·저준위방사성폐기물 처분장을 건설 중에 있으며 Table 3과 같이 동굴처분 방식인 1단계 공사는 2014년 완공될 예정이며 2단계 이후 극저준위폐기물 처분을

Table 2. The Plan for Changing the Categories of Radioactive Wastes

HLW	⇒	HLW
		ILW
LILW		LLW
		VLLW
		EW

Table 3. Status of the Construction of LILW Disposal Facility

Project	Capacity (drums)	Disposal type	Completion
1st Phase	100,000	Underground Silo	2014
2nd Phase	125,000	Near-Surface	2016

위한 전용처분시설 건설을 예정하고 있다[3]. 국내 원전 해체와 방사성폐기물 분류기준의 개정에 따라 극저준위방사성폐기물을 보다 효율적으로 관리하기 위해서는 발생자의 처분 편의성과 폐기물 처분의 안전성을 고려한 합리적인 인수기준 마련이 필요한 시점이다.

Table 1. Time Table for NPP Permanent Shutdown in Korea

Unit	End time of NPP's operation
Wolsong #1	2012.11
Wolsong #2	2026.11
Wolsong #3	2027.12
Wolsong #4	2029.2
Hanul #1	2027.12
Hanul #2	2028.12
Kori #1	2007.6 (in service)
Kori #2	2023.4
Kori #3	2024.9
Kori #4	2025.8
Hanbit #1	2025.12
Hanbit #2	2026.9

2. 본론

2.1 해외 극저준위방사성폐기물 인수기준

해외 극저준위처분장은 발생자로부터 극저준위방사성 폐기물을 인수받아 처분하기 위한 인수기준을 수립하여 적용하고 있으며, 국가별 방사성폐기물 분류기준 및 처분시설 특성에 따라서 인수기준을 다르게 적용하고 있다. 인수기준의 주요내용은 폐기물의 물리화학적 특성, 방사성 특성 및 포장 운반요건 등을 규정하고 있다.

2.1.1 영국 극저준위폐기물 처분장 인수기준[4]

2.1.1.1 물리·화학적 특성

발생자는 가연성 물질을 최소화하기 위해 노력해야 하며 폐기물 인수기준을 만족시키기 위해 비가연성 물질을 첨가하여서는 안 된다. 폐기물에 반응성 금속과 물 또는 공기



Fig. 1. VLLW Disposal Facility of UK [6].



Fig. 2. Soft-side Package for VLLW in UK.

Table 4. The Radioactivity Limit for Disposal in UK

Radionuclide	Specific Activity (MBq/t)	
	Acceptable	Likely to be Accepted
All	< 4	< 200
Tritium	< 40	< 200

와 반응하여 열과 폭발성 가스를 생성할 수 있는 물질 또한 포함해서는 안 된다.

또한 폭발성물질, 부식성물질, 강 산화제, 가압가스용기, 에어로졸, 이온교환기, 생물체, 전염성 및 병원성 물질이 폐기물에 포함되어서는 안되며 폐기물에 연구, 개발 및 교육과정에서 발생하여 인간과 환경에 미치는 영향을 알 수 없는 화학물질을 포함하지 않아야 하며 처분용기 표면은 화학적으로 오염되지 않아야 한다.

2.1.1.2 방사선적 특성

폐기물의 처분을 위한 방사능 핵종농도는 Table 4와 같이 4 MBq/t보다 낮아야 하며 삼중수소의 농도는 40 MBq/t 미만으로 제한하고 있다. 예외적으로 금속성폐기물의 경우 핵종농도는 200 MBq/t보다 낮고 삼중수소의 농도가 200 MBq/t 미만일 경우 처분 할 수도 있다. 폐기물 포장용기 오염준위는 가능한 낮아야 하며 알파선 방출핵종은 0.4 Bq/cm² 이내로 관리되어야 하며 모든 핵종은 300 cm² 범위에서 4 Bq/cm² 이내로 관리되어야 한다. 또한 폐기물 포장용기 방사선 준위는 가능한 낮아야 하며 포장용기의 표면선량은 5 μSv/h 이내로 관리되어야 하며 1 m 거리에서 표면선량은 2.5 μSv/h



Fig. 3. Half-height Disposal Containers.

이내로 관리되어야 한다.

2.1.1.3 포장 및 운반요건

폐기물 처분을 위한 폐기물 포장은 210 리터 용기와 Fig. 2와 같은 소프트(soft-side) 포장을 사용할 수 있으며 운반용기는 1/3높이, 1/2높이(Fig. 3 참조) 및 표준높이 ISO용기를 사용할 수 있다. 또한 규격에 맞게 포장되지 않은 폐기물도 별도의 절차를 통해 반입이 가능하다.

2.1.2 미국 극저준위폐기물 처분장 인수기준[5]

2.1.2.1 물리·화학적 특성

액체 폐기물 및 유동 액체를 포함한 폐기물은 가능한 부식성 제거하며 고형화를 해야 하며 유동 액체는 처분용기 부피의 1wt%를 초과해서는 안 된다. 미세입자폐기물은 폐기물

포장용기에서 10 μm 이하의 입자가 1wt%를 초과하지 않도록 고정화 되거나 200 μm 이하의 입자가 15wt%를 초과하지 않도록 고정화 되어야 한다. 미세입자 폐기물이 임시저장 또는 취급되는 과정에서도 고정화 되어야 한다. 폐기물 중 기체는 20°C에서 1.5기압을 초과하지 않도록 포장되어야 하며, 10CER 49에 정의된 압축성 기체는 반입이 금지되며 폐기물에 비가연성 물질을 첨가하여 차폐 또는 희석을 통해 폐기물 인수기준을 만족시키는 것은 금지된다. 폐기물 인수기준을 만족시키기 위해 비가연성 물질을 첨가해서는 안 된다. 병원균, 전염성 폐기물 및 기타 기병성인자(etiologic agent)들이 포함된 폐기물, 1wt% 이상의 킬레이트나 화합물을 포함하고 있는 폐기물은 고형화 및 고정화가 되지 않을 경우 반입이 금지된다.

2.1.2.2 폐기물 포장기준

일반적인 폐기물의 포장 조건은 10CFR, 20CFR, 49CFR의 요구조건을 충족하여야 하며 대형 폐기물은 일반적인 포장요건과 다르게 포장 및 처분되는 것이 가능하다. 외부가 오염된 Bulk 폐기물의 운반을 위해서는 폐기물이 충분히 고정, 포장 및 격리가 이루어져야 한다. 폐기물의 포장규격은 단위 드럼당 무게는 544 kg을 초과하면 안되고 박스는 4,082 kg을 초과하지 않아야 한다. 이러한 무게제한은 대형 폐기물에는 적용되지 않고 적재는 가능한 조밀하고 효율적으로 포장하여 빈 공간을 최소화하여야 한다.

2.2 국내 중·저준위방사성폐기물 인수기준[7]

2.2.1 물리·화학적 특성

폐기물포장물에 아래와 같은 내용물은 처분특성기준을 충족시키거나 제거되지 않으면 직접처분 할 수 없다.

- 액체 및 기체 폐기물
- 고형화 물질과 화학적으로 반응하는 물질
- 액상의 유기물
- 독성을 띠는 화학물질 및 생물학적 물질
- 습한 환경에 반응하는 물질
- 폭발성 또는 급작스런 발열성을 보이는 물질
- 핵종 누출과 이동을 촉진시키는 물질

또한 농축폐액, 폐수지, 슬러지, 폐필터, 잡고체는 고형화하여야 한다. 입자성 물질을 포함하는 폐기물은 비분산성

이 되도록 처리하여 포장되어야 하며 폐기물내 빈공간 및 폐기물과 용기사이 공간이 가능한 한 최소가 되어야 하며 채움률은 용기 내부 부피의 85wt% 이상이어야 한다. 폐기물 포장물내 유리수의 양은 고건전성용기의 경우는 폐기물 부피의 1wt%, 그 외의 포장물은 0.5wt%를 초과하지 않아야 한다.

폐기물 포장물내 포함된 발화성 물질은 불연성이 되도록 포장하고 운반, 취급 혹은 처분시 독성 기체, 증기 또는 인체에 해로운 연기 등을 일으킬 수 있는 물질을 함유하거나 생성되지 않아야 한다. 포장물은 고온 및 고압에서 폭발적인 분해 또는 반응, 물과의 접촉시 폭발성 반응이 일어나지 않아야 하며 포장용기는 부식에 대한 저항성을 가지고 있어야 한다.

2.2.2 방사선적 특성

폐기물내 방사성핵종 농도는 Table 5를 초과해서는 안 된다. 위의 폐기물에 포함되어 있는 전체 방사성핵종의 95% 이상을 규명하여야 한다. 폐기물 포장물의 최대 표면선량률은 작업자의 방사선피폭 허용수준이 유지되도록 10 mSv/hr를 초과하지 않아야 한다. 포장물의 표면오염도는 임의의 표면 300 cm² 이상에 대하여 측정된 평균값이 베타감마 방출체는 4 Bq/cm², 그 외의 모든 알파 방출체는 0.4 Bq/cm²를 초과하지 않아야 한다.

Table 5. The Radioactivity Limit for LILW Disposal in Korea [7]

Nuclide	concentration(Bq/g)
H-3	1.11E+6
C-14	2.22E+5
Co-60	3.70E+7
Ni-59	7.40E+4
Ni-63	1.11E+7
Sr-90	7.40E+4
Nb-94	1.11E+2
Tc-99	1.11E+3
I-129	3.70E+1
Cs-137	1.11E+6
Total α	3.70E+3

2.2.3 폐기물 운반요건

폐기물 포장물은 취급, 운반 및 처분설비에 적합하게 표준화되어야 하며, 크레인과 지게차 사용이 용이하도록 제작되어야 하고, 폐기물을 담은 용기는 사전에 처분사업자의 승인을 받아야 한다. 폐기물 포장물의 단위중량은 콘크리트 포장물의 경우 10 톤 이하, 강재드럼 포장물은 1 톤 이하 이어야 한다.

저준위방사성폐기물의 경우 소프트(Soft-sided) 포장을 통해 별도의 재포장 없이 처분하여 처분 효율성을 높이고 있었다.

향후 방사성폐기물 신분류기준이 수립되고 극저준위방사성폐기물처분시설이 건설되면 원전해체폐기물 및 운영중 발생하는 대형폐기물등의 특성을 고려한 폐기물 인수기준수립이 필요 할 것으로 판단된다.

3. 해체전략수립에 있어서 시사점

외국의 해체사례를 보면 총 해체비용 중 폐기물처분비용이 40%를 넘게 차지하고 있으며, 현재 국내 중·저준위방사성폐기물 처분비용이 드럼당 1,193만원임을[8] 고려하면 해체폐기물 처분비용도 상당할 것으로 예상된다. 영국과 미국 사례를 통해 극저준위폐기물에 대한 인수기준이 국내의 중저준위폐기물 처분을 위한 인수기준과 차별화 될 수 있음을 알 수 있었다. 이에 따라, 원전해체폐기물 중 발생량이 가장 많은 극저준위해체폐기물의 처분비용을 낮추기 위해서는 경제적인 전용처분시설을 건설하는 것뿐만 아니라 해당처분시설의 폐기물 인수기준을 극저준위 해체폐기물에 특성을 고려하여 기존의 인수기준과 차별화된 인수기준의 수립이 필요 할 것으로 판단된다. 예를 들어, 핵중농도제한치의 경우 해체과정에서 발생하는 폐기물은 운영 중에 발생하는 폐기물과 달리 오염원 규명이 비교적 명확하기 때문에 단순화된 핵중농도제한치의 적용을 고려해 볼 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2013년도 정부 원자력안전위원회 원자력안전연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임(1305009-0113-HD120).

4. 결론

국내 중·저준위방사성폐기물 인수기준은 해외 극저준위폐기물인수기준에 비하여 물리·화학적 인수기준은 유사한 부분이 많았으나 폐기물의 포장 및 운반요건에서는 해외 처분장의 경우 다양한 폐기물 형태 및 중량을 고려하여 폐기물 인수가 가능하도록 기준을 수립하고 있었다.

우리나라의 경우 폐기물을 운반하기 위해서는 콘크리트 용기 또는 강재드럼 포장물로 포장을 하여야 하나 대형폐기물의 경우 이러한 포장이 어려울 가능성이 있다. 미국의 경우 이러한 폐기물은 예외를 두어서 처분사업자와 발생자가 협의를 통해 운반이 가능하도록 하고 있으며 다량의 발생되는 극

REFERENCES

- [1] IAEA RS-G-1.7, Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance (2004).
- [2] NSSC, Draft Notice(2013-33) for the regulation on the self-disposal of radioactive wastes, Korea(2013).
- [3] KORAD, Conceptional design for the disposal facility of VLLW, TR-2013-19, Korea (2013).
- [4] LLW Repository Ltd, Waste Acceptance Criteria – Very Low Level Waste Disposal, WSC-WAC-VER3.0, UK(2012).
- [5] NNSA, Nevada National Security Site Waste Acceptance Criteria, DOE/NV-325-Rev.10, U.S. (2013).
- [6] UK, LLW Repository Ltd(<http://llwrsite.com/>).
- [7] KORAD, Safety Analysis Report of LILW Disposal Facility (2011).
- [8] MOTIE, Notice(2013-63) for the Cost of Radioactive Waste Management.