

한국의 방사성혼합폐기물 관리기준 제안

이병관, 김창락, 이선기*, 김현, 성석현, 박해수, 공창식
한국전력국제원자력대학원대학교 원전해체·방사성폐기물 연구소

A Proposal for the Management Standards of Radioactive Mixed Waste in Korea

Byeong Gwan Lee, Chang Lak Kim, Sun Kee Lee*, Heon Kim, Suk Hyun Sung
Hae Soo Park, Chang Sig Kong

Nuclear D&D and Radwaste Research Center, KEPCO International Nuclear Graduate School

Abstract : Radioactive mixed waste (RMW) means waste mixed with radioactive substances and hazardous substances. In Korea, there are definitions and disposal restrictions on RMW in the Nuclear Safety Management Act, but it is difficult to apply because the contents are insufficient, so this paper proposed applicable management standards. The main RMW generated from nuclear power plants is waste oil, waste asbestos, PCB, and waste fluorescent liquid, and their radiation characteristics are mostly at very low levels and some are estimated at low levels. In addition to nuclear power plants, RMW also occurs in research institutes, industries, and hospitals. The acceptance criteria of all disposal facilities in the world basically prohibit disposal of RMW unless the hazardous substances of RMW are removed or mitigated below the standard value. Cases in Korea, the United States, Japan and Europe were reviewed to propose the RMW management standards in Korea. With reference to the results of the above review, this paper clearly defined RMW and proposed detailed management standards for the separation, storage, treatment and disposal of hazardous substances by applying the Waste Control Act. It also mentioned legislation of management standards, regulatory methods, and acceptance criteria of disposal facility operator.

Key Words : Radioactive Mixed Waste, Hazardous Substances, Acceptance Criteria, Treatment, Disposal.

Received: April 7, 2021 / **Revised:** May 10, 2021 / **Accepted:** June 29, 2021

* 교신저자 : Sun Kee Lee / penda1226@naver.com

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited

1. 서론

방사성혼합폐기물(이하 혼합폐기물)이란 방사성 물질과 위해물질이 섞여있는 폐기물을 말한다. 혼합폐기물은 원자력발전소 운영 및 해체 시는 물론 연구기관, 산업체, 병원 등에서도 발생한다. 혼합폐기물의 위해물질은 주변 환경을 오염시킬 수 있거나 인체에 위해를 줄 수 있는 해로운 물질로서 발생을 최대한 억제하고 안전하게 관리되어야 한다.[1]

한국은 ‘원자력이용시설 해체계획서 등의 작성에 관한 규정’에서 혼합폐기물을 정의하고 ‘중저준위 방사성폐기물 인도규정’과 ‘경주처분시설 인수기준’에 혼합폐기물의 처분 제한조항이 있지만 그 내용이 불충분하여 발생된 혼합폐기물 관리에 적용하기 곤란하다. 현재의 혼합폐기물 관리기준에는 혼합폐기물의 위해물질을 정확하게 판별할 수 있는 대상과 범위가 규정되어 있지 않으며 혼합폐기물의 처리에 관한 구체적 기준 및 방법도 명시되어 있지 않다.

따라서 원전 안전운영과 다가오는 고리1호기 해체를 원활히 수행하고 국민안전과 자연보전에 이바지하기 위해서는 혼합폐기물을 안전하게 관리해야 하며 이를 원활히 수행할 수 있는 관리기준의 마련이 절실하다.[2]

이에 따라 국내외의 혼합폐기물 관리 실태를 살펴본 후 혼합폐기물의 안전한 관리가 합리적으로 달성될 수 있도록 선진 모범사례 수용, 국내 관련법 준용, 활용성, 제도화 등에 역점을 두고 관리기준을 마련하여 제안하고자 한다.

2. 국내외 방사성혼합폐기물 관리실태

2.1 발생현황

2.1.1 혼합폐기물 종류 및 특성

원전 운영 중 및 해체 시 발생이 예상되는 혼합폐기물 종류와 특성은 표 1과 같다. 원전에서 발생하는 주된 혼합폐기물은 폐유, 폐석면, PCB, 폐형광액

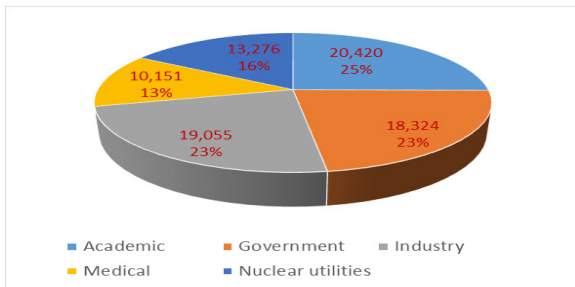
등이며 방사선특성은 대부분 극저준위이고 일부가 저준위로 추정된다.

<Table 1> Kinds and Characteristics of Radioactive Mixed Wastes Generated from Nuclear Power Plants

종류	발생원(재료 유형)
	물리적/화학적 특성/위해특성
폐유	윤활유, 절삭유, 세정유, 용제, 압연유
	액상, 고상, 반유동성/ 인화성, 자연발화
석면	건축 자재(지붕 판판, 천장 및 바닥 타일, 종이 제품, 석면 시멘트 제품, 단열재, 내화재), 마찰제품(자동차 클러치, 브레이크 및 변속기 부품), 내열성 직물, 포장, 개스킷, 코팅, 내화커튼, 석면장갑, 개스킷, 패키징 등
	고체/ 폐암 등 발암
폴리염화비페닐(PCB)	에폭시 페인트, 변압기, 커패시터, 전압조절기, 스위치, 리클로저, 부시 및 전자석, 모터/유압시스템용 오일, 형광등 밸러스트, 케이블 절연, 섬유유리 단열재, 접착제 및 테이프, 유화 도로, 코킹, 바닥 마감 등
	고체, 액체/유기화합물/발암
액체섬광액	액체섬광계수기(LSC) 운영
	액체/유기성 형광물질/환경오염
알루미늄	HVAC 필터 내지
	고체(박지)/ 폭발
오염 제거 화학물질	원자로 헤드 스티드볼트 등 기기 세척(솔벤트, 아세톤, 질산, 불소산)
	액체/유기용제, 산/부식성, 독성
위해성 잔	액체침투탐상검사
	고체/ 용출독성
폐 페인트	관리구역 수선
	고체, 액체/ 인화성
폐 건전지	장비 운영
	고체/ 산화성, 용출독성
폐납	납차폐체(시트/벽돌/납사)
	고체/ 중독
소각재	가연성 폐기물 소각
	분말/ 중금속
기타	전구, 형광등, 온도계, 스위치, 신호경보장치, 실험실 시약 등
	고체/ 중금속

2.1.2 혼합폐기물 발생량

공식자료(NUREG/CR-5938)로 발표된 1990년도 미국의 혼합폐기물 발생량은 그림 1과 같다.[3] 원전 외에도 연구기관, 대학교, 산업체, 의료기관 등에서도 혼합폐기물이 발생하는 것을 알 수 있으며, 원전 발생량은 13,276 ft³ (376 m³)로 전체의 16.3%를 점유하였다.



[Figure 1] Radioactive Mixed Waste Generation in the United States in 1990

상기 NUREG/CR-5938에 따르면 미국의 76개 원전을 대상으로 조사된 1990년도 혼합폐기물 발생량(13,276 ft³)의 주요 특징은 아래와 같다.[1]

- 미국 원전당 평균 발생량은 175 ft³(5 m³)이나 24개 원전은 발생량이 전혀 없고 4개 원전은 1,000 ft³(28 m³) 이상임
- 주요 폐기물은 폐유(35%), 염소화플루오르화 탄소(27%), 기타 유해물질(17%) 순

혼합폐기물은 원전 해체 시에도 발생하는데, 미국 Connecticut Yankee 원전 해체 시 혼합폐기물 발생량은 약 60톤으로 전체 폐기물량의 0.05%를 점유하였다[4].

2.2 국내외 방사성혼합폐기물 관리기준

2.2.1 한국

혼합폐기물에 대한 정의에서 위해물질의 대상과 범위를 명시하지 않았고 처리에 관한 구체적 기준 및 방법이 없는 등 혼합폐기물의 전반적 관리에 미흡하다. 원자력안전법령 등에 명시된 혼합폐기물 관

리 관련 규정 내용을 요약하면 아래와 같다.

- 원자력이용시설 해체계획서 등의 작성에 관한 규정
 - (제3조) ‘혼합폐기물’이란 해체과정 중 발생이 예상되는 방사성물질과 비방사성 위해물질을 함께 포함한 폐기물을 말한다.
- 중·저준위 방사성폐기물 인도규정
 - 제14조(부식) 부식성물질을 포함하는 폐기물은 부식성이 완화되어야 함
 - 제15조(폭발성물질 등) ① 폭발성·인화성·발화성 물질 등은 적합하게 처리하여 위험성 제거 ② 방사분해, 생물학적 및 화학적 반응에 의한 가스, 증기 및 액체로 포장물 건전성이나 처분시설 성능저하 불가
 - 제16조(유해성 물질) 유독성이나 부패성 및 전염성 등의 위험성 제거
- 중·저준위방사성폐기물처분시설 안전성분석보고서[5]
 - 아래 포장물은 처분폐기물 특성기준 충족 또는 내용물 제거(8.3.1.1.가) : 2)고형화 물질과 화학적으로 반응하는 물질 3)포장물, 공학적 방벽 구조물 등을 부식시키는 물질 4)액상의 유기물(솔벤트, 희석제 등) 5)독성을 띠는 화학물질 및 생물학적 물질 6) 습한 환경에 반응하는 물질(나트륨 및 나트륨 혼합물) 7)폭발성 또는 급작스런 발열성 반응을 보이는 물질
 - 폐기물 포장물의 화학적 특성(8.3.1.5)
 - 가. 발화성 : 1)발화성 물질은 불연성이 되도록 처리 및 포장 2)리튬, 칼륨·나트륨, 황, 황인, 황화인·적린, 셀룰로이드류, 마그네슘 분말, 알칼리금속, 유기금속화합물, 금속의 수소화물 및 인화물 등
 - 나. 유해성 : 1)운반, 취급, 처분 시 독성 기체, 증기, 인체에 해로운 연기 등을 유발하는 물질을 함유 또는 생성 불가 2)유해성 물질 포함 폐기물 포장물은 잠재적 위험성 제거 3)고독성, 유독성, 유해성 및

자극성 물질

- 다. 폭발성 : 1)폭발, 고온 및 고압에서 폭발적인 분해 또는 반응, 물과의 접촉 시 폭발성 반응이 일어나지 않아야 함 2)질산에스테르류, 니트로 화합물, 니트로소 화합물, 아조 화합물, 디아조 화합물, 하이드라진 및 그 유도체, 유기과산화물 등
- 라. 부식성 : 2)부식성 물질을 제거, 감소시키도록 처리 및 포장 3)부식성 산류(농도 20% 이상의 염산·황산·질산 또는 농도 60% 이상의 인산·아세트산·불산) 및 부식성 염기류(농도 40% 이상의 수산화나트륨·수산화칼륨)등
- 마. 기체발생 : 용기 건전성이나 처분시설 성능을 저하하는 기체발생 불가
- 바. 인화성 : 1)인화성 물질 제거, 감소하도록 처리 및 포장 2)에틸에테르·가솔린·아세탈데히드·산화프로필렌·아황산탄소 및 기타 인화점이 -30°C 미만인 물질 등
- 사. 생물, 병원균 및 감염 물질은 제거

2.2.2 미국

미국은 1990년대 초부터 명확한 혼합폐기물 관리기준을 수립 사용하고 있는데 개괄적인 관리체계는 그림 2와 같다. EnergySolutions, US Ecology 등의 혼합폐기물 전문업체가 운영되고 있어 혼합폐기물 관리가 원활히 이뤄지고 있는 것으로 보인다.



[Figure 2] Radioactive Mixed Waste Management System in the United States

1) 혼합폐기물 정의

미국 연방 법규(Code of Federal Regulation, CFR)에 규정된 혼합폐기물 정의 및 위해물질에 관련된 주요내용은 아래와 같다.

- (40CFR266.210) 혼합폐기물(Mixed waste)이란 자원 보존 및 복구법(Resource Conservation and Recovery Act, RCRA)의 위해폐기물(Hazardous Waste)과 원자력법(Atomic Energy Act, AEA)의 적용을 받는 선원, 특정 핵물질 또는 부산물을 모두 포함하는 폐기물을 의미
- 위해폐기물은 목록폐기물(Listed Wastes) and/or 특성폐기물(Characteristic wastes)로 식별함
 - 목록폐기물은 일반제조업과 산업공정, 특정 산업에서 발생하는 폐기물로 4개 목록(F, K, P, U) 중 하나에 구체적으로 열거된 폐기물(40CFR261.31~261.33)
 - 특성폐기물은 발화성, 부식성, 반응성 또는 독성 중 하나 이상을 나타내는 폐기물(40CFR261.21~261.24)
- (40CFR761.50(b)(7)) 50 ppm 이상의 PCB를 저장/처분하는 경우에 PCB 농도와 방사성 특성을 모두 고려(즉 혼합폐기물로 관리)
- 석면은 자원 보존 및 복구법(RCRA)의 위해폐기물이 아니어서 방사성폐기물 처리시설이 석면 처리요건을 충족하면 저준위 방사성폐기물로 취급될 수 있음

2) 규제

- 환경보호청(Environmental Protection Agency, EPA) 또는 승인받은 주(State)가 자원 보존 및 복구법(RCRA)의 위해물질을, 원자력규제위원회(Nuclear Regulatory Commission, NRC) 또는 협정 주(State)가 원자력법(AEA)의 방사성물질을 규제[6]
- 환경보호청(EPA) 승인 주(State)의 자원 보존 및 복구법(RCRA) 프로그램은 최소한 환경보

호청(EPA) 요건만큼 엄격한 요건을 설정해야 하며, 어떤 경우에는 보다 엄격한 요건을 수립해야 함[6]

3) 처리

- (40CFR268.40) 위해폐기물 처리표준에 명시된 금지폐기물은 명시된 요건을 충족하는 경우에만 토지 처분할 수 있음. 각 폐기물은 아래 3가지 유형의 처리표준요건 중 하나로 식별됨
 - (1) 폐기물 또는 처리 잔여물의 모든 위해성분은 '총 폐기물 표준'이하여야 함. 또는
 - (2) 폐기물의 추출물 또는 처리 잔여물의 추출물의 위해성분은 '폐기물 추출물 표준'이하여야 함. 또는
 - (3) 폐기물은 '기술표준'로 처리해야 함.
- (40CFR268.42(a)) 위해폐기물 처리표준과 명시된 기술 또는 기술들로 처리해야 함
 - 유리화(HLVIT), 소각(INCIN), 매크로인캡슐레이션(MACRO) 등 30여종 기술
- (40CFR268.42(d)) 방사성혼합폐기물은 40CFR268.40의 처리표준을 따름. 60 mm 초과 위해물질(Debris)은 40CFR268.45의 처리표준을 적용

4) 면제, 저장 및 처분

- (40CFR266.210) 면제폐기물은 40CFR266.225/230/310/315의 조건을 준수하는 폐기물
- (40CFR266.225) 보관 및 처리 조건부 면제
 - 원자력규제위원회(NRC) 또는 협정 주 면허에 따라 생성 및 관리하는 저준위혼합폐기물(LLMW)
- (40CFR266.315) 운반 및 처분 조건부 면제
 - LDR 처리표준을 충족하거나 처리
 - 면제폐기물은 처분 시 용기에 담아야 함
 - 면제폐기물은 지정된 처분장에 매립해야 함
- (40CFR266.320) LLMW은 LDR(토지처분제한) 처리표준을 충족해야 함
- (40CFR 266.335) 면제폐기물은 원자력규제

위원회(NRC) 면허를 받은 LLRWDF(저준위 방사성폐기물 처분장)에 처분해야 함

- (40CFR266.340) 면제폐기물은 아래와 같은 용기에 담아 처분해야 함
 - 탄소강 드럼, 또는
 - 처분환경에서 탄소강 드럼과 동등한 격납 성능을 갖는 대체 컨테이너, 또는
 - 원자력규제위원회(NRC)가 정의한 HIC(고건전성용기)

2.2.3 일본

일본 법령에 혼합폐기물에 대한 정의가 없지만 '건전성을 해칠 우려가 있는 물질이 포함된 방사성폐기물'로 해석된다. 일본의 경우 위해물질의 대상과 범위가 한국보다 좀 더 구체적이지만 처리에 관한 구체적 기준 및 방법이 없어 정상적인 혼합폐기물 관리가 어려울 것으로 판단된다. 일본 법령에 규정된 주요 혼합폐기물 관리기준은 아래와 같다.

- 핵연료물질 또는 핵연료물질로 오염된 제2종 폐기물 매설사업에 관한 규칙
 - 제8조.2.5항 폐기물 매설지역에 정치할 때까지의 사이에 폐기물에 포함 된 물질에 의해 건전성을 해칠 우려가 없는 것일 것
- 폐기물 확인에 관한 운용 요령[7]
 - 별첨 3 균질·균일 고화체의 폐기를 위한 확인 방법 등
 - (10) 건전성을 해칠 우려가 있는 물질 : 1. 폭발성 물질 또는 물과 접촉했을 때 폭발적으로 반응하는 물질 2. 휘발성 물질 3. 자연발화성 물질 4. 폐기물을 현저히 부식시키는 물질 5. 다량의 가스를 발생시키는 물질
 - 건전성을 해칠 우려가 있는 물질은 소방법 및 위험물의 규칙에 관한 정령 준용 : (1) 폭발성 물질; 제5류 (2) 물과 접촉했을 때 폭발적으로 반응하는 물질; 제3류 (3) 휘발성 물질; 제4류 (4) 자연 발화성 물질; 제2류, 제3류 (5) 폐기체를 현저하게 부식시키는 물

질; 제1류(, 제3류, 제6류 (6)다량으로 가스를 발생시키는 물질; 제2류, 제3류

• 소방법 별표1

- 제1류(산화성 고체): 염소산염류 등
- 제2류(가연성 고체): 황화인 등
- 제3류(자연 발화성 물질 또는 금수성 물질); 칼륨, 나트륨 등
- 제4류(인화성 액체): 특수인화물 등
- 제5류(자기 반응성 물질): 유기 과산화물 등
- 제6류(산화성 액체): 과염소산 등

2.2.4 영국, 프랑스

영국, 프랑스 및 기타 국가는 혼합폐기물에 대한 법적 정의가 없고 단지 방사성폐기물 처분장 인수기준에서 혼합폐기물의 처분금지를 규정하고 있다. 또한 처리에 관한 구체적 기준 및 방법이 없는 등 규정 내용이 미흡하다. 영국과 프랑스의 혼합폐기물 관련 인수기준은 아래와 같다.

• Lillyhall Landfill Site(영국) [8]

- 위해폐기물(단, 존재하는 유일한 위해성분이 석면 자체인 경우는 석면폐기물 제외)
- 전체 또는 분쇄된 타이어
- 미지의 화학물질
- 의약품 활성 물질
- 복합제 또는 킬레이트제
- 유독가스를 발생시킬 수 있는 폐기물
- 폭발성, 부식성, 산화성 또는 인화성, 위해를 발생시킬 수 있는 폐기물

☞ 폐기물 수용기준 충족을 위해 다른 폐기물 흐름 또는 일반폐기물과 혼합 불가

• L'Aube 처분장(프랑스) [9]

- 폭발성 물질
- 부식성 물질
- 쉽게 발화하는 가연성 물질
- 전염성 위험 발생 폐기물
- 부식성 폐기물
- 발효물질 질량이 배치의 3% 이상 또는 폐기물포장물의 10% 이상을 포함한 폐기물

- 발화성 금속폐기물
- 잘 부서지는 석면
- 50ppm 이상의 PCB를 포함한 폐기물
- 폐색 가스를 함유한 폐기물
- 영양 물질(Nutritious substances)

2.3 관리실태 분석

앞에서 살펴본 각국의 혼합폐기물 관리현황을 요약하여 비교하면 표 2와 같다.

한국은 혼합폐기물에 대하여 법적 정의 및 처분 금지 등을 일부 규정하고 있으나 위해물질의 범위, 처리방법 등 전반적 관리기준이 없어 발생된 혼합폐기물을 현실적으로 처리, 처분할 수 없고 단지 저장만하고 있다.

미국은 1990년대 초부터 세계에서 유일하게 혼합폐기물의 법적 정의, 저장, 처리, 운반 및 처분 등에 관한 관리기준을 아주 구체적으로 마련하여 운영 중에 있어 세계 각국에 모범이 되고 있다. 일본은 혼합폐기물에 대한 법적 정의가 없으나 한국보다 위해물질 대상을 좀 더 구체적으로 명시하고 있다. 영국, 프랑스 등 기타 국가도 혼합폐기물에 대한 법적 정의와 관리기준이 없고 처분장 인수기준에만 처분 금지대상 혼합폐기물을 명시하고 있다. 국내외 모든 처분시설의 인수기준은 혼합폐기물의 위해성분을 제거하거나 기준치 이내로 완화하지 않으면 원칙적으로 처분을 금지하고 있다. 오늘날 미국을 제외한 모든 나라가 발생된 혼합폐기물을 원활히 관리하지 못하고 있다고 여겨진다.

<Table 2> Comparison Table of Radioactive Mixed Waste Management in each Country

국가	법적정의	관리기준	처분금지 기준	면제기준
한국	△	×	△	×
미국	○	○	○	○
일본	×	×	△	×
기타	×	×	△	×

*범례 : ○(구체적), △(구체성 미흡), ×(없음)

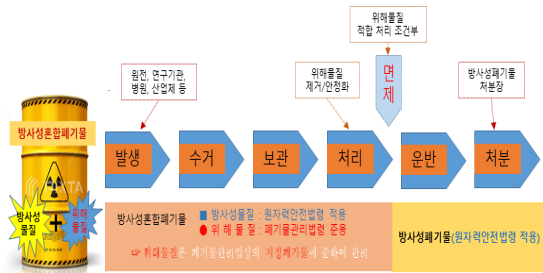
3. 국내 방사성혼합폐기물 관리기준 제안

3.1 기본방향

실효성 있는 혼합폐기물 관리기준 수립을 위한 기본방향을 아래와 같이 설정한다.

- 혼합폐기물 관리의 안전성 확보
- 한국 실정에 맞게 선진 모범사례 수용
- 적용 가능한 국내법 최대한 준용
- 모든 이해관계자의 활용성 충족
- 법령 및 처분시설 인수기준에 명문화

3.2 혼합폐기물 관리기준(안)



[Figure 3] Korea's Radioactive Mixed Waste Management Flow Chart

혼합폐기물 관리기준은 ‘중·저준위 방사성폐기물 인도규정’ 등과 같은 원자력안전법령과 처분장 운영자(한국원자력환경공단)의 ‘처분시설 인수기준’에 적절히 명시하여 제도화한다. 제안하는 한국의 혼합폐기물 관리프로세스를 요약하면 그림 3과 같다. 혼합폐기물 관리기준은 중·저준위 방사성폐기물 인도규정 등 원자력안전법령과 처분사업자의 처분시설 인수

3.2.1 혼합폐기물의 정의

간단한 개념 기술 및 발생원이 국한된 기존 정의로는 혼합폐기물이 명확하게 식별되어 관리되기 어려운 점을 개선하기 위해 새로 제안하는 정의에서는 혼합폐기물의 해당 위해물질을 구체적으로 제시하고 발생원과 시기를 실제 발생상황에 맞게 기술하였

다. ‘방사성혼합폐기물’이란 방사성물질과 위해물질을 함께 포함한 폐기물을 말한다. 방사성혼합폐기물의 위해물질은 ‘폐기물관리법 시행령’의 별표 1. 지정폐기물의 종류와 ‘위험물안전관리법 시행령’의 별표 1. 위험물 및 지정수량에 명시된 폐기물이나 위험물을 말한다. 혼합폐기물의 위해물질을 요약하면 표 3과 같다.

<Table 3> Types of Hazardous Substances in Radioactive Mixed Waste

폐기물관리법 시행령 (별표 1. 지정폐기물의 종류)	위험물안전관리법 시행령 (별표 1. 위험물 및 지정수량)
1. 특정시설 발생 폐기물 : 폐합성고분자화합물, 오니류 2. 부식성 폐기물 : 폐산, 폐알칼리 3. 유해물질 함유 폐기물 : 광재, 분진, 폐주물사 및 샌드블라스트 폐사, 소각재 등 4. 폐유기용제 5. 페인트 및 페레커 6. 폐유[기름성분 5%이상] 7. 폐석면 8. PCB 함유 폐기물 9. 폐유독물질 10. 의료폐기물 11. 수은폐기물 12. 기타 주변 환경을 오염 시킬 수 있는 유해한 물질	제1류(산화성 고체) : 아염소산염류, 염소산 염류, 과염소산염류 등 제2류(가연성 고체) : 황화린, 적린, 유황 등 제3류(자연발화성 물질 및 금속성 물질) : 칼륨, 나트륨, 알킬알 루미늄, 알킬리튬 등 제4류(인화성 액체) : 특수인화물질, 제1석 유류, 알코올류, 제 2/3/4석유류, 동식물 유류 등 제5류(자기반응성물질) : 유기과산화물 등 제6류(산화성 액체) : 과염소산, 질산 등

3.2.2 혼합폐기물 규제

혼합폐기물에 대한 규제, 감독은 원자력안전위원회가 수행하며 필요할 경우 위해물질(폐기물)에 대한 규제, 감독에 대하여는 환경부나 소방청에 자문할 수 있다. 통합 규제의 효용성을 제고하기 위해서는 방사성폐기물 규제관련 요구사항과 위해폐기물 규제관련 요구사항을 기존 관련 법령에 따라 정의 및 도출하고 중복되지 않게 식별하며 인터페이스를 최소화할 수 있는 접근이 필요할 것이다. 서론에서

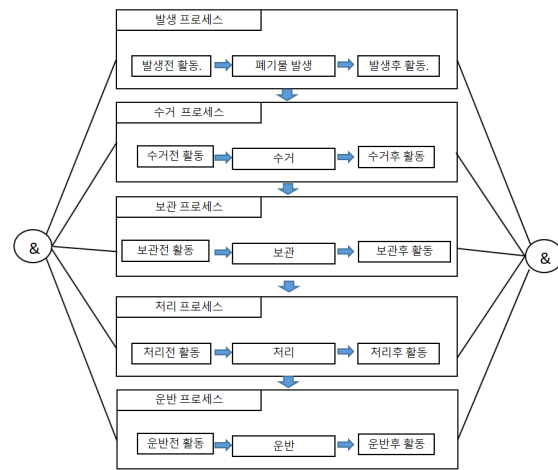
인급한“원전 안전운영과 해체를 원활히 수행하고 국민안전과 자연보전에 이바지한다.”를 방사성혼합폐기물 관리 규제의 임무 요구사항(mission requirement)으로 할 때 3.1항에서 제시한 기본방향을 충족할 수 있도록 세부 요구사항(인수기준 등)을 도출하고 정의하는 후속 작업이 필요할 것이다. 이를 위해 그림 4는 국내 현행법령에서 지정폐기물과 방사성폐기물 각각에 대한 단계별 규제를 준용하되 방사성혼합폐기물을 단계별로 규제관리하기 위한 요구사항 구조화를 위한 기본 틀을 제안한다. 그림 4는 도식적으로 방사성폐기물이 발생 후 처분전 수집, 저장, 처리 및 운반되고, 지정폐기물도 매립전 수집, 보관, 처리 및 운반됨을 설명한다.

방사성혼합폐기물에서 면제되면 일반 방사성폐기물로 간주되고, 면제되지 않으면 일반 방사성폐기물로 관리하지 않는다. 이러한 면제여부에 따라 일부 프로세스의 적용여부가 결정된다. 예를 들어 면제되지 않으면 방사성혼합폐기물은 처분장으로 이송하지 못하고 임시저장과 처리를 통해 면제여부를 다시 판단하게 된다. 그림 5의 프로세스 시나리오를 함께 고려하여 해당 법령과 기술기준 등의 요구사항을 구조화 및 계층화할 수 있는 방사성혼합폐기물 요구사항 분해구조를 제시하였다.[그림 6]

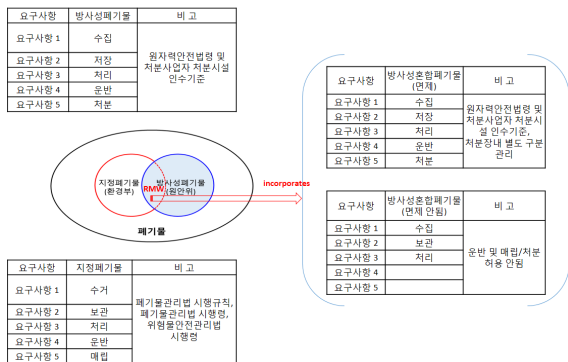
혼합폐기물 관리 시나리오는 그림 5와 같이 폐기물 발생 후 수거, 보관, 처리 및 운반단계 프로세스로 구성한다. 운반은 처분장 인도를 의미하기 때문에 처분을 별도로 포함시키지는 않았다.

(2) 혼합폐기물 관리 요구사항 정의

이 논문에서 소개된 미국 등 선진국의 규제사례 및 표준을 참조하되 국내 법령을 고려하기 위해서는 무엇보다 요구사항 구조화가 선행되는 것이 바람직할 것으로 판단한다.



[Figure 5] Radioactive Waste Management Scenario with processes



[Figure 4] Regulation Requirement Allocation Structure for Korea RMW management

3.2.3 방사성혼합폐기물 관리 체계

(1) 혼합폐기물 관리 시나리오

혼합폐기물은 방사성폐기물과 지정폐기물로서의 특성을 함께 갖고 있기 때문에 규제 면제 여부에 따라 요구사항을 달리 정의하고 도출하는 것이 혼선을 피하고 일관성을 유지하는데 도움이 된다. 이를 위해 이 논문에서는 그림 6과 같이 규제면제 여부에 따른 프로세스 단위로의 요구사항을 분해할 수 있는 기본 분해구조를 제시하였다.[11] 앞서 설명한 국내외 혼합폐기물 관리기준과 관리실태 분석은 이러한 요구사항 정의와 도출을 위한 사례정보와 가이드 라인으로 사용될 수 있다. 이 논문은 요구사항의 구조화를 위한 기본 틀을 제공하려 했기에 이러한 관리기준 및 실태분석 내용을 요구사항 세부 분해로까지 연결하지는 않았다.

(3) 방사성폐기물 처분시설 인수기준

- 위해물질이 처리되지 않은 혼합폐기물은 처분장에 바로 처분할 수 없다.
 - 혼합폐기물에 포함된 위해물질(폐기물)이 폐기물관리법상의 지정폐기물인 경우
 - 혼합폐기물에 포함된 위해물질(폐기물)이 위험물안전관리법상의 위험물인 경우
- 위해물질을 적합하게 처리하는 조건으로 폐기물관리법상의 제반 지정폐기물 규제요건을 면제받은 혼합폐기물(면제 혼합폐기물)의 경우에만 지정된 처분장에 처분할 수 있다.
- 처분사업자는 면제 혼합폐기물 전용처분장(구역)을 지정, 운영한다. 면제 혼합폐기물은 극저준위 또는 저준위폐기물이므로 매립형처분장과 표층처분장의 일정 구역을 지정하여 혼합폐기물 전용처분장으로 운영한다.
- 혼합폐기물의 면제조건은 폐기물관리법상의 지정폐기물 처리에 관한 구체적 기준 및 방법(폐기물관리법 시행규칙 [별표5])으로 적합하게 처리하는 조건이며 처분사업자가 이를 인정할 경우에 면제가 이뤄진다.
- 발생자(또는 처리자)가 처분사업자에게 증빙자료를 첨부하여 면제를 신청하면 처분사업자가 이에 대한 면제 인정여부를 결정한다.
- 지정폐기물이 아닌 PCB(PCB 용출액 1리터당

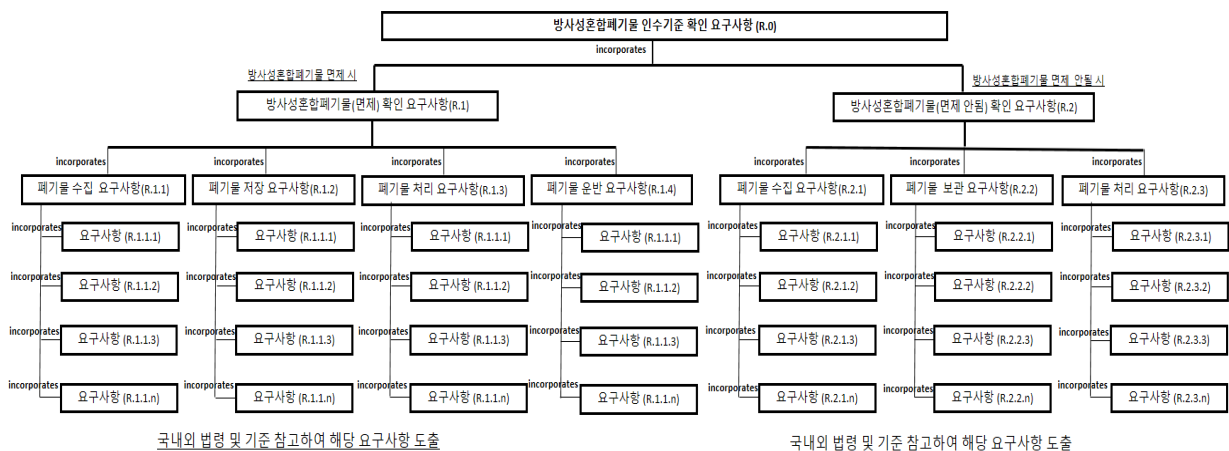
0.003밀리그램 미만)를 포함하는 방사성폐기물은 처분사업자의 사전 승인을 받아 처분할 수 있다. 이 경우 포장은 PCB로 식별되도록 표시하고 폐기물 처분신청서식에 기술한다.

- 방사성 오염 석면폐기물(함량기준 1% 이상)을 포함한 포장은 석면으로 식별되도록 표시하고 폐기물 처분신청서식에 기술한다.

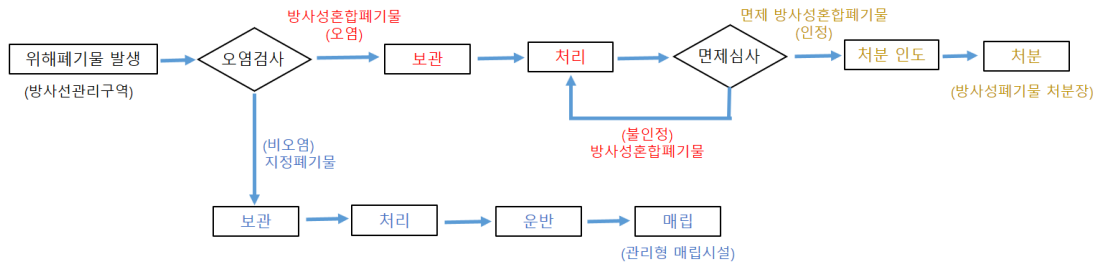
(4) 혼합폐기물 관리 프로세스

방사선관리구역에서 발생한 위해물질은 방사성 여부, 위해물질 제거/안정화 여부, 규제면제 여부 등에 따라 수거, 보관, 처리, 처분 과정을 달리한다. 그림 7은 이러한 혼합폐기물 관리 프로세스를 보여준다. 면제가 안 될 시 방사성혼합폐기물은 방사성폐기물로써의 처리나 운반 프로세스를 고려하지 않는다.

- 방사선관리구역에서 발생하는 폐유, 석면, PCB 등의 위해물질이 포함된 폐기물은 발생현장에서 방사성오염검사를 통해 혼합폐기물인지 아니면 지정폐기물인지를 식별하여 분리, 수거한다.
- 혼합폐기물 중 방사성물질의 저장, 운반, 처리에 관한 구체적 기준 및 방법은 '원자력안전법령'의 방사성폐기물 관련 조항에 따른다.
- 혼합폐기물 중 위해물질의 수집, 운반, 보관, 처리에 관한 구체적 기준 및 방법은 '폐기물관리법령'의 지정폐기물에 준하여 이의 관련 조항에 따른다(표 4).



[Figure 6] Radioactive mixed waste management requirements breakdown



[Figure 7] Radioactive mixed waste management process

- 혼합폐기물의 처리는 방사성폐기물 처분장 인 수기준을 만족할 수 있도록 위해물질을 기준치 이하로 제거 또는 안정화한 후 방사성폐기물에 준하여 고정화 및 용기 포장하는 것이며 혼합 폐기물은 처리를 통해 물리적, 화학적 변화가 발생한다.
- 혼합폐기물 관리에 필요한 시설, 장비, 기술능 력의 기준은 ‘원자력안전법령’의 방사성폐기물 에 준하여 이의 관련 조항과 ‘폐기물관리법령’의 지정폐기물에 준하여 이의 관련 조항에 따른다.

(5) 혼합폐기물 규제 면제 및 처분

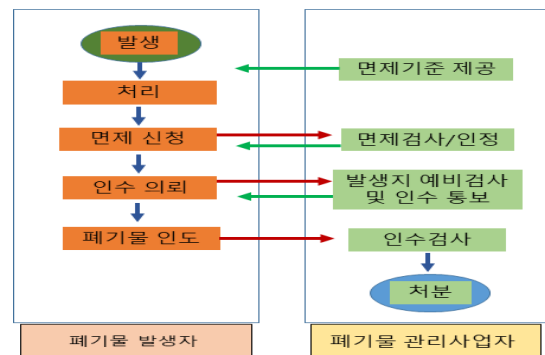
- 혼합폐기물은 위해물질이 처리되기 전에는 방 사성폐기물 처분시설에 처분할 수 없다. 처분전 에 반드시 위해물질을 처리함으로써 이를 기준 치 이하로 제거하거나 안정화시켜야 한다.
- 폐기물관리법상의 지정폐기물에 준하여 위해물 질을 적정하게 처리하는 조건으로 혼합폐기물 은 폐기물관리법상의 제반 지정폐기물 규제요 건을 면제한다(면제 혼합폐기물).
- 면제 혼합폐기물은 지정된 처분시설(구역)에만 처분하여야 하며 기타 사항은 일반 방사성폐기 물에 준하여 취급한다.
- 방사성폐기물 처분사업자는 면제 혼합폐기물 전용처분시설(구역)을 지정하여 운영하여야 하 며 이 시설은 필요할 경우 폐기물관리법상의 지정폐기물 매립시설 관련 설치기준(폐기물관 리법 시행규칙 별표 9)도 충족하도록 한다.

혼합폐기물에 대한 규제 면제 및 처분 절차는 그 립 8과 같다.[10]

4. 결 론

혼합폐기물은 발생해 존재하지만 관리기준이 미 흡해 제대로 관리되지 않고 있다. 한국은 원활한 원 전 운영 및 해체, 국민안전과 자연보전을 위해 혼합 폐기물 관리기준의 마련이 절실하다. 세계에서 모범 적인 혼합폐기물 관리기준을 제정해 운영 중인 미국 의 경우와 한국의 제반여건을 고려해 혼합폐기물 기 준을 수립하였다.

혼합폐기물에 대한 명확한 정의와 상세한 대상 위해물질 종류, 폐기물관리법령을 준용한 위해물질 의 분리, 저장, 처리, 운반, 처분 및 면제에 관한 구 체적인 관리기준, 위해물질이 처리되지 않은 혼합폐 기물은 처분 불가 원칙, 위해물질이 적정하게 처리 된 면제 혼합폐기물은 일반 방사성폐기물에 준하여 취급, 처분시설 중 특정구역을 면제 혼합폐기물 전 용처분구역으로 지정 운영, 원자력안전위원회로 혼 합폐기물 규제 일원화 등에 대한 법제화를 제안하였



[Figure 8] Radioactive Mixed Waste Regulation Exemption and Disposal Activity Diagram for organizations

다. 혼합폐기물의 규제 요구사항을 통합관리하기 위해서는 기존 국내 관련법령을 유기기물 관적으로 통합하며 중복을 배제하고 법령간의 인터페이스를 최소화할 수 있는 체계적 접근이 필요할 것이다. 향후 발생자, 처분자 및 규제기관의 협력으로 훌륭한 혼합폐기물 관리기준이 수립되기를 기대한다.

- 너) 폐오일 필터의 경우
- 더) 수은폐기물의 경우
- 5. 지정폐기물 중 의료폐기물의 기준 및 방법
 - 가. 공통사항
 - 나. 의료폐기물 전용용기 사용의 경우
 - 다. 보관의 경우
 - 라. 수집·운반의 경우
 - 마. 처리의 경우

<Table 4> Specific Standards and Methods for Treatment of Designated Waste

폐기물관리법 시행규칙 (별표 5. 폐기물의 처리에 관한 구체적 기준 및 방법(주요내용 요약))
4. 지정폐기물(의료폐기물은 제외)의 기준 및 방법 <ul style="list-style-type: none"> 가. 수집·운반의 경우 <ul style="list-style-type: none"> 1) 분진·폐농약·폐석면 중 작은 알갱이 상태의 것 2) 액체상태의 지정폐기물을 수집·운반하는 경우 3) 지정폐기물은 밀폐형 차량, 탱크로리 등으로 수집·운반 등 나. 보관의 경우 <ul style="list-style-type: none"> 1) 지정폐기물은 지정폐기물 외의 폐기물과 구분하여 보관 2) 폐유기용제는 휘발되지 아니하도록 밀폐된 용기에 보관 3) 폐석면은 밀봉하여 보관 등 다. 처리의 경우 <ul style="list-style-type: none"> 1) 공통기준 <ul style="list-style-type: none"> 가) 재활용이 가능한 폐기물은 재활용 나) 시멘트로 고형화 하는 경우에는 시멘트의 양이 1세제곱미터당 150킬로그램 이상 2) 지정폐기물의 종류별 처리기준 및 방법 <ul style="list-style-type: none"> 가) 폐산이나 폐알칼리의 경우 나) 폐유 다) 폐유기용제의 경우 라) 폐합성고분자화합물의 경우 마) 폐페인트와 페레커의 경우 바) 폐석면의 경우 사) 광재·폐주물사·폐사·폐내화물· 도자기 조각·폐촉매의 경우 아) 폐흡수제와 폐흡착제의 경우 자) 분진의 경우 차) 소각재의 경우 카) 폐농약의 경우 타) PCB 함유폐기물의 경우 파) 오니의 경우 하) 안정화·고형화·고화처리물의 경우 거) 폐유독물질

사사(Acknowledgment)

이 논문은 2021년도 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원의 지원을 받아 수행된 연구임(20203210100050, 방사성혼합폐기물에 대한 처리기술 개발 및 처분적합성 평가)

References

1. Mixed Low-Level Radioactive Waste (MLLW) Primer(DOE/LLW), p1~12, 1999
2. 고리 원자력발전소 1호기 발전용원자로 및 관계 시설의 해체계획서(한수원), p9-40, 2020
3. National Profile on Commercially Generated Low-Level Radioactive Mixed Waste (NUREG/CR-5938), p D-2, 1992
4. Hyo Jeon Kim, Jae-Yong Lee, Kyung-Min Kim, Yong Soo Kim "A Study on the Review of Concrete Waste Generated by Decommissioning of Nuclear Power Plant", Transactions of the Korean Nuclear Society Virtual Spring Meeting, 2020
5. 중·저준위방사성폐기물처분시설 안전성 분석보고서(SAR), 8.3 폐기물 인수기준, 한국원자력환경공단, 2016
6. Federal Register-Vol. 66, No. 95, "40 CFR Part 266, Storage, Treatment, Transportation, and Disposal of Mixed Wastes", 2001

7. 廃棄物確認に関する運用要領の制定について, 別添3, 原子力規制庁, 2014
8. Waste Acceptance Criteria (WAC)-High Volume Very Low Level Waste (HV-VLLW) Disposal, p5, 2011
9. Waste acceptance process for LLSLW and VLLW at the L'Aube, p100, 2019
10. 금속해체 폐기물의 재활용을 위한 시스템엔지니어링 방법론 적용 및 피폭선량 평가, 서형우, 김창락. 한국방사성 폐기물학회지 (JNFCWT) Vol.15 No.1 pp.45-63, March 2017
11. Hee Seong Park et al., Design of a requirements system for decommissioning of a nuclear power plant based on systems engineering, Transactions of the Korean Nuclear Society Autumn Meeting Gyeongju, Korea, October 29-30, 2015