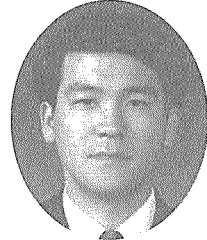


# 방사성액체폐기물 발생 및 처리현황



최 광 섭  
원자력환경기술원  
RI관리팀장

## 1. 서론

“방사성동위원소(RI)폐기물이라 함은 방사성동위원소 또는 그에 의하여 오염된 물질로서 폐기의 대상이 되는 물질을 말한다”고 산업자원부 고시 2002-67호에 정의되어 있다. 원자력의 평화적 이용에 있어 그 부산물인 방사성폐기물은 필연적으로 발생되며 폐기물을 안전하게 저장, 처리 및 처분하는 사업을 한국수력원자력(주)에서 수행하고 있다.

우리나라 RI폐기물 관리는 전기사업법 제 82조 및 동법시행령 제52조의 방사성폐기물 관리사업의 일환으로 추진되고 있다.

방사성동위원소의 이용은 1980년대 이후 이용기관 수가 최근 몇 년간 연평균 약 8% 증가하고 있으며 이로 인하여 RI폐기물의 발생량도 점차 증가되고 있다.

방사성동위원소를 이용하고 있는 기관은 2005년 5월말 기준으로 2,477개 기관으로 RI이용기관별로 분류하면 산업체 1,481개, 의료기관 138개, 연구기관 255개, 교육기관

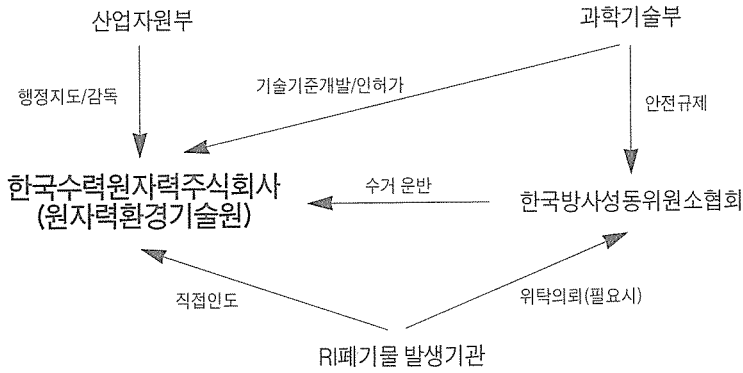
210개, 공공기관 382개 및 기타 11개 기관으로 분류된다.

## 2. RI폐기물 관리체계 및 저장현황

한국수력원자력(주)에서는 정부의 방사성 폐기물사업 이관 방침에 따라 한국원자력연구소에서 추진하던 방사성폐기물 관리사업 및 RI폐기물의 인수 및 관리 업무와 저장관리 시설의 운영권을 1997년 1월부터 이관 받았으며 원자력환경기술원에서 RI폐기물의 인수 및 관리(저장·처리 등)업무를 담당토록하고 있다.

RI폐기물 관리사업자의 관리감독권은 산업자원부에서 주관하고 있으며, 과학기술부에서는 한국원자력안전기술원으로 하여금 RI폐기물 관리시설의 인허가, 심사 및 검사 등의 안전규제 및 정기검사 업무를 수행하도록 위탁하고 있다.

RI폐기물의 분류 및 포장은 「방사성동위원소 등의 폐기물 인수에 관한 지침서」에 따라 수행하며, RI폐기물을 폐기의뢰 할 때에는



〈그림 1〉 RI폐기물 관리체계

발생자가 직접 폐기물을 인도하거나 또는 위탁대행기관(한국방사성동위원소협회 또는 업무대행자)에 의뢰하여 원자력환경기술원에 인도하고 있다. RI폐기물 관리체계는 〈그림 1〉과 같다.

산업자원부 고시 제2002-67호 「방사성폐기물의 인도 및 비용에 관한 규정」(2002. 6. 28 개정)을 제정하여 RI폐기물 발생자가 RI폐기물 관리사업자에게 폐기물을 인도하는데 필요한 제반 사항(동위원소 등의 폐기물의 분류, 포장 및 인도, 인도에 관한 안전조치, 관리비용 및 처리비용 등)과 표준용기 규격 및 RI폐기물 인도관련 각종 서식 등을 제시하고 있다.

방사성액체폐기물에 대한 관리비용을 외국과 비교해 볼 때, 우리나라의 경우 고밀도 플라스틱 용기(25ℓ)에 운반중 흘러 넘치는 것을 방지하기 위해 20ℓ 만 방사성액체폐기물을 넣어 인수받고 있으며, 2005년 기준으로 관리비용 99,720원(부가세 별도)을 징수하고 있다(표 1). 프랑스의 경우 방사성액체폐기물(유기/무기)에 대한 관리비용을 25ℓ 전용용기 1개당 1,012,200원(2004년 기준)

을 징수하고 있으며, 일본의 경우 방사성액체폐기물(무기액체)에 대한 관리비용은 25ℓ 스테인레스 전용용기 1개당 1,350,000원(소비세 약 3% 별도)을 징수하며 아래와 같이 핵종별로 방사능 제한치를 두고 있다.

- H-3, C-14, I-125, I-136 ≤ 2kBq/ml
- 기타핵종(α핵종 제외) ≤ 20kBq/ml

RI폐기물 인수기준 등에 대하여는 RI폐기물의 폐기위탁규약(2003. 4. 1. 제정)을 준수하고 집하 시에는 용기당 총 방사능농도 및 용기표면 1cm에서 선량당량율은 아래의 제한치를 초과하지 않도록 하고 있다.

- 1) 전핵종의 총 방사능농도는 2 kBq/ml
  - 2) 용기표면의 1cm 선량당량율은 5 uSv/hr
- 외국의 관리비용과 비교한 내용을 요약하면 아래와 같다.

〈외국의 방사성액체폐기물 관리비용 비교〉

구분	관리비용	비고
프랑스	1,012,200원(25ℓ 기준)	2004년 기준
일본	1,350,000원(25ℓ 기준) 소비세 약 3% 별도	2004년 기준
한국	99,720원(20ℓ 기준) 부가세 별도	2005년 기준

〈표 1〉 RI폐기물 관리비용

(단위 : 원/200ℓ 드럼)

구 분		2004년	2005년	2006년 이후
개봉 선원 폐기물	냉동된 동물 사체류	3,410,362	3,618,394	전년도관리비용× (1+전년도 물가상승률)
	기타 개봉선원 폐기물 (건조·포장된 동물사체포함)	939,874	997,206	전년도관리비용× (1+전년도 물가상승률)
밀봉선원폐기물		8,919,400	9,463,529	전년도관리비용× (1+전년도 물가상승률)

(VAT 별도)

- \* 물가상승률 : 한국은행이 고시하는 생산자물가지수
- \* 폐기물 인수기준에 부적합할 경우에는 처리비용을 추가로 부담

외국의 RI폐기물 관리비용과 비교할 때, RI폐기물 저장고 운영, 처리 및 처분을 고려하여 국내 방사성폐기물 관리비용의 현실화가 필요할 것으로 사료된다.

한수원(주)에서는 RI폐기물의 인수관리를 효율적으로 하기위하여 「방사성동위원소 등

의 폐기물 인수에 관한 지침서」(2002. 8. 2 개정)를 발행하여 RI폐기물의 분류·수집 및 포장방법에 대한 지침 등 RI폐기물 인도·인수에 필요한 세부기준 및 절차를 정하여 산업자원부 고시를 효율적으로 운영하고 있다〈표 2〉.

〈표 2〉 동위원소폐기물의 분류기준

구 분	종 류	표준용기
가연성 종이류	•종이류 : 휴지, 종이컵 등 •섬유류 : 거즈, 솜, 흡수지, 시험지 등 나무류	100 ℓ 철제드럼
가연성 플라스틱류	•플라스틱류 : 주사기, Vial, Bead, Tube, Tray, Tip, Cup, Hose 등 •고무류 : 장갑	"
비가연성 압축성	•유리류 : Vial, Tube, Beaker, 시약병 •압축성 금속류	"
비가연성 비압축성	•금속류 : 주사바늘, Tc-Generator, Planchet •콘크리트류 : 콘크리트, 흙 등	50 ℓ 철제드럼
폐 필터	•HEPA 필터, Prefilter	종이상자
유기폐액	•유기용매류 : 용매함유폐액(액체섬광계수폐액 포함)	외용기:50 ℓ 철제드럼 내용기:25 ℓ
무기폐액	•Vial 병내 잔액의 세정액 등	"
동물사체	•동물사체, 배설물 등	외용기:50 ℓ 철제드럼
밀봉선원 폐기물	•밀봉선원류, 선원내장기기 등	사업자와 협의

원자력환경기술원에서는 RI이용기관으로부터 RI폐기물을 매년 약 300드럼(200리터 드럼기준) 인수하여 저장 및 처리하고 있으며, 1990년에 처음으로 RI폐기물을 시험 수

거한 이후 현재까지 저장중인 RI폐기물에 대하여 감용처리(소각, 압축, 폐액증발처리 등)하고 있다. 2005년 5월말 현재 RI폐기물 관리시설에 저장중인 RI폐기물의 저장현황은

〈표 3〉 RI폐기물 저장현황

(2005년 5월말 기준)

구 분		현 저장량	200 ℓ 드럼 환산시	허가용량 (200 ℓ 드럼)	백분율(%)
개봉선원 폐기물	가연성(100 ℓ)	8,692	4,346	8,800	
	비가연성(100 ℓ)	431	216		
	비압축성(50 ℓ)	921	230		
	폐 필터(개)	171	100		
	동물사체(50 ℓ)	-	-	117	
	유기폐액(20 ℓ)	694	69		
	무기폐액(20 ℓ)	53	5		
	소 계			4,966	
밀봉선원폐기물		196드럼/200 ℓ (31,192개/1,849상자)		360	54
총 계			5,162	9,277	56

〈표 4〉 연도별 방사성액체폐기물 인수 및 저장현황

(단위: 20ℓ 통)

연 도	구 분	유기폐액 (20 ℓ)	무기폐액 (20 ℓ)	감 용 처 리		현 저장량 (20 ℓ)
				소각	증발처리	
1992		0	0	0	0	
1993		25	0	0	0	
1994		0	0	0	0	
1995		98	0	0	0	
1996		66	0	0	0	
1997		130	0	0	0	
1998		209	10	0	0	
1999		308	9	0	0	
2000		146	21	0	0	
2001		0	0	0	0	
2002		1	1	0	0	
2003		0	9	70	151	
2004		0	3	68	0	
합계		983	53	138	151	747

〈표 3〉과 같다. 산자부 고시에 따르면 RI이 용기관에서 원자력환경기술원에 방사성액체 폐기물 인도시 핵종분석결과서를 첨부하도록 명시되어 있으며 향후 처리방법을 고려할 때 수분분석 자료가 필요하다.

한국원자력안전기술원 자료에 따르면 과학기술부 고시 제01-30호 『방사성폐기물 자체처분에 관한 규정』(2001.11.28 개정)에 따라 1998년부터 자체처분을 시행하고 있다. 방사성액체 폐기물의 경우 최근 3년간(2002~2003년) 3,710,459ℓ 를 자체처분 하였으며 년 평균 1,236,820ℓ 를 자체처분 하고 있다. 〈표 4〉 연도별 방사성액체폐기물 인수 및 저장현황에서 알 수 있듯이 예년에 비하여 방사성액체폐기물의 인수량이 점차 줄어들고 있는데 이는 과학기술부 고시에 따라 RI폐기물 발생기관에서 자체 처분량이 늘어나고 있기 때문인 것으로 사료된다.

### 3. 방사성액체폐기물 발생원 및 종류

방사성액체폐기물은 저준위 방사능을 갖는 유기폐액으로 주로 핵연료주기시설과 연구기관, 방사성동위원소를 이용하는 의료·연구기관에서 발생되고 있다. 방사성액체폐

기물의 발생과 종류는 원자력발전소의 운전·유지보수 기간 동안 누출되는 폐유, 사용후연료 재처리 시설에서 발생하는 용매 및 희석재, 제염·해체 작업시 발생하는 드라이클리닝 용매, 방사성동위원소를 이용하는 의료·연구기관에서 발생하는 액체섬광계수폐액 및 기타용매로 분류된다.

방사성액체폐기물의 발생량은 적지만 안전취급, 처리 및 처분을 위해 특별한 관리가 필요하며 다른 RI폐기물보다 인체 및 환경에 미치는 영향이 크므로 안전성 측면에서 주의가 필요하다. 원자력환경기술원에서 인수받고 있는 방사성액체폐기물은 주로 액체섬광계수폐액이 대부분이며 이들은 액체섬광계수기(LSC ; Liquid Scintillation Counter)를 이용하여 저에너지 베타 방사선을 방출하는 핵종의 검출 및 농도 측정 실험결과 부산물로 방사성액체폐기물이 발생되며 특히 섬광계수폐액은 실험실 등에서 발생하는 휘발성이 강한 유독성 물질이다. 또한 방사성동위원소를 이용하여 연구용으로 사용하거나 환자의 진단 및 치료시 방사성동위원소에 의해 오염된 폐액으로 핵의학검사실 검사 및 생물학적 검사 후 발생하는 I-125 및 Cr-51 등 의료용 방사성액체폐기물과 연구실에서 연

〈표 4-1〉 방사성액체폐기물의 핵종 특성

핵종	반감기	에너지(MeV)		감마지수 (R · m <sup>2</sup> /h · Ci)
		$\beta$	$\alpha$	
H-3	12.3년	0.018 ~ 100%		
C-14	5,730년	0.156 ~ 100%		
P-32	14.28일	1.71 ~ 100%		
S-35	87.8일	0.10 ~ 100%		
Cr-51	27.8일	Electric Capture	0.32 ~ 9%	0.018
I-125	60.2일	Electric Capture	0.035 7%	0.025

구목적으로 이용 후 발생하는 H-3, C-14, P-32 및 S-35 등 연구용 방사성액체폐기물이 있다.

원자력환경기술원에 보관중인 방사성액체폐기물의 주요핵종은 H-3, C-14, P-32, S-35, Cr-51 및 I-125 등이다. 이들 대부분은 베타선을 방출하는 핵종들로 C-14와 같이 반감기가 긴 핵종과 Cr-51과 같이 아주 짧은 핵종들로 구성되어 있으며, 이들 방사성액체폐기물의 핵종 특성은 다음과 같다.

#### 4. 방사성액체폐기물 처리

원자력환경기술원 RI폐기물 관리시설에 저장관리 중인 방사성액체폐기물중 핵종분석이 가능한 핵종(H-3, C-14)에 대하여 액체섬광계수기를 사용하여 전량 핵종분석을 실시하였으며, 향후 적절한 처리방법을 적용하기 위해 전량 수분분석을 하였다. 수분분석 결과 수분이 15% 이내인 유기폐액에 대하여 기술원 보유 유기폐액 전용소각로를 활용

〈표 5〉 방사성액체폐기물 처리 적용가능 기술 분석

적용기술	방사성물질 종류							
	고무/플라스틱	셀룰로오스	이온교환수지	생 물질	혼합고체	윤활유	유기용매	기타 액체
비파괴 기술								
건조 및 증발	N	Y	Y	Y	Y		Y	Y
증류	N	N	N	N	N		Y	
물리적 처리			N	N	Y	N	N	N
제염	Y	Y	N	N	Y	Y	Y	
흡수	N	N	N	N	N	Y	Y	Y
압축	Y	Y	Y		Y	N	N	N
직접 고정화	Y	Y	Y		Y	N	N	N
파괴기술								
소각	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
열분해/수증기 개질법	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
알칼리가수분해	N	N	N	N	N		Y	
유리화	Y	Y	Y	Y	Y			
플라스마 처리	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y
용융염 산화	Y	Y	Y	N	Y		Y	
전기화학적 처리	N	N	N	N	N		Y	Y
직접 화학 산화							Y	
산분해	Y	Y		Y	Y		Y	
습식산화			Y			Y	Y	Y
고도 산화	N	N	N	N	N			Y
초임계수 산화	Y	Y	Y		Y		Y	
생물학적 처리		Y	Y	Y				
열화학 처리						N	N	N
마이크로웨이브			Y	Y				Y

주) Y : 적용가능; N : 적용불가능; Blank : 미확정

하여 2003년부터 2004년까지 약 140통(20리터)을 소각처리 하였다. 또한 수분분석결과 수분이 100%인 무기폐액으로 판정된 폐액은 2003년 3월 한국원자력연구소에 위탁하여 151통(20리터)을 폐액증발처리 하였다.

따라서 2005년 5월말 기준으로 저장허가용량 117드림(20리터 기준)의 약 63%인 74드림을 저장관리하고 있다. 현재 RI폐기물 관리시설 개선공사(홍보관 증축 등)가 진행중에 있으며 개선공사 범위에 방사성액체폐기물 저장고를 약 21평 증설할 계획이다. 2005년말까지 개선공사를 완료할 계획이며, 과학기술부의 운영변경허가 승인 후 저장용량을 확장할 계획이다.

현재 RI폐기물 관리시설에 저장중인 방사성액체폐기물중 여러 핵종이 혼합되어 있는 폐액의 특성은 다음과 같다.

- 톨루엔, 자이렌, 벤젠, LSC 각테일, 알콜 등이 단일 또는 혼합 상태
- 점성물질 및 혼탁폐액으로 형성되어 젤리상의 슬러지 형태로 존재
- 대부분이 수용성이며 슬러지, 콜로이드 입자 또는 에멀전 포함
- 폐액내 다량의 입자성 콜로이드 물질의 응집 및 슬러지화로 일반적인 처리방법으로 처리곤란

방사성액체폐기물의 특성상 기계적 분리나 증발농축방법은 적절하지 않으며, 처리를 위해 적용 가능한 기술은 비파괴 기술과 파괴 기술로 구분할 수 있다<표 5>.

비파괴기술(Non-Destructive Technique)은 건조 및 증발, 흡수, 압축 또는 고정화 등과 같이 유기물 구성성분의 파괴 없이 물리적 변

화 만을 포함하는 기술이며, 파괴기술(Destructive Technique)은 소각, 열분해, 산화 등 폐액내 유기물 특성 화학적으로 변화시키거나 파괴하는 현상을 동반하는 기술이다. 여러 개의 핵종이 혼합되어 있는 방사성액체폐기물과 수분함유량이 15% 이상인 방사성액체폐기물에 대하여 별도의 처리방법을 고려하고 있다.

### 5. 외국의 방사성액체폐기물 처리현황

#### 가. 일본

일본은 동위원소협회에서 방사성액체폐기물의 경우 슬러리와 같이 처리가 곤란한 방사성액체폐기물은 수거하지 않고 RI폐기물 발생기관에서 자체적으로 유기폐액 전용 소각로를 설치하여 소각처리 하도록 하고 있다. 그러나 2004년 10월부터 동위원소협회에서는 액체 신틸레이터 폐액으로 한정하여 유기폐액의 집하를 개시하고 있다.

#### 나. 미국

미국은 방사성액체폐기물중 대부분의 섬광계수폐액은 소각처리하고 있으며 연구기관에서 발생하는 H-3 및 C-14의 경우 0.05  $\mu\text{Ci/g}$  이하이면 NRC 규제면제 대상폐기물로 분류하고 있다. 또한 섬광계수폐액은 인화성 용매와 가연성 용매로 분류하고 발생되는 방사성 잔류물은 소각하기 전에 여과, 이온교환 및 방사성폐기물로 처분에 필요한 다른 방법으로 분리하고 있다.

### 6. 맺는말

과학기술의 발전에 따라 방사성동위원소

의 이용이 산업 전반에 걸쳐 널리 이용되고 인류 복지 증진에 크게 기여하고 있다. 그러나 이로 인하여 발생하는 부산물인 RI폐기물을 안전하게 처리하여야 할 의무도 있다. 한국수력원자력(주)에서는 RI폐기물을 안전하게 저장·처리 및 처분할 수 있도록 지침을 마련하고 관련 기술을 개발하는 등 RI폐기물 안전관리에 최선을 다하고 있다.

한수원(주) 원자력환경기술원에서는 국내 유일할 RI폐기물 관리시설을 안전하게 운영하기 위하여 지속적으로 설비개선을 추진하고 있으며 저장관리의 효율성을 위한 노력도 계속하고 있다. 최근 방사성동위원소의 이용 분야 증가로 방사성동위원소폐기물의 발생량도 증가할 것으로 예상되는 바, RI폐기물

관련 기술개발을 위해 RI폐기물 발생자와 유관기관들의 긴밀한 협조가 필요할 것으로 사료된다.

향후 방사성액체폐기물의 처리방법을 고려할 때 RI폐기물 발생기관에서 방사성동위원소 취급시 사용자가 방사성액체폐기물 수집과정에서 핵종별로 구분하여 별도의 용기에 수집하여야 한다. 또한 실험 후 제염과정에서 제염액은 별도의 용기에 수집하여 방사성액체폐기물과 수분이 혼합되지 않도록 철저한 관리가 요구된다. 방사성폐기물에 대한 국가정책에 제시된 바와 같이 RI 이용에 수반되는 방사성폐기물의 발생량을 최소화할 수 있도록 관련분야 모든 사람들이 노력하여야 할 것이다. **KRIA**