

연구원 방사성폐기물 중장기 관리방안 수립 연구

Study on development of mid & long term management
strategy for low and intermediate radioactive waste of
KAERI

KAERI



한국원자력연구원
Korea Atomic Energy Research Institute

제 출 문

한국원자력연구원장 귀하

본 보고서를 2014년도 “연구원 방사성폐기물 중장기 관리방안 수립 연구”
과제의 최종보고서로 제출합니다.

2014. 5.

과 제 명 : 연구원 방사성폐기물 중장기 관리방안 수립 연구

과제책임자 : 선임연구원 홍 대 석

참 여 자 : 강 일 식
김 계 남
김 민 진
김 태 국
손 종 식
송 규 석
안 홍 주
이 윤 중
장 원 혁
정 경 환
주 용 선
황 두 성

요 약 문

I. 제 목

연구원 방사성폐기물 중장기 관리방안 수립 연구

II. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발 목적

- 연구원 중·저준위 방사성폐기물의 실질적인 중·장기 관리방안 도출
- 연구원 폐기물의 효율적인 영구처분 방안 도출

2. 연구개발 필요성

- 연구원 난처분성 방사성폐기물 처리기술 개발의 기반 마련
- 연구원 중·저준위 방사성폐기물의 영구처분장 이송관리 기술 개발 기반 마련
- 중·저준위 방사성폐기물의 감용화 기반 마련
- 처분적립금의 효율적 집행 및 중·저준위 방사성폐기물 관리 효율화 기반 마련
- 방사성폐기물의 효율적 관리를 통한 연구원 지역주민 수용성 제고
- 방사성폐기물 관련 국가 정책 지향

III. 연구개발의 내용 및 범위

- 원내 방사성폐기물관리부서별 중·장기 방사성폐기물 발생특성평가
- 원내 폐기물별 처분 우선순위 도출
- 난처분성 폐기물의 영구처분방안 수립
- 폐기물의 처리, 특성평가, 처분장 이송에 요구되는 기반 시스템 확보방안 도출

IV. 연구개발결과

1. 단기 폐기물 관리방안

- 방사성폐기물 신 분류 기준에 따른 폐기물 분류 및 관리
- 서울 연구로 해체 사업폐기물 처리 종료

- 인증프로그램 및 관리총괄부서 운용
- 2. 중기 폐기물 관리방안
 - 관리부서외에 폐기물 방사능농도를 고려한 부서별 처분물량 배분
 - 처분비용 적립금 규모의 확대
 - 기장연구로 처분시스템 확보
- 3. 장기 폐기물 관리방안
 - 노후 핵주기시설 보수/해체 폐기물의 발생 최소화 및 관리 효율화
 - 중준위 방사성폐기물 처분시스템 운영

V. 연구개발결과의 활용계획 및 건의사항

1. 활용계획
 - 원자력연구원에서 분산 관리되고 있는 중·저준위 방사성폐기물의 실질적인 관리방안 도출을 통한 중·장기 연구원 방사성폐기물 관리방안 수립
 - 방사성폐기물 관련 국가 정책 지향 및 한국원자력환경공단의 중·장기 운영계획 수립 지원을 통한 국가 방사성폐기물 관리에 대한 국민 수용성 제고
 - 방사성폐기물 관련 국민/정치권의 우려에 대한 효율적인 대처로 원자력연구원의 위상 제고
2. 건의사항
 - 분산 관리되는 연구원 방사성폐기물의 효율적 관리를 위한 적기의 인력 및 예산 투입 필요
 - 방사성폐기물의 관리 효율화를 통한 연구원의 안전관련 위상 제고 가능

SUMMARY

I. Project Title

Study on development of mid & long term management strategy for low and intermediate radioactive waste of KAERI

II. Objective and Importance of the Project

1. Objectives of the project

- Establishment of practical mid- & long term management plan for low & intermediate level radwastes at KAERI
- Derivation of an effective final disposal plan for radwaste at KAERI

2. Importance of the project

- Preparation of foundation for technology development to treat difficult-to-disposal radwastes at KAERI
- Preparation of foundation for setting up a method to transport radwastes from KAERI to final repository
- Preparation of foundation for radwaste volume reduction
- Meeting national policy for radwaste management

III. Scope and Contents of Project

- Estimation of radwaste generation stream for each radwaste management division
- Prioritization of radwaste for final disposal
- Setting up a final disposal plan for difficult-to-disposal radwaste
- Derivation of a system development plan for waste treatment, characterization and transport

IV. Result of Project

1. Short term management plan

- Classification and management of radwaste according to new category for radwaste
- Wrapping up treatment of radwaste generated from Seoul research reactor decommissioning
- Operation of WCP and setting up management division

2. Mid term management plan for radwaste at KAERI

- Setting up disposal priority considering management division and radioactivity concentration of radwaste
- Enlargement of fund for final disposal
- Setting up disposal system for Ki-Jang research reactor

3. Long term management plan

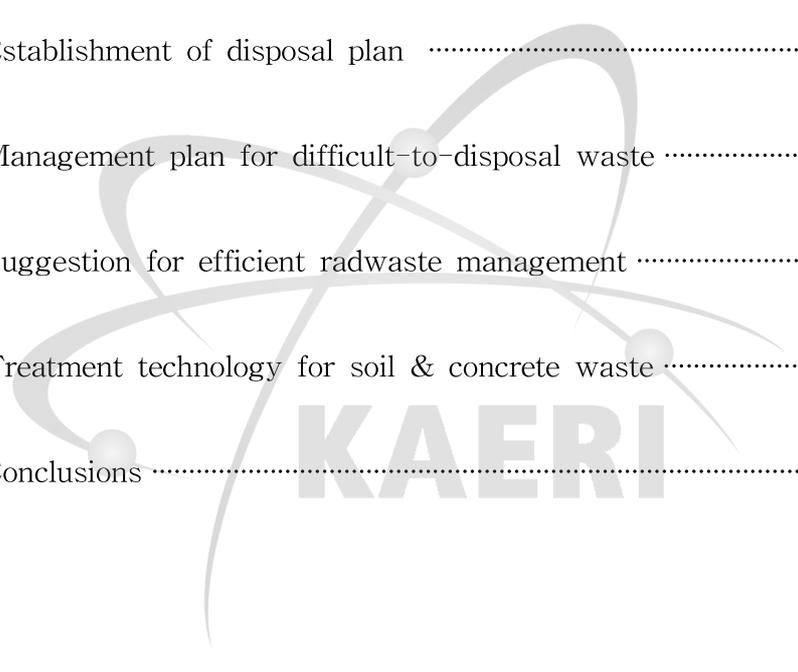
- Minimization and effective management of radwaste generated from decommissioning of nuclear fuel cycle facilities
- Operation of disposal system for intermediate level radwaste

V. Proposal for Applications

- Preparation of foundation of an effective final disposal plan for radwaste at KAERI
- Meeting national policy for radwaste and increasing public acceptance for KAERI

CONTENTS

Chapter 1. Introduction	1
Chapter 2. Management of Radwastes at KAERI	2
Chapter 3. Disposal Requirement	40
Chapter 4. Waste treatment & characterization system at KAERI	46
Chapter 5. Establishment of disposal plan	77
Chapter 6. Management plan for difficult-to-disposal waste	88
Chapter 7. Suggestion for efficient radwaste management	112
Chapter 8. Treatment technology for soil & concrete waste	127
Chapter 9. Conclusions	138

A large, light gray watermark of the KAERI logo is centered on the page. It features a stylized atomic symbol with three elliptical orbits and a central nucleus, with the word "KAERI" in bold, uppercase letters below it.



목 차

제 1 장 서 론	1
제 2 장 연구원 방사성폐기물 관리현황	2
제 1 절 재료조사시험평가부 관리대상 폐기물	2
1. 폐기물 분류기준	2
가. 농도 및 준위별	2
나. 종류별	3
2. 폐기물 종류별 현재 관리량 및 향후 발생 예상량	4
가. 연도별 발생현황	4
나. 향후 발생 대책	4
3. 폐기물 발생원	5
가. 고체방사성폐기물의 발생원	5
나. 액체방사성폐기물의 발생원	6
다. 폐기물 종류별 주요 발생원	6
4. 폐기물의 방사선적 특성	8
가. 고체 폐기물의 방사성 핵종과 방사능농도의 특성	8
나. 액체 폐기물의 방사성 핵종과 방사능농도의 특성	9
5. 처분 제한 물질 함유 가능성	10
제 2 절 원전제염해체기술개발부 관리대상 폐기물	11
1. 폐기물 분류기준	11
2. 폐기물 종류별 현재 관리량 및 향후 발생 예상량	12
가. 서울 연구로 해체폐기물	12
나. 우라늄변환시설 해체폐기물	13
3. 폐기물의 발생원	15
4. 폐기물의 방사선학적 특성	15
가. 서울 연구로 해체폐기물	15
나. 우라늄변환시설 해체폐기물	18
5. 처분 제한 물질의 함유가능성	19

제 3 절 첨단방사선연구소(정읍) 관리대상 폐기물	20
1. 폐기물 분류기준	20
가. 농도 및 준위별	20
나. 종류별	20
2. 폐기물 종류별 현재 관리량 및 향후 발생 예상량	20
가. 연도별 발생현황	20
나. 향후 발생 예상량	22
3. 폐기물의 발생원	23
가. 방사성동위원소 허가 현황 및 시설별 사용핵종현황	23
4. 폐기물의 방사선적 특성	31
제 4 절 기장연구로 관리대상 폐기물	33
1. 폐기물처리시설 설계기준	33
가. 설계 기준	33
나. 원칙	33
2. 폐기물 분류기준	33
3. 폐기물 발생특성	34
가. 원자로계통	34
나. Fission Moly 생산시설	34
다. RIFP 시설	36
제 3 장 처분관련 요건 파악	40
제 1 절 처분 관련 규정	40
1. 중·저준위 방사성폐기물 인도규정	40
가. 방사능 농도 등의 제한	40
나. 핵종 규명	41
다. 고형화의 조건	41
라. 유리수	42
마. 기타	42
2. 방사성폐기물 인수방법 등에 관한 규정	42
가. 발생지 예비검사	42
나. 인도 및 인수	43
다. 부적합 운반물에 대한 조치	43

라. 연간 인도계획 제출	43
제 2 절 처분장 운영 기준	44
1. 운영절차서	44
2. 처분시설 안전성분석보고서	44
제 4 장 연구원의 폐기물 처리 및 특성평가시스템 분석	46
제 1 절 방사성폐기물처리시설 폐기물 처리·처분 시스템	46
1. 방사성폐기물 처리 공정	46
가. 액체폐기물처리공정	46
나. 제염공정	46
다. 고체폐기물처리공정	47
라. 고체폐기물저장시설	50
2. 저장폐기물 처분 전 분류 및 재포장	52
가. 처리 개요	52
나. 처리 절차	52
다. 공드럼 처리	56
3. 방사성폐기물 특성평가 시스템	58
가. 방사성폐기물 특성평가 시스템	58
나. 드럼핵종평가시설	58
다. 드럼핵종분석장치	59
라. 감마선 분광기	60
마. 전알파/전베타 계수기	61
제 2 절 원전제염해체기술개발부의 처리·처분 시스템	62
1. 해체폐기물 처리 공정	62
가. 초음파화학제염 설비	62
나. 용융제염	63
다. 라군 질산염 슬러지 폐기물 처리	64
2. 가연성폐기물 처리시설	66
3. 금속폐기물 처리시설	68
4. 토양 및 콘크리트 폐기물 처리시설	68
5. 방사성폐기물 특성평가 시스템	69

가. 서울 연구로 해체폐기물	69
나. 우라늄변환시설 해체폐기물	69
제 3 절 원자력화학연구부의 폐기물 특성평가시스템	71
1. 방사성물질 화학분석 특성평가 개요	71
2. 방사화학 분석시설 및 방사능 측정 장비 현황	72
가. 방사화학분석 시설	72
나. 방사화학분석을 위한 설비 및 장비	73
제 5 장 연구원 폐기물 처분일정 수립	77
제 1 절 처분대상 폐기물 물량 산정	77
1. 재료조사시험평가부 관리대상 폐기물	77
2. 원전제염해체기술개발부의 폐기물	78
가. 서울 연구로 해체폐기물	78
나. 대전 해체폐기물	78
다. 규제해제대상폐기물 처분 및 소요예산	79
제 2 절 처분대상 폐기물 특성평가 방안 수립	82
1. 재료조사시험평가부 관리대상 폐기물	82
2. 원전제염해체기술개발부 관리대상 폐기물	82
가. 서울 연구로 해체폐기물	82
나. 우라늄변환시설 해체폐기물	83
제 3 절 공단의 비원전 폐기물 인수계획	84
제 4 절 처분대상 폐기물별 우선순위 평가	86
1. 단기 처분대상 폐기물 (2015년 ~ 2018년)	86
2. 중기 처분대상 폐기물 (2019년 ~ 2022년)	87
3. 장기 처분대상 폐기물 (2023년 ~)	87

제 6 장 난처분성 폐기물의 처리/처분 방안	88
제 1 절 난처분성 폐기물 관리현황	88
1. 재료조사시험평가부의 난처분성 폐기물 관리현황	88
가. 재료조사시험평가부의 폐기물관리 현황	88
나. 난처분성 폐기물의 관리현황	90
2. 제염해체 발생 난처분성 폐기물 관리현황	98
제 2 절 난처분성 폐기물의 처리방안 도출	100
1. 재료조사시험평가부의 난처분성 폐기물의 처리방안	100
가. 난처분성 폐기물의 처리방안과 소요예산	100
2. 난처분성 제염해체 폐기물의 처리방안	111
가. 난처분성 해체폐기물	111
제 7 장 방사성폐기물 관리 효율화 방안	112
제 1 절 폐기물 인증프로그램 도입방안	112
1. 폐기물 인증 프로그램의 필요성	112
가. 폐기물 인증 프로그램 관련 규정	112
나. 공단의 폐기물 인증 프로그램 운용 방안	113
다. 인증프로그램여부에 따른 인센티브 및 페널티	113
2. 연구원 폐기물의 관리를 위한 인증 프로그램 도입 방안	114
가. 인증프로그램 관련 발생자 및 공단의 역할구분	114
나. 인증프로그램의 운영을 위한 조직 구성(안)	115
다. 인증프로그램 적용의 한계성	117
3. 폐기물 관리 진산화	117
제 2 절 폐기물 방사화학분석 방안	119
1. 중저준위 방사성폐기물의 방사화학분석 현황	119
2. 중저준위 방사성폐기물 특성평가 방안	120
3. 방사화학시설 확장 필요성	121
4. 방사화학분야 전문 인력 충원 및 증원 필요성	122
5. 방사능 측정 장비 및 운영유지비	123
6. 종합 의견	124

제 3 절 방사성폐기물 관리전담부서 운용방안	126
제 8 장 변환시설 해체 토양/콘크리트 폐기물 감축 방안	127
제 1 절 토양 및 콘크리트폐기물 처리사업비 증액 필요성	127
제 2 절 방사성 토양 및 콘크리트폐기물 제염기술	128
1. 방사성 토양 제염기술	128
2. 방사성 콘크리트 제염기술	131
제 3 절 “방사성 토양 및 콘크리트 폐기물 처리시설 구축/운영” 과제 사업비 증액 제안서	134
1. 증액사업과제 목표	134
2. 증액사업과제 기대효과	134
3. 방사성 토양 및 콘크리트 폐기물 처리시설 구축/운영 과제 연도별 사업비용 및 폐기물처리량	134
4. 연도별 원자력시설 해체폐기물처리 실용화시설 구축/운영 예산 요구액	135
5. 토양/콘크리트 처리시설 구축비	135
6. 증액사업 수행에 필요한 사업비	136
제 4 절 우라늄오염 토양/콘크리트 제염 폐기물 처리방안	137
제 9 장 결 론	138
제 1 절 폐기물 관리방안	138
1. 단기 관리방안 (2015년 ~ 2018년)	138
가. 고려사항	138
나. 관리방안	139
2. 중기 관리방안 (2019년 ~ 2022년)	139
가. 고려사항	139
나. 관리방안	140
3. 장기 관리방안 (2023년 ~)	140
가. 고려사항	140
나. 관리방안	141

제 2 절 난처분성 폐기물 처리예산	142
1. 재료조사시험평가부 관리대상 난처분성 폐기물 처리방안	142
2. 난처분성 해체폐기물	143
가. 비철금속 및 유기 TBP 폐액 처리예산	143
나. 우라늄변환시설 토양/콘크리트 폐기물 감축 방안	143
제 3 절 폐기물 관리효율화 예산 및 인력	145
1. 폐기물 특성평가 효율화	145
2. 관리총괄부서 운용	145
3. 기타 폐기물관리 효율화 시스템 구축	146





표 차 례

표 2-1-1. 농도 및 준위별 분류기준	2
표 2-1-2. 종류별 분류기준	3
표 2-1-3. 방사성폐기물 연도별 발생현황	4
표 2-1-4. 발생원별 고체방사성폐기물 종류별 발생량	5
표 2-1-5. 발생원별 액체방사성폐기물 종류별 발생량	6
표 2-1-6. 고체폐기물 종류별 핵종 및 방사능농도	8
표 2-1-7. 폐기물 종류별 주요 내용물과 핵종 및 방사선량률	9
표 2-2-1. 연구로 해체폐기물 발생량	12
표 2-2-2. 우라늄변환시설 해체폐기물 관리현황	13
표 2-2-3. 우라늄변환시설 해체폐기물 저장시설별 관리 현황	15
표 2-2-4. 연구로 2호기 방사화 현황	16
표 2-2-5. 주핵종 및 난검출성 핵종에 대한 척도인자 평가결과	17
표 2-2-6. 20년 방사성붕괴를 고려한 핵종별 방사능 및 방사능분율	18
표 2-3-1. 첨단방사선연구소 폐기물 관리현황	21
표 2-3-2. 방사성폐기물 추정 발생량	22
표 2-3-3. 발생원별 액체방사성폐기물 종류별 발생량	23
표 2-3-4. 첨단방사선연구소 허가현황	25
표 2-3-5. 밀봉선원 보유현황	26
표 2-3-6. 본관동 128호 허가핵종 및 허가량	27
표 2-3-7. 사이클로트론 종합연구동 비밀봉선원 임시 사용 허가 내역	28
표 2-3-8. 사이클로트론 정상 운영시 발생이 예상되는 핵종별 폐기물 종류 및 발생량	29
표 2-3-9. RI-Biomics 연구동 비밀봉선원 사용 허가 내역	30
표 2-3-10. 사이클로트론 생산 핵종	31
표 2-3-11. 첨단방사선연구소 허가 핵종 및 반감기	32
표 2-4-1. Fission Moly 생산시설의 고체 폐기물	35
표 2-4-2. Fission Moly 생산시설의 액체폐기물	36
표 2-4-3. RIPF의 고체폐기물 발생량	37

표 2-4-4. RIPF의 액체폐기물 발생량 및 조성	37
표 2-4-5. 기장연구로 고체 방사성폐기물 예상발생량 종합	38
표 2-4-6. 기장연구로 액체 방사성폐기물 예상발생량 종합	39
표 3-1-1. 핵종별 처분 농도 제한치	41
표 4-1-1. 저장고별 규모 및 저장용량	51
표 4-1-2. 연도별 처리량	55
표 4-1-3. 공드립 발생 및 처리 현황	57
표 4-1-4. 감마선 분광기 장비특성	60
표 4-1-5. 전알파/전베타 계수기 장비특성	61
표 4-3-1. 원자력화학연구부 보유 방사능 측정 장비	75
표 4-3-2. 원자력화학연구부에서 구입된 방사능 계측기의 연도별 구입현황	76
표 5-1-1. 해체폐기물 처리 후 처분대상 폐기물 예상 발생량	78
표 5-1-2. 규제해제 대상폐기물 관리현황	79
표 5-1-3. 규제해제 대상폐기물 저장고별 저장현황	79
표 5-3-1. 공단의 연도별 방폐물 인수계획	84
표 5-3-2. IAEA 신 분류기준에 따른 처분시설 정치방안	85
표 6-1-1. 질산염 폐기물의 내용물별 저장량과 특성	91
표 6-1-2. 질산염 폐기물의 방사능 농도	91
표 6-1-3. 폐이온교환수지의 방사능 농도와 분류기준 (2006년)	92
표 6-1-4. 폐이온교환수지의 발생원과 발생량	92
표 6-1-5. 아스팔트 고화체의 방사능 농도와 특성	94
표 6-1-6. 농축폐액의 방사성 핵종과 농도 (2006년, 2013년)	95
표 6-1-7. 유기성 액체폐기물의 특성과 저장량	96
표 6-1-8. 방사선방호 등에 관한 기준	97
표 6-1-9. 재료조사시험평가부의 난처분성 폐기물의 관리현황	98
표 6-1-10. 제염해체발생 난처분성 폐기물관리현황	99

표 6-2-1. 외국의 아스팔트고화체의 처분장 인수기준	105
표 6-2-2. 연구원 아스팔트고화공정과 고화체의 특성	105
표 6-2-3. 아스팔트고화체의 처분용기인 콘크리트 셀의 사양	106
표 6-2-4. 고화체에 대한 실험항목과 처분장 인수기준	107
표 6-2-5. 유기성 액체폐기물의 발생원과 특성	109
표 6-2-6. 난처분성폐기물 처리/처분의 소요예산	111
표 7-1-1. 폐기물 인증 프로그램 관련 규정	113
표 7-2-1. 중저준위 방사성폐기물 영구처분 관련 방사화학분석 수	119
표 7-2-2. 국내 원자력발전소 해체 계획	121
표 7-2-3. 향후 10년 내 노후 및 신규 방사능 측정장비 도입 예측수량 (2014년 기준)	123
표 8-1-1. 원자력시설 해체폐기물처리 실용화시설 구축/운영 : 2015년도 예산요구액 (인건비, 간접비 포함)	127
표 8-2-1. 자갈세척장치에 의한 자갈크기에 따른 세척효율	130
표 8-2-2. 동전기장치에 의한 시간경과별 자갈 제염효율	130
표 8-3-1. 방사성 토양 및 콘크리트 폐기물 처리시설 구축/운영 과제 연도별사업비 및 폐기물처리량	135
표 8-3-2. 연간 토양/콘크리트 1200드럼 처리시설 구축비	135
표 9-2-1. 재료조사시험평가부 관리대상 난처분성 폐기물 처리예산	142
표 9-2-2. 난처분성 해체폐기물 처리/처분의 소요예산	143
표 9-2-3. 방사성 토양 및 콘크리트 폐기물 처리시설 구축/운영 과제 연도별사업비 및 폐기물처리량	144



그 립 차 례

그림 2-2-1. 연구로 2호기 원자로실 폐기물 저장현황	12
그림 2-2-2. 해체폐기물 저장고-1	14
그림 2-2-3. 해체폐기물 저장고-2	14
그림 2-2-4. 연구로 2호기 수조콘크리트에 대한 Co-60과 H-3의 상관성 분석결과	17
그림 2-3-1. 첨단방사선연구소 RI 및 RG 시설 조감도	24
그림 4-1-1. 모래분사제염장치	47
그림 4-1-2. 압축기(60톤)	49
그림 4-1-3. 중준위고체폐기물 처리공정	50
그림 4-1-4. 폐기물 건조 및 분류	52
그림 4-1-5. 폐기물 압축	53
그림 4-1-6. 파쇄기	54
그림 4-1-7. 폐플라스틱 파쇄 후 절단물	54
그림 4-1-8. 처리 전/후의 저장고	55
그림 4-1-9. 바코드 및 드럼의 운반물 번호	56
그림 4-1-10. 공드럼 제염	56
그림 4-1-11. 공드럼 시료 채취	57
그림 4-1-12. 드럼핵종평가시설 내부구성	59
그림 4-2-1. 초음파 화학 제염장치	63
그림 4-2-2. 스팀제염장치	63
그림 4-2-3. 고주파 발생장치 및 냉각설비	64
그림 4-2-4. 용융로체	64
그림 4-2-5. 슬러지 폐기물폐기물 열분해설비	65
그림 4-2-6. 질소산화물 처리설비	65
그림 4-2-7. 슬러지 폐기물 이송설비	66
그림 4-2-8. 고체폐기물의 분쇄 및 드럼 장입설비	66
그림 4-2-9. 가연성폐기물 처리공정 (감용율: 1/100)	67
그림 4-2-10. 가연성폐기물 처리시설	67

그림 4-2-11. 금속용융처리공정 및 시설	68
그림 4-2-12. 알파 및 감마분석법에 의한 탄소강 해체폐기물의 우라늄농도	70
그림 4-3-1. 중·저준위 방사성폐기물 인도 규정	71
그림 4-3-2. 조사후시험시설 내 방사화학분석 실험실 lay-out	72
그림 4-3-3. 조사후시험시설 내 방사화학분석 실험실 내 화학분석 설비	74
그림 6-1-1. 자연증발시설의 액체폐기물의 처리 누적량	89
그림 6-1-2. 고체폐기물의 부피감용 누적량	90
그림 6-2-1. 원전제염해체기술개발부의 질산염 폐기물의 처리공정도	101
그림 6-2-2. 원전의 폐이온교환수지 건조장치와 배수 공정도	103
그림 6-2-3. HIC의 저장용기와 운반용기 모형도	104
그림 6-2-4. 차폐드럼과 콘크리트 셀의 도면	106
그림 6-2-5. 개선된 아스팔트매질로 제조된 아스팔트고화체(B)	107
그림 7-1-1. 인증프로그램 운영조직	116
그림 7-1-2. 방사성폐기물 인증체계	116
그림 7-1-3. ANSIM 내 방사성폐기물 관리 메뉴	118
그림 7-2-1. 원자력화학연구부 방사화학시설 운영 예측	122
그림 7-3-1. 방사성폐기물 관리총괄부서의 기능	126
그림 8-2-1. 복합동전기 토양제염장치	128
그림 8-2-2. 복합동전기 토양제염장치에 의한 시간경과별 U-238 잔류 방사능 농도	129
그림 8-2-3. 복합동전기 토양제염 공정도	130
그림 8-2-4. 분쇄-세척 콘크리트처리장치	132
그림 8-2-5. 분쇄-세척 콘크리트처리장치 공정도	133

제 1 장 서 론

현재 원자력연구원의 방사성폐기물은 재료조사시험평가부, 원전제염해체기술개발부, 첨단방사선연구소 등에서 분산되어 관리되고 있으며, 향후 기장연구로의 운영이 시작되면 추가적으로 방사성폐기물이 발생하게 될 것이다.

관리 주체가 다른 것은 방사성폐기물의 발생 특성이 각각 다르기 때문인데 재료조사시험평가부에서 관리하고 있는 방사성폐기물은 하나로의 운전, 방사성동위원소의 생산, 핵연료주기 시설(조사재시험시설, 조사후핵연료시험시설, 방사성폐기물처리시설)의 운영 및 기타 연구실에서 발생하고 있다. 원전제염해체기술개발부에서 관리하고 있는 방사성폐기물은 크게 연구로 1,2호기의 해체에서 발생한 폐기물과 우라늄변환시설의 해체에서 발생한 폐기물로 구분할 수 있다. 첨단방사선연구소의 방사성폐기물은 방사성동위원소 사용 시설(RI 시설)과 방사선 발생장치를 운영하는 시설(RG 시설)의 운영과정에서 발생하는 폐기물이다. 더불어 향후 기장연구로에서 발생하게 되는 방사성폐기물은 방사성동위원소 생산 및 연구, 중성자 조사 서비스를 담당하고 있는 연구로에서 발생하는 것들이다.

발생특성 및 연구원 내 관리 주체가 각각 다르기 때문에 지금까지 연구원의 방사성폐기물은 분산 관리되었으나 (1) 2014년 경주 처분장의 준공을 시작으로 2015년부터 연구원 방사성폐기물의 영구처분이 계획되어 있고, (2) 2014년부터 방사성폐기물의 분류체계가 바뀔 예정이며, (3) 2011년도의 후쿠시마 원전 사고 이후 연구원 지역 주민의 방사성폐기물의 우려 증가 등의 이유로 현재의 관리체계에 대한 검토 및 효율적이고 체계적인 중·장기 방사성폐기물 관리방안 수립이 필요하게 되었다.

또한 영구처분을 위해 지급해야 하는 관리비용도 지속적으로 증가하고 있는 만큼 이에 대한 효율적인 적립 및 지출방안의 고려도 필요하게 되었다.

본 연구에서는 분산 관리되고 있는 연구원 방사성폐기물의 각 시스템에 대한 검토를 기반으로 하여 효율적인 영구처분 대상 방사성폐기물의 부피감용 시스템, 영구처분 대상 폐기물량의 산출, 방사성폐기물 관리 시스템 효율화 방안 등을 평가하여 제시하고자 한다.

논의 과정에서 첨단방사선연구소 및 기장연구로의 방사성폐기물은 발생량이 적거나, 발생량의 반감기가 짧은 경우 혹은 현재로서는 처분 계획을 논의하기 이른 시점이므로, 폐기물의 발생특성에 대해서만 다루었다.

제 2 장 연구원 방사성폐기물 관리현황

제 1 절 재료조사시험평가부 관리대상 폐기물

1. 폐기물 분류기준

가. 농도 및 준위별

연구원에서 발생하는 고체폐기물은 원규 2-14.24의 방사성폐기물관리규정에 의거 방사능의 준위 및 성분에 따라 표 2-1-1과 같이 분류하며 가능한 한 같은 종류 및 동일 핵종으로 분류, 수집함을 원칙으로 하며 α선 방출 핵종으로 오염된 폐기물 및 자체처분대상폐기물은 별도 구분하여 수집한다.

표 2-1-1. 농도 및 준위별 분류기준

준 위	구분	액체폐기물 방사능농도	고체폐기물 표면선량률			
		A(kBq/ml)	D(mSv/h)			
극저준위	VL	$A < 1.85 \times 10^{-4}$	-			
저 준 위	LL	$1.85 \times 10^{-4} \leq A < 3.7$	D < 2			
중 준 위	ML	$3.7 \leq A < 3.7 \times 10^2$	2 ≤ D < 20			
고방사선	HL	$3.7 \times 10^2 \leq A$	20 ≤ D, 열발생율 < 2kW/m ³			
알 파	α	-	α-Activity(kBq/m ²)			
종 류	O	유 기 폐 액	C	가연압축성	SR	폐수지
	A	무 기 폐 액	IC	비가연압축성	SF	폐필터
			NC	비압축성	L	세탁폐기물

나. 종류별

폐기물은 또한 내용물에 따라 표 2-1-2과 같이 분류한다.

표 2-1-2. 종류별 분류기준

구 분	종 류
가 연 성	<ul style="list-style-type: none"> - 종이류 : 휴지, 흡수지, 종이컵 - 섬유류 : 작업복, 면장갑, 솜, 걸레 - 플라스틱류 : Hose, Tube, Sample 용기 - 고무류 : 고무장갑 - 비닐류 : 비닐슈트, 비닐장판
비가연압축성	<ul style="list-style-type: none"> - 유리류 : 비커, 시약병, Test tube - 도자기류 : 용기 - 합석류 : 합석, 캔, 알루미늄 박스
비 압 축 성	<ul style="list-style-type: none"> - 금속류 : 공구, 소형장치, 주사기바늘, 가위, 칼 - 목재류 : 각목 - 기타 : 토사, 콘크리트
폐 수 지	<ul style="list-style-type: none"> - 이온교환수지
폐 필 터	<ul style="list-style-type: none"> - 고성능필터(HEPA Filter), 활성탄필터
세탁 폐기물	<ul style="list-style-type: none"> - 작업복, 방호복, 가운
폐 기 선 원	<ul style="list-style-type: none"> - 밀봉선원류, 선원내장기기
유 기 용 액	<ul style="list-style-type: none"> - 용제류 : 알코올, 아세톤, 톨루엔
무 기 용 액	<ul style="list-style-type: none"> - 각종 염류가 용해된 물

분류된 고체방사성폐기물은 관리규정의 수집, 포장지침에 따라 200 ℓ 용량의 드럼 내에 2~3 개의 소포장 단위로 분리, 수집한 후 각 수집물에 꼬리표를 부착하여 넣는다. 액체폐기물의 수집용기는 이중마개의 25L 용량의 폴리에틸렌용기를 사용하고 무기용액과 유기용액으로 분리하여 수집한다. 포장이 완료된 후 드럼용기에 방사선량률, 종류, 주요핵종, 폐기물의 양, 내용물, 폐기일시, 발생시설책임자 및 발생부서를 기록한 방사성폐기물 표지를 작성하여 부착한다.

2. 폐기물 종류별 현재 관리량 및 향후 발생 예상량

가. 연도별 발생현황

고체방사성폐기물은 연평균 520드림 정도가 발생하며 이중에는 가연성폐기물이 30%를 차지하고 있다. 최근에는 연구 실험장비의 노후화에 따른 교체와 시설의 개선작업 과정에서 발생된 철재 및 콘크리트 폐기물이 다량 발생하고 있으며 비가연성폐기물중에서 약 60% 정도이다. 표 2-1-3은 연도별 발생량과 2013년 12월말 현재, 폐기물 종류별 저장량을 나타내었다.

표 2-1-3. 방사성폐기물 연도별 발생현황

(단위 : 200ℓ 드림)

년 도	가연성	비가연성	폐필터	고 화 폐기물	폐수지	환경정비 폐 기 물	중준위 폐기물	규제해제	계
~2006	2,035	2,475	8	301	168	1,809	34.25	44	6,874.25
2007	258	154	1	-	9	64	2.75	5	493.75
2008	231	95	-	-	-	-	4	6	336
2009	226	1,721	186	-	22	-	0.75	30	2,185.75
2010	174	98	132	-	13	-	3.5	1	421.5
2011	165	69	11	-	-	-	2.25	-	247.25
2012	53	127	0.5	-	11	-	2.5	-	194
2013	77	180	43	12	8	-	0.75	-	320.75
현 재 저장량	3,219	4,919	381	313	231	1,873	51	86	11,073

나. 향후 발생 대책

하나로의 운전 및 동위원소의 생산과 더불어 연구시설에서의 노후장비해체 등으로 고체방사성폐기물의 발생은 증가할 것으로 예상된다. 이에 대한 폐기물의 발생량 저감을 위해서 폐기물 함량 및 부피를 최소화하는 것이 방사성폐기물의 종합적인 관리의 목표이다. 방사성물질을 취급 또는 발생시키는 시설의 계획, 설계단계에서부터 운영, 폐쇄에 이르기까지 수행되는 모든 행위에서 폐기물 발생원의 최소화, 재순환 및 재활용, 폐기물 관리 최적화를 위한 행정적 지도가 필요하다.

3. 폐기물 발생원

가. 고체방사성폐기물의 발생원

고체방사성폐기물은 하나로의 운전, 방사성동위원소의 생산, 핵연료주기시설인 조사재시험시설, 조사후연료시험시설 및 방사성폐기물처리시설의 운영 그리고 기타 연구실에서 발생되고 있다. 이들 시설에서 발생하는 잡고체는 시설 방문자가 착용하였던 1회용 덧신과 운전 작업과정에서 작업자가 착용하였던 작업복, 장갑 및 작업지와 연구장비의 해체폐기물이 주류를 이루고 있으며 방사능 준위는 미미하다. 고화폐기물은 방사성폐기물처리시설에서 발생된 시멘트고화체 및 아스팔트고화체를 포함하고 있다. 환경정비폐기물은 1988년 서울 공릉동 분소의 환경정비공사과정에서 발생된 것으로 주로 오염도양이 70% 정도이다. 기타 연구실에는 원자력화학연구부 및 실험실에서 발생된 것을 포함한 것이다. 폐필터는 주로 시설의 공기정화용 HEPA 필터이다. 표 2-1-4는 발생원별 폐기물 종류별 발생량을 나타내었다.

표 2-1-4. 발생원별 고체방사성폐기물 종류별 발생량

(단위 : 200L 드럼)

발생원	폐기물 종류								계	백분율
	가연성	비가연	폐필터	고 화 폐기물	폐수지	환경정비 폐기물	중준위 폐기물	규제 해제		
하나로	382	239	31	-	120	-	-	38	810	7.3
RI생산시설	269	53	77	-	-	-	7	-	406	3.7
조사후연료	333	132.5	61.5	2	17	-	18	13	577	5.2
조사재시설	179	102	48	-	22	-	15.5	7	373.5	3.4
방폐처리	509	475.5	67	85	69	-	-	2	1,207.5	10.9
변환정련	289	2,949	-	1	-	-	-	-	3,239	29.3
기타연구실	1,258	968	96.5	225	3	1,873	10.5	26	4,460	40.2
계	3,219	4,919	381	313	231	1,873	51	86	11,073	100%
백분율	29%	44%	3.5%	3%	2%	17%	0.5%	1%	100%	

나. 액체방사성폐기물의 발생원

하나로 연구용 원자로, 방사성동위원소생산시설, 핵연료주기시설인 조사재시험 시설의 정상가동은 1997년부터 시작되었다. 이 세 개 시설의 액체 폐기물은 방사능 준위별로 같은 탱크에 수집되어 처리시설로 이송되기 때문에 하나의 발생원으로 간주된다. 조사재시험시설의 Hot cell은 건식방식으로 운영되어 액체 폐기물이 거의 발생되지 않는 특성을 지닌다. 발생원에 대한 6년간 폐기물 발생량 추이를 보면 표 2-1-5과 같이 하나로/동위원소생산시설 56.3%, 조사후연료시험시설 17.3%, 기타 연구실 26.4%로 나타났다.

액체 폐기물의 발생량 특성을 요약하면,

- 하나로/동위원소생산시설과 조사후연료시험시설의 발생량이 전체 발생량의 74%
- 연간 액체 폐기물의 발생량은 약 58 ton/년
- 액체 폐기물 중 우라늄 액체폐기물 및 유기 폐액의 비율은 1% 이내

표 2-1-5. 발생원별 액체방사성폐기물 종류별 발생량

(단위 : m³)

연도 \ 발생원	2008	2009	2010	2011	2012	2013	계	백분율
하나로	64	59.6	20	46.6	59	15	264.2	56.3%
동위원소 생산시설								
조사후연료 시험시설	7.4	5.5	5.5	31.5	21.1	10	81	17.3%
기타 연구실	40.54	44.3	13.52	4.5	13.58	7.45	123.89	26.4%
계	111.94	109.4	39.02	82.6	93.68	32.45	469.09	100%

다. 폐기물 종류별 주요 발생원

(1) 가연성폐기물

가연성폐기물은 원자력시설의 방사선관리구역내에서 작업과정에서 발생된 폐지 및 제염지 등의 종이류, 비닐과 덧신 및 타이백 등의 비닐류, 장갑과 방호복 등의 섬유류, PE 등의 플라스틱류가 주종을 이루고 있다.

(2) 비가연압축성폐기물

비가연압축성폐기물은 알루미늄, 함석, 페드럼 등의 금속류, 초자류와 비압축성

폐기물로 오염토양과 오염된 지역을 제염하고 발생된 콘크리트 및 페인트 파쇄물 등을 말한다.

(3) 폐필터

폐필터 발생시설은 방사성폐기물처리시설, 원자력화학분석시설, 동위원소생산 시설 및 조사후연료시험시설 등으로서 이들 시설의 운영과정에서 발생하는 기체폐기물을 여과하고 폐기된 HEPA filter가 주종을 이룬다.

(4) 중준위폐기물

중준위폐기물은 주로 조사재시험시설과 조사후연료시험시설에서 발생된 것으로 핵연료봉 및 원자로 감시시편의 절단으로 생긴 시편, 휴지 등이다. 또한 동위원소생산과제에서 발생한 조사용기 알루미늄이 고선량률을 나타내고 있다. 이러한 폐기물은 50 ℓ stainless steel 드럼에 수집하고 운반용기인 intervention cask로 운반하여 monolith 작업절차에 따라 well에 안전하게 저장관리하고 있다.

(5) 폐수지

폐수지는 일반적으로 동위원소생산시설과 조사후연료시험시설에서 지하배관을 통해 방사성폐기물처리시설의 폐수지 수집탱크로 보내지는 것으로 방사성물질을 흡착시켜 물기를 제거한 폐이온교환수지를 말한다. 이 폐수지는 수분 흡착력이 높아 일정량의 물을 공급한 후 1차로 비닐주머니에 포장하고 200 ℓ 포장용기에 특별히 제작된 스테인리스스틸 용기에 삽입 한다. 그 안에 내용물을 넣어 3중으로 포장하며, 방폐처리시설에서 발생된 폐수지는 표면선량률이 다소 높아 중준위폐기물 수집용 드럼과 같이 내부를 시멘트로 차폐시키도록 특별히 제작된 차폐체를 사용하여 운반한다.

(6) 고화폐기물

고화폐기물은 비가연압축성폐기물을 방사성폐기물처리시설에서 압축감용한 후 시멘트로 고정화한 것과 농축폐액을 아스팔트 고화한 것으로 나누어진다. 아스팔트 고화체 폐기물은 다른 폐기물에 비해 표면선량률이 매우 높기 때문에 드럼 내부가 6cm 두께의 시멘트로 차폐 제작된 고화드럼 내에 수집되어 제1 방사성폐기물 저장시설의 별도 위치에 집중 관리하고 있다.

(7) 환경정비폐기물

방사성폐기물 저장시설에는 서울 소재의 연구용원자로의 운영과 관련하여 원자로 및 방사성폐기물처리시설 주변에서 발생되어 1988년 대전 본원으로 이송하여 온 토양과 콘크리트 해체폐기물이 저장되어 있다. 이들 폐기물은 발생당시 오염이 미미하였을 뿐만 아니라 토양 내에 함유되어 있는 주요 방사성핵종이 Co-60과 Cs-137이며 저장한 기간이 20년 정도 경과하였으므로 핵종들의 반감기를 고려할

때 발생초기보다 방사능 농도가 많이 낮아졌을 것으로 평가되었다. 연구원의 방사성 폐기물저장시설에 임시 보관되고 있는 방사성오염 토양 및 콘크리트 폐기물은 저장 공간의 상당부분을 차지하고 있다. 방사성폐기물 처분비용의 저감화와 방사성폐기물저장 시설의 용량확보를 위해 이러한 폐기물의 처리가 필요한 실정으로 방사능 준위가 극미한 토양폐기물은 규제해제를 통한 자체처분을 고려하게 되었다. 이에 따라 자체처분 승인 후 2007년도의 1,543드럼과 2008년에 1,248드럼 총 299.25톤을 위탁 매립하였다.

4. 폐기물의 방사선적 특성

가. 고체 폐기물의 방사성 핵종과 방사능농도의 특성

표 2-1-6의 하나로에서 발생된 폐기물의 종류별 분석결과와 같이 gross α 로 측정된 α 핵종의 방사능 농도는 저준위 폐기물로 평가된다. 대부분의 고체 폐기물내 방사성 핵종은 액체 폐기물에서 유래한다고 할 수 있다. 하나로와 동위원소생산시설에서 발생하는 고체 폐기물의 방사성 핵종은 그 시설에서 발생하는 액체 폐기물의 방사성 핵종과 동일하며 방사능 농도의 차이 정도로 사료된다.

연구원에서 발생하는 폐기물은 다양한 시설에서 복합적인 핵종을 이루고 있다. 표 2-1-7는 폐기물의 종류별 주요 내용물과 핵종 및 방사선량률을 나타내고 있다.

표 2-1-6. 고체폐기물 종류별 핵종 및 방사능농도

구분	방사성 핵종(Bq/g)						Gross γ	Gross β	Gross α
	Ce-144	Co-60	Cs-134	Cs-137	I-131	H-3			
덮개슈즈	5.3E+02	9.4E+01	1.5E+00	4.5E+00	-	-	6.3E+02	3.5E+02	1.2E+00
제염지	-	2.8E+01	1.3E+01	2.5E+02	-	-	2.9E+02	2.7E+02	1.6E+00
HEPA필터	-	9.4E-01	3.1E-01	2.2E+00	-	-	3.5E+00	1.0E+01	1.5E+00

표 2-1-7. 폐기물 종류별 주요 내용물과 핵종 및 방사선량률

구 분	내 용 물	핵 종	방사선량률 ($\mu\text{Sv/h}$)
가 연 성	제염지, 장갑, 방호복, 비닐	Co-60, Cs-137, I-131, U-238	1 ~ 100
비가연성	철재, 토양, 초자	Co-60, Cs-137, I-131, U-238	1 ~ 100
공조용폐필터	HEPA, Charcoal Medium Filter	Co-60, Cs-137, I-131, U-238	0.2 ~ 10
폐 수 지	폐기이온교환수지	Co-60, Cs-137	200 ~ 8,000
고화폐기물	시멘트 고화 아스팔트 고화	Co-60, Cs-137	0.5 ~ 10 2,600 ~ 5,000
중준위폐기물	제염지, 철재	Co-60, Cs-137	7,000 ~ 16,000
해체폐기물	토양, 콘크리트	Co-60, Cs-137	0.2 ~ 1

나. 액체 폐기물의 방사성 핵종과 방사능농도 특성

(1) 하나로 및 동위원소시설에서 발생하는 액체방사성폐기물은 주로 조사재시험시설의 실험과정 및 동위원소 생산 및 실험과정에서 초자 세척시 대부분 발생되며 주요 핵종은 Co-60, Ce-134, 137, H-3으로 방사능농도는 $1.19 \text{ E}+02 \text{ Bq/L} \sim 7.85 \text{ E}+04 \text{ Bq/L}$ 이다.

(2) 조사후연료시험시설에서는 핵연료저장 수조내 표면 부유물 세척액 및 이온교환수지 세척시 발생하며 시설내 바닥, 장비, 손, 발 제염시에도 발생한다. 주요 핵종으로는 Co-60, Cs-134, Cs-137, Sb-125등이 있다.

(3) 원자력화학연구부에서는 고체방사성폐기물의 농도를 측정하기 위하여 장갑류, 폐수지, 폐필터, 슬러지, 농축파우더 등의 전처리와 핵종분리 및 회수 과정에서 발생하고 있으며 발생핵종은 주로 Co-58, 60, Cs-137, Nb-94, Ce-144등이다.

(4) 중수로 안전연구부에서는 주로 우라늄과 관련한 폐기물이 발생하며 발생원은 $\text{UO}_2(\text{DU})$, ZrO_2 및 금속(Fe, Zr, SUS 등)을 혼합하여 고온의 용융물을 만들고 이 용융물을 냉각수에 떨어뜨려 냉각수와 코륨의 상호 작용 현상을 관측하는 실험의 부산물이다. 주요핵종은 $\text{UO}_2(\text{DU})$ 수용액이다.

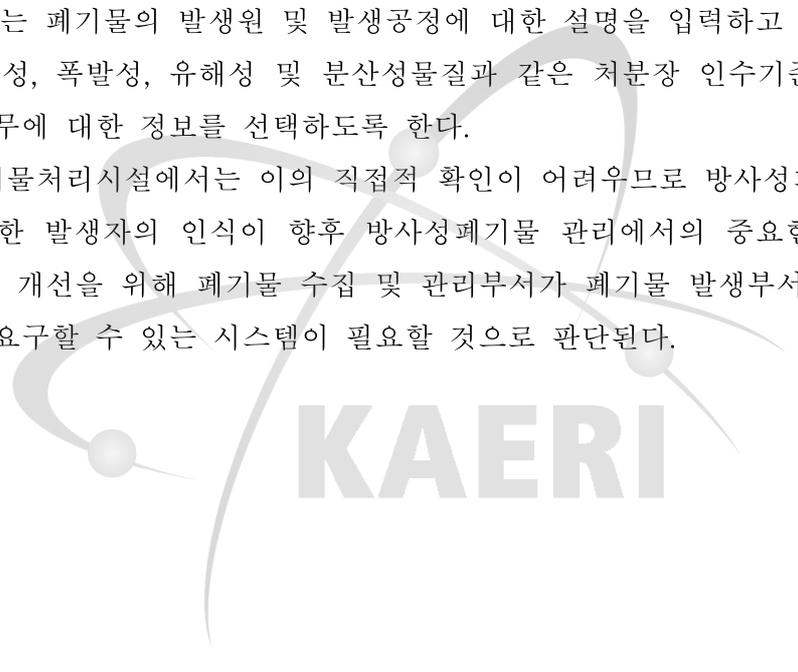
그 외 각 시설 제염작업시, 연료봉제조공정시, 방사성핵종(Co-60, Cs-137등)을 고체매질과 반응시켜 흡착시키고 고-액을 분리하여 용액중 방사성핵종의 농도를 측정하기 위해 사용한 형광제등을 포함하는 폐기물이 발생한다.

5. 처분 제한 물질 함유 가능성

처분용 드럼에는 원자력안전위원회 고시 제2013-29호 ‘중.저준위 방사성폐기물 인도규정’의 ‘제3장 포장물의 구조적 건전성’에서 포장물 내의 유리수 제한요건과 부식성 물질의 포함, 폭발성물질 등 및 킬레이트제 등을 포함한 유해성 물질의 함유를 확인한다. 연구원 내 다양한 시설 및 공정 또는 연구과정에서 발생하는 방사성 폐기물에는 처분 제한 물질이 함유되어 있을 수 있다.

그러나 폐기물 발생자의 부주의 또는 무관심으로 인해 이러한 폐기물이 방사성폐기물처리시설에 공지되지 않고 관리의뢰 될 수 있다. 이의 확인 방법으로는 폐기물 발생부서에서 폐기물의 관리의뢰 시 ‘방사성폐기물 발생정보 기록물’을 첨부하도록 한다. 여기에는 폐기물의 발생원 및 발생공정에 대한 설명을 입력하고 유리수, 킬레이트제, 부식성, 폭발성, 유해성 및 분산성물질과 같은 처분장 인수기준에 따라 금지물질의 유무에 대한 정보를 선택하도록 한다.

방사성폐기물처리시설에서는 이의 직접적 확인이 어려우므로 방사성폐기물관리의 중요성에 대한 발생자의 인식이 향후 방사성폐기물 관리에서의 중요한 인자가 될 것이며, 이의 개선을 위해 폐기물 수집 및 관리부서가 폐기물 발생부서에게 개선을 지속적으로 요구할 수 있는 시스템이 필요할 것으로 판단된다.

The logo for KAERI (Korea Atomic Energy Research Institute) is centered on the page. It features the word 'KAERI' in a bold, sans-serif font. Above the text is a stylized graphic consisting of several curved lines and dots, resembling a molecular structure or a network diagram.

제 2 절 원전제염해체기술개발부 관리대상 폐기물

1. 폐기물 분류기준

원전제염해체기술개발부에서 발생한 방사성폐기물은 서울 공릉동 소재 연구로 1, 2호기와 대전 연구원 소재 우라늄변환시설의 해체과정에서 발생한 폐기물로 크게 대별될 수 있다.

두 시설 공히 해체계획 시 해체폐기물의 방사능 준위별 처리 기준은 자체처분대상폐기물과 중저준위 고체폐기물로 분류하였다. 그러나 현재 개정하려는 IAEA의 신 분류체계에 따르면 모든 방사성폐기물은 극저준위와 저준위폐기물로 구분된다.

연구로 해체폐기물 중 액체폐기물은 모두 현장에서 처리하여 최종 고체폐기물로 전환되었다. 우라늄변환시설의 해체 시 발생한 액체폐기물중 유기폐액을 제외한 모든 액체폐기물은 화학적 특성이 유사한 라군 슬러지폐액과 함께 처리되어 고체폐기물로 최종 전환되었고, 2.8m³의 유기폐액은 현재 재료조사시험평가부 소속 폐기물처리시설에 이송 저장 중에 있다. 따라서 두 시설의 해체과정에서 발생한 해체폐기물은 고체폐기물의 형태로 서울과 대전의 해체폐기물 저장시설에서 저장 관리 중에 있다.

연구로 해체폐기물은 폐기물의 물리 화학적 특성에 따라 콘크리트, 토양, 금속, 가연성 잡고체, 비가연성 잡고체, 흑연, 폐수지 폐기물로 분류하여 저장 관리 중에 있다. 금속폐기물 중 알루미늄과 납은 방사성폐기물 처분장의 인도요건에 부적당 대상 폐기물로 분류되어 일반 금속폐기물과 구분하여 저장 관리하고 있다.

우라늄변환시설 해체폐기물은 토양, 콘크리트, 금속폐기물이 대부분이며, 가연성 잡고체, 비가연성 잡고체, 우라늄잔류물질, 라군 질산염 슬러지 폐기물 처리후 폐기물로 분류하여 저장 관리하고 있다. 이들 중 우라늄잔류물질과 라군 질산염 슬러지 폐기물 처리 후 폐기물은 함유된 우라늄의 농도가 높기에 방사성폐기물과 구분하여 우라늄잔류물질 저장시설에 저장 관리 중에 있다. 따라서 본 보고서에서는 우라늄변환시설 해체에서 발생한 폐기물 중 액체폐기물과 핵물질로 분류되어 우라늄잔류물질 저장시설에서 관리중인 폐기물은 제외하여 다루기로 한다.

2. 폐기물 종류별 현재 관리량 및 향후 발생 예상량

가. 서울 연구로 해체폐기물

서울 연구로의 해체폐기물은 현재 해체가 완료된 연구로 2호기 원자로 실에 그림 2-2-1과 같이 저장 관리하고 있으며, 해체폐기물 관리현황은 표 2-2-1과 같다. 이들 폐기물 중 토양 108 드럼, 콘크리트 335 드럼, 일반 금속 39드럼, 비가연성 잡고체 22드럼, 방사능농도가 높아 차폐가 필요한 금속폐기물을 포장한 cask 1개는 방사성폐기물 처분장으로 최종 처분해야할 폐기물이다. 그리고 처분장 처분이 곤란한 금속폐기물 중 알루미늄과 납 4m³ 컨테이너 3개, 레진폐기물 4드럼, 흑연폐기물 4m³ 컨테이너 3개, 방사능 농도가 높은 알루미늄 폐기물 cask 3개는 추후 대전 본원 폐기물 저장시설로 이송하여 관리해야 할 것이다. 그리고 가연성 잡고체 125드럼 대전 본원으로 이송하여 가연성폐기물 처리시설에서 처리할 예정이다.



그림 2-2-1. 연구로 2호기 원자로실 폐기물 저장현황

표 2-2-1. 연구로 해체폐기물 발생량

용기	토양	콘크리트	금속		비가연성 잡고체		가연성 잡고체	합계
			일반	Al/납	일반	흑연/레진		
200L	108	335	39	9	22	4(레진)	125	642
4M ³	-	-	-	2(Al)/1(납)	-	3(흑연)	-	6
Cask	-	-	1	3(Al)	-	-	-	4

연구로 해체폐기물의 향후 발생 예상량은 연구로 1호기의 해체를 종료하면서 마무리 단계에서 콘크리트 및 토양 폐기물과 시설 해체를 위해 운영하였던 환기설비 등과 같은 장비의 해체를 통해 약 50드럼 내외의 폐기물이 추가로 발생할 것으로 추정된다.

나. 우라늄변환시설 해체폐기물

대전 본원 우라늄변환시설 해체폐기물의 관리현황은 표 2-2-2와 같다. 여기서 방사성폐기물로 KINS 및 KORAD에 보고 시에는 4m³ 컨테이너는 내적(3.45m³) 기준으로 200L 드럼 17.25개로, 1m³ 컨테이너는 200L 드럼 5개로, 대용량 토양폐기물 전용저장고는 토양폐기물 1m³을 200L 드럼 5개로 환산하여 보고하고 있다. 그러나 실제 200L 드럼에 저장 시에는 4m³ 및 1m³ 컨테이너의 경우 어느 정도 오차가 있다. 또한 대용량 토양폐기물 전용저장고의 경우 저장고의 용량이 대용량 토양폐기물 전용저장고 I 및 II의 저장용량이 각각 950m³과 720m³로 폐기물이 압밀되어 저장되어 있기에 이를 실제 200L 드럼으로 재포장 시에는 오차가 발생할 것으로 예측된다.

표 2-2-2. 우라늄변환시설 해체폐기물 관리현황

(단위: 수량)

종 류	200L 드럼	220L 드럼	4m ³ 컨테이너	1m ³ 컨테이너	대용량 토양폐기물 전용저장고
금 속	-	74	14	15	-
콘크리트	1,077	-	15	-	-
토 양	482	-	-	-	1,600 m ³
가연성잡고체	221	-	1	-	-
비가연성잡고체	102	-	6	-	-
라군 슬러지 처리 후 폐기물	141	-	0	-	-
총 계	2,023	74	36	15	1,600 m ³

현재 해체폐기물은 가연성폐기물 처리시설 부속 해체폐기물 저장고-1 (그림 2-2-2) 및 2 (그림 2-2-3)에서 저장 관리하고 있다. 해체폐기물 저장고-1은 가연성 폐기물 처리시설 옆에 위치하고 있으며 저장용량은 200L 드럼 기준 8,820 드럼이다. 해체폐기물 저장고-2는 우라늄변환시설 운영 시 슬러지폐기물을 저장 관리하였던

라군 시설을 개조하여 폐기물 저장고로 운영하고 있다. 저장고-2는 우라늄변환시설 해체시 발생하였던 토양폐기물을 저장하기 위한 대용량 저장고로 구성되어있으며, 저장용량은 200L 드럼 기준 8,800 드럼이다.



그림 2-2-2. 해체폐기물 저장고-1



그림 2-2-3. 해체폐기물 저장고-2

해체폐기물 저장고 별 저장현황은 표 2-2-3과 같다. 해체폐기물 중 200L 드럼 964개와 4m³ 컨테이너 36개는 재료조사시험평가부에서 운영 관리하고 있는 제1방사성폐기물저장시설에서 관리 중에 있다. 우라늄변환시설은 해체공사가 종료되어 해체폐기물은 더 이상 발생하지 않고 있다.

표 2-2-3. 우라늄변환시설 해체폐기물 저장시설별 관리 현황

(단위: 수량)

저장고	200L 드럼	220L 드럼	4m ³ 컨테이너	1m ³ 컨테이너	토양
해체폐기물 저장고-2	276	74	-	15	1,600 m ³
해체폐기물 저장고-1	783	-	-	-	-
제1방사성폐기물저장시설	964	-	36	-	-
총계	2,023	74	36	15	1,600 m ³

3. 폐기물의 발생원

폐기물의 발생원은 해체 대상 시설의 특성에 따라 분류된다. 원전제염해체기술개발부에서 발생한 해체폐기물은 크게 연구로 1, 2호기의 해체과정에서 발생한 폐기물과 우라늄변환시설에서 발생한 폐기물로 구분할 수 있다. 현재 연구로 1, 2호기 해체과정에서 발생한 폐기물은 현재 해체공사가 완료된 연구로 2호기 원자로실에 저장 관리 중에 있다. 그리고 우라늄변환시설 해체공사에서 발생한 폐기물은 가연성폐기물처리시설 부속 해체폐기물 저장고-1, 2 및 재료조사시험평가부에서 관리중인 제1방사성폐기물저장시설에 분산 저장 관리하고 있다.

4. 폐기물의 방사선학적 특성

가. 서울 연구로 해체폐기물

연구로 해체폐기물은 연구로 운영과정에서 발생된 중성자에 의해서 구조물의 방사화에 따라 다양한 핵종이 검출되며, 대표적인 핵종은 Co-60이다. 연구로 해체과정에서 가장 방사화가 진행된 부분은 원자로심 주변의 구조물로 수중에서 원격으로 해체를 수행하였고, 방사선량률이 높은 지점에 대하여 대표시료를 채취하여 감마분광분석 및 화학분석방법을 적용하여 분석을 수행하였다. 연구로 해체에서 발생한 원자로심 주변의 철재폐기물에 대한 방사화 분석결과를 표 2-2-4에 나타내었다.

표 2-2-4. 연구로 2호기 방사화 현황

구 분	구성물질	방사선원 및 방사능 (Bq/g)
원자로심 구조물	철재	H-3 : 1.59E+03
		C-14 : 4.38E+01
		Fe-55 : <MDA
		Co-58 : <MDA
		Co-60 : 2.34E+05
		Ni-59 : 8.62E+03
		Ni-63 : 6.47E+05
		Sr-90 : 1.35E+02
		Nb-94 : <MDA
		Tc-99 : 3.05E+00
		I-129 : <MDA
		Cs-137 : <MDA
		Cs-144 : <MDA

연구로 수조 콘크리트도 중성자에 의해서 방사화가 진행되어 이에 대한 핵종별 재고량을 평가하였다. 시료는 원자로심과 동일한 높이에서 가장 방사화가 많이 진행된 Thermal Column 주변에서 깊이 별로 시료를 채취하여 분석하였다. 주요 검출 핵종은 H-3, C-14, Fe-55, Co-60, Cs-134, Eu-152/154 이었다. 이들 중 H-3과 C-14은 산화연속법을 적용하여 분석하였고, Fe-55과 Ni-63은 추출 크로마토그래피 법으로 추출한 후 액체섬광계수기를 이용하여 분석하였다. 측정결과 원자로심과 가까운 부분에서 채취된 시료는 상대적으로 방사능 준위가 높고, 깊이별 방사능 분포는 지수적으로 감소하는 형태를 보여주었다. H-3의 경우 최대 1,690 Bq/g이 검출되었으며, C-14의 경우 매우 미량이 출되었다. Fe-55의 경우도 최대 1,298 Bq/g까지 검출되었다. 그러나 Ni-63은 모든 시료에 대하여 검출되지 않았다. 이러한 측정결과를 바탕으로 방사화에 대한 주요 핵종인 Co-60에 대한 난검출성 핵종(H-3, C-14, Fe-55)에 대한 상관관계를 분석하고 척도인자를 도출하였다. 그림 2-2-4는 Co-60에 대한 H-3의 상관관계를 나타낸 것이다. 평가결과 기하평균보다 지수선형회기 방법이 더 우수한 상관성을 보여주고 있으며 그 결과를 표 2-2-5에 요약하여 정리하였다.

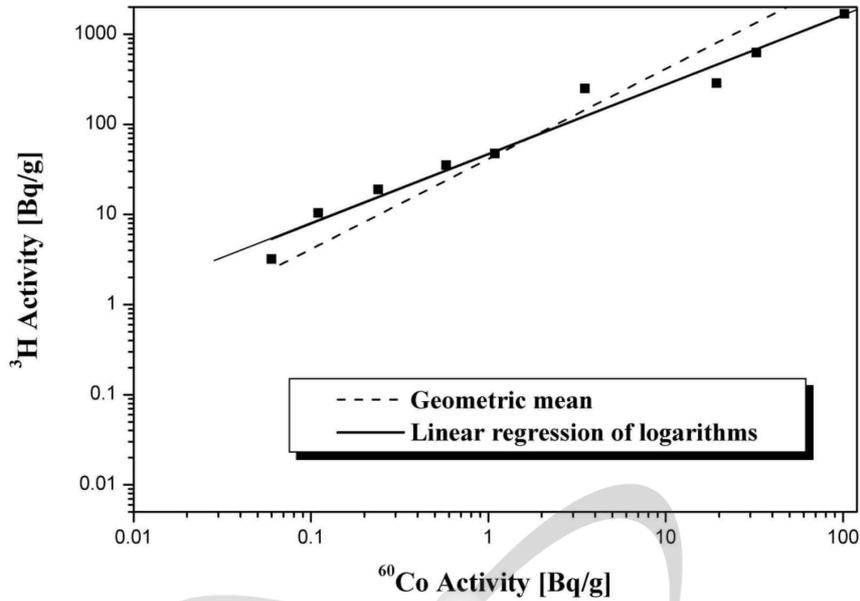


그림 2-2-4. 연구로 2호기 수조콘크리트에 대한 Co-60과 H-3의 상관성 분석결과

표 2-2-5. 주핵종 및 난검출성 핵종에 대한 척도인자 평가결과

주요핵종	난검출핵종	평가방법	척도인자
Co-60	H-3	linear regression of logarithms	$Y=0.77X+1.67$
	C-14		$Y=0.62X-1.86$
	Fe-55		$Y=0.96X+1.26$

연구로 해체과정에서 발생 폐기물의 방사능 농도는 신 분류 체계에서 극저준 위로 분류되는 10Bq/g 미만의 폐기물이 전체 폐기물의 약 80%를 차지하고 있다. 그리고 이 값 이상의 저준위 폐기물이 약 20%를 차지하고 있다. 또한 방사능농도가 약 700 kBq/g 이상의 금속폐기물이 4개의 Cask에 저장 관리되고 있으며, 이 중에서 3개의 Cask는 알루미늄이고 1개의 Cask는 일반 금속폐기물이다.

자체처분 대상폐기물은 해체공사 중 이미 분류 관리하고 있어, 본 보고서에서는 따로 언급하지 않았다.

나. 우라늄변환시설 해체폐기물

우라늄변환시설에 존재하는 방사성물질은 우라늄동위원소와 일정 기간 방사성 붕괴를 거친 후 생성되는 자핵종들이다. 우라늄동위원소들의 초기 방사능은 붕괴상수와 원자개수의 곱으로 쉽게 평가할 수 있다. 천연우라늄 1 g의 총 방사능은 2.56E+04 Bq이며, 이 중 U-234 핵종의 방사능이 49.6 %, U-235 핵종이 2.2 %, U-238 핵종은 48.2 % 분율로 포함된다. 이러한 분율은 알파입자에 대한 방사능 1 Bq을 기준한 것과 동일하다. 변환시설 내부 기기 및 시설의 방사능은 표면오염도로 주어지므로 20년의 방사성붕괴를 고려한 핵종별 방사능 및 방사능 분율을 표 2-2-6에 나타내었다.

표 2-2-6. 20년 방사성붕괴를 고려한 핵종별 방사능 및 방사능분율

핵종	우라늄 1 g에 대한 방사능 [Bq]	알파입자 1 Bq에 대한 방사능분율
U-238	1.2346E+04	4.8197E-01
Th-234	1.2346E+04	4.8197E-01
Pa-234m	1.2346E+04	4.8197E-01
Pa-234	1.9753E+01	7.7115E-04
U-234	1.2693E+04	4.9554E-01
Th-230	2.2851E+00	8.9208E-05
Ra-226	9.8711E-03	3.8536E-07
Rn-222	9.8562E-03	3.8478E-07
Po-218	9.8562E-03	3.8478E-07
Pb-214	9.8541E-03	3.8470E-07
Bi-214	9.8541E-03	3.8470E-07
Po-214	9.8520E-03	3.8462E-07
Pb-210	1.7627E-03	6.8814E-08
Bi-210	1.7577E-03	6.8620E-08
Po-210	1.6269E-03	6.3515E-08
U-235	5.7622E+02	2.2495E-02
Th-231	5.7622E+02	2.2495E-02
Pa-231	2.4373E-01	9.5152E-06
Ac-227	6.3438E-02	2.4766E-06
Th-227	6.2146E-02	2.4261E-06
Fr-223	8.7544E-04	3.4177E-08
Ra-223	6.2763E-02	2.4502E-06
Rn-219	6.2763E-02	2.4502E-06
Po-215	6.2763E-02	2.4502E-06
Pb-211	6.2762E-02	2.4502E-06
Bi-211	6.2762E-02	2.4502E-06
Po-211	1.7134E-04	6.6890E-09
Tl-207	6.2590E-02	2.4435E-06
TOTAL	5.0905E+04	1.9873E+00

토양폐기물이외의 대부분의 발생 폐기물의 방사능 농도는 10Bq/g이나, 토양폐기물은 평균 약 100Bq/g을 나타내고 있다. 자체처분 대상폐기물은 해체공사 중 이미 처리 및 분류하여 관리하고 있으나, 추후로 토양, 콘크리트, 금속폐기물의 처리를 통하여 발생할 예정이다.

5. 처분 제한 물질의 함유가능성

연구로 및 우라늄변환시설 해체 시 고체방사성폐기물 관리절차서에 따라 모든 고체폐기물은 유리수, 부식성 및 인화성 물질이 함유되지 않은 상태로 폐기물 저장 용기에 포장되었기에 처분 제한 물질의 함유가능성은 없다.



제 3 절 첨단방사선연구소(정읍) 관리대상 폐기물

1. 폐기물 분류기준

가. 농도 및 준위별

첨단방사선연구소에서 발생하는 고체폐기물은 원규의 방사성폐기물관리규정에 의거하여 방사능의 준위 및 성분을 표 2-1-1과 같이 분류한다. 가능한 한 같은 종류 및 동일 핵종으로 분류, 수집함을 원칙으로 한다.

나. 종류별

내용물에 따라 표 2-1-2와 같이 가연성, 비가연 압축성, 비가연 비압축성으로 구분한다. 분류된 고체 방사성폐기물은 관리규정의 수집, 포장지침에 따라 200 ℓ 용량의 원통형 드럼용기 내에 2~3 개의 소포장 단위로 분리, 수집한 후 각 수집물에 꼬리표를 부착하여 넣는다. 액체폐기물의 수집용기는 이중마개의 25L 용량의 폴리에틸렌용기를 사용하고 무기용액과 유기용액으로 분리하여 수집한다. 포장이 완료된 후 드럼용기에 방사선량률, 종류, 주요핵종, 폐기물의 양, 내용물, 폐기일시, 발생 시설책임자 및 발생부서를 기록한 방사성폐기물 표지를 작성하여 부착한다.

2. 폐기물 종류별 현재 관리량 및 향후 발생 예상량

가. 연도별 발생현황

첨단방사선연구소의 2006년 개소한 이후 고체 방사성폐기물은 연간 100L 미만 발생하였으며 2009년에 본원으로 인도하였다. 발생한 폐기물 중에는 가연성폐기물이 90%를 차지하고 있다. 근래에는 다양한 생물연구 및 RI-Biomics동의 인허가로 인하여 개봉선원을 이용한 연구가 증가함에 따라, 액체폐기물과 고체폐기물이 발생하고 있다. 표 2-3-1은 첨단방사선연구소 폐기물 관리현황을 나타내었다.

표 2-3-1. 첨단방사선연구소 폐기물 관리현황

(단위 : ℓ)

구분 년도	고체 폐기물					액체 폐기물					동물사체	
	가연성			비가연성		수용성			불용성			
	발생	반송 폐기	보관	발생	보관	발생	반송 폐기	보관	발생	보관	발생	보관
'06년	17	-	31	-	-	17	-	53	-	-	-	-
'07년	73	-	254	-	-	9	-	89	4	10	-	-
'08년	78	-	558	-	-	18	-	152	5	27	-	-
'09년	32	200	581	-	-	10	40	169	5	52	-	-
'10년	10	-	23	0.12	0.15	3.5	-	65.5	-	56	0.52	0.56
'11년	36.5	-	105.5	6.05	11.43	31.1	-	122.1	0.3	56.3	2.02	6.14
'12년	34.2	-	257.1	3.4	34.58	13.8	-	230.8	0.3	58.3	15	43.16
'13년	669.3	-	1545.44	85.43	160.44	35.25	-	306.05	0.7	60.5	6.8	95.76

나. 향후 발생 예상량

(1) 고체방사성폐기물의 발생원

2013년 11월 26일 사이클로트론을 이용한 방사성동위원소의 생산허가를 득하였고, 운전 및 동위원소의 생산과 더불어 RI-Biomic 연구시설의 정상가동으로 인하여 고체 및 액체 방사성폐기물의 발생은 증가할 것으로 예상된다. 다만, 대부분의 핵종이 반감기가 매우 짧은 단 반감기 핵종을 주로 사용하고 있다.

표 2-3-2. 방사성폐기물 추정 발생량

(단위 200L 기준)

	폐기물 종류								계
	가연성	비가연성	폐필터	고 화 폐기물	폐수지	환경정비 폐기물	중준위 폐기물	규제해제	
2014	10	0.5	12	-	1	-	-	10	33.5
2015	10	1	12	-	1	-	-	10	34
2016	11	1	13	-	1	-	-	11	37
2017	11	1	13	-	1	-	-	11	37
2018	11	1	14	-	1	-	-	11	38
2019	12	1	14	-	1	-	-	12	40
2020	12	1	14	-	1	-	-	12	40
계	77	6.5	92	0	7	0	0	77	259.5
백분율	30%	3%	35%	0%	3%	0%	0%	30%	100%

이에 대한 폐기물의 발생과 동시에 체계적인 분류작업을 통해 규제해제 기간 산정이 길어지지 않게 하는 것이 방사성폐기물의 종합적인 관리 목표이다.

방사성물질을 취급 또는 발생시키는 시설의 계획, 설계단계에서부터 운영, 폐쇄에 이르기까지 수행되는 모든 행위에서 폐기물 발생원의 최소화, 재순환 및 재활용, 폐기물 관리 최적화를 위한 방사선안전관리가 필요하다.

(2) 액체방사성폐기물의 발생원

2013년 중반부터 RI-Biomic동의 정상운영과 2013년 말의 사이클로트론의 생산허가로 시설로부터 시험하고 나온 초자그릇의 세척액이 발생되고 있으나 현재까지는 실험에 사용된 농도가 높은 방사성동위원소 원액은 별도로 분리 보관하여 저장하고 있어 시설별로 설치된 지하 저장탱크의 액체폐기물 발생량은 매우 미비하다.

발생원에 대한 폐기물 발생량 추이를 현재로서는 추정하기 곤란하나 보수적으로 발생량을 다음과 같이 추정하여 보았다.

표 2-3-3. 발생원별 액체방사성폐기물 종류별 발생량

(단위 : m³)

연 도 발생원	2013	2014	2015	2016	2017	계	백분율
사이클로트론 동위원소 생산	-	1	5	10	20	36	70%
RI-Biomic동	0.1	0.5	1	3	10	14.6	29%
기타 연구실	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	1%
계	0.2	1.6	6.1	13.1	30.1	51.1	100%

3. 폐기물의 발생원

가. 방사성동위원소 허가 현황 및 시설별 사용핵종현황

첨단방사선연구소에는 방사성동위원소를 사용할 수 있는 시설(이하 “RI시설”이라 함)과 방사선을 발생시키는 장치가 설치되어 운영되는 시설(이하 “RG시설”이라 함)이 있다.

RI시설은 밀봉선원을 사용할 수 있는 시설(이하 “밀봉선원 사용시설” 이라 함)과 비밀봉선원을 사용 할 수 있는 시설(이하 “비밀봉선원 사용시설” 이라 함)로 구분할 수 있으며, 밀봉선원이 사용되고 있는 건물은 “방사선 조사연구동”, “감마파이토트론동”, “RFT실용화센터”가 있고 비밀봉선원을 사용할 수 있는 건물은 “본관동(128호 실험실)”, “사이클로트론 종합연구동”, “RI-Biomics 연구동”이 있다.



그림 2-3-1. 첨단방사선연구소 RI 및 RG 시설 조감도

RG시설은 방사선조사연구동 내에 “전자선가속기”와 “가속이온주입기”가 설치되어 있고 “이동형가속기”는 중앙참고에 보관 및 운영하고 있다. PET/SPECT-CT는 사이클로트론 종합연구동 동물실험실에 설치되어 있었으나 RI-Biomics 연구동 완공에 따라 이전 설치하였다.

또한 지하 1층, 지상 3층 규모의 RI-Biomics 연구동을 2011년 3월에 착공하여 2012년 11월에 준공을 완료하였으며 2013년부터 운영되었다. 첨단방사선연구소 RI 및 RG 시설의 조감도를 그림 2-3-1에 나타내었다.

표 2-3-4. 첨단방사선연구소 허가현황

(2012년 12월 기준)

허가 종류		연간 사용 허가량	사용 장소	비고
밀봉	사용	· 17,652,703,539.07183 MBq	RFT 실용화센터, 감마셀 조사실, 고·저준위 조사시설, 방사선 조사연구동, 사이클로트론 종합연구동, 중앙창고, 감마파이드론	Co-57 등 10종
비밀봉	사용	· 7,642,498 MBq	RI-Biomics 연구동, 본관동 128호, 사이클로트론 종합연구동	Ag-105 등 37종
	생산	· 55,696,100 MBq	30 MeV 사이클로트론 이용 (허가 진행중)	F-18 등 11종
발생장치	사용	· 엑스선발생장치 80kV, 1mA × 1 · 엑스선발생장치 50kV, 40μA × 1 · 선형가속장치 10MeV, 1mA × 1 · 변압기형가속장치 0.6MeV, 33mA × 1 · 가속이온주입기 300keV, 8mA × 1	사이클로트론 종합연구동 사이클로트론 종합연구동 전자가속기조사시설 이동사용 조사시설 A-109호	

(1) 밀봉선원 사용시설

밀봉선원 사용시설은 방사선조사연구동 내에 고·저준위 조사시설이 설치·운영되고 있고, 감마파이드론동 내에 감마파이드론이 설치·운영되고 있다. 또한 밀봉선원을 내장한 소형 조사장치로 감마셀이 방사선조사연구동 지하에 설치·운영되고 있다. 고·저준위 조사시설과 감마파이드론은 ^{60}Co 선원을 사용하고, 감마셀은 ^{137}Cs 선원이 장착되어 있다. 각 시설 및 장치의 허가량을 보면 저준위 조사시설은 1.11×10^8 MBq(3,000 Ci), 고준위 조사시설은 1.74×10^{10} MBq(470,000 Ci), 감마파이드론은 1.85×10^7 MBq(500 Ci), 감마셀은 1.33×10^8 MBq(3,600 Ci)이다.

표 2-3-5. 밀봉선원 보유현황

[2012년 12월 기준]

시 설 명	핵종	허가량	초기량	현재량	비고
고준위 조사시설	^{60}Co	1.74×10^{10} MBq (470,000 Ci)	1.11×10^{10} MBq (300,000 Ci)	1.26×10^{10} MBq (341,157 Ci)	'11.11.22일 선원 교체
저준위 조사시설	^{60}Co	1.11×10^8 MBq (3,000 Ci)	1.11×10^8 MBq (3,000 Ci)	4.17×10^7 MBq (1,126 Ci)	-
감마파이토티론	^{60}Co	1.85×10^7 MBq (500 Ci)	1.48×10^7 MBq (401 Ci)	1.28×10^7 MBq (346 Ci)	'11.11.22일 선원 교체
감마셀	^{137}Cs	1.33×10^8 MBq (3,600 Ci)	1.33×10^8 MBq (3,600 Ci)	1.09×10^8 MBq (2,935 Ci)	-

(가) 고준위 감마선 조사장치

기존에 사용 하던 선원 중 방사능량이 낮아 활용도가 없는 선원 9개는 2011년 12월 8일 부산신항만을 통하여 MDS Nordion사로 반송폐기 처리하였다. 따라서, 추후 발생되는 ^{60}Co 선원 또한 전량 반송 폐기할 예정이다.

(나) 감마셀

기기의 고장으로 인하여 추후 발생되는 ^{137}Cs 선원 또한 제작사로 반송 폐기할 예정이다.

(다) 감마파이토티론

기존에 사용 하던 선원은 방사능량이 낮아 활용도가 없어 2011년 12월 8일 부산신항만을 통하여 MDS Nordion사로 반송폐기 처리하였다. 따라서, 추후 발생되는 ^{60}Co 선원(1.28×10^7 MBq) 또한 전량 반송 폐기할 예정이다.

(2) 개봉선원 사용시설

(가) 본관동 128호

본관동 128호는 비밀봉선원을 사용하는 실험실로서 ^{32}P , $^{99\text{m}}\text{Tc}$ 을 이용한 표지 실험, ^3H , ^{51}Cr 을 이용한 세포배양 실험 등에 주로 사용하는 시설이다.

표 2-3-6. 본관동 128호 허가핵종 및 허가량

핵종	반감기	허가량 (MBq)	허가량 (mCi)
^{11}C	20.39m	11,100	300
^{14}C	5730y	111	3
^{51}Cr	27.70d	740	200
^{18}F	109.8m	3,700	100
^3H	12.33y	1,110	30
^{125}I	59.40d	111	3
^{111}In	2.805d	3,700	100
^{99}Mo	65.94h	370,000	10,000
^{32}P	14.26d	370	10
^{33}P	25.34d	370	10
^{188}Re	17.005h	74,000	2,000
^{35}S	87.51d	148	4
^{153}Sm	46.50h	740	20
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	6.01h	740,000	20,000
^{201}Ti	72.91h	11,100	300
^{188}W	69.4d	37,000	1,000
총량		1,254,300	34,080

(나) 사이클로트론 종합연구동

비밀봉선원을 이용하여 표지 합성, 동·식물 내에서의 이동 및 흡수 상황을 조사할 수 있도록 2010년 8월 10일에 사이클로트론 종합연구동 일부 시설에 대해 비밀봉선원 임시 사용허가를 받았다.

표 2-3-7. 사이클로트론 종합연구동 비밀봉선원 임시 사용 허가 내역

허가 대상 구역	핵종	허가량 (MBq)	허가량 (mCi)
방사선동위원소 계측/분석실(128)	^{57}Co 외 3종	1,154,400	31,200
방사성동위원소 동물실험실(129)	^{105}Ag 외 27종	1,871,423	50,579
방사성동위원소 개발실(127)	^{198}Au 외 12종	260,850	7,050
이화학실험실(155)	^{57}Co 외 2종	111	3
표지 화합물합성 실험실#1(132)	^{198}Au 외 10종	407	11
표지 화합물합성 실험실#2(133)	^{57}Co 외 2종	59,200	1,600
총 량		3,346,391	90,443

표 2-3-8. 사이클로트론 정상 운영시 발생이 예상되는 핵종별 폐기물 종류 및 발생량

핵종	구분	폐기물종류	발생량		비고
			1회 생산	연간	
Tl-201 (4회/주)	가연성	필터	1개	750g	
		팁	2개	120g	
		피펫	1개	2,600g	
		비닐장갑	3족	5,100g	
		pH용지	약간	5g	
	비가연성	구리판	1개	2,750g	
		Stainless steel	1개	9,500g	
		Vial	2개	4,000g	
		주사바늘	1개	300g	
		Resin	10g	2,000g	
액체		200ml	40L		
Ga-67 (1회/주)	가연성	필터	1개	188g	
		피펫팁	3개	90g	
		비닐장갑	2족	3,400g	
		pH용지	약간	1g	
		구리판	1개	2300g	
	비가연성	Vial	3개	1500g	
		주사바늘	4개	215g	
		Resin	1g	50g	
		액체		700ml	
	I-123(mlBG) (4회/주)	가연성	필터	2개	
주사기			1개	1,000g	
피펫팁			3개	120g	
비닐장갑			3족	2550g	
pH용지			0.016g	4g	
TLC용지			1g	200g	
비가연성		조사된Al	6.7g	1,340g	
		Vial	2개	4,000g	
		주사바늘	2개	600g	
액체			10ml	2,000ml	
F-18(FDG)	가연성	필터	1개	950g	
		피펫팁	1개	100g	
		pH용지	0.016g	4g	
		Sep-Pak	5개	750g	
	비가연성	조사된Ti혹은Nb		200g	
		주사바늘	1개	350g	
		Vial	1개	2500g	
		Resin	1g	100g	
액체		25ml	7500ml		
기타	가연성	휴지			
	비가연성	범조사된 Al		50g	
	액체				

(다) RI-Biomics 연구동

신약 및 신물질, 천연물 소재, 신농약 개발 및 목적성 신소재 연구와 비밀봉선원을 이용하여 동·식물 내에서의 이동 및 흡수 상황을 조사하기 위하여 안전설비를 충분히 갖춘 비밀봉선원 사용 전용시설이다. 지하 1층, 지상 3층 규모의 RI-Biomics 센터는 2011년 3월에 착공하여 2012년 11월에 준공을 완료하였다. 2010년 7월에 비밀봉 RI 사용허가를 승인 받았으며, 2012년 8월에 시설 변경 및 비밀봉 RI 사용 핵종 추가 및 사용량 증량으로 비밀봉 RI 사용 변경 허가를 승인 받았다. 허가 내역은 표 2-3-9에 나타낸 바와 같다.

표 2-3-9. RI-Biomics 연구동 비밀봉선원 사용 허가 내역

허가 대상 구역	핵종	허가량 (MBq)	허가량 (mCi)
RI 바이오칩 키트개발실	³² P 외 1종	740	20
RI 사육실	¹⁰⁵ Ag 외 29종	39,220	1,060
RI 표지실	¹¹ C 외 11종	379,250	10,250
라이시메타	¹⁰⁵ Ag 외 7종	1,813	49
실험동물처리실	¹¹ C 외 16종	126,096	3,408
작물대사평가실&생육실	¹⁰⁵ Ag 외 7종	1,813	49
표지화합물합성실#1	¹⁴ C	222,000	6,000
표지화합물합성실#2	¹⁰⁵ Ag 외 5종	740,000	20,000
표지화합물합성실#3	¹⁹⁹ Au 외 5종	740,000	20,000
합성실#1	¹⁴ C	55,500	1,500
합성실#2	¹⁴ C	55,500	1,500
핫셀#1	⁹⁹ Mo 외 3종	629,000	17,000
핫셀#2	⁹⁰ Sr	37,000	1,000
환경잔류평가실	¹⁰⁵ Ag 외 7종	1,813	49
제제평가실#1, #2	¹⁰⁵ Ag 외 7종	12,062	326
총 량		3,041,807	82,211

(3) 방사선발생장치 사용시설

(가) 30 MeV 사이클로트론

30 MeV 사이클로트론(RHF-30)은 방사성동위원소 생산 및 연구에 이용되는 가속기로서 수소 음이온(H^{-1}) 가속장치와 4개의 양성자 빔 인출 장치로 구성되어 있다. 사이클로트론에서 생산하는 핵종은 표 2-3-10과 같다.

표 2-3-10. 사이클로트론 생산 핵종

구 분	핵 종
PET(양전자 단층촬영)동위원소	^{123}I , ^{68}Ge , ^{45}Ti , ^{18}F , ^{11}C , ^{15}O , ^{13}N 등
SPECT(단일광자 방출 단층촬영)동위원소	^{62}Zn , ^{57}Co , ^{67}Ga , ^{123}I , ^{111}In 등
암 및 종양 치료용 동위원소	^{103}Pd , ^{67}Cu , ^{186}Re 등

4. 폐기물의 방사선적 특성

첨단 방사선연구소는 모두 37종의 개봉선원에 대해 허가를 득하여 운영하고 있다. 사이클로트론을 이용하여 생산되는 핵종을 제외한 대부분의 핵종이 저에너지 β 이거나 γ 선원으로 반감기가 비교적 짧은 편이다. 사이클로트론에서 생산되는 핵종의 경우 β^+ 붕괴에 따른 0.511MeV의 강한 감마선이 방출되기는 하나 대부분의 핵종이 매우 짧은(수 분정도)반감기를 가지고 있어 발생하는 대부분의 폐기물은 저장시설에 일정기간 저장 후 규제해제폐기물로 분류하여 처리하면 될 것으로 판단된다.

표 2-3-11. 첨단방사선연구소 허가 핵종 및 반감기

핵 종	반감기	허가량	비고
Ag-105	41.29d	35,187MBq	
Au-198	2.695d	3,737MBq	
Au-199	3.139d	34,262MBq	
C-11	20.39m	71,780MBq	
C-14	5730y	344,285MBq	
Co-57	271.7d	18,574MBq	
Cr-51	27.70d	740MBq	
Cs-137	30.04y	370MBq	
Cu-62	9.74m	14,578MBq	
Cu-64	12.70h	15,183MBq	
F-18	109.8m	1,390,171MBq	
Ga-67	3.261d	8,436MBq	
Ga-68	67.63m	96,570MBq	
Ge-68	270.8d	11,100MBq	
H-3	12.33y	33,300MBq	
Ho-166	26.80h	31,339MBq	
I-123	13.27h	39,220MBq	
I-124	4.18d	33,966MBq	
I-125	59.40y	38,591MBq	
I-131	8.02d	42,143MBq	
In-111	2.805d	88,800MBq	
Lu-177	6.73d	8,177MBq	
Mo-99	65.94h	1,297,960MBq	
N-13	9.965m	81,030MBq	
O-15	2.037m	30,340MBq	
P-32	14.26d	32,634MBq	
P-33	25.34d	32,634MBq	
Pt-199	30.8m	37,777MBq	
Re-188	17.005h	237,947MBq	
S-35	87.51d	30,932MBq	
Sm-153	46.50h	37,296MBq	
Sr-89	50.53d	104,340MBq	
Sr-90	28.74y	41,070MBq	
Tc-99m	6.01h	3,244,493MBq	
Tl-201	72.91h	12,136MBq	
W-188	69.4d	105,450MBq	
Y-90	64.10h	36,260MBq	

제 4 절 기장연구로 관리대상 폐기물

1. 폐기물처리시설 설계기준

기장연구로는 현재 설계 단계에 있기에 다음과 같이 폐기물처리시설의 설계기준을 수립하고 있다.

가. 설계 기준

- (1) 원자로 운영에 지장이 없도록 폐기물의 적기 처리와 저장능력 보유
 - 처리와 저장용량의 확보
- (2) 처분장의 방사성폐기물 인수기준에 부합하는 폐기물처리
- (3) 주민과 주변 자연환경의 보호
 - 주변 주민/어민과 환경단체 민원의 소지를 원천 제거

나. 원칙

- (1) 폐기물은 방사능농도, 화학적 특성에 따라 분류/수집
 - 고체: 표면선량을(방사능농도)에 따른 분류/수집
 - 액체: 방사능농도, 화학적 특성(염 농도)에 따라 분류/수집
- (2) 처리/고화 공정은 폐기물 특성을 고려하여 선정
- (3) 처리/고화공정의 요구조건
 - 공정의 단순성
 - 공정의 신뢰성
 - 유지보수의 용이성
- (4) 작업자 피폭의 최소화
- (5) 비용의 적절성
- (6) 체계적인 절차
 - 생산된 고화체의 품질보증
 - 품질의 지속성 유지

2. 폐기물 분류기준

폐기물은 방사능의 준위 및 성분에 따라 분류하며 그 기준은 현행 한국원자력연구원의 방사성폐기물 관리규정에 따른다.

3. 폐기물 발생특성

가. 원자로계통

(1) 고체폐기물

(가) Pool Water Management System

수조 수 정화계통의 이온교환기의 레진 폐기물과 정화필터 폐기물이 각각 연간 1,160리터 및 40리터 발생할 것으로 예상된다.

(나) Primary Purification System

1차 냉각수 정화계통의 이온 교환기에서 발생하는 레진 폐기물과 정화필터 폐기물이 각각 연간 2,240리터 및 50리터 발생할 것으로 예상된다.

(다) Hot Water Layer System

수조 수 고온층 계통의 이온 교환기에서 발생하는 레진 폐기물이 연간 770 리터 발생할 것으로 예상된다.

(2) 액체폐기물

액체폐기물은 1차냉각계통(PCS), 수조 수 관리계통(PWMS), 1차냉각수정화계통(PPS) 및 수조고온층계통(HWLS)에서 냉각계통 드레인 및 누수로 발생되는데 하나의 발생량을 근거로 유추하면 저준위 액체폐기물은 연간 18톤, 극저준위 액체폐기물은 연간 3톤 정도 발생될 것으로 예상된다.

나. Fission Moly 생산시설

Fission Moly 생산은 주당 6개의 Rig(Rig 당 Target 8장)를 연간 50주 취급하며 50년간 시설을 운영하는 것으로 계획하고 있다. 8개 target/Rig × 6 Rig/주 × 50주/년 × 50년 = 120,000 target이 기장로의 수명기간 동안 취급되고 폐기물을 발생할 것으로 추정된다.

(1) 고체폐기물

Fission Moly 생산시설의 Dissolution Hot cell에서는 원자로에서 조사된 U/Al 표적을 용해시킨 후 정제과정에서 Uranium, Fission Product 및 Transuranium 등의 고체폐기물(Uranium Cake) 이 발생한다. 2차 정제과정에서는 Aluminium hydroxide 및 Silver iodide 등이 발생한다. 아래의 예상 발생량은 1 Rig(또는 1 Target Assembly, 8 Targets)를 기준으로 하여 산출하였다.

표 2-4-1. Fission Moly 생산시설의 고체폐기물

	고체폐기물(1차 정제)	고체폐기물(2차 정제)
외형특성	Black-colored solid	White-colored solid
주요 화학조성	<ul style="list-style-type: none"> Sodium diuranate($\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 	<ul style="list-style-type: none"> Aluminium hydroxide($\text{Al}(\text{OH})_3$)
질량 (8 Targets당)	<ul style="list-style-type: none"> 침전물: 0.3 kg ($\sim 100 \text{ cm}^3$) filter cup 포함: 1 kg 	<ul style="list-style-type: none"> 침전물: $\sim 4.35 \text{ kg}$ filter cup 포함: 19 kg
방사선준위	중준위(또는 고준위)	저준위
주요핵종	U, Np, Pu and various fission product	Al, I, Sr, Te, Ru

(2) 액체폐기물

액체폐기물은 99Mo 분리 공정과 이어지는 정제공정에서 발생되며 QC 및 연구 실험에서 발생된다. 위의 공정에서 예상되는 액체폐기물의 화학적 조성, 형태 및 질량은 아래와 같다.

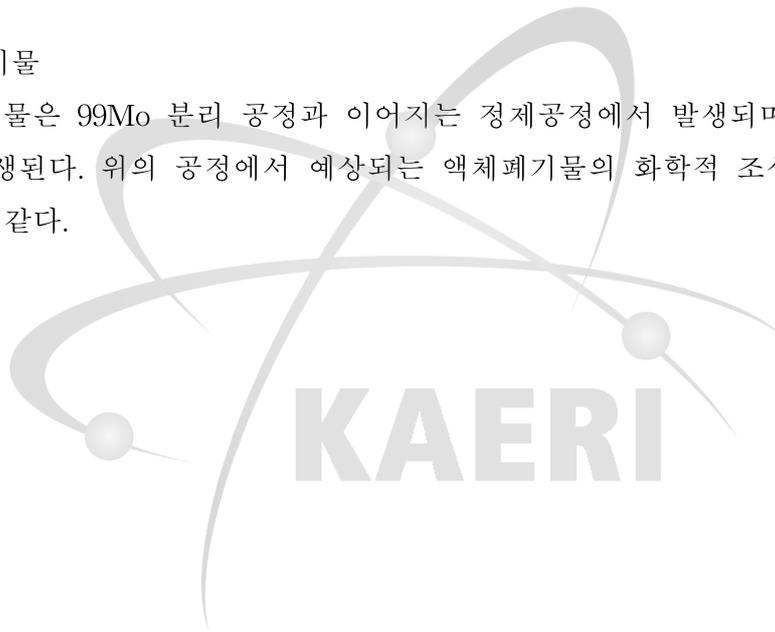


표 2-4-2. Fission Moly 생산시설의 액체폐기물

	액체폐기물 (⁹⁹ Mo 분리시 발생)	액체폐기물 (추가 정제시 발생)	Liquid waste (QC, 실험)
외형특성	transparent liquid	-->	-->
주요 화학조성	[Residue] • sodium nitrate(NaNO_3) ~ 12 mol • sodium nitrite(NaNO_2) ~ 3 mol • ammonia(NH_4OH) ~ 60 mol • ammonium bicarbonate(NH_4HCO_3) ~ 13 mol [decarbonation] • formic acid(HCOOH) ~ 1.14 L • nitric acid(HNO_3) ~ 1.14 L pH 4~5 정도	[washing] • 1N nitric acid (HNO_3) ~ 1L x 2회 • distilled water ~ 1L x 6회 [further purification] • ammonium carbonate($\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$) ~ 1L x 3회 • 1N ammonia(NH_4OH) ~ 1L x 3회 • 1N sodium hydroxide(NaOH) • distilled water ~ 1L x 3회 pH 7~8 정도	• nearly water
발생량	~ 9.5 L	~ 20 L	~ 20 L
방사선준위	중준위	저준위	극저준위
주요핵종	Sr, Cs, I, Te, Ru	I, Te, Ru	

다. RIPF 시설

(1) 고체폐기물

(가) RIPF(GMP 시설 포함) 시설에서 고체 폐기물은 다음과 같은 공정에서 발생한다.

- 1) 방사화된 표적 용기 및 Rig
- 2) 생산 및 연구시 사용되는 장갑, 종이, 가운, 비닐 등

(나) 종류 및 발생량

표 2-4-3. RIPF의 고체폐기물 발생량

준위	발생원	종류	발생량 (드럼*/년)	주요핵종
중준위	RI 생산	폐 표적 용기 및 Rig	25	Na-24, Al-28
저준위	RI 생산	장갑, 종이, 가운, 비닐 등	20	I-131, Ir-192, Lu-177
	방사성의약품 생산	장갑, 종이, 가운, 비닐 등	10	Mo-99, I-131, Lu-177

* 드럼 : 200ℓ 기준

(2) 액체폐기물

(가) RIPF (GMP 시설 포함) 시설에서 액체폐기물은 다음 공정에서 발생

- 1) RI 생산공정의 폐약, 휘발 폐가스 포집액 등(핫셀, Globe Box/Fume Hood 드레인)
- 2) QC 및 연구 실험
- 3) 초자, 손 세척, 장치의 드레인 등

(나) 상기 공정에서 발생될 것으로 예상되는 액체폐기물의 화학적 조성, 형태, 발생량은 다음과 같다.

표 2-4-4. RIPF의 액체폐기물 발생량 및 조성

	핫셀, GB/FH 드레인	초자, 손 세척, 장치 드레인 등
외형특성	transparent liquid	-->
주요 화학조성	<ul style="list-style-type: none"> • pH 7~8 핫셀에서 발생한 동위원소 생산공정 액체폐기물은 핫셀 내 보관용기 또는 중준위 보관탱크로 수집하여 저준위로 감쇠할 때까지 저장 후 이송펌프를 통하여 저준위 수집탱크로 이송	nearly water
발생량	35,000 리터/년	30,000 리터/년
방사선준위	중/저준위	극저준위
주요핵종	I, Mo, Lu, Co, Cs 등 (저준위 분리기준 이하)	

표 2-4-5. 기장연구로 고체 방사성폐기물 예상발생량 종합

구분	시설	발생원 종류	방사능 준위	연간발생량 (드럼*/년)	특성과 처리방법
고체	FM	U Filter Cake (1차 필터)	중준위	1.1	① 보관
		Al Cake (2차 필터)	저준위	16	① 보관 또는 ② 고화: 폴리머/시멘트 - 입자성 물질
		잡고체	저준위	30	
	R I P F	표적용기, RIG	중준위	2.5	① 고정화 기준: 74,000Bq/g 이상
		잡고체	저준위	30	① 압축공정 ② 절단/해체공정 ③ 제염공정
	Rx	폐필터	중준위	0.45	① 고정화 기준: 74,000Bq/g 이상
		폐수지	중준위	20.85	① HIC 또는 ② 고화: 폴리머/시멘트
		잡고체	저준위	30	
	R W T F	폐수지	중준위	1	① HIC 또는 ② 고화: 폴리머/시멘트
		잡고체	저준위	63	① 3시설 발생량의 70%
	합계				① 저준위: 90드럼/년 + RWTF 63드럼/년 ≒ 150 드럼/년 ② 중준위: 4 드럼/년 ③ 폐수지: HIC 4개/년 + RWTF HIC 1 개/5년

* 드럼 : 200ℓ 기준

표 2-4-6. 기장연구로 액체 방사성폐기물 예상발생량 종합

구분	시설	발생원 종류	방사능 준위	연간발생량 (드럼*/년)	특성과 처리방법	
액 체	FM	필터액	중준위	15	①보관 또는 ②고화: 폴리머/시멘트 - 염농도 600 g/L	
		Washing액 등	저준위	31.5	①중발농축/RO, - 염농도 30g/L ②농축액 -고화: 폴리머/시멘트	
		QC/실험실 발생 (관리구역)	극저준위	50	①자연증발	
	R I P F	핫셀, 작업구역 발생	저준위	175	①이온교환/RO	
		실험실 발생 (관리구역)	극저준위	150	①자연증발	
	Rx	공정 폐액	저준위	90	①이온교환/RO	
		바닥배수 등	극저준위	15(※)	①이온교환/RO	
	R W T F	제염	저준위	60	①이온교환/RO ②원자로 발생량의 20%	
		바닥배수, 세탁	극저준위	85	①이온교환/RO ②원자로 발생량의 40%	
	합계	① 극저준위: 200드럼/년 + RWTF 85드럼/년 = 285드럼/년 ② 저준위: 296.5드럼/년 + RWTF 60드럼/년 = 356.5드럼/년 ③ 중준위: 15드럼/년				

* 드럼 : 200ℓ 기준

※ RX의 바닥배수 15 드럼은 FM 시설의 극저준위 폐기물 양에 포함

제 3 장 처분관련 요건 파악

중·저준위 방사성폐기물의 영구 처분과 관련된 규정으로는 산업통상자원부의 ‘방사성폐기물 관리법(법률 제11961호)’, ‘방사성폐기물 관리비용 및 사용후핵연료관리부담금 등의 산정기준에 관한 규정(고시 제2013-63호)’, ‘방사성폐기물 인수방법 등에 관한 규정(고시 제2013-128호)’, ‘중·저준위 방사성폐기물처분시설의 유치지역에 관한 특별법(법률 제11690호)’ 등이 있으며 원자력안전위원회의 ‘중·저준위 방사성폐기물 인도규정(고시 제2013-29호)’, ‘방사성물질 등의 포장 및 운반에 관한 규정(고시 제2013-27호)’ 등이 있다. 또한 극저준위 방사성폐기물의 자체처분에 대한 규정으로 ‘방사성폐기물의 자체처분에 관한 규정(고시 제2013-33호)’가 있다.

본 장에서는 연구원에서 보유하고 있는 중·저준위 방사성폐기물의 영구처분을 위하여 검토해야할 법적 사항 및 처분장 운영 절차 등을 논의하게 된다.

제 1 절 처분 관련 규정

1. 중·저준위 방사성폐기물 인도규정

중·저준위 방사성폐기물 인도규정은 원자력안전법에 따라 중·저준위 방사성폐기물의 처분을 폐기시설 등 건설·운영자에게 위탁하고자 하는 자가 중·저준위 방사성폐기물을 인도하는데 필요한 인도방법·절차 및 기타 필요한 사항 등을 정하고 있다.

인도규정에서 중요한 사항은 영구 처분을 위해 폐기물 포장물이 갖추어야 할 일반 요건, 폐기물 인수의뢰신청에 필요한 서류, 포장물 표지 등에 대한 요건을 정의하고 있다는 것이다. 해당 규정 내 여러 사항 중 연구원의 중·저준위 방사성폐기물의 처분과 관련된 주요 항목을 정리하면 다음과 같다.

가. 방사능 농도 등의 제한

영구 처분에 있어 처분 농도 제한치는 다음의 표와 같으며, 표에서 규정하지 않은 방사성핵종에 대해서는 해당 처분시설에 대한 안전성분석보고서에 제시된 방사능 농도 미만일 것을 요구하고 있다.

표 3-1-1. 핵종별 처분 농도 제한치

핵종	처분 농도 제한치 (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
전알파	3.70E+3

나. 핵종 규명

폐기물에 포함되어 있는 전체 방사성핵종의 95% 이상을 규명하여야 하며, H-3, C-14, Fe-55, Co-58, Co-60, Ni-59, Ni-63, Sr-90, Nb-94, Tc-99, I-129, Cs-137, Ce-144, 전알파 등에 대해서는 농도 규명이 필요하다.

방사성핵종 규명의 방법으로는 다음의 3가지가 주어져 있다.

- 방사선 계측 등의 직접 측정 : 해당 계측시스템은 표 3-1-1의 핵종에 대하여 처분 농도제한치의 1% 수준을 평가할 수 있는 능력의 보유필요. 기타 핵종에 대해서는 이에 준하는 측정 성능 필요
- 척도인자 등 간접 평가 : 예측의 정확도 제시 및 척도인자의 보수성 필요. 척도인자의 확인주기는 2년에 1회 이상 (폐기물 조성에 변화를 줄 수 있는 요인이 발생한 경우에는 그때마다 실시)
- 물질수지 등을 이용한 이론적 평가방법 : 예측의 정확도 제시 및 척도인자의 보수성 필요.

다. 고형화의 조건

고형화 폐기물은 다음 각 조건을 만족하여야 한다.

- 유동성이 있는 폐기물을 고형화 하는 경우에는 고형화 폐기물은 균질하게 고형화 되어야 한다.
- 고형화 폐기물은 함유하고 있는 방사성핵종의 침출이 처분 환경에서 제한될 수 있도록 적절한 방법으로 고형화 처리 및 포장되어야 한다.
- 고형화 폐기물은 취급시 예상되는 상황과 처분시 예상되는 압력 및 온도 변화에서 그 구조적 건전성을 유지할 수 있도록 충분한 기계적 강도를 가져야 하며, 물과 접촉하는 환경에서 그 형태를 유지할 수 있어야 한다.

라. 유리수

포장물 내의 유리수는 최대한 제한되어야 하며, 폐기물 부피의 0.5%를 초과해서는 안 된다. 다만, 고건전성용기를 사용하는 경우에는 폐기물 부피의 1% 이상 초과해서는 안 된다.

마. 기타

- 포장물의 외부표면은 가능한 한 더러운 물질, 수분, 기타 제거성 표면오염이 없어야 함
- 부식성물질을 포함하는 폐기물은 부식성이 완화되어야 하며, 부식에 견딜 수 있도록 포장되어야 함
- 폭발성, 인화성, 발화성 물질 등을 포함한 폐기물은 적합한 처리를 통한 위험성 제거 필요
- 방사분해, 생물학적 및 화학적 반응에 의한 가스, 증기 및 액체를 발생시켜 포장물의 건전성이나 처분시설의 성능을 저하시켜서는 안 됨
- 유독성이나 부패성 및 전염성 물질이 포함된 폐기물은 이러한 위험성의 제거 필요
- 킬레이트제 등을 포함하는 폐기물은 처리과정 중에 그 특성이 제거되거나 0.1% 이상 함유된 폐기물은 명시되어야 하며 처분장 요건에 부합되도록 제한되어야 함

2. 방사성폐기물 인수방법 등에 관한 규정

방사성폐기물 인수방법 등에 관한 규정은 방사성폐기물관리사업자가 방사성폐기물 발생자로부터 폐기물을 인수하는 데 필요한 인수방법, 절차와 그 밖에 필요한 사항과 처분요건에 따라 폐기물이 갖추어야 하는 특성 등을 규정하고 있다.

해당 규정에는 폐기물 인수 방법과 관련하여 방사성폐기물 운반물 번호 부여 체계, 방사성폐기물 운반물 자료 등을 규정하고 있으며 규정 내 여러 사항 중 연구원의 중·저준위 방사성폐기물의 처분과 관련된 주요 항목을 정리하면 다음과 같다.

가. 발생지 예비검사

관리사업자는 발생지에서 예비검사를 실시한 후 2주 이내에 폐기물 운반물의 인수여부를 발생자에게 통보하여야 하며, 검사의 방법은 다음과 같다.

- 검사는 장비의 효율 및 오차를 고려하여 발생자가 사용하고 있는 검사 장비를 사용하여 수행한다.
- 서류검사 및 육안검사는 전수검사를 하고, 이 외의 실측검사는 표본검사로 한다.

- 실측검사는 비파괴검사를 원칙으로 하되, 필요시 개봉 및 파괴하여 검사할 수 있다.
- 검사 후 폐기물 운반물별로 합격여부를 표시한다.
- 발생자는 관리사업자가 자체검사 결과를 열람할 수 있도록 모든 검사관련 서류를 비치해 놓아야 한다.
- 검사항목 및 항목별 검사방법은 관리사업자가 정한 규정에 따른다.

나. 인도 및 인수

- 폐기물 운반물의 인도·인수일은 선박 및 차량운반의 안전, 운반시간, 기상상태 등을 고려하여 관리사업자가 발생자와 협의하여 결정한다.
- 발생자는 폐기물 운반물의 인도·인수일 이전에 관리사업자가 정한 절차에 따라 폐기물 관리비용 및 지원수수료를 납부하여야 한다.
- 원자력발전사업자가 발생한 중·저준위 방사성폐기물의 운반비용은 폐기물 발생자인 원자력발전사업자가 부담하며, 부담에 관한 절차와 방법은 원자력발전사업자와 폐기물관리사업자가 협의하여 결정한다.

다. 부적합 운반물에 대한 조치

- 발생자는 ‘중·저준위 방사성폐기물 인도규정’과 관리사업자가 정한 폐기물 인수기준에 적합하지 않은 폐기물 운반물을 인도하고자 하는 경우에는 관리사업자와 사전에 협의하여야 한다.
- 관리사업자는 발생자와 협의를 거쳐 부적합 내용 및 처리방법에 따라 비용을 징수하고, 처분장으로 운반하여 처리 후 처분할 수 있다.
- 관리사업자는 발생지 예비검사 결과 폐기물 특성기준에 불만족한 폐기물 운반물은 발생자에게 통보하여 처리하도록 한다.
- 발생지에서 폐기물 관리시설로 운반 후 인수검사 결과가 불만족한 폐기물 운반물은 발생자에게 반송하거나 발생자와 관리사업자가 협의하여 처리한다.
- 부적합 폐기물 운반물을 발생지로 반송하거나 폐기물 관리시설에서 처분에 적합하도록 처리할 경우 이에 소요되는 비용은 발생자가 부담하여야 한다. 다만, 반송되는 폐기물 운반물에 대한 관리비용 및 지원수수료는 관리사업자가 발생자에게 환급하여야 한다.

라. 연간 인도계획 제출

- 발생자는 익년도 인도계획을 작성하여 관리사업자에게 제출하여야 한다.
- 인도계획에는 다음 각 호의 사항을 포함한다.
 - 폐기물 운반물의 종류별 수량, 무게 및 부피
 - 폐기물 운반물의 표면 선량률 및 핵종별 농도

제 2 절 처분장 운영 기준

1. 운영절차서

제1절의 1에서 논의한 ‘중·저준위 방사성폐기물 인도규정’이 처분과 관련된 일반적인 요건을 규정한 것이라면, 공단의 운영절차서는 공단의 운영 요건에 맞도록 개발되어 보다 상세한 사항을 규정하고 있다.

해당 절차서 내 여러 사항 중 연구원의 중·저준위 방사성폐기물의 처분과 관련된 주요 항목을 정리하면 다음과 같다.

- 고화체의 구조적 건전성
 - 경질 고화체 : 시편의 압축강도 500 psig 이상
 - 연질 고화체 : 수직 변형률이 3%일 때 시편 압축 강도 60 psig 이상
 - 이온교환수지 폐기물 고화체 시편은 1.0E+6 Gy, 그 이외 고화체 시편은 1.0E+7 Gy 범위에서 방사선 조사시험을 실시한 후 상기 압축강도를 만족해야 함
- 비균질폐기물의 고정화 : 반감기가 20년 이상인 핵종의 총 방사능농도가 74,000 Bq/g 이상은 고정화해야 함
- 입자성 물질을 포함하는 폐기물
 - 비분산성이 되도록 처리하여 포장
 - 입자성 물질을 포함하는 폐기물이란 직경 0.01 mm이하의 입자가 폐기물 무게의 1%이상 구성되어 있거나 직경 0.2 mm이하의 입자가 15% 이상 구성되어 있는 폐기물
- 킬레이트제 등
 - 폐기물 무게의 0.1% 이상 함유시 화학명과 존재량 명시
 - 1% 이상 함유 시 고형화
 - 8% 이상 함유 시 처분 불가

2. 처분시설 안전성분석보고서

처분시설의 안전성분석보고서에는 앞서 논의한 규정 및 절차서에서 다루어지지 않은 항목에 대해 보다 상세하게 기술한 부분이 있다. 해당 보고서에서 논의된 사항 중 연구원의 중·저준위 방사성폐기물의 처분과 관련된 주요 항목을 정리하면 다음과 같다.

- 폐기물 고화체의 시편에 대한 시험기준

구분	시험 항목	관련 기준	
		경질 고화체 ²⁾	연질 고화체 ³⁾
구조적 안정성	압축강도 시험	KS F2405	KS F2351
	침수시험	NRC 「Technical Position on Waste Form, Rev.1」	
	열순환시험	ASTM B553	
	방사선조사시험	NRC 「Technical Position on Waste Form, Rev.1」	
침출성	침출시험	ANS 16.1	
유리수 측정 ¹⁾	실물크기 시험	ANS 55.1과 유사한 방법 적용	
	시편 및 잡고체	EPA Method 9095B(Paint Filter Liquid Test)	

- 1) 고화체 및 비고화체 폐기물에 적용한다.
- 2) 응력-변형 관계에서 취성을 갖는 물질(시멘트, 열경화성 수지 등)
- 3) 응력-변형 관계에서 소성변형을 갖는 물질(아스팔트, 열가소성 수지 등)
- 4) 시편의 직경 : 50mm~100mm, 높이/직경 : 2(경질), 1(연질)

- 예비검사 및 인수검사 적용방법

- 핵종농도 측정 : 드럼핵종분석장치의 분석범위를 벗어나는 고선량 포장물과 폐기물 포장물 크기가 규격에 맞지 않아 드럼핵종분석장치를 사용할 수 없을 경우에는 이동형 핵종분석장치(in-situ object counting system)를 이용할 수 있다.

제 4 장 연구원의 폐기물 처리 및 특성평가시스템 분석

제 1 절 방사성폐기물처리시설 폐기물 처리·처분 시스템

1. 방사성폐기물 처리 공정

가. 액체폐기물처리공정

방사성폐기물처리시설은 액체폐기물의 처리를 위한 증발농축 공정과 아스팔트 고화 공정이 있다. 또한 증발농축과정에서 발생하는 응축수와 극저준위 폐액을 처리하기 위한 자연증발시설은 860톤 규모의 폐액 저장조를 갖추고 있으며 1,032개의 증발매개체를 이용하여 액체방사성폐기물을 최종 처리하고 있다.

나. 제염공정

방사성폐기물처리시설의 제염공정에서 이용하는 주요설비를 간략히 설명하면 다음과 같다.

(1) Dismantling pit 235-11

크레인에 의해 이송된 제염대상물을 해체하여 오염원 및 장치의 크기에 따라 분류하여 선정된 제염기기에 수송하거나 이곳에서 제염이 가능한 대상물은 제염액을 공급받아 오염부위를 닦아내고 세척하여 재사용이 가능한 상태로 제염하고 각 제염기지에서 제염이 완료된 부분들을 모아 원상태로 조립한다.

(2) Fume hood 50

β - γ 로 오염된 비교적 경량 물체를 감압상태의 hood 내부에서 슝이나 형겔에 제염액을 묻혀 오염부위를 닦아내어 제염을 수행한다.

(3) Glove box 55, 56, 57

α 로 오염된 장비를 밀폐된 glove box 내에서 슝이나 형겔에 탈염수와 시약을 묻혀 오염부위를 닦아내며 제염을 수행한다.

(4) Shielded soaking tank 10

β - γ 로 오염된 비교적 중량장비를 10 m^3 의 차폐 침수조에 넣어 100 m^3/hr 의 순환기에 의해 제염액을 순환시키며 오염장비를 제염한다.

(5) Soaking tank 20, 21, 22

β - γ 오염도가 비교적 약한 장치 및 기기를 2 m^3 의 수조 내에 넣어 물과 질산

및 가성소다 용액을 채우고 폐회로로된 순환펌프에 의해 일정시간 보지시켜 화학반응을 통해 제염을 수행한다. 탱크 22는 제염공정이 수행된 장비를 세척하며 sewer로 직접 배수한다.

(6) Sand blasting cleaner

부식이 심하거나 표면에 깊이 침투된 장치 및 기기는 침수조에서 화학적 방법으로 제염이 곤란하므로 그림 4-1-1의 분사 연마기에서 고압의 공기 (약 4.5 bar)로 물과 연마제를 분사시켜 표면을 깎아내는 물리적 제염을 수행한다. 당 설비는 제염처리실, 1차세척실, 가압세척실로 3개의 station으로 구분되며 케이싱, 회전대, 분사노즐 등으로 구성되어 있다.



그림 4-1-1. 모래분사제염장치

(7) Ultrasonic cleaner

Piezoelectric 현상에 의해 발생하는 교류를 이용하여 초음파 (20~100kHz)를 일으켜 진동을 주고, 이때 발생된 고, 저압의 교류파가 고, 저압에서 기포를 깨뜨려 수많은 기포를 형성하고 이러한 파열로 적은 면적 내에서 높은 힘을 일으킨다. 이러한 원리를 이용하여 비교적 부피가 작고 복잡한 형상을 지닌 오염 대상기기를 수조 중에 넣어 제염시키는 장비로 발전기, 변환기 및 제염조 등으로 구성되어 있다.

다. 고체폐기물처리공정

방사성폐기물의 처리 목적은 폐기물의 발생량을 감소시키고, 최종생성물을 화학적, 방사선적으로 안정한 형태로 전환시켜 추후에 폐기물의 수송과 최종처분에 적합하도록 하는데 있다. 이러한 폐기물의 처리는 폐기물의 형태, 물리화학적 특성, 방사능준위 등에 따라 적합한 처리방법을 사용하여 최종처분에 적합하도록 안전한 형태로 전환하는 공정이다.

(1) 처리방법

(가) 절단

절단은 주로 금속으로 구성되었거나 때로는 플라스틱 등의 부피가 큰 폐기물을 다룰 때 행하여지며 부피가 큰 폐기물을 포장용기내로 넣기 위해 수행된다. 절단작업은 반드시 환기설비가 가동하는 상태에서 절단실에서 수행해야 한다.

(나) 압축감용

압축감용법은 폐기물을 기계적으로 짓눌러 찌부러뜨려 용적을 줄인다. 이것은 폐기물 자체의 용적을 작게 함으로써 용기 하나에 들어가는 폐기물의 양을 늘리고, 그 결과로 전체 폐기물의 용적을 낮게 억제하는 방법이다. 핵주기시설에서 발생되는 저준위 고체폐기물의 70~80%가 압축처리가 가능하나 철재 후판과 같이 폐기물의 조직이 너무 치밀하고 단단하여 부피 감소를 무시할 수 있거나 극히 작은 것 또는 압축기 및 압축용기를 손상시킬 수 있는 물질과 인화성 및 폭발성 물질, 액체를 함유하고 있는 물질은 작업자에게 위험을 일으키는 원인이 되므로 압축처리 할 수 없다. 특히 액체를 함유한 폐기물의 압축시 작업장 주변 뿐 만 아니라 처리설비의 오염 확산을 야기할 수 있으며 방사선에 피폭될 수 있다.

(다) 파쇄

가연성잡고체중에는 폴리에틸렌 통이나 호스, 튜브 같은 내용물이 없는 상태에서 부피만 차지하는 폐기물이 있다. 또한 폴리에틸렌 통은 압축처리 할 경우 스프링백이 커서 실제로 감용율이 크지 않다. 따라서 이들은 폐기물 수집용기에 그냥 넣으면 부피만 차지하고 몇 개 집어넣지 못한다. 이와 같이 연질의 종이류나 플라스틱류의 폐기물은 용기에 수집하기 전에 또는 소각처리 하기 전에 파쇄기(shredder)에 넣고 잘게 썰어 부피를 축소한 후 시멘트 고정화 처리하는 방법이 있다.

(2) 방사능준위별 처리설비

(가) 저준위고체폐기물 처리공정

저준위폐기물 처리는 압축성과 비압축성으로 각각 처리한다. 압축성폐기물은 비닐백에 넣어 100ℓ 드럼에 담겨진 후 그림 4-1-2의 60톤 압축기에 의하여 200ℓ 드럼내 넣고 압축처리한다. 이 200ℓ 드럼은 그림 4-1-3의 bitumen-concrete coating station에서 시멘트와 bitumen-emulsion 혼합물로 채워 고화건조한 후 밀봉하여 저준위저장고로 보낸다. 비압축성폐기물은 절단실에서 비닐포장을 벗기고 60kw plasma cutter, pneumatic cutting mill, shear 등으로 절단한다.

저준위방사성고체폐기물 처리공정의 주요설비 및 장치는 다음과 같다.

- Cutting station : cutting table, plasma production
- Compacting press
- Bitumen-concrete production station : mixer, concrete pump, sand box
- Coating station : vibrating, rotating jib crane, drip tray



그림 4-1-2. 압축기(60톤)

(나) 중준위고체폐기물 처리공정

100mm lead padirac cask 또는 150mm 납 용기에 넣어 운반된 중준위폐기물이 수집된 드럼을 35cm 두께의 콘크리트 셀에 넣고 bitumen-concrete를 채워 넣는다. 24시간 후 뚜껑을 덮고 제1방사성폐기물저장시설로 옮긴다. 중준위고체폐기물의 처리에 필요한 설비와 장치는 다음과 같다.

- Cell door, transfer trolley, rotating jib crane, upper shielding slab
- Shielded trap door, graff swivel joint, guiding duct, safety device



그림 4-1-3. 중준위고체폐기물 처리공정

라. 고체폐기물저장시설

(1) 제1방사성폐기물저장시설

처리시설에서 압축, 고정화등 처리작업이 완료된 저준위고체폐기물 200ℓ 드럼과 중준위고체폐기물로서 저장고에서 일정기간이 지나 저준위고체폐기물로 분류된 고화드럼(200ℓ)을 저장하기 위한 저장시설로서 가로 24 m, 세로 45 m의 콘크리트 바닥 위에 세워진 높이 12 m의 철골 건물이다. 현재 6 단 높이로 적재하고 있으며, 저장용량은 200 ℓ 드럼 기준으로 총 11,010 드럼이다.

(2) 제2방사성폐기물저장시설

제2방사성폐기물저장시설은 고방사선고체폐기물(HASW)의 중간저장시설로 고방사선고체폐기물이 자연감쇄 하는 동안 저장하는 곳이며 가로 13.2 m, 세로 43 m의 콘크리트 바닥 위에 세워진 높이 12 m의 철골 건물이다. 고방사선고체폐기물은 7, 8년 후 감쇄된 방사능 준위에 따라 중준위고체폐기물(MASW) 또는 저준위고체폐기물(LASW)로 분류되어 처리시설에서 방사능 준위와 성분에 따라 압축, 고화 또는 재포장하여 제1 방사성폐기물저장시설로 보내진다. Monolith는 콘크리트 구조물로서 162 개의 well에는 7 개의 강철드럼 (Φ400 mm × 500 mm)을 채울 수 있으며 저장용량은 1,134 드럼이다. 중준위고체폐기물을 담은 50 ℓ 용량의 스테인리스 스틸 드럼은 두께 150 mm의 납으로 수송용기 속에 차폐시켜 운반되며 저장시설에는 수송용기를 다룰 10 ton 용량의 크레인이 설치되어 있다. Monolith 상부에는 중준위고체폐기물을 저장하는 본래의 기능을 저해하지 않는 범위에서 저준위 고체폐기물을 3 단으로 저장할 수 있으며 저장용량은 1,404 드럼이다.

(3) 제1방사성폐기물저장시설 부속시설

제1, 2저장시설 건설 당시에는 운전 방사성폐기물을 주 발생원으로 고려하였으나, 노후 설비의 해체폐기물이 발생하기 시작함에 따라 이에 대한 대비가 필요하게 되었다. 해체폐기물의 대부분은 표면선량률 0.5 mR/h 이하의 극저준위로서 기존 저장시설의 용량 확보 및 경제적인 저장 운영 관점에서 1988년도에 추가로 제1방사성폐기물저장시설의 부속시설을 신축하였다. 제1방사성폐기물저장시설의 부속시설은 가로 16 m, 세로 22 m의 철근 콘크리트 구조에 높이 7.8 m의 저장시설로 저장용량은 3,320 드럼이다.

표 4-1-1은 저장고별 규모 및 저장용량을 나타내고 있다. 표에서 보는바와 같이 저장용량 대비 현 저장량과 연간 발생량을 고려하여 어느 정도의 저장공간을 확보하고 있다. 그러나 실제 저장고 운영과정에서 현재 수행하고 있는 처분전 폐기물드럼의 재포장 작업을 위한 드럼의 하역, 분류 및 운반 등의 취급과 처분전 재포장 작업을 완료한 드럼의 방사능 및 핵종 평가를 위한 반입 및 반출을 위한 공간, 이들 드럼의 처분장으로의 운반전 별도의 임시 적재공간, 향후 시행될 방사성폐기물의 신 분류체계에 따른 폐기물별 적재공간 등의 확보를 위해서는 현재의 여유 공간으로서는 부족할 것으로 예상된다.

표 4-1-1. 저장고별 규모 및 저장용량

(단위 : 200L)

시 설 명	규 모 (m)	저 장 용 량	현 저 장 량	년 간 발 생 량
제1저장고 부속시설	106 평(352m ²) (16 × 22)	3,320	3,133	400
제1저장고	327 평(1,080m ²) (24 × 45)	11,010	6,732	
제2저장고 상단	162 well 172 평(565m ²) (13.2 × 43)	1,404	1,157	
계		15,734	11,022	400
제2저장고	162 well 172 평(565m ²)	1,134* (7드럼/well)	50.75 (203*)	10
총 계		16,018	11,072.75	

(* 단위 : 50L 드럼)

2. 저장폐기물 처분 전 분류 및 재포장

가. 처리 개요

연구원의 방사성폐기물저장시설에는 하나로, 핵주기시설, 동위원소생산시설 및 연구실에서 발생된 작업복, 제염지 및 비닐 등의 가연성폐기물과 실험장비의 노후화로 해체 폐기된 철재류 및 초자류 등의 비가연성폐기물과 방사선관리구역의 공기정화용으로 사용된 폐필터 등의 다양한 방사성잡고체폐기물을 처분전 중간저장하고 있다. 이들 폐기물은 2014년 상반기에 완공예정인 경주 처분장의 운영계획에 따라 향후 처분을 위하여 중저준위방사성폐기물 인도규정 및 제반 관련기준에 따라 폐기물의 내용물을 형태별로 분류하고 유해물질의 함유를 확인하는 등의 적절한 방법으로 처리하고 있다.

나. 처리 절차

(1) 저장폐기물드럼의 하역, 운반 및 분류

원내의 방사성폐기물 발생부서에서 관리 의뢰하여 저장고에 임시보관 되어 있는 방사성고체폐기물은 2013년 12월말 현재 200ℓ 기준으로 11,602드럼에 이른다. 이 중 가연성폐기물은 3,927드럼으로 전체의 약 34%에 해당한다. 작업을 위하여 대상폐기물 드럼을 10톤 크레인과 지게차를 이용하여 하역 후 발생시설별, 연도별 및 핵종별로 1차 구분하여 임시 보관한 후 2.5톤 씩 바디 전용 트럭을 이용하여 처리 시설로 운반하였다. 재포장대상 드럼의 표면에 부착되어 있는 방사성표지의 기록사항을 확인한 후 뚜껑을 개봉하여 처리시설의 절단실에 설치된 작업 부스의 트레이에 쏜다. 그림 4-1-4과 같이 트레이에 놓인 폐기물에서 수분을 함유한 폐기물은 구분하여 별도의 트레이에서 건조하며 철재, 유리류, 토양 등의 비가연성을 제거하고 연구원의 방사성폐기물관리규정의 가연성폐기물 분류기준에 따라 조성별로 먼류, 종이류, 비닐류, 고무류 및 플라스틱류로 분류하여 해당 수거 비닐에 넣어 재포장한다.



그림 4-1-4. 폐기물 건조 및 분류

(2) 시료채취

가연성폐기물의 형태별 분류 후 재포장이 완료된 각각의 드럼에서 대표시료를 채취하였다. 대표시료의 채취는 처분장 인수기준에 명시된 방사선적 및 물리화학적 특성평가를 목적으로 하였다.

(3) 재포장 및 압축

발생시설별로 면류, 비닐류 및 플라스틱류 등의 폐기물 조성에 따라 분류하여 수거용 비닐봉지에 재포장된 폐기물을 그림 4-1-5과 같이 200ℓ 드럼에 넣고 방사성폐기물처리시설에 설치되어 있는 소형압축기에서 1차적으로 간이압축한 후 꺼내어 다시 60톤 용량의 압축기로 내용물을 압축하였다. 방사성폐기물의 분류, 재포장, 시료채취 및 압축작업은 방사성 오염 분진이 주변으로 확산되지 않도록 공기정화설비가 구비된 별도의 구역에서 작업을 실시하였다. 이때 과압에 의한 드럼 외형의 변형이 발생할 수 있으므로 적절한 압축력으로 압축한다. 내용물을 분류하는 과정에서 수분을 함유한 제염지 등은 별도로 수집하여 스테인리스 스틸 트레이에 널거나 제염실에 설치되어 있는 전기건조기에서 충분히 건조한 후 수거봉지에 넣어 재포장한다. 이와 같은 처리작업을 종합한 결과 평균적으로 3드럼을 재포장·압축 하여 1드럼이 생성되었다.



그림 4-1-5. 폐기물 압축

(4) 폐플라스틱 파쇄

원내의 실험실에서 발생된 방사성액체폐기물은 20ℓ 플라스틱 통에 수집하여 방사성폐기물처리시설로 운반한다. 이들 액체폐기물은 처리시설의 액체저장탱크에 넣어 증발농축 처리한다. 이 때 발생된 빈 플라스틱 통은 과거에 200ℓ 드럼 내에 4개씩 직접 포장하여 임시 저장하였으나 부피감용을 위하여 방사성폐기물처리시설에 설치되어 있는 그림 4-1-6의 대형파쇄기를 활용하여 8개를 절단처리 후 200ℓ 드럼에 수집하였다. (그림 4-1-7)



그림 4-1-6. 파쇄기



그림 4-1-7. 폐플라스틱 파쇄 후 절단물

(5) 처분전 임시저장

재포장으로 생성된 드럼은 선량률과 오염도를 측정하고 발생시설, 내용물, 핵종과 폐기일자 등을 기록한 방사성표지를 드럼표면에 부착하며 처분재포장대장과 저장관리대장에 발생이력을 입력한 후 제1저장고의 관리구역에 임시 적재하였으며 이들 폐기물은 향후 저장드럼 평가연구시설로 운반하여 핵종분석 및 방사능량 평가를 통하여 처분할 예정이다. 그림 4-1-8은 처리 전, 후의 저장고 모습이다. 이와 같이

폐기물의 재포장을 수행하여 저장 공간을 확보하고 장기보관에 따른 부식 방지 및 방사능 유출 예방으로 저장 건전성을 유지하며 향후 처분비용을 절감할 수 있다. 2013년도의 처리결과 총 1,103드럼을 대상으로 재포장하여 301드럼이 생성 되었으며 802드럼이 감용 처리되었으며 처분을 위한 임시저장 드럼은 총 870드럼이다. 표 4-1-2는 연도별 처리량을 나타내고 있다.



그림 4-1-8. 처리 전/후의 저장고

표 4-1-2. 연도별 처리량

연도별	재포장 대상량	처리 후 생성량	처리량
2011년	540	202	338
2012년	1,200	367	833
2013년	1,103	301	802
총 계	2,843	870	1,973

(6) 처분드럼 표시사항

처분용 드럼에는 원자력안전위원회 고시 제2013-29호 ‘중·저준위 방사성폐기물 인도규정’의 ‘포장물 표지’ 및 ‘중저준위 방사성폐기물처분시설 안전성분석보고서 (SAR)’의 ‘폐기물 인수 기준’의 폐기물 포장물 일반요건에 따라 쉽게 식별될 수 있도록 외부에 총 방사능량, 고유번호, 폐기물 발생일자 및 발생장소, 표면선량률 등의 정보를 읽기 쉽고 내구성 있도록 표시하여야 한다. 또한 포장물에는 눈에 띄기 쉬운 표면에 방사능표지를 부착하며 산업통상자원부고시 제2013-128호 ‘방사성폐기물 인수방법 등에 관한 규정’ 별표 제3호(방사성폐기물 운반물 번호 부여 체계)에

따라 방사성폐기물 운반물 번호는 중저준위 방사성폐기물 인도규정의 방사성폐기물 인수의뢰 신청서에 제시된 포장물의 일련번호와 대조가 가능하도록 한다.

원자력연구원에서 발생된 방사성폐기물 운반물 번호는 AR - 2013 - B01 - 0001 과 같이 표기하며 이것은 발생기관 - 발생년도 - 폐기물 종류 - 일련번호를 표시한다. 여기에서 B: 잡고체, C: 농축폐액, F: 폐필터, R: 폐수지이며 또한 폐기물의 종류에서 B01: 가연성, B02: 비가연성, B03: 공조용폐필터, B04: 고정화폐기물로 번호를 부여한다. 그림 4-1-9은 바코드 및 드럼의 운반물 번호를 나타내고 있다.



그림 4-1-9. 바코드 및 드럼의 운반물 번호

다. 공드럼 처리

(1) 제염

가연성잡고체폐기물의 재포장과정에서 빈 드럼형태로 남은 공드럼을 재활용하거나 향후 자체처분을 위하여 그림 4-1-10의 모래분사연마기에서 고압의 물을 분사하여 제염을 수행하였다.



그림 4-1-10. 공드럼 제염

(2) 방사성폐기물 표지 제거

폐공드럼의 제염을 통하여 오염이 안 된 것을 확인하였으면 원자력안전위원회 고시 제2013-33호 ‘방사성폐기물의 자체처분에 관한 규정’ 표지제거에 따라 드럼 외부에 부착되어 있는 방사성폐기물 표지를 제거하고 또한 드럼의 일련번호 및 이력을 표시하는 사항 등을 페인트로 지워 버린다.

(3) 시료채취

처분 제한치 미만의 방사성폐기물의 자체처분을 위하여 그림 4-1-11과 같이 드럼에서 지름 50mm 시료를 채취하여 방사능농도와 핵종을 분석한다.

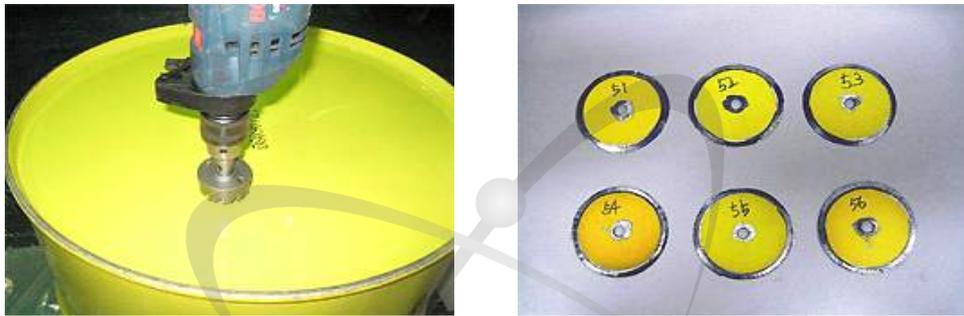


그림 4-1-11. 공드럼 시료 채취

(4) 압축감용처리

압축설비를 이용하여 높이가 약 900mm인 드럼을 약 100mm로 줄였다. 2013년도 채포장작업과정에서 발생된 공드럼은 표 4-1-3과 같이 총 1,103드럼으로 888드럼을 압축, 감용하였다.

표 4-1-3. 공드럼 발생 및 처리 현황

연도별	제 염 재 활용	압축처리			계
		자체처분 대상	오염	소계	
2011년	205	108	25	133	338
2012년	180	612	41	653	833
2013년	215	852	36	888	1,103
누계	600	1,572	102	1,674	2,274

3. 방사성폐기물 특성평가 시스템

가. 방사성폐기물 특성평가 시스템

국가 방사성폐기물 관리정책에 따라 연구원 내 저장중인 중·저준위 방사성폐기물은 경주 처분시설로 인도되어 안전하게 영구처분 되어야 하며, 이를 위하여 원자력관계법령에서는 인도에 필요한 사항, 방법 및 절차 등을 제시하고 있다. 특히 ‘중·저준위 방사성폐기물 인도규정(제2013-29호)’의 핵종규명(제8조)에서는 방사성 핵종의 규명범위, 농도 규명대상 핵종 및 규명방법에 대해 기술하고 있다. 이에 따라 방사성폐기물처리시설에서는 드럼핵종평가시설을 건설하였으며, 연구원 내 저장중인 중·저준위 방사성폐기물의 핵종규명을 위한 드럼핵종분석장치를 도입하여 운영하고 있다.

또한, 원자력안전법 제70조 제2항에 따라 처분 제한치에 만족하는 방사성폐기물을 분류하여, 자체처분을 통해 영구처분 폐기물을 감량하고 있다. 이를 위해서는 폐기물의 대표시료를 감마선 분광기 및 전알파/전베타 계수기로 방사능을 측정하여, 핵종별 허용기준 및 핵종별 농도에 부합하는 폐기물을 선별한 뒤, 자체처분 절차에 의해 관리하고 있다.

최근 IAEA의 분류체계를 기반으로 한 새로운 방사성폐기물의 관리체계가 가시화 되고 있다. 방사능 계측기의 운영을 통해 연구원에 저장되어 있는 방사성폐기물에 대한 정확한 정보를 얻어 신 분류 체계에 대비할 필요가 있다.

나. 드럼핵종평가시설

방사성폐기물처리시설에서는 연구원 내 저장중인 중·저준위 방사성폐기물의 안전한 영구처분을 위한 드럼핵종분석장치의 도입과 해당 장치를 설치하기 위한 방사성폐기물드럼 핵종재고량 평가시설 구축을 완료하였다.

평가시설 내부는 그림 4-1-12와 같이 방사선관리구역과 일반구역으로 구분한다. 관리구역은 드럼핵종분석장치가 설치된 검출기구역, 평가대상 방사성폐기물드럼들의 대기를 위한 임시적재구역 등으로 나뉘며, 일반구역은 드럼핵종분석장치를 운전하기 위한 제어실, 관리구역으로 출입을 위한 탈의실 및 기타 회의실 등으로 구성되어 있다.

- 임시적재구역 : 측정대상 폐기물드럼 및 드럼분석장치 교정드럼
- 검출기구역 : 드럼핵종분석장치 및 바코딩 시스템
- 정비구역 및 출입통로 : 지게차, 기타 유지보수 장비
- 제어실, 탈의실 및 회의실



그림 4-1-12. 드럼핵종평가지설 내부구성

다. 드럼핵종분석장치

(1) 드럼핵종분석장치 개요

연구원발생 방사성폐기물의 안전한 영구처분을 위해서는 ‘중·저준위 방사성폐기물 인도규정(원자력안전위원회고시 제2013-29호)’ 제8조(핵종규명)에 명시된 바와 같이 폐기물에 포함되어 있는 전체 방사성핵종의 95 % 이상을 규명하고, 13 개의 핵종과 전알파에 대해서는 농도 규명이 필요하다. 드럼핵종분석장치는 드럼 내에서 매우 다양한 밀도분포와 핵종분포를 가지는 처분대상 폐기물드럼을 비파괴분석 방법으로 측정하기 위한 방사성폐기물드럼 핵종분석장치이다. 또한, 인도규정에서 요구하는 13 개의 핵종 중에서 분석 난핵종인 알파 및 베타핵종들에 대해 Scaling Factor를 이용한 간접측정방법의 기초자료로 이용된다.

(2) SGS(Segment Gamma System) 측정기술

SGS는 폐기물의 핵종을 분석할 때 비파괴법을 이용하는데 이는 동일물질로 이루어진 폐기물의 감마 분석을 위한 일반적인 기술이다. WR-SGS/TGS는 원통형 드럼에 저장된(200L steel drum) 폐기물의 비파괴법에 대한 방식을 제공한다. SGS의 측정법은 드럼의 수직 축을 따른 수평 밴드의 수를 정의한다. 이 밴드는 segment라고 하며 그 높이는 검출기에서 측정되는 드럼에서의 거리와 collimator의 aperture opening으로부터 정의할 수 있다. 측정 알고리즘은 폐기물이 균일하게 방사능 물질에 의해 오염되어 있다고 가정한다. 이 방법은 명시적으로 segment by segment를 기본으로 측정을 하면서 수직방향에서의 폐기물 밀도의 변화를 허용한다. 드럼 측

정이 실행되는 동안에 segment내의 수평축이 회전을 하게 된다. 검출기 앞의 “Geometry Factor” 를 포함한 segment contents의 감쇠는 드럼의 회전 효과를 고려하여 계산한다. 만일 방사성 물질이 비균질하게 존재한다면 SGS 방법은 좋지 않은 결과를 나타낸다.

(3) 드럼핵종분석장치(WR-SGS) 운영

- 운영목표 및 실적

- 운영목표 : 처분대상 드럼 감마핵종분석 연간 800 드럼
- 분석실적 : 488드럼 (2014년 1분기 기준)

라. 감마선 분광기

방사성폐기물처리시설에서는 연구원 내에서 발생하는 고체 방사성폐기물을 처리할뿐만 아니라 감마선 분광기로 폐기물의 방사능을 분석한다. 분석 결과 값을 이용하여 처분 제한치 미만 폐기물을 분류하고, 규제해제를 통해 영구처분대상 방사성폐기물 양을 지속적으로 감용하고 있다.

현재 3대의 감마선 분광기를 사용중이며, 다중채널분석기(MCA, multichannel analyzer)와 높은 에너지 분해능을 가지는 HPGe(high purity germanium) 반도체 검출기 등으로 구성된 감마선 분광기를 주기적으로 교정 및 관리를 통해 정확한 분석결과를 얻고 있다. 그러나 분석 장비의 일부가 노후화되었으며, 방사성폐기물 신분류기준의 적용시 분석대상 시료수가 급증하게 되므로 이에 대한 대책이 필요한 상황이다. 감마선 분광기의 장비 특성은 아래의 표 4-1-4와 같다.

표 4-1-4. 감마선 분광기 장비특성

제작사	ORTEC	CANBERRA	
모델명	Gmx 3094 (SN : 45-TN 22031B)	GC3018 (SN : 06037672)	GC2018 (SN : 6902359)
상대효율	30 %	30 %	20 %
검출기 인가전압	4000 V	4000 V	5000 V
정밀도	1.9 keV(FWHM) at 1.33 MeV	1.8 keV(FWHM) at 1.33 MeV	

마. 전알파/전베타 계수기

연구원에 저장되어 있는 방사성폐기물은 감마선 뿐만 아니라 알파선 및 베타선을 방출한다. 폐기물에 존재하는 전알파(Gross alpha)와 전베타(Gross beta)의 방사능 측정값을 이용하여 처분 제한치 미만 폐기물을 분류하고, 규제해제를 통해 영구 처분대상 방사성폐기물 양을 지속적으로 감용하고 있다.

전알파/전베타 계수기의 장비 특성은 아래의 표 4-1-5와 같다.

표 4-1-5. 전알파/전베타 계수기 장비특성

모델명	Automatic Low Background Alpha/Beta Counting System / S5XLB
제작사/제작연도	CANBERRA / 2009
Window 두께	Less than 80 $\mu\text{g}/\text{cm}^2$
Window 직경	2.25 인치
분석 소프트웨어	Eclipse software

KAERI

제 2 절 원전제염해체기술개발부의 처리·처분 시스템

1. 해체폐기물 처리 공정

서울 연구로 해체현장에서는 액체폐기물을 처리하기 위한 자연증발 처리시설과 금속폐기물을 처리하기 위한 초음파 화학제염 설비를 운영하였다. 또한 콘크리트 미분말 폐기물과 집진기 등에서 발생하는 분진과 같은 잡고체폐기물의 안정화를 위하여 콘크리트 모르타르를 사용하여 폐기물을 안정화할 수 있는 해체폐기물 혼용고화공정 처리설비를 제작 설치하여 미세입자 폐기물을 처분장에 최종 처분할 수 있도록 안정화 처리하였다.

대전 우라늄변환시설 해체현장에서 금속폐기물은 스테인리스 스틸의 경우 초음파화학제염, 탄소강의 경우 용융제염 처리를 통하여 폐기물의 67%를 자체처분대상 폐기물로 전환하여 자체처분대상폐기물 저장고에 저장 중에 있다. 또한 변환시설 운전 중 발생한 300톤의 질산염 슬러지 폐기물은 조해성 물질인 질산염을 열분해법으로 제거하고 우라늄이 고농도로 함유된 건조된 분말 형태의 라군 질산염 슬러지 폐기물 처리 후 폐기물로 저장용기에 넣어 저장 관리하고 있다. 변환시설 해체공사 중 해체폐기물의 제염을 위하여 운영하였던 설비를 요약하면 다음과 같다.

가. 초음파화학제염 설비

- 초음파화학제염 장치(그림 4-2-1)는 화학제염조 및 초음파발생장치로 구성
- 초음파화학제염장치를 사용하여 제염한 후 화학제의 세정을 위하여 스팀제염장치(그림 4-2-2)를 사용
 - 초음파화학제염은 화학제를 10wt% 질산용액, 50℃의 온도, 제염시간을 1시간으로 설정하여 수행
 - 제염 중 발생한 액체폐기물은 스팀 세정시의 응축액으로, 이는 중화처리하여 라군으로 이송하여 처리
 - 스테인리스 스틸 폐기물 54톤을 규제해제 대상폐기물로 전환



그림 4-2-1. 초음파 화학 제염장치



그림 4-2-2. 스팀제염장치

나. 용융제염

- 탄소강 해체폐기물은 180kg/batch 용량의 금속용융제염 설비를 제작 설치하여 탄소강 해체금속폐기물 용융제염 처리
- 금속용융장치는 고주파 유도로 사용
- 용융장치(그림 4-2-3, 4-2-4)는 고주파 발진장치와 용해로체로 구성된 고주파 유도설비와 냉각계통으로 구성
- 고주파발진장치는 철재 200kg을 용해할 수 있는 용량
- 탄소강 폐기물 77톤을 규제해제 대상폐기물로 전환



그림 4-2-3. 고주파 발생장치 및 냉각설비



그림 4-2-4. 용융로체

다. 라군 질산염 슬러지 폐기물 처리

- 슬러지 폐기물은 질산염 슬러지 폐기물의 물리적 특성에 따라 분류 수집 이송하여 열분해장치에서 조해성 물질인 질산염 등을 분해 제거
- 질산염 슬러지 폐기물 처리설비는 열분해 처리설비(그림 4-2-5), 질산염 분해 시 발생하는 질소산화물 처리설비(그림 4-2-6), 질산염 이송설비(그림 4-2-7) 및 열분해 처리 후 고체폐기물 분쇄 및 드럼 장입설비(그림 4-2-8)로 구성
- 슬러지 폐기물을 완전히 처리하였으며, 폐기물을 약 70% 이상 감용



그림 4-2-5. 슬러지 폐기물 열분해설비



그림 4-2-6. 질소산화물 처리설비



그림 4-2-7. 슬러지 폐기물 이송설비



그림 4-2-8. 고체폐기물의 분쇄 및 드럼 장입설비

현재는 해체공사가 완료된 상태에서 해체폐기물을 처리하여 방사성폐기물의 양을 줄이기 위한 노력으로 가연성폐기물 처리시설, 금속폐기물 용융시설과 토양 및 콘크리트 폐기물 처리시설을 건설 운영 중에 있다.

2. 가연성폐기물 처리시설

가연성폐기물을 감용처리 (감용률 50-100) 하기 위하여 기존의 방사성폐기물 실증용 소각시설을 인수하여 시설개선과 더불어 원자력안전법에 의한 폐기시설로

2010년 12월 인허가를 득하였으며, 인허가 처리용량은 평균 20kg/h이며, 연 40톤이다. 연구로 1, 2호기 및 우라늄변환시설 해체과정에서 발생한 가연성폐기물 약 30톤을 전량 감용 처리할 예정이며, 이후 다양한 핵종으로 오염된 가연성폐기물과 타 기관 발생폐기물도 처리할 예정이다. 방사성 가연성폐기물을 완전처리한 후에는 자체처분대상폐기물로 분류되어있는 폐기물도 본 시설을 이용하여 함께 처리할 예정이다. 또한 소각과정에서 발생한 소각재 등을 고화하기 위한 기술개발과 작업자의 안전성과 효율성을 높이기 위한 기기개선 작업도 병행하고 있다. 처리용량은 연간 10톤 (약 250드럼)이며, 이 경우 2차폐기물은 3드럼 발생한다. (그림 4-2-9~10)

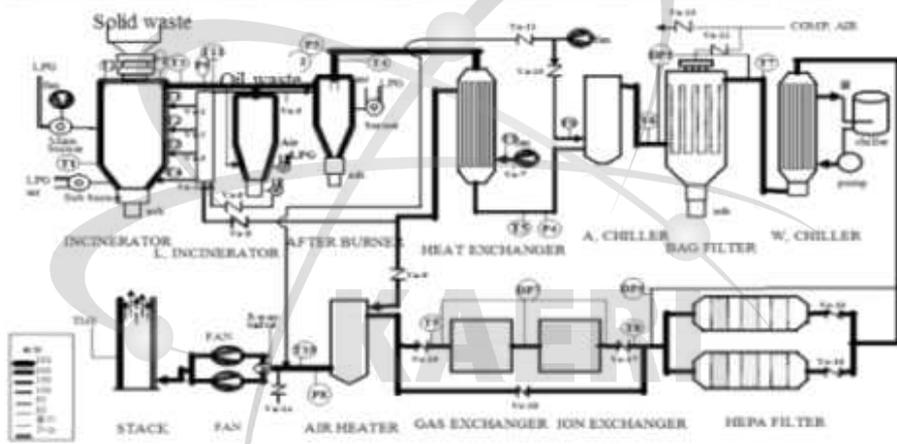


그림 4-2-9. 가연성폐기물 처리공정 (감용율: 1/100)



그림 4-2-10. 가연성폐기물 처리시설

3. 금속폐기물 처리시설

연구로 1, 2호기 및 우라늄변환시설 해체과정에서 발생한 방사성 금속폐기물 약 110톤과 자체처분대상폐기물 약 400톤을 용융제염(감용률 7-30) 하기 위해 실증규모(350kg/batch)의 고주파유도로를 설치 완료하고 용융제염의 균질화 효과를 확인하기 위한 실증시험을 진행하였다. 또한 작업 중 발생하는 분진 및 유해 가스를 처리하기 위한 여과계통을 보완하였다. 전처리 작업 공간 설치 등을 완료한 후 실증시설의 인허가 변경 허가를 득하였으며, 해체 금속폐기물 전량을 용융제염하여 자체처분을 실시할 예정이다. 또한 해체폐기물 처리완료 후 연구원 내에서 저장관리 중인 금속폐기물을 처리할 예정이다. 처리용량은 연간 50톤 (약 330드럼)이며, 이 경우 2차폐기물은 약 3드럼 발생한다.(그림 4-2-11)



그림 4-2-11. 금속용융처리공정 및 시설

4. 토양 및 콘크리트 폐기물 처리시설

토양폐기물의 경우 이를 감용 처리하기 위해 세척-동전기제염 방식을 채택하였으며, 연간 400 드럼을 처리할 수 있는 세척-동전기제염 처리시설을 구축할 예정이다. 또한, 콘크리트폐기물의 경우 이를 감용 처리하기 위해 가열파쇄-세척제염 방식을 채택하였으며, 연간 100 드럼을 처리할 수 있는 가열파쇄-세척 처리시설을 구축할 예정이었다.

그러나 대과제에서 방사성 토양 및 콘크리트 폐기물 처리시설 구축/운영과제 세부과제에 배분된 직접비가 부족하여 연 200-300드럼의 폐기물만 처리가 가능하

로, 보관중인 10,000드럼 이상의 폐기물을 처리하기 위해서는 약 55년이 필요한 실정이다. 그러므로 본 보고서 8장에서 기술한 것과 같은 신규 사업을 제안한다.

5. 방사성폐기물 특성평가 시스템

해체폐기물의 방사선학적 특성평가를 위해서 폐기물을 발생원, 물리적 특성 및 방사선학적 특성에 따라 분류하고, 대표 시료를 채취하여 핵종별 방사능 분석을 수행하였다. 따라서 연구로 및 우라늄변환시설의 해체 사업 수행 시의 고체방사성폐기물 관리절차서, 연구로 해체의 규제해제(자체처분) 방사성폐기물의 방사능농도 측정절차서와 우라늄변환시설 해체의 시료채취절차서에 따라 시료를 채취하여 방사선학적 특성 평가를 수행하였다.

가. 서울 연구로 해체폐기물

연구로 해체폐기물의 방사선학적 특성을 분석하기 위해서 상기 절차서에 따라 시료를 채취하여 분석을 수행하였다. 감마선 방출 핵종은 HPGe 검출기를 이용하여 실험실에서 분석을 수행하였고, 알파 및 베타선 방출핵종은 원자력연구원의 원자력화학연구부에 의뢰하여 화학적 추출/분리 후 핵종별 방사능을 측정하였다. 원자로심 등 방사능 준위가 높은 폐기물은 Cask에 별도로 보관하고 휴대용 핵종분석장치인 ISOCS(In-Situ Object Counting System)를 이용하여 핵종별 방사능 농도를 평가하였다.

나. 우라늄변환시설 해체폐기물

우라늄 변환시설에서는 농축시키지 않은 천연우라늄(Natural Uranium)만을 취급하였기 때문에 핵반응과는 관련이 없으므로 인공 방사성동위원소에 의한 오염은 없으며, 우라늄이나 우라늄의 딸핵종에 의한 오염만이 존재한다. 폐기물의 특성을 파악하기 위하여 폐기물에 대한 우라늄 농도 측정이 필요하다. 미량 우라늄 농도측정은 주로 알파분광으로 이루어지며, 알파분광으로 측정하기 위해서는 여러 단계의 화학적 분리를 거친 후 알파스펙트럼을 측정하여야 하므로 많은 인력과 경비, 그리고 시간이 소요된다. 변환시설 해체폐기물의 양은 매우 많으므로, 모든 시료에 대하여 알파분광으로 우라늄의 농도를 측정하기에는 많은 어려움이 따르기 때문에 비교적 취급방법이 용이하고 신속하게 측정할 수 있는 방법을 적용할 필요성이 있다. 감마분석에 의한 우라늄 농도 측정 연구를 통하여 오염을 신속하게 측정하는 방법이 매우 유용하고 0.04Bq/g 이하의 오염까지 충분히 측정할 수 있었다. 감마분석 시 Pa-234m, Th-230, Pa-231의 핵종이 관측되면 오염된 것이고 Th-234, U-235의 핵종은 농도에 따라 오염을 판단해야 하며, 오염도가 낮은 경우에 감마분석 결과는

보수성이 매우 크다는 결과를 얻었다. 이 같은 연구결과를 이용하여 우라늄 변환시설에서 발생하는 해체물의 오염도 분석은 감마분석을 통하여 계측하였으며, 감마분석 결과의 실증을 위하여 시료의 일부에 대하여 알파분석을 시행하였다. 그림 4-2-12는 탄소강 해체물의 제염 후 알파 및 감마분석 결과로 전반적으로 일치함을 보여주고 있으며, 우라늄변환시설 해체계획서에 명시된 금속폐기물의 자체처분 기준치인 알파 0.2 Bq/g 이하에서는 감마분석이 보수적임을 보여주고 있어 감마분석을 이용한 알파분석이 신뢰성이 있음을 확인하였다.

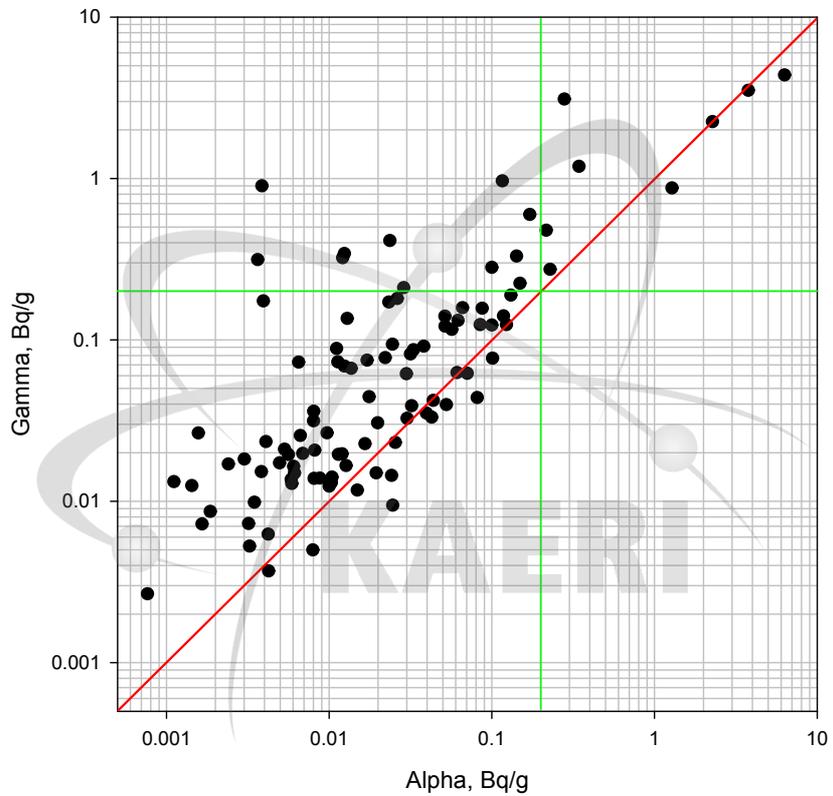


그림 4-2-12. 알파 및 감마분석법에 의한 탄소강 해체폐기물의 우라늄농도

제 3 절 원자력화학연구부의 폐기물 특성평가시스템

1. 방사성물질 화학분석 특성평가 개요

중저준위 방사성폐기물 드럼에 대하여 그림 4-3-1의 원자력안전위원회 고시 제 2013-29호 「중·저준위 방사성폐기물 인도 규정」에서 명시된 방사성핵종은 파괴적 방사화학분석을 수행하여야 하며, 드럼별로 방사성핵종 농도를 명시하여야 한다.

방사성폐기물 처분농도 제한치	
방사성 핵종	처분 농도 제한치 (Bq/g)
³ H	1.11E+6
¹⁴ C	2.22E+5
⁶⁰ Co	3.70E+7
⁵⁹ Ni	7.40E+4
⁶³ Ni	1.11E+7
⁹⁰ Sr	7.40E+4
⁹⁴ Nb	1.11E+2
⁹⁹ Tc	1.11E+3
¹⁰⁹ I	3.70E+1
¹³⁷ Cs	1.11E+6
전알파	3.70E+3

그림 4-3-1. 중·저준위 방사성폐기물 인도 규정

그림 4-3-1에서 명기된 방사성핵종은 베타/감마핵종들로 방사성핵종 화학분리를 통해서만 방사성핵종 농도를 정량할 수 있다.

국내 유일의 방사화학시설을 보유한 원자력화학연구부는 중저준위 방사성폐기물의 연구처분을 위한 방사성핵종 화학분석 외에 연구원 고유업무 지원 등의 업무증가 및 화학분석 품질향상 요구 등에 대응하여야 하며, 그 요인들은 아래와 같다.

- 원자력 발전소의 증설, 원자력 발전소 및 연구용원자로 수출, 관련 핵연료 수출 등 원자력 산업 활동의 증가에 따라서 고방사성 물질의 화학시험 요구의 증가
- 고방사성 물질의 화학시험 요구를 충족시키기 위해서는 경쟁력 있는 방사화학 인프라 확충 필요

- 고방사성 물질 화학시설 신축을 통해 기존의 시설 노후화에 따른 안전사고 예방 및 KOLAS 대외 신뢰도 확보

2. 방사화학 분석시설 및 방사능 측정 장비 현황

가. 방사화학분석 시설

방사화학분석 시설을 포함한 조사후시험시설은 1981년에 착공하여 1985년 말에 준공되어 주로 PWR 상용로의 조사된 핵연료의 성능 및 건전성을 시험 및 평가 목적으로 건설되었다. 이중 핵연료의 화학적 특성 평가를 위한 방사화학분석 시설은 크게 6000존 및 7000존으로 구분하고 있으며, 그림 4-3-2에 상세도면 및 실험실 용도를 나타내었다.

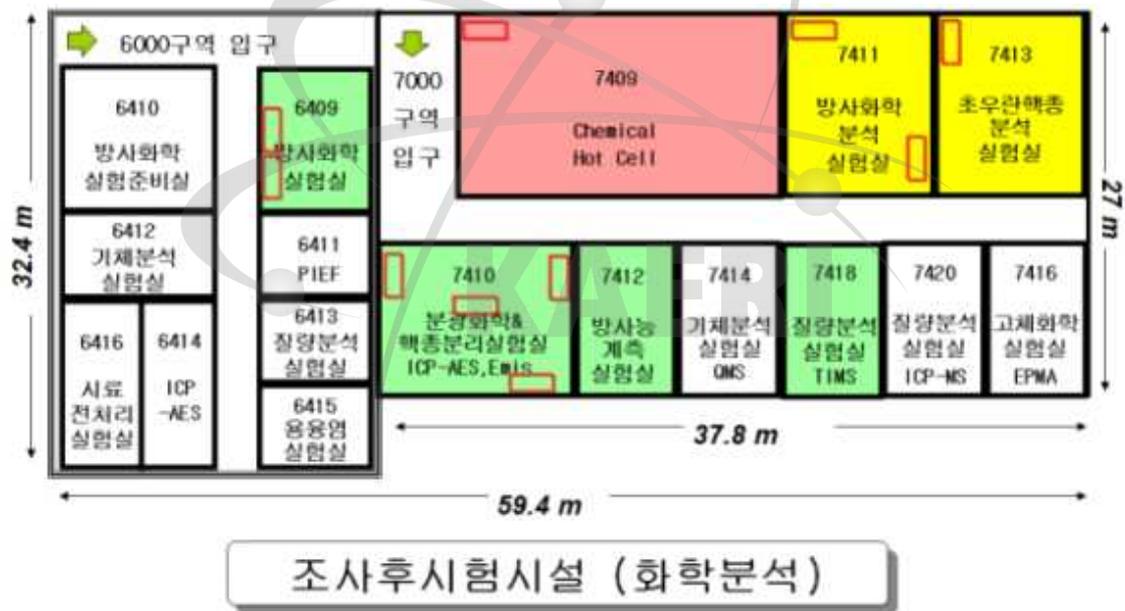


그림 4-3-2. 조사후시험시설 내 방사화학분석 실험실 lay-out

2000년 초반부터 한수원(주)의 요청에 따라 중저준위 방사성폐기물 내 핵종재고량 평가를 위해 6409호 및 7410호의 사용용도를 변경하였고, 원자력안전위원회 고시 제2013-29호에 근거하여 폐기물 내 방사성핵종 화학분리 및 정량 등을 수행하였다. 그림 4-3-2에서 소개된 6409호 및 7410호에서는 국내 유일하게 고시에서 언급하는 방사성핵종 농도를 분석하는 실험실로, 원내외 중저준위 방사성폐기물의 영구 처분 및 자체처분을 위하여 방사화학분석이 수행되었다.

국외의 방사화학실험실은 화학분석 결과의 정확성을 위하여 고준위, 중준위, 저준위 및 극저준위 실험실을 구별하여 교차오염을 방지하도록 설계되어 있다. 그러나, 연구원 내 방사화학실험실은 시설 및 실험실 부족으로 방사능 준위와는 상관없이 지정된 실험실에서 업무를 수행중에 있다. 교차오염을 방지하기 위하여 방사성 핵종 화학 분석할 때마다 제염 후 화학분석을 수행하고 있는 것이 현실이다.

나. 방사화학분석을 위한 설비 및 장비

(1) 방사화학분석 실험실 내 시료전처리 및 화학분리 장비

방사화학시설 내 방사화학분석실에서는 시료전처리 및 방사성핵종 화학분석을 위해 그림 4-3-3과 같이 Glove box 및 Fume hood 설비를 갖추고 있다. 차폐 glove box는 시료를 용액화하기 위한 시료전처리 과정에서 사용되고 있으며, 전처리과정에서 다양한 방사성 흡이 발생되기 때문에 glove box에서 용액화 과정이 이루어진다. 시료전처리 과정으로부터 용액화된 고선량의 시료는 일정부분 침전 등을 통해 선량을 낮추게 되며, 원자력안전위원회 고시에서 언급하는 순수베타핵종의 화학분리를 위해 Fume hood에서 화학분리를 수행하게 된다.





Alpha, Beta Shielded Glove Box(I)



Alpha, Beta Shielded Glove Box(II)



Fume Hood(I) in Radiochemistry Lab.



Fume Hood(II) in Radiochemistry Lab.

그림 4-3-3. 조사후시험시설 내 방사화학분석 실험실의 화학분석 설비

(2) 원자력화학연구부 보유 방사능 측정 장비

국제적 수준의 분석능력 확보를 위하여 원자력화학연구부에서는 다양한 방사능 측정 장비를 보유하고 있으며, 관련 내용은 표 4-3-1에 나타내었다.

표 4-3-1. 원자력화학연구부 보유 방사능 측정 장비

장비명	제조회사	구입년도	용도
Gross α, β Counting System	LB5100 Tennelec	1992년	- 하나로, IMEF, PIEF, 폐기물 시설 시료의 전알파/전베타 방사능 측정 - 원(연) 및 원전 중저준위 폐기물 전알파/전베타 방사능 측정
α, β Counting System	S5XLB Canberra	2006년	- 화학 분리된 Tc-99, Sr-90 등 베타 방출 핵종의 방사능 측정
α -Spectrometer	EG & G ORTEC	1990년	- 악티나이드 핵종 분석
α -Spectrometer	Canberra	2009년	- 미량 알파선 방출 핵종의 방사능 측정
α -Spectrometer	Alpha Analyst Canberra	2009년	- 미량 알파선 방출핵종 측정 - 원(연) 및 원전 폐기물 내 알파핵종 측정
γ -Spectrometer	EG & G ORTEC	1990년	- 원(연) 및 원전 중저준위 폐기물의 감마선 방출 핵종분석
γ -Spectrometer	EG & G ORTEC	1992년	- 하나로, IMEF, PIEF, 폐기물 시설 시료의 감마선 방출 핵종 분석
γ -Spectrometer	EG & G ORTEC	2008년	- 저준위 감마선 방출 핵종 측정 - 원(연) 및 원전 폐기물 내 Nb-94 등 감마선 방출 핵종 측정
γ -Spectrometer	EG & G ORTEC	2008년	- 원(연) 및 원전 폐기물 내 I-129 측정
Na(I) Photon Detector	Canberra	95년 이전	- 원(연) 및 원전 폐기물 내 Fe-55 방사능 측정
Low-Energy Photon Detector	EG & G ORTEC	2010년	- 원(연) 및 원전 폐기물 내 Ni-59 방사능 측정
LSC	2560TR/AB Packard	1993년	- 하나로, IMEF, PIEF, 폐기물 시설 시료의 H-3/C-14 방사능 측정 - 원(연) 및 원전 폐기물 H-3/C-14 핵종분석
LSC	1220 Quantlus	2009년	- 화학 분리된 Sr-90 측정 - 환경 시료 중 베타선 방출 핵종 측정
LSC	3100TR Packard	2011년	- 저준위 H-3/ C-14 등의 방사능 측정 - Ni-63, Sr-90 등의 핵종 측정

표 4-3-1에서는 전알파/베타 측정장비 2대, 알파 측정장비 3대, 감마 측정장비 4대, 저에너지감마 측정장비 2대, 베타핵종 측정을 위한 액체섬광계수기 3대를 보유 중에 있다.

그러나, 이들 방사능 측정장비는 대부분 20년 이전인 1990년경에 도입되었고, 원내외 전문기술자들을 중심으로 유지보수 및 관리를 통하여 최근까지 성능을 유지하여 왔지만, 공급자의 부품 생산 중단 등의 사유로 몇몇 기기는 사용중지 상태에 있다. 이후 2005년경부터 방사능 측정장비는 연차별로 추가 구입되었지만, 20년 이상 사용된 계측기의 지속적인 고장 등으로 인하여 원내외로부터 요청되는 방사성물질 내 방사능 측정은 여전히 어려움을 겪고 있다. 표 4-3-2은 원자력화학연구부에서 구입된 방사능 계측기의 보유현황을 연도별로 표기하였다.

표 4-3-2. 원자력화학연구부에서 구입된 방사능 계측기의 연도별 구입현황

장비명	사용시기			합계
	10년 이내 (’05 ~ ’14 구입)	10 ~ 20년 (’95 ~ ’04 구입)	20년 이상 (’95년이전 구입)	
Gross α, β Counting System	1	-	1	2
α -Spectrometer	2	-	1	3
γ -Spectrometer	2	-	2	4
Photon Detector	1	-	1	2
LSC	2	1		3

표 4-3-2에서와 같이 주로 1995년 이전에 구입되어 20년 이상 사용된 계측기는 유지보수 및 부품확보 등을 통해 현재 전알파/베타 계측기를 포함하여 약 5대의 계측기가 운영 중에 있다. 이후 10년 동안은 예산부족 등의 사유로 방사능 측정장비를 전혀 확보할 수 없었고, 2005년부터 한수원(주) 수탁사업 등으로부터 예산확보를 통해 방사능 측정장비를 연차별로 추가 구입하여 원내외 요청시료에 분석지원 중에 있다.

제 5 장 연구원 폐기물 처분일정 수립

제 1 절 처분대상 폐기물 물량 산정

1. 재료조사시험평가부 관리대상 폐기물

재료조사시험평가부의 관리대상 방사성폐기물은 핵주기시설 및 원자력 R&D의 수행과정에서 지속적으로 발생하게 된다. 따라서 처분대상 폐기물 물량의 산정에 어려움이 있을 수 있으나, 다음과 같은 기준을 적용하여 물량을 산정하였다.

- 2008년까지 발생하여 저장 중인 폐기물 : 감용율 20% 적용
- 2009년 이후로 연간 발생하는 폐기물 : 감용율 30% 적용
- 연간 발생하는 폐기물 물량 : 520 드림 (과거 10년간 발생량의 평균)

이에 따라 산정한 재료조사시험평가부 관리대상의 처분대상 폐기물량은 다음과 같다.

- 2008년까지 발생한 처분대상 폐기물 : 9,078 드림
 - $11,347 \text{ 드림} \times 80 \% (\text{감용율 } 20\%) = 9,078 \text{ 드림}$
- 2009년 이후로 연간 발생하는 처분대상 폐기물 : 364 드림/연
 - $520 \text{ 드림} \times 70 \% (\text{감용율 } 30\%) = 364 \text{ 드림}$

이는 장기 계획수립을 위한 처분대상 폐기물 물량 산정을 위한 기본 접근법으로 실제적인 폐기물 발생량과는 차이가 있을 수 있다. 일례로 2009년부터 2013년까지 5년간 발생한 폐기물의 총량은 2,570드림으로 연 평균 514 드림이 발생한 것을 알 수 있다. 그러나 방사선관리구역 내 장비의 해체 또는 시설의 개보수 과정에서 다량의 폐기물이 발생하고 있으므로, 처분대상 폐기물 물량산정시 연평균 발생량 520 드림을 유지하는 것이 바람직하다고 판단된다.

저장 중 또는 신규 발생하는 방사성폐기물은 분류, 해체, 압축, 재포장, 규제해제 등을 통해 감용하고 있다. 특히 일부 극저준위 철재 방사성폐기물의 경우, 사용장소, 발생이력, 오염도 분석 후 제염을 통해 규제해제 대상 폐기물로 분류하여 관리하고 있다. 향후 규제해제 인허가 및 위탁처분의 수행으로 방사성폐기물 감용효율을 좀 더 높일 수 있을 것으로 예상하고 있다.

2. 원전제염해체기술개발부의 폐기물

가. 서울 연구로 해체폐기물

서울 연구로에 발생한 해체폐기물 중에서 토양 108 드럼, 콘크리트 335 드럼, 일반 금속 39드럼, 비가연성 잡고체 22드럼, 방사능농도가 높아 차폐가 필요한 금속 폐기물을 포장한 cask 1개와 향후 해체 마무리 과정에서 발생될 것으로 예상되는 콘크리트폐기물 약 10드럼을 포함하여 약 515 드럼의 폐기물을 2015년에 먼저 처분할 예정이다.

이외의 폐기물은 대전 본원으로 이송하여 2차 처리 후 처분 예정으로 이들 폐기물의 처분 물량은 대전 해체폐기물 처분대상 물량으로 산정할 것이다.

나. 대전 해체폐기물

대전 본원에 저장 중인 해체폐기물은 가연성폐기물 처리시설, 금속폐기물 용융 시설, 토양-콘크리트 폐기물 처리시설에서 처리 후 각 처리 시설의 특성에 따라 규제해제 대상폐기물과 최종 처분 대상 폐기물로 분류하여 규제해제 혹은 폐기물로 처분할 예정이다. 이들 처리 시설 중에서 가연성폐기물은 연간 10톤 (약 250 드럼) 처리하여 전량 감용 처리되어 처분 대상인 최종폐기물은 약 3 드럼 발생할 것으로 추정된다. 또한 금속폐기물은 금속용융 처리시설에서 연간 50톤 (약 330드럼) 처리되어 대부분의 금속폐기물은 제염되어 규제해제대상 폐기물로 분류되고 약 11드럼의 처분대상 슬래그폐기물이 발생할 것으로 추정된다. 또한 토양-콘크리트 폐기물은 처리시설의 처리량을 연간 1,200드럼으로 확충할 경우 약 120톤의 규제해제대상 폐기물이 분류되고 처분대상 폐기물은 약 240드럼 발생할 것으로 추정된다. 표 5-1-1은 2015년부터 2024년까지의 해체폐기물의 처리 시 처분대상 폐기물 발생량을 나타낸 것이다. 이들 중 토양-콘크리트 폐기물 처리시설에서는 2028년까지 매년 약 240드럼의 처분대상 폐기물이 발생할 것으로 추정된다.

표 5-1-1. 해체폐기물 처리 후 처분대상 폐기물 예상 발생량

폐기물	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
가연성폐기물	3	3	3	3	3	3	-	-	-	-
금속폐기물	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
토양-콘크리트 폐기물	20	60	160	240	240	240	240	240	240	240
총계	34	74	174	254	254	254	251	251	251	251

다. 규제해제대상폐기물 처분 및 소요예산

원자력시설 해체 시 발생하는 해체폐기물은 분류 혹은 제염처리를 통하여 많은 양의 규제해제 대상폐기물이 발생한다. 연구로 2호기의 해체공사 중 발생한 규제해제대상폐기물 중 콘크리트폐기물 1,735톤을 규제해제 승인을 득하여 도로의 바닥재로 재활용한 바 있다. 표 5-1-2는 서울 연구로 해체 및 우라늄변환시설의 해체를 통하여 발생한 규제해제대상폐기물을 나타낸 것이다. 이들 규제해제대상폐기물의 저장고별 저장현황을 표 5-1-3에 나타낸 것이다. 연구로 2호기 해체공사를 진행하면서 발생한 규제해제대상폐기물은 20ft 컨테이너에 포장하여 대전으로 이송하여 현재 해체폐기물저장고-1에 저장 관리하고 있다. 그러나 해체폐기물저장고-1은 연구로 1호기 해체공사가 완료되고 처분대상 이외의 폐기물 300드럼을 이송 저장해야 하고 새로 발생하는 토양-콘크리트 폐기물의 처리 후 발생하는 2차폐기물의 저장을 위하여 이들 규제해제 대상폐기물은 별도의 규제해제대상폐기물 저장시설을 건설하여 저장 관리해야 하는 실정이다.

표 5-1-2. 규제해제 대상 폐기물 관리현황

종류	서울 연구로	우라늄변환시설	총량
토양	91	33	124
콘크리트	344	10	354
금속	205	63	268
금속 인고트	-	71	71
가연성잡고체	20	-	20
비가연성잡고체	32	-	32
총량	692	177	869

표 5-1-3. 규제해제 대상폐기물 저장고별 저장현황

저장고	200L 드럼		4 m³ 컨테이너		20ft 컨테이너		마대	
	ea	ton	ea	ton	ea	ton	ea	ton
서울연구로	657	232	5	18	-	-	-	-
해체폐기물 저장고-1	-	-	-	-	17	350	-	-
규제해제대상 폐기물저장고	106	7	-	-	-	-	469	223
토양/콘크리트 처리시설 저장고	-	-	-	-	-	-	35	39

또한 해체공사 중 분류하여 규제해제대상폐기물로 저장 관리하고 있는 폐기물을 규제해제하기 위해서는 폐기물 200kg 당 시료를 채취하여 핵종 분석을 해야 하는 등 현재 개정 중인 규제해제 관련 법규에 따라 모든 분류 및 핵종 분석 작업이 수행되어야 한다. 또한 건설폐기물 재활용 촉진에 관한 법률 적용대상인 콘크리트 폐기물은 규제해제 후 도로의 바닥재 등으로 재활용해야하는 어려움을 가지고 있다. 이는 2012년 연구로해체 규제해제 콘크리트폐기물의 의왕시 도로 바닥재 재활용 사건에서 경험하였듯이 국민수용성 측면에서 규제해제 폐기물일지라도 일반 국민의 생활권 내로 재활용될 경우 부정적일 수밖에 없는 실정이다. 또한 비가연성잡고체 폐기물의 규제해제와 관련해서는 경험이 전무한 상태로 이에 대한 대비가 필요하다.

따라서 서울연구로 및 우라늄변환시설의 해체로부터 발생한 약 800여 톤에 이르는 규제해제 대상폐기물의 규제해제를 위한 연구원 차원의 종합적인 대책이 필요한 시점이다. 본 대책은 규제해제 대상폐기물의 단순 규제해제 뿐만 아니라 향후 국내 원전의 해체 시 발생하는 막대한 양의 해체폐기물의 규제해제를 위한 사전 연구의 형태로 추진되어야 할 것이다. 이와 같은 목적으로 규제해제대상폐기물의 규제해제를 위한 종합적인 처분 계획안을 다음과 같이 제시하고자 한다.

(1) 규제해제대상폐기물의 처분 계획 안

(가) 최종목표

- 원자력시설 해체시 발생한 규제해제대상폐기물의 안전한 규제해제 시스템 확보 및 관련기술 자립

(나) 사업내용

- 규제해제대상폐기물 저장 및 처리 시설 건설

- 저장용량: 1,000 톤
- 폐기물 분류 및 재포장 시설
- 핵종 분석 장비

- 규제해제 방안 수립

- 콘크리트, 금속폐기물의 재활용 및 토양의 매립에 의한 규제해제
- 국민수용성을 반영하여 연구원 내에서 재활용 및 매립 처분 방안 수립 및 관련 연구
- 기타 (비가연성 등) 규제해제 대상폐기물 처분 방안 수립

(다) 예상성과

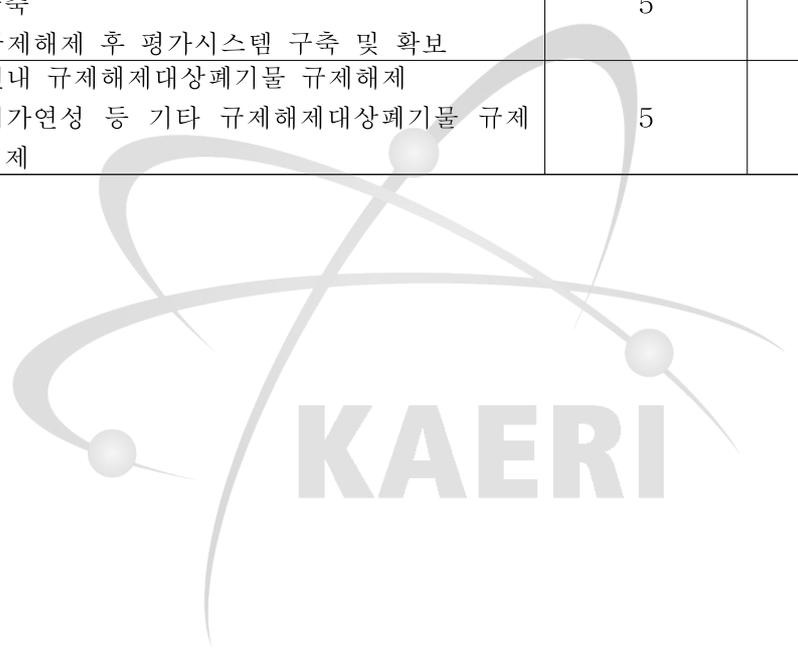
- 800여 톤에 이르는 규제해제대상폐기물의 안전한 규제해제 및 원자력에 대한 국민수용성 증대

- 향후 국내 원전의 해체 시 발생하는 막대한 양의 해체폐기물의 규제해제기술 확보

(라) 연도별 사업비 및 사업내용

- 총사업비 : 63억원

구분	사업목표	소요인력, MY	소요예산, 억원
2015	-규제해제대상폐기물 저장 및 처리시설 구축 -규제해제 방안 수립	5	19
2016	-연구원 내 규제해제폐기물 재활용 및 매립 시스템 확보 및 평가 -폐기물 특성별 규제해제 인허가 요건 확립	5	13
2017	-원내 규제해제폐기물 재활용 및 매립시설 구축 -규제해제 후 평가시스템 구축 및 확보	5	19
2018	-원내 규제해제대상폐기물 규제해제 -비가연성 등 기타 규제해제대상폐기물 규제 해제	5	12



제 2 절 처분대상 폐기물 특성평가 방안 수립

1. 재료조사시험평가부 관리대상 폐기물

제3장에서 논의한 바와 같이 영구처분을 위해서는 방사성폐기물에 포함되어 있는 전체 방사성핵종 중 95% 이상의 농도를 규명하여야 하며, H-3, C-14, Fe-55, Co-58, Co-60, Ni-59, Ni-63, Sr-90, Nb-94, Tc-99, I-129, Cs-137, Ce-144, 전알파 등에 대해서는 농도 규명이 필요하다. 상기 방사성핵종은 대부분 순수베타핵종들로 방사 화학적 화학분리를 통해서만 방사성핵종 농도를 정량할 수 있다.

재료조사시험평가부 관리대상 폐기물의 경우, (1) 체계적인 방사성폐기물 관리가 이루어지기 전에 발생된 과거 폐기물이 상당수 있으며 (2) 발생시설별 함유가능 방사성핵종이 다양하기 때문에 발전소 현장과 같이 일정한 폐기물발생유형을 갖지 않는다. 단지, 폐기물발생유형을 가질 것으로 추정되는 하나로시설, 조사재시험시설, 조사후시험시설은 발전소 폐기물 내 핵종재고량 평가 방법과 동일한 척도인자 적용이 예상된다. 척도인자는 해당시설에서 발생된 방사성폐기물의 화학분석을 통해 얻을 수도 있지만, 원자력발전소에서 활용중인 척도인자의 적용도 가능할 것으로 판단된다. 방사성핵종 분석결과를 통계적으로 분석하여 어떤 척도인자를 적용할지에 대해서는 추가연구가 필요하다.

그 외 시설은 연구의 목적에 따라 사용핵종 및 방사능량이 각기 다르기 때문에 대표균을 설정하고, 드럼별 채취된 시료의 혼합 등을 통해서 방사성핵종 화학분석 결과를 제시하고자 한다.

이외의 감마핵종 분석은 처분을 위해 준비된 폐기물 포장물을 4장에서 논의한 처분드럼핵종평가 시스템을 이용해 평가하게 된다. 현재 연구원의 처분량 목표는 연간 800 ~ 1,000 드럼으로 해당 시스템을 이용한 목표량 달성에 무리가 없을 것으로 판단된다.

2. 원전제염해체기술개발부 관리대상 폐기물

가. 서울 연구로 해체폐기물

연구로 해체폐기물의 감마선 방출 핵종은 HPGe 검출기를 이용하여 실험실에서 분석을 수행하고, 알파 및 베타선 방출핵종은 폐기물 특성별로 분류하여 원자력연구원의 원자력화학연구부에 의뢰하여 화학적 추출/분리 후 핵종별 방사능을 측정한다. 폐기물은 콘크리트, 토양, 금속, 비가연성잡고체로 분류하여 각 시료에 대해 알

파 및 베타선의 핵종별 방사능을 측정후 scaling factor를 산출한 후 각 폐기물의 특성평가 자료로 사용한다.

나. 우라늄변환시설 해체폐기물

우라늄 변환시설에서는 농축시키지 않은 천연우라늄(Natural Uranium)만을 취급하였기 때문에 핵반응과는 관련이 없으므로 인공 방사성동위원소에 의한 오염은 없으며, 우라늄이나 우라늄의 딸 핵종에 의한 오염만이 존재한다. 폐기물의 특성을 파악하기 위하여 폐기물에 대한 우라늄 농도 측정이 필요하다. 감마분석에 의한 우라늄 농도 측정 연구를 통하여 오염을 신속하게 측정하는 방법이 매우 유용하고 0.004Bq/g 이하의 오염까지 충분히 측정할 수 있다. 감마분석 시 Pa-234m, Th-230, Pa-231의 핵종이 관측되면 오염된 것이고 Th-234, U-235의 핵종은 농도에 따라 오염을 판단해야 하며, 오염도가 낮은 경우에 감마분석 결과는 보수성이 매우 크다는 결과를 얻었다. 이 같은 연구결과를 이용하여 우라늄 변환시설에서 발생하는 해체물의 오염도 분석은 감마분석을 통하여 계측한다.



제 3 절 공단의 비원전 폐기물 인수계획

한국원자력환경공단은 원전 및 비원전 방사성폐기물에 대한 인수계획을 수립하여 운영하고 있다. 연구원 방사성폐기물에 대한 처분계획은 2013년 제출되었는데 공단의 요청은 ‘중·저준위 방사성폐기물 처분시설의 유지지역지원에 관한 특별법 시행령’의 ‘제31조 4항 관리사업자는 매년 11월 말일까지 다음 3년 동안의 분기별 방사성폐기물 반입예상량을 조사하여 관할지방자치단체의 장에게 통보하여야 한다.’에 근거하여 수행되었다.

연구원의 방사성폐기물 외에도 한전원자력연료의 방사성폐기물, 대전에 보관하고 있는 방사성동위원소에 대한 인수계획도 모두 취합한 공단의 자료를 표 5-3-1에 나타내었다. 표에서 연구원 폐기물은 2014년부터 연간 800 드럼씩 인수하는 것으로 되어 있으며, 이에 근거하여 연구원 방사성폐기물의 처분장 인도계획을 수립할 수 있게 되었다.

표 5-3-1. 공단의 연도별 방폐물 인수계획

(200리터 드럼 기준)

구분	원전					비원전				합계
	한울	월성	고리	한빛	소계	KAERI	KNF	RI	소계	
2010	1,000	536	0	0	1,536	0	0	0	0	1,536
2011	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2012	0	1,000	0	0	1,000	0	0	0	0	1,000
2013	0	1,000	0	0	1,000	0	0	0	0	1,000
2014	1,000	0	0	1,000	2,000	800	0	0	1,589*	3,589
2015	1,000	0	2,000	2,000	5,000	800	0	400	1,200	6,200
2016	2,000	1,000	3,000	2,000	8,000	800	0	400	1,200	9,200
2017	2,000	1,000	2,000	3,000	8,000	800	0	400	1,200	9,200
2018	3,000	1,000	2,000	2,000	8,000	800	600	400	1,800	9,800
2019	2,000	1,000	3,000	2,000	8,000	800	600	400	1,800	9,800
2020	3,000	0	2,000	3,000	8,000	800	600	0	1,400	9,400

※ 기타폐기물(노원구 폐아스콘) 789 드럼 포함

이와 더불어 공단은 현재 공사중인 1단계 동굴처분장을 2014년에 준공할 예정이며, 이후로 2016년 2단계 천층처분시설의 준공, 2017년 3단계 극저준위처분시설의

준공을 계획하고 있다. 이에 따른 공단의 단계별 방폐물 인수계획은 다음과 같다.

· 2단계 천층처분시설 준공 후 : 동굴처분시설과 천층처분시설이 동시 운영됨에 따라 신분류에 따른 방폐물 중 고선량 방폐물은 동굴처분시설, 저선량 방폐물은 천층처분시설 처분

· 3단계 극저준위처분시설의 준공 후 : 기존 동굴처분시설 및 천층처분시설은 동일하게 운영하고, 신분류에 따른 극저준위 방폐물을 극저준위 처분시설에 처분

이러한 처분시설 정치방안을 현재 고려되고 있는 방사성폐기물 신분류 체계와 같이 표 5-3-2에 나타내었다. 표에는 연구원의 ‘운영 중 방사성폐기물’ 내 주요핵종인 Co-60 및 Cs-137의 규제면제수량 및 처분농도 제한치도 같이 비교하였다.

표 5-3-2. IAEA 신분류기준에 따른 처분시설 정치방안

농도 처분방식	표면선량률 (mSv/hr)	방사능 농도	비고
동굴처분시설 (2014.6 ~)	1초과	핵종별 처분농도 제한치 이내, 1×10^5 Bq/g 이상	· Co-60 - 규제면제수량: 1×10^5 Bq, 농도: 1×10^1 Bq/g - 처분농도 제한치 :
천층처분시설 (2016.12 ~)	0.01 ~ 1	농축폐액 평균농도 고려, 1×10^5 Bq/g 미만	3.70×10^7 Bq/g · Cs-137
극저준위 처분시설 (2017.12 ~)	0.01 미만	규제면제 이상 핵종별 제한농도 100배 이하	- 규제면제수량: 1×10^4 Bq, 농도: 1×10^1 Bq/g - 처분농도 제한치 : 1.11×10^6 Bq/g

현재 공단에서는 처분시설의 구분에 따른 방사성폐기물 관리비용 차이가 크지 않을 것으로 언급하고 있으므로, 연구원 차원에서 처분시설을 고려한 처분준비가 불필요할 수도 있다. 그러나 방사성폐기물 영구 처분시설을 위한 추가적인 부지확보가 어려운 현실이므로, 국가 방사성폐기물 관리정책을 따르기 위하여 방사성폐기물을 방사능농도에 따라 분류하고 각 방사성폐기물에 적합한 처분을 수행하는 것이 바람직할 것이다.

제 4 절 처분대상 폐기물별 우선순위 평가

지역 주민 및 지역 정치권의 지속적인 관심 대상이 되고 있는 연구원 방사성폐기물은 조속한 영구 처분장 이송이 필요하다 할 것이다. 그러나 (1) 연간 누적 관리되고 있는 처분 적립금의 규모가 처분대상 폐기물량에 비해 작은 편이고, (2) 처분장 이송을 위한 폐기물 특성평가 및 분석시스템의 처리용량에 한계가 있기 때문에, 처분장이 정상적으로 운영되고 연구원 폐기물을 인수할 준비가 되어 있다 하더라도 일시적으로 연구원 폐기물 전량을 처분하는 것은 현실적인 방안이 될 수 없다.

따라서 원자력환경공단의 폐기물 인수계획을 기반으로 연구원 주변 주민 및 정치권의 요구, 연구원의 방사성폐기물 처분적립금 운용계획, 관리부서별 방사성폐기물 저장능력, 처분대상 폐기물 특성평가 및 분석시스템 운영효율성 등을 고려하여 처분대상 폐기물의 우선순위를 평가해야 할 것으로 판단된다. 이중 실제적인 처분이 계획대로 이행될 경우 관리부서별 방사성폐기물 저장능력은 문제가 되지 않을 것으로 판단되어 본 연구에서 이를 고려하지는 않는다.

본 연구에서는 공단의 인수계획에 따라 연 800드럼 처분을 목표로 우선순위를 판단하였으며, 판단한 기간별 처분대상 폐기물별 우선순위는 다음과 같다. 일반적으로 처분대상 폐기물은 전년도에 생산되어 ‘방사성폐기물 인수방법 등에 관한 규정’에 따라 사전 처분계획을 제출해야하기 때문에, 처분대상 폐기물의 발생량과 처분량은 시차가 있게 된다.

1. 단기 처분대상 폐기물 (2015년 ~ 2018년)

해당 기간 내에 서울 연구로 해체사업이 종료되기 때문에 해당 사업과정에서 발생된 폐기물 중 처분대상 폐기물 509드럼에 대한 우선적 처분이 고려되어야 할 것으로 판단된다. 이와 더불어 표 5-1-1에 의하면 해체폐기물 중 처분대상 폐기물로서 고려할 수 있는 것은 2015년도의 34드럼, 2016년도의 74드럼, 2017년도의 174드럼으로 총 282드럼이다.

4년간 처분목표량 3,200드럼 중 이를 제외한 2,409드럼은 재료조사시험평가부 관리대상 폐기물로서 채워야 할 것이다. 앞선 논의한 바와 같이 재료조사시험평가부 관리대상 폐기물은 종류별 함유가능 핵종이 다양하며, 특성평가가 어렵기 때문에 처분대상 폐기물의 선정에 유의해야 할 것이나 우선적으로 폐필터와 우라늄 함유 폐기물의 처분을 고려할 수 있다. 이와 더불어 비교적 함유 핵종이 단순한 환경정비 폐기물(토양, 콘크리트)을 처분대상 폐기물로서 고려할 수 있다. 이러한 폐기물

내 주요핵종은 Co-60과 Cs-137인 것으로 알려져 있으므로, 핵종평가가 비교적 용이할 것으로 판단된다. 또한 기타 잡고체 폐기물도 제5장 제2절에 따른 폐기물 특성평가 방안의 수립 및 구현여부에 따라 처분우선순위로 고려할 수 있다.

연도별 처분물량의 관리부서별 배분은 공단의 인수계획, 운반방법, 방사성폐기물 처분 적합성 평가 등을 판단하여 최종적으로 결정할 수 있을 것이나, 이 기간에는 동굴처분시설이 주로 운영될 것이므로 비교적 방사능 농도가 높은 폐기물을 우선적으로 처분하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

2. 중기 처분대상 폐기물 (2019년 ~ 2022년)

해당 기간 내에 해체폐기물 중 처분대상 폐기물로서 고려할 수 있는 것은 2018년도부터 2020년도의 254드림/년, 2021년도의 251드림으로 총 1,013드림이다.

4년간 처분목표량 3,200드림 중 이를 제외한 2,187드림은 재료조사시험평가부 관리대상 폐기물으로써 채워야 할 것이다. 해당 기간에 처분대상 폐기물로 고려할 수 있는 것은 단기(2015년 ~ 2018년)간 처분되고 남겨나 중기 (2019년 ~ 2012년)간 신규로 발생된 폐필터, 환경정비 폐기물, 기타 잡고체 폐기물 등이 있다.

이 기간에 기장연구로의 운영이 시작되면서 방사성폐기물이 발생하나, 처분시스템을 운영하기에는 발생 폐기물량이 많지 않을 것으로 판단된다.

해당 기간에는 동굴처분시설, 천층처분시설, 극저준위처분시설이 모두 운영될 것이므로 각 시설의 인수기준에 따라 방사성폐기물의 특성평가에 소요되는 시간이 증가할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 방사선적 특성분석이 비교적 용이한 신규 발생 폐기물의 우선적 처분을 고려하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

3. 장기 처분대상 폐기물 (2023년 ~)

해당 기간 내에 해체폐기물 중 처분대상 폐기물은 연간 251 드림이 발생하게 된다. 이와 더불어 기장연구로의 방사성폐기물에 대한 처분도 고려해야 할 것이며 그 규모는 연간 100여 드림 수준이 될 것으로 판단된다. 따라서 이를 제외하고 연간 약 450드림은 재료조사시험평가부 관리대상 폐기물으로써 채워야 할 것이다.

제 6 장 난처분성 폐기물의 처리/처분 방안

제 1 절 난처분성 폐기물 관리현황

1. 재료조사시험평가부의 난처분성 폐기물 관리현황

“난처분성 폐기물”이란 방사성폐기물 처분장의 폐기물 인수기준을 충족시키기 위해서 기존 처리설비를 이용한 처리이외의 추가적인 처리가 요구되는 폐기물로 정의한다. 재료조사시험평가부가 저장하고 있는 난처분성 폐기물은 고체폐기물과 액체폐기물이 있으며 처분장 인수기준을 충족시키기 위한 다양한 실험과 시간이 요구되며 장치설비와 인력 및 비용이 필요하다. 이에 해당되는 폐기물은 질산염(Lime) 폐기물, 폐이온교환수지, 중준위폐기물, 아스팔트고화체, EDTA 폐기물, 유기성 액체폐기물, 트리튬 액체폐기물이 있다.

가. 재료조사시험평가부의 폐기물관리 현황

(1) 액체 방사성폐기물의 관리현황

액체 방사성폐기물 처리공정은 준위별 저장공정, 증발농축공정, 자연증발공정, 아스팔트고화공정이며 이 모든 공정은 현재까지 공정의 설계치 성능을 유지하고 있다. 따라서 연구원의 액체폐기물 관리는 이상이 없는 것으로 판단된다. 액체의 무방류 개념(Zero release) 으로 도입된 자연증발시설을 이용하여 연구원에서는 어떤 종류의 액체폐기물도 하천으로 방류하지 않았다.

그림 6-1-1은 2013년 말까지 자연증발시설에서 처리된 액체폐기물의 총 누적량을 나타낸 것으로 5,856 톤을 처리하였다.

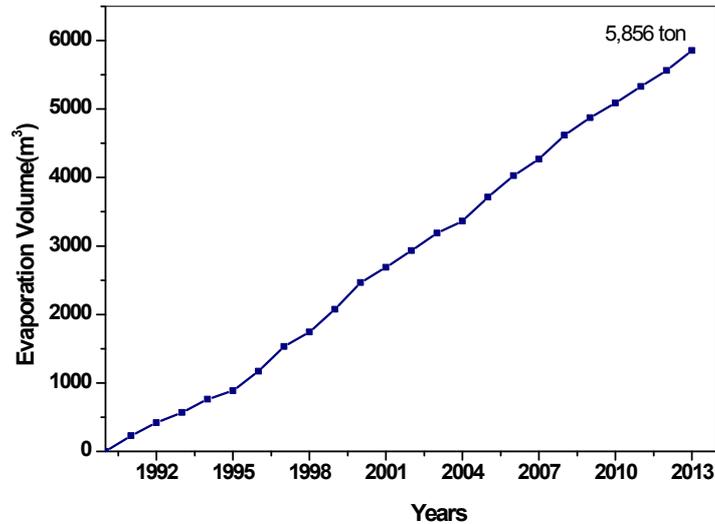


그림 6-1-1. 자연증발시설의 액체폐기물의 처리 누적량

유기성 액체폐기물(8 m³)과 H-3 액체폐기물(14 m³)은 그 양은 많지 않으나, 난 처분성 폐액으로 분류하여 처리방법을 모색 중이다.

(2) 고체 방사성폐기물의 관리현황

고체 방사성폐기물은 최종적으로 경주 처분장에 영구 처분하는 폐기물로 처분장 인수기준에 부합하여야 한다. 경주의 동굴처분장(silo) 준공은 2014년 6월로 예정되어 있으나 극저준위와 저준위 폐기물을 처분할 천층처분장은 계획 단계에 있다.

고체폐기물의 관리는 압축성폐기물의 압축처리, 대형 비압축성폐기물의 절단분해, 오염토양과 콘크리트 폐기물의 자체처분으로 부피감용에 중점을 두어 관리하였다. 처분장 인수기준이 확립된 이후로 본격적인 처분준비 계획을 수립하여 2009년부터 수행중이다.

그림 6-1-2는 2013년 말까지 처리된 고체폐기물의 부피감용 누적량을 나타낸 것이다.

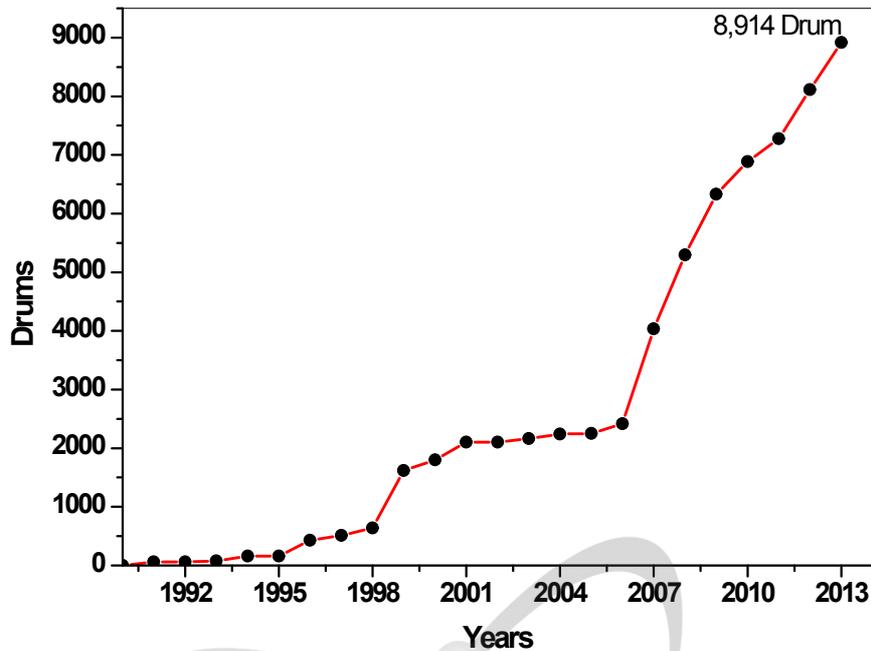


그림 6-1-2. 고체폐기물의 부피감용 누적량

나. 난처분성 폐기물의 관리현황

(1) 난처분성 고체폐기물

(가) 질산염(Lime) 폐기물

질산염 폐기물은 2005년 우라늄 변환시설의 라군(lagoon)에서 발생한 폐기물이며 라군 슬러지의 분석결과 보고서를 보면 질산염 폐기물의 주성분은 질산암모늄 [NH_4NO_3], 질산소다 [NaNO_3], 질산칼슘 [$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$], 탄산칼슘 [CaCO_3]로 유추된다.

이 질산염 폐기물은 저준위 저장시설에 4단으로 적재하고 있으며 외부로 드러난 드럼에서 부식이 발견되어 15여 드럼을 재포장하였다. 재포장은 스텐인레스 스틸 재질로 된 내부드럼을 제작하여 포장하고 200리터 표준드럼으로 재포장하였다. 질산염 폐기물은 화학적으로 안정되지 못한 폐기물이며 적재된 상태에서 육안으로 확인할 수 없는 드럼이 더 많으므로 특별관리 대상이 되어 있다. 변환시설에서 발생된 질산염 폐기물은 드럼별로 내용물 형태도 다양하여 lime, coperlite, lime+coperlite, lime+토양으로 구성되어 있다. 저장중인 질산염 폐기물은 총 474드럼이며 형태별 저장량은 표 6-1-1와 같다.

표 6-1-1. 질산염 폐기물의 내용물별 저장량과 특성

(단위: 200ℓ 드럼 기준)

내용물 형태	저장량 (드럼)	특성
1) lime	428	- 주성분 NH_4NO_3 , NaNO_3 , CaCO_3 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ - 주요 핵종 : 우라늄
2) Coperlite	37	
3) Lime + Coperlite	2	
4) lime + 토양	7	
합 계	474	

이 폐기물의 주요핵종은 우라늄(U-235)으로 방사능 농도는 매우 낮은 특징을 가지고 있으며 표 6-1-2은 질산염 폐기물의 방사능 농도를 나타낸 것으로 포함된 핵종 중에 Pa-234, Ac-228은 반감기가 매우 짧고 방사능 농도가 낮아 주요 핵종으로서 의미는 없다.

표 6-1-2. 질산염 폐기물의 방사능 농도

(단위: Bq/g)

구 분	Ac-228 (Actinium)	Pa-234 (Protactium)	Pa-234m (Protactium)	U-235 (Uranium)
Lime	5.44E-01	1.2E+00	1.16E+03	3.46E+01
Coperlite	2.22E+00	1.1E+00	1.08E+03	3.56E+01
비 고	<ul style="list-style-type: none"> • Ac-228 (반감기 6.1 hr) • Pa-234 (반감기 6.1 hr), Pa-234m (1.1 min) • U-235 (반감기 7.0E+08 yr) 			

(나) 폐이온교환수지와 아스팔트 고화체 폐기물

1) 폐이온교환수지

폐이온교환수지는 하나로 연구용원자로와 조사후시험시설, 방사성폐기물처리 시설에서 발생하며, 풀물의 정화, 액체폐기물의 처리과정에서 발생된다. 폐이온교환수지의 형태는 입자성 이온교환수지이며, 재질은 Polystyrene을 주성분으로 하는 유

기성 수지이고 주요핵종은 Cs-134, Cs-137, Co-60이다. 폐이온교환수지의 방사능준위는 대부분 저준위에 해당되나 핵종에 따라 일부는 중준위로 분류된다. 예를 들어 2006년에 포장하여 저장된 폐이온교환수지의 방사능농도를 살펴보면 표 6-1-3와 같은데, 핵종 Co-60은 저준위에 해당되지만 핵종 Cs-137은 저준위와 중준위의 경계에 있음을 알 수 있다.

표 6-1-3. 폐이온교환수지의 방사능 농도와 분류기준 (2006년)

핵종	방사능 농도 (Bq/g \pm 2 σ)	저준위농도 기준 (Bq/g)	판정
Co-60	1.320E+05 \pm 4.046E+03	3.70E+07 미만	저준위
Cs-134	2.144E+05 \pm 9.030E+03		
Cs-137	1.232E+06 \pm 5.181E+04	1.11E+06 미만	중준위

하나로, 조사재시험시설에서 발생된 폐이온교환수지는 200리터 드럼에 포장하여 저장하였으며, 조사후연료시험시설과 방사성폐기물처리시설에서 발생된 폐수지는 탈수하여 유리수가 제거된 상태로 내부용기에 담고 이를 차폐드럼(용량 120리터)에 포장하여 저장하였다. 표 6-1-4는 폐이온교환수지의 발생원과 발생량을 나타낸 것이다. 현재까지 저장된 폐이온교환수지는 총 231드럼이며 부피로는 약 35 m³ 있다.

표 6-1-4. 폐이온교환수지의 발생원과 발생량

발생원	하나로	조사후시설	조사재시설	방폐처리	기타	합계
발생량	120	17	22	69	3	231

2) 아스팔트 고화체 폐기물

연구원의 아스팔트 고화공정은 액체 방사성폐기물을 농축한 농축폐액과 분말수지를 고화 처리할 수 있도록 설계된 공정이다. 입자성 이온교환수지는 100 μ m 이하로 분쇄한 분말수지를 고화하며 고화체의 분말수지 함유량은 30 wt%이하로 제한하였다. 분말수지의 아스팔트고화는 고화체의 부피증가, 이온교환수지 입자의 분쇄,

고화공정 운전에 야기되는 문제점 등을 고려하여 2006년부터 실행하지 않았다. 2006년부터 현재까지 아스팔트고화의 처리대상은 증발농축 폐액이며 농축폐액의 핵종과 방사능 농도를 살펴보면 표 6-1-6과 같다. 표에서와 같이 Co, Cs, Ce, Fe, Nb, Zn, H3, Sr, Ni 등등 다양한 핵종이 존재하나 방사능 농도와 핵종의 반감기를 고려하면 주요핵종은 Co-60, Cs-134, Cs-137, Sr-90, H-3 임을 알 수 있다. 농축폐액의 방사성 핵종은 액체폐기물의 발생부서와 시기에 따라 조금 다르나 Co-60, Cs-134, Cs-137 핵종이 발생부서와 시기에 관계없이 주요핵종을 이룬다.

아스팔트 고화체 드럼은 200리터 규격드럼(DOT-17H 드럼)을 사용하였다. 그러나 영구처분 전까지의 드럼부식, 운반과정과 저장시설의 방사선량 관리, 다단계체를 위한 저장 효율을 고려하여 2000년부터 차폐드럼(용량 120리터)을 사용하였다. 이 차폐드럼은 페이온 교환수지의 포장드럼과 동일한 드럼이다. 연구원에서 발생된 약 5,000 m³의 액체폐기물을 처리하여 최종 생성된 아스팔트 고화체는 총 82드럼이다. 운전조건을 설정하기 위한 시운전 드럼을 제외하고 발생된 아스팔트 고화체를 200리터 드럼으로 환산하면 56드럼에 불과하다.

따라서 아스팔트고화는 부피감용이 매우 뛰어난 공정임을 알 수 있다. 표 6-1-5은 생성된 아스팔트 고화체의 방사능 농도와 특성을 나타낸 것이며 고화체는 신분류 개념으로 평가하면 모두 저준위 폐기물이다.

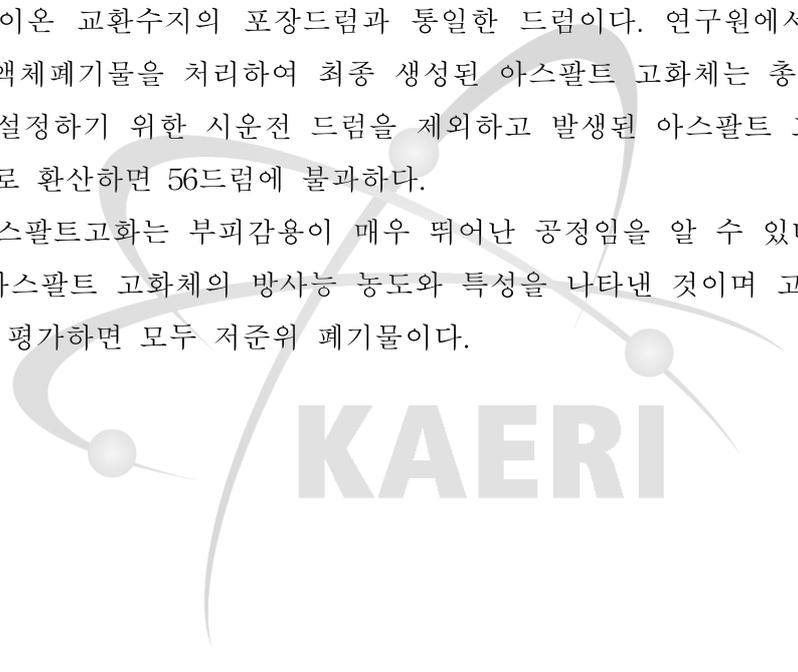
The logo for KAERI (Korea Atomic Energy Research Institute) is centered on the page. It features the word "KAERI" in a bold, sans-serif font. Above the text is a stylized graphic consisting of two curved lines that sweep upwards and outwards, ending in small circles, resembling a molecular structure or a dynamic system.

표 6-1-5. 아스팔트 고화체의 방사능 농도와 특성

드럼당 방사능 [mCi/드럼]	비방사능 농도 [Bq/g]	드럼수	분말수지 포함여부	특성	
< 0.5	< 8.94E+01	8	미포함	<ul style="list-style-type: none"> • 시운전 발생드럼 • 200ℓ 드럼 사용 	저준위 폐기물
21.0	3.75E+03	4	미포함		
9.5	1.70E+03	4	포함	<ul style="list-style-type: none"> • 200ℓ 드럼 사용 	
32~106	1.89E+04*	4			
32~73	1.30E+04*	8			
30~79	1.41E+04*	10	포함	<ul style="list-style-type: none"> • 120ℓ 차폐드럼 사용 - 2000. 1. 1.부터 	
73~119	7.14E+04*	11			
81~103	6.18E+04*	12	미포함	<ul style="list-style-type: none"> • 폐수지의 고화중단 - 2005. 1. 1.부터 	
46.8	2.80E+04	9			
95.7	5.74E+04	12			
합계		82			
비 고	* 비방사능 농도 [Bq/g] 값 - 106, 73, 79, 119, 103 mCi/드럼 일때				

표 6-1-6. 농축폐액의 방사성 핵종과 농도 (2006년, 2013년)

연도	방사성 핵종	방사능 농도 (Bq/mL $\pm 2\sigma$)
2006년	Co-60	2.84E+02 \pm 1.80E+01
	Cs-134	2.19E+02 \pm 1.53E+01
	Cs-137	5.67E+03 \pm 3.94E+02
	Ce-141	< 7.92E-01
	Ce-144	< 4.23E+00
	Co-58	< 2.86E-01
	Fe-59	< 9.00E-01
	Nb-94	< 4.67E-01
	Nb-95	< 4.15E-01
	Zn-65	< 7.60E-01
	Zr-95	< 6.66E-01
	Gross α	< 3.00E-02
2013년	Co-60	6.98E+01
	Cs-137	1.13E+04
	Sr-90	2.73E+01
	H-3	3.54E+02
	Ni-63	4.05E+03
	Gross α	1.33E-01

3) 기타 폐기물

기타 폐기물은 중준위폐기물과 고리원전의 EDTA 폐기물이다. 연구원의 중준위폐기물은 Hot cell에서 발생된 폐기물로 50리터 용기에 포장하여 Monolith에 저장한다. 다양한 핵종을 포함하고 있으며 저장중인 폐기물을 200리터 드럼으로 환산하면 51드럼이다.

고리원전의 EDTA 폐기물은 건조된 상태이며 EDTA 함유량이 비교적 높으며 저장량은 200리터 드럼으로 10드럼이다.

(2) 난처분성 액체폐기물

(가) 유기성 액체폐기물

유기성 액체폐기물의 발생원은 각종 용매류를 발생시키는 각각의 실험실과 절삭유와 유기 용매인 TBP, do-decane을 발생시키는 우라늄 변환시설을 들 수 있다.

실험실에서 발생된 각종 용매류는 소량씩 발생하고 각각을 분리 저장하는 것이 원칙이나 저장용기의 부식과 열화, 혼합 재포장, 저온 감압법에 의한 수분제거 등의 처리과정을 통하여 부피감용을 실시하였다. 이들 유기용매의 특징은 포함성분의 불분명과 이력의 부재, 부패에 의한 심한 악취, 저장용기의 부식 등으로 저장관리가 매우 어렵다. 그러나 방사능준위는 극저준위 폐기물에 해당되며 주요핵종은 미량의 우라늄과 Cs-137로 알려져 있으나 분석이 필요한 부분이다. 우라늄 변환시설에서 발생한 TBP(Tri-Butyl Phosphate)와 do-decane[CH₃(CH₂)₁₀CH₃]은 각각 우라늄 정제를 위해 추출제와 희석제로 사용된 유기용매로 미량의 우라늄이 함유되어 있다.

연구원 초창기부터 지금까지 발생된 유기폐액의 총량은 약 16 m³에 달한다. 유기폐액의 함유된 물(수분)은 저온 감압법으로 분리하여 무기액체 폐기물로 처리하였으며 현재 보관중인 유기폐액은 약 8 m³으로 저장현황은 표 6-1-7과 같다.

표 6-1-7. 유기성 액체폐기물의 특성과 저장량

구분	용매류 (성분 불명)	절삭유 (Oil 함유)	TBP, do-decane	합계
저장량 (ℓ)	2,055 (25.7%)	3,480 (43.5%)	2,465 (30.8%)	8,000

(나) 트리튬(H-3) 액체폐기물

트리튬 액체폐기물의 발생원은 하나로 연구용원자로이며 하나로 액체폐기물은 방사성폐기물처리시설까지 연결된 지하배관을 통하여 처리시설의 액체폐기물 저장탱크로 수집된다. 트리튬 폐액의 수집여부는 트리튬의 방사능농도에 따라 결정한다. 트리튬은 다른 핵종과 달리 증발농축공정으로 농축할 수 없으므로 발생 방사능농도 그대로 자연증발처리공정으로 유입되어 자연증발시설의 운영에 막대한 영향을 준다. 트리튬의 배기중 배출관리기준은 3×10^3 Bq/m³으로 증발농축공정은 물론 자연증발시설도 이 기준이하로 운영되어야 한다.

트리튬의 배수중 배출관리기준은 4×10^7 Bq/m³이며, 액체폐기물의 트리튬 농도

가 배수중 배출관리기준 이하일 때 증발농축공정과 자연증발공정은 트리튬의 배기중 배출관리기준($3 \times 10^3 \text{ Bq/m}^3$)을 충분히 만족한다. 따라서 액체폐기물의 트리튬농도는 $4 \times 10^7 \text{ Bq/m}^3$ 이하로 제한하는 것이 현재 방사성폐기물처리시설의 운영목표이다.

하나로가 저장하고 있는 트리튬 폐액은 트리튬농도가 $10^9 \sim 10^{10} \text{ Bq/m}^3$ 으로 관리기준의 100 ~ 1,000배 수준이며 저장량은 약 14m^3 으로 파악 된다. 표 6-1-8은 원자력안전법에 언급된 트리튬에 대한 배출관리기준을 나타낸 것이다.

표 6-1-8. 방사선방호 등에 관한 기준

[별표 3] 방사성물질의 연간섭취한도, 유도공기중농도 및 배출관리기준

핵종	흡		입		섭취		
	화학적 형태	연간 섭취한도	유도 공기중 농도	배기중의 배출관리 기준	화학적 형태	연간 섭취한도	배수중의 배출관리 기준
		Bq	Bq/m ³	Bq/m ³		Bq	Bq/m ³
H-3	G, 삼중수소가 결합된 물(피부흡수 포함)	1E+09	3E+05	3E+03	삼중수소가 결합된 물	1E+09	4E+07
	G, 유기적으로 결합된 삼중수소	5E+08	2E+05	2E+03	유기적으로 결합된 삼중수소	5E+08	2E+07
	G, 원소상태의 삼중수소	1E+13	5E+09	4E+07			
	G, 삼중수소가 결합된 메탄	1E+11	5E+07	4E+05			

(다) 액체폐기물의 관리현황

액체 방사성폐기물은 방사능 농도에 따라 분류되어 수집된다. 중준위 액체폐기물과 부식성 액체폐기물(CAW)은 아스팔트고화처리 하도록 설계되어 있다. 저준위 액체폐기물은 증발농축공정으로 농축하는데, 증발하는 액체를 응축하면 극저준위 응축폐액(99%)이 되며 농축된 농축폐액(1%)은 방사능 농도가 매우 높은 저준위 폐액이 된다. 따라서 증발농축공정은 제염계수($10^4 \sim 10^5$)와 부피감용(200배)이 매우 높은 공정이다. 극저준위 응축폐액은 자연증발공정으로 처리하며 농축폐액은 아스팔트고화공정으로 처리한다. 또한 연구원에서 발생된 극저준위 액체폐기물은 바로 자연증발시설에서 처리한다.

연구원에서 발생되는 모든 액체폐기물은 최종적으로 자연증발시설에서 처리

하므로 연구원에서는 어떤 종류의 액체폐기물도 하천으로 방류하지 않는다.

지금까지 언급된 재료조사시험평가부가 저장하고 있는 고체, 액체 난처분성 폐기물의 관리현황을 요약하면 표 6-1-9와 같다.

표 6-1-9. 재료조사시험평가부의 난처분성 폐기물의 관리현황

(단위: 200ℓ 드럼)

구분	항목	수 량	현황 및 특성
고체 폐기물	난 처 분 성 폐 기 물	질산염 폐기물	474 - 주요 핵종: 천연우라늄 - 변환시설 lagoon 폐기물
		페이온교환 수지	231 - 주요 핵종: Co, Cs - 하나로/조사후시험/방폐처리 - 부피: 약 35 m ³
		아스팔트 고화체	82 - 주요 핵종: Co, Cs, Sr, H-3 - 연구원 액체폐기물의 농축폐액
		EDTA 폐기물	10 - 고리원자력발전소 폐기물 - EDTA 함유량 높음
		중준위 폐기물	51 - Hot cell 폐기물 - 압축성/비압축성 폐기물 - Monolith 저장
액체 폐기물	난 처 분 성 폐 기 물	유기폐액	8 m ³ - 주요 핵종: Co, Cs, U - 성분: TBP/do-decane, 절삭유 - 방사능농도 매우 낮음
		H-3 폐액	14 m ³ - 주요 핵종: H-3 - 하나로 저장탱크에 저장 - H-3농도: 10 ⁹ ~10 ¹⁰ Bq/m ³

2. 제염해체 발생 난처분성 폐기물 관리현황

제염해체 폐기물 중 난처분성 폐기물은 고체폐기물로는 서울연구로 해체 중 발생한 흑연, 알루미늄, 납, 폐수지이고 액체폐기물로는 우라늄변환시설에서 발생한 유기폐액으로 상세 내역은 표 6-1-10과 같다.

표 6-1-10. 제염해체발생 난처분성 폐기물관리현황

(단위: 200ℓ 드럼)

구분	항목	수 량	특성
고체 폐기물	흑연	52	주요 핵종: Co, Cs
	알루미늄	47	주요 핵종: Co, Cs
	납	18	주요 핵종: Co, Cs
	폐수지	4	주요 핵종: Co, Cs
	소 계	121	
액체 폐기물	유기폐액	2.8 m ³	- 주요 핵종: 천연우라늄 - TBP 폐액



제 2 절 난처분성 폐기물의 처리방안 도출

1. 재료조사시험평가부의 난처분성 폐기물의 처리방안

가. 난처분성 폐기물의 처리방안과 소요예산

(1) 질산염 폐기물(Lime)의 처리방안과 소요예산

(가) 질산염 폐기물(Lime)의 처리방안

질산염 폐기물은 질산암모늄[NH₄NO₃], 질산칼슘[Ca(NO₃)₂], 질산소다[NaNO₃], 탄산칼슘[CaCO₃]이 주성분이다. 첫번째 처리방안은 비용이 적게 들고 작업이 쉬운 방법으로 화학적인 안정화 방법이다. 두번째 방안은 열분해방법으로 400 °C의 저온에서 질산암모늄 [NH₄NO₃]을 분해하고 900 °C의 고온에서 질산소다 [NaNO₃], 질산칼슘[Ca(NO₃)₂], 탄산칼슘[CaCO₃]을 분해하는 열분해 mechanism이다. 이 방법은 원전제염해체기술개발부에서 처리경험이 있으며 배기체 NO_x를 처리하기 위한 2차 처리공정이 필요하다. 그림 6-2-1는 원전제염해체기술개발부에서 질산염 폐기물을 처리한 공정도이며 공정의 구성과 소요비용은 다음과 같다.

1) 열분해 가열로

- 크기
 - 외부 : 700mm W X 700mm H X 700mm D
 - 내부 : 500mm W X 500mm H X 500mm D
- 가열로 개수 : 6기
- 가열로 설비(6기) 비용 : 1.5 억 원

2) 배기가스 처리시스템

- 목적 : Nox, NH₄ gas 제거
- 처리설비(6기) 비용 : 4 억 원

3) 운전 조건

- 운전 온도 : 400 °C(저온), 900 °C(고온)
- 처리 시간 : 약 3 시간/bach

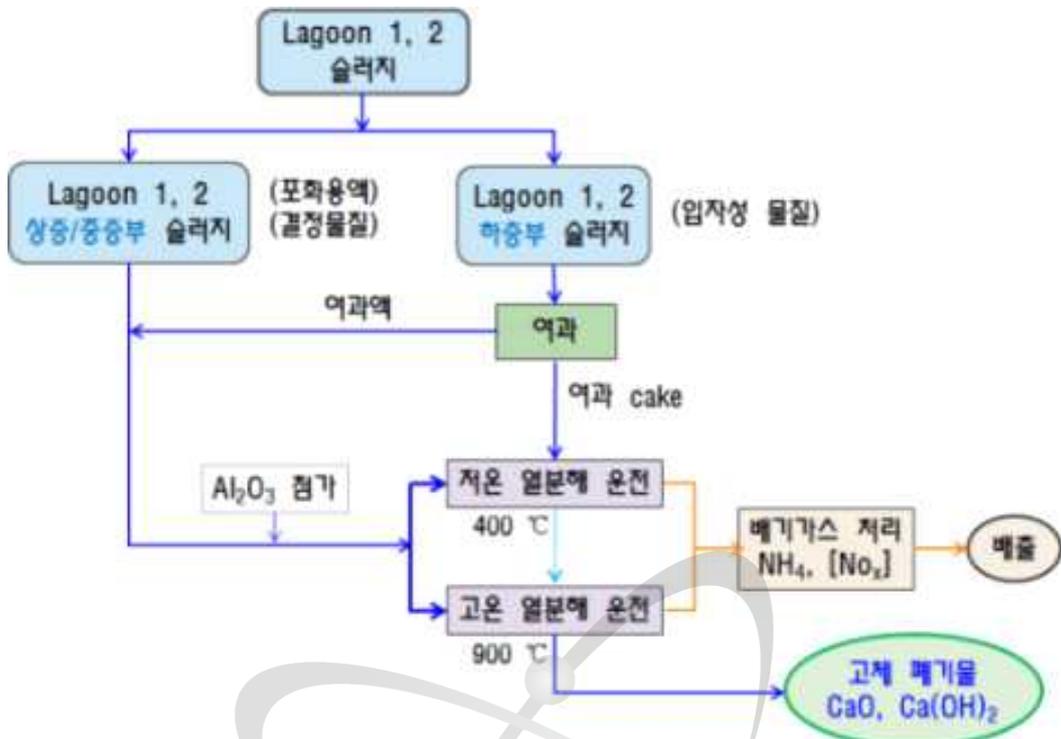


그림 6-2-1. 원전제염해체기술개발부의 질산염 폐기물의 처리공정도

세번째 처리방안은 우라늄을 추출하고 질산염은 자체 처분하는 방법으로 가장 이상적인 방법이며, 이미 연구원에서 연구과제로 실행한 적이 있으나 경제성과 현실성이 관건이다.

따라서 질산염 폐기물의 처리는 저장하고 있는 폐기물의 우라늄 농도, 화학적 조성 등을 분석하고, 방법 선택에 따른 처리비용과 처분비용의 경제성 등 더 많은 정보를 바탕으로 처리방안을 선택할 필요가 있다. 저장된 폐기물은 드럼단위로 저장되어 있어 그 폐기물의 대표성 있는 시료의 채취가 어려운 만큼 그에 따른 분석결과도 처리방안을 수립하는데 한계가 있는 것도 현실이다. 이것은 다른 폐기물의 현실도 비슷하며 이 모든 현실을 고려할 수 있는 처리방안 선택이 되어야 한다.

(나) 질산염 폐기물(Lime)의 소요예산

처리방안의 선택에 따라 소요예산이 다르겠지만, 열분해 방법에 대한 예산을 제시한다.

- 소요 예산 : 55,000만 원
 - 열분해 가열료 : 15,000만 원
 - 배기체 처리시스템 : 40,000만 원

(2) 폐이온교환수지의 처리방안과 소요예산

(가) 폐이온교환수지의 처리방안

첫째 처리방안은 고건전성 용기(HIC, High Integrity Container)에 넣어 처리하는 방법이 가장 현실적 방안으로 판단된다. 고건전성용기는 “우리나라의 일반적인 지하 환경 및 처분 조건에서 300년 이상의 건전성을 유지할 수 있는 폐기물 포장용기”라고 원자력안전법에 정의되어 있다. 문제는 고건전성 용기로 성능이 인가된 국내 제품이 아직 없다는 점과 인가된 외국 제품의 가격이 너무 고가인 점으로 Ferralium 합금인 고건전성용기 1개 가격은 1억 원이 넘는 것으로 파악된다. HIC의 재질과 용량을 간단히 살펴보면 다음과 같다.

- 재질 : ① FE(Ferralium 합금) ② PE ③ 스테인레스강
④ 폴리머 내피의 탄소강
- 용량 : 300 gal
- 실 용량 250 gal (945 ℓ)
- 무게 : 약 1.9 톤

저장 폐이온교환수지는 총 231드럼이며 몇 드럼을 제외하고 저준위폐기물로 분류된다. HIC에 포장할 때 높은 방사능 드럼은 농도가 가장 낮은 드럼과 같이 포장하는 방법이 중요하다. 따라서 폐이온교환수지는 모두 저준위폐기물로 처분이 가능하고, 이 방사능준위는 운반용기 제작, 저장 공간의 차폐문제와 직결된다. HIC에 의한 폐이온교환수지 처리방안은 값싼 HIC의 공급, 국내 업체의 HIC 인허가를 지켜보면서 결정하는 것이 현실적 방안이다.

두 번째 처리방안은 폐이온교환수지를 100 μ m 이하로 분쇄하여 아스팔트고화하는 방법이다. 이 방법은 연구원의 방사성폐기물처리시설의 공정에 포함되어 있으므로 처리에 어려움이 없는 방법이다.

(나) 폐이온교환수지의 소요예산

현재 저장중인 폐이온교환수지는 231드럼이나 200리터 드럼, 120리터 드럼, 카트리지 등의 상태로 저장되어 있어 그 부피는 약 35 m³으로 평가된다. 이 부피는 폐이온교환수지 처리방안을 고건전성용기로 처리할 경우 HIC 35개가 요구된다. 처분장 인수기준은 폐이온교환수지의 유리수 함유량을 1wt.%로 규정하고 있어 폐이온교환수지의 건조장치가 필수적이다. 또한 이온교환수지의 이동수단은 물이 사용되며 드럼으로 저장중인 폐이온교환수지의 최종 이동수단으로 물이 사용될 것이다. 현재 출시된 HIC는 필터기능을 갖추고 있어 이동수단인 물을 배수할 수 있도록 설계되어 있다.

현재 발전소에 도입된 폐이온교환수지의 건조장치는 이동식으로 설계되어 있고 도입가격은 10억이 넘는 것으로 파악된다. 그림 6-2-2은 현재 원자력발전소에 설치된 폐이온교환수지의 건조장치 및 공급수의 배수 공정을 나타낸 것이다.

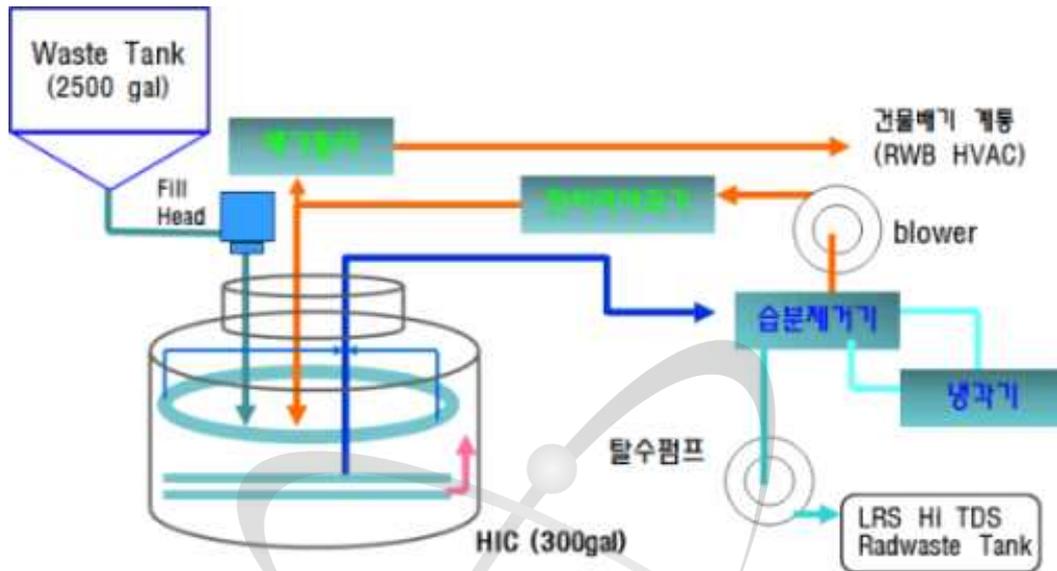


그림 6-2-2. 원전의 폐이온교환수지 건조 장치와 배수 공정도

연구원의 폐이온교환수지는 저준위에 해당되지만 고건전성용기에 채우는 과정에는 차폐체가 필요하며 연구원내 이동에도 차폐효과가 있는 이송용기가 필요하다. 또한 저장시설은 구역을 설정하여 차폐벽이 설치되어야 한다. 처분장까지 운반용기는 제작비용이 10억 원 이상으로 파악되어 환경관리공단의 운반용기를 임차하는 것이 경제적이다. 그림 6-2-3는 고건전성용기(HIC)의 저장용기와 운반용기 모형을 나타낸 것이다.

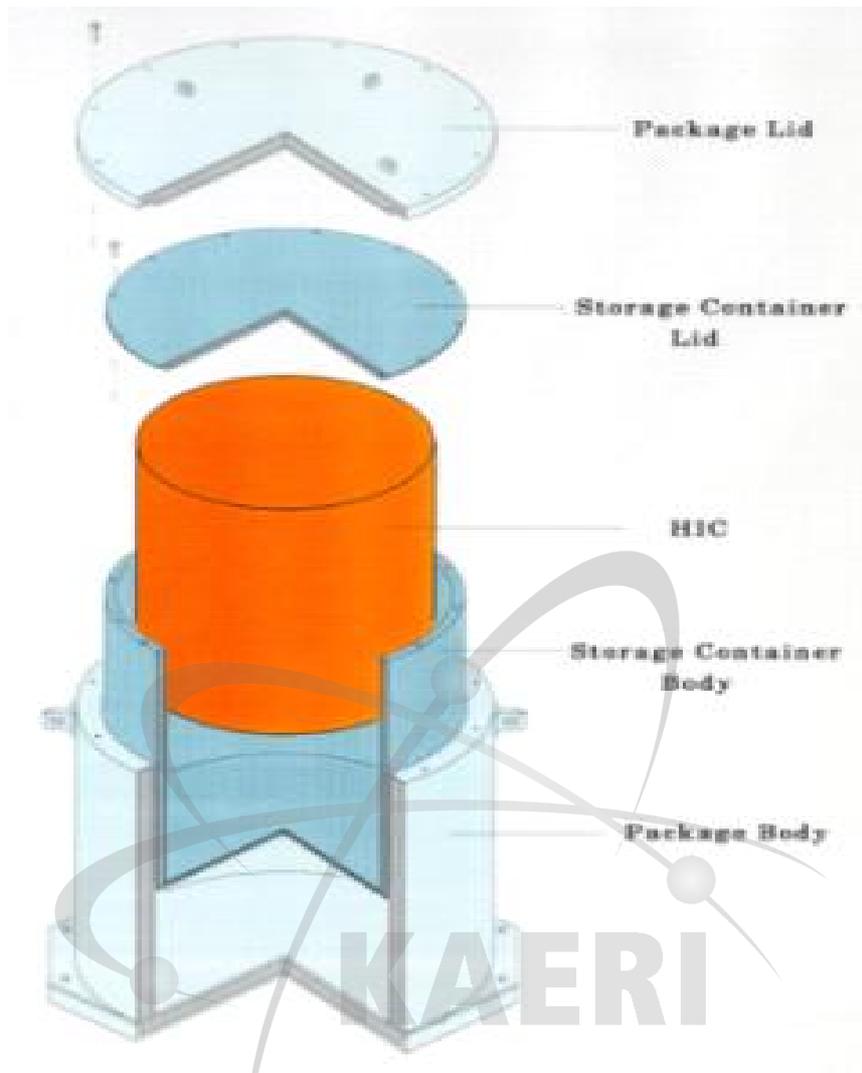


그림 6-2-3. HIC의 저장용기와 운반용기 모형도

그러나 연구원의 폐수지는 발전소의 폐수지와 달리 방사능준위가 상대적으로 매우 낮으며 국내 기술로 충분히 제작될 수 있을 것으로 판단된다. 국내 제작을 전제로 소요 예산을 산정하였다.

- 소요 예산 : 120,000만 원
 - 폐이온교환수지의 이동장치와 건조장치 : 40,000만 원
 - 고건전성 용기(HIC)의 저장용기 1개 : 10,000만 원
 - 원내 이송용기, 채움 작업의 차폐체 겸용
 - 고건전성 용기(HIC) : 70,000만 원
 - 35개 구매 : 2,000만원/개 × 35개 = 70,000만 원
 - 고건전성용기의 국내생산 전제

(3) 아스팔트고화체의 처리방안과 소요예산

(가) 아스팔트고화체의 처리방안

첫째 처리방안은 연구원의 아스팔트고화체를 처분할 수 있도록 한국원자력환경공단과 재협의하는 방법이며 이것은 연구원의 아스팔트고화 공정의 지속적인 운영 여부와 관련이 있는 문제이다. 문제의 초점은 국내 아스팔트고화체의 인수기준과 선진국의 인수기준이 다르다는 점이다.

외국에서는 아스팔트고화체가 침출저항성이 높은 대신 형태안정성이 없는 특성을 인정하여 침입도 100 이하, 폐기물 함유량 50% 이하를 인수기준으로 하고 있다. 표 6-2-1은 외국의 아스팔트고화체의 인수기준이다. 혹자는 아스팔트고화체의 화재위험성을 들지만 영구 처분되는 가연성 잡고체 보다 안전하며, 고화공정의 장단점 비교에서 화재위험성은 시멘트고화공정보다 위험성이 있다는 정보를 잘못 이해한 측면이 있다. 연구원의 아스팔트고화공정은 액체폐기물 5,000 m³을 처리하여 고화체 56드럼을 생성하는 부피감용성이 뛰어난 공정이며 연구원 액체폐기물의 특성에도 잘 부합하는 공정이다. 표 6-2-2은 연구원 아스팔트고화공정과 고화체의 특성을 나타낸 것이다.

표 6-2-1. 외국의 아스팔트고화체의 처분장 인수기준

항목	러시아	일본	대만
아스팔트 고화체	필요 없음	① 침입도 ≤ 100, ② weight of waste ≤ 50 %	① 침입도 ≤ 100, ② weight of waste ≤ 50 %

표 6-2-2. 연구원 아스팔트고화공정과 고화체의 특성

항목	내용	비고
공정의 특성	<ul style="list-style-type: none"> 감용비가 매우 높음 연구원 폐기물특성에 적합 	<ul style="list-style-type: none"> 감용성: 폐액 5,000톤 처리 - 고화체 56드럼 생성
화재 위험성	<ul style="list-style-type: none"> 가연성 잡고체보다 안전 	<ul style="list-style-type: none"> 연구원 액체폐기물의 특성 - 염의 함유량 낮음
형태 안정성	<ul style="list-style-type: none"> 콘크리트 용기에 의존 	<ul style="list-style-type: none"> HIC와 유사 외국의 처분 사례

아스팔트고화체의 처분은 차폐 드럼에 아스팔트 고화물을 담고 차폐드럼을 다시 콘크리트 셀에 넣어 처분할 계획이며 콘크리트 셀은 아스팔트고화체의 구조적 안정성을 충분히 확보할 것으로 판단된다. 그림 6-2-4는 차폐드럼과 콘크리트 셀의 도면을 나타낸 것이다. 콘크리트 셀은 콘크리트 두께 15 cm이며 외부 크기는 높이 130 cm × 직경 110 cm로 외관 부피는 200리터 드럼 6배의 부피이다. 표 6-2-3은 콘크리트 셀의 사양을 나타낸 것이다. 방안 1이 수용된다면, 아스팔트고화체의 저준위, 고화체의 짧은 임시저장 기간을 전제로 120리터 차폐드럼 대신의 200리터 드럼 사용이 경제적이다.

표 6-2-3. 아스팔트고화체의 처분용기인 콘크리트 셀의 사양

항 목	직경(mm)	높이(mm)	부피(리터)
외 부	1,100	1,300	1,235
내 부	780	1,000	478
비 고	<ul style="list-style-type: none"> • 콘크리트 두께 : 150 mm, • 외관 부피 : 6 드럼(200리터 드럼) 		

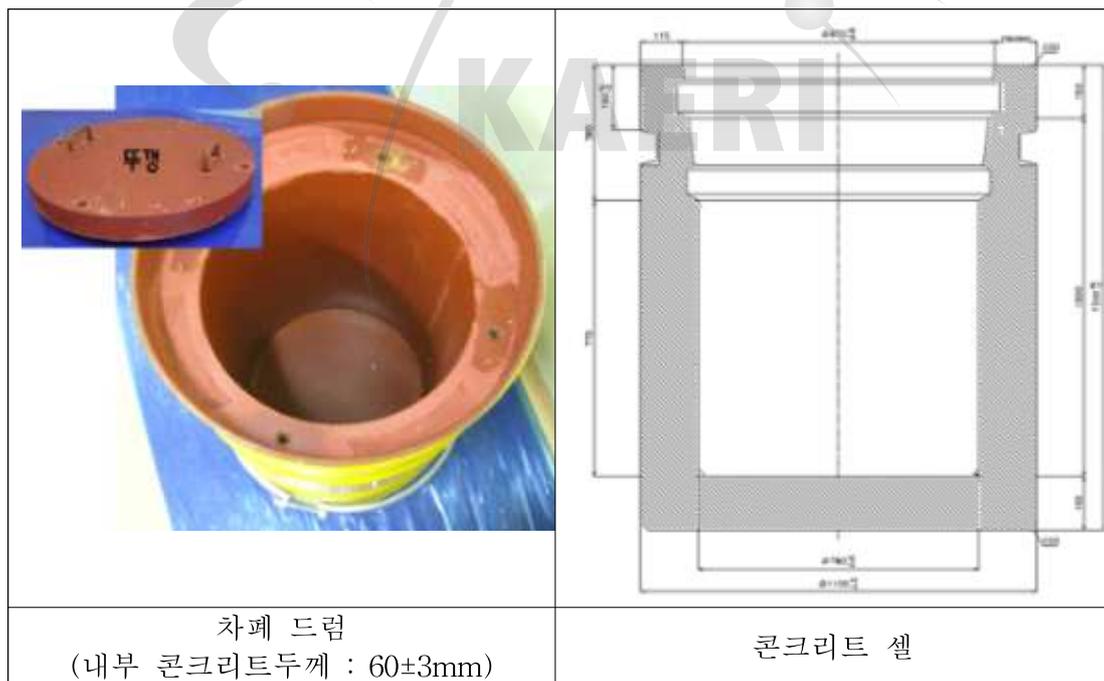


그림 6-2-4. 차폐드럼과 콘크리트 셀의 도면

두번째 처리방안은 아스팔트고화체가 현재의 인수기준을 만족하도록 고화매질인 아스팔트의 물성을 개선하는 것이다. 현재의 아스팔트고화 공정은 그대로 유지하면서 생성된 아스팔트고화물에 첨가제를 투입하여 혼합하는 방안이다. 예비실험으로 가능성은 입증되었으나 실 규모(scale up) 과정, 협소한 설치 공간, 첨가장치의 안정성 등 극복해야 할 문제가 남아 있다. 그림 6-2-5은 개선된 아스팔트매질로 제조된 아스팔트고화체(B)를 나타낸 것이다. 이 아스팔트고화체는 현재의 고화체 인수기준을 만족하는 것으로 평가되었다. 표 6-2-4에 고화체에 대한 실험항목과 처분장 인수기준을 나타내었다.

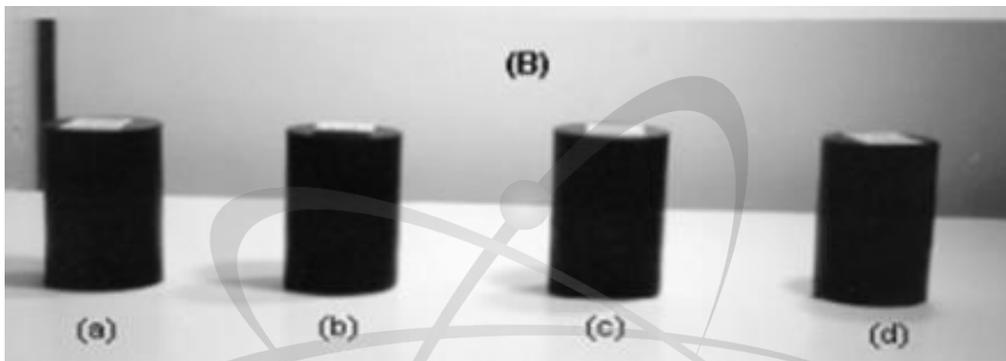


그림 6-2-5. 개선된 아스팔트매질로 제조된 아스팔트고화체(B)

표 6-2-4. 고화체에 대한 실험항목과 처분장 인수기준

구 분	시험항목	표준규격	시험방법	기준
구조적 안정성	압축강도	경질: KS F2405 연질: KS F2351	-	경질 $\geq 3.44\text{MPa}$ 연질 $\geq 0.41\text{MPa}$
	침수시험	NRC*	90일 침수 후	압축강도 기준만족
	열순환시험	ASTM B553	순환시험 후	압축강도 기준만족
	방사선조사	NRC	이온교환: $1.0\text{E}+6\text{Gy}$ 그 외: $1.0\text{E}+7\text{Gy}$	압축강도 기준만족
침출성	침출시험	ANS 16.1	Cs, Sr, Co 핵종	침출지수 ≥ 6
유리수	실물크기	ANS 55.1	-	유리수 $< 0.5 \%$
	시편/잡고체	EPA	-	유리수 $< 0.5 \%$

(나) 아스팔트고화체의 소요예산

방안1은 수용은 별도의 장치가 필요 없기 때문에 소요예산이 요구되지 않는다. 방안2는 실용화 과정이 입증되었다는 전제하에 추가되는 장치의 소요예산을 산정한다. 첨가제는 3,000rpm이상에서 아스팔트와 혼합된다는 것이 실험에서 입증되었다. 고속 혼합기와 140℃를 유지할 수 있는 열원이 필요하며 이 열원은 국부가열이나 화재위험성이 없도록 열매체유를 권장한다.

□ 소요 예산 : 20,000만원

- 고속 혼합기 및 열원 시스템 : 16,000만원
 - 혼합기와 이중 열매체유 재킷
- 혼합물 기어펌프 : 2,000만원
- 배관공사 및 Tray : 2,000만원

(4) 기타 폐기물의 처리방안과 소요예산

(가) 기타 폐기물의 처리방안(EDTA, 중준위폐기물)

EDTA 폐기물의 처리방안은 구성성분과 방사성 핵종과 농도 등의 분석이 우선이며 유기성폐액의 처리방안과 연계하여 처리방향을 정하는 것이 유리하다. EDTA 성분이 제거된 잔유물은 입자성일 경우 시멘트고정화 한다.

중준위폐기물은 주로 Hot cell에서 발생한 폐기물이며 핵종과 농도는 추론할 뿐이다. 이 폐기물은 처리방안이 어려운 것이 아니라 효율적 처리, 대표시료의 채취, 취급 장소, 드럼의 이송방법 등의 계획이 중요할 것으로 판단된다. 중준위 저장시설은 저장용량이 50리터 용기로 1,134 드럼이며, 현재 저장량은 204드럼(50리터 용기)이다. 연간 발생량은 약 10드럼(50리터 용기)로 앞으로 2100년까지 충분한 저장용량을 확보하고 있다. 따라서 첫째 처리방안으로 중준위폐기물은 방사능이 충분히 자연감쇄 될 때까지 저장해 두는 것도 방안이 될 수 있다. 처리방법은 드럼을 고화체 시험시설의 Hot cell에 옮겨서 폐기물 종류별/방사능 준위별 분류, 대표시료채취, 영구 처분 드럼(200리터 드럼)에 수집하여 처리한다.

처분장 인수기준에 따르면 ‘비균질폐기물(폐필터 및 잡고체 등) 중 반감기가 20년 이상이며, 총 방사능농도가 74,000Bq/g(2 μ Ci/g) 이상인 경우 고정화 해야’ 하므로, 이에 인수기준에 해당하는 폐기물은 처리시설의 중준위 시멘트고정화 공정으로 옮겨서 시멘트고정화 처리한다. 따라서 기타 폐기물에 대한 소요예산은 없다.

(5) 유기성 액체폐기물의 처리방안과 소요예산

(가) 유기성 액체폐기물의 처리방안

유기성 액체폐기물은 선진국에서도 처리방법을 고민하고 있는 폐액으로 분류

된다. 저온 감압법으로 부피를 감용하여 저장량이 8 m³ 에 불과하며 연구원에서 발생빈도가 점점 줄어드는 경향이다. 표 6-2-5은 유기성 액체폐기물의 발생원과 주요 핵종 등의 폐액의 특성을 나타낸 것이다.

표 6-2-5. 유기성 액체폐기물의 발생원과 특성

구분	저장량(m ³)	발생원	특성
용매류	2.0	각 실험실	<ul style="list-style-type: none"> • 주요 핵종 : Cs, Co • 방사능 준위 : 극저준위 • 성분 불분명
절삭유	3.5	변환시설	<ul style="list-style-type: none"> • 주요 핵종 : 천연 U • 방사능 준위 : 극저준위 • 성분 불분명
TBP, do-decane	2.5	변환시설	<ul style="list-style-type: none"> • 주요 핵종 : 천연 U • 방사능 준위 : 극저준위 • 성분 불분명

유기성 폐액의 처리는 전기화학적 산화(electrochemical oxidation), Acid digestion, 고화(immobilization), 소각(incineration), 습식산화(wet oxidation)등 다양한 방법이다. 이들 방법 중에는 유기성분의 농도가 높을 때 적용하기 어려운 경우가 많고 소각의 경우는 오히려 유기성분이 많을수록 유리하다고 하겠다. 고화(immobilization)는 부피를 최소화 한 후 흡착제에 유기성분을 흡착시켜 흡착제를 고화하는 방법으로 이 방법은 처분할 폐기물의 부피가 상당히 증가하는 단점이 있다. 전기화학적 산화는 Ag를 촉매로 유기물을 분해하는 것으로 고가의 처리방법이며 유기물 함유량이 높으면 처리효율이 낮은 단점이 있다.

저장폐액은 유기성분의 함유량이 매우 높고 방사능농도가 매우 낮은 점을 고려하면 소각법이 유리할 것으로 판단된다. 가장 많은 절삭유(3.5 m³)의 경우 유수분리장치를 사용하여 포함된 수분을 충분히 제거하여 부피를 감용하는 것이 우선이다. 또한 실제 처리를 위해서 저장폐액의 성분, 함유율, 핵종과 방사능, 유기성분의 함유량 등 더 많은 정보가 확보되어야 한다.

□ 유기성 폐액의 처리 계획

- 저장량 : 8 m³
- 처리 기간 : 5년
- 처리량 : 4 ℓ/hr, 20 ℓ/day, 100일/년 처리

(나) 유기성 액체폐기물의 소요 예산

인허가, 시설내 설치, 배기체 문제, 앞으로 활용성을 고려하여 Pilot 규모가 적절하며 배기체 문제를 최소화 할 수 있는 소각로가 필요하다. 소요예산은 국내 업체의 추정 가격이다.

□ 소요 예산 : 3억 원

- 플라즈마 소각로 : 25,000 만원
- 배기체 처리시스템 : 5,000 만원

(6) 트리튬(H-3) 액체폐기물의 처리방안과 소요예산

(가) 트리튬 액체폐기물의 처리방안

접수를 유보하고 있는 트리튬 폐액은 하나로 운영에 지장을 주고 있으므로 빠른 해결책이 필요하다. 트리튬의 회수가 가장 좋은 해결책이나 트리튬의 함유량, 폐액의 상태로 볼 때 회수가치가 낮은 것으로 판단된다.

시멘트와 화학적 결합을 유도하는 방법은 저장량 14 m³를 처리하면 시멘트고화체 180여 드럼이 생성된다. 처리비용, 고화체 평가비용 등을 제외하고 처분비용만 약 23억 원이 소요되는 것으로 계산된다.

따라서 저장 트리튬폐액의 부피를 감소시키는 방법이 현실적 대책이다. 현실적인 부피감용 방법은 앞으로 많은 실험과 시간이 소요될 것으로 판단된다. 또한 앞으로의 대책은 발생부서에서 트리튬폐액을 분리수거하여 부피를 최소화하는 것이 관건이다.

(나) 트리튬 액체폐기물의 소요예산

하나로 발생 액체폐기물의 트리튬 농도가 점점 증가하는 경향이 있으나 방사성폐기물처리시설과 자연증발시설은 방출되는 트리튬을 감시하는 장비가 설치되어 있지 않다. 방사성폐기물처리시설은 하나로의 트리튬 폐액을 수집할 경우 15 m³이상의 저장탱크를 설치할 필요가 있고 처리시설과 자연증발시설에 방출감시 Monitor설치가 필수적이다.

□ 소요 예산 : 38,000만 원

- Tritium/noble gas Monitor : 25,000만 원
- Model: FHT63D
- Monitor 2대 : 16,500만 원/대 x 2대 = 33,000만 원
- 15 m³ 저장탱크 : 5,000만 원

2. 난처분성 제염해체 폐기물의 처리방안

가. 난처분성 해체폐기물

난처분성 고체폐기물 중 흑연은 중장기연구 등에서 기초연구는 수행하였으나 영구 처분을 위해서는 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것으로 판단된다. 그리고 알루미늄 등의 비철금속은 용융처리 기술을 개발하여 안정한 처분 가능 폐기물로 처리할 예정이다.

또한 유기성 폐액인 TBP 폐액은 현재 중장기연구에서 열분해법의 일종인 수증기개질공정 연구를 수행 중에 있다. 본 공정은 TBP 폐액을 열분해시켜 우라늄과 인성분을 열분해 반응기에 100% 잔류시키면서 분해된 가스에 수증기를 공급하여 분해된 가스와 수증기를 혼합하고 촉매산화기에서 완전 산화하고 미분해 된 유기성 가스는 열교환냉각기를 거쳐 HEPA 필터를 통하여 외부로 배출시키는 방법이다.

나. 난처분성 폐기물 처리/처분의 소요 예산

난처분성 고체 및 액체폐기물 처리/처분을 위한 소요예산은 표 6-2-6와 같다.

표 6-2-6. 난처분성 폐기물 처리/처분의 소요예산

(단위: 억 원)

구분	항목	예산	내용
고체 폐기물	비철금속	5	• 비철금속 용융장치
액체 폐기물	유기 TBP 폐액 (2.8 m ³)	3	• 유기폐액 수증기개질장치

제 7 장 방사성폐기물 관리 효율화 방안

제 1 절 폐기물 인증프로그램 도입방안

연구원의 방사성폐기물 중 재료조사시험평가부에서 관리하고 있는 폐기물과 향후 기장 연구로에서 발생할 폐기물은 연간 발생량이 적지 않으며, 향후 지속적으로 발생하게 될 것이다. 이를 위한 처분 준비에 소요되는 비용의 절감, 방사성폐기물 안전관리 측면의 대민 신뢰도 제고, 효율적인 영구처분을 위해서는 폐기물 인증프로그램의 도입이 필요하다. 폐기물 인증 프로그램이란 폐기물 발생자가 폐기물이 폐기물 인수기준에 적합함을 객관적으로 입증할 수 있는 폐기물 처리공정, 절차, 방법 및 품질보증 등에 관한 계획을 사전에 관리사업자에게 제시하여 처분 적합성을 인정받기 위한 프로그램을 말하는 것이다. 본 절에서는 이의 도입 필요성에 대한 검토 및 도입 시 고려해야할 사항에 대하여 논의하였다.

1. 폐기물 인증 프로그램의 필요성

가. 폐기물 인증 프로그램 관련 규정

폐기물 인증 프로그램에 대해서는 ‘방사성폐기물 인수방법 등에 관한 규정 (산업통산자원부 제2013-128호)’에 명시되어 있으며 해당 내용은 표 7-1-1과 같다. 명시된 바와 같이 인증 프로그램은 관리사업자 (한국원자력환경공단(공단))의 승인 하에 운영될 수 있다. 더불어 운영이 필수적인 사항은 아니지만, 인증 프로그램의 운영을 통하여 폐기물의 영구처분 시 수반되는 발생지 예비검사의 일부 또는 전부를 생략하게 되는 이점이 있다.

표 7-1-1. 폐기물 인증 프로그램 관련 규정

<p>제13조(폐기물 인증 프로그램 운영) ① 발생자는 폐기물 인증 프로그램을 수립하여 운영할 수 있다.</p> <p>② 폐기물 인증 프로그램을 운영하고자 하는 자는 다음 각 호의 사항이 포함된 폐기물 인증 프로그램을 수립하여 관리사업자에게 별지 제2호의 서식에 따라 신청하여 승인을 받은 후 운영하여야 하며 이를 변경하고자 하는 때에도 같다.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 인증조직 및 인증방법 2. 인증서류 3. 품질보증 계획 4. 이 외 폐기물 인증 프로그램 운영에 필요한 사항 등 <p>③ 관리사업자는 발생자의 폐기물 인증 프로그램의 이행 여부를 확인하기 위한 감사 및 검사를 실시할 수 있으며 그 결과에 따라 발생지 예비감사의 일부 또는 전부를 생략할 수 있다.</p>
--

나. 공단의 폐기물 인증 프로그램 운용 방안

공단은 2013년 7월 협조 공문을 통하여 인증프로그램의 수립을 요청하였으며, ‘개발지침 관련 보고서(‘중·저준위 방사성폐기물 인증프로그램(WCP) 개발지침 및 평가체계 개발’, 2011, 한국방사성폐기물학회)’를 배포하여, 인증프로그램의 운영을 권장하고 있다. 해당 보고서에 따르면 공단의 인증프로그램 운용 방안은 이를 법제화하여 발생자가 의무 신청토록 하는 것을 원칙으로 하고 있어, 향후 이에 대한 동향의 파악이 중요할 것으로 판단된다.

또한 법제화가 안 될 경우를 대비하여 인센티브와 페널티 부여를 고려하고 있다. 공단의 인증 프로그램 운용방안을 요약하면 다음과 같다.

- WCP 법제화하여 발생자 의무 신청 (원칙)
- 의무화 안 될 경우 인센티브 및 페널티 부여
- 부적합폐기물 발생 최소화 및 부적합폐기물 관련 발생자 추가비용 저감
- 검증 난이도 차별 (운영 폐기물 완화, 해체/후행핵주기 폐기물 강화)
- Historical 폐기물은 WCP인증관련 별도의 대책 마련
- 규제기관/공단/발생자간 협조로 안전성, 효율성, 대국민 신뢰성 제고
- 발생자 WCP 운용이 잘되고 있다고 판단할 경우 인수 검사 시 부분적 검사 면제 고려 가능 (Historical 폐기물은 제외)

다. 인증프로그램 여부에 따른 인센티브 및 페널티

앞서 언급한 ‘개발지침 관련 보고서’에 의하면 인증프로그램 운용에 따른 인센티브 및 페널티는 다음과 같다.

(1) 인센티브

- 인증프로그램 운영 승인을 득한 발생자에 대하여는 예비 검사를 축소 또는 면제한다.

- 인증프로그램의 운영과 관련한 공단의 품질 감사에서 공단이 발생자가 인증프로그램을 잘 운영하고 있다고 판단할 경우 차기 품질감사를 면제할 수도 있다. (2년마다 1회 수행)

- 발생자의 품질보증계획을 최대한 활용하여 발생자가 현재의 절차서를 간단하게 수정 및 보완하는 작업으로 인증프로그램을 구축할 수 있도록 한다. (최대한 발생자의 편의성 제공 원칙)

- X-ray 검사장비등 설치에 있어 장비 가격이 고가인 관계로 현실적으로 발생자가 X-ray 검사장비 등의 설치가 곤란한 부분에 대하여는 발생자로 하여금 공단과 발생자간에 상호 협의를 통하여 대체 방법으로 검사를 수행토록 한다.

(2) 페널티

- 인증프로그램을 신청하지 않는 발생자에 대하여는 예비 검사를 수행하며 예비 검사에 대한 모든 비용을 발생자가 부담토록 한다.

- 예비검사의 경우 샘플링 검사 및 확인검사를 원칙으로 하되 샘플링 검사결과, 결과가 부적합한 경우 공단은 샘플링 양을 추가하거나 전수검사 실시를 발생자에게 요구할 수도 있다. 이에 대한 추가 비용에 대하여는 발생자의 부담으로 한다.

- 예비 검사의 결과 인도예정 드럼이 인수기준을 만족치 못할 경우 공단은 발생자로 하여금 시정조치토록하고 시정조치가 되지 못하는 경우에는 공단에서의 처리를 기준으로 책정된 수수료를 부과 후에 해당 드럼을 인수한다.

- 인증프로그램을 운영치 않는 발생자는 폐기물의 각 처리단계에 있어 필요시 공단의 검사를 주기적으로 받아야하며 검사완화나 감축 등의 혜택이 배제된다.

2. 연구원 폐기물의 관리를 위한 인증 프로그램 도입 방안

가. 인증프로그램 관련 발생자 및 공단의 역할구분

인증프로그램의 도입 및 운용 시, 발생자는 인증프로그램의 수립 (인증조직, 인증방법, 인증서류 작성 및 관리), 인증프로그램의 평가·검증·승인관련 업무를 하게 되며, 폐기물 관리 사업자(공단)은 인증프로그램 관련 규제 개선방안 마련, 인증프로그램의 평가·검증·승인, 인증프로그램의 감사 및 검사를 수행하게 된다.

나. 인증프로그램의 운영을 위한 조직 구성(안)

인증프로그램의 운용을 위해서는 크게 방사성폐기물관리책임자, 인증관, 품질보증책임자로 구성된 조직이 필요하게 된다. 이때 인증프로그램과 관련된 방사성폐기물관리 책임자의 임무는 폐기물 발생자를 위한 관리의뢰 절차서 개발, 인증프로그램, 양식 및 폐기물특성평가 절차서 개발, 폐기물 인증 프로그램 활동의 기술적인 지원, 폐기물 관리 시 폐기물 인수기준 및 각종 요건 준수, 모든 폐기물에 대한 자료 관리 및 인증기록 유지, 부적합사항 시정조치 등이 있다.

인증관은 처분대상 드럼에 대한 인증서류를 검사하고 폐기물드럼이 처분장으로 수송되기 전에 처분장의 포장 및 기록요건을 만족한다는 것을 인증하는 책임이 있으며, 해당임무로는 폐기물 인증프로그램 운영, 인증활동 및 인증기록 유지, 폐기물의 수집, 처리, 포장, 저장, 폐기물 특성규명 및 포장과정이 폐기물 인수기준을 만족하는지 확인, 폐기물의 발생, 내용물 및 처리공정에 대한 정보가 정확히 기록되어 있는지 확인, 방사성핵종의 종류 및 농도, 물리화학적 특성기록이 정확한지, 측정방법이 적절한지 확인, 포장물의 표면방사선량률 및 표면오염도가 수송요건을 만족하는지 확인, 폐기물 포장물의 요건, 서류, 식별부호 부착 여부 및 표지요건이 처분장의 인수기준을 만족하는지 확인, 서류 및 기록이 적절히 유지되고 인증서류가 지정 장소에서 관리되는 지 확인, 인증결과에 부적합사항이 있을 경우 부적합사항 보고서 발부, 시정조치 요구 및 결과 확인, 인증활동의 적절성에 대한 자체평가 점검표 작성 및 자체평가 등이 있다.

또한 품질보증책임자는 폐기물 인증프로그램의 품질요건을 만족시키기 위하여 폐기물특성규명 및 인증에 대한 품질보증업무를 지원하며, 품질보증절차의 개발 및 수립, 품질보증 평가계획수립 및 활동, 인증계획 및 수행절차 검토 및 승인, 품질보증 활동 및 평가 등의 임무를 수행한다. 이를 간단히 요약하면 그림 7-1-1과 같다.

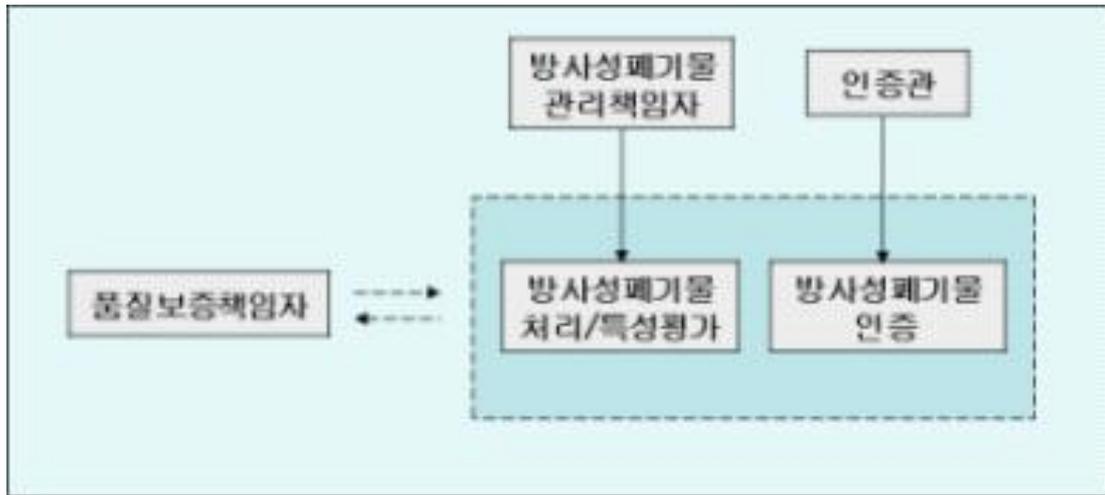


그림 7-1-1. 인증프로그램 운영조직

또한, 폐기물 발생자를 고려한 폐기물 인증체계는 그림 7-1-2와 같다.

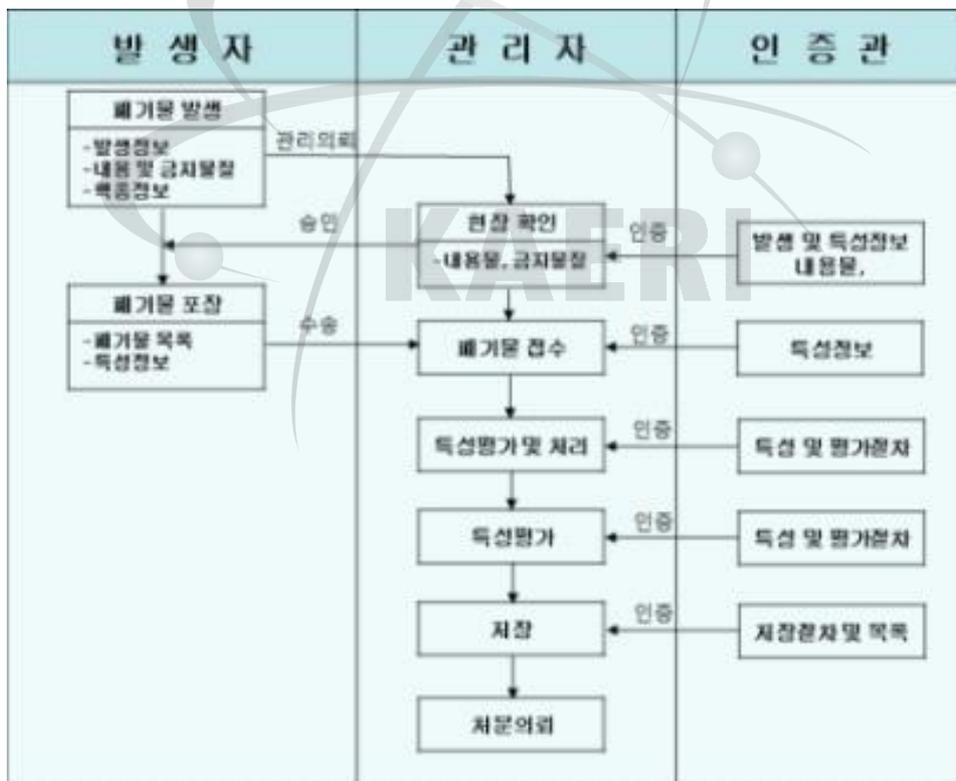


그림 7-1-2. 방사성폐기물 인증체계

현재 연구원의 조직상으로 볼 때 발생자는 각 폐기물 발생부서가 되며, 방사성폐기물관리자 및 관리책임자는 방사성폐기물처리시설 및 방사성폐기물처리시설 운영 책임자에 각각 해당된다. 또한 품질보증책임자는 품질경영부에 해당하다고 할 수 있다. 그러나 인증관에 해당하는 조직이 없기 때문에 인증프로그램의 운용을 위해서는 이에 대한 고려가 필요하다. 참고로 인증조직은 방사성폐기물의 발생 또는 처리업무와 무관하게 운영되어야 하며 한수원의 경우, 월성 및 울진원전의 인증조직으로 차장 1명, 직원 3명의 조직이 구성되어 있다.

다. 인증프로그램 적용의 한계성

인증프로그램은 폐기물의 발생부터 처리, 저장, 처분의뢰의 단계를 모두 관리하는 것이기 때문에 인증프로그램 도입 전에 발생한 폐기물에 대해서는 적용할 수 없다. 2014년을 기준으로 처분대상폐기물량이 약 16,000 트럼 정도로 평가되고 있다. 현 시점에서 인증프로그램을 적용할 경우 연간 360여 트럼 수준의 신규 발생폐기물에 대해서만 적용할 수 있으므로, 그 효과는 크지 않다고 할 수 있다. 그러나 앞서 기술한 바와 같이 폐기물 관리 측면의 안전성 제고 및 처분 효율성을 고려할 때 장기적인 관점에서 인증프로그램의 적용을 고려해야 할 것이다.

3. 폐기물 관리 전산화

현재 운영되고 있는 원자력통합안전경영시스템(ANSIM)에는 ‘방사성폐기물처리시설 시스템’이 포함되어 있으며, 하위 메뉴로서 ‘방사성폐기물관리’가 있다. 또한 그림 7-1-3과 같이 ‘방사성폐기물관리’의 세부 메뉴로서 ‘고체방사성폐기물’, ‘액체방사성폐기물’, ‘액체불용폐기물 관리’, ‘폐기물 자체처분’, ‘대내외 보고서류’, ‘방사성폐기물 특성규명 및 처분’, ‘방사성폐기물 용기신청서관리’ 등이 있다. 따라서, 현재 수행되고 있는 방사성폐기물의 관리와 관련된 항목들이 대부분 전산화되어 ANSIM을 통해 기록 관리되고 있는 것으로 평가할 수 있다.

그러나 향후 방사성폐기물 분류기준이 개정되면, 현재 중·저준위 방사성폐기물의 단일 항목으로 통합되어 관리되고 있는 방사성폐기물을 세분화하여 관리할 필요가 있다. 더불어 2015년 이후 연구원 방사성폐기물의 영구처분이 시작되면 그에 맞추어 영구처분과 관련된 항목들을 추가적으로 메뉴에 구성할 필요가 있다.

장기적으로 첨단방사선연구소 및 기장연구로에서 발생하는 방사성폐기물도 관리할 수 있도록 메뉴를 구성하여 연구원 전체 방사성폐기물을 통합적으로 관리할 수 있는 방안을 마련해야 할 것이다. 또한 필요시 원전제염해체기술개발부의 방사성폐

기물에 대한 사항도 시스템에 포함시킬 수 있으나 단일 사업 과정에서 발생하는 방사성폐기물이므로 장기적인 관점에서 시스템 편입여부를 판단해야 할 것이다.

등록번호	폐기물종류	량(단위:kg)	폐기일자	처리일자	처리장소	처리량	처리비율 (%)	처리비율	처리위치
7-2014-0001	가연성	200	9-5-5-1	2014-02-12	방사성폐기물처리연구부	방납, 장납, 휴지	0.27	U-238	
7-2014-0002	가연성	200	폐방재료	2014-02-12	방사성폐기물처리연구부	방납, 장납, 휴지	0.26	U-238	폐방재료
7-2014-0003	가연성	200	9-1-5-3	2014-02-13	차세대핵연료개발부	방납, 장납, 폐기물	0.20	U-238	
7-2014-0004	가연성	200	9-1-1-4	2014-02-13	차세대핵연료개발부	방납, 장납, 폐기물	0.20	U-238	
7-2014-0005	가연성	200	폐방재료	2014-02-13	차세대핵연료개발부	방납, 장납, 폐기물	0.20	U-238	폐방재료
7-2014-0006	가연성	200	폐방재료	2014-02-13	차세대핵연료개발부	방납, 장납, 폐기물	0.20	U-238	폐방재료
7-2014-0007	가연성	200	폐방재료	2014-02-13	차세대핵연료개발부	방납, 장납, 폐기물	0.20	U-238	폐방재료
7-2014-0008	가연성	200	폐방재료	2014-02-13	차세대핵연료개발부	방납	0.20	U-238	폐방재료
7-2014-0009	가연성	200	폐방재료	2014-02-13	차세대핵연료개발부	연료	0.25	U-238	폐방재료
7-2014-0010	가연성	200	폐방재료	2014-02-13	차세대핵연료개발부	중성자, 고준위, 연료	0.25	U-238	폐방재료
7-2014-0011	가연성	200	폐방재료	2014-02-13	차세대핵연료개발부	방납	0.20	U-238	폐방재료
7-2014-0012	가연성	200	폐방재료	2014-02-13	차세대핵연료개발부	중성자, 고준위, 연료	0.20	U-238	폐방재료
7-2014-0013	가연성	200	폐방재료	2014-02-13	차세대핵연료개발부	방납, 연료	0.20	U-238	폐방재료
7-2014-0014	가연성	200	2014-02-13	2014-02-13	차세대핵연료개발부	중성자, 연료	0.20	U-238	폐방재료
7-2014-0015	가연성	200	9-1-3-1	2014-02-13	방사성폐기물처리연구부	방납, 장납, 휴지	1.20	Ca-137, Co-60	
7-2014-0016	가연성	200	9-1-3-2	2014-02-13	방사성폐기물처리연구부	방납, 장납, 휴지	17.5	Ca-137, Co-60	
7-2014-0017	가연성	200	9-1-3-3	2014-02-13	방사성폐기물처리연구부	방납, 장납, 휴지	1.60	Ca-137, Co-60	
7-2014-0018	가연성	200	9-1-3-4	2014-02-13	방사성폐기물처리연구부	방납, 장납, 휴지	0.50	Ca-137, Co-60	
7-2014-0019	가연성	200	9-1-3-5	2014-02-13	방사성폐기물처리연구부	방납, 장납, 휴지	0.80	Ca-137, Co-60	
7-2014-0020	가연성	200	9-1-3-6	2014-02-13	방사성폐기물처리연구부	방납, 장납, 휴지	1.20	Ca-137, Co-60	

그림 7-1-3. ANSIM 내 방사성폐기물 관리 메뉴

‘방사성폐기물관리’외에도 ANSIM의 ‘방사선안전관리 시스템’하의 ‘방사선작업관리’에서는 방사선작업계획서를 작성 및 관리하는 기능을 갖추고 있다. 해당 기능을 이용하면 방사선작업 중 방사성폐기물을 발생시키는 작업의 경우, 방사성폐기물처리시설의 시설운영책임자가 방사성폐기물발생 작업의 내용, 폐기물 내 포함될 수 있는 방사성핵종의 종류, 폐기물의 종류, 발생 예측량 등 방사성폐기물과 관련된 내용을 확인할 수 있도록 되어 있다. 그러나 현재로서는 발생한 방사성폐기물과 해당 방사성폐기물을 발생시킨 방사선작업과의 연관성을 확인할 수 있는 시스템이 갖추어져 있지 않다. 따라서 이러한 기능의 확충과 더불어 방사선작업계획서에서 기술된 방사성폐기물의 발생특성과 실제 발생한 방사성폐기물의 특성이 다를 경우, 이를 방사성폐기물 발생시설에 확인시켜 개선시킬 수 있는 기능도 필요할 것이다.

본 절에서 논의한 ANSIM상의 ‘방사성폐기물처리시설 시스템’과 ‘방사선작업관리’의 메뉴를 활용할 경우, 연구원에서 발생하는 방사성폐기물의 발생, 처리, 특성평가, 처분장 이송 등 방사성폐기물의 관리와 관련된 일련의 작업이 전산화되어 관리되므로 폐기물 인증프로그램의 도입을 보다 용이하게 진행할 수 있을 것이다.

제 2 절 폐기물 방사화학분석 방안

1. 중저준위 방사성폐기물의 방사화학분석 현황

원자력화학연구부는 원내의 원자력 유관기관에서 발생된 방사성폐기물의 영구처분을 위한 방사화학분석을 지원하고 있다. 2012년도부터 현재까지 우리연구원에서 발생된 중저준위 방사성폐기물의 영구처분을 위한 방사화학분석을 포함한 화학분석 수요는 표 7-2-1에 나타내었다.

표 7-2-1. 중저준위 방사성폐기물 영구처분 관련 방사화학분석 수

사업	주관	2012년도	2013년도	2014년도 (예상)
원(연)폐기물 ¹⁾	KAERI	150	150	100
척도인자 ²⁾	KHNP	65	65	65
원전해체 ³⁾	산업부	-	10	50
과거드럼 ⁴⁾	KHNP			100
합 계		215	225	295

¹⁾연구원 보유 2008년말까지 발생된 중저준위 방사성폐기물(재료조사시험평가부 관리 폐기물 대상, 원전제염해체기술개발부 관리폐기물 제외)의 영구처분을 위한 핵종재고량 평가사업

²⁾한수원(주) 원자력발전소에서 2003년부터 발생된 중저준위방사성폐기물 내 핵종재고량 평가사업

³⁾원전해체를 대비하여 향후 발생될 중저준위 방사성폐기물의 물량 평가과제 (2013년 신규과제)

⁴⁾한수원(주) 원자력발전소에서 2003년이전 발생된 중저준위방사성폐기물 내 핵종재고량 평가사업 (2014년 신규사업)

표 7-2-1에서 나타낸 것처럼 중저준위 방사성폐기물 영구처분과 관련하여 원자력화학연구부에서 수행될 2014년도 방사화학분석 예상 분석시료수는 2013년도 대비 약 30% 증가할 것으로 전망하였다. 이 중 우리 연구원의 중저준위 방사성폐기물은 재료조사시험평가부에서 보관중인 폐기물을 대상으로 방사성핵종 화학분석을 수행

중에 있다. (원전제염해체기술개발부에서 보관중인 중저준위 방사성폐기물 드럼은 제외) 원외의 경우는 원자력발전소에서 최근 발생한 중저준위 방사성폐기물에 대한 척도인자 검증사업과 2003년 이전 발생한 중저준위 방사성폐기물(척도인자 적용 이전 방사성폐기물)의 영구처분 사업이 추진될 예정이다. 향후 한국원자력환경공단의 업무범위 확대 및 향후 원전해체 시장과 함께 우리 연구원에서 분석해야할 시료는 급격하게 증가할 것으로 여겨진다.

그러나, 연구원에서 보유한 방사화학분석시설은 30년 이전에 건설된 것으로, 배관 부식 등 시설 노후화가 심하게 진행되고 있으며, 당시 방사화학분석 수요예측에 비해 현재는 원자력산업의 상당한 발전으로 방사화학분석 수요의 대응에 미흡한 상태이다. 특히, 원내외 중저준위 방사성폐기물 영구처분에 관한 국가계획 및 유관기관의 화학분석에 관한 요청에 부응하기 위해서는 방사화학분석에 대한 인력 및 시설 인프라 구축 및 확장이 현실적으로 필요한 상태이다.

2. 중저준위 방사성폐기물 특성평가 방안

원자력화학연구부에서는 지속적 또는 급격하게 증가할 것으로 예상되는 중저준위 방사성폐기물의 영구처분과 관련된 방사화학분석 등의 수요에 적절히 대응하고자 다음과 같은 평가 방안을 마련하였다.

- 현재 방사성물질 시험분석 업무를 수행하고 있는 원자력화학연구부 소속의 전문 시험분석요원 및 기 보유시설과 시험분석 장비를 최대한 활용하여 운영
- 고 방사성물질과 관련된 분석기술 개발과 산학연간 화학분석 기술지원 등을 통해 원자력산업 화학분석 지원체계를 강화
- 원전 현장 전문가들과의 기술협의 및 협력을 통하여 산업현장에서의 분석수요에 유기적으로 대응할 수 있는 체계 구축
- 국내 유일의 국제공인 방사성물질 시험기관의 기능을 지속적으로 유지하기 위해 주기적인 신뢰도 평가를 수행하고, 국제공인 시험기관 등에서 주관하는 상호교차 비교시험 프로그램에 참여하여 시험분석 능력의 질적 향상을 추구

3. 방사화학시설 확장 필요성

국내 유일한 방사화학시설은 Chemical hotcell, Tong box 및 glove box 등의 장비를 포함하여 1,740 m²의 방사성/비방사성 구역을 지정하고 국내 원자력 유관기관의 방사화학 시험기술을 지원하고 있다. 본 시설은 1985년 준공되어 현재 약 30년 정도 운영된 노후설비이다.

최근 원자력 발전소의 증설, 원자력 발전소 및 연구용원자로 수출, 관련 핵연료 수출 등 원자력 산업 활동의 증가에 따라서 고방사성 물질의 화학시험 요구가 증가하고 있다. 이와 같이 고방사성 물질의 화학시험 요구를 충족시키기 위해서는 경쟁력 있는 방사화학 인프라 확충이 필요하다. 또한 원자력관련 규제 강화와 중저준위 방사성폐기물 처분비용 증가 등으로 유관기관이 의뢰한 시험분석은 해마다 증가하고 있는 추세이다. 특히, 국내 원전의 예상수명 종료일정과 원전의 계속운전 정책 등을 고려해볼 때 고리 1호기와 월성 1호기가 수년 안에 해체될 것으로 예상된다. 즉, 고리1호기의 계속운전 인허가가 없다는 가정 하에 원자로 영구정지 6년 후 즉시해체를 고려한다면 고리 1호기는 2023년에 해체시점에 도달됨을 예상할 수 있다. 또한 월성1호기는 계속운전 인허가가 없다고 가정한다면 2019년에 해체시점이 도래하게 된다. 이후 고리 2, 3, 4호기 및 울진 1, 2호기가 2020년 내에 해체될 것으로 예상되고 있으며, 이에 대한 원전해체 계획은 표 7-2-2와 같다.

표 7-2-2. 국내 원자력발전소 해체 계획

구분	'10년대	'20년대	'30년대	'40년대	'50년대	'60년대~
원전 해체	2	10	4	4	3	-

원전해체에 따른 방사성폐기물 물량은 호기 당 약 30,000톤으로 예상되고 있으며, 자체처분 및 영구처분을 위해 국가고시에 따라 방사성핵종 화학분석이 요구되고 있다. 표 7-2-2를 근거로 향후 10년 이후부터는 방사성폐기물 내 방사성핵종 화학분석 수요는 연차별로 2014년 분석요청 건수보다 약 4 ~ 6배 증가할 것으로 생각된다.

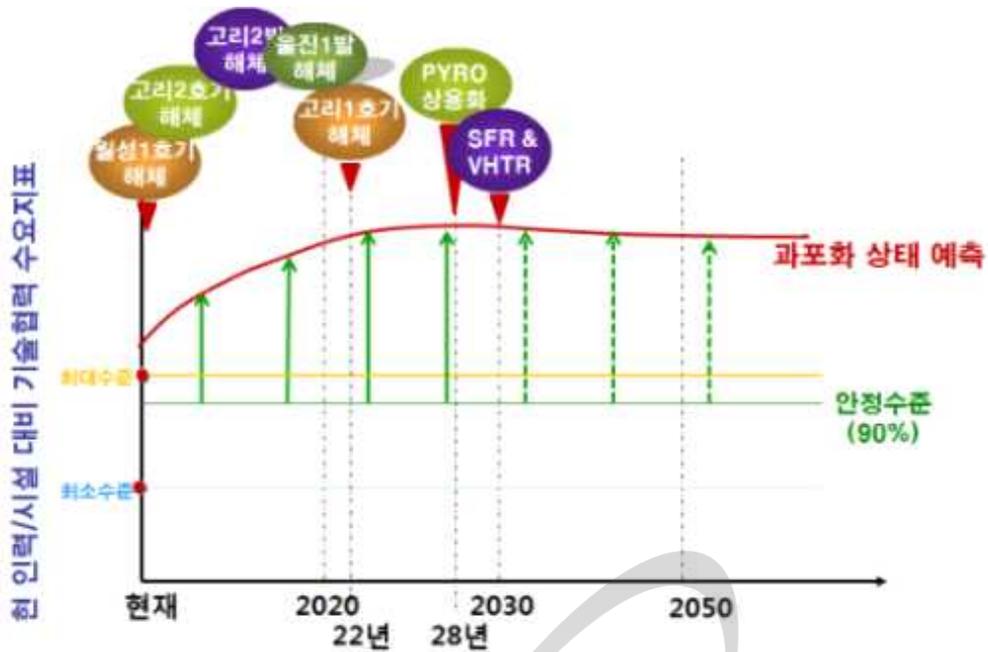


그림 7-2-1. 원자력화학연구부 방사화학시설 운영 예측

또한 2028년 PYRO 상용화 및 SFR/VHTR 상용화에 대비 방사화학분석 수요는 해마다 급속하게 증가할 것으로 예상되고, 2020년경 현재 방사성물질 화학분석 시험 의뢰건의 2배 정도로 예측된다.

이를 대비하고자 제2 방사화학시설의 증축이 시급하게 필요한 상태라고 판단된다. 원자력분야 국외 방사화학분석 기관과 동등수준의 기술력으로 확보와 국가 고유정책에 부응하기 위해서는 방사화학 분석시설의 확장이 요구되며, 향후 10년 이내 현재 규모의 6배 정도의 방사화학분석 시설이 요구된다.

4. 방사화학분야 전문 인력 충원 및 증원 필요성

우리연구원에서 보유한 중저준위 방사성폐기물의 영구처분을 위하여 2013년도에 정규 4.5 MY와 외부인력 5.16 MY가 투입되었고, 약 150여개의 시료를 분석하였다. 원외 원자력 유관기관의 요청에 따라 2014년도에 원자력화학연구부에서 화학분석 예정인 중저준위 방사성폐기물 시료는 이보다 2배가량 늘어난 약 300여개로 추정되고 있다.

현재의 인력규모로 방사화학분석 시료 처리가 가능한 건수는 최대 약 200개로 추정되고 있기 때문에 중저준위 방사성폐기물의 영구처분에 관한 국가계획에 받을 맞추기 위해서는 인력 증원 및 확충이 시급하게 요구된다. 특히, 원자력화학연구부

에서 중저준위 방사성폐기물 핵종분석에 참여한 연구원의 노령화가 가속화됨에 따라 2014년도에는 신규인력 충원과 더불어 2010년 사업착수 때 요청하였던 신규인력 2 MY 충원이 요구된다.

장기적으로 우리연구원 내 원전제염해체기술개발부에서 보관중인 중저준위 방사성폐기물의 영구처분 및 유관기관 방사성핵종 화학분석 수요에 대응하기 위해서는 현재 인력의 약 2배인 9 MY가 필요할 것으로 판단한다.

5. 방사능 측정 장비 및 운영유지비

감마분광분석기를 포함한 방사능 측정장비는 원내외 화학분석 수요를 충족시키기에는 여전히 부족한 상태이다. 2013년도 기준으로 중저준위 방사성폐기물 내 방사성핵종 화학분석 건수는 약 225개이며, 시료별 22개 방사성핵종을 정량하는데, 분석장비를 밤낮으로 가동함에 의하여 그 수요를 충족시켰다. 이에 따라 향후 10년 이내 노후 및 신규 방사능 측정장비 도입이 필요하며, 표 7-2-3에 방사능 측정장비 예측 건수 및 예산합계를 정리하였다.

표 7-2-3. 향후 10년 내 노후 및 신규 방사능 측정장비 도입 예측수량 (2014년 기준)

장비명	도입수량 (10년 이내)	대당 단가 (천원)	합계 (천원)
Gross α,β Counting System	3	80,000	240,000
α-Spectrometer	2	80,000	160,000
γ-Spectrometer	6	100,000	600,000
Photon Detector	3	70,000	210,000
LSC	2	100,000	200,000
합 계			1,410,000

방사성핵종 화학분석 수요예측에 따라 투입인력 인건비 및 화학약품비용은 최소 연간 20억 원이 소요될 것으로 예상되며, 시설 유지비 등으로 약 7 ~ 10억 원의 비용이 추가될 것으로 예상된다.

6. 종합 의견

우리연구원을 포함한 국내 원자력 유관기관으로부터 발생된 중저준위 방사성폐기물의 자체처분 및 영구처분을 위해서는 국가고시에 따라 방사성핵종 화학분석 결과가 필요하다. 이를 위해 국내 유일의 국가 고유 방사화학분석 시설을 갖춘 한국 원자력연구원은 원자력유관기관의 방사화학분석 요구에 의무적으로 지원할 필요가 있다.

방사성폐기물 내 방사성핵종 화학분석을 위한 투입인력, 분석장비 및 시설은 연구원 자체 발생 폐기물 및 원자력 유관기관이 요구하는 분석수요에 적절하게 대응하지 못하는 규모이다. 방사화학분석 수요에 따라 향후 10년 이내 방사화학시설은 1,800 m² 규모로 확장이 필요할 것으로 예측되었다. 또한 방사화학분석에 필요한 투입인력은 현재 규모보다 약 2배인 9MY가 필요할 것으로 예측되었다. 감마 분광 분석기를 포함한 방사능 측정장비 도입을 위해 약 14억 원이 비용이 필요할 것으로 판단되었다.

원자력화학연구부는 지난 10년간 한수원(주) 원자력발전소에서 발생된 중저준위 방사성폐기물의 영구처분을 위해 드럼별 핵종재고량 평가 방법인 척도인자 등을 기술개발하고, 규제기관 인허가 지원 등의 know-how을 바탕으로 우리연구원에서 각 시설별 관리중인 중저준위 방사성폐기물의 자체처분 및 영구처분 방안에 대한 의견을 제시하고자 한다.

- 재료조사시험평가부 관리 방사성폐기물
 - 2008년 말까지 발생된 중저준위 방사성폐기물을 대상으로 2010년부터 방사성 핵종 화학분석을 수행 중에 있음
 - 현재 약 25% 정도 핵종재고량 평가가 완료된 상태이며, 2015년부터는 순차적으로 영구처분이 가능할 것으로 판단함
- 원전제염해체기술개발부 관리 방사성폐기물
 - 원자력화학연구부에서 연차별 방사성핵종 화학분석 계획에는 원전제염해체기술개발부에서 관리하고 있는 중저준위 방사성폐기물 내 방사성핵종 화학분석 업무가 제외된 상태임
 - 향후 중저준위 방사성폐기물 영구처분을 위해서는 사전에 원자력화학연구부와 긴밀한 협조관계가 필요함
- 첨단방사선연구소 관리 방사성폐기물
 - 중저준위 방사성폐기물 발생 물량이 연간 5드럼 미만이므로 현재보다는 수년 경과 후 영구처분을 위한 핵종재고량 평가 방안을 모색할 필요가 있음

○ 가장원자로 (예정)

- 2018년도에 연간 약 150 드럼의 중저준위 방사성폐기물 드럼이 발생될 예정임
- 핵연료 주기에 맞춰 방사화학분석을 통한 척도인자 기술개발이 우선일 것이라 판단함
- 이후 주기적 검증을 통해 방사성폐기물 드럼별 핵종재고량 평가 수행함



제 3 절 방사성폐기물 관리전담부서 운용방안

2장에서 논의한 바와 같이 첨단방사선연구소 및 기장연구로의 방사성폐기물 분류 기준은 원내 방사성폐기물관리규정을 적용하고 있다. 이는 폐기물의 발생특성이 다르더라도 관리를 위하여 적용되는 방사선적 기준은 다르지 않음을 뜻한다. 따라서 향후 첨단방사선연구소 및 기장연구로에서 방사성폐기물 종류별 처리 절차를 개발 또는 적용할 경우에도, 먼저 이러한 절차를 적용하고 있는 재료조사시험평가부의 사례를 주로 참조할 것으로 판단한다. 이 경우 시간이 경과에 따라 절차서의 적용방법이 달라지거나 신규 처리 방법을 적용한 절차를 개발할 경우 이의 전파가 제대로 되지 않아 연구원의 폐기물 관리부서별 통합된 절차를 유지하지 못하게 된다.

또한 본 장의 제1절에서 논의한 바와 같이 효율적인 연구원 방사성폐기물의 관리를 위해서는 인증 프로그램을 관리할 수 있는 조직이 필요하다. 이와 더불어 제5장 제4절에서 논의한 바와 같이 부서별 방사성폐기물 처분 우선순위의 결정 및 그에 따른 처분비용의 효율적 지출을 위해서는 연구원 방사성폐기물 관리를 총괄할 수 있는 부서가 필요할 것으로 판단된다.

연구원 방사성폐기물의 관리를 총괄함으로써, 부서별 영구처분 및 규제해제 기록을 관리하여 폐기물 관련 민원 및 홍보에도 적극 대응할 것으로 판단되며 이로 인해 연구원 방사성폐기물 관리에 대한 주민수용성도 보다 향상될 수 있을 것으로 판단된다.

연구원 방사성폐기물 관리총괄부서의 기능 및 각 방사성폐기물 관리부서간 역할을 그림 7-3-1에 나타내었다.

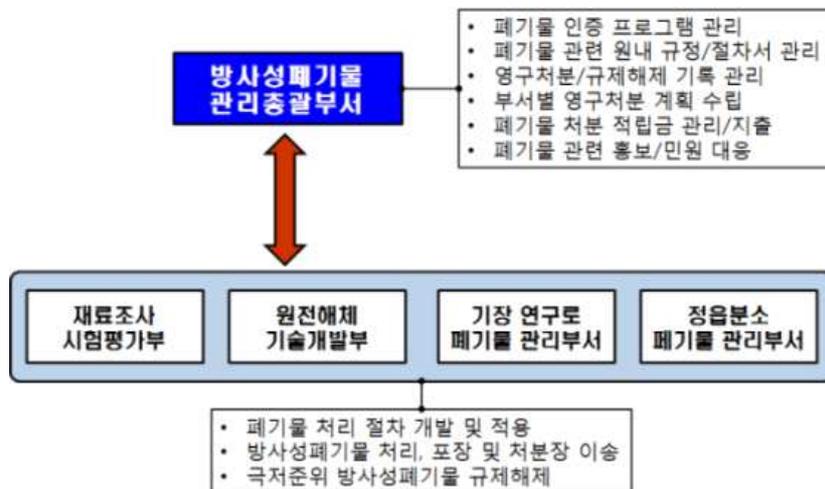


그림 7-3-1. 방사성폐기물 관리총괄부서의 기능

제 8 장 변환시설 해체 토양/콘크리트

폐기물 감축 방안

제 1 절 토양 및 콘크리트폐기물 처리사업비 증액 필요성

현재 연구원에는 2010년 이후 우라늄변환시설 해체 시 발생한 우라늄오염 토양 12,399드럼과 콘크리트 1,426드럼이 해체방사성폐기물 저장고에 보관되어 있다. 이 우라늄오염 토양과 콘크리트는 원전제염해체기술개발부에서 개발한 복합동전기제염장치를 사용하여 제염할 경우, 폐기물의 80%이상을 규제해제농도이하로 제염하여 자체 처분시킬 수 있다. 즉, 현재 저장중인 우라늄 오염 토양과 콘크리트의 방사능은 20-200 Bq/g이지만, 복합동전기제염장치로 제염하면 규제해제 기준치인 1 Bq/g 또는 10 μ Sv/year 이하로 낮출 수 있다.

2009년부터 ‘방사성 토양 및 콘크리트 폐기물 처리시설 구축/운영과제’에서 해당 폐기물을 처리하기 위한 시설을 구축하고, 이 시설을 이용하여 폐기물을 처리하고 있다. 과제는 2008년도에 계획된 과제로 당시에 우라늄변환시설 해체 시 발생될 우라늄오염 토양 및 콘크리트는 천 수백드럼에 불과할 것으로 예측했다. 그러나 2010년 우라늄변환시설 해체 시 약 13,800드럼의 폐기물이 발생하였다. 현재 구축된 시스템으로는 연 200-300드럼의 토양/콘크리트 폐기물만 처리가 가능하므로, 보관 중인 13,800드럼의 폐기물을 처리하기 위해서는 약 55년이 필요한 실정이다. 따라서 이들 우라늄 오염 폐기물들을 신속한 처리하기 위한 해결방법이 필요하다.

그러므로 2015년부터 2028년까지 연 1,200드럼 처리규모 상용시설을 구축/운영하여, 경주처분장 처분에 앞서 빠른 기간 내에 원(연)에 저장중인 우라늄 토양과 콘크리트 폐기물의 부피를 1/5이하로 감용하기 위해서, 아래와 같이 원(연) 주요사업으로서 ‘원자력시설 해체폐기물처리 실용화시설 구축/운영 (방사성 토양 및 콘크리트 폐기물 처리시설 구축/운영)’ 과제의 사업비 16억 원의 증액을 제안한다.

표 8-1-1. 원자력시설 해체폐기물처리 실용화시설 구축/운영
: 2015년도 예산요구액 (인건비, 간접비 포함) (백만 원)

구 분	'14예산 (A)	'15예산(안) (B)	증 감 (B-A)	%
방사성 토양 및 콘크리트 폐기물 처리시설 구축/운영	978 (직접비 : 515)	2,578 (직접비 : 2,115)	1,600	163.4

제 2 절 방사성 토양 및 콘크리트폐기물 제염기술

1. 방사성 토양 제염기술

방사성 토양 제염기술은 방사성 물질에 오염된 토양에 다량의 질산을 넣어 오염을 제거하는 ‘세척법’에 토양의 양쪽에 전극을 넣고 전압을 가해 전기 이동과 전기삼투 원리에 의해 (+)극을 떠는 방사성 물질을 음극으로 이동시켜 분리해내는 ‘동전기(electrokinetic) 제염법’을 복합한 기술이다.

○ 복합동전기제염장치 제염효율

- 그림 8-2-1과 같이 토양 세척(전처리), 동전기 제염장치, 폐액처리 장치로 구성되어 있으며 Mobile 형태로 제작 가능함
- 세척 장치에서 핵종의 약 60%를 제거하고 동전기 장치에 넣어 95%이상 제거함
- 그림 8-2-2와 같이 1개월 동안 우라늄은 98%이상 제염이 가능함

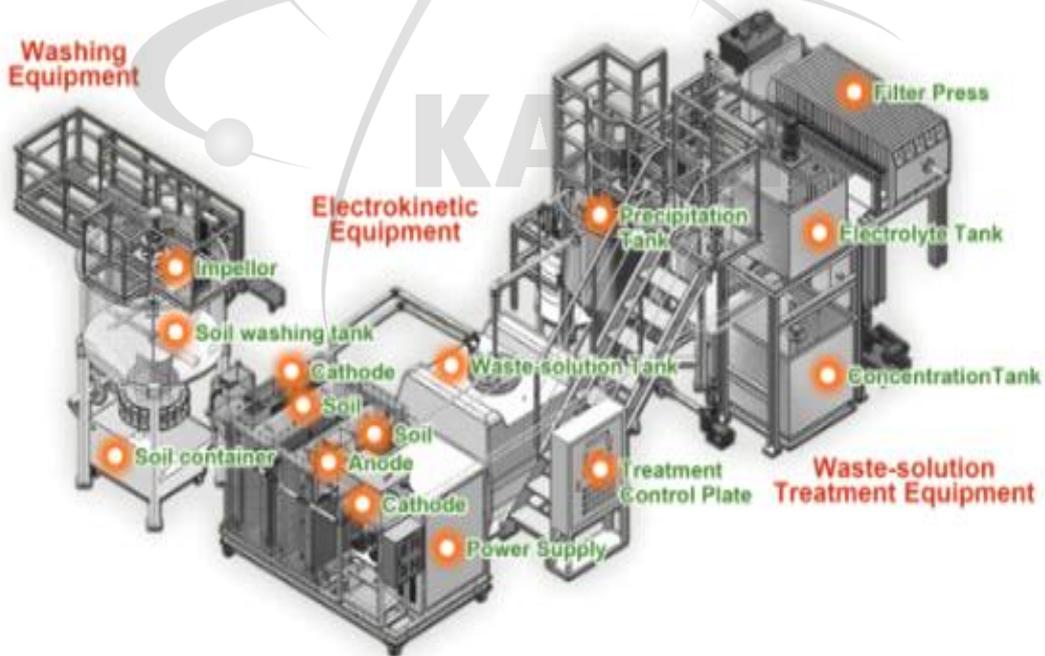


그림 8-2-1. 복합동전기 토양제염장치

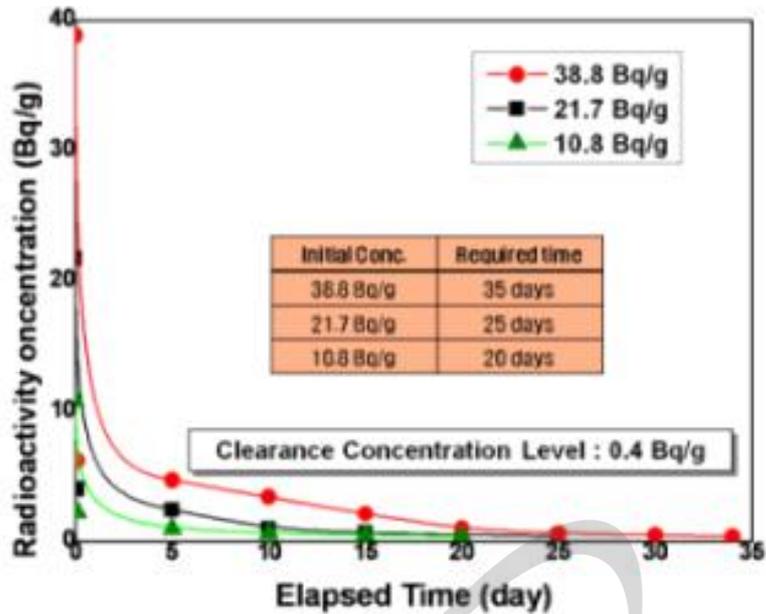


그림 8-2-2. 복합동전기 토양제염장치에 의한 시간경과별 U-238 잔류 방사능 농도

- 발생된 토양폐액은 개발된 폐액처리장치로 처리 후 재사용 함(폐액발생 없음)

○ 동전기장치 처리용량

- 1세트의 동전기장치는 800 L규모로 우라늄오염토양을 연간 50드럼 처리할 수 있음

○ 우라늄오염 자갈 제염

원자력시설 가동 중에 다량의 우라늄오염 토양이 발생되었다. 발생된 오염토양의 30%이상이 자갈이었다. 보통 입경이 10 cm 이하인 토양은 토양세척이나 동전기제염방법을 사용하지만, 입경이 10 cm 이상인 자갈을 토양세척이나 동전기제염방법을 적용하면, 제염효율이 낮다. 그러므로 오염된 자갈을 제염할 수 있는 기술 개발이 필요하다. 표 8-2-1은 자갈세척장치를 사용하여 질산용액으로 3번 세척했을 때의 제염효율을 보여준다. 자갈은 크기가 클수록 우라늄오염농도가 감소했고, 3번의 세척실험 결과 약 37.2 %의 제거효율을 나타냈다.

표 8-2-1. 자갈세척장치에 의한 자갈크기에 따른 세척효율

Gravel Size	Ci (Bq/g)	1st	2nd	3rd	Removal Efficiency
5cm(154g)	2.25	1.04	1.01	1.0	56%
5cm(266g)	2.93	2.14	2.10	2.09	29%
10cm(766g)	2.54	1.83	1.76	1.76	31%
10cm(784g)	2.12	1.67	1.61	1.60	25%
15cm(944g)	1.9	1.32	1.27	1.22	36%
15cm(1074g)	1.2	0.68	0.67	0.65	46%
Average	2.16	1.45	1.40	1.39	37.2%

자갈의 제염효율을 향상시키기 위해 자갈세척장치로 세척된 자갈을 동전기장치에 넣어 자체처분 허용농도 이하로 오염된 자갈을 다시 제염한다. 표 8-2-2는 동전기장치에 의한 시간경과별 제염효율을 보여준다.

표 8-2-2. 동전기장치에 의한 시간경과별 자갈 제염효율

Period	Origin	5 days	10 days	15 days	20 days
Removal efficiency	1.7 Bq/g	43 %	65 %	74 %	81 % (0.31 Bq/g)
Removal efficiency	1.3 Bq/g	41 %	63 %	73 %	79 % (0.27 Bq/g)

그림 8-2-3는 복합동전기 토양제염 공정도를 보여준다. 토양과 자갈세척 시 발생한 폐액은 침전조, 농축조, 필터프레스, 그리고 슬러지 건조기를 사용하여 처리한다.

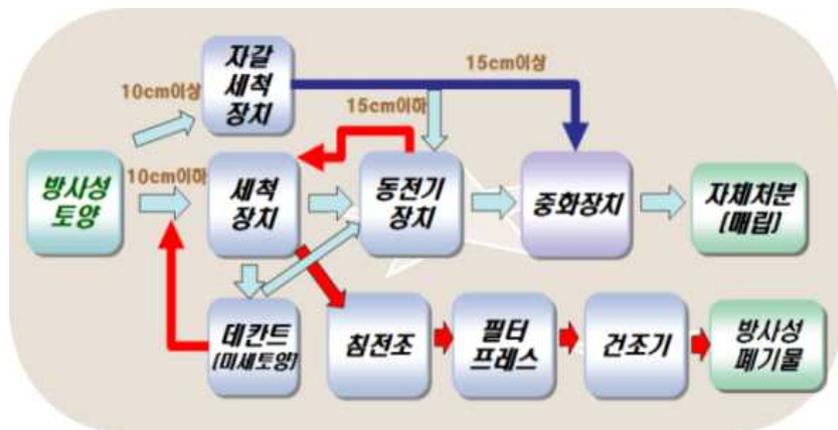


그림 8-2-3. 복합동전기 토양제염 공정도

2. 방사성 콘크리트 제염기술

우라늄으로 오염된 콘크리트를 제염하기 위한 기존의 건식처리 방법은 방사능 오염이 높은 시편의 경우 처리가 곤란하여 습식처리 공정을 개발하였다. 2013년까지 100드림/년의 처리규모 콘크리트제염장치를 제작 설치하였으며, 20드림의 콘크리트를 시범처리하였다. 2014년에는 실제 대량의 콘크리트의 제염을 위하여 보다 작업성과 제염효율을 증가시키기 위한 자동화 및 공정개발을 구상하거나 추진할 예정이다.

현재까지 개발된 공정은 그림 8-2-4에 나타낸 바와 같이 클러브박스 내에서 시편을 넣고 조크레셔로 파쇄한 다음, 체로 쳐서 1 mm 이상의 콘크리트 조각만을 볼밀에 넣어 세척액으로 2차례 세척한다. 이 때 1차 세척으로는 전에 사용한 세척액의 상등액을 이용하여 6시간동안 세척하며, 2차 세척은 물에 질산을 첨가하여 용액의 pH를 약 0.5정도로 조절한 세척액에서 2시간동안 세척한다. 세척액의 양은 대략 콘크리트의 부피만큼 사용한다.

2차 세척후 볼밀 뚜껑을 필터로 교체하여 세척액을 제거한 다음, 시편을 소량의 물로 세척한 후 시편의 방사능을 측정한다. 이런 절차로 처리하면 대부분 콘크리트가 규제해제 농도 (1 Bq/g) 이하로 제염이 완료된다. 그러나 만약 콘크리트의 초기 방사능이 높아 제염후 시편의 방사능이 1 Bq/g 이상일 경우, 2차 세척조건으로 한 번 더 세척을 수행한다.

콘크리트 시편 중 실험실 바닥에서 채취한 시편은 우라늄 용액에 장기간 노출되어 있어서 방사능이 매우 높다. 이 시편은 실험실 바닥에 도포되어 있던 에폭시가 붙어있으며, 에폭시 아래 미장 콘크리트 모르타르에는 프라이머가 흡착되어 있다. 따라서 이 시편들은 위와 같은 방법으로 제염이 되지 않는다. 이 시편들은 가열하여 에폭시와 프라이머를 먼저 제거하여야 하는데, 이 콘크리트 시편들은 따로 모아 가열로에서 태운다. 이 경우, 에폭시와 프라이머가 타면서 콘크리트 표면층이 떨어져 나가기도 하는데, 이 표면층이 제거된 시편의 방사능은 규제해제 이하로 나타났다. 그러나 시편에 따라 표면층이 떨어져 나가지 않고 남아있는 시편 중에는 방사능이 규제해제 이상의 값을 나타내기도 하는데, 이는 표면층을 약 3 mm 정도 제거하면 제염이 된다.

한편, 체로 분리된 1 mm 이하의 미세분말과 볼밀에서 나온 미세입자가 들어있는 혼탁액, 그리고 에폭시 시편에서 끌로 제거한 시멘트 분말을 모아 세척조에 넣어 함께 세척한다. 세척후 시편의 방사능이 규제해제 값보다 훨씬 높을 경우에는 연속세척을 위해 토양 제염으로 사용하는 동전기 장치를 사용하여 토양과 동일한

방법으로 제염한다. 예비실험에서는 대략 7일이내에서 세척이 완료되는 것으로 나타났다.

동전기에서 발생한 세척액에 포함된 우라늄은 CaO 혹은 NaOH를 첨가하여 용액의 pH를 높여 침전시켜 방사성폐기물로 처리한다. 또한, 침전후 필터한 용액은 황산을 첨가하여 CaSO₄ 침전을 형성시켜 용액중 과량으로 포함된 칼슘이온을 제거한 다음 재사용한다.

이상과 같이 본 연구실에서 개발한 콘크리트의 총괄적인 제염공정을 그림 8-2-5에 나타내었다. 이 공정으로 우라늄으로 오염된 콘크리트를 처리할 경우, 70% 이상의 감용효과를 얻을 수 있다.



그림 8-2-4. 분쇄-세척 콘크리트처리장치



그림 8-2-5. 분쇄-세척 콘크리트처리장치 공정도

제 3 절 “방사성 토양 및 콘크리트 폐기물 처리시설 구축/운영” 사업비 증액 제안서

1. 증액사업과제 목표

원자력연구원에 보관중인 방사성 오염 토양과 콘크리트 폐기물 13,800드럼에 대해 2015-2017년 동안 연 1200드럼 우라늄오염 폐기물 처리시설을 구축하고, 2017-2028년 동안 13,800드럼을 처리 완료

2. 증액사업과제 기대효과

방사성오염 토양과 콘크리트 폐기물의 드럼 당 처분비는 약 1,200만원 이상이고 (반감기 20년 이상의 알파핵종 폐기물은 천층처분 방식으로 할 수 없다. (개정 방사성폐기물 분류체계 제5조 1,2)), 제염 처리 시 방사성 폐기물 11,500드럼 감용 예측 됨

- 우라늄 폐기물 11,500드럼 감축 시 : 약 1,092억 원 처분비 절감 (처리 후 폐기물 부피 감축률: 토양 85%, 콘크리트70%, 총사업비 288억 원(연구비 포함))
- 개발된 기술은 후쿠시마 오염 토양/소각재 제염장치 제작 기술 지원 (KEPCO-E&C에서 경상기술료 획득)
- 개발된 기술은 국내 원자력시설 해체 후 발생된 오염 토양 및 콘크리트 제염 시 활용

3. 방사성 토양 및 콘크리트 폐기물 처리시설 구축/운영 과제 연도별 사업비용 및 폐기물처리량

- 총사업비 : 288억 원
- 총사업기간 : 13.5년 (55년보다 4배 단축)

표 8-3-1. 방사성 토양 및 콘크리트 폐기물 처리시설 구축/운영 과제
연도별사업비 및 폐기물처리량

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
직접비(억 원)	21.15	21.15	21.15	21.15	21.15	21.15	21.15
폐기물처리량 (드럼)	시설 구축 100	시설 구축 200	시설 구축 800	1200	1200	1200	1200

	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	총계
직접비(억 원)	21.15	21.15	21.15	21.15	21.15	21.15	13.0	288억 원
폐기물처리량 (드럼)	1200	1200	1200	1200	1200	1200	700	13,800

- 연도별 발생 방사성폐기물 (2015 년-2028 년): 약 180-240 드럼 (침전제침가)
- 연도별 발생 자체처분 폐기물 (2015 년-2028 년): 약 1,100드럼

4. 연도별 원자력시설 해체폐기물처리 실용화시설 구축/운영 예산 요구액
- 직접비 증액 : 16억 원

5. 토양/콘크리트 처리시설 구축비
- 총 42.0 억 원

표 8-3-2. 연간 토양/콘크리트 1200드럼 처리시설 구축비

(백만 원)

장치/시설구축	세 트	금 액
동전기제염장치	14 (총 22)	980
동전기가스정화장치	2	85
세척장치	1	95
자갈세척장치	1	85
자갈미세파쇄장치	1	65
데칸트	1	85
폐액침전조	1	65
폐액농축조	1	40
필터프레스	3	180

침전물 건조기	4	80
침전물 자동이송장치	4	95
배기시설구축	2	120
운반컨베이어	3	150
지게차	1	45
MCA계측기	2	195
CaO 용해조	1	55
톤백저장고 구축	1	120
방사성폐기물 저장고 구축	1	170
크레인 설치	3	150
방사성침전물 고정화장치	2	180
전기증설/지지대 구축	1	150
냉난방시설	4	200
감시카메라/모니터 설치	5	50
질산/황산 내산성탱크	2	100
토양/자갈 분리시설	2	50
대형 죠크래셔	1	95
기존장치 이전설치비	1	50
콘크리트처리장치	1	200
불밀제염 후 세척장치	1	40
재생용액처리장치	1	85
제염콘크리트 이송 설비	1	60
폐액 자동 중화 설비	1	50
수도 및 가스 설치	1	30
총 액		4,200

6. 증액사업 수행에 필요한 증액 사업비

- 총 16억 (직접비 : 16억)

제 4 절 우라늄오염 토양/콘크리트 제염 폐기물 처리방안

우라늄오염 토양 및 콘크리트 폐기물 제염 시 발생하는 폐액은 폐액처리 후 재사용액을 재사용하여 폐액발생량은 없다. 또한 폐액처리 시 발생하는 슬러지는 건조기 내에서 200℃ 이상으로 1일 건조함으로 잡고체 형태로 변형된다. 그러므로 본 방사성 잡고체 폐기물은 그대로 처분가능하다고 사료되지만, 차후 원자력환경공단 방사성폐기물 인수 담당자들과 협의 후 경주처분장에서 제시하는 인수조건에 적합한 형태로 처리한 후 처분한다.

- 연도별 발생 방사성폐기물 (2015 년-2028 년) : 약 240 드럼 (침전제침가)
- 연도별 발생 자체처분 폐기물 (2015 년-2028 년) : 약 1,100드럼
- 방사성폐기물 저장고/자체처분 폐기물 저장고 증축
 - 약 2,000드럼 저장 가능 방사성폐기물 저장고 필요
 - 약 4,000드럼 저장 가능 자체처분 폐기물 저장고 필요
- 방사성폐기물 인수조건 적합 처리시설 구축
 - 토양 슬러지 고정화 처리시설(필요시)
 - 드럼내 방사성 농도 자동계측 장치
 - 드럼 운반 자동화 시스템
 - 드럼내 방사성폐기물 포장 시설 구축
- 필요 예산 : 방사성폐기물을 경주 원자력환경공단 인수조건에 적합하게 처리 후 이송 처분하고, 자체처분폐기물은 KINS와 원자력안전위원회에서 허가를 받아 자체 처분 함
 - '15년이후 요구 예산 : 직접비 9억/년
 - * 방사성 토양 및 콘크리트 인수조건 적합 처리비: 6억 원
(250만원/드럼 × 240 드럼)
 - * 1,100드럼 규제해제 폐기물 자체처분 비용 : 6,300 만원
(3만원 × 1,100 + 3,000만원(KINS 허가비용))
 - 방사성폐기물 저장고/자체처분 폐기물 저장고 증축비용 : 10억
 - 방사성폐기물 인수조건 적합 처리시설 구축 : 10억

제 9 장 결 론

본 장에서는 지금까지 논의한 각 폐기물 관리부서별 폐기물의 관리시스템과 분석부서의 폐기물 분석 시스템에 대해 현황과 전망을 정리 및 요약하였다. 이에 기반을 두어 기간별 폐기물 관리방안에 대해 제시하였으며, 이를 위해 필요한 비용 및 인력에 대해서도 정리하였다.

발생특성과 관리방안이 다양한 여러 부서별 방사성폐기물의 특성 및 처리일정을 고려한 상세 실행방안의 도출을 위해서는 향후 추가적인 연구가 필요할 것이다. 추가연구에서는 신분류기준의 도입방안과 연구원 폐기물의 영구처분 수행에 따른 개선안 도출, 기장 연구로 폐기물의 발생에 따른 대처 방안 등이 포함되어야 할 것이며, 현장 상황을 반영하여 주기적인 결과의 갱신이 필요할 것이다.

제 1 절 폐기물 관리방안

1. 단기 관리방안 (2015년 ~ 2018년)

가. 고려사항

단기 관리방안의 수립에 고려된 사항은 다음과 같다.

- 방사성폐기물 신분류 기준의 도입 (2014년)
- 연구원 폐기물의 영구처분 개시 (2015년)
- 서울 연구로 해체 사업의 종료 (2014년)
- 공단의 3단계 처분시설 확충 (~ 2017년)

2014년도부터 발효하게 될 방사성폐기물 신분류 기준에 따르면, 현행 중·저준위 방사성폐기물로서 통합 관리되던 폐기물을 폐기물 내 핵종의 방사능 농도에 따라 규제해제 대상, 극저준위, 저준위, 중준위 등으로 구분하여 관리하여야 한다. 여기에 맞추어 공단의 3단계 처분시설이 확충되고 각 처분시설에 대한 인수기준이 마련되면, 연구원 방사성폐기물의 처분도 해당 처분시설을 고려하여 처리 및 처분 준비를 수행해야 할 것이다. 따라서 현재 보관중인 방사성폐기물을 비롯하여 연간 신규 발생하는 방사성폐기물의 분류 및 관리를 위한 시스템의 운영이 필요하다.

서울에서 진행되고 있는 연구로 1, 2 호기의 제염 해체 사업은 2014년 12월로 종료 예정되어 있기 때문에, 사업 과정에서 발생한 폐기물의 영구처분장 또는 대전 본원으로의 이송이 2015년 초에 수행되어야 할 것으로 판단된다. 따라서 2015년 개

시되는 연구원 폐기물의 영구처분을 위해서 1, 2 호기 해체 폐기물을 우선적으로 고려해야 할 것이다.

한편 해당 기간동안 기장연구로는 설계 및 시공단계로서 방사성폐기물이 발생하는 단계가 아니므로 처분계획 수립시 고려되지 않는다.

나. 관리방안

해당 기간의 방사성폐기물 관리방안은 다음과 같다.

- 방사성폐기물 신분류 기준에 따른 폐기물 분류 및 관리
- 서울 연구로 해체 사업폐기물 처리 종료 (처분장 또는 본원 이송)
- 인증프로그램 및 관리총괄부서 운용

단기 방사성폐기물 관리방안으로서 가장 먼저 고려해야 할 사항은 현재 관리하고 있는 방사성폐기물을 신분류 기준의 도입에 따라 새롭게 분류하고 처리하는 것이다. 이를 위해서는 폐기물 관리절차를 수정하여 발생시부터 방사성폐기물의 방사능 농도를 분석하는 것이 필요하다. 따라서 폐기물 관리부서에서는 방사성폐기물의 수집시, 포장된 폐기물 드럼 외에 별도로 시료를 접수받아 이를 즉시 분석할 수 있는 시스템을 갖추어야 할 것으로 판단된다. 또한 폐기물방사화학 분야의 분석능력도 이를 반영하여 확대해야 할 것이다.

서울 연구로 해체 사업폐기물은 영구 처분대상 폐기물과 본원 이송 폐기물로 구분되어 처리 및 운반되어야 할 것이다. 본원 이송 폐기물의 경우 대전지역 주민의 수용성이 문제될 수 있으므로, 이의 완화를 위한 방법을 고려해야 할 것이다.

당 기간에 인증 프로그램의 도입을 준비하는 것이 타당할 것으로 판단되는 데, 이는 기장연구로에서 방사성폐기물의 발생 시점부터 인증 프로그램을 운영하는 것이 관리 효율성을 가장 높이는 방법이라 판단하기 때문이다. 또한 방사성폐기물 관리총괄부서를 신설하여 각 부서별 관리되고 있는 폐기물의 관리를 총괄하여 관리해야 할 것이다.

2. 중기 관리방안 (2019년 ~ 2022년)

가. 고려사항

중기 관리방안의 수립에 고려된 사항은 다음과 같다.

- 준위에 따른 방사성폐기물 처분방식 구분 (2019년 ~)
- 기장 연구로 방사성폐기물 발생 시작 (2019년 ~)

당 기간에는 준위에 따라 방사성폐기물이 동굴처분시설, 천층처분시설, 극저준위 처분시설로 구분되어 처분될 것이다. 따라서 부서별 발생특성 외에도 폐기물의 방

사능 농도를 고려하여 연구원 폐기물 처분계획을 수립해야 할 것으로 판단된다.

또한 이 기간에는 기장 연구로에서도 방사성폐기물이 발생하기 때문에 이의 처분을 위한 시스템 확보 및 처분비용의 적립을 고려해야 할 것이다.

나. 관리방안

해당 기간의 방사성폐기물 관리방안은 다음과 같다.

- 관리부서외에 폐기물 방사능농도를 고려한 부서별 처분물량 배분
- 처분비용 적립금 규모의 확대
- 기장연구로 처분시스템 확보

당 기간부터는 보다 효율적인 처분을 위하여 처분물량의 산출시 어떤 처분시설에 처분할 것인지를 고려하는 절차가 필요하게 된다. 따라서 각 폐기물 관리부서별 폐기물의 특성을 모두 총괄하여 처분물량을 적절히 배분할 수 있는 총괄부서가 필요하게 된다. 또한 당 기간에는 기장연구로에서 방사성폐기물이 발생되기 시작하므로, 이를 반영한 처분계획 수립 및 처분비용 적립이 필요하게 되어 현재로서도 부족한 처분 적립금 문제가 보다 심화하게 될 것으로 판단된다.

또한 기장연구로의 처분시스템 확보를 위한 준비 기간이므로, 이에 필요한 예산이 고려되어야 한다. 현재로서는 이에 대한 판단 근거가 부족하므로 이를 논의하기는 시기상조라 생각하나 필요 예산 규모는 폐기물 분석 장비의 구입 및 설치, 처분 드럼 핵종분석 시스템의 구축 등을 포함하여 수십억 원 대가 될 것으로 판단한다.

3. 장기 관리방안 (2023년 ~)

가. 고려사항

장기 관리방안의 수립에 고려된 사항은 다음과 같다.

- 노후 핵주기시설 보수/해체 폐기물 발생
- 중준위 방사성폐기물 처분

현재도 단발적으로 제기되는 노후 핵주기시설의 보수 및 해체 과정에서 발생하는 장비와 시설 구조물 해체 폐기물에 대한 문제는 장기적 관점에서 보다 심각해 질 것으로 판단된다. 이러한 폐기물은 (1) 방사능 오염 준위가 높고 (2) 다양한 핵종으로 오염되었으며 (3) 운반 또는 포장을 위한 절단 작업 중 오염의 확산 가능성이 크다는 점 등의 문제를 가지고 있으므로 폐기물 관리방안 수립시 이를 고려해야 할 것이다.

이와 더불어 동굴처분시설의 효율적 운영을 위하여 중준위 방사성폐기물의 처분 문제도 대두될 것으로 판단된다.

나. 관리방안

해당 기간의 방사성폐기물 관리방안은 다음과 같다.

- 노후 핵주기시설 보수/해체 폐기물의 발생 최소화 및 관리 효율화
- 중준위 방사성폐기물 처분시스템 운영

노후 핵주기시설에서 발생하는 방사성폐기물의 발생 최소화를 위해서는 현장 방사능 오염도 측정 장비의 확보 및 고오염도 방사성폐기물 취급 설비의 구축이 필요할 것으로 판단된다.

또한 중준위 방사성폐기물 처분시스템으로서 취급 설비 이외에도 폐기물 운송시 필요한 추가 장비, 작업자 과피폭 방지를 위한 시스템 구비 등이 필요하게 될 것이다.



제 2 절 난처분성 폐기물 처리예산

1. 재료조사시험평가부 관리대상 난처분성 폐기물 처리방안

제6장에서 논의한 다양한 폐기물별 처리방안을 실행하기 위한 예산을 정리하면 다음과 같다.

표 9-2-1. 재료조사시험평가부 관리대상 난처분성 폐기물 처리예산

폐기물 종류	소요예산 (단위 : 백만 원)	
	총액	세부내역
질산염 폐기물	550	- 열분해 가열로 : 150 백만 원 - 배기체 처리시스템 : 400 백만 원
폐수지	1,200	- 폐수지 이동/건조장치 : 400 백만 원 - HIC 저장용기 : 100 백만 원 (원내 이송, 채움 작업 차폐체 검용) - 고건전성 용기(HIC) : 700 백만 원 (35개, 국산화 용기 가정)
아스팔트 고화체	200	- 고속 혼합기/열원 시스템 : 160 백만 원 - 혼합기와 이중 열매체유 재킷 : 40 백만 원
유기폐액	300	- 플라즈마 소각로 : 250 백만 원 - 배기체 처리시스템 : 50 백만 원
삼중수소 폐액	380	- 삼중수소 모니터 : 330 백만 원 (2대 : 폐기물처리시설, 자연증발시설) - 삼중수소 폐액 저장탱크 : 50 백만 원 (15m ³)
중준위 폐기물	-	장기 저장 후 저준위 폐기물로 처리
합 계	2,630	

2. 난처분성 해체폐기물

난처분성 해체 폐기물은 비철금속 및 유기 TBP 폐액 처리 예산과 우라늄 변환시설에서 발생한 토양/콘크리트 폐기물 관련 예산으로 구분하여 요약하였다.

가. 비철금속 및 유기 TBP 폐액 처리예산

표 9-2-2. 난처분성 해체폐기물 처리/처분의 소요예산

(단위: 백만 원)

구분	항목	예산	내용
고체 폐기물	비철금속	500	<ul style="list-style-type: none"> 비철금속 용융장치
액체 폐기물	유기 TBP 폐액 (2.8 m ³)	300	<ul style="list-style-type: none"> 유기폐액 수증기개질장치
합 계		800	

나. 우라늄변환시설 토양/콘크리트 폐기물 감축 방안

(1) 사업비 증액 필요성

원자력시설 해체폐기물 처리 실용화시설 구축/운영과제는 2008년도에 기획된 대과제로 당시에 우라늄변환시설 해체 시 발생될 우라늄오염 토양 및 콘크리트는 천수백드럼에 불과할 것으로 예상하였다. 그러나 2010년 실제 해체 시 약 13,800드럼의 대량 토양 및 콘크리트 폐기물이 발생하였다. 따라서 기획당시 책정된 대과제의 직접비 약 21억 원 방사성 토양 및 콘크리트 처리시설 구축/운영 과제에 배분된 직접비가 부족하여 해당 폐기물을 신속히 처리하는 것은 불가능하다 (55년 이상이 소요될 것임).

위 문제를 해결하기 위하여 ‘원자력시설 해체폐기물 처리 실용화시설 구축/운영’ 과제를 원(연) 주요사업 사업비 증액과제로 제안한다. 제안된 사업비 증액과제를 통하여 2015년부터 2028년까지 년 1,200드럼 처리규모 상용시설을 구축/운영하여 현재 연구원에 보관중인 우라늄 오염 토양 폐기물 12,400드럼과 콘크리트 폐기물 1,400드럼을 처리함으로써, 경주처분장 처분에 앞서 11,500드럼 이상의 방사성 폐기물을 감축할 수 있다. 또한, 원(연)의 폐기물저장고에 보관중인 다량의 방사성 토양과 콘크리트 폐기물의 신속한 처리는 폐기물 감량에 따른 경제적 이익뿐 아니라 원(연) 주

변 주민의 쇄도하는 민원을 해소하고 연구원에 대한 불신을 해소할 수 있다.

(2) 연도별 사업비용 및 폐기물처리량

- 총사업비 : 288 억 원
- 총사업기간 : 13.5년 (처리기간 1/4로 단축)

표 9-2-3. 방사성 토양 및 콘크리트 폐기물 처리시설 구축/운영 과제 연도별사업비 및 폐기물처리량

	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
직접비 (억 원)	21.15	21.15	21.15	21.15	21.15	21.15	21.15
폐기물 처리량 (드럼)	시설구축 100	시설구축 200	시설구축 800	1200	1200	1200	1200

	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	총계
직접비 (억 원)	21.15	21.15	21.15	21.15	21.15	21.15	13.0	288억 원
폐기물 처리량 (드럼)	1200	1200	1200	1200	1200	1200	700	13,800

(4) 기대효과

- 우라늄 오염 폐기물 11,500드럼을 감용함으로서 사업비용을 제외하고 약 1,092억 원 처분비용 절감 (경주처분장 처분비 : 우라늄오염 폐기물 지하처분이므로 1200만원/드럼으로 계산)
- 개발된 기술은 국내 원자력시설 해체 후 발생된 오염 토양 및 콘크리트 폐기물 감축을 위한 제염 시 활용
- 개발된 기술은 후쿠시마 오염 토양/소각재 제염장치 제작 기술 지원 (KEPCO-E&C에서 경상기술료 획득)
- 보관중인 다량의 방사성 토양과 콘크리트 폐기물 처리에 따른 주변 주민의 민원을 해소하고 연구원에 대한 불신을 줄임

제 3 절 폐기물 관리효율화 예산 및 인력

1. 폐기물 특성평가 효율화

제 7 장에서 논의한 폐기물 방사화학 분석 시스템의 도입을 위한 예산은 다음과 같다.

장비명	도입수량 (10년 이내)	대당 단가 (천원)	합계 (천원)
Gross α, β Counting System	3	80,000	240,000
α -Spectrometer	2	80,000	160,000
γ -Spectrometer	6	100,000	600,000
Photon Detector	3	70,000	210,000
LSC	2	100,000	200,000
합 계			1,410,000

이와 더불어 투입인력 인건비 및 화학약품비용으로 연간 20억 원, 시설 유지비 등으로 7억 원 ~ 10억 원이 추가적으로 소요되며 2MY의 신규 인력이 필요할 것으로 판단되었다.

2. 관리총괄부서 운용

제 7 장에서 논의한 연구원 방사성폐기물 관리총괄부서는 연구원 폐기물의 영구 처분 및 규제해제와 더불어 폐기물 인증 프로그램 관리를 같이 수행하게 된다. 이 경우 해당 조직은 방사성폐기물 관리부서 및 품질경영부에 소속되지 않는 제3의 조직으로서 본원의 폐기물을 비롯하여 첨단방사선연구소, 기장연구로의 폐기물 관리 부서를 모두 총괄하여야 한다.

또한 폐기물 적립금에 대한 관리 및 지출과 더불어 민원 대응까지 고려할 경우 관리 총괄부서는 부서장을 포함 3 ~ 5인의 규모가 적절할 것으로 판단된다.

3. 기타 폐기물관리 효율화 시스템 구축

본 연구에서 논의된 사항 중 정리되지 않은 항목으로는 규제해제 폐기물 처리 시스템 및 향후 발생되게 될 노후 핵주기시설 해체폐기물 관리와 관련된 비용이다. 규제해제 폐기물 처리 시스템의 경우 제5장에서 논의된 63억 원 외에도 운영 중 발생 폐기물의 규제해제 효율화를 위해서는 약 20억 원 정도의 예산이 추가될 것으로 판단된다.

또한 노후 핵주기시설에서 발생하는 고오염도 해체폐기물의 처리를 위한 시스템의 구축에도 수십 억 원대의 비용이 소요될 것으로 판단되나 이에 대한 추후 연구가 필요할 것이다.



서 지 정 보 양 식

서 지 정 보 양 식					
수행기관보고서번호		위탁기관보고서번호		표준보고서번호	
KAERI/RR-3708/2014					
제목 / 부제		연구원 방사성폐기물 증장기 관리방안 수립 연구			
연구책임자 및 부서명		홍대석 / 재료조사시험평가부			
연구자 및 부서명		강일식, 김태국, 손중식, 장원혁, 주용선(재료조사시험평가부) 김계남, 정경환, 황두성(원전제염해체기술개발부) 송규석, 안홍주(원자력화학연구부) 이윤중(방사선안전 방호팀) 김민진(하나로운영부)			
출판지	대전	발행기관	한국원자력연구원	발행년	2014
페이지	146 p.	도표	있음(<input checked="" type="checkbox"/>), 없음(<input type="checkbox"/>)	크기	21×29 cm.
참고사항					
공개여부	공개(<input checked="" type="checkbox"/>), 비공개(<input type="checkbox"/>)		보고서종류	연구보고서	
비밀여부	대외비(<input type="checkbox"/>), <u> </u> 급비밀				
연구위탁기관			계약 번호		
초록 (15-20줄내외)	<p>현재 원자력연구원의 방사성폐기물은 발생특성에 따라 여러 부서에서 관리하고 있으며, 2015년부터 부분적으로 영구처분이 시작될 것으로 예상하고 있다. 따라서, 연구원 방사성폐기물의 효율적인 관리 방안이 필요하게 되었다. 연구원 폐기물의 단기 관리방안으로는 방사성폐기물 신분류 기준에 따른 폐기물 분류 및 관리, 서울 연구로 해체 사업폐기물 처리 종료, 인증프로그램 및 관리총괄부서 운용이 있으며, 중기 관리방안으로는 폐기물 방사능 농도를 고려한 부서별 처분물량 배분, 처분비용 적립금 규모의 확대, 기장연구로 처분 시스템 확보가 있다. 또한 장기 관리방안으로는 노후 핵주기시설 보수/해체 폐기물의 발생 최소화 및 관리 효율화, 중준위 방사성폐기물 처분시스템 운영 등이 있다. 난처분성 폐기물의 처리예산으로는 운영 중 발생 폐기물에 대하여 약 26.3 억 원, 난처분성 해체폐기물에 대하여 약 296 억 원이 소요되는 것으로 평가되었다. 이와 더불어 폐기물의 관리 효율화를 위하여 특성평가 분야에 약 34 억 원, 분석인력을 비롯하여 인증 프로그램 운용부서 인력으로 5~7명이 필요할 것으로 파악되었다. 본 연구결과를 활용하여 방사성폐기물 관련 국가 정책을 지향할 수 있으며 국가 방사성폐기물 관리에 대한 국민 수용성을 제고할 수 있다. 또한 원자력안전 분야의 연구원 위상도 제고할 수 있을 것으로 판단된다.</p>				
주제명키워드 (10단어내외)	방사성폐기물, 난처분성 폐기물, 관리방안, 영구처분, 규제해제, 방사성폐기물 관리				

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET

Performing Org. Report No.	Sponsoring Org. Report No.	Standard Report No.	INIS Subject Code
KAERI/RR-3708/2014			
Title / Subtitle			
Study on development of mid & long term management strategy for low and intermediate radioactive waste of KAERI			
Project Manager and Department		D.S. Hong / Material PIE & Radwaste Division	
Researcher and Department			
I.S. Kang, T.K. Kim, J.S. Shon, W.H. Jang, Y.S. Joo(Material PIE&Radwaste Division) G.N. Kim, G.H. Jung, D.S. Hwang(Decontamination & Decommissioning Research Division) K.S. Song, H.J. Ahn(Nuclear Chemistry Research Division) Y.J. Lee(Radiation Safety&Protection Team) M.J. Kim(HANARO Management Division)			
Publication Place	Daejeon	Publisher	KAERI
			Publication Date
			2014
Page	146 p.	Ill. & Tab.	Yes(<input checked="" type="checkbox"/>), No (<input type="checkbox"/>)
			Size
			21×29 cm
Note			
Open	Open(<input checked="" type="checkbox"/>), Closed (<input type="checkbox"/>)		
Classified	Restricted(<input type="checkbox"/>), ___Class Document		Report Type
			Research Report
Sponsoring Org.		Contract No.	
Abstract (15-20 Lines)			
<p>At present, radwastes of KAERI are managed under various divisions according to their generation characteristics and final disposal of radwastes of KAERI will be begun from 2015. So, effective management plan for KAERI radwastes is needed. As a short term management plan, classification and management of radwaste according to new category for radwaste, wrapping up treatment of radwaste generated from Seoul research reactor decommissioning and operation of WCP and management division were suggested. And as a mid term management plan, setting up disposal priority considering management division and radioactivity concentration of radwaste and enlargement of deposit for final disposal, and setting up disposal system for Ki-Jang research reactor were suggested. Finally, as a long term management plan, minimization and effective management of radwaste generated from decommissioning of nuclear fuel cycle facilities and operation of disposal system for intermediate level radwaste were suggested. The results of this study will be applied for preparation of foundation of effective final disposal plan for radwaste at KAERI and meeting national policy for radwaste and increasing public acceptance for KAERI.</p>			
Subject Keywords (About 10 words)		Radioactive waste, Difficult-to-disposal waste, Management plan, Final disposal, Regulatory clearance, Radioactive waste management	