

오염토양의 핵종과 방사능
재평가 및 분류처리(I)

Classification and Reevaluation on Radionuclide
and Activity of Contaminated Soil(I)

KAERI

제 출 문

한국원자력연구소장 귀하

본 보고서를 2006년도 “오염토양의 핵종과 방사능 재평가 및 분류처리 (I)”에 관한 기술보고서로 제출합니다.

2006 년 3 월

과 제 명 : 방사성폐기물처리시설운영

주 저 자 : 책임연구원 강 일 식

공 저 자 : 손 종 식 김 길 정

김 태 국 홍 대 석

이 범 철 조 한 석

제 환 경 (한일원자력)

요 약 문

I. 제 목

오염토양의 핵종과 방사능 재평가 및 분류처리(I)

II. 목적 및 중요성

방사성폐기물저장고에는 1988년에 서울 공릉동 소재의 당시 원자력연구소 분소시설에서 발생된 시설해체폐기물 및 오염토양폐기물을 대전 본소에 수송하여 보관중이며 현재 이들 폐기물은 방사능이 상당히 감소($Co-60$: 초기 방사능의 1/8 수준)된 상태이다.

사용후핵연료처리시설에 대한 2004년도 정기검사 및 감사원 감사에서 저장고의 포화에 따른 저장공간 확보대책을 수립하도록 지적 받았다. 이에 따른 시정조치 일환으로서 방사성고체폐기물저장시설에 보관중인 오염 토양폐기물의 핵종 및 방사능을 재평가하여 규제해제 및 방사성폐기물로 재분류하고 규제해제폐기물은 별도 저장고에 보관하여 자체처분 함으로써 저장공간을 확보한다. 폐기물 드럼의 장기 보관에 따른 부식 여부를 확인하고 부식드럼을 재포장하여 드럼 부식에 의한 방사성물질의 유출을 방지하고 원자력관계법령 및 규정을 준수함으로써 주변환경의 오염을 방지하는데 목적이 있다.

III. 내용 및 범위

1. 오염토양 이송 및 분류

- 작업대상 폐기물 드럼 선정, 하역 및 운반, 작업장소내 임시저장
- 폐기물 분류, 시료채취 및 오염도 측정
- 분류장치의 유지관리 및 운전

2. 도장

- 기존 드럼 재활용 원칙, 제염
- 비오염 토양 재포장용 (규제해제폐기물 드럼)

3. 재포장

- 분류된 폐기물 수집
- 해당 드럼내 포장

4. 재적재

- 비오염, 오염토양 폐기물 드럼 구분
- 해당 저장고내 임시저장

5. 2차 폐기물 관리

- 작업기간중 발생된 작업복, 장갑 등 방사성폐기물 수집, 포장
- 저장고 적재

6. 기록관리

- 관련 제반 기록의 작성 및 관리
- 이력관리

7. 방사선안전관리

- 방사능 분석을 위한 시료채취, 표면오염도 및 방사선량률 측정
- 개인 피폭관리

IV. 결과 및 활용에 대한 건의

오염토양의 핵종과 방사능 재평가 및 분류처리를 통하여 향후 실시 예정인 오염토양의 제염 작업시 재분류에 의한 비오염 토양의 불필요한 제염 처리를 방지하여 제염비용 및 처분비용을 절감하고 또한 시료 채취, 핵종분석 등의 전처리공정 기술을 확보할 수 있었다.

SUMMARY

I. Subject

Classification and Reevaluation on Radionuclide and Activity of Contaminated Soil(I)

II. Objective and Importance

Radioactive wastes generated during the decommissioning process and contaminated soils were transported and have been stored at the waste storage facility. Those wastes were generated in 1988 from the Seoul branch. The radioactivity in the wastes has been decayed a lot. (Co-60 : about 1/8 of original radioactivity)

At the annual inspection of KINS and the special inspection of the Board of Audit and Inspection in 2004, establishment of countermeasure for securing the storage space was pointed out. So, as one of the countermeasures, the radionuclide and the activity concentration of stored soil wastes were reevaluated. And using the reevaluation results, the soil wastes were classified as either a regulatory clearance wastes or a radioactive waste. The storage space can be secured by storing regulatory clearance wastes in the extra storage facility and self disposing them.

Also, the objective is to protect the environment from contamination by observing the related nuclear regulation and managing the radioactive wastes.

III. Scope and Contents

1. Transfer and Classification of Contaminated Soils

- Selection of objective waste drums, Unloading and transfer and temporary storage at working space.

- Classification of waste, sampling and evaluation of contamination.

- Maintenance, management and operation of classifying equipment.
- 2. Coating
 - Under the principle of recycling of used drum, Decontamination.
 - Repacking of uncontaminated soil (Drum for the waste of regulatory clearance).
- 3. Repacking
 - Collection of classified wastes.
 - Packing at the corresponding drum.
- 4. Reloading
 - Separation of the uncontaminated soil wastes from the contaminated soil wastes.
 - Temporary storage at corresponding storage facility.
- 5. Management of by-produced wastes
 - Collection and packing of radioactive wastes such as working clothes, gloves and ect. which are generated during the working.
 - Loading at the storage facility.
- 6. Management of Record
 - Keeping and managing all the related records.
 - History management.
- 7. Radiation management
 - Sampling for the radioactivity analysis and measurement of surface contamination and radiation dose rate.
 - Management of individual exposure.

IV. Result & Proposal

Through the reevaluation of radioactivity and classification of contaminated soils, the unnecessary decontamination of uncontaminated soil was prevented. It allowed us to save the cost for decontamination and disposal, also we could secure the pretreatment process techniques such as how to sample and analyze the nuclide.

목 차

제 1 장 서 론	1
제 2 장 본 론	3
제 1 절 분류처리지침	3
1. 처리 방법	3
가. 오염토양 이송 및 분류	3
나. 시료채취 및 방사선(능) 측정	4
다. 압축감용	5
라. 재포장	5
마. 재적재	5
바. 2차 폐기물 관리	5
사. 품질보증 요건 준수	5
2. 작업 지침	6
가. 토양시료 채취 작업의 관리지침	6
나. 오염토양 시료채취를 위한 작업지침	6
3. 처리 지침	7
가. 작업개시 전 장비점검	7
나. 운반 및 분류	7
다. 시료채취 및 방사선(능) 측정	8
라. 재포장	9
마. 재적재	9
제 2 절 분류처리	10
1. 개요	10
가. 분류 목표 및 내용	10
나. 기대성과	11
2. 오염토양 이송 및 시료채취	12

가. 작업대상 드럼 적재위치	12
나. 하역 및 운반	12
다. 임시 저장	15
라. 분류 작업	16
마. 작업 도구	16
3. 시료채취 및 방사선(능) 측정	23
가. 방사능 농도 분석을 위한 대표시료 채취 및 분석	23
나. 재포장 드럼에 대한 표면오염도 측정	24
다. 재포장드럼에 대한 방사선량률 측정	25
4. 공드럼 관리	25
가. 분류 후 발생 공드럼	25
나. 압축 폐공드럼	26
5. 재포장 및 재적재	27
가. 드럼 분류후 재포장	27
나. 재적재	28
6. 2차 폐기물 관리	30
가. 방사성폐기물 발생량 최소화	30
나. 압축감용 처리	30
7. 방사선안전관리	31
가. 방사선 작업관리	31
나. 감시 형태	31
다. 작업자 피폭 평가	32
제 3 절 핵종 및 방사능농도 재평가	33
1. 시료채취	33
가. 처리대상 선정 및 표면선량률 측정	33
나. 드럼 내용물 확인	33
다. 토양의 표면선량률 측정	33
라. Grid 설정 및 시료채취	34
마. 재포장 마무리	34

2. 핵종 분석 및 방사선 측정기기	35
가. 핵종 분석	35
나. 측정기기	35
3. 핵종 및 방사능 농도 분석	37
가. 시료의 분류 및 분석	37
나. 시료분석 기록	37
다. 결과에 따른 분류	37
4. 핵종 및 방사능 재평가 결과	37
가. 핵종분석	37
나. 방사능	37
5. 토양폐기물 제염방법 실험	38
가. 내용 및 범위	39
나. 오염토양의 제염 방법	40
다. 제염폐액의 처리방법	40
라. 장치 개발	40
마. 실험결과	40
바. 결론	42
사. 기대 효과	42
제 3 장 결 론	43

표 목 차

표 1. 방사성폐기물 저장시설 저장용량	2
표 2. 폐기물 형태별 수량 및 특성	10
표 3. 토양폐기물 처리방법	11
표 4. 토양폐기물 내용물별 분류목표와 방법	12
표 5. 작업대상 드럼 적재위치	13
표 6. 폐기물 종류별 적재 구역	15
표 7. 드럼 취급장치 사양	22
표 8. 토양 시료채취후 드럼 생성 현황	23
표 9. 공드럼 재사용 현황	26
표 10. 재포장 현황	27
표 11. 재포장 드럼 적재현황	30
표 12. 방사능 측정기기 사양	36

그림 목 차

그림 1. 방사성고체폐기물 종류별 분포도	2
그림 2. 오염토양 내용물별 분포도	2
그림 3. 폐기물 분류, 시료채취 작업절차	4
그림 4. 방사선 콘크리트 차폐벽	9
그림 5. 저장고내 구역별 적재상태	13
그림 6. 드럼 이송전 구역별 적재위치	14
그림 7. 드럼 이송	14
그림 8. 드럼 이송후 구역별 적재위치	15
그림 9. 밀폐형 작업실	20
그림 10. 밀폐형 작업실 내부 트레이	20
그림 11. 환기 설비	21
그림 12. 드럼 카트	21
그림 13. 포크 리프트	21
그림 14. 드럼 리프트	21
그림 15. 시료채취 절차	22
그림 16. 직접법에 의한 표면오염도 측정	24
그림 17. 표면오염도 시료채취	25
그림 18. 방사선량률 측정	26
그림 19. 자갈 및 콘크리트 재분류	27
그림 20. 목재 파렛트	28
그림 21. 드럼 일련번호 기록 및 라벨 부착	29
그림 22. 시료채취 작업후 드럼 적재	29
그림 23. 토양 시료채취 절차	34
그림 24. 방사능 측정기	36
그림 25. 방사능 농도 분석결과	38
그림 26. 제염제에 따른 제염효과	42

제 1 장 서 론

방사성폐기물 저장시설에는 1988년에 서울사무소의 폐쇄 과정에서 발생한 토양폐기물이 200ℓ 드럼 기준으로 3,272개가 저장되어 있다. 토양 내에 함유되어 있는 주요 방사성핵종이 Co-60과 Cs-137이며 저장한 기간이 16년 가량 경과하였으므로 핵종들의 반감기를 고려할 때 발생초기보다 방사능 농도가 많이 낮아졌을 것으로 평가되고 있다.

방사성폐기물 저장시설의 저장용량 및 현재 저장되어 있는 중·저준위 방사성폐기물의 현황을 표 1에 나타내었다. 표 1에 나타낸 바와 같이 방사성폐기물 저장시설은 전체 저장용량 16,000 드럼 중 현재 12,000여 드럼을 보관하고 있다.

그림 1은 현재 저장중인 12,000여 드럼에 이르는 방사성 폐기물의 종류별 분포를 나타내고 있다. 그림에서와 같이 전체 폐기물의 약 27%를 방사성 오염토양이 차지하고 있으며, 가연성 폐기물이 39%, 비가연성 폐기물이 21%를 각각 차지하고 있다. 또한 폐 HEPA 필터 및 폐수지 등도 일부분을 차지하고 있는 것으로 분석되었다.

그림 2에서는 방사성 오염토양으로 분류된 폐기물의 실제 내용물 분포를 나타내고 있다. 방사성 폐기물의 내용물 분류에서는 토양을 비롯하여 콘크리트, 콘크리트와 토양의 혼합물, 토양과 콘크리트 분쇄물의 혼합물 등을 방사성 오염토양으로 분류하고 있다. 그림 2에서와 같이 방사성 오염토양에는 토양으로 이루어진 폐기물 드럼이 전체의 57.9%를 차지하고 있으며, 콘크리트 폐기물이 28.1%, 토양과 콘크리트 혼합물이 11.4% 및 기타 폐기물이 2.6%를 각각 차지하고 있다.

본 처리에서는 이들 토양폐기물 드럼에서 내용물을 확인하고 형태별로 분류하여 그 중에서 토양만으로 이루어진 폐기물에 대해서 시료를 채취하고 핵종과 방사능을 평가하였다.

표 1. 방사성폐기물 저장시설 저장용량

(단위 : 200ℓ 드럼)

저장용량	현재 저장량	여유 저장량
16,000	11,978	4,022

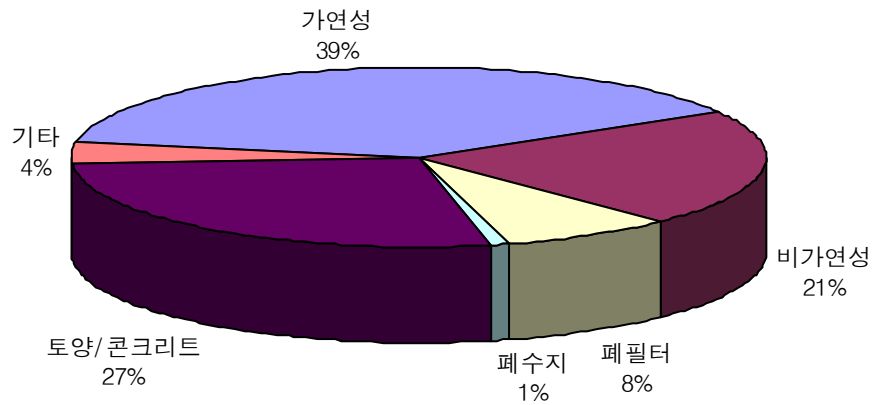


그림 1. 방사성고체폐기물 종류별 분포도

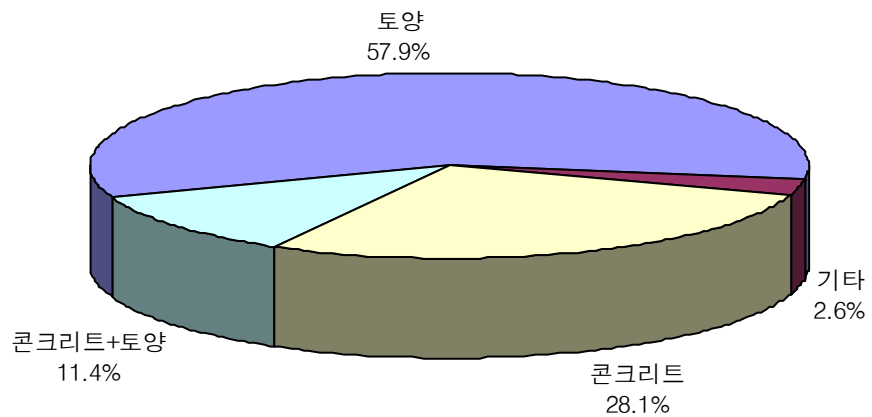


그림 2. 오염토양 내용물별 분포도

제 2 장 본 론

제 1 절 분류처리지침

1. 처리 방법

방사성폐기물 드럼의 내용물을 확인하여 드럼 표면에 부착되어 있는 방사성표지의 표기내용과 내용물을 확인한 후 재분류가 필요하다고 판단되는 것은 자갈과 콘크리트, 목재, 철재, 플라스틱 등으로 재분류하고 함수율이 높은 토양인 경우 전열장비를 이용하여 건조후 재분류한다.

토양폐기물은 시료채취대로 이동하여 표면선량률을 측정하여 0.3 $\mu\text{Sv/hr}$ 이하인 경우 시료 채취대에 쏟아 부어 균질하게 혼합하고 오염도를 측정하여 오염도가 높은 곳은 걷어낸 후 구역을 균등 분할하여 임의로 정한 30구역에서 시료를 채취하는 단순임의추출법(simple random sampling)을 이용한다. 드럼은 사용가능한 경우 재사용하여 시료 채취 후 토양을 재포장한다. 또한 표면오염도가 높거나 부식되고 훼손이 심하여 폐기해야 하는 폐공드럼은 압축하여 부피를 감용한 후 재포장한다. 폐기물 내용물의 분류, 시료채취, 오염도 측정 및 재적재에 관한 일련의 작업과정을 그림 3에 나타내었다.

가. 오염토양 이송 및 분류

(1) 작업대상 폐기물드럼을 확인, 선정하여 하역하고 지정된 작업장소에 임시저장하기 위하여 운반한다.

(2) 토양분류(silt clay 분류) 장치운전에 관한 절차서에 따라 운전 및 유지관리 업무를 수행한다.

(3) 사전에 작성된 관리기준에 따라 규제해제대상폐기물 또는 오염폐기물로 분류하여 임시저장한다.

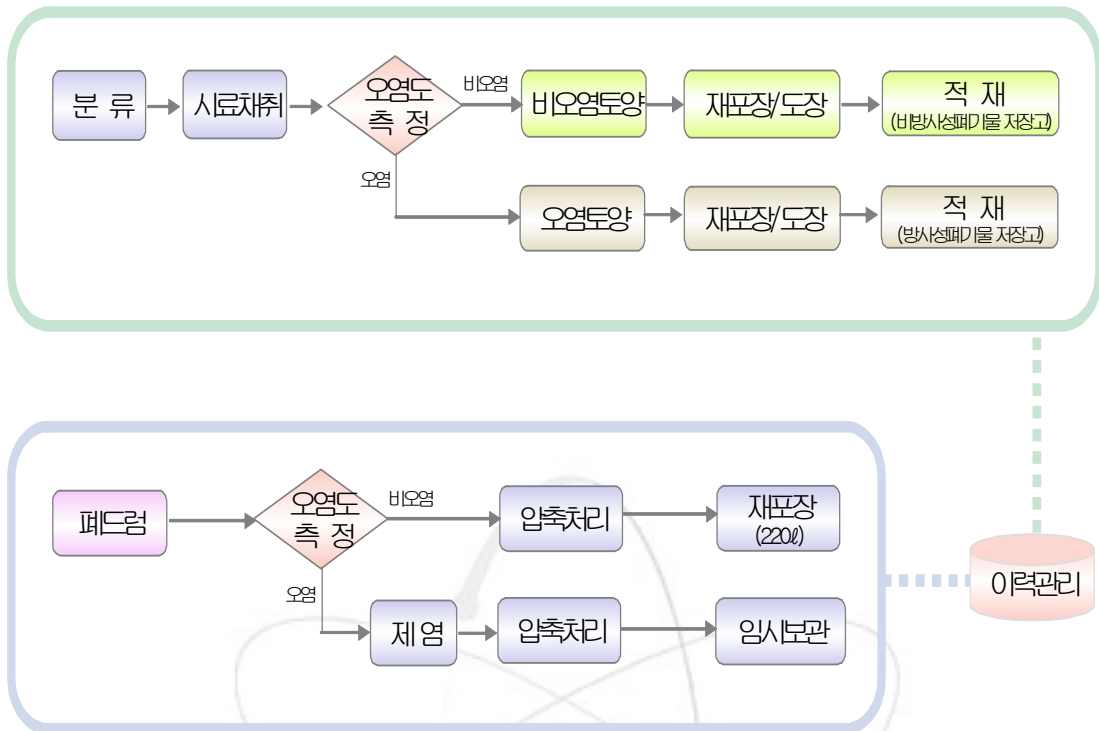


그림 3. 폐기물 분류, 시료채취 작업절차

- (4) 크레인, 지게차 및 차량 등의 하역 운반장비를 운전한다.
- (5) 작업안전과 신뢰성을 확보할 수 있는 방안을 강구한다.

나. 시료채취 및 방사선(능) 측정

- (1) 방사능 농도 분석을 위한 대표시료를 채취하고 분석의뢰한다.
- (2) 재포장드럼에 대한 표면오염도를 측정하여 재사용 여부를 판단한다.
 - (가) 직접법에 의한 표면오염도 측정
 - (나) 제거성 표면오염도 시료(smear paper 사용) 채취
- (3) 재포장드럼에 대한 방사선량률을 측정하여 기록한다.
 - (가) 표면방사선량률 측정
 - (나) 1m 이격 방사선량률 측정

다. 압축감용

- (1) 폐공드럼 및 부식드럼을 처리시설로 운반하여 압축감용 처리한다.
- (2) 압축 폐드럼을 재포장용 드럼(220ℓ)내에 포장하여 드럼생성 기록일지를 작성한다.
- (3) 저장고로 운반하여 적재한다.

라. 재포장

- (1) 분류된 폐기물을 내용물에 따라 해당 200ℓ 드럼에 수집한다.
- (2) 관련 절차서에 따라 드럼생성 및 이력을 관리한다.

마. 재적재

- (1) 비오염 또는 오염토양 폐기물 드럼으로 구분한다.
- (2) 하역운반장비를 이용하여 임시저장한다.
- (3) 드럼적재 위치를 기록관리한다.

바. 2차 폐기물 관리

- (1) 처리에 따른 2차 방사성폐기물의 발생량을 최소화한다.
- (2) 종류별로 분류하고 압축감용후 저장고에 적재한다.

사. 품질보증 요건 준수

- (1) 안전성 및 신뢰성을 확보한다.
- (2) 자체 품질관리 활동을 수행한다.

(3) 부적합 및 시정조치요구 사항의 발생시 조치기한을 준수하고 재발방지 대책을 수립하여 운영한다.

2. 작업 지침

가. 토양시료 채취 작업의 관리지침

토양시료의 채취에 있어서 작업의 안전성, 작업현장의 청결 유지, 방사능 오염확산 방지 등을 위하여 작업의 감독 필요성이 있으므로 이를 위한 관리지침을 개발하여 적용하였다. 관리지침의 내용을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 작업개시 전 확인사항 : 방사선관리구역 출입절차 준수여부 확인, 작업 장비, 도구 및 문서의 점검확인, 작업현장 점검, 작업범위 및 내용의 확인, 작업내용 지시
- (2) 작업 중 확인사항 : 작업 안전성 확인, 작업절차의 준수 확인, 기록 관리, 방사성 오염발생시 행동요령 숙지
- (3) 작업종료 후 확인사항 : 오염의 발생여부 확인, 작업 계획 대비 실제 수행된 작업의 비교검토, 작업 내용의 기록 확인, 소등 및 전원차단

나. 오염토양 시료채취를 위한 작업지침

현장에서 직접 작업을 수행하는 작업자들이 작업과정에서의 안전 및 작업효율성 등을 위하여 준수해야할 작업지침을 작성하였다. 작업지침의 내용을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 출입관리 : 출입관리 일반원칙, 방사선관리구역 출입절차
- (2) 작업개시 전 장비점검 : 작업 booth, 차폐벽 등의 설치 및 tray, grid, 시료채취기 등의 도구 준비, 선량계의 확인
- (3) 드립선정 및 표면선량률 측정

- (4) 드럼개봉 및 시료채취
- (5) 분류 및 적재
- (6) 작업 종료 시 장비 관리
- (7) 작업관련 서식

3. 처리 지침

가. 작업개시 전 장비점검

(1) 밀폐 booth 설치

제1방사성폐기물 저장시설내에 밀폐형 booth를 설치하고 외부로 환기계통을 연결하여 작업시 booth 내부의 공기를 지속적으로 정화하여야 한다.

(2) 콘크리트 차폐벽 설치

방사성폐기물 저장시설 내부의 공간방사능량이 높은 경우를 대비해 booth 주변에 그림 4와 같은 1,800x2,300mm, 두께 300mm의 콘크리트 차폐벽 4개를 “ㄱ”자 형태로 설치하여 주변의 영향을 최소화한다.

(3) 시료채취용 tray 비치

시료채취용 tray를 booth내에 비치하여야 하며 드럼의 인출 작업을 위한 drum lift와 fork lift를 booth내에 비치한다. Tray의 비치 시에는 오염 방지를 위하여 비닐 또는 천을 덮어 tray와 토양의 직접적인 접촉을 방지한다.

(4) Grid 및 토양시료 채취준비

시료채취용 tray내 토양을 100개의 구역(10x10)으로 균등 분할하는 grid, 토양시료 채취기, 드럼 내 이물질 수거 드럼 등을 비치한다.

나. 운반 및 분류

- (1) 방사성 오염토양 중 표면선량률이 0.3 $\mu\text{Sv/hr}$ 이하인 드럼으로 한다.

(2) 드럼을 들어 올릴 때에는 드럼의 건전성 및 다른 방사성폐기물 드럼의 적재 상태를 손상시켜서는 안 된다.

(3) 드럼의 운반은 10톤 크레인과 4개의 드럼을 한꺼번에 옮겨 담아 운반할 수 있는 바스켓을 이용하여 안전하게 하역 후 드럼카트를 사용하여 작업 booth로 운반한다.

다. 시료채취 및 방사선(능) 측정

(1) 드럼의 표면선량률 측정

드럼의 표면선량률을 재측정하기 위하여 드럼을 저장시설내 차폐체가 설치된 곳에서 감마선 측정기로 드럼의 상하 및 전후좌우 총 6곳을 측정하고 그 결과를 기록한다.

(2) 드럼개봉

작업 booth의 환기 시설을 가동시킨 뒤 외부 선량률을 측정한 드럼을 booth로 옮겨 뚜껑을 개봉하고 fork lift를 사용하여 시료채취용 tray에 쏟아 붓는다.

(3) 내용물 확인

내용물의 구성을 쉽게 알 수 있도록 tray에 토양을 고르게 펼쳐놓고 사진을 찍는다.

(4) 토양의 표면선량률 측정

토양의 표면선량률 측정을 위하여 지름이 10cm이상 되는 이물질은 제거하고 검출기 끝단을 얇은 비닐랩으로 씌운 알파/베타 카운터 및 감마카운터로 토양전체의 방사능을 측정한다. 만약 대략적인 평균치의 2배 이상 되는 부분이 있으면 그 부분의 토양은 채취하여 준비된 드럼에 수집하고 작업을 중지한 부분부터 재측정을 측정한다.

(5) Grid 설정 및 시료채취

토양을 전체적으로 균등하게 혼합하고 표면을 평평하게 만든 뒤 시료

채취 작업 수행을 위한 grid를 올려 놓는다.

Grid의 100개의 구역(10x10)에서 구역을 균등 분할한다. 임의로 정한 30구역에서 시료를 채취하는 단순임의추출법(simple random sampling)을 이용하여 5kg용 용기에 시료를 채취한다.

라. 재포장

시료채취를 마무리한 토양은 tray를 들어 올린 후 중앙에 위치한 구멍을 통하여 드럼에 다시 수집한다. 수집시에 tray에 깔려 있는 비닐과 천을 사용하여 흙먼지가 비산되어 작업실을 오염시키는 일이 발생하지 않도록 조심하여야 한다. 이 때 원래의 드럼이 부식 등의 이유로 손상되어 재사용이 어렵다고 판단될 경우는 새로운 드럼으로 교체하며 드럼번호는 기존번호를 그대로 사용한다.

마. 재적재

시료의 핵종 및 방사능농도의 재평가가 완료되면 기준에 따라 규제해제 대상은 규제해제 대상 폐기물 저장실에, 그 이외의 것은 방사성폐기물 적재 위치에 분류결과를 표기하여 적재하고 그 위치를 기록한다.

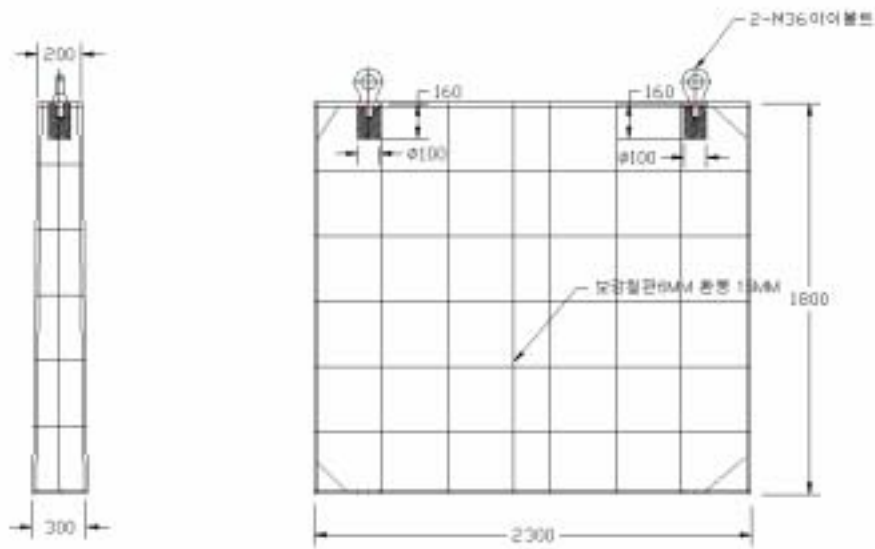


그림 4. 방사선 콘크리트 차폐벽

제 2 절 분류처리

1. 개요

한국원자력연구소의 방사성고체폐기물저장시설에 보관중인 토양폐기물에 대하여 핵종과 방사능을 재평가하여 규제해제 및 방사성폐기물로 재분류하고, 규제해제 대상 폐기물을 별도 보관함으로써 방사성폐기물저장시설의 저장공간을 확보하며, 저장중인 토양폐기물의 부식드럼을 재포장함으로써 방사성 물질의 유출을 방지하고 오염토양의 핵종과 방사능 재평가 및 분류처리 기술을 원자력관계법령과 규정을 준수하여 수행함으로써 방사성폐기물 관리 업무에 대한 대·내외 안전성 및 신뢰성을 확보하고, 잡고체 폐기물의 처리 전 시료채취 및 핵종분석 등의 전처리 공정에 대한 기술을 확보한다.

가. 분류 목표 및 내용

(1) 오염토양 이송, 분류 및 재포장, 재적재

분류 대상드럼은 표 2와 같이 200ℓ 드럼기준으로 총 3,272드럼 중에서 토양 1,895드럼, 콘크리트 920드럼, 토양과 콘크리트의 혼합물 372드럼과 기타폐기물 85드럼이다. 표 3은 폐기물의 처리방법을 나타내고 있다.

표 2. 폐기물 형태별 수량 및 특성

(단위 : 200ℓ 드럼)

형 태 별	수 량	주 요 핵 종	선량률(μSv/h)
토 양	1,895	Co-60, Cs-137	0.1 ~ 1.0
콘크리트	920	"	"
토양 혼합물	372	"	"
기 타	85	"	"
계	3,272		

표 3. 토양폐기물 처리방법

처리방법	수 량	비 고
분 류	3,272드럼	드럼표시 일치여부 판별, 드럼 상태확인
제 염	3,272드럼	드럼 외부상태 확인, 제염, 도장
시료채취	1,650드럼	토양드럼 방사선(능) 측정 및 핵종 분석시료 채취
압축감용	50드럼	폐공드럼, 부식드럼 압축감용처리
재 포 장	3,200드럼	분류 후 종류별(토양, 콘크리트, 자갈, 플라스틱, 철재, 목재 등) 포장
재 적 재	3,200드럼	종류별(토양, 콘크리트, 자갈, 플라스틱, 철재, 목재 등) 재적재

(2) 방사성폐기물의 이력관리를 수행하며 원자력 관계법령과 규정을 이행 준수한다.

- 발생시설 및 폐기일시, 적재위치, 폐기물의 종류 및 형태
- 드럼 일련번호, 오염핵종, 방사능량 및 표면오염도

(3) 부식드럼의 재포장 또는 도장공사로 방사성물질의 유출방지 및 폐기물 드럼의 건전성 저장상태를 유지한다.

(4) 분류방법

토양폐기물의 내용물별 분류목표와 방법은 표 4와 같다.

나. 기대성과

오염토양의 핵종과 방사능 재평가 및 분류처리를 통하여 방사성 오염토양의 처리 방향을 결정하고 저장중인 오염토양의 규제해제를 위한 기초자료를 마련하며 폐기물 저장시설의 저장용량을 확보하고 원자력시설의 폐쇄시 발생하는 토양폐기물의 처리 및 관리방안을 결정할 수 있다.

표 4. 토양폐기물 내용물별 분류목표와 방법

분 류	분 류 목 표	분 류 방 법
토 양	토양내 이물질제거 및 토양분류	콘크리트, 자갈, 플라스틱, 목재, 철재 및 토양으로 booth내에서 분류
콘크리트	내용물 확인 후 종류별 적재	드럼개봉 및 토양내 분류
자 갈	토양시료의 균질화	드럼개봉 및 토양내 분류
기타 폐기물	이물질의 종류별 구분	드럼개봉 및 토양내 분류
공 드 럼	토양 수량의 7% 예상	토양드럼의 완충

2. 오염토양 이송 및 시료채취

가. 작업대상 드럼 적재위치

제1방사성폐기물 저장시설에서의 작업 전 구역 및 종류별로 분류되어 있는 수량은 표 5와 같이 적재되어 있다. 이들 드럼을 크레인을 이용하여 안전하게 하역한 후 기체폐기물의 확산을 방지하기 위하여 밀폐된 공간에서 육안으로 확인하고 종류별로 구분하는 작업을 수행한다. 그림 5는 실제 구역별로 적재되어 있는 상태를 보여주고 있다.

나. 하역 및 운반

드럼의 하역은 시설내에 설치된 10톤 크레인을 사용하여 드럼하역용 바스켓에 1회에 4드럼씩을 수용하여 토양 1,895드럼, 콘크리트 920드럼 및 기타 457드럼 총 3,272드럼을 하역하였다. 하역된 드럼은 운반용 pallet truck과 fork lift 등으로 booth 내부로 이송하였다.

표 5. 작업대상 드럼 적재위치

구 분	종 류	수 량	비 고
구역별 수량	비가연 A구역	2,795드럼	
	비가연 O구역	283드럼	
	비가연 P구역	194드럼	
종류별 수량	토 양	1,895드럼	
	콘크리트	920드럼	
	혼 재	457드럼	

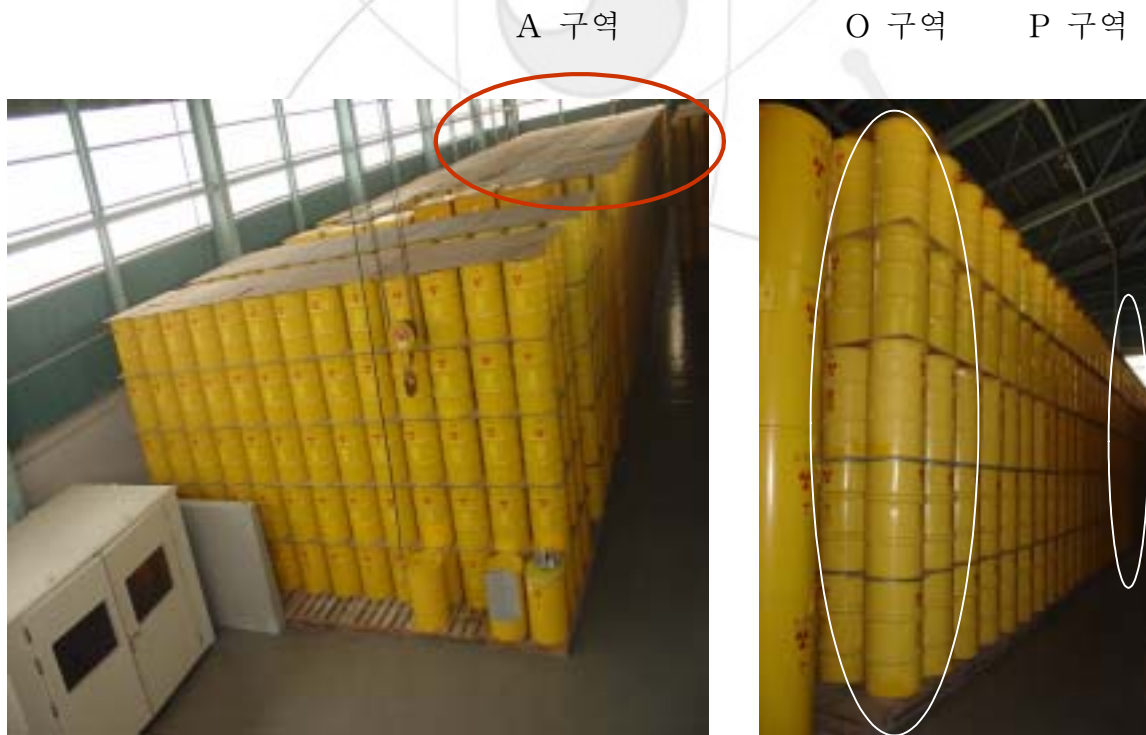


그림 5. 저장고내 구역별 적재상태

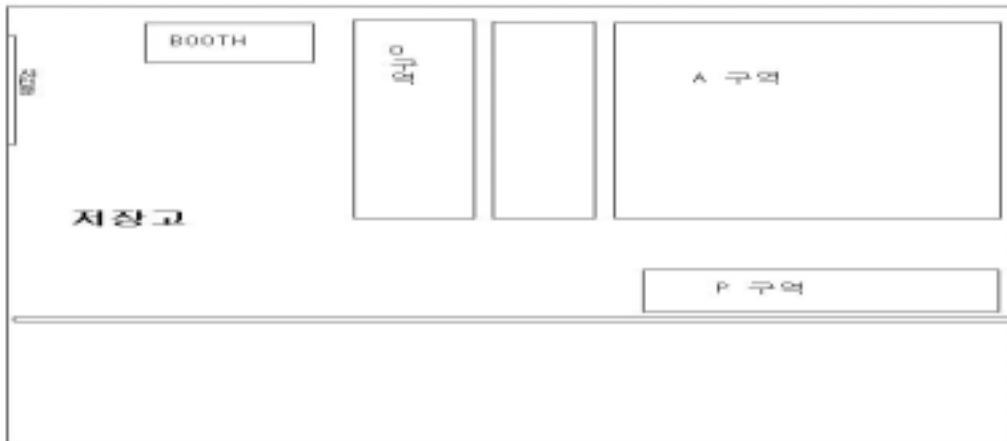


그림 6. 드럼 이송전 구역별 적재위치



드럼 상태 확인



드럼하역용 바스켓

그림 7. 드럼 이송

다. 임시 저장

분류된 드럼들을 향후 작업시 쉽게 확인하기 위하여 종류별로 분류하고 각 드럼의 무게 및 방사선량을 측정하였다. 드럼 표면의 먼지나 이물질을 제거하고 부식이 미미한 것은 페인트로 도장하여 부식의 진행을 방지하였다. 드럼을 종류별로 모아서 표 6과 같이 적재하고 각 적재위치를 기록지에 기록관리 하였다. 그림 8은 드럼 이송후 구역별 적재위치를 나타내고 있다.

표 6. 폐기물 종류별 적재구역

구 분	드럼수량	비 고
임시저장시설	703드럼	토 양
X 구역	260드럼	토 양
P 구역	1,017드럼	토양 932드럼, 기타 85드럼
A 구역	1,292드럼	콘크리트
합 계	3,272드럼	

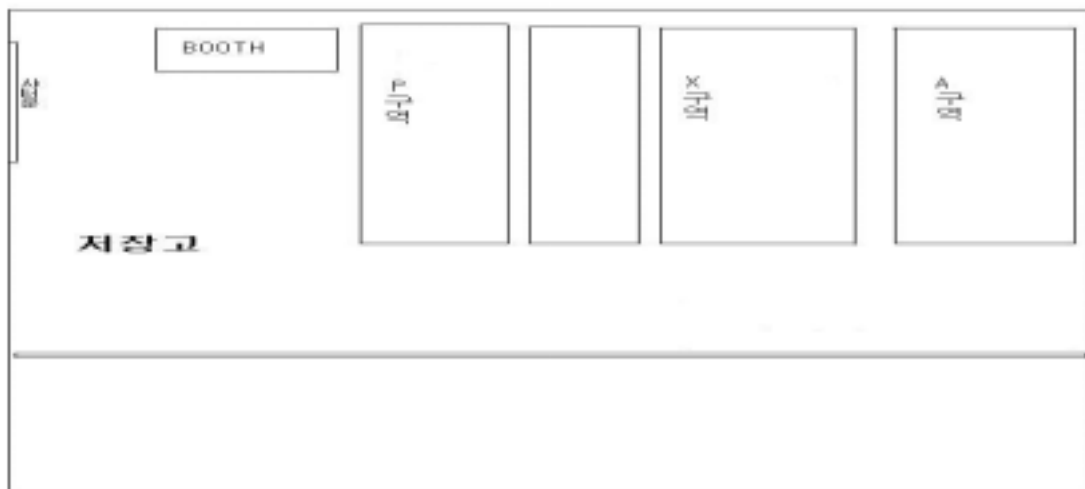


그림 8. 드럼 이송후 구역별 적재위치

라. 분류 작업

분류작업은 밀폐형 booth 내부에서 작업을 한다. 작업자는 방사선 방호를 위해 방호복, 마스크, 면장갑, 비닐장갑 등의 방호장구를 착용후 booth를 밀폐시켜 외부와 차단하고 환기장치를 가동시킨 후 드럼 lift를 사용하여 드럼 내용물을 시료대에 1드럼 분량으로 부어 균질하게 섞고 토양을 제외한 콘크리트, 자갈, 플라스틱, 유리, 목재, 재 등으로 분류한다. 분류시 booth내에 토양이 분산되지 않게 주의하며 재포장한다. 이물질 제거 후 간접법으로 토양의 오염도를 측정하여 만약 대략적인 평균치의 2배 이상 되는 부분이 있으면 그 부분의 토양은 채취하여 준비된 드럼에 수집하고 작업을 중지한 부분부터 재측정을 측정한다.

Grid의 100개의 구역(10x10)에서 구역을 균등 분할한다. 임의로 정한 30구역에서 시료를 채취하는 단순임의추출법(simple random sampling)을 이용하여 5kg용 시료통에 오염되지 않게 주의 하여 시료를 채취한다.

마. 작업 도구

토양의 핵종 및 방사능농도 재평가를 위해서는 드럼의 이동, 개봉, 토양의 펼침, 시료채취, 드럼 재포장 등의 작업이 필요하며, 일부 작업은 오염의 확산을 방지하기 위하여 격리된 공간에서 수행되어야 한다. 이를 위하여 설계 및 제작된 도구들은 다음과 같다.

(1) 밀폐형 작업실

방사성폐기물 저장시설에서는 폐기물 드럼의 개봉 및 시료채취가 불가하다. 그러나 시료채취 대상이 많아 모두 별도의 장소로 이동하여 시료채취 후 다시 옮겨와 적재하기에는 많은 비용과 시간이 필요하므로, 별도의 밀폐형 작업실을 방사성폐기물 저장시설에 제작 및 설치하여 작업의 효율성을 도모하였다.

밀폐형 작업실 내에서는 토양 드럼의 개봉, 내용물의 쏟아 붓기, 내용물

균질화 및 균일화, 시료채취, 재포장 등의 작업을 수행하게 된다. 따라서 좁은 공간에 작업자들이 많은 시간동안 있게 되며 오염된 토양으로부터 발생된 흙먼지가 비산된다.

밀폐형 작업실은 활용도를 높이기 위하여 덮개 부분과 본체 부분을 나누어 제작하였다. 덮개의 설계시 고려한 점은 개폐의 용이성 및 이동시 고정성 등이 있으며 본체 설계시 고려한 점은 하중을 견딜 수 있는 구조, 작업의 효율성, 방사성 오염의 차단, 작업자의 안전성, 환기 시스템 등이 있다. 본체의 밑면의 넓이는 3500mm×2500mm이며 높이는 2500mm로 SUS재질로 제작되었다. 전동공구 사용의 용이성을 위하여 전선구를 설치하였으며 작업의 효율성 향상을 위하여 벽면에 접이식 선반을 부착하였다. 환기시스템이 부착된 밀폐형 작업실은 그림 9와 같다.

분류작업에 사용된 S/S 밀폐형 booth의 사양은 다음과 같다.

(가) 작업 booth 덮개

- 크레인 작업 중 낙하물에 의한 booth 파손을 막기 위해 지지대 사용
- 크레인 고리의 설치로 덮개의 개폐시 용이하도록 함
- 작업 booth에 얹어 놓는 것이 아닌 덮개로 하여 덮인 채로 이동해도 떨어지지 않도록 함
- 가운데를 중심으로 둘로 나누어서 절반만 열릴 수 있도록 함

(나) 작업 booth : 내부 및 바닥 SUS 재질사용

- 구조 건전성 향상을 위하여 각 벽면에 frame 사용
- 내부 조명 필요 없도록 벽면은 투명재질(plex)의 사용
- 하중을 견딜 수 있도록 바닥은 S/S 재질 사용
- 작업의 효율성을 추구 하도록 접이식 선반 부착
- 크레인 고리의 설치로 이동이 용이하도록 함
- 환기 시스템과의 연결관 설치
- 전동공구 사용의 용이함을 위하여 전선구 설치

- 작업자 출입문은 좌, 우 열림
- 작업 booth의 하중으로 인한 시설바닥의 손상 방지를 위하여 받침대에 조절좌 부착
- Air, water Q- connect 설치(15A)
- Booth 하단에 배수관 설치(15A)
- Air 유입필터 설치, inlet filter case 부착(내벽 세척시 필터 보호 목적)
- 내부 및 외부 콘센트 2구 설치(외부 인입 콘센트)
- 필터 카바 설치

(다) 규 격 : 3500×2500×H2500

(라) 재 질 : Booth 외벽은 steel, 내벽은 SUS

(마) 바닥보강 : 50×4T A/G. 벽면은 이중구조이며, 지붕은 개폐가 가능하도록 제작한다.

(바) 밀폐방법 : 외벽은 용접, 내벽은 리벳 및 실링

(사) 도장종류 : 고려페인트 EX-8816-HF-BE-024. 분체도장(아이보리색)

(아) 단열 및 보온 50T

(2) 시료채취도구

밀폐형 작업실 및 환기시스템 이외에 시료채취 작업에 사용되는 도구로 드럼 내의 토양을 쏟아 부을 때 사용되는 tray를 제작하였다. Tray는 시료채취가 끝난 토양을 다시 드럼에 담기 용이하도록 중앙에 구멍을 뚫어 제작하였다. 또한 tray에 펼쳐진 토양을 100개의 구역으로 균등분할하기 용이하도록 10×10의 grid를 만들었다. Grid는 그림 10과 같이 tray에 펼쳐진 토양의 바로 위에 얹어질 수 있도록 제작되었다.

(3) 밀폐형 작업실용 환기 시스템

밀폐형 작업실에서는 작업이 밀폐된 공간에서 수행되므로 흡입에 의한 작업자 내부피폭 가능성이 높아지게 된다. 따라서 작업자들은 마스크 등의 방호용구를 착용하고 작업하게 되며 작업실 내의 공기는 환기 시스템을 통해 외부 공기를 지속적으로 유입하여 순환시키고 필터링 시스템을 거쳐 외

부로 배출된다.

작업실의 환기를 위하여 그림 11과 같은 860mm×610mm×610mm 규모의 환기 시스템을 제작하였다. 고압송풍기 및 차압계를 장착하여 작업실 내부 전체 공기를 순환시킬 수 있도록 하였으며 전단 필터 및 후단 HEPA 필터를 설치하여 작업실에서 발생한 흙먼지가 외부로 방출되지 않고 여과되어 오염이 확산되지 않도록 설계하여 제작하였다.

전체 시스템의 이동성을 위하여 환기시스템을 탈착 가능하도록 제작하여, 작업시에는 밀폐형 작업실에 부착하여 작업시간 동안 지속적으로 운전하게 되며 이동시에는 밀폐형 작업실과 분리해서 운반하게 된다.

SUS 밀폐형 booth의 환기설비의 제작 사양은 다음과 같다.

(가) 규 격 : 860×610×H610

(나) 재 질 : Steel

(다) Fan : 동건 고압송풍기(DB-270)

- 최대풍량 : 20m³/min

- 최대정압 : 170mmAq

- 소비전력 : 4KW

- 필터 등 부하를 고려하여 설계치를 증가

(라) Filter

- HEPA Filter : 610×610×150T

(0.3마이크론 dust, 99.7%제거 가능하게 완전 밀폐구조)

- Pre. Filter : 610×610×20T

(마) 차압계 : 제조원 DWYER INSTRUMENTS, INC. U.S.A.

(바) 모델NO : 2000-100MM

(4) 드럼 취급장비

이 외에도 드럼의 운반, 뒤집기 등의 취급이 용이하도록 제작된 drum cart, fork lift와 drum lift도 시료채취과정에서 제작되어 사용되었다. 그림 12 내지 14에 기타 기구를, 표 7은 드럼 취급장비의 사양을 나타내었다.



그림 9. 밀폐형 작업실

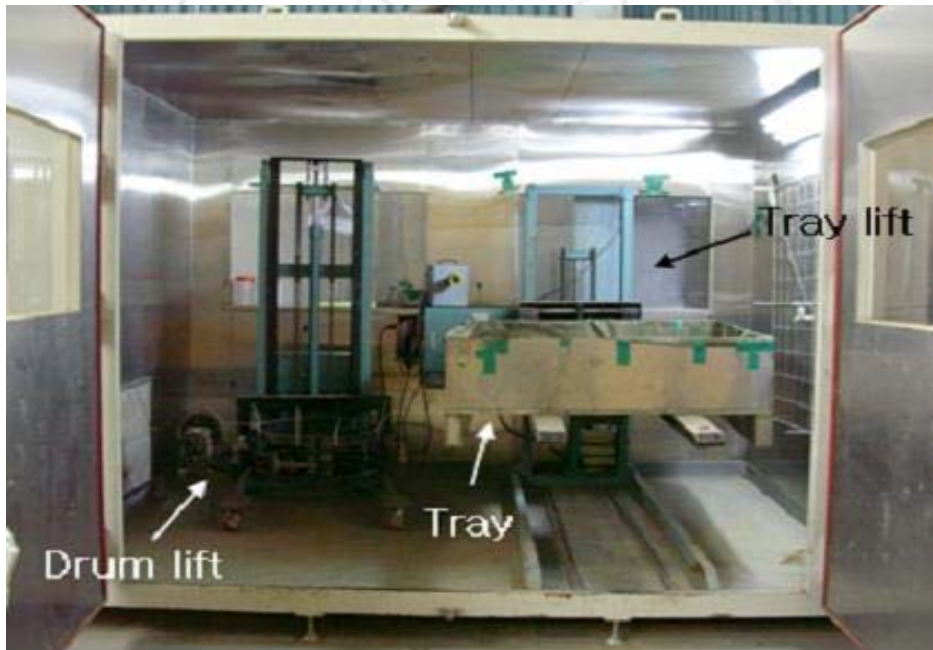


그림 10. 밀폐형 작업실 내부 트레이



그림 11. 환기 설비



그림 12. 드럼 카트



그림 13. 포크 리프트



그림 14. 드럼 리프트

표 7. 드럼 취급장비 사양

제 품 명	Fork Lift	Drum Lift
Model	SFH-500	SDL-300
Capacity	500Kg	300Kg
Lift Height	45 ~ 1,500mm	0 ~ 1,500mm
Overall Length	1,230mm	2,150mm
Overall Width	860mm	1,080mm
Overall Height	2,065mm	1,980mm
Front Wheel	Ø250	Ø80
Overall Width	Ø150	Ø150
Rotation Angle	-	0 ~ 360°



그림 15. 시료채취 절차

3. 시료채취 및 방사선(능) 측정

가. 방사능 농도 분석을 위한 대표시료 채취 및 분석

기존 토양드럼을 그림 15와 같은 절차에 따라 분류대에서 직접법에 의한 표면오염검사를 실시하여 오염부위의 토양을 별도 분류한 후 균질하게 혼합하여 시료를 채취한다. 또한 분류대에서 토양 이외의 콘크리트, 철재, 목재 등의 혼재물질을 종류별로 분류 수집하여 별도의 드럼에 수용한다.

토양폐기물 3,272개에서 콘크리트 혼합물과 잡고체를 제외한 토양 1,895드럼의 시료를 채취하였다. 시료채취를 위해서 grid의 100개의 구역(10x10)에서 구역을 균등 분할한다. 임의로 정한 30구역에서 시료를 채취하는 단순임의추출법(simple random sampling)을 이용하여 5kg용 용기에 담는다.

표 8과 같이 미완충 드럼에 대해서는 충분히 완충하여 1,570드럼으로 줄여 325드럼의 공드럼을 생성하였다.

표 8. 토양 시료채취후 드럼 생성 현황

구 분	분류 드럼수	분류후 작업 내용	드럼수량	
토 양	1,895	시료채취 및 재포장	1,570	
콘크리트	1,292	콘크리트 드럼생성	94	
자 갈	20	자갈 드럼생성	83	
기 타	철 재	13	공드럼(2차폐기물 수집)	148
	플라스틱	9	계	1,895
	목 재	5		
	기 타 비가연	38		
합 계	3,272			

나. 재포장 드럼에 대한 표면오염도 측정

(1) 직접법에 의한 표면오염도 측정

드럼을 재포장후 해당 구역에 적재하기 전에 작업과정에서 비산된 먼지나 이물질을 제염지를 통해 드럼표면을 깨끗이 닦아낸 후 드럼 표면을 그림 16과 같이 표면오염기(LUDIUM 형식 : Model-3/44-9 기기번호 : 92687/PR168193)으로 측정하였다. 측정시 프로브와 표면의 거리는 2내지 5cm가 되도록 하며 프로브의 이동거리는 15cm/s이하로 한다.

(2) 제거성 표면오염도 시료(Smear Paper 사용) 채취

직접법으로 측정한 드럼중 오염도가 있다고 판단되는 드럼은 그림 17과 같이 smear법으로 오염도를 측정하여 오염도가 나오는 드럼은 제염을 실시하였다. 스메어의 면적은 100cm²로 하여 중간 압력으로 일정하게 누르며 원형 종이필터를 사용하였다.



그림 16. 직접법에 의한 표면오염도 측정



그림 17. 표면오염도 시료채취

다. 재포장드럼에 대한 방사선량률 측정

- 표면 방사선량률 측정
- 1m 이격 방사선량률 측정

드럼 표면과 1m 거리에서의 선량률을 그림 18과 같이 측정하여 기록지에 측정값을 기록하고 고선량의 경우 재시료 채취를 위해 폐기물처리실로 이송하여 토양 제염작업을 실행한 후 시료를 다시 채취한다.

4. 공드럼 관리

가. 분류 후 발생 공드럼

발생 당시의 미완충 드럼에 대해서는 충분히 완충하여 1,570드럼으로 줄여 325드럼의 공드럼을 생성하였고, 표 9와 같이 토양드럼내 이물질을 분류하여 포장하는데 콘크리트는 94드럼, 자갈은 83드럼과 분류와 시료채취과정



그림 18. 방사선량률 측정

에서 발생된 비닐슈트, 제염에 사용된 제염지 및 오염피복과 장갑 등의 2차 생성폐기물을 포장하는데 148드럼을 사용하였다.

표 9. 공드럼 재사용 현황

구 분	드럼수량	비 고
발 생	325 드럼	분 류 후
콘크리트 재포장	94 드럼	사 용
자 갈 재포장	83 드럼	사 용
2차폐기물 포장	148 드럼	사 용

나. 압축 폐공드럼

토양폐기물 드럼은 2000년에 도장작업을 완료한 바 있어 드럼은 대체로 양호하였다. 특별히 압축폐기할 드럼이 발생하지 않아 향후 작업이 더 진행 되면 다음에 나올 폐드럼과 함께 모아서 압축하기로 하였다.

5. 재포장 및 재적재

드럼은 재사용을 원칙으로 하여 재포장하고 찌그러짐이 많은 것이나 부식상태가 심한 경우에 폐드럼으로 분류하여 압축하기로 하였다.

가. 드럼 분류후 재포장

내용물별로 분류하여 재포장된 드럼은 표 10과 같이 토양 1,570드럼, 콘크리트 94드럼, 그림 19와 같이 자갈을 포함하여 83드럼, 기타 2차폐기물 수집으로 148드럼이다.

표 10. 재포장 현황

구 분	드럼수량	비 고
토 양	1,570 드럼	
콘크리트	94 드럼	별도 분리
자 갈	83 드럼	별도 분리
2차 폐기물	148 드럼	작업복, 장갑
총 재포장	1,895 드럼	



그림 19. 자갈 및 콘크리트 재분류

나. 재적재

종류별로 분류 포장된 드럼들은 적재구역에 종류별로 구역화하여 향후 작업시 쉽게 작업하도록 분류하여 적재하였고 적재전 파렛트의 파손상태가 심하여 그대로 사용시 드럼의 붕괴현상을 우려하여 그림 20과 같이 파렛트를 교체 하였다. 적재시 드럼의 번호와 무게 및 선량, 적재위치를 기록하여 관리하고 드럼에는 그림 21과 같이 일련번호와 라벨(선량 및 종류를 표기)을 부착하였다.

(1) 적재 전 파손 파렛트 교체

- 파렛트 교체 전 파손 파렛트 제거
- 파손 파렛트 방사선량을 측정 및 스메어
- 바닥 제염 및 건조, 새 파렛트 교체

교체된 목재 파렛트는 편면양방향으로 소재는 남양재 강질목이다.

- 규격 : 1,200x1,200x150 mm
- 상판 : 1,200x150x30 mm, 6개
- 하판 : 1,200x150x30 mm, 3개
- 받침목, 중판 : 1,200x90x90 mm, 4개
- 에나멜 페인트 3회 도색 : 부식방지



교체전



교체후

그림 20. 목재 파렛트



그림 21. 드럼 일련번호 기록 및 라벨 부착

(2) 드럼 적재

재포장 드럼을 적재하기 전에 제염을 실시하고 드럼의 무게와 방사선량을 측정한다. 적재 후 수집대장에 적재위치를 기록한다. 그림 22는 시료 채취 작업후 적재상태를, 표 11은 재포장 드럼 적재현황을 나타내고 있다.



그림 22. 시료채취 작업후 드럼 적재

표 11. 재포장 드럼 적재현황

구 분	드럼수량	비 고
토 양	1,570 드럼	시료채취 후
콘크리트	1,292 드럼	내용물 확인
재생성 콘크리트	94 드럼	토사 분류시
자 갈	103 드럼	토사 분류시
기 타	213 드럼	내용물 확인
총 드 럼	3,272 드럼	

6. 2차 폐기물 관리

가. 방사성폐기물 발생량 최소화

분류와 시료채취과정에서 발생된 비닐슈트, 제염에 사용된 제염지 및 오염피복과 장갑 등의 2차 생성폐기물의 발생량을 최소화한다.

- (1) 사용 공기구의 오염방지 조치
- (2) 오염확산 방지 및 오염관리 기준 준수
- (3) 허용기준 범위 내의 작업용품 재활용
- (4) 기반입 자재 활용
- (5) 불필요한 공기구 및 자재금지 등의 조치 강구

나. 압축감용 처리

작업과정에서 발생된 2차 방사성폐기물은 종류별로 구분하여 수집한다. 압축성 폐기물은 방사성처리시설의 60톤 용량의 압축기를 이용하여 압축처리하여 부피를 감용한다.

7. 방사선안전관리

가. 방사선 작업관리

작업시간을 조정하여 무리한 작업을 하지 않도록 하며 방사선 작업조건을 확인한다. 방사선 안전표지판을 설치하여 비인가자의 출입을 방지한다. 또한 작업과정에서 발생된 폐기물을 수집하기 위하여 일반폐기물 및 가연성, 비가연성의 방사성폐기물 수집통을 비치한다.

(1) 작업자 방호장구 및 안전장구 지급

- 필터 교환식 안면 마스크를 착용한다.
- 안전모를 착용한다.
- 안전화를 착용한다.
- 방호복을 착용하고 작업후 가연성폐기물 수집통에 넣는다.
- Film badge를 착용한다.
- 직독식 개인선량계(pocket dosimeter)를 착용한다.

(2) 작업지역 오염확산 방지

- 작업지역의 바닥에 비닐을 깔고 오염도를 측정한다.
- 재포장전 드럼 내용물의 표면선량률 및 오염도를 측정한다.

(3) 작업자 방사선 안전관리

- 개인별로 film badge를 발급하고 작업전 개인선량계의 착용을 확인한다.
- 출입대장에 작업자의 출입시간 및 피폭량 등을 기록한다.
- 작업후 개인별로 오염 여부를 확인한다.

나. 감시 형태

(1) 일상 감시(route monitoring)

일상 감시는 다음과 같은 상태에서 이루어지는 감시 형태이다.

- 정상적인 작업을 수행할 때의 관리를 목적으로 한다.

- 주변 환경의 변화가 없음을 확신한다.
- 만족스러운 작업 환경을 확신한다.

(2) 작업 감시(operational monitoring)

작업 감시는 다음과 같은 상태에서 이루어지는 감시 형태이다.

- 비일상적인 작업을 수행할 때의 오염 확산을 관리함을 목적으로 한다.

- 작업 행위에 대한 즉각적인 결정을 보조한다.
- 단기적인 절차에 적용한다(장기적 연속 절차에는 부적합).

(3) 특수 감시(special monitoring)

특수 감시는 다음과 같은 상태에서 이루어지는 감시 형태이다.

- 오염 참고 준위를 유도한다.
- 비정상(사고)시 수반되는 작업과 관련한다.
- 특정한 문제를 해명한다.

(4) 피부오염 감시

피부오염 감시는 다음과 같은 상태에서 이루어지는 감시 형태이다.

- 피부오염은 일률적으로 발생하지 않고 특정 부위(특히 손 부위)에 발생한다.

- 손 오염에 대한 선량평가는 부정확하다.
- 평가선량이 선량한도의 1/10을 초과하면 개인 기록이 필요하다.

다. 작업자 피폭 평가

본 분류처리의 작업자는 수시출입자로서 연간 허용피폭 선량한도는 12mSv이나 본 작업을 수행하는 동안 최대 피폭자의 선량은 3.94mSv로 허용 한도 미만이었다. 또한 작업자에 대한 whole body 측정 결과 내부피폭은 전혀 없었다.

제 3 절 핵종 및 방사능농도 재평가

1. 시료채취

토양의 핵종 및 방사능 농도 재평가를 위하여 개발한 작업절차를 그림 23에 나타내었다. 본 시료채취의 대상은 1988년도 발생당시의 표면선량률이 0.3 $\mu\text{Sv/hr}$ 이하인 드럼 중에서 내용물이 토양으로 표기된 것들로 제한된다.

가. 처리대상 선정 및 표면선량률 측정

처리 대상으로 선정된 드럼은 크레인으로 이송하여 내용물의 확인을 수행하게 된다. 내용물 확인이 끝난 드럼은 감마선 측정기로 드럼의 상하 및 전후, 좌우 총 6곳의 표면선량률을 측정하게 되며 그 중 최대값을 기록한다.

나. 드럼 내용물 확인

표면선량률을 기록한 후, 기체폐기물의 확산을 방지하기 위하여 고성능 공기여과기가 장착된 처리 booth의 환기계통을 가동시키고 드럼을 booth로 옮긴다. Fork Lift와 drum lift를 사용하여 드럼내의 내용물을 시료채취용 tray에 쏟아 붓고 내용물의 구성을 쉽게 알 수 있도록 고르게 펼쳐 놓는다. 토양을 제외한 콘크리트와 가연 및 기타 잡고체 폐기물은 분류하여 미리 준비해 둔 해당 드럼에 수집한다.

다. 토양의 표면선량률 측정

고르게 펼쳐놓은 토양에서 지름이 10cm이상 되는 이물질을 제거하여 시료의 균질성을 갖도록 하며, 국부적으로 오염된 토양의 제거를 위하여 검출기 끝단을 얇은 비닐 랩으로 씌운 알파/베타 카운터 및 감마카운터로 토양전체의 방사능을 측정한다. 만약 대략적인 평균치의 2배 이상 되는 부분이 있으면 그 부분의 토양은 채취하여 준비된 드럼에 수집하고 작업을 중지한 부분부터 재측정을 수행한다.

라. Grid 설정 및 시료채취

토양을 전체적으로 균일하게 혼합하고 표면을 평평하게 만든 뒤 tray 위에 미리 제작된 가로, 세로 1m 크기의 10×10 grid를 얹어 전체 토양을 100개의 구역으로 균등 분할한다. 각 grid에 일련번호를 1에서 100까지 부여한 후 균등분포(uniform distribution)를 이용하여 30개의 난수(random number)를 생성하여 해당 번호의 grid에서 토양을 채취하여 2ℓ 용량의 시료채취용 용기에 담는다. 시료채취용 용기에 시료번호, 작업 드럼번호, 작업자 및 작업일자 등을 기록하고 분석을 위하여 방사성폐기물처리시설로 내려 보낸다.

마. 재포장 마무리

시료채취가 끝난 토양은 드럼에 다시 수집한다. 이 때 원래의 드럼이 부식 또는 심하게 훼손되어 재사용이 어려울 경우, 드럼을 교체하며 드럼 번호는 기존의 번호를 유지한다.

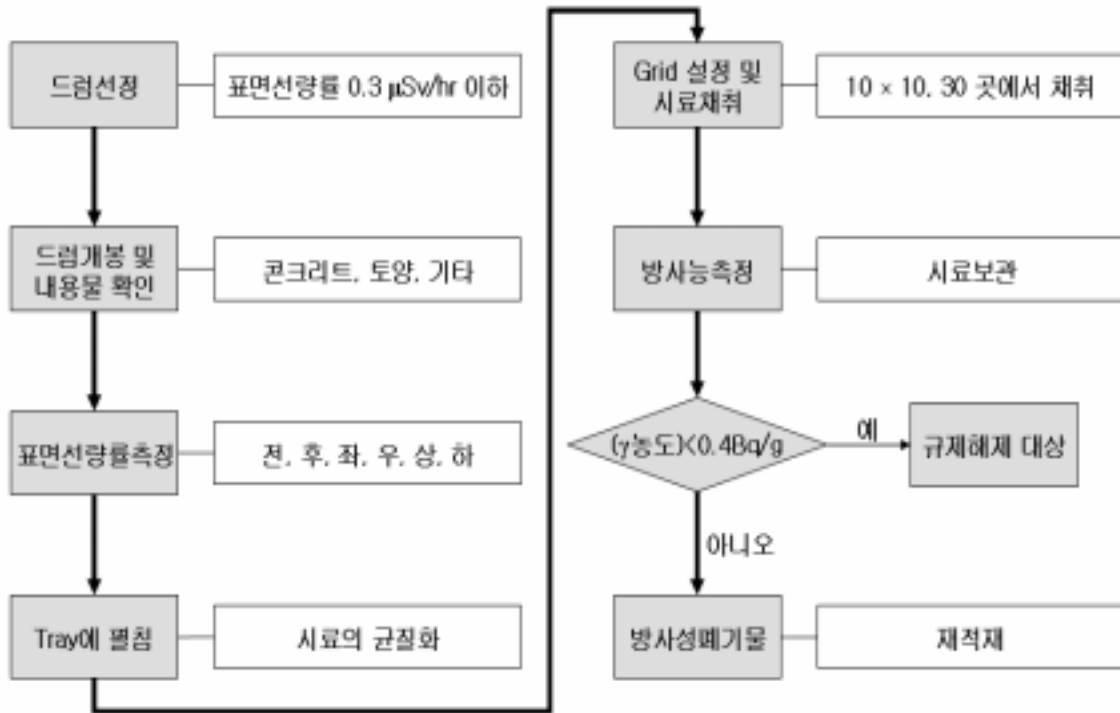


그림 23. 토양 시료채취 절차

2. 핵종 분석 및 방사선 측정기기

가. 핵종 분석

토양의 규제해제를 위해서는 토양 내에 존재하고 있는 방사성 핵종의 분포 및 방사능 농도를 분석해야 한다. 방사성 오염 토양 내 존재하고 있는 주요 핵종으로 Co-60과 Cs-137이 있는 것으로 알려져 있기 때문에, 이의 측정을 위한 측정기구로 γ -spectrometer가 사용되었다. 토양 및 콘크리트의 규제해제를 위한 핵종 분석 후, 방사선 계측기기는 액체 및 고체 방사성폐기물의 처리를 위한 방사선적 특성분석 분야에 사용되게 된다.

나. 측정기기

γ -spectrometer는 ORTEC 제품의 HPGe detector로 사양은 표 12와, 설치 후의 모습은 그림 24와 같다.

(1) 기기구성

(Part - A)

- Gamma-Ray Spectroscopy System
- Gamma-X HPGe Coaxial Detector
- X-COOLER II with Pop Top Connector
- Digital Gamma-Ray Spectrometer
- Gamma Vision-32 Gamma-ray HPGe Spectral Analysis

(Part - B)

- LEAD SHIELD
- Lead Shield for Vertical Configuration

(Part - C)

- Data Processing System

(2) Detector 특징

'05년도에 구입하여 설치한 HPGe는 상대효율이 30%인 것으로 3 keV~

10MeV의 에너지영역을 계측할 수 있어 방사성폐기물처리시설에서 발생할 수 있는 다양한 핵종의 계측에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

표 12. 방사능 측정기기 사양

항 목	특 징
Material	N-Type HPGe
Useful Energy Range	3 keV ~ 10 MeV
Relative Efficiency	30%
Resolution	715eV@5.9keV, 1.90keV@1.33Mev
Peak to Compton ratio	52:1
Peak Shape	FW.1M/FWHM - 1.9, FW0.2M/FWHM - 2.8



그림 24. 방사능 측정기(γ spectrometer)

3. 핵종 및 방사능 농도 분석

가. 시료의 분류 및 분석

2ℓ 용기에 담겨진 시료는 다시 균질화한 다음 1ℓ marinelli beaker에 1ℓ 만 옮겨 담아 분석시료를 제작한다. 분석시료는 계측기의 오염을 방지하기 위한 비닐 지퍼 백에 담기며 γ -spectroscopy기를 이용하여 핵종을 분석한다.

나. 시료분석 기록

핵종 분석결과는 컴퓨터 파일에 핵종별로 기록되어 관리되며, 2ℓ 용기 시료 및 분석시료 용기 겉면에 분석일자 및 전체 γ 선 방출 핵종 농도가 표기된다.

다. 결과에 따른 분류

방사능 측정결과가 나오면 그 결과에 따라서 전체 γ 선 방출 핵종의 농도가 0.4 Bq/g 미만인 것은 규제해제 대상으로 분류되며 그 이상인 것은 방사성폐기물로 분류된다.

4. 핵종 및 방사능 재평가 결과

가. 핵종분석

핵종 분석결과 주요 γ 선 방출 핵종으로는 Co-60과 Cs-137이 존재하는 것으로 분석되었으며, 그 밖에 일부 토양에서는 미량의 Mn-54, Fe-59, I-131, Cs-134, Eu-152 등이 존재하는 것으로 파악되었다. Co-60과 Cs-137을 제외한 기타 핵종의 농도는 매년 분석하는 TRIGA 연구로시설 주변 하천 토의 방사능 농도와 비교할 때 큰 차이를 나타내지 않고 있다.

나. 방사능

분석결과는 그림 25에 나타내었다. 이에 따르면 전체 토양의 약 68%가 0.1 Bq/g의 농도를 가지고 있으며 0.4 Bq/g 이상의 농도를 가진 토양이 전체의 약 5.5%에 해당되었다. 현재 IAEA에서 제시하고 있는 규제해제 농도는 Co-60과 Cs-137이 모두 0.1 Bq/g이므로 이러한 기준을 따르더라도 전체 토양의 약 68%는 별다른 제염처리 없이 규제해제가 가능할 것으로 판단된다. 또한 현재 규제해제 방법으로 방사선관리구역 내 별도의 시설을 건설하여 매립하는 방안을 고려하고 있으므로 실제 규제해제 할 수 있는 토양의 양은 더욱 증가할 것으로 판단된다.

방사능농도가 0.4 Bq/g 이상인 토양의 경우는 다시 제염처리 또는 장기간 보관을 통하여 일부분에 대해서 규제해제가 가능할 것으로 판단된다.

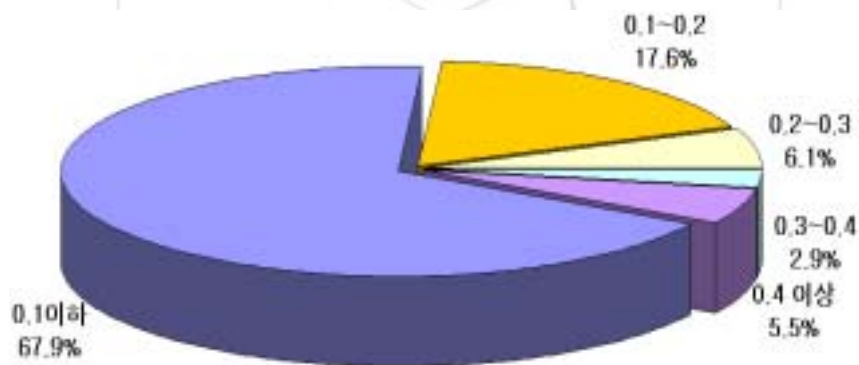


그림 25. 방사능 농도 분석결과 [Bq/g]

5. 토양폐기물 제염방법 실험

토양폐기물을 처리하는 방법으로는 토양으로부터 물리적 또는 화학적으로 오염 핵종을 분리하는 제염방법이 있다. 물리적으로 핵종을 분리하는 방법은 관성을 이용하는 것과 중력을 이용하는 것이 있다. 이때는 물, 화학 세척제 등을 이용하여 물리적으로 분리한다. 미국에서는 관성제염법으로 Pu를 포함하는 미세한 clay-site fraction의 많은 양을 quartz sand로부터 분리할 수 있다는 가능성을 보였다. Idaho 국립 연구소에서 약 10^7 의 토양이 Sr-90,

Cs-137, Co-60으로 오염되었는데, 연구자들은 화학적 방법에 의한 제염 가능성을 평가하였다. 러시아에서는 Sr-90으로 오염된 토양의 제염에 대한 이론적 측면과 침출방법의 역할, 이온교환, 착화합물 형성 등에 관해 연구를 하고 있다.

가. 내용 및 범위

(1) 오염토양의 특성 분석

(가) 오염토양의 입자크기 분포

ASTM D420-60에 의한 토양의 분류는 다음과 같다.

Gravel	Sand			Silt	Clay
	Coarse	Medium	Fine		
4 mesh (4.7mm)	10 mesh (2.0mm)	40 mesh (0.42mm)	200 mesh (0.074mm)		(0.005mm)
9.0%	17.7%	43.4%	25.3%	4.6%	(저장고 soil)

위와 같은 분류방법에 따라 저장고 토양의 조성비를 살펴본 결과 sand-silt-clay를 100%로 할 때 coarse는 19.4%, medium은 47.7%, fine은 27.8%, silt-clay는 5.1%이었다. 한편 Horton의 연구에 의하면 오염 핵종의 95% 이상이 silt-clay에 집적되어 있음을 알 수 있다.

(나) 오염 핵종

저장고에 저장중인 토양폐기물의 오염 핵종은 주로 Co-60, Cs-137이고 Mn-54, Sr-90, U-235등도 간혹 포함되어 있다.

(다) 방사능

토양폐기물의 표면선량률은 0.3 μ Sv/h에서 1 μ Sv/h까지 걸쳐 있으며 토양의 체 분리 결과에 의하면 미세한 입자일수록 즉 silt-clay일수록 표면선량률은 증가함을 알 수 있었다.

나. 오염토양의 제염 방법

- (1) Ozone, Detergent
- (2) 저분자 유기제염제 (Citric acid, Oxalic acid, Succinic acid)
- (3) 저분자 유기제염제 + detergent
- (4) Sea water (NaCl)
- (5) 무기산 (HCl, HNO₃)

다. 제염폐액의 처리방법

- (1) 대상
 - 저분자 유기제염제 (Citric acid, Oxalic acid, Succinic acid)
 - Detergent
- (2) 방법
 - Ozone + Ultraviolet(UV)
 - Hydrogen peroxide

라. 장치 개발

토양폐기물의 제염장치는 체 분리와 제염이 동시에 이루어지며, 제염액을 재순환 할 수 있어야 한다. 산성 토양의 NH₃에 의한 토양을 중화시키며 wet상태에서 체 분리가 가능하여 오염의 확산을 방지하고 장치는 대략 토양 2드럼(200L) 정도를 처리할 수 있는 크기이다.

마. 실험결과

(1) 토양 입경별 제염효율

토양의 입경이 작을수록 세척에 의한 제염효율은 감소하며, 입경에 따라서는 제염에 의해 원하는 효율을 얻지 못하는 경우도 있다 . 따라서 토양 입경 변화에 따른 제염효율을 검토함으로써 세척에 의해 효과적으로 중금속을 제거

될 수 있는 토양의 입경을 조사할 필요가 있다. 오염시킨 후 4종류 입경으로 분리한 오염토양 각각에 대해 5종류의 제염제를 사용하여 제염실험을 수행하였다. 제염제와 제염제의 농도는 앞 절에 언급한 결과에 따라 Citric acid와 Nitric acid의 농도는 0.05M, Ammonium sulfate는 0.1M로 하고 제염제는 단독 또는 혼합하여 사용하였다.

그림 26은 제염제에 따른 제염효과를 보여주고 있다. Co의 경우 Citric acid + Ammonium sulfate의 혼합 제염제를 사용할 때 효과가 뚜렷해진다. 그러나 Ammonium sulfate 단일 제염제는 Co의 제염에 효과가 없음을 나타낸다. Cs의 경우는 Ammonium sulfate의 두가지 혼합 제염제의 제염효율이 60% 이상으로 효과가 뚜렷하다. silt-clay의 경우 10%대 로 제염효과가 거의 없다. 입경이 작아질수록 모든 제염제에 대해 제염효율은 감소함을 알 수 있었으며, silt-clay에서 제염효율은 현저하게 감소하는 것을 볼 수 있다.

실험결과로 silt-clay의 제염은 2차 제염 폐액을 많이 발생하고 목적하는 환경배출 기준을 달성하기 힘들 수도 있으므로 부피가 적으면 방사성 폐기물로 처분하는 것이 타당하다고 사료된다. 또한 복합 핵종으로 오염된 토양의 제염제로 Citric acid 0.05M + Ammonium sulfate 0.1M, Nitric acid 0.05M + Ammonium sulfate 0.1M의 혼합 제염제가 효과적이며 제염 폐액의 처리, 제염 토양의 자체처분을 고려하여 한가지를 선택할 수 있을 것으로 사료된다.

(2) 용출속도 측정

오염토양의 실질적 제염에서는 원하는 처리 효율을 얻을 수 있으면서 제염시간이 짧을수록 유리하므로, 적정 제염시간을 검토하는 것은 필수적이라 할 수 있다. 따라서 제염효율이 낮은 silt-clay는 제외하고 모래만을 방사성 오염 토양과 같은 조성으로 혼합한 오염토양을 세척제로 제염하면서 시간별로 용출 속도를 측정하였다. 25분까지는 제염시간에 따라 제염효율이 급격히 증가하나 약 30분 이후에는 제염시간이 길어져도 효율의 상승폭이 매우 작은 것을 알 수 있었고, 이러한 경향은 특히 Cs에서 두드러졌다. 따라서 관심 핵종의 용출시간은 30분 이내가 적절한 것으로 나타났다.

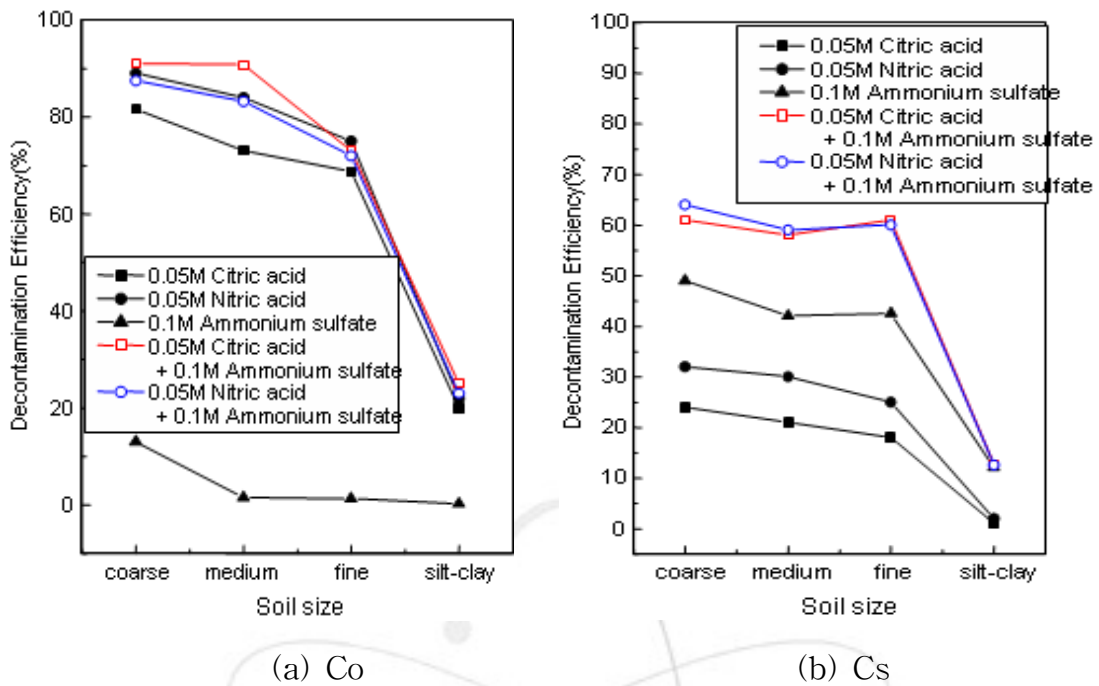


그림 26. 제염제에 따른 제염효과

바. 결론

오염토양의 제염제로 Citric acid 0.05M + Ammonium sulfate 0.1M, Nitric acid 0.05M + Ammonium sulfate 0.1M의 혼합 제염제가 효과적이며 제염 폐액의 처리, 제염 토양의 자체처분을 고려하여 한가지를 선택할 수 있을 것으로 사료된다. 제염시간은 30분 이상이면 가능하고 1차 제염효율이 만족스럽지 못한 경우, 2차까지 제염을 시행할 경우 Co는 90%이상의 충분한 제염효율을 얻을 수 있다.

사. 기대 효과

토양폐기물 제염방법 실험을 통해서 저장 오염토양의 부피를 1/10 정도로 감용 할 수 있으며 또한 제염후 발생된 2차 제염폐액의 처리가 가능하리라 기대된다.

제 3 장 결 론

본 연구에서는 토양의 규제해제를 위한 기반작업으로 내용물의 재분류와 핵종 및 방사능평가 작업을 수행하였다. 이를 위하여 작업절차서의 개발, 밀폐형 처리실의 제작 등이 이루어졌으며, 시료의 채취를 통한 방사선학적 특성 분석이 수행되었다.

오염 토양의 시료 채취 작업후 드럼내 이물질 제거로 토양드럼의 신뢰성을 높였고 토양폐기물 3,272개에서 콘크리트 혼합물과 잡고체를 제외한 토양 1,895드럼의 시료를 채취하였다. 미완충 드럼에 대해서는 충분히 완충하여 1,570드럼으로 줄여 325드럼의 공드럼을 생성하였고, 토양드럼내 이물질을 분류하여 포장하는데 콘크리트는 94드럼, 자갈은 83드럼과 분류와 시료채취 과정에서 발생된 비닐슈트, 제염에 사용된 제염지 및 오염피복과 장갑 등의 2차 생성폐기물을 포장하는데 148드럼을 사용하였다. 폐기물의 내용물에 따라 토양 1,570드럼, 콘크리트 1,386드럼, 자갈 103드럼, 방호복과 제염지 등의 잡고체 폐기물을 213드럼으로 분류하여 재적재함으로써 향후 작업의 원활성을 확보하였다.

분석 결과 토양내 γ - 선 방출핵종은 Co-60과 Cs-137이 존재하는 것으로 나타났으며, 전체 γ - 선 방출핵종의 농도는 약 0.01 ~ 0.21 Bq/g 인 것으로 평가되었다. 토양의 규제해제를 예상하고 있는 2009년이 되면 이러한 농도는 대부분 0.1 Bq/g 미만으로 감소되어 규제면제 및 자체처분 규정에 만족할만한 매우 낮은 농도의 방사능물질을 함유한 폐기물이 많다. 이들을 일반폐기물로 처분하기 위하여 대상폐기물에 대한 방사능 농도의 정확한 측정과 평가가 필요하다. 그렇다고 처분하고자하는 폐기물 전체의 방사능을 측정할 수 없는 일이다. 방사능 측정에 소요되는 장비나 인력의 과다함은 물론이거니와 방사능 측정에 소요되는 시간도 엄청나다. 따라서 처분하고자하는 폐기물 중 일부에서 시료를 채취하여 방사능을 측정하고 그 방사능을 전체 폐기물의 평균 방사능으로 간주하여야 하는데, 문제가 되는 것은 대표시료를

통한 평균 방사능임을 확인하기 위해 얼마나 많은 시료를, 어디에서 채취해야 하느냐 하는 것이다. 또한 규제면제 및 자체처분 규정의 방사능 농도기준 만족여부를 판정할 수 있도록 하는 방사능 측정방법과 그 방법에 의한 최소 검출농도(MDC : Minimum Detectable Concentration)를 결정하는 방법론 등도 확립되어야한다.

오염된 토양 및 콘크리트의 방사능 분석을 실시하여 재분류하고 평가하여 규제면제 및 자체처분규정에 의한 폐기물을 장시간 관리가 필요한 방사성 폐기물의 방출량을 대폭 줄일 수 있다. 이와 같이 폐기물량을 대폭 줄일 수 있게 함으로써 환경보호와 폐기물처분과 관련한 비용을 절감하는 효과를 기대할 수 있다. 또한 오염토양의 방사능 재평가 및 분류로 규제면제 및 자체처분 규정의 준수를 절차화하여 관련 작업자의 업무능률 향상은 물론 규제기관과 일반 국민들의 신뢰를 제고할 수 있을 것으로 기대된다.

서 지 정 보 양 식					
수행기관 보고서번호	위탁기관보고서번호	표준보고서 번호	INIS 주제 코드		
KAERI/TR-3167/2006					
제목 / 부제	오염토양의 핵종과 방사능 재평가 및 분류처리(I)				
연구책임자/부서명 (AR, TR일 경우 주저자)	강 일 식 (방사성폐기물 처리시설운영)				
연구자 / 부서명	손종식, 김길정, 김태국, 홍대석 이범철, 조한석, 제환경(한일원자력)				
발 행 지	대 전	발행기관	한국원자력연구소	발행일	2006. 3
페 이 지	44 P.	도 표	유 (O), 무 ()	크 기	27 cm.
참고사항					
비밀여부	공개 (O), 대외비 (),	급 비밀	보고서 종류	기술보고서	
연구 위탁기관			계 약 번 호		
초 록	<p>방사성폐기물저장고에는 시설해체폐기물 및 오염토양폐기물을 보관중이며 현재 이들 폐기물은 방사능이 상당히 감소된 상태이다. 방사성고체 폐기물저장시설에 보관중인 오염 토양폐기물의 핵종 및 방사능을 재평가하여 규제해제 및 방사성폐기물로 재분류하고 규제해제폐기물은 별도 저장고에 보관하여 자체처분 함으로써 저장공간을 확보한다. 폐기물 드럼의 장기 보관에 따른 부식 여부를 확인하고 부식드럼을 재포장하여 드럼 부식에 의한 방사성물질의 유출을 방지하고 원자력관계법령 및 규정을 준수함으로써 주변환경의 오염을 방지하는데 목적이 있다.</p> <p>오염토양의 핵종과 방사능 재평가 및 분류처리를 통하여 향후 실시 예정인 오염토양의 제염 작업시 재분류에 의한 비오염 토양의 불필요한 제염처리를 방지하여 제염비용 및 처분비용을 절감하고 또한 시료채취, 핵종분석 등의 전처리공정 기술을 확보할 수 있었다.</p>				
주제명 키워드	토양폐기물, 핵종, 방사능, 시료채취, 분류, 재평가				

BIBLIOGRAPHIC INFORMATION SHEET					
Performing Org. Report No.		Sponsoring Org. Report No.		Standard Report No.	INIS Subject Code
KAERI/TR-3167/2006					
Title/Subtitle		Classification and reevaluation on Radionuclide and Activity of Contaminated Soil(I)			
Project Manager/Dept. (or Main Author)		Il-Sik Kang (Radwaste Facility Management Dept.)			
Researcher/Dept.		J.S. Shon, K. J. Kim, T.K. Kim, D.S. Hong, B.C. Lee, H.S. Cho, W.G. Je(Han Il Nuclear.)			
Pub. Place	Daejeon	Pub. Org.	KAERI	Pub. Date	2006. 3
Page	44 P.	Fig. &Tab.	Yes (<input type="radio"/>), No (<input type="radio"/>)	Size	27 cm
Note					
Classified	Open (<input type="radio"/>), Outside (<input type="radio"/>), Class (<input type="radio"/>)		Report Type	Technical Report	
Sponsoring Org.			Contract No.		
Abstract					
<p>Radioactive wastes generated during the decommissioning process and contaminated soils were transported and have been stored at the waste storage facility. The radioactivity in the wastes has been decayed a lot. The radionuclide and the activity concentration of stored soil wastes were reevaluated. And using the reevaluation results, the soil wastes were classified as either a regulatory clearance wastes or a radioactive waste. The storage space can be secured by storing regulatory clearance wastes in the extra storage facility and self disposing them. Also, the objective is to protect the environment from contamination by observing the related nuclear regulation and managing the radioactive wastes.</p> <p>Through the reevaluation of radioactivity and classification of contaminated soils, the unnecessary decontamination of uncontaminated soil was prevented. It allowed us to save the cost for decontamination and disposal, also we could secure the pretreatment process techniques such as how to sample and analyze the nuclide.</p>					
Subject Keywords		Soil waste, Nuclide, Activity, Sampling, Classification, reevaluation			