



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2021년 2월
석사학위논문

원자력발전소
방사성폐기물(폐윤활유) 자체처분

조선대학교 대학원

원자력공학과

성 미 지

원자력발전소 방사성 폐기물(폐윤활유) 자체 처분

Regulatory Clearance of Radioactive waste
(Waste lubricating Oil) in Nuclear Power Plant

2021년 2월 25일

조선대학교 대학원

원자력공학과

성 미 지

원자력발전소
방사성폐기물(폐윤활유) 자체처분

지도교수 : 이 경 진

이 논문을 공학 석사학위신청 논문으로 제출함

2020년 10월

조선대학교 대학원

원자력공학과

성 미 지

성미지의 석사학위논문을 인준함

위원장 조선대학교 교수 송 종 순 (인)

위 원 조선대학교 교수 이 경 진 (인)

위 원 조선대학교 교수 나 만 균 (인)

2020년 11 월

조선대학교 대학원

목 차

제 1 장 서 론	1
제 1 절 방사성폐기물 자체처분	1
제 2 절 연구 목적 및 필요성	1
제 2 장 원자력발전소 폐윤활유의 자체처분 개요	4
제 1 절 원자력발전소 자체처분 대상 폐윤활유 종류 및 수집방법 ·4	
1. 자체처분 대상 폐윤활유 종류 및 발생원	4
2. 자체처분 대상 폐윤활유의 수집방법 및 보관	4
제 2 절 폐윤활유 자체처분 과정	4
제 3 장 원자력발전소 폐유 자체처분 계획	6
제 1 절 방사성폐기물 자체처분 계획서	6
제 2 절 자체처분 대상 폐유 시료 채취 및 측정	8
1. 자체처분 대상 폐유의 방사선량을 및 표면오염도 측정	8
2. 자체처분 대상 폐유의 시료 채취 및 방사성물질 분석	8
제 3 절 폐유 자체처분 방법 및 처분지 선정	10
1. 폐유 자체처분 방법 선정	10
2. 폐유 자체처분 처분지	10
3. 자체처분으로 인하여 부수적으로 발생하는 폐기물	10

제 4 절	폐유 자체처분에 대한 피폭방사선량 평가	11
1.	방사성폐기물 자체처분 허용선량	11
2.	폐유 자체처분(소각)에 대한 피폭선량 평가	11
3.	폐유 자체처분(소각재 매립)에 대한 피폭선량 평가	12
4.	폐유 자체처분 피폭선량 평가 결과	17
제 4 장	폐유의 자체처분 시행 및 결과평가	17
제 5 장	결론 및 제안	21
참고문헌		23

표 목 차

표 1. 방사성폐기물 자체처분 허용기준 및 핵종별 농도	2
표 2. 방사성폐기물 자체처분 허용농도 적용 모핵종과 자핵종 구분표	3
표 3. 원자력안전법 시행규칙 별지 제84호 서식	7
표 4. 폐기물의 종류, 발생원, 발생일시, 수량, 방사선량률, 표면오염도 기록(예시)	9
표 5. 자체처분 대상 폐기물의 감마핵종, H-3, C-14 수량 및 농도 기록(예시)	9
표 6. 폐유 소각에 따른 선량평가 입력값	11
표 7. 소각시설에 대한 대기확산인자	12
표 8. RESRAD를 통한 선량평가	13
표 9. 소각재의 함유 핵종 및 농도 계산 자료	13
표 10. 선량환산인자(DCF)	14
표 11. 폐유 자체처분에 대한 피폭선량 평가 결과	17
표 12. 폐유 운반 차량조사서	18
표 13. 폐유 운반시 차량용 오염검사장비 측정결과	18
표 14. 폐유 반출 및 처분 사진	19

그림 목 차

그림 1. 자체처분대상 폐기물 처리과정(규제해제 부적합)	5
그림 2. 자체처분대상 폐기물 처리과정(규제해제 적합)	5
그림 3. 자체처분 대상 폐유 시료채취	8

ABSTRACT

Regulatory Clearance of Radioactive waste (Waste Lubricating Oil) in Nuclear Power Plant

Seong, Mi Ji

Adviser : Prof. Lee, Gyeong Jin, Ph. D.
Department of Nuclear Engineering,
Graduate School of Chosun University

Waste lubricating oil, which is radioactive waste generated from nuclear power plants, is a lubricant for major equipment of nuclear power plants, and is incinerated and buried through regulatory clearance because the possibility of contamination by radioactive materials is low.

For regulatory clearance of radioactive waste, it is proved that the radioactive concentration is less than or equal to the radionuclide-specific radioactive concentration prescribed in the Nuclear Safety Act (Tables 1 and 2), and the estimated individual exposure dose is $10 \mu\text{Sv/yr}$ or less, and the total exposure dose to the group is less than $1 \text{ man} \cdot \text{Sv/yr}$.

For each radionuclide, one mixed sample per drum is collected and analyzed with a HP-Ge, and the expected exposure dose is evaluated by K-DOSE 60 and RESRAD.

Since this waste oil is easy to handle and dispose of and is free from contamination by radioactive materials, it is often disposed of through regulatory clearance. Therefore, it is necessary to carefully examine the process of regulatory clearance of waste oil and widely use it for self-disposal of various radioactive wastes. If this is used for dismantling nuclear power plants, it will be an eco-friendly waste disposal method that is economical, free from radioactive contamination, and enhances public trust.

제 1 장 서 론

제 1 절 방사성폐기물 자체처분

방사성폐기물의 자체처분에 관한 정의는 원자력안전위원회 고시 제 2020-6호 (방사성폐기물 분류 및 자체처분 기준에 관한 규정, 시행 2020. 5.26)에 다음과 같이 규정하고 있다.

- 자체처분 : 방사성폐기물 중에서 핵종별 농도가 자체처분 허용농도 미만임이 확인된 것을 「원자력안전법」의 적용대상에서 제외하여 방사성폐기물이 아닌 폐기물로 소각, 매립 또는 재활용 등의 방법으로 관리하는 것을 말한다.
- 자체처분 허용농도 : 「원자력안전법 시행령」 제107조제1항에 따라 방사성폐기물의 자체처분을 허용할 수 있는 방사성핵종별 방사능 농도로서 별표1의 허용농도 또는 자체처분 허용선량을 만족함이 입증되는 농도를 말한다.
(표 1, 표 2 참조)
- 자체처분 허용선량 : 방사성폐기물의 자체처분에 따른 개인에 대한 연간 예상 피폭방사선량이 10 마이크로시버트(μSv) 미만이고 집단에 대한 연간 예상 총 피폭방사선량이 1 맨·시버트($\text{man}\cdot\text{Sv}$) 미만이 되는 값을 말한다.
- 검출목표치 : 방사성폐기물을 자체처분하고자 하는 원자력관계사업자가 자체적으로 설정하는 검출목표 방사능 농도를 말한다.
- 최소검출가능농도 : 방사능계측기, 시료량, 회수율, 계측시간 등의 계측조건에 따라 정해지는 검출 가능한 최소 방사능 농도를 말한다.

제 2 절 연구 목적 및 필요성

대한민국에 원자력발전소가 상업 운전한 이후 방사성폐기물 처리에 대한 관심이 꾸준히 있어왔다. 최근 고리원자력발전소 1호기 폐로가 결정됨에 따라 방사성폐기물에 대한 관심이 더욱 높아졌다. 폐로 후 방사성폐기물의 상당부분을 규제해제를 통한 자체처분을 시행해야한다. 따라서 방사성폐기물 중 자체처분이 활발하게 이

루어지는 폐유의 사례를 연구하여 자체처분 활성화를 도모하고자 한다. 또한 향후 자체처분의 시행 방향을 제안 하고자 한다.

표 1. 방사성폐기물 자체처분 허용기준 및 핵종별 농도

방사성핵종	허용농도(Bq/g)
I-129	0.01
Na-22, Sc-46, Mn-54, Co-56, Co-60, Zn-65, Nb-94, Ru-106, Ag-110m, Sb-125, Cs-134, Cs-137, Eu-152, Eu-154, Ta-182, Bi-207, Th-229, U-232, Pu-238, Pu-239, Pu-240, Pu-242, Pu-244, Am-241, Am-242m, Am-243, Cm-245, Cm-246, Cm-247, Cm-248, Cf-249, Cf-251, Es-254	0.1
C-14, Na-24, Cl-36, Sc-48, V-48, Mn-52, Fe-59, Co-57, Co-58, Se-75, Br-82, Sr-85, Sr-90, Zr-95, Nb-95, Tc-96, Tc-99, Ru-103, Ag-105, Cd-109, Sn-113, Sb-124, Te-123m, Te-132, Cs-136, Ba-140, La-140, Ce-139, Eu-155, Tb-160, Hf-181, Os-185, Ir-190, Ir-192, Tl-204, Bi-206, U-233, Np-237, Pu-236, Cm-243, Cm-244, Cf-248, Cf-250, Cf-252, Cf-254	1
Be-7, F-18, Cl-38, K-43, Ca-47, Mn-51, Mn-52m, Mn-56, Fe-52, Co-55, Co-62m, Ni-65, Zn-69m, Ga-72, As-74, As-76, Sr-91, Sr-92, Zr-93, Zr-97, Nb-93m, Nb-97, Nb-98, Mo-90, Mo-93, Mo-99, Mo-101, Tc-97, Ru-97, Ru-105, Cd-115, In-111, In-114m, Sn-125, Sb-122, Te-127m, Te-129m, Te-131m, Te-133, Te-133m, Te-134, I-126, I-130, I-131, I-132, I-133, I-134, I-135, Cs-129, Cs-132, Cs-138, Ba-131, Ce-143, Ce-144, Gd-153, W-181, W-187, Pt-191, Au-198, Hg-203, Tl-200, Tl-202, Pb-203, Po-203, Po-205, Po-207, Ra-225, Pa-230, Pa-233, U-230b, U-236, Np-240, u-241, Cm-242, Es-254m	10
H-3, S-35, K-42, Ca-45, Sc-47, Cr-51, Mn-53, Co-61, Ni-59, Ni-63, Cu-64, Rb-86, Sr-85m, Sr-87m, Y-91, Y-91m, Y-92, Y-93, Tc-97m, Tc-99m, Rh-105, Pd-109, Ag-111, Cd-115m, In-113m, In-115m, Te-129, Te-131, I-123, I-125, Cs-135, Ce-141, Pr-142, Nd-147, Nd-149, Sm-153, Eu-152m, Gd-159, Dy-166, Ho-166, Er-171, Tm-170, Yb-175, Lu-177, Re-188, Os-191, Os-193, Ir-194, Pt-197m, Au-199, Hg-197, Hg-197m, Tl-201, Ra-227, U-231, U-237, U-239, U-240, Np-239, Pu-234, Pu-235, Pu-237, Bk-249, Cf-253, Es-253, Fm-255	100
Si-31, P-32, P-33, Fe-55, Co-60m, Zn-69, As-73, As-77, Sr-89, Y-90, Tc-96m, Pd-103, Te-125m, Te-127, Cs-131, Cs-134m, Pr-143, Pm-147, Pm-149, Sm-151, Dy-165, Er-169, Tm-171, W-185, Re-186, Os-191m, Pt-193m, Pt-197, At-211, Th-226, Pu-243, Am-242, Cf-246	1,000
Co-58m, Ge-71, Rh-103m, Fm-254	10,000

주 1) 다수의 방사성핵종이 혼합되어 있는 경우에는 다음과 같이 한다.

$$\sum_i \frac{C_i}{C_{L,i}} < 1$$

C_i : i 의 방사능농도(Bq/g) / $C_{L,i}$: i 의 자체처분 허용농도(Bq/g)

주 2) 별표1에 수록되지 않은 알파선을 방출하지 아니하는 방사성핵종의 경우 자체처분 허용농도로서 0.1 Bq/g을 적용할 수 있다.

주 3) 표2에 제시된 모핵종과 그 모핵종의 붕괴로 생성되는 자핵종이 함께 존재하는 경우, 모핵종에 대해서만 허용농도를 적용한다.

표 2. 방사성폐기물 자체처분 허용농도 적용 모핵종과 자핵종 구분표

모 핵종	자핵종	모 핵종	자핵종
Fe-52	Mn-52m	In-114m	In-114
Zn-69m	Zn-69	Sn-113	In-113m
Sr-90	Y-90	Sb-125	Te-125m
Sr-91	Y-91m	Te-127m	Te-127
Zr-95	Nb-95	Te-129m	Te-129
Zr-97	Nb-97m, Nb-97	Te-131m	Te-131
Nb-97	Nb-97m	Te-132	I-132
Mo-99	Tc-99m	Cs-137	Ba-137m
Mo-101	Tc-101	Ce-144	Pr-144, Pr-144m
Ru-103	Rh-103m	U-232	Th-228, Ra-224, Rn-220, Po-216, Pb-212, Bi-212, Tl-208
Ru-105	Rh-105m	U-240	Np-240m, Np-240
Ru-106	Rh-106	Np-237	Pa-233
Pd-103	Rh-103m	Pu-244	U-240, Np-240m, Np-240
Pd-109	Ag-109m	Am-242m	Np-238
Ag-110m	Ag-110	Am-243	Np-239
Cd-109	Ag-109m	Cm-247	Pu-243
Cd-115	In-115m	Es-254	Bk-250
Cd-115m	In-115m	Es-254m	Fm-254

제 2 장 원자력발전소 폐윤활유의 자체처분 개요

제 1절 원자력발전소 자체처분대상 폐윤활유 종류 및 수집방법

1. 자체처분 대상 폐윤활유 종류 및 발생원

원자력발전소의 자체처분대상 폐윤활유는 주로 원자로냉각펌프(RCP) 및 증기발생기 급수펌프(보조급수펌프) 윤활유이다. 이 윤활유는 폐회로 계통으로 방사성 물질과 접촉하지 않기 때문에 방사성물질에 의한 오염으로부터 자유롭다. 따라서 대부분의 사용 후 윤활유를 폐유로 구분하여 자체처분대상으로 분류한다.

2. 자체처분 대상 폐윤활유의 수집방법 및 보관

해당 윤활유는 계획예방정비 시 교체를 하며, 사용 후 윤활유는 외부 오염에 유의하며 공드럼으로 포집하여 자체처분 준비 대상으로 분류한다.

오염검사 및 방사선 측정, 핵종분석 결과 오염되지 않은 것으로 분류된 폐유 드럼은 방사선관리구역에서 반출하여 발전소 부지 내 폐유저장고로 이동하여 자체처분시까지 임시 보관한다.

제 2절 폐윤활유 자체처분 과정

원자력발전소의 자체처분대상 폐윤활유는 발전소별로 보통 연 1~2회에 걸쳐 자체처분신청 및 처분이 시행되고 있다.

자체처분을 위하여 포집한 폐유는 방사선관리구역 내 임시저장 하였다가 시료분석 및 방사선(능)측정을 통해 방사성물질이 없음을 확인 한 후 발전소 부지 내 폐유저장고로 운반하여 처분 시까지 보관한다.

자체처분 대상 폐기물의 발생으로부터 처리까지는 다음과 같은 과정을 따른다.

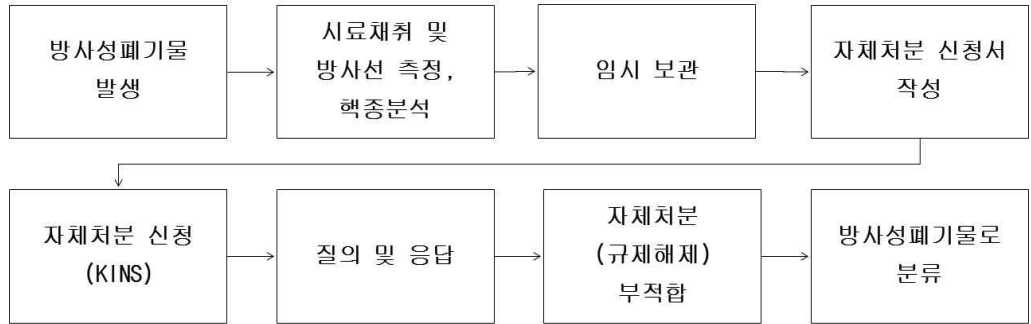


그림 1. 자체처분대상 폐기물 처리과정(규제해제 부적합)

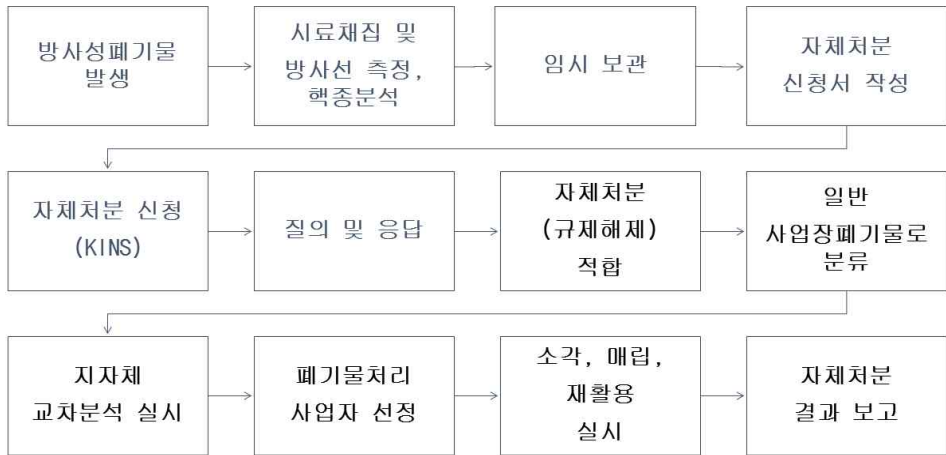


그림 2. 자체처분대상 폐기물 처리과정(규제해제 적합)

제 3 장 원자력발전소 폐유 자체처분 계획

제 1절 방사성폐기물 자체처분 계획서

방사성폐기물 자체처분 계획서는 표 3의 원자력안전법 시행규칙 별지 제 84호 서식을 따르며, 다음과 같은 내용을 포함한다.

- 자체처분 대상 폐기물의 종류, 발생원, 발생일시 또는 발생기간, 수량
- 자체처분 대상 폐기물의 측정 대상별 표면 방사선량률, 핵종별 농도 및 그 산출근거
 - 방사성 핵종 수량 및 농도(감마핵종, H-3, C-14)
 - 핵종별 농도 산출근거
 - 주요 핵종 검출하한농도
 - 주요핵종 최대값에 대한 처분 제한치 평가결과
 - 전알파/베타 비방사능
- 자체처분 방법 및 예정 목적지(위탁 처리업체 포함)
- 자체처분으로 인하여 부수적으로 발생하는 폐기물의 수량 및 관리방법
- 자체처분에 의한 피폭방사선량 평가
 - 피폭방사선량 평가 결과
 - 피폭방사선량 평가 방법

표 3. 원자력안전법 시행규칙 별지 제84호 서식

■ 원자력안전법 시행규칙 [별지 제84호서식]

방사성폐기물 자체처분계획서

접수번호	접수일	처리일	처리기간	20일
신고인	소속명	본사		
		사업소		
	주소	본사 (전화번호:)		
		사업소 (전화번호:)		
	대표자	성명		
		생년월일		
	방사선 안전관리자	직위	성명	
		생년월일		
처분예정 일시				
처분예정 장소				

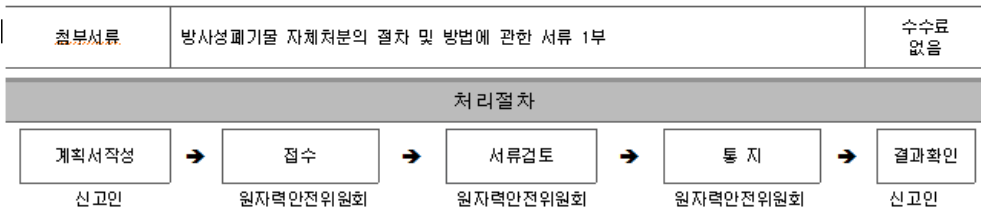
「원자력안전법 시행령」 제 107조 및 같은 법 시행규칙 제 95조에 따라 방사성폐기물의 자체처분계획서를 제출합니다.

년 월 일

신고인

(서명 또는 인)

원자력안전위원회 귀중



제 2절 자체처분 대상 폐유 시료 채취 및 측정

1. 자체처분 대상 폐유의 방사선량을 및 표면오염도 측정

- 방사선량률($\mu\text{Sv/h}$) 측정 : 방사선관리구역 내 자연 방사선량률을 지시하는 공간에서 측정하여 다른 오염물질에 의한 간섭이 없도록 한다.
 각 드럼별로 상하좌우전후 6곳을 측정하며 측정결과 중 최대값을 해당 드럼의 방사선량률로 적용한다.
- 표면오염도(Bq/cm^2) 측정 : 각 드럼의 상하좌우전후 6곳을 Smear 법을 측정하며 최대 cpm으로 해당 드럼의 표면오염도를 적용한다.

2. 자체처분 대상 폐유의 시료 채취 및 방사성물질 분석

- 감마핵종농도 분석
 - 시료채취 : 발생년도 및 발생원별 각 폐유드럼(드럼용량 최대 200kg)을 충분히 혼합한 후, 시료채취기를 이용하여 상, 중, 하 3지점에서 골고루 1kg 시료 용기에 시료를 채취한다.
 - 시료분석 : 감마핵종농도 분석기를 통해 2,000초 분석을 시행한다.

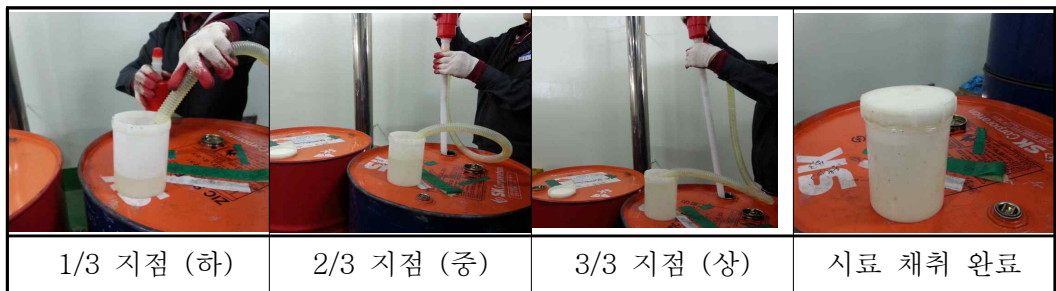


그림 3. 자체처분 대상 폐유 시료채취

- H-3, C-14 분석
 - 시료채취 : 발생년도 및 발생원 별 Co-60 및 Cs-137의 감마핵종 분석 값이 가장 높은 시료에서 20cc Vial에 1개씩 채취.
 - 시료분석 : 한국원자력연구원등에 위탁 분석을 의뢰한다.

○ 전알파/전베타 분석

- 시료채취 : 분율합이 가장 높은 시료에서 분석시료를 3개씩 분말형태로 전처리(가열 및 건조) 하여 플라넷에 도포한다.
- 시료분석 : 방사능 오염도 계수기를 통해 전알파/전베타를 분석한다.
- 시료당 매1회 60분 측정한다.

$$\text{비방사능 (Bq/g)} = \frac{\text{실계수율}}{[\text{계측효율} \times \text{시료량 (g)}]} \times 100$$

$$\text{MDA (Bq/g)} = \frac{2.71 + 3.29 \times \sqrt{R_b \times T_s \times (1 + (\frac{T_s}{T_b}))}}{[\text{계측효율} \times 60 \times \text{시료량 (g)} \times T_s]} \times 100$$

T_s = 시료 측정 시간(60min), T_b = BKG 측정 시간(60min),

R_b = BKG 측정 계수값, R_s = 시료 측정 계수값, E = 계측기효율(%)

표 4. 폐기물의 종류, 발생원, 발생일시, 수량, 방사선량률, 표면오염도 기록(예시)

폐기물 종류	발생원	발생일자 (반출일자)	폐기물 관리번호	수량 (kg)	표면 방사선량률 ($\mu\text{Sv/h}$)	표면오염도 (Bq/cm ²)
폐유	한빛 3호기 RCP 01P PUMP	2015. 10. 22. (2015. 11. 03.)	Y2-2015-0-001	169	0.16	0.19

총 수량 (59드럼)				10,076	-	

표 5. 자체처분 대상 폐기물의 감마핵종 , H-3, C-14 수량 및 농도 기록(예시)

폐기물 관리번호 (시료번호)	시료 량 (g)	표면방사 선량률 ($\mu\text{Sv/h}$)	핵종	방사능 (Bq/g)			분율 ($C_i/C_{L,i}$)	분율합 $\sum_i \frac{C_i}{C_{L,i}}$
				분석값 C_i	측정 MDA	제한값 $C_{L,i}$		
Y2-2015 -0-001	880	0.14	H-3	MDA미만	7.70E-02	100	7.70E-04	0.12687
			C-14	MDA미만	7.30E-02	1	7.30E-02	
			Co-60	MDA미만	4.06E-03	0.1	4.06E-02	
			Cs-137	MDA미만	1.25E-03	0.1	1.25E-02	

제 3 절 폐유 자체처분 방법 및 처분지 선정

1. 폐유 자체처분 방법 선정

- 폐기물 구분 : 폐유(폐윤활유)
- 수량 : 10,076kg
- 포장상태 : 드럼에 보관
- 처분방법 : 위탁소각(폐유소각) 및 매립(소각재)

2. 폐유 자체처분 처분지

- 처분 업체명 : (주)와이엔텍
- 사업자등록번호 : 417 - 81 - 05459
- 주 소 : 전남 여수시 여수산단로 1232
- 폐기물 중간처리업 허가번호(지정폐기물)
: 중간 제2-2호(허가권자 : 영산강유역환경청장)
- 폐기물 최종처리업 허가번호(일반폐기물) : 제2호(여수시장)
- 소각시설용량 : 일반소각시설 3톤/시간 × 1기
: 고온열분해시설 1.7톤/시간 × 1기

3. 자체처분으로 인하여 부수적으로 발생하는 폐기물

- 부수적 발생 폐기물 : 공드럼
- 수량(kg) : 공드럼 1,298kg (59드럼)
- 발생사유 : 자체처분 폐유 포장
- 처리방법 : 회수 후 재사용

제 4 절 폐유 자체처분에 대한 피폭방사선량 평가

1. 방사성폐기물 자체처분 허용선량

방사성폐기물의 자체처분 허용선량은 원자력안전위원회 고시 제 2020-6조 제2조 3항에 명시하고 있으며 다음과 같다.

- 연간 개인 피폭방사선량 : 10 μ Sv/yr 미만
- 연간 집단 총 피폭방사선량 : 1 man-Sv/yr 미만

2. 폐유 자체처분(소각)에 대한 피폭선량 평가

폐유 소각으로 소각장 주변 주민의 예상피폭선량을 평가한다.

- 폐유 소각에 따른 선량평가
 - 1) 개요 : 위탁 소각 대상인 폐유 (10,076kg) 소각 시 개인 최대피폭선량 및 집단 피폭선량 평가
 - 2) 적용코드 : ODCM(K-Dose 60)
 - 3) 방사능 입력 값 (표6 참조)

표 6. 폐유헌유 소각에 따른 선량평가 입력값

측 정 값		소각시 환경 방출비율	ODCM 입력값	
핵종	방사능(Bq)		핵 종	방사능(Bq)
H-3	1.27E+06	1.0	H-3	1.27E+06
C-14	1.02E+06	1.0	C-14	1.02E+06
Co-60	9.65E+04	0.1	Co-60	9.65E+03
Cs-137	8.75E+04	0.1	Cs-137	8.75E+03
※ 방사능값 산출내역 • 방사능값 : 시료의 방사능(Bq/g) × 정제폐유 무게(10,076,000g) 값임 • H-3, C-14 : 발생원별 감마핵종분석 값이 가장 높은 시료에서 20cc Vial로 1개씩 채취하여 한국원자력연구원에 삼중수소 및 C-14 분석 의뢰함. • Co-60, Cs-137 : 핵종이 검출되지 않아 보수적 평가를 위해 MDA 최대값 적용				

4) 소각시설에 대한 대기확산인자

표 7. 소각시설에 대한 대기확산인자

항목	단위	ODCM 입력 대기확산인자(30m)	비고
x / Q	sec/m^3	5.557E-03	-
x / Q^d	sec/m^3	5.554E-03	-
x / Q^{dd}	sec/m^3	5.412E-03	-
D / Q	m^{-2}	1.878E-06	-
<ul style="list-style-type: none"> • x / Q : 방사성 붕괴 및 침적이 고려되지 않은 대기확산인자 • x / Q^d : 방사성 붕괴만 고려된 대기확산인자 • x / Q^{dd} : 방사성 붕괴 및 침적에 의한 플룸 감쇄가 고려된 대기확산인자 • D / Q : 지표면 침적인자 			

5) K-Dose 60 계산결과

- 개인에 대한 연간 피폭선량 : 3.97E-02 $\mu\text{Sv}/\text{y}$ (최대값인 5세 적용)
- 집단에 대한 총 피폭선량 : 9.32E-07 $\text{man-Sv}/\text{y}$

3. 폐유 자체처분(소각재 매립)에 대한 피폭선량 평가

폐유 소각 후 소각재를 매립할 경우 주민의 예상피폭선량을 평가한다.

○ 폐유 소각재 매립에 따른 선량평가

- 1) 개요 : 폐유(10,076kg)를 위탁처리업체인 (주)와이엔텍에서 소각 후 발생하는 소각재를 위탁 처리업체의 매립장에 매립하는 경우 예상되는 개인최대피폭선량 및 집단피폭선량 평가
- 2) 적용코드 : RESRAD(Ver. 7.2)
- 3) 입력자료
 - 가. 기본자료(표 8 참조)

표 8. RESRAD를 통한 선량평가

소각재 질량	100,760g		
폐유의 밀도	0.83g/cm ³	Density of Contaminated Zone	
주1) 함유 핵종 및 농도 (Bq/g)	H-3	1.26E-01	Radionuclides-Source
	C-14	1.01E-01	
	Co-60	9.58E-03	
	Cs-137	8.68E-03	
<ul style="list-style-type: none"> 소각재 질량은 폐유의 특성을 고려하여 질량 감용비를 1/100로 가정 - 소각재 질량(100,760g) = 폐유 질량(10,076,000g) × 1/100 주1) 표1. 방사성폐기물 자체처분 허용기준 및 핵종별 농도 참고 			

나. 소각재의 함유 핵종 및 농도 계산

표 9. 소각재의 함유 핵종 및 농도 계산 자료

핵종별 방사능 농도(Bq/g)		감용비 적용 후 방사능 농도(Bq/g)	소각시 잔류방사능비	RESRAD 입력 방사능값(Bq/g)	
a		b = a × 100	c	d = b × c	
H-3	1.26E-01	1.26E+01	0.01	H-3	1.26E-01
C-14	1.01E-01	1.01E+01	0.01	C-14	1.01E-01
Co-60	9.58E-03	9.58E-01	1.0	Co-60	9.58E-01
Cs-137	8.68E-03	8.68E-01	1.0	Cs-137	8.68E-01
<ul style="list-style-type: none"> 폐유 소각 시 감용비는 주제별보고서 「KINS/RR-659, 원전 및 핵주기시설 발생 방사성폐기물 자체처분 규제지침 개발(2009.1)」 내용 중 제4장 <표 4-6 자체처분 심사시 폐기물 소각 감용비 사례>에 기재된 폐유의 감용 계수(>100)를 적용함. 폐유 소각 시 감용비는 주제별보고서 「KINS/RR-144, 방사성폐기물 규제기술 개발(2002.5)」 내용 중 제5장 <표5-3 소각시설의 방사성핵종별 환경 방출비율>에 기재된 Cs-137, Co-60 (1.0)을 적용함. 					

다. 매립시 Contaminated Area 관련 자료

오염지역을 높이 0.2m의 원기둥으로 가정하여 오염지역의 지름, 반지름, 단면적을 다음과 같이 계산한다.

- 체 적 : $100,760\text{g} \div 0.83\text{g}/\text{cm}^3 = 0.121\text{m}^3$
- 높이 (Thickness of contaminated Zone) : 0.2 m
- 단면적 (Area of Contaminated Zone) : $0.121\text{m}^3 \div 0.2\text{m} = 0.605\text{m}^2$
- 반지름 : $\sqrt{\frac{0.605}{3.14}} = 0.439\text{m}$
- 지 림 (Length Parallel to Aquifer Flow) : $0.439\text{m} \times 2 = 0.878\text{m}$

라. 선량환산인자(DCF) 적용

ICRP-72에 제시된 성인의 흡입·섭취에 대한 DCF에서 가장 보수적인 대사형태에 해당되는 값의 2배를 내부피폭 DCF로 채택하여 평가함

표 10. 선량환산인자(DCF)

핵종	DCF (ICRP72)		적용DCF (ICRP72×2)	
	Inhalation	Ingestion	Inhalation	Ingestion
H-3	2.60E-07	4.20E-08	5.20E-07 ^{주1)}	8.40E-08 ^{주2)}
C-14	5.80E-06	5.80E-07	1.16E-05 ^{주3)}	1.16E-06
Co-60	3.10E-05	3.40E-06	6.20E-05 ^{주4)}	6.80E-06
Cs-137	3.90E-05	1.30E-05	7.80E-05 ^{주5)}	2.60E-05

주1) H-3 호흡에 대한 가장 보수적인 대사형태인 ICRP 72(성인) Class S의 DCF임
 주2) H-3 섭취에 대한 가장 보수적인 대사형태인 ICRP 72(성인) f1, OBT(Organically bound tritium)의 DCF임
 주3) C-14 호흡에 대한 가장 보수적인 대사형태인 ICRP 72(성인) Class S의 DCF임
 주4) Co-60 호흡에 대한 가장 보수적인 대사형태인 ICRP 72(성인) Class S의 DCF임
 주5) Cs-137 호흡에 대한 가장 보수적인 대사형태인 ICRP 72(성인) Class S의 DCF임

마. Evaluation Times

- Basic Radiation Dose Limit : 10 μ Sv/yr
- 나머지는 Default Data 적용

바. Cover and Contaminated Zone Hydrological Data

- 표층토양 : 60 cm로 가정(Cover Depth = 0.6 m)
- 강수량 : 여수지역 연(30년) 평균값인 1.407m 적용(Precipitation = 1.407m)
- 나머지는 Default Data 적용

사. Saturated Zone & Unsaturated Zone

- Default Data 적용

아. Occupancy

- Inhalation rate : 7,400 m^3 /yr
- 나머지는 Default Data 적용

자. Ingestion Pathway, Dietary Data

[한국 성인 최대 개인자료(한빛본부 ODCM 입력자료)]

- Fruit, Vegetable, and Grain Consumption : 352.7 kg/yr
- Leafy Vegetable Consumption : 100 kg/yr(Code 최대값 적용)
- Milk Consumption : 63 l /yr
- Meat & Poultry Consumption : 55.1 kg/yr
- Fish Consumption : 79.3 kg/yr
- Other Sea Food Consumption : 33.4 kg/yr
- Soil Ingestion : 고려되지 않음
- Drinking Water Intake : 고려되지 않음
- Contaminated Fractions : Default Data 적용

차. Ingestion Pathway, Non-Dietary Data

- Livestock Fodder Intake For Meat : 59.32 kg/yr
- Livestock Fodder Intake For Milk : 55 kg/yr
- Livestock Water Intake For Meat : 6.0 l /day
- Livestock Water Intake For Milk : 4.2 l /day
- Livestock Intake of Soil 등 : Default Data 적용

카. Storage Times before Use Data

- Fruits Non-leaf Vegetables and Grain : 14 day

- Leaf Vegetables : 1 day
- Milk : 1 day
- Meat : 7 day
- Fish : 1 day
- Crustacea and Mollusks : 1 day
- Well water : Default Data 적용
- Surface Water : Default Data 적용
- Livestock Fodder : 14 day

타. Radon : 고려되지 않음

3) RESRAD 계산 결과

가. 개인선량(최대값) : $4.843E-01 \mu\text{Sv/y}$

- 매립 직후 매립장이 재이용된다는 보수적인 가정 사용

나. 집단선량 : $1.864E-05 \text{ man-Sv/y}$

- 2016년 12월말 여수시 주민등록 인구현황 : 293,036명
- 여수시 면적 : 510.09 km^2
- ㈜와이엔텍 매립장 면적 : 0.067 km^2
- 인구밀도 : 574.479 인/km^2
- 인구수 : 38.49(인)

4. 폐유 자체처분 피폭선량 평가 결과

표 11. 폐유 자체처분에 대한 피폭선량 평가 결과

폐기물 종류	처분 방법	평가 방법	평가 결과	
			개인선량 ($\mu\text{Sv/yr}$)	집단선량 (man-Sv)
폐유	소각 (위탁)	K-Dose 60	3.97E-02	9.32E-07
	매립 (위탁)	RESRAD 7.2	4.843E-01	1.864E-05
합 계	-	-	5.240E-01	1.957E-05

○ 위의 결과에 따르면 해당 폐유는 자체처분 허용선량을 만족함.

- 연간 개인 피폭방사선량 : $5.240\text{E}-01 \mu\text{Sv/yr} < 10 \mu\text{Sv/yr}$
- 연간 집단 총 피폭방사선량 : $1.957\text{E}-05 \text{man-Sv/yr} < 1 \text{man-Sv/yr}$

제 4 장 폐유의 자체처분 시행 및 결과평가

자체처분 적합으로 규제해제를 득한 폐윤활유는 일반 사업장폐기물로 분류가 되어 폐기물관리법(법률 제 16614호, 2019. 11. 26., 시행 2020.5.27.)에 따라 사업자가 직접 처분한다.

폐유의 경우 지정폐기물로서 지정폐기물처리에대한 허가를 받은 사업자가 처분해야 한다.

원자력발전소에서 반출하는 물품은 운반 차량조사서를 작성하도록 되어있다. 차량에 대해 방사선량률을 측정하고 차량오염검사장비를 통과하여 경보가 발생하는지 확인한다.(표 12, 표 13 참조)

처분을 완료한 날로부터 30일 이내에 결과보고를 한국원자력기술원으로 제출한다.
(표 14 포함)

표 12. 폐유 운반 차량조사서

차 량 조 사 서					
적재물품		자체처분 대상물(폐유)			
차량번호	탱크로리 86거****	트레일러 번호	해당 없음		
■ 반출지에서 작성 ■ 적재상태에서 차량의 표면 및 2m 이격 위치 방사선량을 ($\mu\text{Sv/h}$)					
측정일자 : 2018.11.01.		측 정 자 : * * *			
계측기명 : G20-10		일련번호 : 31342		유효기간 : 2019.04.11	
2m 이격 표면 <u>0.13</u> <u>0.14</u>		① 운전석 (0.14) ⑧ ② ⑦ ③ ⑥ ④ ⑤		표면 2m 이격 <u>0.15</u> <u>0.14</u>	
②-④ <u>0.16</u> <u>0.14</u>				<u>0.13</u> <u>0.15</u>	
$\frac{\beta-\gamma}{(n)}$ <u>0.15</u> <u>0.15</u>				<u>0.15</u> <u>0.15</u>	
		표 면 <u>0.14</u>			
		2m 이격 <u>0.16</u>			

표 13. 폐유 운반시 차량용 오염검사장비 측정결과

측정시간	BKG 카운트	최대 측정 카운트	알람발생여부
2018.11.01 11:57	14719	13705	무

표 14. 폐유 반출 및 처분 사진

1. 발전소 본부 내 폐유저장고에서 폐유 반출(탱크로리 상차)



2. 상차 후 차량 방사선량을 측정



3. 원자력 발전소내 차량용 오염검사장비 측정(경보 미발생)



4. 계량장 무게 측정



5. 처분장(여수 와이엔텍) 하차



6. 소각 및 매립



제 5 장 결론 및 제안

본 논문에서 원자력발전소에서 발생하는 방사성폐기물 중 폐유탄유를 자체처분 하는 과정에 대해 살펴보았다.

폐유의 경우 발생원 특성상 방사성물질에 의한 오염이 거의 없으며, 액체이기 때문에 대표시료 신뢰도가 높다. 핵종분석시에도 전처리과정을 거치지 않아서 분석도 용이하다. 또한 취급과 처분이 편리한 편이라서 가장 자체처분이 활발하게 이루어지는 폐기물 중 하나이다.

대부분 자체처분 대상 폐유는 방사성물질 분석결과 검출하한치(MDA)미만이다. 그러나 매우 보수적으로 해당분석 결과를 “0” 이 아닌 “MDA 값” 으로 적용한다. 그렇기 때문에 개인 및 집단 예상피폭선량 평가결과는 최대 예상결과이며, 실제영향은 평가결과보다 더욱 낮다고 볼 수 있다.

본 연구에는 폐유의 자체처분을 알아보았지만 원자력발전소에서 시행하는 자체처분 대상물은 폐수지, 폐활성탄, 폐콘크리트, 폐토양, 철제류등이 있다.

이 중 폐수지 및 폐활성탄 역시 혼합이 용이하여 대표시료 추출이 용이하며, 신뢰도 또한 높기 때문에 자체처분이 활발하게 이루어지고 있다.

그러나 폐콘크리트나 철제류, 기타 금속 등은 시료 채취가 어렵고, 시료의 대표성을 입증하기는 쉬운 일이 아니다. 폐기물 별 자체처분 방법에 대한 가이드라인이 명확하지 않은 부분이 많으며, 상당부분을 사업자가 방법을 제안하고 입증하는 형식을 띄고 있기 때문에 다양하고 활발한 자체처분이 이루어지는 것에 한계가 있다. 따라서 자체처분을 시행하는 양은 전체 원전 방사성폐기물에 비교하면 매우 적은 양이다.

원자력발전소 내에는 철제류(공기조화기 필터 프레임) 자체처분시 사용하는 금속 오염감시기가 있다. 기기 내 바스켓 안에 일정량의 철제 묶음을 넣어 대상물내의 입자성 방사성물질의 양을 측정한다. 이미 Punching 시료 분석을 마친 후에 또 한 번의 금속오염감시기를 통한 전수검사를 하여 이중으로 자체처분 기준에 부합함을 입증 하는 것이다.

그런 후 마지막 반출시에는 차량오염감시기를 통과하여 오염여부를 또다시

Scanning 한다. 방사성물질이 거의 없다는 사실을 (Background 수준) 삼중으로 증명하는 방법이다. 이렇게 훌륭한 장비를 더욱더 활용하기를 제안한다. 자체처분대상물 중 고체의 경우, 최소 200kg 당 1kg이상의 대표시료를 채취하고 분석하여 입증하기보다 금속오염감시기나 차량오염감시기를 통한 전수검사가 더욱 정확할 수 있다. 전수검사 장비를 더욱 개발하고 보완하면 아직까지 우리나라에서 시행하지 못한 새로운 자체처분 대상물에 대해서도 전체 Scanning을 통하여 자체처분 허용 농도 및 선량 이하임을 충분히 입증 할 수 있을 것이다.

지금 대한민국은 첫 원전해체를 준비하고 있다. 다양한 종류와 다양한 형상의 방사성폐기물이 발생할 것이다. 방사선관리구역 내에서 발생하는 폐기물은 오염여부와 관계없이 기본적으로 방사성폐기물로 분류하기 때문에 비오염 방사성폐기물이 매우 많다. 따라서 대부분의 방사성폐기물을 자체처분으로 처리하겠다는 계획이지만 구체적인 방법은 전무한 상태이다. 자체처분대상폐기물을 분류하는 것부터, 방사성폐기물 발생 작업시 어떻게 오염을 최소화 할 것인가, 어떠한 방법으로 효과적인 제염을 하면서 2차 폐기물발생을 줄일 것인가, 제염을 마친 폐기물은 어떻게 대표시료 채취하고 분석하여 방사능 분석결과의 신뢰도를 높일 것인가에 대한 과제가 직면해 있다. 자체처분은 원전해체시 방사성폐기물 처분비용을 낮추고, 방사성 오염에 대한 불안감을 해소하며, 원전 해체 후 발전소 부지를 다시 안전하고 깨끗하게 국민들에게 돌려주기 위한 Keyword 가 될 것이다. 폐유 자체처분은 전 발전소에서 널리 이용하고 있고, 처분경험이 축적되어 있기 때문에 이를 통해 다양한 방사성폐기물의 자체처분을 이 끌 수 있을 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

- 1) 원자력안전법 시행령, 2020.5.26
- 2) 한국원자력안전위원회 고시 제 2020-6호, 방사성폐기물 분류 및 자체처분 기준에 관한 규정, 2020.5.26
- 3) 한국원자력안전기술원(KINS), 경수로형 원자력발전소 규제기준 및 규제지침 (KINS/RS-N1200), 2011
- 4) 한국원자력안전기술원(KINS), 방사성폐기물 자체처분 안전성평가(KINS/RG-N12.08), 2015.8.25.
- 5) 한국원자력안전기술원(KINS), 원전 및 핵주기시설 발생 방사성폐기물 규제지침 개발 (KINS/RR-659), 2019.1
- 6) 한국원자력안전기술원(KINS), 방사성폐기물 규제기술개발(KINS/RR-144), 2002.5
- 7) ICRP 72, Age-dependent Dose to the Members of the Public from intake of Radionuclides
- 8) 폐기물관리법(법률 제16614호, 2019.11.26., 시행 2020.5.27)