

Original Article

의료용 방사성폐기물 자체처분 가이드라인에 관한 고찰

분당서울대학교병원 방사선안전관리실¹, 핵의학과²
이경재^{1,2} · 설진형¹ · 이인원² · 박영재²

Discussion about the Self Disposal Guideline of Medical Radioactive Waste

Kyung-Jae Lee¹, Jin-Hyung Sul¹, In-Won Lee² and Young-Jae Park²

Department of Nuclear Medicine & Radiation Safety, Bun-Dang Seoul National University hospital, Seoul, Korea

Purpose

In the procedure of domestic medical radioactive self-disposal, there are many requests of supplementation and difficulties on the screening process. In this regard, presentation of basic guideline will improve the work processing efficiency of medical institution radioactive waste. From 2015 to 2016, We reviewed and compared a supplementary requests of domestic fifteen medical institution radioactive self-disposal Plan & Procedure manual. In connection with this, we derive the details of the radioactive waste document based on the relative regulation of nuclear safety Act. The representative supplementary requests of Korea Institute of Nuclear Safety are disposal method of non-flammability radioactive waste, storage method of scheduled self-disposal waste, the legitimacy of self-disposal and pre-treatment of self-disposal, reference radioactivity of disused filter and output of storage period, attachment the evidential matter of measurement efficiency when using a gamma counter. Through establishing a medical radioactive waste guideline, we can clearly suggest a classification standard of radioactive nuclide and the type of occurrence. As a result, we can confirm the reduction of examination processing period while preparing a self-disposal document and there is no spending expenses for business agency. Also, the storage efficiency of facility will better and reduce the economic expenses. On the basis of this guideline, we will expect a contribution to the improvement of work efficiency for officials who has a working-level difficulty of radioactive waste self-disposal.

Key Words

Medical radioactive waste, self-disposal

서 론

국내의 의료용 방사성폐기물은 원자력안전위원회 고시 제 2014-3호 ‘방사성폐기물 분류 및 자체처분 기준에 관한 규정’을 바탕으로 한국원자력안전기술원(KINS)에 방사성폐기물 자체처분 신청서, 계획서 및 절차서를 제출하고, 자체처분 심사 통과 후 각 의료기관별로 방사성 폐기물 자체처분을 진행하고 있다. 자체처분 관련 규정이 2014년 9월 16일자로 현재의 고시 규정으로 개정됨에 따라 방사성폐기물 자체처분 절차

서에 수반되어야 하는 항목들이 다수 추가되었다. 이 과정에서 심사에 필요한 자체처분 서류들의 작성 및 기입방식이 변경됨에 따라 방사성폐기물 자체처분 계획서 및 절차서의 명확한 작성기준이 제시되지 않아 각 의료기관별로 방사성 폐기물을 처분함에 있어 여러 가지 어려움을 겪고 있는 실정이다. 이에 따라, 의료용 방사성폐기물의 자체처분 시 기본적인 가이드라인을 제시함으로써 자체처분 계획서 및 절차서 작성의 공통적인 기준을 설정하고, 각 의료기관의 개별적 현황을 반영할 수 있게 함으로써 방사성폐기물 처리효율을 높이고 안전성을 강화하고자 한다.

· Received: September 29, 2017 Accepted: October 20, 2017

· Corresponding author : **Kyung-Jae Lee**

Address for correspondence : Department of Nuclear Medicine & Radiation Safety, Bun-Dang Seoul National University hospital, Seoul, Korea

Tel.: +82-31-787-3905, Fax: +82-31-787-4018

E-mail: 20067@snuh.org

대상 및 방법

2.1 연구 대상

2014년 9월 16일부터 2017년 4월 30일까지 국내 15개 의료기관에서 한국원자력안전기술원의 자체처분 심사를 통과한 의료용 방사성폐기물 자체처분 계획서 및 절차서 15편을 대상으로 하였다.

2.2 연구 방법

의료기관별 자체처분 보완내역 중 보완요청 빈도수가 가장 높은 순서대로 연구를 진행하였다. 총 7개의 항목으로 구성되어 있으며 순서대로 비가연성 폐기물의 처분방식 등의 자체처분 방법, 폐기물 저장용기 및 수량 측정 방식의 증명, 폐기물의 핵종별 농도 및 산출근거 제시, 방사능 측정 시 장비의 계측효율 증명자료, 자체처분 예정 폐기물의 저장방법, 자체처분의 정당성 및 자체처분 전 조치사항, 폐기물의 종류 및 현황 등의 자체처분 상세내역 작성 순이다. 각 항목들을 기준으로 의료기관별 작성내역과 이에 따른 보완요청사항들을 비교·검토하여 법적규제 현황에 가장 적합한 의료용 방사성폐기물 자체처분(안)을 제시하였다.

결 과

3.1 비가연성 폐기물의 처분방식 등의 자체처분 방법 작성

다수의 의료기관에서 방사성 폐기물의 종류나 특성을 고려하지 않고 처분방식을 소각으로 통일하여 기재하였음을 발견할 수 있었다. 비가연성 폐기물의 개념을 인지하고, 이에 대한 명확한 처리방식을 제시하여 방사성폐기물 처분의 안전성이 확보되어야 하기 때문에 방사성폐기물의 자체처분 방법을 다음의 네 가지 사항을 기준으로 작성하는 것이 적합함을 확인할 수 있었다.

1. 자체처분 방법의 법적 절차 및 근거 제시

본원에서 발생한 방사성폐기물은 자체처분 기간에 도달하면 「원자력안전법시행령 제107조 방사성폐기물 자체처분의 절차 및 방법」에 의거하여 자체처분 시 총리령으로 정하는 바에 따라 자체처분계획서에 관계서류를 첨부하여 한국원자력안전기술원을 경유한 후 원자력안전위원회에 제출한다.

2. 가연성/비가연성 폐기물의 구분 및 그 과정에서 부수적으로 발생하는 폐기물의 처분방법

자체처분계획서가 적합한 것으로 원자력안전위원회로부터 통지를 받으면 계획서 제출 후 1~2개월 이상경과 후 본원의 폐기물 관리지침에 따라 일반 의료폐기물로 분리하여 폐기물 용역업체에 의뢰하여 위탁 처리한다. 가연성 폐기물은 완전 연소로 소각 처리되며 비가연성 폐기물은 소각, 압축 또는 매립 등의 방법으로 폐기 처리된다. 따라서 본원에서 발생한 의료폐기물은 재활용 없이 모두 소각 또는 매립 처리 된다.

3. 위탁처리 시 처분현황의 기록 관리

위탁처리 시 방사성폐기물에 부착되어 있는 방사성물질표시는 완전히 제거하고 폐기물 종류별로 분리하여 넣은 후 위탁, 소각 처리되며 그 내역은 자체처분 기록지와 폐기물 관리장부에 기록하여 관리한다.

4. 폐기물 처분 용역업체 내역 제시

의료폐기물 위탁처리업체: 도시환경주식회사
사업자등록증: 127-81-78632
주소: 경기도 연천군 전곡읍 간파리 391
전화: (031)833-8800

Fig. 1. This figure is a Details of medical waste disposal company.

						부록 별첨	
						제 약 책 명 제 2016-1-5-1899-30 호	
올림픽 표준계약서							
계 약 자	발 주 자	국립합성터	상 호 : 도시환경공사회사				
	계 약 대 상 자		사 정 조 례 번호 : 127-01-79632				
			주 소 : 경기도 전천군 천곡읍 간리동 391		전화번호 : 031-833-8800		
			대표 자 : 김광호				
계 약 내 容	계 약 의 목 적	올림픽기공을 위한지하구조물역					
	계 약 액 금 액	올림픽역조각구축공사대여사전환금(W159,324,000)					
	총 공사 부 가 가액	올림픽역조각구축공사대여사전환금(W159,324,000)					
	지 약 보 통 금	159324000					
	지 채 산 결 결	1000만보통으로					
계 단 의 기 타 사 항	계 약 기 간 : 2017년 01월 01일 ~ 2017년 12월 31일 (365일연속)						
국립합성터 계약담당과 계약상대자는 상호 대등한 입장에서 불이익의 계약당해시에 대하여도 일방적으로 계약을 재협상 신청하고 상대방이 이를 묵시적으로 승낙하는 경우에도 계약상의 의무를 이행할 책임은 부담하며, 이 계약의 종료로서 계약서를 작성하여 당사자가 기명날인 후 각자의 1부에 보관한다. 별첨사항 : 1. 계약당해처리 1부 2. 물품구매계약 특수조건 1부 3. 입찰권한서류 1부							
2016. 12. 22. 국립합성터 계약담당 총책 도시환경공사회사  인 사 장 우정민							
올림 내역서 계약 당국 또는 제2차공사 의요청서(공) 계약착수(공)							
발행 ☐ 계약 ☒ 폐지 ☐		발령관리처 담당자		계약(영) 159,324,000 원		아르진	
관선 등록번호 : N-AAPC-2016-10648				국립합성터 			

Fig. 2. This figure is a Contract document.

3.2 방사성폐기물 수량 측정 용기 보유 여부 및 증빙 자료

각 의료기관에서 발생하는 방사성폐기물의 수량을 기재 시에는 폐기물을 저장하는 용기에 대한 증빙자료나 폐기물 수량 계량에 관한 방식이 명확히 기재되어 있지 않아 한국원자력안전기술원에 신고한 방사성폐기물의 자체처분 신고수량과 실제 자체처분수량이 상이한 경우를 확인할 수 있었다. 폐기물 발생량을 증빙용기에 의거하여 객관적으로 증명하고, 자체처분 신고수량과 실제 자체처분수량의 오차를 줄이기 위해 폐기물의 계량 방식과 저장용기에 관한 기재방식을 분석한 결과 다음과 같은 안이 도출되었다.

1. 계량 방법

본원은 방사성폐기물 포장 봉입 시 종류별, 핵종별로 구분하여 분기 보고량과 포장 보관량과의 오차를 줄이고, 관리를 수월하게 하기 위해 분기 또는 년 단위를 기준으로 포장을 실시하였다. 계량에 있어 상대적으로 적은 양은 사진자료 상단의 1L, 2L 및 5L 용기로 계량하고, 상대적으로 많은 양은 중단 및 하단의 10L, 20L, 25L, 30L 및 50L 플라스틱 용기를 이용하여 계량하고 있다. 단, 박스가 채워지지 않은 경우에는 실제 담겨진 수량(부피)을 기록하여 보관하며, 측정된 양으로 발생량 혹은 포장량을 기록하고 있다(Fig. 3).



Fig. 3. This figure is a Radioactive waste mensuration method and container.

2. 폐기물의 수량 계량 및 포장사진

본원의 방사성폐기물은 종류별로 구분하여 의료용 폐기물 박스 혹은 용기에 넣어 포장하고 있으며 각 상자 및 용기에는 용량이 기록되어 있다. 사용 폐기물 용기는 각각 2 L, 10 L, 20 L, 사용 폐기물 박스는 29 L, 35 L, 63 L 이다. 필터는 필터전용 박스에 포장하고 있으며 용량은 130 L 이다(Fig. 4).

3.3 폐기물의 핵종별 농도 및 산출근거

방사성 폐기물은 방사성핵종의 종류와 형태, 사용되는 기 자재에 따라 다양한 분포를 이루고 있다. 의료기관별로 취급 이 상이한 각 폐기물들에 대한 보관기간 산출방식을 통일하여 방사성 폐기물 핵종의 종류 및 형태에 따른 보관기간을 객관 적 근거를 제시하여 산출하고, 자체처분 시 법적 허용농도 이 하임을 증명하기 위해 방사성 폐기물을 크게 I-125 계열, I-125 이외의 계열, 폐 필터 계열 세 가지로 구분하여 다음의 산출방 식이 도출되었다.



Fig. 4. This figure is a Radioactive waste storage container.

1. 핵종별 보관기간 산출(I-125)

기준방사능량 및 보관기간 산출 시 I-125 계열의 방사성폐기물은 사용 품명, 품명 방사능량 및 테스트 수를 근거로 제시하여야 한다(Fig. 5, 6, 7).

2. 핵종별 보관기간 산출(I-125외)

방사성핵종의 종류 및 특성에 따른 용도와 용량을 기준으로 제시하여야 한다(Fig. 8).

3. 폐필터 보관기간 산출

사용기간이 만료된 배기필터의 자체처분 여부를 증명할 경우, 기존에는 MCA SYSTEM 혹은 LSC 측정치를 이용하여 증명하는 방식이 주로 사용되었다. 배기설비의 사용 장소에 따른 구분과 예상방사능량의 보수적인 산정방식을 통하여 폐필터의 보관기간의 증명을 간소화하였다(Fig. 9, 10, 11).

- 핵종은 필터의 사용기간 동안 사용한 핵종에 한해서만 평가한다.

- 폐필터의 무게는 프레임을 제외한 값으로 산정한다.

- 보관된 폐기물중 폐기 대상 중 가장 최근 것으로 2016년 2월 22일 교체 건으로 평가함.

- 폐필터 예상 방사능량: 1년간 총 사용량(분기보고 된 총량) 혹은 방사성 동위원소 허가증 내 연간 허가량 중 하나를 택 일하여 산정한다. 본 계획서에서는 2015년 1분기부터 2016년 1분기까지의 분기 보고된 총량을 보수적으로 계산하였다.

- 이론적 방법을 적용하여 평가한 방사능 농도에 자체적인 가중치(S/F) 1.2배를 적용하여 산정한 값을 검출목표치로 정한다. (필터 내 방사능 농도(Bq/g) = 비방사능(Bq/g) x 1.2)

- 치료병실은 I-131 핵종만 반영하되, 타 사용시설은 사용핵종을 모두 반영하도록 한다.

핵종 및 폐기물 종류에 따른 보관기간 산정		
1. 방사성폐기물별 보관기간 산정 자료		
가. 핵종별 검사방법		
핵종	사용절차	발생되는 폐기물
I-125 (TSH 검사등)	-KIT형태(100test)로 구입 -test별로 검체와 반응시킨 후 액체를 제거하고 폐기	-tube -poly vial -vial
F-18	-.[¹⁸ F]-FDG로 합성 -환자 1인당 F-18을 분배실에 있는 Dose calibrator로 측정하여 185~555MBq를 환자에게 주사	-vial -syringe -needle
Tc-99m (Bone Scan)	-매일 오전 8시경 저장실의 Generator에서 진공 Vial을 이용 Tc-99m추출 -Tc-99m을 분배실에서 MDP와 혼합 -분배실에서 1cc Syringe로 740MBq를 분배 -환자에게 주사(주사 후 3~4시간 후에 검사)	-vial -syringe -needle
I-131	-옥소치료병실에서 치료목적 -환자에게 최대 7,400MBq를 경구 투여	-잡고체

- 검사시 일정량을 분배하여 환자에게 전량 투여하므로 폐기물 중에 잔량이 남지 않는다. 다만, needle, vial, syringe등의 내벽에 미량이 묻어 있을 것으로 판단된다.

- 그러나 보수적인 판단을 위하여 최대 사용량을 기준으로 보관기간을 산정하였다.

Fig. 5. This figure is the inspection method of each radionuclide.

나. 핵종별 사용량 및 발생폐기물 종류

핵종	반감기	검사명	사용량	방사성폐기물 종류
I-125	60.2d	TSH 검사등	5.15×10^3 Bq	vial, tube, 잔고체
F-18	1.83h	F-18-FDG(Whole Body Scan)	5.55×10^8 Bq	vial, syringe, needle
Tc-99m	6.02h	Whole Body Bone Scan	7.4×10^8 Bq	vial, syringe, needle
I-131	8.0d	Thyroid 치료 및 진단,	7.4×10^9 Bq	잔고체, 폐필터

- * 위 표는 본 원에서의 검사항목 중 가장 많은 양의 선원을 사용하는 검사명을 기술한다.
- * 보관기간 산정 시 Safety factor(1.2)를 곱하여 산정한다.

다. 핵종별 발생폐기물의 방사능농도 계산

핵종	폐기물 종류	무게(g)	방사능량(Bq)	방사능농도(Bq/g)
I-125	Tube	2.56	8.14×10^3	3.18×10^3
	Poly Vial	8.07	8.14×10^3	1.01×10^3
	Glass Vial	15.00	8.14×10^3	5.43×10^2
F-18	Vial	13.50	5.55×10^8	4.11×10^7
	Syringe	2.22	5.55×10^8	2.50×10^8
	Needle	0.74	5.55×10^8	7.50×10^8
Tc-99m	Vial	14.59	7.4×10^8	5.07×10^7
	Syringe	2.22	7.4×10^8	3.33×10^8
	Needle	0.74	7.4×10^8	1.00×10^9
I-131	잔고체	1.80	7.4×10^9	4.11×10^9
	폐필터		별첨자료 참조	

Fig. 6. This figure is the type of radioactive waste, radionuclide usage and radioactive waste radiation dose.

2. 핵종 및 폐기물 종류별 보관기간 산정

가. I-125 폐기물 종류별 보관기간 산출

주 사용하는 In-Vitro kit

품 명	Test수	Activity	
TSH	100 T	515 kBq	5.15E+3 Bq/test
Free T4	100 T	310 kBq	3.10E+3 Bq/test
T3	100 T	172 kBq	1.72E+3 Bq/test
CEA	100 T	592 kBq	5.92E+3 Bq/test
α-FP	100 T	814 kBq	8.14E+3 Bq/test

본원에서 사용하는 검사 중 가장 큰 방사능을 갖는 검사에 사용되는 품목의 방사능량을 기준으로 1 test 전량이 폐기된다고 가정하여 보관기간을 산정한다.

① I-125 tube

tube의 방사능	$8.14 \times 10^3 \text{ Bq}$
tube의 무게	2.56g
tube의 방사능농도(I_0)	$3.18 \times 10^3 \text{ Bq/g}$
I-125의 반감기	60.2 days
자체처분 가능 방사능농도(I)	100 Bq/g
가중치(Safety factor)	1.2

◎ 보관기간산출

$$I = I_0 (1/2)^n$$

$$n = \frac{\ln(I/I_0)}{\ln(1/2)} = \frac{\ln(100/3.18 \times 10^3)}{\ln(1/2)}$$

$$n = \frac{-3.46}{-0.693} = 4.99$$

$$N = 4.99 \times 1.2 = 5.99$$

I_0 : 최초 핵종의 Activity

I : n 반감기후 Activity = 100 Bq/g

n : 핵종의 Activity가 I_0 에서 I 로 될 때까지 반감기

N : 가중치(Safety factor)를 곱한 폐기물의 보관 반감기

∴ 약 5.99 반감기, 즉 360.54일이 필요하므로 보관기간은 최소 11.82개월

Fig. 7. This figure is the storage period calculating formula (I-125).

다. Tc-99m 폐기물 종류별 보관기간 산출

① Tc-99m vial

vial의 방사능량	$7.4 \times 10^8 \text{Bq}$
vial 한 개의 무게	14.59g
vial의 방사능 농도(I_0)	$5.07 \times 10^7 \text{Bq/g}$
Tc-99m의 반감기	6.02hours
자체처분가능 방사능 농도(I)	100Bq/g
가중치(Safety factor)	1.2

◎ 보관기간산출

$$I = I_0 (1/2)^n$$

$$n = \frac{\ln(I/I_0)}{\ln(1/2)} = \frac{\ln(100/5.07 \times 10^7)}{\ln(1/2)}$$

$$n = \frac{-13.1}{-0.693} = 18.95$$

$$N = 18.95 \times 1.2 = 22.74$$

I_0 : 최초 핵종의 Activity

I : n 반감기후 Activity = 100 Bq/g

n : 핵종의 Activity가 I_0 에서 I 로 될 때까지 반감기

N : 가중치(Safety factor)를 곱한 폐기물의 보관 반감기

∴ 약 22.74 반감기, 즉 136.91 시간이 필요하므로 보관기간은 최소 5.7일

Fig. 8. This figure is the storage period calculating formula (excluding I-125).

마. 폐필터 보관기간 산출

- *핵종은 필터의 사용기간 동안 사용한 핵종에 한해서만 평가한다.
- *보관된 폐기물중 폐기 대상 중 가장 최근 것으로 2016년 2월 22일 교체건으로 평가함.
- *사용 기간에 해당하는 사용기간으로 2015년 1분기부터 2016년 1분기까지의 분기 보고된 총량을 보수적으로 최대사용량으로 계산한다.
- *이론적 방법을 적용하여 평가한 방사능 농도에 자체적인 가중치(S/F) 1.2배를 적용하여 산정한 값을 검출목표치로 정한다.(필터 내 방사능 농도(Bq/g) = 비방사능(Bq/g) x 1.2)

배기설비 구분	SPECT실 배기			옥소치료병실	PET-CT실
핵 종	Tc-99m	I-123	I-125	I-131	F-18
사용기간 최대 사용량 (MBq)	6,740,993	30,687	249.0344	1,090,723	661,153
필터포집률:	99.90% (보수적으로 최대한 높게 가정)				
비산율	1.00E-07	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04
폐필터 예상방사능량	연간사용량 x 핵종의 비산율 x 필터의 포집률				
Bq	673,425.20	3,065,631.30	24,878.54	108,963,227.70	66,049,184.70

비산율 : (高田茂他, 방사능물질의 종류와 취급방법에 따른 비산율 계산법 Radioisotope, 32(5), 260-269 (1983))

Fig. 9. This figure is the basis of calculation for a disused filter storage period.

② HEPA Filter 보관기간 산정

배기설비 구분	SPECT실 배기			옥소치료병실	PET-CT실
핵 종	Tc-99m	I-123	I-125	I-131	F-18
HEPA Filter 무게(g)	13,000	13,000	13,000	13,000	13,000
Frame 제외한 무게(g)	10,500	10,500	10,500	10,500	10,500
비방사능(Bq/g) (폐필터 예상방사능량/ Frame 제외한 무게(g))	64.14 =673,425.2/ 10,500	291.96 =3,065,631.3/ 10,500	2.37 =24,878.54/ 10,500	10,377.45 =108,963,227.7/ 10,500	6,290.40 =66,049,184.7/ 10,500
핵종의 반감기(day)	0.25	0.55	60.20	8.00	0.08
hours	6.02	13.2			1.83
필터 내 방사능농도 (비방사능 x 1.2 가중치 적용)	76.96	350.36	2.84	12,452.94	7,548.48
자체처분 허용농도	100	100	100	10	10
$I=I_0(1/2)^n$					
$\ln(I/I_0)$	0.262 =LN(100/ 76.96)	-1.254 =LN(100/ 350.36)	3.560 =LN(100/ 2.84)	-7.127 =LN(10/ 12,452.94)	-6.627 =LN(10/ 7,548.48)
$\ln(1/2)$	-0.693	-0.693	-0.693	-0.693	-0.693
$n=\ln(I/I_0)/\ln(1/2)$	-0.378	1.809	-5.136	10.282	9.560
보관기간 (일)	-0.095	0.995	-309.206	82.258	0.729

Fig. 10. This figure is the storage period formula by each nuclide (waste Hepa Filter).

④ 각 Filter별 보관기간

배기설비 구분	SPECT실 배기			옥소치료병실	PET-CT실
핵 종	Tc-99m	I-123	I-125	I-131	F-18
PRE Filter 보관일	1.007일	3.411일	즉시가능	117.397일	1.064일
HEPA Filter 보관일	즉시가능	0.995일	즉시가능	82.258일	0.729일
Carbon Filter 보관일	0.359일	1.989일	즉시가능		1.027일
Charcoal Filter 보관일				74.821일	

* 최대 118일 이후 일반폐기물로 전환 가능(최대 117.397일)

Fig. 11. This figure is Storage Duration of each filter by nuclide.

3.4. 방사능 측정 시 장비의 계측효율 증명자료

감마카운터를 이용한 방사성폐기물의 기준방사능 측정에서 [CPM]단위를 [Bq]단위로 환산하는 과정을 증명할 수 있는 계측효율 증빙자료가 누락된 항목들을 발견할 수 있었다. 방사성 폐기물 자체처분 보관기간의 정확성을 증명할 수 있도록 장비 및 핵종의 종류별 효율 증명자료를 제시하여야 한다(Fig. 12, 13).

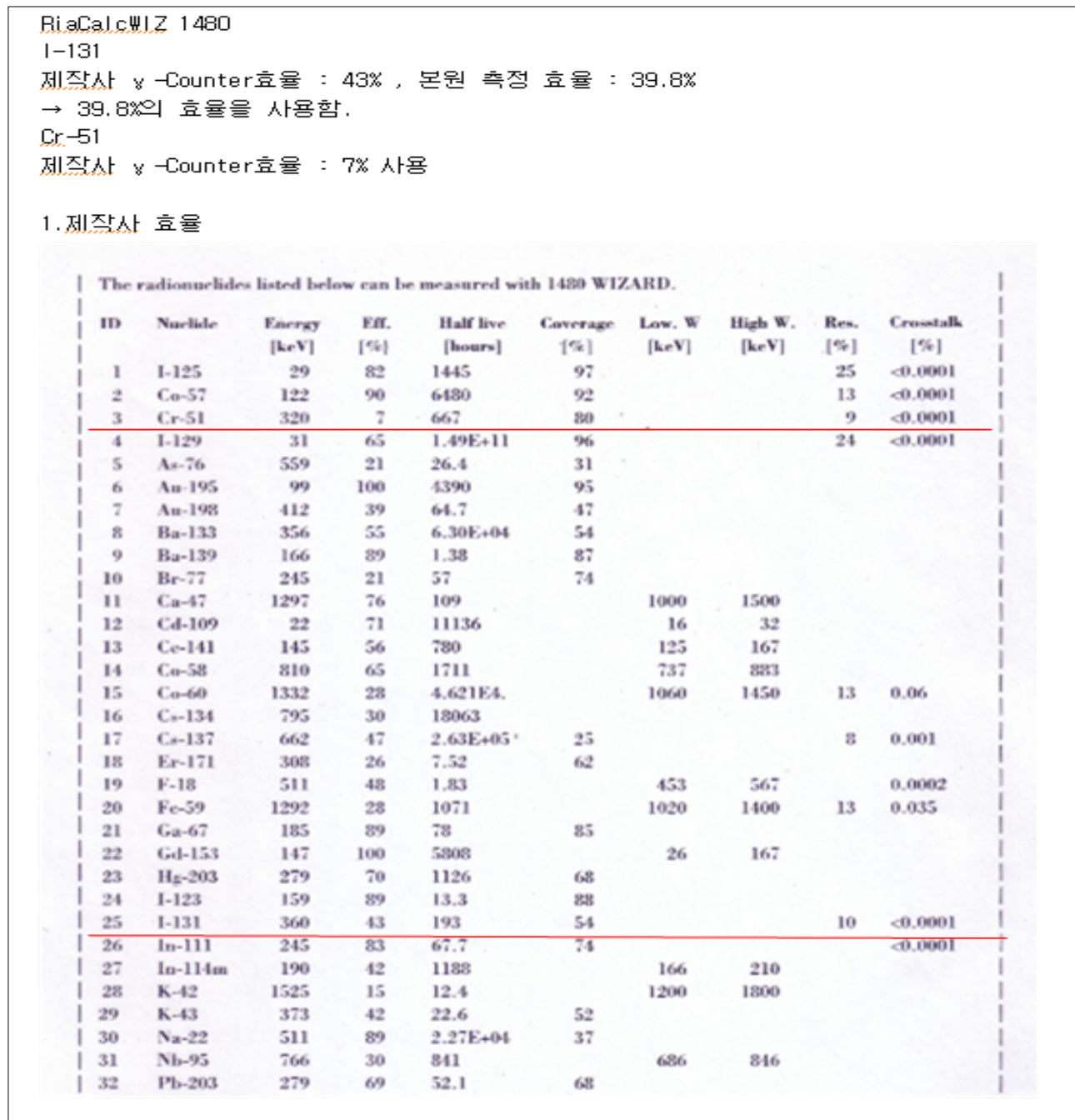


Fig. 12. This figure is Gamma counter measurement efficiency by manufacturer.

2. 자체 측정 계측기 효율

Dose Calibrator에서 1mCi 의 ^{131}I Sample을 측정하여 1000cc 용 Beaker에 희석한 후 Pipette를 이용하여 1cc 를 분주하면 $1\text{ }\mu\text{Ci/cc}$ 가 되고 다시 $1\text{ }\mu\text{Ci/cc}$ 를 취하여 증류수 1cc 를 희석한 후 1cc 를 취하면 Sample 2의 Activity는 $0.5\text{ }\mu\text{Ci/cc}$ 가 된다. 같은 방법으로 2배수 희석을 계속 반복하면 아래의 표. 1)과 같은 Activity를 갖는 Sample을 만들 수 있다.

*표. 1) Sample Activity(A_s)

Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Activity($\mu\text{Ci/cc}$)	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500

이러한 Sample은 본원의 Gamma Counter를 이용하여 2분간 1번씩 계수하면 계수율(R_0 CPM)을 구할 수 있다. 계수된 방사성동위원소 Activity를 A_s μCi 라고 하면 감마카운터 계측기 효율은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\text{계측기 효율} &= \frac{R_0(\text{CPM})}{A_s(\mu\text{Ci}) \times 3.7 \times 10^4 (\text{Bq}/\mu\text{Ci}) \times 60 (\text{CPM}/\text{CPS})} \times 100\% \\ &= 4.5 \times 10^{-5} \times R_0/A_s (\%) \end{aligned}$$

*표. 2) Sample 계수율 (R_0)

Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
계수율	449403.2	439668.3	445826.2	446583.2	439153.6	440596.6	448464.1	430379.7	440768.8	447576.7
BG	36.5	36.5	27	24	35	31.5	29	33.5	25.5	33

표. 1)의 (A_s)와 표. 2)의 (R_0)를 상기 식을 이용하여 계측기 효율을 구하면 표. 3)과 같으며 평균 39.8%가 된다.

*표. 3) 계측기 효율

Sample	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	평균
계측기 효율	40.4%	39.6%	40.1%	40.2%	39.5%	39.6%	40.3%	38.7%	39.7%	40.3%	39.8%

Fig. 13. This figure is Gamma counter efficiency by self-measurement.

3.5 자체처분 예정 폐기물의 저장방법

폐기물의 저장방법이 선별, 수거 및 분리 항목과 구분되지 않고 표현되어, 저장기준이 구체적으로 제시되지 않은 경우가 발견되었다. 한국원자력안전기술원에서 권고하는 저장방법을 근거로 다음과 같은 안을 도출하였다.

1. 폐기물이 수거봉지에 가득차면 수거봉지를 봉입하고, 봉입일자, 봉입 시 농도, 자체처분 예정일자, 부피 및 표면 선량을 용기에 기록하여 수거봉지에 부착한다(Table 1).
2. 봉입한 수거봉지는 폐기물저장실로 운반하여 종류별로 보관한다.
3. 수거봉지는 발생순서대로 보관하여 선입·선출이 가능하도록 한다.

Table 1. The mark of collecting bag

코드번호			
해 중		폐기물 종류	
부 피		자체처분 예정일자	
발생일자		봉입일자	
선 량 율		봉입 시 농도	

3.6 자체처분의 정당성 및 자체처분 전 조치사항

자체처분의 정당성 기재 시, 주로 처분비용의 절감에 따른 경제적 효과를 강조하는 경우가 많아, 인체와 환경에 미치는 영향이나, 저장 공간의 효율성 등의 부수적인 근거들이 뒷받침되지 못하는 경우가 발견되었다. 또한, 자체처분 전 조치사항이 별도의 항목으로 구분되지 않고, ‘자체처분 방법’ 항목에 같이 언급되거나 자체처분 이전의 전반적인 진행과정에 선행되는 조치가 모두 기재되어 있지 않는 경우도 확인할 수 있었다. 이에 따라, 자체처분의 정당성을 명시할 경우, 다음의 세 가지를 고려하여 작성하는 안을 도출하였으며, 자체처분 전 조치사항은 한국원자력안전기술원(KINS)의 권고 안을 작성으로 다음과 같이 기술하였다(Fig. 14).

1. 사람과 환경에 미치는 영향
2. 위탁 폐기할 경우 장기간 보관, 처분 비용
3. 방사성폐기물 처분장 부담 등으로 인한 위탁처분과 비교 시의 정당성

Fig. 14. This figure is a description entry (legitimacy of self-dispose).

1. 자체처분의 정당성

의료기관에서 발생하는 개봉 방사성동위원소에 의한 방사성폐기물은 인체에 사용하기 때문에 독성이 낮고 반감기가 짧은 것을 사용하고, 방사능량 또한 낮아 저준위 및 극저준위 방사성폐기물로 분류하여 단기간의 보관을 통해서 법적 기준치 이내로 방사능 감쇄가 용이하다. 이 때 발생하는 폐기물은 방사성폐기물인 동시에 의료폐기물이기도 하며 자체처분이 가능한 기간 동안 보관 후 방사성폐기물 자체처분심사를 통해 핵종별 농도가 자체처분 허용농도 미만으로 입증된 방사성폐기물은 원자력안전법 적용대상에서 제외되어 방사성 폐기물이 아닌 일반폐기물로 승인을 받을 수 있으며 환경부 폐기물관리법에 의거하여 처리가 가능하다. 이를 통해 폐기물처리 비용에 있어 위탁폐기와 비교 시 비용절감효과가 있으며, 만약 자체처분이 아닌 위탁처분으로 대체할 경우 병원은 폐기물의 장기간 보관의 필요성을 인식하지 못하게 되어 발생 즉시 위탁처분을 시행할 것이고, 발생 직후의 방사성폐기물을 운반하게 되어 자체처분에 비해 많은 양의 방사성동위원소가 운반과정 중 환경에 노출될 가능성이 높아지게 된다. 또한 저준위 방사성폐기물 발생량의 많은 부분을 차지하는 병원 방사성폐기물이 방사성폐기물 처분장에 저장됨으로 인해 중·고준위 방사성폐기물 보관에 필요한 방사성폐기물 처분장이 병원의 저준위 방사성폐기물로 채워지게 될 것이다. 이러한 방사성폐기물 처분장의 비효율적인 공간이용은 보관시설의 저장효율을 낮추게 되는 요인이 된다. 의료폐기물은 소각 또는 압축, 매립 방법 등으로 처리하며, 2차 발생폐기물은 재활용되거나 일반인과 접촉되지 않는다. 따라서 재사용이 불가능하고 미량의 방사성동위원소조차 일반인에게 노출될 위험이 없다. 이를 토대로 자체처분을 통해서 방사성폐기물을 처분하여도 인체와 환경에 충분한 안전을 보장할 수 있다. 결과적으로, 병원에서 발생하는 방사성폐기물은 자체처분으로 처분하는 것이 위탁처분에 비해 더 높은 정당성을 가지고 있다.

2. 자체처분 전 조치사항

① 자체처분 전 방사성폐기물에 부착된 표지등 방사성물질 표시는 완전히 제거하고 위탁, 고온 소각 처리되며 그 내역은 자체처분 기록지에 기록·관리한다.

② 자체처분 대상 폐기물은 취급·저장 또는 운반 과정에서 방사성 물질 등이 주변으로 전이되거나 확산되지 않도록 철저히 관리한다.

③ 소각할 예정인 자체처분 대상 폐기물은 가능한 부주의하게 재활용 되지 않도록 한다.

3.7 폐기물 종류 및 현황 등의 자체처분 상세내역 작성

방사성 핵종과 방사성 폐기물의 정보, 자체처분 내역이 하나의 서식으로 통일되어 있지 않거나 각 항목별 구분형식이 정형화되어 있지 않아 자체처분 현황을 도식화하여 파악하는데 다소 불편함이 발생함을 확인 할 수 있었다.

자체처분 가능여부의 수치적 근거를 제시하고, 신뢰성을 확보하기 위하여 다음과 같은 안이 도출되었다(Fig. 15).

1. 폐기물 농도 : 폐기물 발생종료 시점의 비방사능값(기준 방사능)
2. 자체보관기간 : 공문 발송일 ~ 폐기물 발생종료일까지의 기간
3. 처분가능 보관기간 : 보관기간 산출식과 가중치를 적용하여 계산
4. 공문 발송일 농도 : 공문발송 시점의 비방사능값
5. 자체처분 가능여부 : 공문 발송일 농도가 **[별표 1] “방사성핵종별 자체처분 허용농도 미만”**임을 확인

결론 및 고찰

본 연구를 통해 방사성폐기물 자체처분 가이드라인 작성과 관련하여 보완요청이 가장 많았던 항목으로는 단위나 수량 등의 표기오류 내역으로 확인되었으며, 다음으로 원자력안전위원회 고시 등의 변경에 따른 자체처분 절차서와 첨부 서류들의 형식이 변경 되었음에도, 기존의 규정을 바탕으로 작성하거나 자체처분 현황을 실정에 맞게 반영하지 못한 부분도 발견되었다. 방사성동위원소 등의 사용에 따른 방사성폐기물 발생 시 자체처분 가이드라인 구축을 통한 기대효과로는 첫째, 자체처분 계획서 및 절차서 작성에 소요되는 시간단축 및 업무처리 효율성이 증대된다는 점을 확인 할 수 있었다. 둘째, 한국원자력안전위원회 산하 한국원자력안전기술원의 심사 시 심사기간 단축으로 폐기물을 신속하게 처리가 가능하므로 의료기관 내 방사성폐기실의 보관시간이 단축되고, 방사성폐기물의 저장효율이 증대되었다. 셋째, 대부분의 의료기관은 업무대행기관을 통해 방사성폐기물을 처리하고 있으며, 업무대행 및 위탁처분과 비교 시 자체처분 가이드라인 구축으로 인한 비용절감 효과가 크다는 점을 확인할 수 있다. 가이드라인 작성을 통해 국내에서 최초로 방사성폐기물 자체처분에 관한 표준안을 제시하였다는 점은 향후 관련 연구에도 많은 도

허용농도별 방사성폐기물 자체처분 (허용농도 100Bq 핵종)																
폐기물 정보				방사성 핵종 정보						자체처분 정보						
폐기물의 종류	수량(ℓ)	발생시작	발생종료(ℓ)	폐기물농도 (Bq/g)	핵종	반감기(ℓ)	측정일자	표면선량률 (μSv/h)	측정일자	방사능농도 (Bq/g)	공문 발송일 (ℓ)	자체보관기간 (B-A)(ℓ)	처분가능 보관기간 (N)(ℓ)	공문 발송일 농도(Bq/g)	자체처분 가능여부	처분예정일
가(잡고체)	400	2015/1/1	2015/12/31	1.18E+07	Tc-99m	0.3	2015-12-31	0.2			2016/4/4	95	5.1	0.00	○	2016/7/27
가(실린지)	300	2015/1/1	2015/12/31	5.05E+08	Tc-99m	0.3	2015-12-31	0.2			2016/4/4	95	6.7	0.00	○	2016/7/27
비(바이알)	100	2015/1/1	2015/12/31	2.97E+09	Tc-99m	0.3	2015-12-31	0.2			2016/4/4	95	7.4	0.00	○	2016/7/27
비(3웨이 니들)	150	2015/1/1	2015/12/31	8.01E+03	Tc-99m	0.3	2015-12-31	0.2			2016/4/4	95	1.9	0.00	○	2016/7/27
(동물사체)	90	2015/1/1	2015/12/31	3.70E+05	Tc-99m	0.3	2015-12-31	0.2			2016/4/4	95	3.6	0.00	○	2016/7/27
가(실린지)	50	2015/1/1	2015/12/31	5.05E+07	Ti-201	3.041	2015-12-31	0.2			2016/4/4	95	69.1	0.02	○	2016/7/27
비(바이알)	50	2015/1/1	2015/12/31	3.13E+07	Ti-201	3.041	2015-12-31	0.2			2016/4/4	95	66.6	0.01	○	2016/7/27
비(3웨이 니들)	120	2015/1/1	2015/12/31	4.86E+06	Ti-201	3.041	2015-12-31	0.2			2016/4/4	95	56.8	0.00	○	2016/7/27
가(류브)	6200	2014/1/1	2014/12/31	8.28E+02	I-125	60	2014-12-31	0.2			2016/4/4	460	219.6	4.08	○	2016/7/27
가(물레이트)	50	2014/1/1	2014/12/31	1.47E+01	I-125	60	2014-12-31	0.2			2016/4/4	460	-199.5	0.07	○	2016/7/27
가(바이알)	200	2014/1/1	2014/12/31	6.17E+03	I-125	60	2014-12-31	0.2			2016/4/4	460	428.1	30.35	○	2016/7/27

Fig. 15. This figure is status table (Radioactive waste self-disposal).

움을 줄 것으로 기대된다. 특히, 각 의료기관에서 사용되는 방사성 핵종의 종류와 용도, 환자에 대한 투여량 등이 다양하기 때문에 국내 모든 의료기관에서 보편적으로 통용될 수 있는 방사성폐기물 자체처분(안)의 작성에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

요 약

국내 의료용 방사성폐기물 자체처분과 관련하여 심사과정에서 많은 보완을 거치게 되고, 이 과정을 통과함에 많은 어려움을 겪고 있다. 이에 따라 의료용 방사성폐기물의 자체처분 시 기본적인 가이드라인을 제시함으로써 의료기관의 방사성 폐기물 처리효율을 높이하고자 한다. 2015년부터 2016년까지 국내 15개 의료기관의 의료용 방사성폐기물 자체처분 절차서 및 계획서 작성 시 보완 요청된 사항들을 비교·검토하였으며, 이와 관련하여 원자력 안전법 관련 규정을 기준으로 방사성폐기물 자체처분 시 서류작성에 필요한 세부 작성안 들을 도출하였다. 한국원자력안전기술원의 대표적인 보완요청사항들은 비가연성 폐기물의 처분방법, 자체처분 예정 폐기물의 저장방법, 폐기물 자체처분의 정당성 및 자체처분 전 조치사항, 배기필터의 기준방사능 및 보관기간 산출, 폐기물 수량 측정 용기 보유 여부 및 증빙자료, 감마카운터 사용 시 측정효율 증빙자료 첨부임을 확인할 수 있었다. 또한 의료 방사성 폐기물 자체처분 가이드라인 구축을 통해 방사성동위원소 핵종 및 발생유형별 분류기준 등을 명확히 제시하였다. 이를 통해, 자체처분 서류 작성에 따른 시간의 단축과 업무대행 지출비용이 발생되지 않음을 확인할 수 있었고 방사성 폐기물의 장기간 보관에 따른 보관시설의 저장효율이 좋아지고 경제적 비용도 절감됨을 알 수 있었다. 본 가이드라인을 바탕으로 방사성폐기물 자체처분의 실무적인 어려움을 겪고 있는 관계자들의 업무효율 향상에 기여할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 원자력안전위원회 고시 제 2014-3호 방사성폐기물 분류 및 자체처분 기준에 관한 규정.
2. 방사성폐기물 자체처분절차서 및 관리절차서(한국원자력의학원).
3. Measurement and Estimation for the Clearance of Radioactive Waste Contaminated with Radioisotopes for Medical Application (PROGRESS in MEDICAL PHYSICS Vol. 25, No. 1, March, 2014).
4. 高田茂他, 방사능물질의 종류와 취급방법에 따른 비산율 계산법, Radioisotope, 32(5), 260~269(1983).
5. 연구실 폐기물 처리 안내(KAIST Safety & Security Team / January 2014).
6. 방사능 분석법(한양대학교, 방사선안전신기술연구센터)
7. 고창순 핵의학 제3판.