

Original Article

방사성폐기물 자체처분 작성시 보완사항에 관한 고찰

분당서울대학교의료기관 핵의학과¹ 지앤지래드콘²

이경재¹ · 박성우¹ · 박영재¹ · 박인식²

Consideration on supplementary matters when preparing radioactive waste self-disposal

Kyung-Jae Lee¹, Sung-woo Park¹, Young-Jae Park¹ and In-Sik Park²

¹Department of Nuclear Medicine, Bundang Seoul National University hospital, Seoul, Korea

²GNGRADCON

Purpose

Recently, in the process of examining the self-disposal of radioactive waste by the Korea Institute of Nuclear Safety, it is difficult to reach the final approval process for self-disposal. In connection with this, we intend to increase the processing efficiency of self-disposal and strengthen safety by analyzing cases of recent supplementary matters.

Materials and Methods

From 2018 to 2021, we compare and review a supplementary requests that preparing the procedures and plans for the self-disposal of radioactive waste by 20 institutions. In this regard, based on the provisions of the Atomic Energy Safety Act, we derive a detailed proposals for the self-disposal of radioactive waste by arranging the review processing period calculation and supplementary requests that occurred during the review process.

Results

The representative supplementary requests of the Korea Institute of Nuclear Safety are the calculation of the storage period by type and nuclide of radioactive waste, the contents of the packaging container, the RASIS reporting method, the planned storage method for self-disposal, confirmation of the final disposal company, and the storage period of the waste filter Calculation, radioactive labeling, etc. And it is emphasized as important.

Conclusion

The expected effects of the guidelines reflecting the latest supplements include reduction of the time required for document preparation and increase of work processing efficiency, improvement of storage efficiency in the radioactive waste storage room, and economic cost reduction. If the radioactive waste self-disposal guideline presented in this study is applied to the field, it is thought that it will be helpful in improving the work efficiency of those who are experiencing difficulties.

Key Words

Radioactive waste, self-disposal plan, supplementary matter

서 론

국내의 의료용 방사성폐기물은 원자력안전위원회 고시 제 2020-6호 “방사성폐기물 분류 및 자체처분 기준에 관한

규정”을 바탕으로 한국원자력안전기술원(KINS)에 방사성 폐기물 자체처분 신청서, 계획서 및 절차서를 제출하고, 자체처분 심사 통과 후 각 의료기관별로 방사성 폐기물 자체처분을 진행하고 있다. 자체처분 관련 규정이 2020년 5월 26일자로 현재의 고시 규정으로 개정됨에 따라 방사성폐기물 자체처분 절차서에 수반되어야 하는 항목들이 다수 추가 되었다. 이 과정에서 최근 한국원자력안전기술원의 방사성폐기물의 자체처분을 심사하는 과정에서 많은 보완을 거치게 되고, 기관별로 자체처분 최종 승인 과정에 도달하는데 어려움

• Received: April 11, 2022 Accepted: May 2, 2022

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

• Department of Nuclear Medicine, Bundang Seoul National University hospital, Seoul, Korea

50-1 Gumi-dong, Bundang-gu, Gyeong-Gi-do, 13620, Korea

Tel: +82-2-5145-4470, Fax: +82-2-787-4018

E-mail: 20067@snuh.org

을 겪고 있다.

이에 따라 최근 한국원자력안전기술원 보완사항의 사례를 분석 및 정리하여 각 의료기관 담당자들과 공유함으로써 자체처분의 처리 효율을 높이고 안전성 강화를 도모하는 방안을 알아보고자 한다.

대상 및 방법

1. 연구 대상

본 연구에서는 2018년 7월 1일부터 2021년 9월 30일까지 국내 15개 의료기관에서 한국원자력안전기술원의 자체처분 심사를 통과한 의료용 방사성폐기물 자체처분 계획서 및 절차서 15편을 대상으로 하였다.

2. 연구 방법

의료기관별 자체처분 보완내역 중 보완요청 빈도수가 가장 많은 순서대로 연구를 진행하였다. 총 6개의 항목으로 구성되어 있으며 최근 보완내역 중 가장 높은 빈도를 차지하는 것이 폐 필터 평가와 관련된 내용이고, 다음으로는 폐기물의 핵종별 농도 및 산출근거 그리고 자체처분 업체에 대한 증빙서류 보완, 그 다음으로서는 자체처분에 따른 부수적으로 발생하는 폐기물에 대한 처분 방법, RASIS 보고기록에 대한 보완 요청, 폐납 컨테이너 관리에 대한 보완이었으며, 이밖에도 각 의료기관마다의 상황에 맞는 보완들이 발생되고 있는 실정이다.

항목들을 기준으로 각 의료기관별 작성내역과 이에 따른 보완요청 사항들을 비교 검토 하였으며, 이와 관련하여 원자력안전법 규정을 기준으로 심사 처리기간 산출 및 심사 과정

에서 발생한 보완요청 사항들을 정리하여 방사성폐기물 자체처분 시 서류에 필요한 세부작성 안들을 도출하였다.

결 과

1. 의료기관 보완요청 항목과 보완 건 수 항목

15개 의료기관의 협조 하에 자료를 제출해 주신 의료기관들의 보완 내용을 분석한 결과 아래와 같은 보완들이 주로 발생한 것을 확인 할 수 있었다.

최근 보완내역 중 가장 높은 빈도를 차지하는 것이 폐 필터 평가와 관련된 내용이고, 그 다음으로서는 폐기물의 핵종별 농도 및 산출 근거, 그리고 자체 처분 업체에 대한 증빙보완과 기타 수집 관리에 대한 내용이나 폐 납 컨테이너에 대한 내용 순서였으며 이 밖에도 각 의료기관마다의 상황에 맞는 보완 내용들이 나오고 있었다.

구분 대상	자체처분 계획서, 절차서, 보완요청내역 등 서류	
	심사 처리 기간	
빈도 순위	의료기관 보완요청 항목	보완 건수
1	배기 폐필터와 관련된 농도 및 산출근거	21
2	폐기물의 핵종별 농도 및 산출근거	18
3	처리 처분 업체와 관련된 보완	11
4	자체처분으로 부수적으로 발생하는 폐기물에 대한 처분 방법	9
5	RASIS 보고기록에 대한 보완 요청 (기타 수집, 관리)	7
6	폐납 컨테이너 관리에 대한 보완	5

Fig 1. This figure is complementary list.

2. 배기 폐필터 관련 농도 및 산출근거

KINS 보완 내용

- 폐필터에 빠진 핵종을 추가하여 보관기간 재평가

- 필터의 사용기간 및 연간 허가량을 기반으로 보관기간 재계산

- 다수 핵종이 섞여 있는 필터의 경우, 자체처분 허용농도를 “분율합 1”로 수정

- 세부 발생원 별로 폐필터를 나누어 기재 바람.

보완 답변

5. 각 Filter별 보관기간

핵종별 구분	원자량과 핵기										지표병상	사이클로트론
핵 종	Tc-99m	I-125	F-18	I-123	Ga-68	Lu-177	Y-90	Pb-210	Po-210	Th-232	I-131	F-18
PRE Filter					155일						132일	2일
HEPA Filter					43일						97일	2일
Charcoal Filter					37일						90일	2일
Carbon Filter					43일						96일	2일

❖ 세부 계산 별도 첨부.

Fig 2. This figure is waste filter evaluation.

1. PRE Filter 보관기간 산정

사용 장소별 핵종별
별도 산출

보완 방법(안)

RASIS 핵종 사용량을
입력하여 핵종별
보관기간을 평가함

핵종	Tc-99m	I-125	F-18	I-123	Ga-68	Lu-177	Y-90	Ho-166	Zr-89	I-131	F-18
핵종별 연간 사용량(MBq)	11,116,095	7,911	774,233	558,700	21,127	67,155	21,330	185	2,109	3,777,700	17,316,000
필터포집률:	99.90% (보수적으로 최대한 높게 가정)										
비산율	1.00E-07	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-07	1.00E-07	1.00E-03	1.00E-04	1.00E-04
폐필터 예상방사능량	사용기간 최대사용량 x 핵종의 비산율 x 필터의 포집률										
Bq	1,111,610	791,100	77,423,300	55,870,000	21,127,000	67,155,000	2,133	19	2,109,000	377,770,000	1,731,600,000

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

핵종별 예상 방사능량 산출 계산

핵종	Tc-99m	I-125	F-18	I-123	Ga-68	Lu-177	Y-90	Ho-166	Zr-89	I-131	F-18
PRE Filter 무게(g)	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100	1,100
Frame 제외한 무게(g)	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
비방사능(Bq/g)	2,223.22	1,582.20	154,846.60	111,740.00	42,254.00	134,310.00	4.27	0.04	4,218.00	755,540.00	3,463,200.00
(폐필터 예상방사능량 / Frame 제외한 무게(q))	0.25	60	0.08	0.55	0.05	6.8	2.7	1.12	3.27	8	0.08
핵종의 반감기(day)	6.02		1.83	13.2	1.127		64.6	26.8	78.41		1.83
hours	144.48		43.92	316.8	27.048		1550.4	643.2	1881.84		43.92
검출목표 방사능농도 (비방사능 x 1.2 가중치적용)	2,667.86	1,898.64	185,815.92	134,088.00	50,704.80	161,172.00	5.12	0.04	5,061.60	906,648.00	4,155,840.00
자체처분 허용농도	100	100	10	100	0.1	100	1000	100	0.1	10	10
$I=I_0(1/2)^{t/n}$											
$\ln(I/I_0)$	-3.28	-2.94	-9.83	-7.20	-13.14	-7.39	5.27	7.72	-10.83	-11.41	-12.94
$\ln(1/2)$	-0.693	-0.693	-0.693	-0.693	-0.693	-0.693	-0.693	-0.693	-0.693	-0.693	-0.693
$n=\ln(I_0/I)/\ln(1/2)$	4.74	4.25	14.18	10.39	18.96	10.66	-7.61	-11.14	15.63	16.47	18.67
보관기간 (일)	1.2	254.9	1.1	5.7	0.9	72.5	즉시	즉시	51.1	131.8	1.5
(농도의 비율 1미만일)					255일					132일	2일

Fig 3. This figure is PRE Filter calculation of storage institutions.

가장 많은 보완 사항이 있었던 배기 폐필터 관련 농도 및 산출근거에 대한 내용을 보면 주로 사용 핵종 별 보관기간 평가가 주를 이루었다. 요약 하자면 폐 필터의 종류별, 사용 장소별, 사용 핵종별 평가를 하여 종합적으로 보관기간을 산출하는 것이 핵심이다.

우선 평가를 위해서 엑셀시트를 만들어 기간별 사용량에 따른 장소별 방사능량을 계산한다. 먼저 RASIS의 이용자인

전관리 기능을 이용해 대상 기간별 핵종별 사용량을 확인한 다음 그 값과 비산율을 이용해 예상 방사능량을 구하게 된다. 이때 장소별 사용 핵종을 구분해서 계산한다.

같은 방식으로 PRE Filter, HEPA Filter, CHARCOAL Filter, CARBON Filter 등 각각의 필터별로 계산하여 보관 기간을 산출해야 한다. 폐 필터의 예상 방사능량을 구하게 되면 필터별 무게에 따라 비방사능을 구하고 그 값으로 자체처

2. HEPA Filter 보관기간 산정

Pre, HEPA, Carbon Charcoal 각각 산출

핵종별
비방사능 계산

보완 방법(안)

핵종	Tc-99m	I-125	F-18	I-123	Ga-68	Lu-177	Y-90	Ho-166	Zr-89	I-131	F-18
핵종별 연간 사용량(MBq)	11,116,095	7,911	774,233	558,700	21,127	67,155	21,330	185	2,109	3,777,700	17,316,000
필터포집률:	99.90% (보수적으로 최대한 높게 가정)										
비산율	1.00E-07	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-07	1.00E-07	1.00E-03	1.00E-04	1.00E-04
폐필터 예상방사능량	사용기간 최대사용량 x 핵종의 비산율 x 필터의 포집률										
Bq	1,111,610	791,100	77,423,300	55,870,000	21,127,000	67,155,000	2,133	19	2,109,000	377,770,000	1,731,600,000

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

핵종	Tc-99m	I-125	F-18	I-123	Ga-68	Lu-177	Y-90	Ho-166	Zr-89	I-131	F-18
PRE Filter 무게(g)	13,000	13,000	13,000	13,000	13,000	13,000	13,000	13,000	13,000	13,000	13,000
Frame 제외한 무게(g)	10,500	10,500	10,500	10,500	10,500	10,500	10,500	10,500	10,500	10,500	10,500
비방사능(Bq/g)	105.87	75.34	7,373.65	5,320.95	2,012.10	6,395.71	0.20	0.00	200.86	35,978.10	164,914.29
(폐필터 예상방사능량 / Frame 제외한 무게(q))	0.25	60.00	0.08	0.55	0.05	6.80	2.70	1.12	3.27	8	0.08
핵종의 반감기(day)	6.02		1.83	13.2	1.127		64.6	26.8	78.41		1.83
hours	144.48		43.92	316.8	27.048		1550.4	643.2	1881.84		43.92
검출목표 방사능농도 (비방사능 x 1.2 가중치적용)	127.04	90.41	8,848.38	6,385.14	2,414.51	7,674.86	0.24	0.00	241.03	43,173.71	197,897.14
자체처분 허용농도	100	100	10	100	0.1	100	1000	100	0.1	10	10
$I=I_0(1/2)^{t/n}$											
$\ln(I/I_0)$	-0.24	0.10	-6.79	-4.16	-10.09	-4.34	8.32	10.76	-7.79	-8.37	-9.89
$\ln(1/2)$	-0.693	-0.693	-0.693	-0.693	-0.693	-0.693	-0.693	-0.693	-0.693	-0.693	-0.693
$n=\ln(I_0/I)/\ln(1/2)$	0.35	-0.15	9.79	6.00	14.56	6.26	-12.00	-15.53	11.24	12.08	14.28
보관기간 (일)	0.1	즉시	0.8	3.3	0.7	42.6	즉시	즉시	36.7	96.6	1.1
(농도의 비율 1미만일)					43일					97일	2일

Fig 4. This figure is HEPA Filter Calculation of storage institutions.

3. Charcoal Filter 보관기간 산정

핵기설비 구분	핵의학과 핵기										지료병실	사이클로트론
핵종	Tc-99m	I-125	F-18	I-123	Ga-68	Lu-177	Y-90	Ho-166	Zr-89	I-131	F-18	
핵종별 연간 사용량(MBq)	11,116,095	7,911	774,233	558,700	21,127	67,155	21,330	185	2,109	3,777,700	17,316,000	
필터포집률:	99.90% (보수적으로 최대한 높게 가정)											
비산율	1.00E-07	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-07	1.00E-07	1.00E-03	1.00E-04	1.00E-04	
팩밀터 예상방사능량	사용기간 최대사용량 x 핵종의 비산율 x 필터의 포집률											
Bq	1,111,610	791,100	77,423,300	55,870,000	21,127,000	67,155,000	2,133	19	2,109,000	377,770,000	1,731,600,000	

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

보완 방법(안)

핵기설비 구분	핵의학과 핵기										지료병실	사이클로트론
핵종	Tc-99m	I-125	F-18	I-123	Ga-68	Lu-177	Y-90	Ho-166	Zr-89	I-131	F-18	
PRE Filter 무게(g)	45,000	45,000	45,000	45,000	45,000	45,000	45,000	45,000	45,000	45,000	45,000	
Frame 제외량 무게(g)	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	20,000	
비방사능(Bq/g)												
(팩밀터 예상방사능량/ Frame 제외량 무게(g))	55.58	39.56	3,871.17	2,793.50	1,056.35	3,357.75	0.11	0.00	105.45	18,888.50	86,580.00	
핵종의 반감기(day)	0.25	60.00	0.08	0.55	0.05	6.80	2.70	1.12	3.27	8.00	0.08	
hours	6.02		1.83	13.2	1.127		64.6	26.8	78.41		1.83	
검출목표 방사능농도 (비방사능 x 1.2 가중치적용)	66.70	47.47	4,645.40	3,352.20	1,267.62	4,029.30	0.13	0.00	126.54	22,666.20	103,896.00	
자체저분 허용농도	100	100	10	100	0.1	100	1000	100	0.1	10	10	
$I=I_0(1/2)^{t/n}$												
$\ln(I/I_0)$			-6.14	-3.51	-9.45	-3.70	8.96	11.41	-7.14	-7.73	-9.25	
$\ln(1/2)$			-0.693	-0.693	-0.693	-0.693	-0.693	-0.693	-0.693	-0.693	-0.693	
$n=\ln(I/I_0)/\ln(1/2)$			-0.58	-1.08	8.86	5.07	13.63	5.33	-12.93	-16.46	10.31	
보관기간 (일)	측시	측시	0.7	2.8	0.6	36.3	측시	측시	33.7	89.2	1.1	
(농도의 비율 1미만일)					37일					90일	2일	

비방사능 가중치 1.2 적용 후 핵종별 허용 농도 대입

사용 장소별 핵종별 별도 산출

Fig 5. This figure is CHARCOAL Filter Calculation of storage institutions.

분 허용농도에 맞는 값이 되기 위한 반감기가 얼마인지를 구한다. 그리고 그 값에 가중치를 곱하여 반감기를 곱해주면 핵종별 보관기간이 나오는데 그 값을 분율의 합으로 구한다.

최종적으로 장소별 분율의 합을 구해 보관 기간을 산출하게 된다. 앞서 본 각각의 계산은 필터와 사용 장소별로 계산하여 산출해야 한다.

3. 폐기물 핵종별 농도 및 산출

최근 추세를 보면 체외검사실에서 대표적으로 사용 중인 핵종인 I-125에 대한 보관기간 산출 보완내용이 많았고, 체외검사실이 있는 의료기관들에서는 I-125처럼 긴 보관기간으로 폐기물 보관량이 많을 것으로 예상된다.

4. Carbon Filer 보관기간 산정

핵기설비 구분	핵의학과 핵기										지료병실	사이클로트론
핵종	Tc-99m	I-125	F-18	I-123	Ga-68	Lu-177	Y-90	Ho-166	Zr-89	I-131	F-18	
핵종별 연간 사용량(MBq)	11,116,095	7,911	774,233	558,700	21,127	67,155	21,330	185	2,109	3,777,700	17,316,000	
필터포집률:	99.90% (보수적으로 최대한 높게 가정)											
비산율	1.00E-07	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-04	1.00E-03	1.00E-03	1.00E-07	1.00E-07	1.00E-03	1.00E-04	1.00E-04	
팩밀터 예상방사능량	사용기간 최대사용량 x 핵종의 비산율 x 필터의 포집률											
Bq	1,111,610	791,100	77,423,300	55,870,000	21,127,000	67,155,000	2,133	19	2,109,000	377,770,000	1,731,600,000	

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

보완 방법(안)

핵기설비 구분	핵의학과 핵기										지료병실	사이클로트론
핵종	Tc-99m	I-125	F-18	I-123	Ga-68	Lu-177	Y-90	Ho-166	Zr-89	I-131	F-18	
PRE Filter 무게(g)	14,000	14,000	14,000	14,000	14,000	14,000	14,000	14,000	14,000	14,000	14,000	
Frame 제외량 무게(g)	11,500	11,500	11,500	11,500	11,500	11,500	11,500	11,500	11,500	11,500	11,500	
비방사능(Bq/g)												
(팩밀터 예상방사능량/ Frame 제외량 무게(g))	96.66	68.79	6,732.46	4,858.26	1,837.13	5,839.57	0.19	0.00	183.39	32,849.57	150,573.91	
핵종의 반감기(day)	0.25	60.00	0.08	0.55	0.05	6.80	2.70	1.12	3.27	8.00	0.08	
hours	6.02		1.83	13.2	1.127		64.6	26.8	78.41		1.83	
검출목표 방사능농도 (비방사능 x 1.2 가중치적용)	115.99	82.55	8,078.95	5,829.91	2,204.56	7,007.48	0.22	0.00	220.07	39,419.48	180,688.70	
자체저분 허용농도	100	100	10	100	0.1	100	1000	100	0.1	10	10	
$I=I_0(1/2)^{t/n}$												
$\ln(I/I_0)$	-0.15	0.19	-6.69	-4.07	-10.00	-4.25	8.41	10.86	-7.70	-8.28	-9.80	
$\ln(1/2)$	-0.693	-0.693	-0.693	-0.693	-0.693	-0.693	-0.693	-0.693	-0.693	-0.693	-0.693	
$n=\ln(I/I_0)/\ln(1/2)$	0.21	-0.28	9.66	5.87	14.43	6.13	-12.14	-15.66	11.11	11.95	14.14	
보관기간 (일)	0.1	측시	0.8	3.2	0.7	41.7	측시	측시	36.3	95.6	1.1	
(농도의 비율 1미만일)					42일					96일	2일	

사용 장소별 필터 종류별 보관기간 산출 (분율 합)

Fig 6. This figure is CARBON Filter Calculation of storage institutions.

KINS 보완 내용	보완 답변												
- I-125 Vial의 폐기를 종류별 보관기간 재산정. - 방사성폐기물(바이알)의 잔류 방사능량 수정 후 재평가(1회 구매시 최대 구매량 기준). - 현재 취급하는 핵종 중에 자체처분절차서에 포함되지 않은 핵종을 추가 바람.	④ I-125 tube <table> <tr><td>tube의 방사능</td><td>9.80×10⁵Bq</td></tr> <tr><td>tube의 무게</td><td>2.77g</td></tr> <tr><td>tube의 방사능농도(I₀)</td><td>3.538×10⁵Bq/g</td></tr> <tr><td>I-125의 반감기</td><td>60 days</td></tr> <tr><td>자체처분 가능 방사능농도(I)</td><td>100 Bq/g</td></tr> <tr><td>가중치(Safety factor)</td><td>1.2</td></tr> </table> ◎ 보관기간산출 $I = I_0 (1/2)^n$ $n = \frac{\ln(I/I_0)}{\ln(1/2)} = \frac{\ln(2.83 \times 10^{-2})}{\ln(1/2)}$ $n \approx 5.143$ $N = 5.143 \times 1.2 = 6.172$ ∴ 약 6.2반감기, 즉 372일이 필요하므로 보관기간은 최소 124개월	tube의 방사능	9.80×10 ⁵ Bq	tube의 무게	2.77g	tube의 방사능농도(I ₀)	3.538×10 ⁵ Bq/g	I-125의 반감기	60 days	자체처분 가능 방사능농도(I)	100 Bq/g	가중치(Safety factor)	1.2
tube의 방사능	9.80×10 ⁵ Bq												
tube의 무게	2.77g												
tube의 방사능농도(I ₀)	3.538×10 ⁵ Bq/g												
I-125의 반감기	60 days												
자체처분 가능 방사능농도(I)	100 Bq/g												
가중치(Safety factor)	1.2												

Fig. 7 This figure is concentration calculation.

보완 방법(안)

② I-125 plastic vial(가연성) <table> <tr><td>vial의 방사능량</td><td>9.8×10⁵Bq</td></tr> <tr><td>vial 한 개의 무게</td><td>6.2562g</td></tr> <tr><td>vial의 방사능 농도(I₀)</td><td>1.57×10⁵Bq/g</td></tr> <tr><td>I-125의 반감기</td><td>60days</td></tr> <tr><td>자체처분가능 방사능 농도(I)</td><td>100 Bq/g</td></tr> <tr><td>가중치(Safety factor)</td><td>1.2</td></tr> </table> ◎ 보관기간산출 $I = I_0 (1/2)^n$ $n = \frac{\ln(I/I_0)}{\ln(1/2)} = \frac{\ln(100/1.57 \times 10^5)}{\ln(1/2)}$ $n \approx 10.616$ $N = 10.616 \times 1.2 = 12.739$ ∴ 약 12.739 반감기, 즉 765일이 필요하므로 보관기간은 최소 2년 1개월	vial의 방사능량	9.8×10 ⁵ Bq	vial 한 개의 무게	6.2562g	vial의 방사능 농도(I ₀)	1.57×10 ⁵ Bq/g	I-125의 반감기	60days	자체처분가능 방사능 농도(I)	100 Bq/g	가중치(Safety factor)	1.2	③ I-125 glass vial(비가연성) <table> <tr><td>vial의 방사능량</td><td>7.0×10⁵ Bq</td></tr> <tr><td>vial 한 개의 무게</td><td>10.1214 g</td></tr> <tr><td>vial의 방사능 농도(I₀)</td><td>6.96×10⁴ Bq/g</td></tr> <tr><td>I-125의 반감기</td><td>60days</td></tr> <tr><td>자체처분가능 방사능 농도(I)</td><td>100 Bq/g</td></tr> <tr><td>가중치(Safety factor)</td><td>1.2</td></tr> </table> ◎ 보관기간산출 $I = I_0 (1/2)^n$ $n = \frac{\ln(I/I_0)}{\ln(1/2)} = \frac{\ln(100/6.96 \times 10^4)}{\ln(1/2)}$ $n \approx 9.44$ $N = 9.44 \times 1.2 = 11.33$ ∴ 약 11.33 반감기, 즉 680일이 필요하므로 보관기간은 최소 1년 9개월	vial의 방사능량	7.0×10 ⁵ Bq	vial 한 개의 무게	10.1214 g	vial의 방사능 농도(I ₀)	6.96×10 ⁴ Bq/g	I-125의 반감기	60days	자체처분가능 방사능 농도(I)	100 Bq/g	가중치(Safety factor)	1.2
vial의 방사능량	9.8×10 ⁵ Bq																								
vial 한 개의 무게	6.2562g																								
vial의 방사능 농도(I ₀)	1.57×10 ⁵ Bq/g																								
I-125의 반감기	60days																								
자체처분가능 방사능 농도(I)	100 Bq/g																								
가중치(Safety factor)	1.2																								
vial의 방사능량	7.0×10 ⁵ Bq																								
vial 한 개의 무게	10.1214 g																								
vial의 방사능 농도(I ₀)	6.96×10 ⁴ Bq/g																								
I-125의 반감기	60days																								
자체처분가능 방사능 농도(I)	100 Bq/g																								
가중치(Safety factor)	1.2																								

보완 방법(안)

■ I-125 비가연성 Vial (I-2 : 비가연)

◎ 측정방법

본원에서 사용하는 비가연성 kit중 방사능이 가장 높은 Prolactin (814kBq/100test) 품목의 단위 방사능량을 전량 폐기하였다고 가정하고 g당 방사능 값을 계산하였음.

◎ 보관기간 산출

▶ I-125 Vial 최대방사능량은 814kBq이고 Vial의 무게는 60.1g이므로 13.5kBq/g이다.

♦ I-125 허용농도: 100 Bq/g → 목표농도: 50 Bq/g 기준치: 1.2

▶ I=I₀ (1/2)ⁿ에서 $n = \ln(50/13,500)/\ln(0.5) = (-5.60)/(-0.693) = 8.08$

▶ 보관기간 N=n×1.2=9.7

∴ 약 9.7반감기 즉 9.7×60.2일=583.8일이 필요하므로 보관기간은 최소 584일

I-125 가연성 Vial (I-2 : 비가연)			
방사능 (Bq)	814,000	무게 (g)	60.1
g당 방사능 (Bq/g)	13,500	보관기간(일)	584

증정 방법 명시하여
농도계산 후 보관기간
산출

보완 방법은 아래 그림(Fig. 7)을 참고하여, 작성하면 된다.

Vial당 방사능량에 대해 RASIS에 실제 구입 하는 제품 중 가장 높은 방사능량을 기준으로 계산하게 된다. 해당 방사능량에 따라 Vial의 실제 무게를 측정해 방사능 농도를 구해주

고 반감기와 자체처분 가능 방사능 농도를 구해 보관기간 산출 식으로 보관기간을 산출하게 되며, 계산된 값이 몇 반감기 인지 산출되면 가중치를 곱하고 그 계산된 값에 반감기를 곱해 최종 보관기간을 정할 수 있다.

체외검사실 Kit 중 가장 높은 품목 단위의 방사능량을 전량 폐기하였다고 가정하고 방사능 값을 보수적으로 계산하여 보관기간을 산출하여, 작성하면 된다.

4. 산업폐기물 처리 처분 업체 관련

산업폐기물 처리 처분 업체 관련해서는 주로 폐필터와 연하여 산업폐기물을 수거 처리 할 수 있는 업체를 명확히 정해서 처리하도록 보완이 이루어지고 있다. 보완 방법은 아래

를 참고하여 작성하면 된다.

아래와 같이 수집 운반 업체 와 최종 처리업체를 확인하여 관련 허가를 받은 기관을 선정해 주어야한다. 폐 필터 등 산업폐기물은 의료폐기물의 수집 운반 중간처분업체와 최종 처리업체를 별도로 분리하여 산업폐기물(폐필터)용 수집 운반 및 최종 처리가 가능한 업체를 통해 처리 되는지 확인하여 보완해야 한다.

KINS 보완 내용

보완 답변

- 산업폐기물(폐필터)의 최종처분업체 확인 및 증빙자료 제출.

- (주)OOOO개발은 폐필터를 수거할 수 있는 수집·운반 업체이긴 하나 폐기물을 최종 처분업을 가지고 있지 않아 처분할 수는 없는 업체이므로 중간처분업과 최종처분업을 보유하고 있는 다른 위탁업체를 기재 바람.

- 혹시 위탁업체가 선정되지 않은 경우에는 미정으로 기재하여 주시고, 차후에 관련기록을 비치할 예정임을 명시하여 주시기 바람.

❖ 산업폐기물 처리업체 확인 및 증빙자료를 절차서에 수정 업데이트 하였습니다.

▶ 의료폐기물(동물사체 등 포함) 수거 및 처분 업체

	폐기물 수집·운반 업체	폐기물 중간 처분 업체	폐기물 최종 매립업체
업체명	창원 시립의료원	창원 시립의료원	창원 시립의료원
사업자등록번호	312-1111111	312-1111111	312-1111111
소재지	충남 천안	충남 천안	충남 천안
연락처	041-123-4567	041-123-4567	041-123-4567

▶ 산업폐기물(폐필터) 수거 및 처리 업체

수정(후)	폐기물 수집·운반 업체	폐기물 최종 처리 업체
업체명	(주)OOOO개발	(주)OOOO개발
사업자등록번호	133-1111111	133-1111111
소재지	경기 고양	경기 고양
연락처	031-123-4567	031-123-4567

Fig 8. This figure is industrial waste disposal company.

[첨부4] 자체처분 방법 및 예정 목적지

자체처분 방법 및 예정 목적지

분당서울대병원에서 발생된 폐기물은 원자력 안전위원회에서 승인된 방사성폐기물 처분 절차서의 내용에 따라 자체처분시점까지 폐기를 참고에 보관한다. 자체처분 가능한 방사성 폐기물은 방사성폐기물에 부착된 보관용기용 표지 등을 완전히 제거한 후 본원의 폐기물 지침에 따라 본원의 폐기물 용역업체에 의뢰하여 위탁 처리, 처분한다.

(단, 비가연성 폐기물의 경우에는 소각 또는 압축매립 방법 등으로 처분한다.)

또한, 그 내역은 자체처분기록표에 기록하여 관리한다.

▶ 의료폐기물(동물사체 등 포함) 수거 및 처분 업체

업체명	폐기물 수집·운반 업체	폐기물 중간 처분 업체	폐기물 최종 처리 업체
사업자등록번호	이영 209	이영 408	이영 266
소재지	서울 보문 50-	광주 690-	충청 오창
연락처	02-512-1234	062-123-4567	043-123-4567

▶ 산업폐기물(폐필터) 수거 및 처리 업체

수정(후)	폐기물 수집·운반 업체	폐기물 최종 처리 업체
업체명	(주)OOOO개발	(주)OOOO개발
사업자등록번호	133-1111111	133-1111111
소재지	경기 고양	경기 고양
연락처	031-123-4567	031-123-4567

보완 방법(안)

산업폐기물 수집 운반 최종 처리업체 별도 명시

KINS 보완 내용	보완 답변
- 자체처분 작업으로 인해 부수적으로 발생하는 방사성폐기물 처리 내용 보완	[첨부5] 자체처분으로 인하여 부수적으로 발생하는 폐기물의 수량 1. 자체처분으로 인하여 부수적으로 발생하는 폐기물의 수량 분당 서울대학교병원에서 발생하는 방사성폐기물은 본원 폐기물창고에서 적정기간 보관 후 자체처분이 가능한 방사능농도(1~100Bq/g)가 되면, 병원의 폐기물처리지침에 따라 '의료폐기물'과 '산업폐기물'로 분류되어 위탁 처리 예정으로 가연성은 소각 처리, 비가연성은 소각 후 압축매립 등으로 처분할 예정이며 자체처분 작업 시 사용한 장갑, 마스크 등 일회용품은 잡고체로 따로 수거 후 폐기물 관리 절차에 따라 처리 할 것임. 비닐 박스 용기는 자체처분 시 용량에 포함됨으로 같이 처분됨.

자체처분 작업으로 발생하는 폐기물들에 대한 내용을 명시해 줌

Fig 9. This figure is incidental waste.

5. 자체 처분 작업으로 발생하는 폐기물 처리 내용

또한 최근 자체처분 작업으로 인해 부수적으로 발생하는 폐기물 처리에 대한 단순 내용 보완이 많았는데 관련 문구를 추가 삽입함으로써 쉽게 보완을 완료 할 수 있었다. 주로 자체처분 작업 시 사용한 장갑 마스크 등을 잡고체로 별도 수거 후 절차에 따라 처리하는 내용을 삽입하는 것으로 보완이 가능했다.

RASIS 보고 기록에 대한 보완 요청이다. 주로 기타 수집 관리에 전반적인 부분들이 골고루 보완이 나오고 있는 것을 확인 할 수 있었다.

선별 수집 시점에 방사성마크 부착내용을 보완하는 것 역시 많은 내용이 나오고 있다. 한국원자력안전기술원에서 최근 수집 중이던 방사성폐기물이 일반폐기물로 오인되어 처분되는 사례가 간혹 발생하고 있다고 하여, 수집 시점부터 용기에 방사능표지를 부착하고 절차서에 해당 내용을 명시 하도록 하고 있다.

6. RASIS 보고 기록에 대한 보완 (기타 수집 관리)

KINS 보완 내용	보완 답변
- RASIS 폐기물 관리 전체 발생보관폐기량 중 일부만 자체처분 되어, 남아 있는 보관잔량에 대한 방사성폐기물의 정보를 확인할 수 없으므로 차기 신청 방사성폐기물 이력을 확인할 수 있도록 월별/분기별 관리코드번호 또는 핵종 및 폐기물종류를 비교란에 작성 바람.	RASIS에 방사성폐기물 분기 보고 시 보완 내용을 이행하겠습니다.
- 자체처분 상세내역에 기재된 발생일자 는 자체처분 대상으로 신청한 방사성폐기물 박스 중 가장 오래된 발생 시작일~ 최근 봉입일까지로 모두 수정 기재 바람.	해당 내용들을 이행하겠다는 답변 후 세부 수정을 진행. 장부상에 발생 일자 해당 보완 내용과 같이 수정하였습니다.
- 자체처분절차서(15페이지)에 수집시점부터 수거함에 방사능표지가 부착되도록 수거 방법 수정	15p 내용 방사능표지가 부착된 수거함에 수거함으로 내용 수정하였습니다. (별도 설명)

Fig 10. This figure is edit the report of RASIS.

선별 및 수집

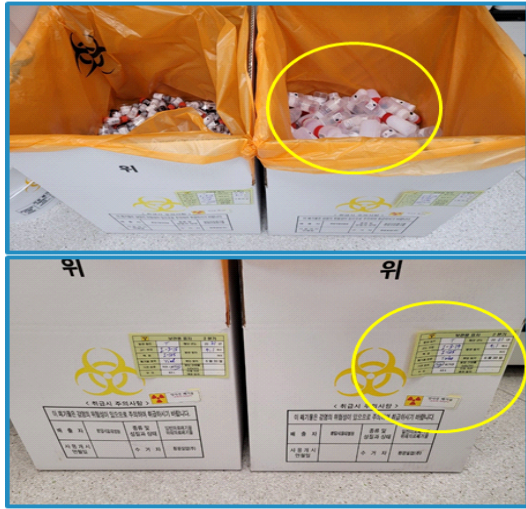


Fig 11. This figure is radioactive sign.

아래 그림(Fig. 12)과 같이 수집 단계에서부터 방사능표지 “방사성폐기물 스티커(관계자 외 취급 금지) 문구 부착”을 해야 하며, 이러한 부분을 방사성폐기물 절차서에 명시하여 선 대응해야 한다.

방사성폐기물의 방사능표지 부착 관련 주의사항 공지

1. 관련
- 「방사선 안전관리 등의 기술기준에 관한 규칙」 제21조(보관시설) 제4호
2. 방사성 폐기물은 자체처분 또는 위탁폐기 등의 방법으로 적합하게 처분되어야 하나, 수집 중이던 방사성 폐기물이 일반 폐기물로 오인하여 처분되는 사례가 최근에 발생하고 있습니다.
3. 이에 방사성 폐기물을 일반 폐기물로 오인하여 폐기하지 않도록 수집시점부터 방사능 표지를 보관(또는 저장)용기에 방사능 표지를 부착하여야 함을 유의하여 주시고,
4. 안전관리규정과 방사성폐기물 자체처분 절차서에 방사성 폐기물의 수집 시점부터 방사능 표지를 보관용기 표면에 부착하는 내용을 명확하게 기재하여 주시기 바랍니다.

※ 향후 안전관리규정 개정 시, 방사성폐기물 자체처분 계획서 제출 시 관련 내용을 반영하여 제출

아래 그림(Fig. 13)은 본 의료기관의 방사성폐기물 스티커 샘플이다. 방사능표지를 넣었으며 각 분기별로 색 구분을 하였다. 방사성폐기물 양이 많을 경우 분기별 폐기물을 한눈에 확인할 수 있어 관리가 용이하다. 해당 내용을 자체처분 절차서에 기재 하였다.

선별 및 수집

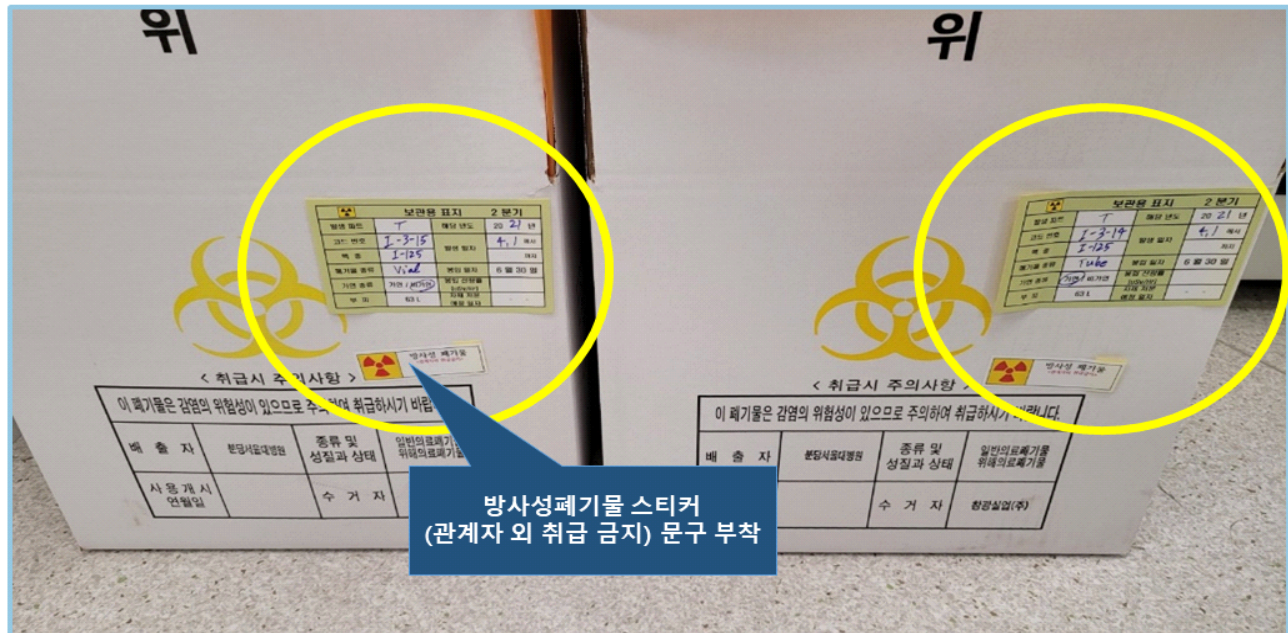


Fig 12. This figure is Sticker attachment.

보완 방법(안)



Fig 13. This figure is sticker color sample.

방사성폐기물 장부 역시 발생일별, 핵종 종류 등을 잘 알 수 있도록 분류하여야 한다. 이 부분도 일부 보완 내용이 나

온 의료기관들이 있다. 각 의료기관 마다 기록하는 방식이 모두 다르겠지만, 필수로 들어가야 하는 항목들은 통일 될

방사성 폐기물															방사선안전관리자 (인)										
방사성 폐기물															자체 처분										
코드번호	발생일	종료일	핵종	종류	부피 (L)	봉입일자(A)	발생 연도	분기	표면 선량률 (uSv/h)	중분류	파트	작업자	방사선 안전 관리자	자체처분 일자	처분	반감기 (D)	측정일자	표면 선량률 (uSv/h)	처분 가능	자체처분 보관기간 (B-A)(일)	처분가능 보관기간 (일)	공문 발송일 (B)	자체 처분 년	분기	비고
F 8 3 20	2020-04-01	2020-06-30	F-18	Needle	63	2020-06-30	2020	2	0.24	비가연	C	안원호	박영재	2021-01-22	처분완료	0.076	2020-12-23	0.15	Yes	176	2.5	2020-12-23	2021	1	
F 9 4 20	2020-04-01	2020-06-30	F-18	Zipper	63	2020-06-30	2020	2	0.36	가연	C	안원호	박영재	2021-01-22	처분완료	0.076	2020-12-23	0.15	Yes	176	3	2020-12-23	2021	1	
T 1 1 20	2020-04-01	2020-06-30	Tc-99m	Vial	63	2020-06-30	2020	2	0.23	비가연	V	남광현	박영재	2021-01-22	처분완료	0.3	2020-12-23	0.15	Yes	176	8	2020-12-23	2021	1	
T 2 2 20	2020-04-01	2020-06-30	Tc-99m	Syringe	63	2020-06-30	2020	2	0.14	가연	V	남광현	박영재	2021-01-22	처분완료	0.3	2020-12-23	0.15	Yes	176	7	2020-12-23	2021	1	
				Syringe	63	2020-06-30	2020	2	0.21	가연	V	남광현	박영재	2021-01-22	처분완료	0.3	2020-12-23	0.15	Yes	176	7	2020-12-23	2021	1	
				Syringe	63	2020-06-30	2020	2	0.18	가연	V	남광현	박영재	2021-01-22	처분완료	0.3	2020-12-23	0.15	Yes	176	7	2020-12-23	2021	1	
				Needle	63	2020-06-30	2020	2	0.28	비가연	V	남광현	박영재	2021-01-22	처분완료	0.3	2020-12-23	0.15	Yes	176	7.1	2020-12-23	2021	1	
				Needle	63	2020-06-30	2020	2	0.25	비가연	V	남광현	박영재	2021-01-22	처분완료	0.3	2020-12-23	0.15	Yes	176	7.1	2020-12-23	2021	1	
				Needle	63	2020-06-30	2020	2	0.20	비가연	V	남광현	박영재	2021-01-22	처분완료	0.3	2020-12-23	0.15	Yes	176	7.1	2020-12-23	2021	1	
T 8 8 20	2020-04-01	2020-06-30	Tc-99m	Zipper	63	2020-06-30	2020	2	0.24	비가연	V	남광현	박영재	2021-01-22	처분완료	0.3	2020-12-23	0.15	Yes	176	7.1	2020-12-23	2021	1	
F 9 9 20	2020-04-01	2020-06-30	Tc-99m	Zipper	63	2020-06-30	2020	2	0.25	가연	V	남광현	박영재	2021-01-22	처분완료	0.3	2020-12-23	0.15	Yes	176	7	2020-12-23	2021	1	
F 8 10 20	2020-04-01	2020-06-30	F-18	Needle	63	2020-06-30	2020	2	0.21	비가연	V	남광현	박영재	2021-01-22	처분완료	0.076	2020-12-23	0.15	Yes	176	2.5	2020-12-23	2021	1	
F 8 11 20	2020-04-01	2020-06-30	F-18	Needle	63	2020-06-30	2020	2	0.27	비가연	V	남광현	박영재	2021-01-22	처분완료	0.076	2020-12-23	0.15	Yes	176	2.5	2020-12-23	2021	1	
F 8 12 20	2020-04-01	2020-06-30	F-18	Needle	63	2020-06-30	2020	2	0.23	비가연	V	남광현	박영재	2021-01-22	처분완료	0.076	2020-12-23	0.15	Yes	176	2.5	2020-12-23	2021	1	
F 8 13 20	2020-04-01	2020-06-30	F-18	Needle	63	2020-06-30	2020	2	0.25	비가연	V	남광현	박영재	2021-01-22	처분완료	0.076	2020-12-23	0.15	Yes	176	2.5	2020-12-23	2021	1	
T 1 1 20	2020-05-06	2020-05-06	Tc-99m	Zipper	29	2020-06-30	2020	2	0.15	가연	V	박성우	박영재	2021-01-22	처분완료	0.3	2020-12-23	0.15	Yes	176	7	2020-12-23	2021	1	
E 9 1 20	2020-04-01	2020-06-30	I-131	Zipper	63	2020-06-30	2020	2	0.21	가연	O	최형석	박영재	2021-10-29	처분완료	8	2021-09-16	0.15	Yes	443	275	2021-09-16	2021	4	
E 9 2 20	2020-04-01	2020-06-30	I-131	Zipper	63	2020-06-30	2020	2	0.15	가연	O	최형석	박영재	2021-10-29	처분완료	8	2021-09-16	0.15	Yes	443	275	2021-09-16	2021	4	
E 9 3 20	2020-04-01	2020-06-30	I-131	Zipper	63	2020-06-30	2020	2	0.25	가연	O	최형석	박영재	2021-10-29	처분완료	8	2021-09-16	0.15	Yes	443	275	2021-09-16	2021	4	
E 9 4 20	2020-04-01	2020-06-30	I-131	Zipper	63	2020-06-30	2020	2	0.12	가연	O	최형석	박영재	2021-10-29	처분완료	8	2021-09-16	0.15	Yes	443	275	2021-09-16	2021	4	
E 9 5 20	2020-04-01	2020-06-30	I-131	Zipper	63	2020-06-30	2020	2	0.23	가연	O	최형석	박영재	2021-10-29	처분완료	8	2021-09-16	0.15	Yes	443	275	2021-09-16	2021	4	
E 9 6 20	2020-04-01	2020-06-30	I-131	Zipper	63	2020-06-30	2020	2	0.15	가연	O	최형석	박영재	2021-10-29	처분완료	8	2021-09-16	0.15	Yes	443	275	2021-09-16	2021	4	
E 9 7 20	2020-04-01	2020-06-30	I-131	Zipper	63	2020-06-30	2020	2	0.23	가연	O	최형석	박영재	2021-10-29	처분완료	8	2021-09-16	0.15	Yes	443	275	2021-09-16	2021	4	
E 9 8 20	2020-04-01	2020-06-30	I-131	Zipper	63	2020-06-30	2020	2	0.27	가연	O	최형석	박영재	2021-10-29	처분완료	8	2021-09-16	0.15	Yes	443	275	2021-09-16	2021	4	
E 9 9 20	2020-04-01	2020-06-30	I-131	Zipper	63	2020-06-30	2020	2	0.21	가연	O	최형석	박영재	2021-10-29	처분완료	8	2021-09-16	0.15	Yes	443	275	2021-09-16	2021	4	
E 9 10 20	2020-04-01	2020-06-30	I-131	Zipper	63	2020-06-30	2020	2	0.27	가연	O	최형석	박영재	2021-10-29	처분완료	8	2021-09-16	0.15	Yes	443	275	2021-09-16	2021	4	
E 9 11 20	2020-04-01	2020-06-30	I-131	Zipper	63	2020-06-30	2020	2	0.21	가연	O	최형석	박영재	2021-10-29	처분완료	8	2021-09-16	0.15	Yes	443	275	2021-09-16	2021	4	
E 9 12 20	2020-04-01	2020-06-30	I-131	Zipper	63	2020-06-30	2020	2	0.25	가연	O	최형석	박영재	2021-10-29	처분완료	8	2021-09-16	0.15	Yes	443	275	2021-09-16	2021	4	

Fig 14. This figure is radioactive waste management.

수 있도록 기입해 관리를 해주는 것이 좋다.

7. 폐납 컨테이너 관리에 대한 보완

폐 납 컨테이너들은 핵종별로 오염 가능성이 대두되고 있다는 견해를 피력하고 있으며, 고철상으로 폐기되므로 방사성폐기물로 분류를 해야 한다는 것이 최근 한국원자력안전기술원의 판단이다. 따라서 각 의료기관들은 과거와 달리 납 컨테이너를 역시 다른 자체처분 폐기물들과 같은 방식으로 보관기간을 산출해서 관리를 해주어야 한다.

본원에서는 아래 보완 방법(안)과 같이 납 용기의 보관 기간을 산출하여 자체처분을 진행하고 있으며 핵종 별 방사능량을 정하여 납 용기 당 무게를 측정하고 납 용기 방사능의 농도를 구하고 있다. 그리고 자체처분 가능, 방사능 농도로 되는 보관 반감기를 계산하고 가중치를 곱한 다음 반감기 일수를 곱해주면 보관 가능 기간이 산출된다.

각 의료기관에서 주로 발생하는 납 용기들 위주로 평가를 하여 아래와 같이 최소 보관일을 산출하고 해당 보관일에 맞추어 자체처분을 하고 있다.

납용기 관리				보완 방법(안)						
				종류	핵종	무게(g)	방사능량(Bq)	방사능농도(Bq/g)	보관기간(일)	최소보관(일)
				납용기	I-123	930.00	592×10^6	6.37×10^5	8.22일	180일
					TI-201	600.00	7.4×10^8	1.23×10^6	50일	
					I-131(cap)	3,258.00	7.40×10^9	2.27×10^6	180일	
					I-131(sol)	800.00	5.55×10^8	6.94×10^5	123일	
					Y-90	1900.00	2.31×10^9	1.22×10^6	34일	
					Lu-177	1970.00	7.4×10^9	3.75×10^6	124일	
종류	산정 (l) x Box	수량(l)	발생일자	핵종	측정 일자 (신청일)	표면방 사선량율 ($\mu\text{Sv/hr}$)	방사능 농도 ¹⁾ (Bq/g)	발생원	자체 보관 기간 ²⁾	처분가능보관 기간
납용기	43 x 1	43	2017-01-01 ~2018-12-31	I-123 I-131 TI-201 Y-90	2021-03-19	0.1	100미만 10미만 100미만 1000미만	핵의학과	809일	8.22일 180일 50일 34일

Fig 15. This figure is lead container management.

보완 방법(안)

㉓ I-131 납용기(capsule)

납용기의 방사능량	$7.40 \times 10^9 \text{ Bq}$
납용기 한 개의 무게	3.258 kg
납용기의 방사능 농도(I_0)	$2.27 \times 10^6 \text{ Bq/g}$
I-131의 반감기	8.0days
자체처분가능 방사능 농도(I)	10 Bq/g
가중치(Safety factor)	1.2

㉔ 보관기간산출

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

$$n = \frac{\ln(I/I_0)}{\ln(1/2)} = \frac{\ln(10/2.27 \times 10^6)}{\ln(1/2)}$$

$$n = \frac{-12.995}{-0.693} = 18.75$$

$$N = 18.75 \times 1.2 = 22.5$$

∴ 약 22.5 반감기, 즉 180 일이 필요하므로 보관기간은 최소 6개월

㉔ Y-90 납용기

납용기의 방사능량	$2.31 \times 10^9 \text{ Bq}$
납용기 한 개의 무게	1,900g
납용기의 방사능 농도(I_0)	$1.22 \times 10^6 \text{ Bq/g}$
Y-90의 반감기	64.6h(2.692day)
자체처분가능 방사능 농도(I)	1000 Bq/g
가중치(Safety factor)	1.2

㉔ 보관기간산출

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

$$n = \frac{\ln(I/I_0)}{\ln(1/2)} = \frac{\ln(1000/1.22 \times 10^6)}{\ln(1/2)}$$

$$n = \frac{-7.10}{-0.693} = 10.25$$

$$N = 10.25 \times 1.2 = 12.30$$

∴ 약 12.30 반감기, 즉 33.11 일이 필요하므로 보관기간은 최소 34일

KINS 보완 내용

- 차후 봉입되는 방사성폐기물 보관용기의 부피로 관리하여 주시고, 납용기와 같은 폐기물은 개당 부피×개수로 관리 바람.

- I-131 치료에 대한 사용절차를 추가적으로 기재해주시고, 발생하는 폐기물에 납용기 또한 기재 바람.

보완 답변

종류	핵종	무게(g)	방사능량(Bq)	방사능농도(Bq/g)	보관기간(일)	최소보관(일)
납용기	I-123	930.00	592×10^6	6.37×10^5	8.22일	180일
	Tl-201	600.00	7.4×10^8	1.23×10^6	50일	
	I-131(cap)	3,258.00	7.40×10^9	2.27×10^6	180일	
	I-131(sol)	800.00	5.55×10^8	6.94×10^5	123일	
	Y-90	1900.00	2.31×10^9	1.22×10^6	34일	
	Lu-177	1970.00	7.4×10^9	3.75×10^6	124일	

❖ 세부 계산 별도 첨부.

Fig 16. This figure is lead container management.

8. 기타 문제점 및 해결방안

아래 그림(Fig. 17)과 같이 각 의료기관의 기타 문제점들을 한국원자력안전기술원에서 보완을 요청하고 있다. 해결방안을 다음과 같은 방법으로 폐기물 관리와 자체처분에 대한 전반적인 내용을 준수하면 된다.

결론 및 고찰

본 연구는 방사성동위원소 등의 사용에 따른 방사성폐기물 자체처분 작성 시 보완사항에 관한 고찰을 제시하여 방사성폐기물의 체계적인 관리를 통한 종사자 및 환경의 안전성을 강화하고 처분비용의 경감 및 서류 작성에 필요한 시간단축을 통한 관련 업무의 처리효율을 높이하고자 하는데 그 목적이 있다.

구분	문제점	해결방안(안)
부피 산정 및 보고기준 상이	(사례1)봉입박스 하나하나의 부피를 개별적으로 시스템에 올리는 경우, (사례2)해당 분기에 발생한 폐기물의 전체 부피를 시스템에 올리는 경우, (사례3)봉입전 수집과정에서의 폐기물 부피를 대략적으로 산정하여 시스템에 올리는 경우	봉입시점을 기준으로 기록/보고하며, 봉입용기의 부피를 기준으로 보고 (수집중인 방폐물은 기록/보고 제외, 다만 방폐물 관리 체계가 잘 갖추어져 운용되는 지를 집중적으로 확인) 해당 분기에 발생한 전체 부피를 보고하기 보다 관리번호별로 입력할 것을 권장(전체 부피로 입력할 경우 추후 시스템상에서 변경 처리 시 오류가 발생할 가능성이 높음)
기록 및 보고 대상 방폐물의 선정	제너레이터 납 차폐용기(외산용), 방사성동위원소 보관용 납용기 등에 대해 보고대상 여부의 적용이 상이	폐기의 대상(납고철 재활용 등 판매기관 회수는 제외)이 되는 경우, 기록/보고 의무화
부피산정 오류	직관적인 부피 산정이 어려운 형태의 방폐물(필터, 배기관, 납용기 등)은 이력변경이 발생한 경우 부피 산정의 오류(최초 기록 부피와 처분 시 기록 부피가 상이함)발생 가능 재포장 과정에서 기존에 보고된 부피와 상이하게 처리함으로써 재고량 불일치	부피의 정확성보다 방사성폐기물의 종류가 무엇이고 수량이 얼마인지가 더 중요하므로 자체처분절차서상에 부피 산정 기준을 명시하여 해당 기준이 일관성있게 적용될 수 있도록 유도(이용자안전관리시스템 비교란 활용 권장, 예 : I-131 납용기 82개, 분배실 후드설비 1개) 재포장하더라도 기존에 보고된 부피를 유지할 것
단순 보고 오류	보고된 방폐물의 이력변경(자체처분, 위탁폐기 등)이 발생한 경우 중복처리 또는 누락 발생	사용기관의 주의 필요(시스템에서 처리과정 중 관리번호 확인)
분류 착오	가연성/비가연성 분류 착오로 인한 수량 불일치	사용기관의 주의 필요

Fig 17. This figure is problems and Solutions.

최신 보완사항들을 반영한 표준 가이드라인의 기대효과로는 첫째, 대부분의 의료기관은 업무대행기관을 통해 방사성폐기물을 처리하고 있으며, 업무대행 및 위탁처분과 비교 시 본 연구 자료를 인용하여 자체처분 시 비용절감 효과가 크다는 점을 확인할 수 있다. 둘째, 한국원자력안전위원회 산하 한국원자력안전기술원의 심사 시 심사기간 단축으로 폐기물을 신속하게 처리가 가능하므로 의료기관 내 방사성폐기물의 보관기간이 단축되고, 방사성폐기물의 저장효율이 증대되었다. 셋째, 자체처분 계획서 및 절차서 작성에 소요되는 시간단축 및 업무처리 효율성이 증대된다는 점을 확인할 수 있었다.

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 판단되어 지며, 본 연구에서 제시한 방사성폐기물 자체처분에 관한 표준 가이드라인을 현장에 적용한다면 고충을 겪고 있는 관계자들의 업무효율 향상에 도움이 될 것으로 사료 된다.

요 약

최근 한국원자력안전기술원의 방사성폐기물의 자체처분을 심사하는 과정에서 많은 보완을 거치게 되고, 기관별 자체처분 최종 승인 과정에 도달하는데 어려움을 겪고 있다. 이에 따라 최근 보완사항의 사례를 분석하여 자체처분의 처리 효율을 높이고 안전성을 강화하고자 한다. 2018년부터 2021년까지 20개 기관별 방사성폐기물 자체처분 절차서 및 계획서 작성 시 보완 요청된 사항들을 비교 검토 하였다. 이와 관련하여 원자력안전법 규정을 기준으로 심사 처리기간 산출 및 심사 과정에서 발생한 보완요청 사항들을 정리하여 방사성폐기물 자체처분 시 서류에 필요한 세부 작성안들을 도출하였다. 한국원자력안전기술원의 대표적인 보완요청 사항들은 방사성폐기물의 종류 및 핵종별 보관기간 산출, 포장 용기 등에 대한 내용, RASIS 보고 방법, 자체처분 예정 저장 방법 최종 처분업체 확인, 폐필터의 보관기간 산출, 방사성마크 부착 등이 중요하게 부각되고 있다. 최신 보완사항들을 반영한 가이드라인의 기대효과로는 서류 작성에 필요한 시간단축 및 업무처리 효율성의 증대와 방사성폐기물 보관실의 저장효율성 향상 및 경제적 비용절감이 있었다. 이 연구에서 제시한 방사성폐기물 자체처분 가이드라인을 현장에 적용한다면, 고충을 겪고 있는 관계자들의 업무효율 향상에 도움이 될 것으로 사료 된다.

참고문헌

1. 원자력안전법 (원자력안전위원회, 2022.04.20).
2. 원자력안전위원회 고시 제2019-6호 의료분야의 방사선 안전관리에 관한기준.
3. 원자력안전위원회 고시 제2019-10호, 방사선방호 등에 관한 기준.
4. 방사능 분석법 (한양대학교, 방사선안전신기술연구센터).
5. 고창순 핵의학 제3판.
6. 방사성폐기물 자체처분절차서 및 관리절차서(한국원자력학회).
7. 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).
8. 高田茂他, 방사능물질의 종류와 취급방법에 따른 비산물 계산법, Radioisotope, 32(5), 260~269(1983).
9. 연구실 폐기물 처리 안내(KAIST Safety & Security Team / January 2014).