

Original Article 방사성옥소 사용 시 배수 중 방사능농도 분석

분당서울대학교병원 방사선안전관리실¹, 분당서울대학교병원 핵의학과²
이경재¹ · 설진형¹ · 박영재² · 이인원²

The Analysis of radioactivity Concentration in drainage when using a radioactive Iodine

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

¹Department of Radiation Safety, Seoul National University Bun-Dang hospital, Seoul, Korea;

²Department of Nuclear Medicine, Seoul National University Bun-Dang hospital, Seoul, Korea

Purpose With regard to the use of radioiodine in domestic medical institution, the case of exceeding the allowance of nuclear safety Act about radioactive concentration in drainage was found. Through understanding the cause of exceeding case and analyzing radioactive concentration in drainage, evaluating the relationship of the public waters in surroundings and usefulness.

Materials and Methods From November 1, 2014 to April 30th, 2015, the research is aiming at domestic twenty hospitals for six months. By using a HPGe gamma-ray spectrometer(Canberra DSA-1000) and GENIE-2000 Analysis software for comparative analysis, measuring a radioactive concentration of radioiodine in drainage. Consequently, we confirm the excess of radioactive concentration of radioiodine in seven medical institutions.

Results Conducting a survey of twenty hospitals and average radioactive concentration of radioiodine in drainage appears 42,100 Bq/m³. The features of domestic hospitals where show a high radioactive concentration are a number of medical treatment patient when using radioactive iodine and the absence of private rest room. During I-131 whole body scan, the pretreatment procedure of urinating is considered emission of residual Iodine. In public waters, the cause of exceeding detect on radioactive concentration in drainage suppose a diagnostic radioactive iodine.

Conclusion We confirm the importance of enhanced education, providing a safety control instructions and installing a private rest rooms for patients who injected a low capacity radioiodine. Also, constructing institutional and legal management system is considered about the Emission management standard in drainage.

Key Words Emission management standard in drainage, Private restroom, Outlet, Low capacity

서 론

의료용 방사성동위원소에서 비밀봉선원은 주로 핵의학과에서 사용되며, I-131을 이용한 갑상선암 치료를 위해 격리된 방사성동위원소 전용치료 입원실을 보유하고 있다. 환자의 유발전위 검사나 연구목적으로 사용되는 경우도 있으나

사용 빈도나 방사능량은 상대적으로 매우 적다. 의료기관 최종 배수구에 배수 중 오염 발생 가능성이 높은 방사성물질은 갑상선 암 환자 치료용 I-131이며, 그 외 체외 검사용 I-125, 체내검사용 Tc-99m과 F-18(PET-CT), Tl-201도 적지 않은 방사성폐기물을 발생시킨다. 기타 다른 핵종으로 I-123, Ga-67, Y-90, In-111, Sr-89, C-11, N-13, O-15 등은 상대적으로 사용 건수도 적어 발생하는 방사성폐기물의 양도 많지 않다.

I-131의 일반 배수 중 방사능농도 측정을 위해, 2013년 기준 의료기관 외래에서 I-131을 많이 사용한 20개 의료기

· Received: April 14, 2018 Accepted: April 30, 2018
· Corresponding Author: **Kyung-Jae Lee**
· Address for correspondence : DDepartment of Radiation Safety, Seoul National University Bun-Dang hospital, Seoul, Korea
Tel: +82-31-787-3905, Fax: +82-31-787-4018
E-mail: 20067@snuh.org

Table 1. Criteria for discharging patients

주요 핵종	방사능 (제1란)		1m 거리 선량률 (제2란)
	GBq	mCi	mSv/h
I-131	1.2	33	0.07

- 방사성동위원소를 투입 또는 투여받은 환자의 퇴원으로 인한 다른 개인의 피폭방사선량이 5 mSv를 초과할 가능성이 있는 방사능 및 환자로부터 1 m 거리에서의 선량률을 각각 제시하였다.
 - 1 m 거리에서의 선량률은 환자 신체 표면에서부터 1 m 거리에서 바닥으로부터 1 m 높이의 공간 선량률(주위선량당량률 또는 유효선량당량률)을 측정한다.
- * 알파 방출체(Ra-223) 또는 베타 방출체(P-32, Sr-89, Y-90)는 다른 개인에게 미치는 영향이 매우 미미하므로 기준값을 따로 제시하지 않는다.

Table 2. Comparison of emission control standards in drainage

원자력안전위원회 고시 (2017-36호)	미국원자력규제위원회 (UNNRC, 20.203)	
배수 중 배출관리기준	폐수농도	하수구 월간평균농도
3.0E+4 Bq/m ³ (1주간의 평균치, 부득이한 경우에는 3개월간의 평균치로 같음할 수 있다)	3.7E+4 Bq/m ³	3.7E+5 Bq/m ³

Table 3. Comparison of discharge standard and conditions between international organizations and korea

국제 기구	퇴원기준	퇴원조건
국제방사선방호위원회(ICRP)	- 치료 후에 환자의 입원과 퇴원에 관한 범주나 잔류 방사능 준위에 관한 권고를 하지 않음. - 일반인 및 직업상 피폭을 받게 되는 중사자는 선량한도(dose limit)를 적용 - 간병인은 선량 제약치(dose constraints) 적용권고	
국제원자력기구(IAEA)	- 1,100MBq(약 29.7mCi) [일부 국가에서 400MBq(약 10.8mCi) 준위가 모범관행의 척도 (IAEA, 2002a)]	- 환자에게는 접촉할 수 있는 친지나 다른 사람들의 방호에 필요한 예방조치에 대해 서면과 구두 지침 필요 - 노약자나 아동에게는 특별한 예방조치 필요
한 국	- 1,200MBq(약 32.4mCi) 환자 체내에 잔류하는 방사성동위원소의 방사능 - 0.07mSv/h 환자 신체 표면으로부터 1m 거리에서 <u>최대방사선량률</u>	- 퇴원 후 주의사항이 기재된 지침서를 제공 - 환자 퇴원 후 요양 계획 및 주변 환경을 면밀히 고려하여 환자의 가족이나 친지 등이 받는 개인의 유효선량이 5mSv를 초과하지 않도록 한다.

관을 선정하여 의료기관 최종배수구에서 2주간 동일시간대에 배수시료를 1리터 채취하여 한국원자력의학원 고순도 게르마늄(HPGe) 반도체검출기를 이용한 감마선분광분석기(MCA)를 이용하여 방사성물질을 판별하고 방사능 오염도를 측정하였다.

또한, 국내 및 국제 규정과의 차이를 알아보기 위해 원자력안전위원회 고시 2017-44호에서 정의한 ‘진료환자 격리 및 퇴원기준’(Table 1)과 원자력안전위원회 고시 2017-36

호에서 정의한 ‘배수 중 배출관리기준(Table 2)’을 기준으로, 해외 규제기관 및 국가별 퇴원기준과 비교, 검토(Table 3)(Table 4)하였다.

Table 4. Comparison of discharge standard and conditions between different countries

국가	퇴원기준	퇴원조건
미 국	- 1200MBq(약 32.4mCi), 0.07mSv at 1m 개인이 유효선량당량 5mSv 를 초과하지 않음. - 아동에 유효선량이 1mSv를 초과할 우려가 있다면 서면지침 제공	- 건전하고 협력적인 환자는 8,000MBq (약 216.2mCi)나 되는 높은 방사능을 가지고도 일상 퇴원.
호 주, 뉴질랜드	- 일반인, 아동 및 임신부 : 1mSv/y - 간병인 또는 환자를 돌보는 일에 동등한 친구와 친척 : 5mSv/y - 600MBq(약 16.2mCi)	- 1m 거리에서 외부선량률이 25µGy/h를 초과하면 환자를 퇴원 불가 - 예상되는 방사능 배설량을 특정방사성의약품에 대한 연간 섭취한도와 비교하여 퇴원시키자는 제안이 있다.
일 본	- 500MBq(약 13.5mCi) 미만 - 환자 표면으로부터 1m 거리에서 30µSv/h 미만	

국제기구들의 권고 및 기준치에서도 “I-131 치료환자의 격리해제 범주”에 대한 통일된 의견 없이 각자 독자적인 기준치를 제시하고 있는 실정이다. 미국, 핀란드, 독일, 일본, 스웨덴, 또한 유럽 갑상선 협회 등에서 운용 중인 각 국가별 규제기준 등이 서로 상이한데 이는 고용량 I-131 치료환자의 퇴원에 따른 주변인의 방사선안전성 확보 및 그 평가방법 등이 단순히 방사선방호 관점에서만 논의될 수 없으며, 사회학적인 접근양태, 정치적 입장 및 경제학적 관점까지도 연관되는 성격의 문제인 것에 기인하는 것으로 판단된다.

이를 바탕으로, 배수 중 방사능 농도를 국제 및 국가별 기준과 비교·검토하여 배수농도 저감화 개선방안을 도출하는 동시에, 방사성옥소 사용에 관한 제도적 관리 체계 구축의 필요성을 강조하고자 한다.

대상 및 방법

1. 연구 대상

본 연구에서는 2014년 11월 11일부터 2015년 4월 30일 까지 국내 20개 의료기관을 대상으로 각 의료기관별 최종 배수구에서 2주간 동일시간대에 채취한 시료(1L)를 대상으로 하였다.

2. 연구 방법

최종 배수구가 1개 이상이면 모든 배수구에서 시료를 채취하였으며, 수량과 관계없이 다수의 시료도 연구 대상으로 설정하였다. 측정지점은 조사 목적에 적합하고, 대표성을 가질 수 있도록 선별하였으며, 지급된 1리터 수거용기에 기관

명, 시료채취일자과 시간, 장소 등을 기입하였다. 희망기관에 한해서 배출 전 단계의 RI 저장조와 I-131 저장조 배수시료를 채취하여 배출시 방사능 농도 적합성 평가 자료로 제공할 예정이다.

수거된 배수시료는 한국표준과학연구원에 제작한 1L Marinelli Beaker Type 표준물질과 동일한 시료용기인 1리터 Marinelli Beaker에 질량과 부피를 일정하게 옮겨 담았으며, 전자저울(Model AJH-2200E-D, Vibra, Japan)을 이용하여 무게를 측정하고, 교반기(Sseriker: Vision scientific, Korea)를 65RPM으로 60분 이상 가동하여 시료의 전처리를 실시하였다. 이 시료를 감마선분광분석기(MCA)를 이용하여 측정하였으며, 감마선분광분석기(MCA)의 교정은 2014년 7월 11일 원자력연구원에서 20mm Vial부터 1L Marinelli Beaker에 대하여 교정을 수행하였다. 전체적인 측정방식은 아래와 같다(Fig. 1).

1) 수거된 폐기물은 전자저울(Model AJH-2200E-D, Vibra, Japan)을 이용하여 무게를 측정한다.

2) 수거된 폐기물을 넣은 1 리터 마르리넨 용기를 방사능이 균질하게 섞이도록 교반기(Sseriker: Vision scientific, Korea) 65 RPM으로 60분 이상 가동.

3) 균일하게 섞인 시료를 감마선분광분석기(MCA)를 이용하여 측정한다.

HPGe 감마선 분광 측정기(Canberra DSA 1000)로 방사성 옥소 농도를 측정하였으며, GENIE-2000

Analysis software를 이용하여 배수 중 방사능 농도를 계산 및 비교·분석하였다(Fig. 2).



Fig. 1. Research process.

$$Activity = \frac{gross\ count - BKG}{\epsilon \cdot m \cdot f \cdot t \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5}$$

ϵ : 효율
 m : 시료의 양
 f : 감마선 방출율
 t : 측정시간
 k_1 : 방사능농도 산출기준일에 대한 붕괴보정인자
 k_2 : 측정시간 동안의 붕괴보정인자
 k_3 : 자체감쇠보정인자
 k_4 : 우연동시합산효과보정인자
 k_5 : 측정우연 동시합산효과 보정인자

Fig. 2. Calculation of radioactivity concentration in drainage.

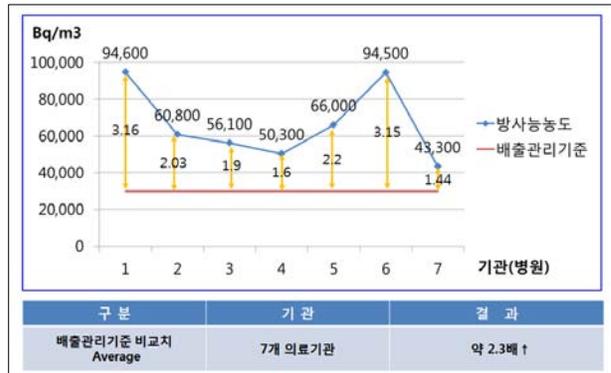


Fig 3. Status of radioactivity concentration in drainage that exceeding an emission management standard.

결 과

20개 의료기관에 대한 1개 이상의 최종배수구에서 2주간 측정된 결과는 (Table 5)와 같으며, 7개 기관이 I-131 배수 중 배출관리기준을 초과하였으며, 20개 기관 평균 배수 중 방사능 농도는 $4.21E+04$ Bq/m³로 나타났다.

또한, 7개 의료기관의 경우 배수 중 방사능 농도가 배출관리기준보다 평균 약 2.3배 더 높은 수치를 나타내었다(Fig. 3).

Table 5. ¹³¹I radioactive concentration of water sample

CODE	배수 중 방사능 농도(Bq/m3)				비고
	1	2	3	4	
2014001	9.46E+04	1.76E+05			
2014002	1.36E+03	6.96E+03	4.90E+02		
2014003	5.54E+02				10회 측정 중 1회 검출
2014004	6.08E+04	5.14E+03	MDA이하	MDA이하	
2014005	5.61E+04				
2014006	2.46E+03	MDA이하			
2014007	8.29E+02				
2014008	5.03E+05				12회 측정 중 3회 검출
2014009	6.80E+03	6.41E+03			
2014010	2.97E+03				
2014011	6.60E+04	7.90E+03			
2014012	1.34E+04	1.07E+04			
2014013	1.75E+03				
2014014	9.45E+04	5.08E+03	4.32E+03		
2014015	3.87E+02	4.33E+04			
2014016	MDA이하				10회 측정 중 0회 검출
2014017	1.19E+03				10회 측정 중 1회 검출
2014018	5.50E+03				
2014019	9.07E+03				
2014020	1.92E+04				
평균농도	4.21E+04				

배출관리기준을 초과하는 기관의 특징으로는, 외래 환자가 기준치 미만인 기관보다 평균 약 2.1배 정도 많은 수치를 보였으며(Fig. 4), 외래사용량 또한 평균 약 3.8배 정도 높은 것으로 나타났다(Fig. 5).

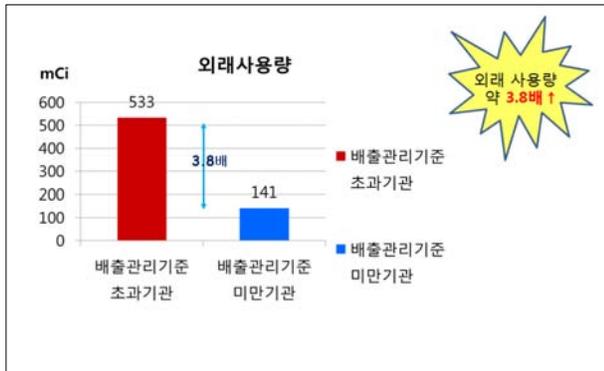


Fig. 4. Comparison of number of outpatients.



Fig. 5. Comparison of foreign usage.

배출관리기준을 초과하는 기관과 배출관리기준 미만인 기관들의 배수 중 방사능 농도의 불확도의 경우, 초과기관은 평균 3.6%(Table 6), 미만기관은 평균 11.6%(Table 7)의 수치를 보였으며, 배출관리기준 미만인 기관의 불확도가 다소 높게 측정되는 것은 배수시료의 방사능농도 측정 시 측정횟수(10회)에 비해 MDA 이상의 값이 상대적으로 적게 측정되었기 때문이다.

다만, 측정기관 중 정확도를 보유한 기관은 환자 화장실

사용시간과 시료 채취시간에 대한 불확도를 고려하지 않았다.

정화조에서 I-131 폐수가 일정시간 체류하며 희석되어 배출됨으로 일일 측정결과는 2주간 측정 평균 측정치를 신뢰할 수 있으나, 정화조를 보유하지 않고 직접 물 재생센터로 배출되는 의료기관 일일 측정결과는 환자 화장실 사용시간과 시료 채취시간에 대한 불확도를 고려한다면 2주간 측정결과를 신뢰하기에는 부족하기 때문이다.

Table 6. MDA average of medical institutions that exceeding an emission management standard

기관코드	MDA Average	기관코드	MDA Average
001	1.18E+03	004	7.18E+02
005	7.02E+02	008	1.36E+03
011	8.94E+02	014	9.65E+02
015	4.41E+02		
Uncertainty Average (%)		3.65 %	

Table 7. MDA average of medical institutions that under an emission management standard

기관코드	MDA Average	기관코드	MDA Average
002	6.14E+02	013	5.20E+02
003	3.28E+02	016	0
006	4.35E+02	017	7.29E+02
007	4.76E+02	018	6.22E+03
009	6.89E+02	019	4.74E+02
010	6.02E+02	020	6.54E+02
012	4.13E+02		
Uncertainty Average (%)		11.6%	

배수 중 I-131 방사능농도가 높은 기관의 특징으로는 I-131을 이용한 외래환자 진료의 많으면서, 외래 환자용 I-131 저장조가 없거나 또는 대용량(1.1 GBq 이상) 투여 후 퇴원 시 검사를 하고 복용 7일 후(퇴원 후 3~4일) 재검사 일자가 빠른 기관으로 나타났으며, 환자에 정확한 검사를 위해 검사 전에 반드시 소변을 배출하여 방광을 비우도록 되어 있는 과정에서 체내 잔류한 I-131이 배출되는 것이 주요 원인으로 판단된다.(검사 전 소변관리의 부족 및 병원 내 환자 체류시간의 장기화 영향)

이를 통해 배수 중 방사성옥소의 방사능농도 증가원인을 다음과 같이 정리할 수 있다.

1. 대용량 복용 환자 퇴원 시 일반화장실 사용
2. 저용량, 대용량 복용 환자의 검사로 재방문 시 일반화장실 사용
3. 방사성옥소 치료 입원실 식기, 잔반 처리 미흡
4. 방사성옥소 치료 후 퇴원기준에 적합하여 일반병동으로 전동되어 입원된 경우
5. 방사성옥소 투여 후 검사를 위하여 방광을 비우는 과정에서 체내 잔류한 방사성 옥소가 소변으로 배출

1) 저용량(1.1 GBq 이하) 투여된 환자의 경우

평균 2일 후 재방문하여 검사하며, 검사 전에 소변을 배출하여 검사를 시행함으로 체내에 잔류된 방사능이 배출되어 배수 중 I-131 농도가 증가하는데, 외래 환자용 I-131 저장조가 없다면 배수 중 배출관리기준을 초과함으로 반드시 외래용 I-131 저장조가 필요하다.

2) 대용량(1.1 GBq 이상) 투여된 환자 경우

퇴원 시 1차 검사 후 복용일로부터 7일 후(퇴원 후 2~4일) 재검사를 실시하는데, 검사 전 소변 배출 후 검사를 시행함으로 체내에 잔류된 방사능이 배출되는데 외래 환자용 I-131 저장조가 없다면 배수 중 관리 기준을 초과함으로 반드시 외래용 I-131 저장조가 필요하다.

또한 퇴원 시나, 퇴원 후 재방문하여 진료 수속 시 로비 또는 환자접수, 편의시설 내 일반화장실을 사용하여 최종배수구에 I-131 배수 중 방사능농도가 증가할 수 있다.

환자에 대하여 진료 후 바로 귀가 또는 외래용 I-131 저장조와 연결된 RI전용화장실을 사용하도록 강화하여 개선할 수 있다.

결론 및 고찰

국내의 방사성옥소에 관한 배출관리기준은 국제기준과 비교하여 엄격하게 규제되고 있지만, 노약자나 아동과 같은 연령대에 따른 별도의 조치사항은 구체적으로 마련되어 있지 않은 상황이다.

배수농도 저감화 개선방안으로 외래환자 전용 I-131 화장실 설치를 통해 배수관리기준을 준수하고 외래 전용 화장실 사용에 관한 안전관리 지침서를 제공하고 교육을 강화한다면, 공공수역 내 안전성 평가에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

또한, 의료기관의 방사성옥소 사용 및 배출에 관한 법적·제도적 관리 체계를 마련하고 지속적으로 개정하여 안전관

리현황에 대한 지속적인 규제와 감시가 필요하다고 사료된다.

요 약

국내 의료기관의 방사성옥소(I-131) 사용과 관련하여 배수 중 방사능농도가 원자력안전법의 허용치를 초과한 사례가 발견되어, 원인 분석 및 배수 중 방사능농도 분석을 통해 주변 환경 공공수역에 대한 관계를 평가하여 유용성에 대해 알아보하고자 한다. 2014년 11월 1일부터 2015년 4월 30일까지 6개월에 걸쳐 국내 20개 병원을 대상으로 하였다. 장비는 HpGe 감마선 분광 측정기(Canberra DSA1000)를 사용하였으며, 분석방법으로는 GENIE-2000 Analysis을 이용하여 방사성옥소의 배수 중 방사능농도를 측정하여 비교·분석하였다. 연구 결과, 7개 기관이 I-131 배수 중 배출관리 기준을 초과하였음을 확인하였으며, 20개 병원의 평균 배수 중 방사능 농도는 $4.21E+4$ Bq/m³로 나타났다. 방사능농도가 높은 병원의 특징으로는 I-131을 이용한 다수의 외래환자 진료 건수, 외래전용 화장실의 부재로 확인되었다.

I-131 whole body scan 전 반드시 소변을 보게 하는 과정에서 체내에 잔류한 I-131이 배출되는 것으로 판단된다. 공공수역 내 배수 중 방사능 농도가 초과 검출되는 원인으로는 진료용 방사성옥소라 판단되며, 저용량 투여환자 외래전용 화장실 설치와 안전관리 지침서 제공 및 교육 강화의 중요성을 확인할 수 있었다. 또한 배수 중 배출관리기준과 관련하여 법적, 제도적 관리 체계 구축이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 원자력안전법 (원자력안전위원회, 2011).
2. 원자력안전위원회 고시 제2015-005 의료분야의 방사선 안전관리에 관한기준.
3. 원자력안전위원회 고시 제2016-16호, 방사선방호등에 관한 기준.
5. 방사능 분석법 (한양대학교, 방사선안전신기술연구센터).
6. 고창순 핵의학 제3판.
7. 방사선안전관리절차서 (한국원자력의학원).