

<원저>**개봉 선원을 취급하는 방사선 관리구역 화장실 내/외의 표면오염도 평가**조윤호¹⁾·최현우²⁾·김대혁³⁾·박채아³⁾·이소영⁴⁾·이정미⁵⁾·최재호³⁾¹⁾인하대병원 핵의학과·²⁾가천대학교 방사선학과·³⁾안산대학교 방사선학과
⁴⁾필립메디컬센터 영상의학과·⁴⁾차의과학대학교 강남차병원 영상의학과**Evaluation of Surface Contamination in/out of Toilets
in Radiation Control Areas Handling Unsealed Sources**Yun-Ho Jo¹⁾·Hyeon-Woo Choi²⁾·Dae-Hyeok Kim³⁾·Chae-Ah Park³⁾
So-Young Lee⁴⁾·Jung-Mi Lee⁵⁾·Jae-Ho Choi³⁾¹⁾Department of Nuclear Medicine, Inha University Hospital²⁾Department of Radiologic Science, Gachon University³⁾Department of Radiologic Science, Ansan University⁴⁾Department of Radiology, Philip Medical Center⁵⁾Department of Radiology, CHA University CHA Gangnam Medical Center

Abstract This study is suggest the importance of a safety management system against radiation exposure by measuring the surface pollution level of toilets in the radiation management area of hospitals using open seafarers and evaluating the spread. The experiment measured 10 times in front of the toilet and the entrance before and after the start of work in 3 toilets in the radiation management area of a hospital in the metropolitan area. The measuring instruments and samples were measured using an indirect measuring smear paper and a surface contamination radiation meter. As a result of the measurement the front of the left toilet in the iodine treatment room bathroom before decontamination exceeded the legally permitted surface contamination dose. All other areas were measured below the legally permitted surface contamination dose. However even if radioactive contamination is below the allowable dose pollutants and contamination conditions must be properly identified and managed with constant attention and attention. Therefore the use of toilets in the radiation control zone must be regulated so that only patients can use them and efforts must be made to minimize the spread of surface contamination outside the toilet by allowing the use of the exclusive use of toilets.

Key Words : Open source, Toilet in radiation control area, Surface contamination, Indirect measurement, Radiation exposure

중심 단어 : 개봉 선원, 방사선 관리구역 내 화장실, 표면오염도, 간접측정법, 방사선 피폭

I. 서론

의료 분야에서 방사성동위원소는 핵의학 검사와 치료 분야에 주로 사용되며, 동위원소의 의료적 이용 분야는 방사성의약품을 이용한 감마카메라 및 PET 카메라의 이용확대로 인하여

증가하고 있다[1]. 이러한 방사성동위원소의 사용은 의료 분야에서 큰 도움을 주지만, 높은 방사선을 방출하기 때문에, 관리에 소홀하거나 방심하게 되면 방사선을 취급하는 사람뿐만 아니라 방사선을 이용하는 환자나 보호자들에게 방사선 피폭에 의한 건강에 영향을 미치며 그 정도에 따라 심각한 장애가 발생

This paper is supported by the academic activities grant from the society of Incheon Radiological Technologists Association (IRTA) of the Korean Radiological Technologists Association (KRTA) in 2024.

Corresponding author: Jae-Ho Choi, Department of Radiologic Science, Ansan University, 155 Ansandaehak-ro, Sangrok-gu, Ansan-si, Gyeonggi-do, 15326, Republic of Korea / Tel: +82-31-400-7105 / E-mail: akalaka93@ansan.ac.kr

Received 03 September 2024; Revised 23 September 2024; Accepted 25 September 2024

Copyright ©2024 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

할 수 있다[2]. 특히 핵의학과는 주로 개봉 선원 형태의 방사성 동위원소를 사용하고 있으므로 종사자들의 외부 피폭뿐만 아니라 내부 피폭의 가능성이 있다[3]. 따라서 방사성동위원소의 사용과 관련하여 엄격한 안전관리와 절차에 따라 안전한 활용을 위해 주의가 높아지고 있다[4].

개봉 선원을 취급하는 핵의학과는 방사성동위원소를 투여 후 환자에게 충분한 수분 섭취를 유도하여 방광과 배후 방사능 비의 피폭되는 선량을 낮추고 있으며[5], 투여된 ^{99m}Tc -인산 화합물의 경우 투여 2~3시간 후 투여량의 50~60%는 배에 분포, 2~4%는 콩팥 실질에 축적, 나머지는 비노기계를 통해 배설된다[6]. 이때 환자는 방사선 관리구역 내 화장실을 이용하고 있어 환자의 배설물에 의한 방사선 피폭으로부터 안전성에 대한 보장이 이루어져야 한다. 특히 방사선 관리구역을 출입하는 환자 이외 보호자와 작업종사자, 수시출입자 또한 표면오염에 의한 피폭으로부터 주의가 필요하다.

표면오염은 비 고착성 표면오염과 고착성 표면오염으로 구성되며, 이들의 합을 총 표면오염도라고 정의한다. 표면오염도를 측정하는 방법은 직접측정과 간접측정이 있으며, 표면오염 부위를 표면오염 방사선 계측기를 이용해 직접 측정하는 것이 직접측정법이고, Smear paper를 이용해 오염 부위를 문지른 다음 이를 표면오염 방사선 계측기로 방사능 값을 측정하고 보조인자들을 적용하여 결과를 산출하는 그것이 간접측정법이다[7,8].

방사선 관리구역 내 화장실에서는 환자의 배설물(소변)에 의해 오염된 바닥 때문에 방사선 피폭이 발생할 수 있어 표면오염도 관리가 매우 중요하다. 또한, 오염이 된 바닥을 밟고 이동하는 경우 화장실 외부로 오염이 확산할 수 있으므로 화장실 내/외의 표면오염도를 측정하여 오염 확산 여부가 평가되어야 한다. 표면오염 측정 방법 중 간접측정법은 주변 오염도의 영향 없이 측정 가능하여 오염된 부분에서 직접측정법보다 정확한 측정치를 얻을 수 있다.

본 연구는 의료 현장에서 방사성동위원소 사용량이 증가하고 있는 가운데 방사선 관리구역 화장실 내/외의 표면오염도를 Smear 법으로 측정하고, 환자 배설물에 의한 표면오염 및 확산 여부를 평가하여 방사선 안전관리의 중요성을 제시하고자 한다.

II. 대상 및 방법

1. 실험장소

2023년 07월 03일부터 08월 25일까지 수도권 소재 A 병원 방사선 관리구역 내 화장실 3곳(감마검사실, PET 검사실, 요오드 치료병실)을 대상으로 업무 개시 전/후(요오드 치료병실 제

염 전/후)의 변기 앞(A, B)과 화장실 출입문 앞(C, D, E)의 표면오염도를 각각 10회씩 측정하였다. 측정 구역은 소변기와 좌변기 및 화장실 출입문으로부터 30 cm 앞바닥의 100 cm² 구역이다(Fig. 1).



Fig. 1. (a) Measurement area at restroom of γ -camera room (Urinal), (b) Measurement area at restroom of PET room-Iodine treatment room(Toilet), (c) Measurement area at entrance of restroom

2. 실험기기

본 연구에 사용된 시료 측정용 paper는 55 mm 크기의 Hyundai micro Smear paper이며, 측정기기는 EBERLINE사의 FHT 111M 형식의 $\beta \cdot \gamma$ -ray 측정용 표면오염 방사선 계측기 (Contamination Monitor)를 사용하였다(Fig. 2). 방사선 측정기기의 교정 일자는 2023년 05월 04일이다.



Fig. 2. (a) Smear paper (Hyundai micro, Korea), (b) Surface Contamination Monitor (EBERLINE, Erlangen)

3. 실험방법

감마검사실 화장실과 PET 검사실 화장실의 표면오염도는 업무 개시 전 08시, 업무 종료 후 17시에 각각 측정하였고, 요오드 치료병실 화장실의 표면오염도는 치료 환자가 퇴원한 다음 제염 전과 세제와 물을 사용하여 화장실 바닥을 제염한 후 1시간 이후에 측정하였으며, 측정 시에는 모두 Smear 법을 이용하였다.

표면오염도 측정을 진행하기 전 자연방사능(BKG) 값을 측정하기 위해 감마검사실과 PET 검사실은 방사선 관리구역 내 표면오염의 영향이 적은 회의실 바닥에서, 요오드 치료병실은 병실 옆 휴게실 바닥에서 각각 측정하였다. 표면오염도 측정은

장갑(poly glove)을 착용한 측정자가 대상 구역에 같은 지점을 표시한 후 Smear paper로 1분간 충분히 문질러 진행하였다. 작업이 완료된 후에는 표면오염도 값을 획득하기 위해 방사선 관리구역 내 배후방사능이 낮은 지역에서 측정하였다. 시료(Smear paper) 측정은 Contamination Monitor를 이용하여 시료로부터 10 cm 거리에서 측정하였고, 측정 횟수는 시료 1회 당 100 sec씩 총 10회 진행하였다.

4. 분석방법

1) Chi-squared test

count 값 측정결과가 95% 신뢰도 구간에 있는지 확인하고자 chi-squared test를 통해 측정결과 오류를 최소한으로 줄여 신뢰성을 확보하였다. 적용된 계산식(1)은 다음과 같다.

$$X^2 = \frac{\sum(C_i - \bar{C})^2}{\bar{C}} \quad (1)$$

측정결과	X^2
시료 측정값	C_i
시료 평균값	\bar{C}

2) 표면오염도 결과분석

방사선 관리구역 화장실 내/외의 표면오염도를 획득하기 위해 Smear 법을 이용하여 업무 개시 전/후(요오드 치료병실 제염 전/후)에 측정하였으며, CPS로 측정된 각 표면오염 선량 표본 값을 Bq로 변환한 후 평균값을 도출해 분석하였다. 적용된 계산식(2)은 다음과 같다.

$$A = \frac{(A_c - A_E) \times CF \times S \times SPF}{S_R \times SF} \quad (\text{단위 : Bq}) \quad (2)$$

측정결과	A
시료 계수율	A_c
BKG 계수율	A_B
교정 인자	CF
선원효율	SF
검출기 유효면적	S_R
시료 면적	S
Smear paper 전이율	SPF

3) Paired T-test 검정

업무 개시 전/후(요오드 치료병실 제염 전/후)에 관한 결과 비교는 통계 프로그램 SPSS (ver 14)를 이용해 Paired T-test를 실행하였고, 통계적 유의수준은 $p < 0.05$ 로 설정하였다.

III. 결과

1. 표면오염 선량 측정값에 대한 chi-squared 검정

방사선 관리구역 내 화장실 표면오염 선량 측정은 구역별로 시료 1회당 100 sec씩 총 10회 반복하여 진행하였으며, 측정결과 요오드 치료병실, 감마검사실, PET 검사실 순으로 표면오염이 높게 측정되었다(Table 1-3). 이후 각각 측정된 결과값(CPS)에 대한 신뢰성 확보를 위해 chi-squared test를 진행하여 측정치 모두 $X^2 < 16.9$ 로 95% 신뢰구간에 포함된다는 것을 확인하였다.

Table 1. Chi-squared test for surface contamination dose measurements (γ -camera room)

Measurement time	Measurement area	Mean CPS	X^2 (chi-squared)	X^2 (95%)	Degees of freedom
Before the start of work	Front of urinal	14.1	0.060	16.9	9
	Front of entrance (Mean)	13.5	0.022		
After the end of work	Front of urinal	18.9	0.823		
	Front of entrance (Mean)	16.1	0.521		

Table 2. Chi-squared test for surface contamination dose measurements (PET room)

Measurement time	Measurement area	Mean CPS	X^2 (chi-squared)	X^2 (95%)	Degees of freedom
Before the start of work	Front of toilet	13.8	0.075	16.9	9
	Front of entrance (Mean)	13.7	0.017		
After the end of work	Front of toilet	17.9	0.540		
	Front of entrance (Mean)	15.4	0.087		

Table 3. Chi-squared test for surface contamination dose measurements (Iodine treatment room)

Measurement time	Measurement area	Mean CPS	χ^2 (chi-squared)	χ^2 (95%)	Degees of freedom
Before decontamination	Front of toilet	24.4	5.072	16.9	9
	Front of entrance (Mean)	18.5	0.157		
After decontamination	Front of toilet	16.8	0.672		
	Front of entrance (Mean)	14.7	0.024		

2. 방사선 관리구역 내 화장실 표면오염 선량 측정결과

1) 업무 개시 전/후 감마검사실 화장실의 표면오염 선량 측정결과

업무 개시 전/후 감마검사실 화장실의 평균 표면오염 선량은 소변기 앞 0.726 ± 0.237 Bq/cm², 3.689 ± 0.908 Bq/cm², 출입문 앞 a 구역 0.396 ± 0.199 Bq/cm², 2.020 ± 0.899 Bq/cm², 출

입문 앞 b 구역 0.356 ± 0.280 Bq/cm², 1.709 ± 0.769 Bq/cm², 출입문 앞 c 구역 0.323 ± 0.182 Bq/cm², 1.868 ± 0.641 Bq/cm²로 측정되었다(Table 4, 5).

2) 업무 개시 전/후 PET 검사실 화장실의 표면오염 선량 측정결과

업무 개시 전/후 PET 검사실 화장실의 평균 표면오염 선량

Table 4. Measurement results of restroom of γ -camera room(Before the start of work)

(Units: Bq/cm²)

Number of measurements	Front of urinal (A)	Front of entrance (C)	Front of entrance (D)	Front of entrance (E)	Front of entrance (Mean)
1	0.396	0.198	0.198	0.198	0.198
2	0.792	0.726	0.066	0.660	0.462
3	0.660	0.066	0.132	0.528	0.264
4	0.462	0.396	0.858	0.198	0.264
5	0.990	0.462	0.066	0.198	0.264
6	0.462	0.264	0.264	0.330	0.264
7	0.726	0.264	0.396	0.132	0.264
8	0.990	0.528	0.792	0.264	0.528
9	0.726	0.462	0.330	0.198	0.330
10	1.056	0.594	0.462	0.528	0.528
Mean±SD	0.726 ± 0.237	0.396 ± 0.199	0.356 ± 0.280	0.323 ± 0.182	0.337 ± 0.122

Table 5. Measurement results of restroom of γ -camera room(After the end of work)

(Units: Bq/cm²)

Number of measurements	Front of urinal (A)	Front of entrance (C)	Front of entrance (D)	Front of entrance (E)	Front of entrance (Mean)
1	3.894	2.244	1.914	2.376	2.178
2	4.290	3.036	2.310	2.442	2.574
3	2.376	0.660	0.198	0.660	0.528
4	3.300	1.254	1.584	1.452	1.452
5	4.224	3.168	2.904	2.178	2.772
6	3.498	1.386	0.924	1.452	1.254
7	5.676	3.234	2.442	2.772	2.838
8	3.564	1.320	1.650	1.386	1.452
9	3.036	2.112	1.584	2.244	1.980
10	3.036	1.782	1.584	1.716	1.716
Mean±SD	3.689 ± 0.908	2.020 ± 0.899	1.709 ± 0.769	1.868 ± 0.641	1.874 ± 0.738

은 좌변기 앞 0.310 ± 0.156 Bq/cm², $2,574 \pm 0.660$ Bq/cm², 출입문 앞 a 구역 0.251 ± 0.186 Bq/cm², 0.911 ± 0.416 Bq/cm², 출입문 앞 b 구역 0.172 ± 0.140 Bq/cm², 0.957 ± 0.401 Bq/cm², 출입문 앞 c 구역 0.330 ± 0.222 Bq/cm², $1,023 \pm 0.405$ Bq/cm²로 측정되었다(Table 6, 7).

3) 제염 전/후 요오드 치료병실 화장실의 표면오염 선량 측정결과

제염 전/후 요오드 치료병실 화장실의 평균 표면오염 선량은 좌변기 앞 7.247 ± 2.332 Bq/cm², $2,185 \pm 0.708$ Bq/cm², 출입문 앞 a 구역 2.053 ± 0.620 Bq/cm², 0.884 ± 0.362 Bq/cm², 출입문 앞 b 구역 4.244 ± 0.607 Bq/cm², 0.865 ± 0.446 Bq/cm², 출입문 앞 c 구역 3.643 ± 0.654 Bq/cm², 0.693 ± 0.316 Bq/cm²로 측정되었다(Table 8, 9).

3. 업무 개시 전/후(요오드 치료병실 제염 전/후) 표면오염 선량 측정결과

업무 개시 전/후 평균 표면오염 선량은 감마검사실 화장실의 소변기 앞 0.726 ± 0.237 Bq/cm², $3,689 \pm 0.908$ Bq/cm², 출입문 앞(a+b+c) 0.337 ± 0.122 Bq/cm², $1,874 \pm 0.738$ Bq/cm²(Table 10), PET 검사실 화장실의 좌변기 앞 0.310 ± 0.156 Bq/cm², $2,574 \pm 0.660$ Bq/cm², 출입문 앞(a+b+c) 0.251 ± 0.111 Bq/cm², 0.970 ± 0.297 Bq/cm²(Table 11), 요오드 치료병실 화장실의 좌변기 앞 7.247 ± 2.332 Bq/cm², $2,185 \pm 0.708$ Bq/cm², 출입문 앞(a+b+c) 3.313 ± 0.399 Bq/cm², 0.825 ± 0.263 Bq/cm²로 측정되었다(Table 12). 표면오염 측정결과 업무 개시 전/후(요오드 치료병실 제염 전/후) 화장실 3곳은 모두 통계학적으로 유의한 차이($p < 0.000$)를 보였다.

Table 6. Measurement results of Restroom of PET room(Before the start of work) (Units: Bq/cm²)

Number of measurements	Front of toilet (B)	Front of entrance (C)	Front of entrance (D)	Front of entrance (E)	Front of entrance (Mean)
1	0.396	0.066	0.264	0.066	0.132
2	0.264	0.396	0.132	0.330	0.264
3	0.330	0.132	0.000	0.132	0.066
4	0.330	0.198	0.264	0.198	0.198
5	0.462	0.396	0.198	0.396	0.330
6	0.264	0.198	0.066	0.462	0.264
7	0.528	0.396	0.396	0.528	0.462
8	0.000	0.594	0.066	0.132	0.264
9	0.396	0.000	0.330	0.264	0.198
10	0.132	0.132	0.000	0.792	0.330
Mean±SD	0.310 ± 0.156	0.251 ± 0.186	0.172 ± 0.140	0.330 ± 0.222	0.251 ± 0.111

Table 7. Measurement results of Restroom of PET room(After the end of work) (Units: Bq/cm²)

Number of measurements	Front of toilet (B)	Front of entrance (C)	Front of entrance (D)	Front of entrance (E)	Front of entrance (Mean)
1	2,508	1,386	1,188	1,716	1,452
2	2,178	0,660	0,726	1,386	0,924
3	1,848	0,198	0,660	0,660	0,528
4	2,310	1,122	0,528	0,726	0,792
5	3,036	0,858	1,056	0,990	0,990
6	1,584	0,990	1,452	0,726	1,056
7	2,310	1,320	0,726	1,584	1,188
8	3,366	0,528	1,320	1,056	0,990
9	2,970	1,452	1,518	0,792	1,254
10	3,630	0,594	0,396	0,594	0,528
Mean±SD	$2,574 \pm 0.660$	$0,911 \pm 0.416$	$0,957 \pm 0.401$	$1,023 \pm 0.405$	$0,970 \pm 0.297$

Table 8. Measurement results of Restroom of Iodine treatment room (Before decontamination) (Units: Bq/cm²)

Number of measurements	Front of toilet (B)	Front of entrance (C)	Front of entrance (D)	Front of entrance (E)	Front of entrance (Mean)
1	8,910	2,178	4,224	3,762	3,366
2	7,524	1,914	3,894	3,828	3,234
3	5,016	2,838	4,488	4,026	3,762
4	5,214	2,574	4,686	2,970	3,432
5	6,204	2,046	3,894	2,904	2,970
6	11,286	3,036	4,290	3,432	3,564
7	8,448	1,914	4,356	3,762	3,366
8	4,620	1,452	4,818	3,894	3,366
9	9,966	1,386	2,838	2,838	2,376
10	5,280	1,188	4,950	5,016	3,696
Mean±SD	7,247±2,332	2,053±0,620	4,244±0,607	3,643±0,654	3,313±0,399

Table 9. Measurement results of Restroom of Iodine treatment room (After decontamination) (Units: Bq/cm²)

Number of measurements	Front of toilet (B)	Front of entrance (C)	Front of entrance (D)	Front of entrance (E)	Front of entrance (Mean)
1	2,442	0,528	0,198	0,462	0,396
2	2,046	0,396	0,924	0,198	0,528
3	2,706	0,660	1,584	0,660	0,990
4	1,122	0,528	0,792	0,792	0,726
5	1,914	1,188	1,650	1,056	1,320
6	3,828	0,726	0,792	0,924	0,792
7	1,848	0,990	0,858	1,122	0,990
8	1,914	1,452	0,660	0,858	0,990
9	2,046	1,188	0,660	0,264	0,726
10	1,980	1,188	0,528	0,594	0,792
Mean±SD	2,185±0,708	0,884±0,362	0,865±0,446	0,693±0,316	0,825±0,263

Table 10. Surface contamination dose for restroom of γ -camera room) (Units: Bq/cm²)

	Before the start of work		After the end of work	
	Front of urinal	Front of entrance (Mean)	Front of urinal	Front of entrance (Mean)
1	0,396	3,894	0,198	2,178
2	0,792	4,290	0,462	2,574
3	0,660	2,376	0,264	0,528
4	0,462	3,300	0,264	1,452
5	0,990	4,224	0,264	2,772
6	0,462	3,498	0,264	1,254
7	0,726	5,676	0,264	2,838
8	0,990	3,564	0,528	1,452
9	0,726	3,036	0,330	1,980
10	1,056	3,036	0,528	1,716
Mean±SD	0,726±0,237	3,689±0,908	0,337±0,122	1,874±0,738
p-value	0,000	0,000	0,000	0,000

Table 11. Surface contamination dose for restroom of PET room (Units: Bq/cm²)

	Before the start of work		After the end of work	
	Front of toilet	Front of entrance (Mean)	Front of toilet	Front of entrance (Mean)
1	0.396	2.508	0.132	1.452
2	0.264	2.178	0.264	0.924
3	0.330	1.848	0.066	0.528
4	0.330	2.310	0.198	0.792
5	0.462	3.036	0.330	0.990
6	0.264	1.584	0.264	1.056
7	0.528	2.310	0.462	1.188
8	0.000	3.366	0.264	0.990
9	0.396	2.970	0.198	1.254
10	0.132	3.630	0.330	0.528
Mean±SD	0.310±0.156	2.574±0.660	0.251±0.111	0.970±0.297
p-value	0.000	0.000	0.000	0.000

Table 12. Surface contamination dose for restroom of Iodine treatment room (Units: Bq/cm²)

	Before decontamination		After decontamination	
	Front of toilet	Front of entrance (Mean)	Front of toilet	Front of entrance (Mean)
1	8.910	2.442	3.366	0.396
2	7.524	2.046	3.234	0.528
3	5.016	2.706	3.762	0.990
4	5.214	1.122	3.432	0.726
5	6.204	1.914	2.970	1.320
6	11.286	3.828	3.564	0.792
7	8.448	1.848	3.366	0.990
8	4.620	1.914	3.366	0.990
9	9.966	2.046	2.376	0.726
10	5.280	1.980	3.696	0.792
Mean±SD	7.247±2.332	2.185±0.708	3.313±0.399	0.825±0.263
p-value	0.000	0.000	0.000	0.000

IV. 고 찰

2021년 한국 방사선진흥협회의 방사선 및 방사성동위원소 이용 실태를 조사한 통계에 따르면 의료 분야에서의 우리나라 방사선 이용 기관수는 40,054개(2.5%), 종사자는 108,691명(4.8%)으로 증가하였다[9]. 이처럼 의료 분야에서의 방사성동위원소의 사용량이 증가하고 있는 가운데 방사성동위원소를 이용해 치료 및 진단을 수행하는 방사선 이용시설의 작업환경은 상시로 방사선에 노출될 수 있기에 방사선 작업종사자, 수시출입자, 환자와 보호자 등의 의료 피폭에 관한 저감 대책을 포함한 방사선 방어에 관한 안전관리의 체계적인 구축이 필요하다[10].

원자력안전법에 따르면 방사성 물질 중 알파선을 방출하는 물질에 대해서는 0.4 Bq/cm², 알파선을 방출하지 아니하는 방사성 물질(β -ray, γ -ray)에 대해서는 4 Bq/cm²로 허용표면오염도에 관한 기준을 규정하고 있다[11]. 만약 이 기준의 초과 경우에는 즉시 적절한 제염을 통해 표면오염도의 수준을 규제 기준치 이하로 낮추어야 한다.

조용귀 등과 한상현은 핵의학과 전용 화장실(감마검사실, PET 검사실, 요오드 치료병실)의 표면오염도 측정결과 변기 앞이 가장 높고, 화장실 입구는 백그라운드 수준으로 낮게 측정되었으며, 요오드 치료병실, 감마검사실, PET 검사실 순으로 표면오염이 높게 측정되었다고 한다. 이는 모두 저자의 연구결과와 일치하지만, 본 연구에서는 화장실 안쪽 출입문 바닥이 아닌

화장실 바깥쪽 출입문 바다의 표면오염을 측정함으로써 환자 배설물에 의한 오염 확산 여부를 확인하고자 하였다. 점에서 선형연구와 차이가 있다[5, 14]. 또한, 표면의 고착성 및 유리성 오염을 측정할 수 있는 직접측정법으로 측정된 선형연구와는 다르게 본 연구에서는 표면의 유리성 오염만을 측정할 수 있는 간접측정법을 적용해 연구를 진행하였다는 점에서 차이가 존재한다[5, 12-4]. 올바른 방사선 안전관리 문화를 조성하려는 목적성은 같지만, 본 연구에서 간접측정법을 선택한 이유는 주변 오염도의 영향 없이 측정 가능하여 오염된 부분에서 직접 측정법보다 정확한 측정치를 얻을 수 있다는 장점이 있는 간접측정법으로 측정했을 때 어떤 결과가 나타날지 알아보기 위함이다.

연구 결과 제염 전 요오드 치료병실 화장실의 좌변기 앞은 7.247 ± 2.332 Bq/cm²로 법적인 허용선량을 초과하였지만, 그 외 구역에서는 법적인 허용선량 미만으로 측정되었다. 또한, 업무 개시 전/후(요오드 치료병실 제염 전/후)의 모든 구역에 대한 평균값 차이에서는 요오드 치료병실 화장실의 좌변기 앞이 가장 높게 측정되었고, 감마검사실 화장실의 소변기 앞, 요오드 치료병실 화장실의 출입문 앞, PET 검사실 화장실의 좌변기 앞, 감마검사실 화장실의 출입문 앞, PET 검사실 화장실의 출입문 앞 순으로 높게 측정되었다. 이러한 결과는 요오드 치료병실에서 사용하는 ¹³¹I의 반감기가 약 8일, 감마검사실에서 사용하는 ^{99m}Tc의 반감기가 약 6시간, PET 검사실에서 사용하는 ¹⁸F-FDG의 반감기가 약 110분이라는 점을 고려하였을 때, 사용하는 방사성동위원소의 반감기에 따라 방사선 관리구역 내 화장실의 표면오염도 수치에 영향을 준다는 것을 확인할 수 있었다.

특히 환자 배설물에 의한 오염 확산 여부를 확인하기 위해 측정된 화장실 3곳의 출입문 앞 구역은 모두 4 Bq/cm² 미만으로 측정되어 법적인 허용선량을 초과하지 않는 것으로 나타났다. 하지만 업무 종료 후(요오드 치료병실 제염 전) 감마검사실 화장실의 출입문 앞이 1.874 ± 0.738 Bq/cm², 요오드 치료병실 화장실의 출입문 앞이 3.313 ± 0.399 Bq/cm²로 법적 허용선량에 가깝게 측정되어 방사선 피폭의 위험이 있으므로 안전성 확보를 위해 방사선 관리구역 내 화장실 사용은 반드시 환자만 사용하도록 안내할 필요성이 있다.

이러한 연구 결과를 종합해 볼 때, 제염 전 요오드 치료병실 화장실의 좌변기 앞을 제외한 모든 구역의 표면오염도 결과가 4 Bq/cm²보다 낮다는 것을 알 수 있지만, 표면오염 수치가 원자력안전법 기준보다 높지 않다고 해서 간과해서는 안 된다. 문체승 등이 언급한 것과 같이 아무리 작은 방사성 오염일지라도 그 치수가 적절하지 않으면 작업환경과 시설 주변의 환경오염으로 확산하여 작업자나 주변 사람들에게 체내 피폭 등의 영향을 주

게 되므로 표면오염에 관한 주기적인 점검 및 관리가 필요하며, 방사성 오염을 제염할 때 오염물질과 오염 상태 등을 적절히 파악해 올바른 제염 방법을 사용할 수 있도록 해야 한다[15].

본 연구의 제한점으로 특정 의료기관 1곳에서만 실험을 진행했다는 점과 비교적 적은 양의 측정을 진행하여 일별 핵의학과의 화장실을 사용한 환자 수에 따른 오염 빈도, 우연적인 상황, 기기의 오차에 따른 여러 변수가 존재한다. 또한, 간접측정법에만 한정된 결과이므로 이후에 방사선 관리구역 내 화장실의 표면오염에 대해 직·간접측정법을 병행하여 앞서 말한 변수들을 함께 고려하여 추후 더 많은 병원을 대상으로 일별로 많은 상호 보완적인 측정결과를 획득한다면 더 유의미한 연구가 될 것으로 사료 된다.

V. 결론

의료에서 방사성동위원소 이용에 따른 방사선 장애를 방지하기 위해서는 안전의식을 가지고 있어야 한다. 이러한 배경에서 방사선 피폭에 관한 안전성을 확보하기 위한 방사선 안전관리 제도화의 필요성을 제시하기 위해 방사성의약품을 투여 받은 환자의 배설물로부터 발생하는 방사선 관리구역 화장실 내/외 표면오염 및 오염 확산 여부에 대한 평가가 필요하다.

본 연구는 핵의학에서 방사성동위원소로 치료와 진단을 받은 환자들이 주로 사용하는 방사선 관리구역 화장실 내/외의 표면오염도를 측정하여 원자력안전법의 규제 기준치 이하로 관리가 잘 이루어지고 있는지 확인하고, 업무 개시 전/후(요오드 치료병실 제염 전/후)의 환자 배설물에 대한 표면오염도 여부 평가를 통해 방사성 오염의 실태를 조사하고자 하였다.

연구 결과 제염 전 요오드 치료병실 화장실의 좌변기 앞만 7.247 ± 2.332 Bq/cm²로 법적인 허용선량을 초과한 것으로 측정되었고, 그 외 구역에서는 모두 4 Bq/cm² 미만으로 측정되어 법적인 허용선량을 초과하지 않았다. 다만, 측정치가 법적인 허용선량 이하라 할지라도 방사선 피폭에 관한 안전성을 확보하기 위해서는 전체 방사선 관리구역에 대한 꾸준한 관심과 주의가 필요하다. 따라서 방사선 관리구역 내 화장실은 반드시 환자만 사용할 수 있도록 규제해야 하며, 내원하는 환자와 보호자가 발견하기 쉬운 곳에 안내문을 부착하도록 권고해야 한다. 또한, 방사선 관리구역 내 화장실을 이용한 환자의 신발 표면의 오염이 화장실 외부로 확산할 수 있으므로 화장실 전용화를 사용하게 하여 화장실 외부의 표면오염을 방지하기 위해 노력해야 할 것이다.

방사선 관리구역의 표면오염을 최소화할 방법은 계속해서 모색되어야 할 것이며, 원자력안전법에 고시된 규제 기준을 초

과하지 않도록 지속적인 안전관리와 제염을 통해 표면오염을 관리해 나가야 할 것이다.

REFERENCES

- [1] Choi SJ, Hong YD, Lee SY. Therapeutic radionuclides, *Nuclear Medicine and Molecular Imaging*. 2006;40(2): 58–65. Retrieved from <https://koreascience.kr/article/JAKO200613704650978>, page
- [2] Lee DY, Kim KJ, Park HC. Study in occupational exposure to radiations and radioactive isotopes. *The Journal of the Korea Contents Association*. 2009; 9(6):247–55. DOI: 10.5392/JKCA.2009.9.6.247
- [3] Jeong GH, Kim YJ, Jang JC, Lee JK. Detection and measurement of nuclear medicine workers' internal radioactive contamination. *The Korean Journal of Nuclear Medicine Technology*. 2009;13(3):123–31. Retrieved from <https://koreascience.kr/article/JAKO200926749753105>, page
- [4] Ryu JK, Jung WY, Shin SK, Cho SM, Dong KR, Kim HS. Occupational radiation exposure to hospital workers: On the effect of hematological change. *The Korea Journal of Nuclear Medicine Technology*. 2008;12(3):157–70. Retrieved from <https://koreascience.kr/article/JAKO200826749752741>, page
- [5] Cho YG, An SM. Dose rate of restroom in facilities using radioisotope. *Journal of Radiological Science and Technology*. 2016;39(2):237–46. DOI: 10.17946/JRST.2016.39.2.13
- [6] Kwon OJ, Hur J, Lee HW, Kim JY, Park MS, Ro DW, et al. Study on image quality assessment in whole body bone scan. *The Korea Journal of Nuclear Medicine Technology*. 2015;19(1):30–6. Retrieved from <https://koreascience.kr/article/JAKO201528638840540>, page
- [7] Jeong GH. Measurement method of surface contamination and limit of surface contamination. *Radioisotope Journal*. 2000;15(1):39–54. Retrieved from <https://koreascience.kr/article/JAKO200074057618747>, page
- [8] Kim GK, Song KS, Lee SY, Kim KS, Song JK. A study on the measurement method of surface contamination by indirect method. *Korean Association for Radiation Protection*. 2021:658–9. Retrieved from <https://www.earticle.net/Article/A404077>
- [9] Ministry of Science and ICT. Manual for operation and management of the integrated management system for research facilities and equipment. Seoul: Ministry of Science and ICT; 2023.
- [10] Kim JS. An analysis of laws and regulations related with medical radioisotope safety controls [master's thesis]. Seoul: Yonsei University; 2003. Retrieved from <https://ir.ymlib.yonsei.ac.kr/handle/22282913/137909>.
- [11] Lee YJ, Jang DG, O YI, Gwon MO, Ju SD. A study on the field application of portable surface pollution measuring device. *Korean Association for Radiation Protection*. 2011:172–3. Retrieved from <https://koreascience.kr/article/CFKO201123552842069>, page
- [12] Kim KJ, Kim GJ. A study of radioactive contamination in hospital toilet. *Journal of Korea Safety Management & Science*. 2015;17(4):241–6. DOI: 10.12812/ksms.2015.17.4.241
- [13] Moon JS, Jeong HI, Jeong HS, Sin MY, Kim SG, Park DS, et al. A study on the surface contamination level and spatial dose rate measured from NM patients-only bathroom. *The Korea Journal of Nuclear Medicine Technology*. 2012;16(1):38–43. Retrieved from <https://koreascience.kr/article/JAKO201217034923362>, page
- [14] Han SH. Measurement of radioactive surface contamination of the restroom in the hospital. *Journal of the Korean Convergence Society*. 2020;11(8):71–6. DOI: 10.15207/JKCS.2020.11.8.071
- [15] Moon JS, Park DS, Kim SK, Jeong HI. A study of measuring the surface contamination for patient's clothes and bedclothes after ablation therapy. *The Korea Journal of Nuclear Medicine Technology*. 2008; 12(1):3–12. Retrieved from <https://koreascience.kr/article/JAKO200826749752875>, page

구분	성명	소속	직위
교신저자	최재호	안산대학교	부교수
제1저자	조운호	인하대학교병원 핵의학과	팀장
공동저자	최현우	가천대학교	학생
공동저자	김대혁	안산대학교	학생
공동저자	박채아	안산대학교	학생
공동저자	이소영	필립메디컬센터	방사선사
공동저자	이정미	강남치병원	방사선사