

병원 내 화장실의 방사성 표면오염도 측정

한상현
대원대학교 방사선과 교수

Measurement of Radioactive Surface Contamination of the Restroom in the Hospital

Sang-Hyun Han

Professor, Department of Radiological Science, Daewon University Colloege

요약 본 연구는 병원 내 일반 공용화장실과 핵의학 전용화장실내의 방사성 표면오염도를 측정하였다. 측정방법은 Berthold(LB 124, Germany)을 이용하여 화장실 입구, 대변기 안, 대변기 주위바닥, 소변기 안, 소변기 주위바닥에서 측정하였다. 화장실 사용실태 결과 3곳의 병원 중 1곳의 병원에서 방사성동위원소를 투여 받은 환자가 대기하는 전용장소가 없었다. 방사성동위원소 전용 화장실을 측정한 결과 방사성옥소 치료병실에서 모든 측정 장소가 가장 높게 측정되었고, 공용화장실을 측정한 결과는 B병원을 제외한 모든 병원의 측정 장소에서 백그라운드 수준의 오염도를 나타냈다. 하지만 B병원의 1층 공용화장실 소변기 안, 소변기 주위바닥에서 8.073 Bq/cm², 6.426 Bq/cm²으로 측정되었다. 따라서 환자들에게 방사선피폭의 위험성을 설명하고, 환자가 대기할 수 있는 장소를 마련할 것을 권고 한다. 그리고 방사성동위원소를 투여 받은 환자는 불필요한 이동과 일반 공용화장실을 사용하지 못하도록 하는 방안이 모색되어야 할 것이다.

주제어 : 병원 화장실, 방사선피폭, 환자, 핵의학, 방사성 표면오염도, 융합

Abstract This study measured radioactive surface contamination in general public restrooms in hospitals and in dedicated toilets for nuclear medicine. The measurement method was measured using Berthold (LB 124, Germany) at the entrance to the restroom, inside the restroom, around the restroom, in the urinal, and around the urinal. As a result of the use of the restroom, there was no dedicated place waiting for patients who received radioisotopes in one of the three hospitals. As a result of measuring the restroom for exclusive use of radioisotopes, all measurement sites in the radioiodine therapy room were the highest, and the results of measuring the public restrooms showed background level contamination at all hospitals except hospital B. However, it was measured as 8.073 Bq/cm² and 6.426 Bq/cm² in the urinals in the public restroom on the first floor of the B hospital. Therefore, it is recommended to explain the dangers of radiation exposure to patients and provide a place for patients to wait. In addition, a plan should be sought to prevent patients from receiving radioisotopes from using unnecessary movements and general public restrooms.

Key Words : Hospital Restroom, Radiation Exposure, Patient, Nuclear Medicine, Radioactive Surface Contamination, Convergence

*Corresponding Author : Sang-Hyun Han(luck2han@daewon.ac.kr)

Received June 9, 2020

Accepted August 20, 2020

Revised July 14, 2020

Published August 28, 2020

1. 서론

핵의학 기술은 방사성추적자 원리를 제시한 헤베시(Hevesy)와 Anger가 개발한 감마카메라, ^{99m}Tc generator, PET과 PET-CT의 개발로 꾸준한 발전을 이뤄왔다[1].

2017년 한국방사선진흥협회의 방사성동위원소 등의 이용 통계에 따르면 우리나라 의료분야 방사성동위원소 실태는 꾸준한 증가 추세에 있다. 이러한 증가추세에 따라 최근 5년간 의료기관의 방사선작업종사자는 2013년부터 2017년 까지 연평균 4.9%의 증가율을 나타냈다[2].

방사성동위원소의 사용이 증가함에 따라 발생하는 방사선피폭의 위험성은 여러 연구[3]를 토대로 방사선피폭의 감소방안 등이 제시되고 있고 현재도 많은 연구[4]들이 보고되어지고 있다.

의료기관에서 사용되는 방사성동위원소는 개봉과 밀봉 방사성동위원소로 나뉘어 사용되는데 핵의학에 사용되는 방사성동위원소의 대부분은 개봉 방사성동위원소이다. 개봉 방사성동위원소는 기체, 액체, 고체 등의 형태로 되어 있기 때문에 사용 시 인체 및 물품등에 오염될 확률이 높다. 따라서 원자력 안전법에서는 외부로 배출되는 물품은 허용표면오염도의 10분의 1($4\text{Bq}/\text{cm}^2$)을 초과하지 않도록 하여 오염으로 인한 피폭을 방지하고 있다[5].

핵의학 검사와 치료는 환자에게 일정량의 방사성동위원소를 투여하고 장기에 집적되는 시간을 기다린 뒤 검사와 치료가 시행된다. 대부분의 방사성동위원소들은 인체의 신장을 통해 배설되는데[6] 검사가 시작되는 시간까지 대부분의 환자들은 병원 내에서 대기한다. Cho[7]의 연구에 따르면 외래환자가 방사성동위원소를 투여 한 후 화장실을 이용하는 횟수는 1~4회 정도로 보통 20분에서 2시간 정도 체류하는 것으로 보고하고 있다. 이때 환자들은 방사성동위원소 전용화장실을 사용하면 폐수 탱크에 일정량을 보관하고 배수설비를 통하여 배출농도 기준치 이하일 경우에만 배수하도록 하고 있다[8]. 하지만 일부 환자들은 일반 공용화장실을 사용함으로써 방사성동위원소에 의한 오염으로 피폭의 위험성이 있다고 밝히고 있다[7,9,10]. 이는 일반인들의 방사선피폭의 안전성 확보를 위한 안전관리에 시급한 대책과 방안이 필요할 것으로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 각 병원내의 일반 공용화장실과 핵의학 전용화장실내의 방사성 표면오염도를 측정하고 방사성 오염실태를 조사하여 방사선작업종사자와 일반인의 방사선 피폭으로부터 안전성을 확보하기 위한 기초

자료와 제도화의 필요성을 제시 하고자 한다.

2. 대상 및 방법

2.1 측정대상

병원 화장실의 사용 실태 조사와 방사성 표면오염도를 측정하기 위해 D광역시에 소재한 3곳의 병원에서 2020년 04월 20일부터 4월 24일 까지 핵의학과 책임자에게 설문하였고, 같은 기간 동안에 방사성동위원소 전용 화장실과 병원 내 외래 공용화장실을 대상으로 표면오염도를 측정하였다.

2.2 측정방법

병원 화장실 사용 실태 조사는 감마카메라실 전용화장실 유무, 전용화장실 사용 안내 유무, 방사성동위원소 투여 후 환자 전용 대기 장소 유무를 책임자에게 직접 설문하였다. 화장실 표면오염의 측정방법 중에서 직접법으로 Berthold(LB 124, Germany)을 이용하여 측정표면으로부터 10 cm 거리에서 소변기와 좌변기의 표면오염도를 각 5회 측정하여 평균 값을 구하였다(Fig. 1 참고).



Fig. 1. Surface contamination counter

실험에 사용된 계측기는 원자력 안전법에 의해 교정된 것으로 측정방법은 선행연구[7,9]등의 식(1),(2)을 참고하였으며 정확한 측정을 위해 백그라운드 값을 측정하고 실측 값에서 백그라운드 값을 뺀 후 교정인자를 곱하여 표면오염도를 구하였다.

$$\text{참 측정 값(cps)} = \text{실측 값} - \text{백그라운드 값} \dots\dots (1)$$

$$\text{표면오염도(Bq/cm}^2\text{)} = \text{참 측정 값} \times \text{교정인자 값} \dots\dots (2)$$

- 백그라운드 값(cps): 12
- 교정인자 값: 0.027

A, B, C병원의 방사성동위원소 전용화장실 오염 측정을 위해 핵의학과, PET-CT실, 방사성옥소 치료병실의 화장실 입구, 좌변기 안, 좌변기 주위바닥의 오염을 측정하였다(Fig. 2 참고). 측정시간은 업무 종료 후 측정하였고 병원 내 외래 공용화장실 오염 측정은 핵의학과내 전용화장실을 이용하지 않는 환자들의 동선을 고려하여 가장 출입이 많이 예상되는 지점의 화장실을 선택하여 1층 공용화장실, 원무과 근처 화장실, 영상의학과 근처 화장실에서 오염을 측정하였다.



Fig. 2. Measuring position of urinal and toilet seat

3. 결과

3.1 방사성동위원소 전용화장실 오염 측정

방사성동위원소 전용화장실의 표면오염도를 측정된 결과 3곳의 화장실 중에서 방사성옥소 치료병실이 가장 높게 측정되었고, 핵의학과와 PET-CT실 화장실에서 좌변기 안, 좌변기 주위바닥, 화장실 입구 순으로 높게 측정되었다(Table 1 참고). 핵의학과 화장실 입구 표면오염도는 평균 0.234 Bq/cm² 으로 측정되었으며 좌변기 안과 좌변기 주위바닥의 표면오염도 측정결과 C병원에서 6.885 Bq/cm², 4.806 Bq/cm² 으로 가장 높게 측정되었다. PET-CT실 화장실에서는 핵의학과와 마찬가지로 화장실 입구에서의 측정 값이 가장 낮게 나타났으며, 대변기 주위 바닥에서 A병원 2.781 Bq/cm², B병원 2.403 Bq/cm², C병원 2.322 Bq/cm² 순으로 높게 측정되었다. 그리고 좌변기 안에서의 측정 값은 A병원 11.745 Bq/cm², 11.88 Bq/cm², 11.529 Bq/cm² 으로 큰 차이가 없었다. 방사성옥

소 치료병실은 방사성옥소를 환자가 섭취하여 갑상선 암을 치료하는 병실로 격리된 병실에서 혼자 생활하는 곳이고 퇴원기준 선량 값 이하가 되면 퇴원 시킨다[11,12]. 치료병실에서의 측정 결과 대변기 안의 측정 값은 A병원 23.733 Bq/cm², B병원 26.325 Bq/cm², C병원 30.726 Bq/cm² 으로 C병원이 가장 높게 측정되었고, 좌변기 주위바닥은 A병원 12.582 Bq/cm², B병원 13.797 Bq/cm², C병원 10.665 Bq/cm² 으로 측정되었으며, 화장실입구의 측정결과는 3.726 Bq/cm², 3.51 Bq/cm², 3.375 Bq/cm² 으로 측정되었다.

Table 1. Surface contamination measurement of dedicated restroom

(unit: Bq/cm²)

Division	Hospital			
	A	B	C	
Department of Nuclear Medicine	Restroom entrance	0.243	0.324	0.135
	Inside of toilet seat	6.156	5.697	6.885
	Floor around toilet seat	3.888	3.456	4.806
PET-CT Room	Restroom entrance	0.540	0.432	0.378
	Inside of toilet seat	11.745	11.880	11.529
	Floor around toilet seat	2.781	2.403	2.322
Radioiodine Therapy Room	Restroom entrance	3.726	3.510	3.375
	Inside of toilet seat	23.733	26.325	30.726
	Floor around toilet seat	12.582	13.797	10.665

3.2 병원 내 공용화장실 오염 측정

병원 내 공용화장실의 표면오염도를 측정된 결과 1층 공용화장실에서 화장실입구의 오염이 가장 낮게 측정되었고, 소변기 안의 측정결과 A병원 0.189 Bq/cm², B병원 8.073 Bq/cm², C병원 0.081 Bq/cm² 으로 B병원이 가장 높게 측정되었으며, 소변기 주위바닥 측정결과 A병원 0.378 Bq/cm², B병원 6.426 Bq/cm², C병원 0.324 Bq/cm² 으로 B병원이 가장 높게 측정되었다(Table 2 참고). 그리고 좌변기 안의 오염도도 B병원이 3.969 Bq/cm² 으로 가장 높게 나타났으며 A병원 0.081 Bq/cm², C병원 0.054 Bq/cm² 으로 측정되었다. 원무과 근처 화장실에서 측정된 결과는 B병원의 소변기 안에서 2.97 Bq/cm², 소변기 주위바닥에서 0.891 Bq/cm² 으로 가장 높게 측정되었

으며 나머지 2곳의 병원에서는 백그라운드 수준의 측정 값을 나타냈다. 영상의학과 근처 화장실에서 측정한 결과는 A병원에서 소변기안과 소변기 주위바닥에서 각각 0.837 Bq/cm², 0.351 Bq/cm² 으로 측정되었고, 2곳의 병원에서 모두 백그라운드 수준의 오염도를 나타냈다.

Table 2. Surface contamination measurement of public restroom

(unit: Bq/cm²)

Division	Hospital			
	A	B	C	
1stPR	Restroom entrance	0.162	0.189	0.270
	Inside of urinal	0.189	8.073	0.081
	Floor around urinal	0.378	6.426	0.324
	Inside of toilet seat	0.081	3.969	0.054
RNDA	Restroom entrance	0.054	0.081	0.054
	Inside of urinal	0.162	2.970	0.189
	Floor around urinal	0.108	0.891	0.135
	Inside of toilet seat	0.054	0.054	0.054
RNDR	Restroom entrance	0.081	0.081	0.027
	Inside of urinal	0.837	0.054	0.081
	Floor around urinal	0.351	0.081	0.081
	Inside of toilet seat	0.054	0.027	0.081

* 1stPR: 1st floor public restroom

** RNDA: Restroom near the department of administration

*** RNDR: Restroom near the department of radiology

4. 고찰

허용 표면오염도란 물체 또는 인체표면의 방사성 오염도로써 원자력안전위원회가 정하는 허용오염도를 말하며 알파선을 방출하지 않는 방사성물질은 4 Bq/cm² 으로 규정하고 있다[13]. 표면오염의 종류는 제거성과 고착성 오염으로 구분되고 제거성 오염은 일상적인 조건에서 제거될 수 있는 오염이며 고착성 오염은 제거성 오염 이외의 오염이다[6,14]. 핵의학의 대부분의 오염은 제거성 오염으로 오염을 제거할 경우에는 제염제를 사용하거나 반감기를 고려하여 제염을 실시하고 있다.

본 연구는 3곳의 대학병원 내 일반 공용화장실과 핵의학과 전용화장실의 방사성 표면오염도를 측정하였다. 선

행연구[7]의 결과에 의하면 핵의학과를 운영중인 병원은 핵의학과 내 화장실의 공간선량률을 측정한 결과 방사성동위원소 사용시설 내에서의 화장실 공간선량률은 높게 측정되었지만 외래 화장실의 공간선량률은 낮게 측정되었다고 하였다. 이는 방사성동위원소를 투여 받는 환자가 이동하는 경로와 머무르는 시간에 따른 공간선량률을 측정된 것으로 본 연구에서는 환자 자체가 선원이라는 개념으로 접근하여 환자로 부터 배출되는 소변과 대변으로 인한 방사성오염이 일어날 수 있기 때문에 방사선관리구역 내, 외에서 일어날 수 있는 표면오염도를 측정하고 오염정도를 확인하고자 하였다. 그리고 방사선피폭의 위험성과 피폭방지 방안을 제시하고자 하였다.

측정 결과 핵의학과 전용화장실 오염이 일반 공용화장실 오염보다 높음을 확인하였다. 또한 화장실 입구의 오염도가 백그라운드 수준으로 가장 낮게 측정되었으며 좌변기 안과 소변기 안의 표면오염도가 가장 높게 측정됨을 확인하였다.

A, B, C병원의 병원화장실 사용 실태 조사 결과에서 핵의학과내 전용화장실 유무는 모든 병원이 전용화장실을 갖추고 있었다. 그리고 방사성동위원소를 투여 받은 환자에게 전용화장실 사용안내를 모두 실시하고 있었지만 방사성동위원소를 투여한 환자가 전용으로 대기하는 장소가 있는지 질문에는 B병원에서 전용 대기 장소가 없었고 나머지 2곳의 병원은 전용 대기 장소가 있는 것으로 확인되었다(Table 3 참고).

Table 3. Usage status of Hospital Restrooms

Division	Hospital		
	A	B	C
Nuclear medicine dedicated restroom	○	○	○
Usage guide of dedicated Restroom	○	○	○
Patient dedicated waiting area	○	x	○

* ○: Yes, x: No

특히, B병원의 경우에는 다른 곳의 병원보다 1층 공용화장실의 표면오염도가 높게 측정되었고, 원무과 근처 화장실의 소변기 안과, 소변기 주위바닥에서 약간의 오염도 상승 변화만 있었다. 이는 핵의학과내 전용화장실이 있고 사용수칙을 안내했음에도 불구하고 환자전용 대기 장소가 없는 경우에는 병원내에 머무르다 사용하기 편한 1층 공용화장실을 사용하는 것으로 생각된다. 따라서 환자를

통한 방사성오염이 발생하고 있고 피폭관리가 잘 이뤄지지 않고 있음을 나타내며, 방사성오염으로 인한 불특정 다수의 방사선 피폭이 일어나고 있음을 의미한다고 생각된다.

이는 국제방사선방어위원회(ICRP)에서 제시하고 있는 안전하고 올바른 방사선의 이용[15]에 반하는 것으로 정당성에 위배된다고 생각한다. 따라서 방사성동위원소를 투여 받은 환자는 그 자체가 방사선원이기 때문에 환자들에게 방사선피폭의 위험성을 설명하고 되도록이면 일반인과의 접촉을 금지하고 병원에서는 환자가 대기할 수 있는 장소를 마련하여 환자는 전용화장실을 사용할 것을 권고 한다.

표면오염도 측정결과를 토대로 선행연구[9,10]와 비교하면 서로 다른 계측기의 사용과 측정 장소 및 측정 시간 등의 조건이 다르기 때문에 직접적인 비교는 어렵지만 소변기 안, 좌변기 안, 그리고 주위바닥에 오염정도가 높음을 알 수 있었다. 측정표본이 작고 측정 당일 핵의학과의 검사 건수와 환자에게 투여되는 방사능량이 다른 것과, 외래 공용화장실의 경우 남자 화장실만 측정이 가능했던 부분들을 고려해야 하지만, 방사성동위원소를 투여받은 환자를 통해 방사성오염이 방사선관리구역 밖에서 일어나고 있음을 확인한 의미 있는 결과라 생각된다.

따라서 핵의학과 검사를 필요로 하는 환자가 편안히 대기할 수 있는 환자전용 대기 장소와 4 Bq/cm²을 초과한 표면오염이 발생한 경우에는 적절한 제염방법을 통해 표면오염도를 낮추는 작업과 일반인들의 방사선피폭으로부터 보호하기 위한 제도화가 필요할 것으로 사료된다.

5. 결론

본 연구는 핵의학 검사를 위해 방사성의약품 투여 받은 환자가 병원 내 화장실을 사용할 경우 소변과 대변으로부터 발생하는 방사성오염이 일반 공용화장실과 핵의학 전용화장실에서 법적 기준치에 충족하는지를 측정하였고, 방사선 피폭으로부터 안전성을 확보하기 위한 방안과 제도화의 필요성을 제시 하고자 하였다.

핵의학에 이용되는 방사성동위원소들은 대부분 방사성의약품의 형태로 만들어져 환자에게 투여하고환자에게 배출되는 소변이나 대변은 방사성붕괴를 고려해 일정기간 보관한 뒤 방사성폐기물로 처리되어 배출한다. 하지만 연구 결과 일부 병원에서는 검사를 기다리는 대기 시간 동안 환자가 전용화장실을 사용하지 않고 일반 공용화장

실을 사용하는 것으로 나타났다. 공용화장실의 오염 측정 결과 백그라운드 수준의 오염도를 나타냈으나 1층 공용 화장실의 소변기 안(8.073 Bq/cm²)과 소변기 주위바닥 (6.426 Bq/cm²)에서 허용표면오염도 기준치 4 Bq/cm²보다 1.5~2배 높게 측정되었다.

따라서 일반인들의 방사선피폭을 방지하기 위해 환자 전용 대기 장소를 마련하여 불필요한 이동과 일반 공용 화장실을 사용하지 못하도록 하는 방안이 모색되어야 할 것이다.

REFERENCES

- [1] Y. G. Kang et al. (2018). *Textbook of Nuclear Medicine*, Chung-ku publisher, 13-19.
- [2] Korea Association for Radiation Application. (2019). Final report on the use of radiation and radioisotopes in 2017.
- [3] Y. J. Bae et al. (2017). Multidimensional Model for Assessing Risks from Occupational Radiation Exposure of Workers, *Journal of the Korean Society of Radiology*, 11(7), 555-564.
- [4] K. Kim et al. (2010). The Effect of Adequate Radiation Shield Production for Radiation Worker, *Journal of Nucl Med Technology*, 14(2), 41-44.
- [5] H. J. Lee et al. (2018). Analysis of Public Notice of NSSC and Field Application Case Regarding Security of Radioisotopes, *Journal of Radiation Industry*, 12(4), 303-310.
- [6] S. M. Rhim, R. J. Park & B. T. Kim. (1982). Evaluation of Extraosseous Abnormalities Detected in Bone Scan, *The Korean Journal of Nuclear Medicine*, 26(1).
- [7] Y. G. Cho & S. M. An. (2016). Dose Rate Restroom in Facilities using Radioisotope, *Journal of Radiological Science and Technology*, 39(2), 237-246.
- [8] Standard for Radiation Protection. (2014). Nuclear Safety and Security Commission Notice, 34.
- [9] K. J. Kim & G. J. Kim. (2015). A Study of Radioactive Contamination in Hospital Toilet, *Journal of Korea Safety Management Science*, 17(4), 241-246.
- [10] J. S. Moon et al. (2012). A Study on the Surface Contamination Level and Spatial Dose Rate Measured from NM Patients-Only Bathroom, *Journal of Nuclear Medicine Technology*, 16(1), 38-43.
- [11] Nuclear Safety and Security Commission Notice, (2012), Technical Safety Notice for Radiation Safety of Medical, 37.
- [12] G. W. Lee. (2007). Minimized Radiation Dose of Patients Receiving High Dose Radioiodine(I-131) Therapy, *Journal of Radiological Science and*

Technology, 30(4), 435-442.

- [13] Korea Ministry of Government Legislation. (2019). *Nuclear Safety and Security Commission Notice*, Standard for Radiation Protection.
- [14] H. H. Tack & S. C. Kang. (2011). Development of Automatic Smear Equipment for Measuring Surface Radioactivity Contamination, *Journal of the Korea Industrial Information Systems Research*, 16(4), 37-44.
- [15] International Commission on Radiological Protection. (2007). *The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*, publication 103.

한 상 현(Sang-Hyun Han)

[정회원]



- 2008년 2월 : 건양대학교 보건학과(보건학석사)
- 2017년 2월 : 충북대학교 의용생체공학과(공학박사)
- 2019년 3월 ~ 현재 : 대원대학교 방사선과 교수
- 관심분야 : 핵의학, 의용생체공학

· E-Mail : luck2han@daewon.ac.kr