

병원 화장실의 방사성 오염에 관한 연구

김기진*·김가중**

*건양대학교병원 영상의학과 · **극동대학교 방사선학과

A Study of Radioactive Contamination in Hospital Toilet

Ki-Jin Kim* · Gha-Jung Kim**

*Department of Diagnostic Radiology, Konyang University Hospital

**Department of Radiological Science, Far East University

Abstract

Generally a patient who was injected radiopharmaceuticals for nuclear medicine examination is not an object of isolation. Therefore, when the patient uses toilet, we expect surface contamination of a toilet by radioisotope. The measured value is $25.69\text{Bq}/\text{cm}^2$ (a restroom near admission and administration), $19.39\text{Bq}/\text{cm}^2$ (a toilet near department of radiology). The study shows that 9 of 24 locations in controlled area exceed over surface contamination limit. From now on, we should find source of contamination through measurement radioactive nuclide to apply radiation safety management.

Keywords : Hospital Toilet, Radioactive Contamination, Surface Contamination Level

1. 서론

2011년 3월 일본 후쿠시마 원전 사고 이후 국내에서는 방사선에 대한 경각심이 높아져 일반 시민들도 방사선검출기를 구매하여 주변생활의 방사능을 측정하게 되었다. 그 결과 서울시 노원구 월계동 주택가 아스팔트에서 방사선검출(최고 방사선준위 $1.4\mu\text{Sv}/\text{hr}$)이 되었다[1]. 방사선과 관련된 크고 작은 사건 이후 국민들의 방사선 피폭에 대한 경각심은 점차 커지고 있다. 따라서 국내에서는 방사선 안전관리 범위를 확대하고 생활 속 천연 방사성물질을 관리하기 위해 2012년 7월 26일 생활주변 방사선 안전관리 법(이하 생방법)을 시행하였다[2]. 의료기관도 인공방사성핵종을 다루는 하나의 기관이다. 특히 핵의학과와 경우 개봉방사성물

질을 취급하기 때문에 외부로 반출되는 물품에 대하여 표면방사성물질의 오염도가 허용표면오염도의 10분의 1을 초과하지 않도록 외부 반출물품에 대하여 표면오염도를 확인하고 있다[3]. 핵의학 영상검사를 실시하기 위해서 방사성의약품을 환자에게 투여한 후 일정시간 경과 뒤 검사를 실시하게 된다. 핵의학 영상검사 중 전신 뼈 스캔(Whole Body Bone Scan, WBBS)은 대표적인 핵의학 영상검사이다. 전신 뼈 스캔에 사용되는 방사성의약품은 주사 후 2시간 동안 40~50%가 신장을 통하여 배설된다[4]. 전신 뼈 스캔을 위해 방사성의약품을 투여한 환자는 검사를 시행하기 전까지 병원시설에 머물게 된다. 또한 소변을 볼 경우 일반화장실을 이용하기 때문에 다량의 방사성물질에 의한 일반화장실의 오염이 예상된다. 그러나 이런 환자를 격리 할

† Corresponding Author: Gha Jung Kim,

Dept. of Radiology Science, Far East University, E-mail: gjms1225@hanmail.net

Received October 16, 2015; Revision Received December 21, 2015; Accepted December 23, 2015.

동위원소를 투여 받은 환자로 인하여 다른 개인의 유효선량이 5mSv를 초과할 가능성이 있는 경우에는 환수 있는 법적 근거는 없다. 다만 진료목적으로 방사성자를 격리하여야 한다고[5] 명시되어 있기는 하나 이는 갑상선암을 치료하기 위해 방사성옥소 30mCi 이상을 투여하는 경우에만 해당한다. 결국 핵의학 영상검사를 위해 방사성의약품 투여 받은 환자는 법적 규제 대상이 아니기 때문에 일반 공중화장실을 사용할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 방사성의약품 투여 받은 환자에 의한 병원내부 공중화장실의 방사성물질에 의한 오염상태를 파악하고 해결책을 제시하기 위한 기초자료로 사용하고자 한다.

2. 대상 및 방법

2.1 대상 및 측정기기

2015년 4월 6일부터 30일까지 무작위로 요일을 선정하여 A 병원 외래화장실(지하 1층 2 개소 6개 지점, 1층 3 개소 9개 지점, 2층 3 개소 9개 지점, 총 3 개소 24지점)을 대상으로 하였다. 화장실의 표면오염도를 측정하기 위해 사용한 장비는 BERTHOLD Contamination monitor(Germany, 검교정일 : 2015년 4월 3일)를 사용하여 남자 소변기 표면과 남자 소변기 바닥의 오염도를 측정하였다.

2.2 방법

병원진료가 종료 된 후 오후 6시부터 외래화장실(지하 1층 2 개소 6개 지점, 1층 3 개소 9개 지점, 2층 3 개소 9개 지점, 총 3 개소 24지점)의 방사성표면오염도 측정을 위해 Contamination monitor를 이용하여 먼저 각 화장실 입구의 백그라운드(Back Ground, BG) 값을 측정하였다. 표면오염도는 소변기 표면과 소변기 옆 바닥표면 10cm위치에서 오염도를 각각 측정하였다. 표면오염도 측정 시 각 측정지점에 대하여 측정값의 변동이 없을 때 까지 5회 이상 측정 후 가장 높은 값을 적용하였다. 측정 시 초당 계수값(Count Per Second, cps)으로 측정을 하였다. 측정 후 측정기의 교정계수를 이용하여 Bq/cm²로 환산하여 화장실

바닥과 소변기의 표면 오염도 값을 산출하였다. Contamination monitor를 이용한 표면오염도 측정을 위한 참 계수값과 표면오염도 환산식은 [식 1]과 같은 방법으로 구하였다.

[식 1]

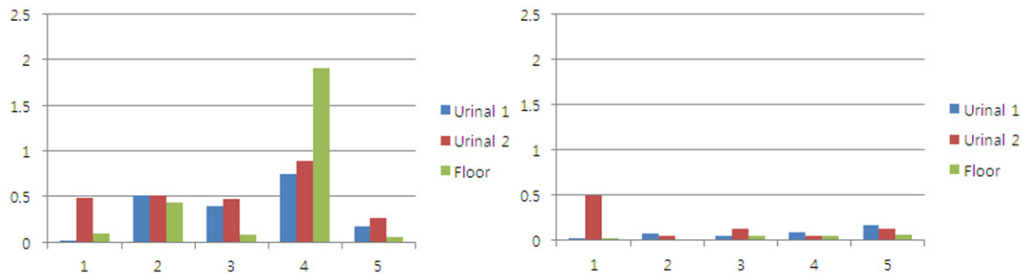
$$\begin{aligned} \text{참 계수값(cps)} &= \text{실제 측정값(cps)} - \text{BG 측정값(cps)} \\ \text{표면오염도(Bq/cm}^2\text{)} &= \text{참 계수값(cps)} \times \text{교정계수} \end{aligned}$$

3. 결과

화장실의 표면 오염도를 측정한 결과 지하 1층에 위치한 화장실 2개소에 대한 표면오염도를 측정한 결과 작계는 0.02Bq/cm²에서 많게는 1.91Bq/cm²로 측정이 되었다. 지하 1층의 표면 오염도를 측정한 결과 관리구역 내 표면오염 한도인 4Bq/cm²를 초과하는 곳은 없었다. 1층에 위치한 화장실 3개소에 대한 표면오염도를 측정한 결과 작계는 0.01Bq/cm²에서 많게는 25.69Bq/cm²로 측정이 되었다. 1층화장실의 경우 관리구역 내 표면오염 한도인 4Bq/cm²를 초과하는 곳은 9개 지점으로 조사가 되었다. 소변기와 소변기 주변의 오염을 비교할 때 소변기 보다 소변기 주변 바닥의 오염이 더욱 심한 것으로 나타났다. 이것은 소변기에 배출되는 방사성물질은 소변기에서 나오는 물에 의해 씻겨 내려가기 때문에 소변기 바닥보다 상대적으로 오염이 낮게 조사가 되었다. 그리고 3층에 위치한 화장실 3개소에 대한 표면오염도를 측정한 결과 작계는 0.02Bq/cm²에서 많게는 0.41Bq/cm²로 측정이 되었다. 3층의 표면 오염도를 측정한 결과 관리구역 내 표면오염 한도인 4Bq/cm²를 초과하는 곳은 없었다. 24개 지점의 측정 장소 중 관리구역 내 알파선을 방출하지 않는 핵종에 대한 표면오염도 한도(4Bq/cm²)를 초과하는 구역은 9개 지점이었다. 층별 화장실의 표면오염도를 비교 하였을 때 표면오염도가 가장 높은 곳은 1층 화장실로 조사가 되었다. 1층 화장실 중 화장실 앞에 원무과와 영상의학과가 위치한 화장실 2개소의 오염이 특히 심하였다. 검사환자의 수와 사용 된 방사성 동위원소의 양이 많은 화, 수, 목요일에 오염이 더 되는 것으로 조사가 되었다.

<Table 1> Radioactive Contamination of first basement Toilet
 Unit:Bq/cm²

No	First basement 1			First basement 2		
	Urinal 1	Urinal 2	Floor	Urinal 1	Urinal 2	Floor
1	0.02	0.49	0.10	0.02	0.49	0.02
2	0.51	0.51	0.43	0.07	0.04	0.01
3	0.39	0.47	0.08	0.05	0.13	0.04
4	0.75	0.89	1.91	0.09	0.04	0.05
5	0.17	0.27	0.06	0.17	0.13	0.06



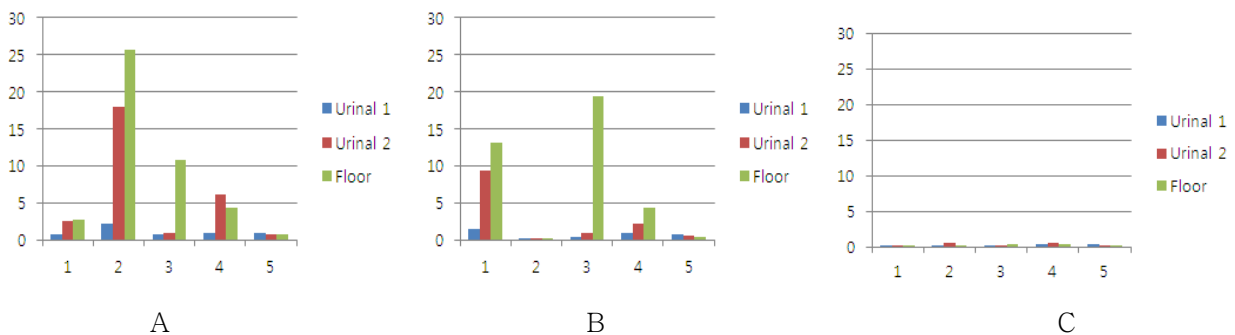
지하 1층의 1번 화장실의 오염이 2번 화장실의 오염보다 상대적으로 높게 측정이 되었다. 지하 1층 1번 화장실의 경우 외래 구내식당 앞에 위치하여 있는 반면 2번 화장실의 경우 환자의 왕래가 많지 않은 곳에 있어 오염이 낮을 것으로 생각이 된다.(Fig 1그래프 참조)

A B
 [Figure 1] Radioactive Contamination of first basement Toilet
 (A:1st basement 1, B:1st basement 2)

<Table 2> Radioactive Contamination of First floor toilet Unit:Bq/cm²

No	First floor 1			First floor 2			First floor 3		
	Urinal 1	Urinal 2	Floor	Urinal 1	Urinal 2	Floor	Urinal 1	Urinal 2	Floor
1	0.71	2.57	2.61	1.37	9.27	13.01	0.01	0.01	0.02
2	2.17	17.87	25.69	0.27	0.25	0.18	0.04	0.57	0.19
3	0.65	0.95	10.75	0.37	0.91	19.39	0.17	0.20	0.44
4	0.92	6.07	4.27	0.95	2.17	4.37	0.37	0.47	0.30
5	0.97	0.81	0.69	0.71	0.51	0.41	0.34	0.25	0.21

1층의 1번 화장실은 원무과 및 편의점, 2번 화장실은 영상의학과가 주변에 위치하여 있으나 3번 화장실의 경우 신경외과가 위치하고 있다. 화장실 주변에 환자의 왕래가 잦은 진료과 및 시설이 있는 1번 및 2번 화장실의 오염도가 환자왕래가 낮은 3번보다 높았다.



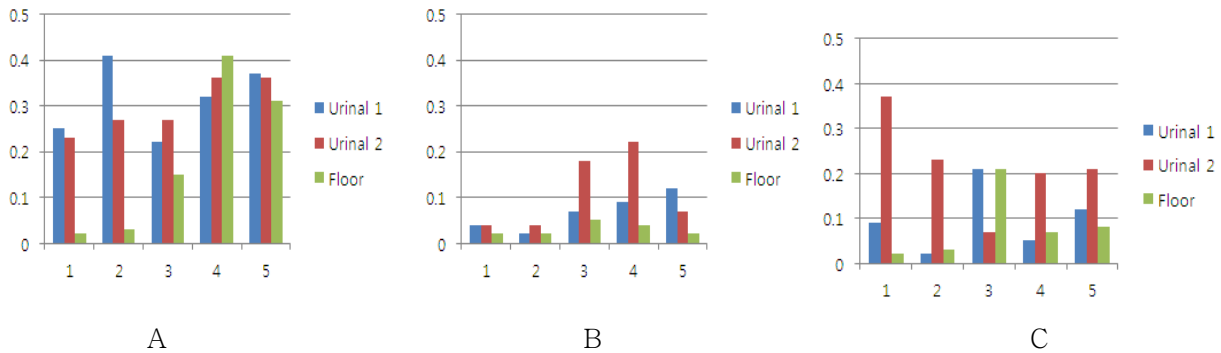
A B C
 [Figure 2] Radioactive Contamination of First floor Toilet
 (A:First floor 1, B:First floor 2, C:First floor 3)

<Table 3> Radioactive Contamination of second floor Toilet

Unit: Bq/cm²

No	Second floor 1			Second floor 2			Second floor 3		
	Urinal 1	Urinal 2	Floor	Urinal 1	Urinal 2	Floor	Urinal 1	Urinal 2	Floor
1	0.25	0.23	0.02	0.04	0.04	0.02	0.09	0.37	0.02
2	0.41	0.27	0.03	0.02	0.04	0.02	0.02	0.23	0.03
3	0.22	0.27	0.15	0.07	0.18	0.05	0.21	0.07	0.21
4	0.32	0.36	0.41	0.09	0.22	0.04	0.05	0.20	0.07
5	0.37	0.36	0.31	0.12	0.07	0.02	0.12	0.21	0.08

2층에 위치한 1,2,3번 화장실 모두 핵의학 영상검사의 빈도가 낮은 안과, 진단검사의학과, 가정의학과, 일반외과가 위치하고 있어 오염도가 다른 층에 비해 상당히 낮게 나타났다.



[Figure 3] Radioactive Contamination of Second floor Toilet
(A:Second floor 1, B:Second floor 2, C:Second floor 3)

<Table 4> Characteristic of Contamination Survery day

No	Day of the week	Pt Number	Use of total RI	RI contamination No
1	Friday	12	6,845MBq	2
2	Tuesday	14	9,435MBq	2
3	Wednesday	12	12,580MBq	2
4	Monday	16	12,765MBq	2
5	Thursday	11	8,584MBq	-

<Table 5> Department of Floor

Toilet	Facilities	Contamination Location
First basement 1	Medical Recorder Team, Human Resources Team, Staff cafeteria	-
First basement 2	PET/CT, Radiation Therapy	-
First floor 1	Department of Administration, Convenience store, Emergency Room	5
First floor 2	Department of Radiology, Orthopedics, Neurosurgery	4
First floor 3	Neuropsychiatry,	-
Second floor 1	Ophthalmology, Laboratory Medicine	-
Second floor 2	Family Medicine, Dermatology	-
Second floor 3	General Surgery	-

층별 화장실과 주변에 위치한 시설에 따른 오염된 화장실의 수를 보면 1층의 1번과 2번 화장실에서의 오염(4Bq/cm²이상)이 가장 많았다. 이는 환자들의 왕래가 잦은 시설이 있는 화장실에서 오염이 심한 것을 나타낸다.

4. 결론 및 고찰

2013년 한 국회의원은 서울 도심 내 위치한 갑상선 전문요양병원이 방사능 누출의 사각지대로 방치되고 있다는 주장을 했다[6]. 언론보도 이후 원자력안전위원회와 합동 실태점검을 실시한 결과 병원 종사자들의 방사성 피폭이 일반인 허용한도 수준인 1mSv/y 를 초과하는 것으로 나타났다. 국내에서는 갑상선 암을 치료하기 위해 고용량의 방사성옥소를 투여 후 격리병실에 입원 후에 퇴원기준에 만족하면 퇴원을 시키고 있다[7,8]. 핵의학 영상검사를 위해서 방사성의약품을 투여한 환자들은 환자 자체가 방사선피폭원이기는 하나[9] 원자력 관계법령에서 명시하는 격리환자의 대상이 아니기 때문에 방사성물질이 인체 내에 있음에도 특별한 조치 없이 검사시간까지 일반구역에서 대기하는 것이 현실이다. 또한 이런 환자들이 일반 공중화장실에서 소변을 볼 경우 일반화장실이 방사성물질에 의한 오염이 우려되는 부분이다. 따라서 본 연구에서는 핵의학 영상검사를 위해 방사성의약품 투여한 환자에 의한 일반화장실의 오염을 측정된 결과 남자 소변기에서 작게는 0.01Bq/cm^2 많게는 17.87Bq/cm^2 로 측정이 되었으며 남자 소변기 바닥에서는 작게는 0.01Bq/cm^2 많게는 25.69Bq/cm^2 로 측정이 되었다. 이는 관리구역에서 알파선을 배출하지 아니하는 방사성물질에 의한 표면오염한도인 4Bq/cm^2 의 4배에서 6배에 해당한다. 그러나 일반화장실은 관리구역이 아니기 때문에 관리구역에서 외부로 반출되는 물품의 표면한도인 10분의 1에 적용한다면 40배에서 60배에 해당하는 수치이다. 핵의학과가 위치한 지하 1층의 화장실의 오염도는 심하지 않은 것으로 나타나 핵의학과의 위치는 화장실의 오염에 큰 영향을 주지 못하였다. 화장실 앞에 원무과 및 영상의학과가 위치한 1층의 화장실이 방사성물질에 의한 표면오염이 가장 심한 것으로 나타났다. 이는 핵의학 영상검사 뿐 아니라 당일 영상의학과 검사를 실시하는 환자가 다수 있고 환자가 병원 진료 후 마지막으로 원무과 수납창구를 거친 후 귀가 하는 환자의 이동경로 때문에 나타나는 현상이라 생각한다. 만약 방사성의약품 투여 한 환자가 핵의학 검사 당일 외래 진료가 있는 경우 진료실에서 대기 하는 동안 다른 환자들에게는 방사선 피폭원이 될 수 있다. 따라서 핵의학 영상검사가 있는 날에는 환자들의 외래 진료를 가급적 금하는 것이 좋을 것이다. 핵의학 영상검사의 수와 사용된 방사성 물질의 양에 따른 화장실의 오염을 확인한 결과 핵의학 영상검사가 많고 사용된 방사성 물질의 양이 많은 날일수록 일반 화장실의 방사

성물질에 의한 오염이 많은 것으로 나타났다. 이를 볼 때 규모가 대형병원이면서 핵의학 영상검사의 수가 많은 병원 일수록 일반화장실의 방사성물질에 의한 오염이 더욱 심할 것으로 예상된다. 일반적으로 발생하는 방사성폐액은 전용 저류조를 설치하여 보관한 다음 배수설비의 배수구에 있어서 배출 중 방사성 동위원소의 농도가 규정하는 기준 이하일 경우에만 배출하도록 하고 있다[10]. 대부분의 핵의학과에는 방사성 폐액의 수집하기 위한 전용 배수라인이 설치되어 있어 방사성 물질을 사용할 때 발생하는 방사성폐액을 일반방류하지 않고 전용 탱크로 유입되게 하여 관리를 하고 있다. 본 연구결과를 보면 핵의학 검사를 위해 방사성의약품 투여 받은 환자에 의해서 병원내부에 있는 일반화장실의 방사성물질에 의한 오염이 발생됨을 확인할 수 있었다. 화장실의 방사성물질에 의한 오염이 확인이 되었다는 것은 환자에게서 외부로 배출되는 방사성물질이 그대로 일반하수를 통해서 배출될 수 있다는 것을 시사한다. 화장실의 오염의 특성을 볼 때 소변기의 오염도 보다 소변기 주변 바닥의 오염이 더욱 높은 것을 알 수 있었다. 이는 환자에게서 배출되는 방사성의약품이 소변을 통해 배출 될 때 소변기에서 나오는 물에 의해 대부분 일반 배수라인을 따라 흘러 들어가는 것을 간접적으로 확인 할 수 있었다. 저자는 방사성물질에 의한 일반화장실의 표면오염보다 환자들에게서 배출되는 방사성물질이 일반 하수로 유입되는 점이 더욱 큰 문제라 생각이 된다. 국내 대형병원에서는 갑상선 질환치료를 위해 I-131을 이용한 외래치료를 다수 시행을 하게 된다. I-131 투여 시 투여량이 30mCi 이하일 경우 외래 치료가 가능하기 때문에 I-131을 투여한 후 귀가를 할 수 있다. I-131의 반감기는 8.06일로 I-131을 투여 받은 환자가 병원시설의 일반화장실에서 소변을 볼 경우 일반하수로 유입되는 I-131에 의한 수중오염이 상당히 우려되는 부분이다. 그러나 본 연구에서는 단순히 방사성물질에 의한 표면 오염도를 측정하였기 때문에 주요 오염원이 무엇인지 확인하지는 못하였다. 남성이 소변을 볼 경우 소변기의 오염이 심할 것을 가정한 뒤 남자 화장실 소변기만을 대상으로 하였고 측정 일자도 5일에 불과하다. 따라서 화장실의 오염원을 확인하기 위한 방사성 물질의 핵종분석을 실시하여 주된 오염원을 파악이 필요할 것으로 생각이 된다. 그리고 화장실 오염 측정 시 남자 및 여자 화장실의 소변기와 좌변기에 대한 표면오염도 측정을 실시하여 오염형태의 특성을 파악하여야 할 것이며 일반 화장실을 통하여 일반하수로 유입되는 방사성물질의 수중농도를 면밀히 검토하여 의료기관의 방사선안전관리에 반영을 하여야 할 것으로 사료가 된다.

5. References

- [1] DOI: <http://www.nssc.go.kr>
- [2] Act on Safety Control of Radiation Around Living Environment.
- [3] Rule of Technical Standards for Radiation Safety Management, No 12.
- [4] Rhim, S.M. Park, R.J. Kim, B.T.(1982), "Evaluation of Extraosseous Abnormalities Detected in Bone Scan." The Korean Journal of Nuclear Medicine, 26(1)
- [5] Nuclear Safety and Security Commission Notice 2011-37, Technical Standards Notice. for Radiation Safety of Medical.
- [6] DOI: <http://dailymedi.com>
- [7] US NRC Regulatory Guide 8.39,(1997)
- [8] Nuclear Safety and Security Commission Notice 2012-37, Technical Standards Notice for Radiation Safety of Medical.
- [9] Cabral, G. Amaral, A. Campos, L. Guimaraes, M. I.(2002) "Investigation of maximum dose absorbed by people accompanying patients in nuclear medicine departments." Radiation Protection Dosimetry, 101(4):435-438.
- [10] Nuclear Safety and Security Commission Notice 2014-34, Standard for Radiation Protection.

저자 소개

김기진



2009.2 전북대학교 방사선 과학기술학과 (이학석사)
 2000.2 ~ 2014.2 건양대학교 병원 핵의학과
 2014.3 ~ 현재 건양대학교병원 영상의학과
 2013.3 ~ 현재 건양대학교 방사선학과 겸임교수

관심분야 : 핵의학, 방사선물리학, 방사선계측학, 방사선관리학, 방사선생물학

김가중



2006년 8월 : 고려대학교 의학물리학과(이학석사)
 2010년 8월 : 전북대학교 방사선과학기술학과(이학박사)
 2000년 2월 ~ 2010년 2월 : 건양대학교병원 방사선종양학과
 2010년 3월 ~ 현재 : 극동대학교 방사선학과 학과장

관심분야 : 방사선 물리, 방사선종양학, 방사선 계측
 E-Mail : gjms1225@hanmail.net