

## 우리나라에서 방사성옥소입원치료 관리 최적화

서울대학교의과대학 핵의학교실<sup>1</sup>, 서울대학교 대학원 의용생체공학 협동과정<sup>2</sup>,  
서울대학교 대학원 방사선생명과학 협동과정<sup>3</sup>, 서울아산병원 핵의학과<sup>4</sup>, 인하대학교병원 핵의학과<sup>5</sup>  
박민재<sup>1,2</sup> · 김중현<sup>1,3</sup> · 장정찬<sup>4</sup> · 김창호<sup>5</sup> · 정재민<sup>1,3</sup> · 이동수<sup>1,3</sup>

### Optimization of Inpatient Management of Radioiodine Treatment in Korea

Min Jae Park, M.S.<sup>1,2</sup>, Jung Hyun Kim, M.S.<sup>1,3</sup>, Jung Chan Jang, M.Ph.<sup>4</sup>,  
Chang Ho Kim, M.Ph.<sup>5</sup>, Jae Min Jeong, Ph.D.<sup>1,3</sup>, and Dong Soo Lee M.D.<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Department of Nuclear Medicine, Seoul National University College of Medicine, Seoul, Korea;

<sup>2</sup>Interdisciplinary Program, Biomedical Engineering Major, Graduate School of Seoul National University, Seoul,

Korea; <sup>3</sup>Interdisciplinary Program, Radiation Applied Life Science Major, Graduate School of Seoul National University, Seoul, Korea; <sup>4</sup>Department of Nuclear Medicine, Asan Medical Center, Seoul, Korea; <sup>5</sup>Department of Nuclear Medicine, Inha University Hospital, Incheon, Korea

We established a model to calculate radioactive waste from sewage disposal tank of hospitals to optimize the number of patients receiving inpatient radioiodine therapy within the safety guideline in our country. According to this model and calculation of radioactivity concentration using the number of patients per week, the treatment dose of radioiodine, the capacity and the number of sewage tanks and the daily amount of water waste per patient, estimated concentration of radioactivity in sewage waste upon disposal from disposal tanks after longterm retention were within the safety guideline (30 Bq/L) in all the hospitals examined. In addition to the fact that we could increase the number of patients in two thirds of hospitals, we found that the daily amount of waste water was the most important variable to allow the increase of the number of patients within the safety margin of disposed radioactivity. We propose that saving the water amount be led to increase the number of patients and they allow two patients in an already furnished hospital inpatient room to meet the increasing need of inpatient radioiodine treatment for thyroid cancer. (Nucl Med Mol Imaging 2008;42(4):261-266)

**Key Words:** radioiodine treatment, radiation safety, optimization

## 서 론

우리나라 갑상선암 환자의 발병률이 증가함에 따라 방사성옥소 치료가 필요한 환자가 늘고 있다. 갑상선암은 방사성옥소 치료로 완치가 가능하고 생존율이 높아, 사망하는 환자 때문에 총환자수가 주는 생존률 낮은 암과 달리 일단 발병한 환자는 계속 누적되는 경향을 보인다. 수술하고 방사성옥소 치료를 시행한 환자는 평생 추적관찰 대상이며, 추적 중 혹시 재발하여도 다시 방사성옥소치료로 완치를 기대한다. 최근 우리나라 갑상선암 환자가 늘어난 것

이 발병률이 실제로 증가된 것 때문인지, 또는 최근 널리 시행되는 갑상선초음파의 도움으로 많이 찾는 것인지는 논란이 있지만, 어떤 이유이든 방사성옥소 치료가 필요한 환자는 앞으로도 증가할 것이다.

갑상선암 수술절제 후 치료방침은 대량 방사성옥소를 초기에 투여하여 잔류갑상선/갑상선암 세포의 기절(stunning) 효과도 막고 미세전이도 치료하는 방향으로 나아가고 있다. 30 mCi이하로 외래에서 치료하던 환자들도 여건만 허락하면 입원하여 150-200 mCi를 투여하는 방향으로 치료 방침이 바뀌어 입원이 필요한 환자가 앞으로 더 늘어날 전망이다. 이에 비하여 전국의 방사성동위원소 치료 입원병상은 60개에 미치지 못하고 2006년에는 연간 6,543명을 치료하였다. 최대 입원치료 가능 숫자도 7,020명으로 추산된다.<sup>1,2)</sup>

방사성옥소치료실은 만드는데 시간과 비용이 많이 들어 적체된 환자치료를 위하여 병실증설을 논의하기에 앞서서 현재 전국의 병원이 지닌 실제 치료 가능한 환자 숫자를

• Received: 2008. 7. 18. • Accepted: 2008. 8. 14.

• Address for reprints: Dong Soo Lee, M.D., Department of Nuclear Medicine, Seoul National University College of Medicine, 28 Yungun-Dong, Jongno-Gu, Seoul 110-744, Korea

Tel: 82-2-2072-2501, Fax : 82-2-745-7690

E-mail: dsl@plaza.snu.ac.kr

산출하여 방사선안전규제의 범위 안에서 실제 얼마나 더 많은 환자를 치료할 수 있는지 알아볼 필요가 있다. 방사성옥소치료병실의 시설규제 중에 가장 핵심적인 부분은 '배수중의 배출관리 기준'으로 교육과학기술부 고시 제 2005-35호의 제13조와 관련 고시 '방사선방호등에 관한 기준' 제6조에 의해 배수중의 배출허용농도로 표현되고 30,000 Bq/m<sup>3</sup> (8.1×10<sup>-7</sup> μCi/ml, 30 Bq/L)에 해당한다.<sup>1,3)</sup> 대개 방사성동위원소 치료용 정화조를 건설할 때는 치료용량과 입퇴원 스케줄이 최대에 운영되는 것을 감안하여 상당한 안전여유를 두는 것이 상례이다. 이 여유분을 활용하면 시설규제 안전기준을 만족하면서도 현재시설을 이용하여 대기환자를 조금이라도 빨리 치료할 수 있다.

방사성옥소 입원치료 환자는 오페수로 방사성옥소를 배출한다. 배출된 방사성옥소는 생태계 방사능 오염을 막을 수 있도록 차폐된 상태로 병원 정화조에서 충분히 자연붕괴된 뒤 배출한다. 이를 위해 각 병원은 주정화조 앞에 방사성동위원소용 정화조를 설치하여 유지관리하고 있다. 각 병원이 보유하고 있는 방사성동위원소 오페수용 정화조의 크기와 숫자, 치료 프로토콜이 다름에 따라 차폐 보관된 정화조에 저류된 방사성옥소의 붕괴 특성을 고려하여 모델을 구성하고 배출 농도를 계산하여, 추가 치료가 가능한 환자의 수를 예측하여 보았다.

## 모델 수립과 시뮬레이션 결과

### 정화조 방사선량 모델

배출 방사능 농도를 계산하기 위해, 정화조 내 방사능 농도 변화 모델을 수립하였다. 정화조내의 방사능은 유입되는 방사능에 의해 증가하고, 자연 붕괴로 감소한다. 즉 유입 방사능의 양은 입원치료환자로부터 배설물과 함께 배출되는 배출량에 따라 달라지며 증가하고, 감소량은 현재 정화조에 담겨 있는 방사성동위원소의 총량에 대하여 자연 붕괴에 의해 하루단위로 물리적반감기를 고려한 감쇠상수만큼 감소한다. 이를 미분 방정식으로 표현하면 식 (1)과 같다.

$$\frac{dA}{dt} = a - \lambda A \quad (1)$$

A는 정화조 내 방사능 농도, a는 유입 방사능, λ는 감쇠상수이다.

식(1) 미분 방정식의 일반해를 풀면 식(2)와 같다.

$$A(t) = \frac{a}{\lambda} \times (1 - e^{-\lambda t}) + b \times e^{-\lambda t} \quad (2)$$

b는 초기값이다.

식(2)는 일반해로서 매일 유입되는 폐수의 양과 유입 방사능 양을 이용하여, 각 병원의 정화조 구성에 따라 정화조에서 간헐적으로 배수되는 배출액의 배수 방사능 양을 산출할 수 있다. 또한, 일반해이기 때문에 유입 방사능 양이 없다고 가정하면, 자연 붕괴되는 기간의 방사능 양도 같은 식을 이용하여 계산이 가능하다. 다만 현실적으로 교육과학기술부의 고시에 따른 우리나라 병원의 현재 시설에서는, 유입 방사능의 양과 폐수의 양을 매일 측정할 수 없어 유입폐수량과 유입방사능량을 추정하여야 한다[4,5]. 유입 방사능의 양은 1주를 기본단위로 하여 평균적으로 추정한 I-131의 일별 배출량과 같고, 폐수의 양은 표본 추출한 어느 날 측정된 양 또는 이를 바탕으로 추정한 양과 같다고 보았다. 시설에 따라서는 폐수의 양을 정화조 1기가 가득 찰 때까지 걸리는 날짜를 이용하여 추정하기도 하였다. 폐수의 양은 매일 다를 수 있으나, 정화조 배출은 1기가 모두 찬 후에 저류시킨 채로 감쇠를 기다려서 배출하므로 매일 조금씩 배출량이 다르다는 사실은 큰 영향을 미치지 않는다. 환자마다 치료량이 다르지만 주로 100 mCi 내지 200 mCi가 사용되며, 다빈도 치료량이 있으므로 평균적인 치료량을 선택하였다.

### 정화조 모델의 가정

모델을 현실에 적용하기 위하여 실제 병원을 예로 들어 실제 상황을 반영하는 적절한 가정을 도입하였다. 한 가지 예로 서울대학교병원의 상황을 바탕으로 한 가정은 다음과 같다.

1. I-131 치료를 받는 환자들을 위한 정화조 시설의 탱크들은 독립적으로 존재하고, 탱크 하나가 가득 찬 뒤 다음 탱크를 채운다. 다른 탱크를 채울 때, 이미 가득 찬 탱크에는 방사능 폐수가 더 이상 유입되지 않으며, 따라서 정화조내 방사능은 다른 탱크가 모두 가득 찰 때까지 자연 붕괴한다. 탱크가 모두 가득차면 제일 오래된 탱크를 열어 통상 1시간내에 폐수를 병원의 주 정화조로 배출한다. 하루를 단위로 한 위 모델에서 폐수시점은 순간으로 보아도 좋다.

2. 정화조는 넘침을 방지하기 위하여 총 용량의 90%까지만 채운다.

3. 적정 배출 농도는 '방사선방호등에 관한 기준' 제6조에 의해 30,000 Bq/m<sup>3</sup> (30 Bq/L)로 한다.<sup>3)</sup>

4. I-131가 액체 형태로 유입되고 배출되며, 슬러지에 섞인 방사능은 가라앉아 정화조를 비울 때 폐액의 방사능 농도를 낮추는 효과가 있어 무시한다. 슬러지를 무시하는 것이 폐액의 방사능 농도를 높여잡는 효과가 있어 전체 계

Table 1. Current Status of Radioactivity Concentration upon Disposal from Sewage Tanks in 15 Representative Hospitals

Hospital	Tank capacity (ton)	Number of tanks	Water waste (L)	I-131 dose (mCi)	Number of Rooms	*Protocol of admission	Concentration on disposal (Bq/L)
A	40	3	270	200	1	(2,2,2,1)	0.00
B	53	3	100	140	1	(2,2,2,1)	0.00
C	20	6	270	140	2	(2,2,2,1)	1.59
D	(74,84,84,84)	4	220	175	7	(2,2,0)	0.00
E	10	5	300	150	1	(2,2,2,0)	4.71
F	21	6	270	175	2	(2,2,2,1)	0.79
G	30	6	225	100	3	(2,2,2,1)	0.06
H	40	3	270	140	2	(2,2,3)	12.14
I	100	3	200	175	3	(2,2,2,1)	0.00
J	27	3	100	150	2	(2,2,2,0)	0.00
K	13.6	6	200	150	2	(2,2,2,1)	8.87
L	(43,20,13,8)	3	200	150	1	(2,2,2,1)	1.24
M	12	3	150	150	1	(2,2,2,1)	8.94
N	(50,50,25)	3	300	150	1	(2,2,2,1)	0.00
O	20	3	200	150	1	(2,2,2,1)	0.23

\* Protocol of admission represents the therapy plan per week. 2 means two night stay in hospital and 1 means one night stay.

산값이 보수적이 될 것이므로 안전여유분으로 삼는다.

5. 감쇠 상수는 I-131의 반감기 8.021일로부터  $\log(2)/8.021$ 로 계산에 넣는다.<sup>6)</sup>

6. 주간 입원계획에 따라 입원한 각 환자가 배출하는 오폐수의 방사능량은 가변적이며, 입원 요일과 대표적인 치료량에 따라 달리 정한다.

7. ICRP 94에 따라 I-131 투여 후 대략 투여한 방사능의 55%가 치료 후 첫날에, 17%가 둘째날에 그리고 5%가 셋째날에 배출된다고 가정한다.<sup>7)</sup> 이는 배출량을 기준으로 한 것이므로, 환자의 몸속에서 일어나는 자연 붕괴는 이미 고려된 것으로 가정한다.

서울대학교병원의 2007년 통계와 2008년 6월의 입원 환자 치료계획에 따르면 월, 화, 목, 토에 입원하여 1박 2일 또는 2박 3일 재원하고, 환자당 200 mCi 주입하고 하루에 270 L의 오폐수를 배출한다고 가정한다.

위의 가정을 모델에 대입하여 얻은 정화조 방사능 농도를 Fig. 1에 그래프로 도시하였다. 정화조내 폐액의 방사능 농도는 초반에 농도가 급격히 증가하고 충분한 시간 후에 방사능 유입량과 방사능 자연 붕괴량이 균형을 이루었다. 거시적으로 이룬 균형은 일별로 확대하여 보면 주간 입원 계획에 따라 작은 범위내에서 증감을 반복한다. 서울대학교병원의 정화조 1기의 용량은 40톤이지만, 넘침방지 여유 10%를 뺀 36톤을 만수로 보면 36톤이 차는 133일 이후에는 다음번 정화조로 유입하므로, 해당 정화조는 유입 없이 저류방사능이 자연 붕괴하기 시작하여, 253일째에 안전규정에 따른 기준양 30 Bq/L보다 작아지는 것으로 계산된다. 주간 치료 방사선량을 평균하여 매일 일정량이 유

입된다고 가정할 경우에는 자연 붕괴가 시작될 때 정화조내 방사선량이  $9.25 \times 10^5$  Bq/L으로, 주간 입원 계획을 고려했을 때의 방사선량인  $7.49 \times 10^5$  Bq/L보다 크게 계산되었다. 또한, 정화조 크기가 서로 다른 특정병원의 경우에서 큰 탱크를 기준으로 계산한 결과는 1.24 Bq/L이고 제일 작은 탱크를 기준으로 하면  $4.6 \times 10^{-5}$  Bq/L로 차이가 크게 된다. 사용되는 탱크의 용량에 따라 입원 환자 일정을 조절하지 않는다고 가정하여 제일 불리한 조건인 큰 탱크를 기준으로 계산한다.

### 현행 치료계획에 따른 병원별 배수액의 방사능농도

배출시 배수액의 방사능 농도는 병원의 정화조 구성과 환자 치료 계획에 따라 달라진다. Table 1은 표본추출한 전국 15개 병원의 정화조 구성과 주간 치료계획, 운영 병상수, 일일 정화조유입 폐액 현황을 모델에 넣어 산출한 정화조 배출시 배수액의 방사능 추정농도이다. 이 중 두 병원은 설치된 정화조 용량이 서로 달라, 큰 탱크부터 채우고 작은 탱크를 나중에 채운다고 가정하고 배수액 방사능농도를 산출하였다. 산출된 각 병원의 정화조 배수시 방사능 농도는 0.00 Bq/L에서 12.14 Bq/L로 모두 기준치인 30 Bq/L이내이었다.

### 안전기준한도에서 최대 가능한 추가 치료환자 수

치료병실을 증설하거나, 병실에 두명의 환자를 입원하게 하거나, 증설한 치료병실에 주간 1명부터 최대 4명까지 추가 치료하였을 때 예상되는 정화조 배출시 배수액의 방사능 농도를 추정하였다. 서울대학교병원의 경우 4명을 추가 치료한 것은 병실을 하나 증설한 것과 같은 효과를 지

**Table 2.** Expected Radioactivity Concentration upon Disposal from Sewage Tanks according to the Increase of Treated Patients per Week

Hospital	Protocol	Current concentration (Bq/L)	Additional 1 room	Additional occupancy* 1 per week	Additional occupancy 2 per week	Additional occupancy 3 per week
A	(2,2,2,1)	0.00	21.09	0.02	0.67	7.98
B	(2,2,2,1)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
C	(2,2,2,1)	1.59	257.89**	15.06	59.69	148.93
D	(2,2,0)	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02
E	(2,2,2,0)	4.71	4380.32	200.69	842.48	4380.32
F	(2,2,2,1)	0.79	191.80	7.66	28.74	123.25
G	(2,2,2,1)	0.06	5.26	0.36	1.34	3.40
H	(2,2,3)	12.14	751.15	66.88	201.02	542.84
I	(2,2,2,1)	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
J	(2,2,2,1)	0.00	0.22	0.00	0.02	0.22
K	(2,2,2,1)	8.87	863.18	55.72	216.41	546.23
L	(2,2,2,1)	1.24	1840.41	31.34	284.11	1095.52
M	(2,2,2,1)	8.94	9068.71	172.78	1535.59	5842.02
N	(2,2,2,1)	0.00	69.89	0.22	4.61	32.18
O	(2,2,2,1)	0.23	1160.76	9.27	113.34	602.03

\* Additional occupancy means that another room is prepared but only the designated number of patients shall occupy that room. 1 per week means another patient with two-night stay, 2 per week means two more patients with two-night stay and 3 per week means the weekly protocol of (2,2,2,0).

\*\* Bold numbers mean that the protocol would yield unacceptable radioactivity concentration.

**Table 3.** Maximum Number of Available Beds and Radioactivity Concentration upon Disposal with Decreasing Water Waste, which are Current Amount, 100 L per Patient or 20 L per Patient

Hospital	Tank capacity (ton)	Num of tanks	Current concentration (Bq/L)	*Max. No. of rooms	**Concentration (Bq/L)	Max. No. of rooms (100L)	Concentration (Bq/L) (100L)	Max. No. of rooms (20L)	Concentration (Bq/L) (20L)
A	40	3	0.00	2	21.09	5	17.88	22	16.58
B	53	3	0.00	7	27.09	7	27.09	31	29.02
C	20	6	1.59	2	1.59	6	16.56	27	21.53
D	(74,84,84,84)	4	0.00	12	6.74	27	16.16	118	11.42
E	10	5	4.71	1	4.71	3	14.14	13	16.96
F	21	6	0.79	2	0.79	6	13.60	28	26.91
G	30	6	0.06	4	5.26	9	11.83	42	23.35
H	40	3	12.14	2	12.14	5	10.00	23	17.04
I	100	3	0.00	6	4.58	13	26.76	57	26.91
J	27	3	0.00	4	17.10	4	17.10	18	20.69
K	13.6	6	8.87	2	8.87	4	17.74	18	13.89
L	(43,20,13.8)	3	1.24	1	1.24	2	2.48	10	12.40
M	12	3	8.94	1	8.94	1	0.02	7	26.84
N	(50,50,25)	3	0.00	1	0.00	5	22.84	22	21.51
O	20	3	0.23	1	0.23	2	0.47	11	12.44

\* Max. No. of rooms mean the maximum number of allowed beds using the present treatment protocols.

\*\* Concentration means that expected radioactivity concentration upon disposal for current status, when water waste is changed to 100 L or when water waste was dramatically decreased to 20 L considering the situation of Zentralklinik Bad Berka, Germany.

니다. 추가 치료병실을 부분적으로만 사용하도록 주간 치료 계획을 정하였을 때 정화조 배출시 배수액의 방사능 농도(Bq/L)는 Table 2와 같다. 정화조를 증설하거나, 진공흡입식 변기를 도입하여 배출되는 오폐수 양을 줄이지 않고도, 10개 병원에서는 주간 1명에서 4명의 환자를 더 입원하게 할 수 있음을 알 수 있었다. 나머지 4개 병원은 현재 정화조 능력과 주간치료계획에서 1주에 한명이라도 더 추가하면 배출시 기준량을 초과하게 된다. 비슷한 환자 수용능력에 주간치료계획이 비슷한 병원 사이에도 매일

배출하는 오폐수액의 양이 적은 경우에 치료환자를 늘여도 정화조 배수액의 방사능양 증가가 급격하지 않고 안전 관리기준 범위내임을 알 수 있다.

**환자 일일 배출 오폐수양에 따른 최대 허용 환자수 변동**

모델 설정과 병원 현황을 바탕으로 한 가정 이를 통한 배수액의 방사능 추정을 통하여 환자 일일 배출 오폐수양이 정화조크기와 함께 최대허용환자 수를 정하는데 주요

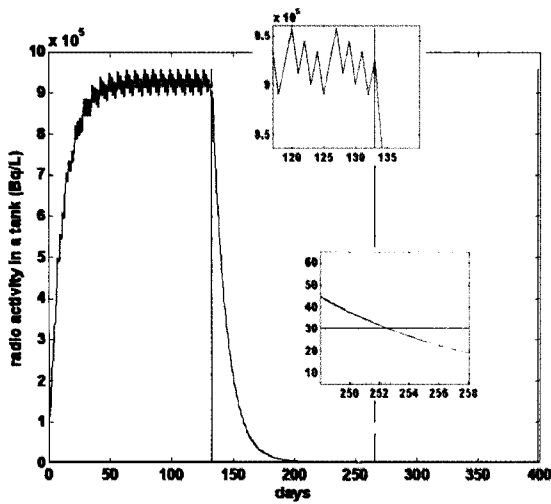


Figure 1. Radioactivity in a tank, 3 times of two-day therapy and a one-day therapy in a week, 3 tanks of 40 ton capacity, 200 mCi treatment dose per patient, 270 L of water waste in a day.

한 요소임이 나타났다. 정화조는 기반시설로서 증설이나 변경이 어려우므로 오폐수 양을 감소하였을 때 얻을 수 있는 최대허용환자수의 변동을 추정하였다. 대상 병원 오폐수 사용량 중 최소값인 100 L만큼으로 다른 병원에서도 오폐수를 줄일 수 있다면 병원마다 1명에서 7명까지 입원 환자를 더 치료할 수 있었다. 오폐수의 양을 조절하는 것 만으로도 상당수 병원에서 많은 추가 치료병실을 운영할 수 있는 것으로 보인다. 독일 바트베르카 첸트랄클리닉의 하루 한 환자의 물 사용량은 17 L임을 참조하여, 대략 매일 환자당 20 L를 배출하도록 시설을 바꾸었을 때는 현재의 시설로도 매주 심지어 수십명까지 많은 입원환자를 치료할 수 있었다. 다만 이를 실현하려면 각 병원의 치료병실의 변기와 세면기를 항공기 화장실의 구성으로 교체하여야 한다.

## 제 안

이 연구에서 우리는 표본추출한 우리나라 여러 병원의 치료현황을 바탕으로 정화조에서 오폐수를 배출할 때 배수액 방사능농도를 모델 설정-추정방식으로 현실적인 산출값을 구한 결과 모두 안전기준에 부합함을 확인하였다. 비슷한 정화조 용량의 병원이라도 환자가 하루에 사용하는 물의 양에 따라 최대치료가능한 환자수가 많이 달라짐을 알았다. 정화조에 저류된 방사능이 증가할 경우 정화조 용량을 선형적 비례관계보다 훨씬 크게 하여야 한다는 사실을 감안할 때, 반대로 정화조 용량이 같을 때는 사용하

는 물의 양을 줄이면 그 효과가 단순 비례관계보다 훨씬 크게 도움됨을 알았다. 비슷한 정화조 용량의 병원이라도 물 사용량에 따라 저류된 폐액 방사능의 자연붕괴 시간을 확보할 수 있어서 안전기준을 지키면서도 환자 수용능력에 큰 차이가 있음을 알았다.

이를 바탕으로 우리는 입원치료 대기기간이 전국적으로 2달에서 1년의 범위이며 평균하여도 4.3개월인 현실을 타개하기 위한 방법으로 시설증설 없이 단기적으로 치료환자수를 늘이는 방법을 다음과 같이 제안한다.

1. 우선 각 병원의 치료병실의 변기와 세면기를 항공기 화장실의 구성으로 바꾼다. 독일에 이미 같은 화장실 구성으로 20개 병상을 80톤의 정화조로 해결하였음을 참조하면 현실적인 대안이다. 화장실 변기는 진공흡입식으로 세면대는 접촉 후 자동으로 물흐름이 중단되는 방식이어야 바람직하다.<sup>8)</sup>

2. 이렇게 환자의 물 사용량을 줄이면 이를 일정기간 모니터링하여 실제 물사용량의 현실적 추정치를 구하고 이 추정치를 바탕으로 이 연구에서 제공한 Matlab 프로그램에 각 병원에 맞는 변수를 대입하여 정화조 배출폐수의 방사능 농도가 안전관리기준을 넘지 않는 최대 환자수와 주간 치료계획을 정한다(부록1 참조).

3. 병실 증설이 가능한 경우 일반병실을 방사성옥소치료병실로 바꾸되 치료병실로 바꿀 경우 병실 시설과 도관 방사능 차폐에 최소 병실 당 2억이상 드는 것을 감안하여, 병실내 구조개선으로 2인실로 운영할 것을 제안한다. 국제적으로 독일 등의 경우 이미 다인실을 운영하고 있고, ICRP와 교육과학기술부의 고시 정신에 비추어도, 방사성옥소 치료환자는 서로 치료로 혜택을 보는 사람으로서 상대방이 방사선원으로 I-131의 감마선을 받긴 하지만, 이 감마선 피폭을 일반인의 기준으로 규제하는 것은 불합리하고 거시적인 관점의 ALARA에 맞지 않는다고 본다. 다인실을 운영하면 아울러 환자의 소외감과 고립감을 해소 완화하는 효과도 기대된다.

4. 위의 시설, 치료계획, 정책에 변화를 기획하고 실행하기 전이라도 이 연구에서 제안한 모델과 추정방법에 따라 각 병원에서 추가 입원할 수 있는 환자를 추정하여 최대한 입원치료할 수 있도록 한다. 특히 병실공사 없이 바로 적용할 수 있는 2인실은 대한핵의학회와 관련 정부부처의 합의에 의하여 권고안으로 제시하는 것이 좋을 것으로 제안한다.

이 연구에서 우리는 실제 방사성물질 저류 정화조에서 바로 하수관으로 내보내는 것이 아니라, 각 병원의 주 정

화조에 방출하고 주 정화조에서 다시 일정기간 저류되었다가 하수관으로 방출되는 것을 포함하여 분석하지 않았다. 이를 모델에 포함하는 것은 쉽지만 각 병원의 현황에 맞추어 주정화조의 오페수 유입량과 방출시기를 가정하는 것이 쉽지 않으며 현행 안전관리 기준이 이를 허용한다고 해석되지 않았기 때문이다.

또 한가지는 배수액의 방사능 배출기준을 순간 대신에 독일과 같이 연간평균으로 환산하여 관리하고 규제하면 위의 모델과 모델로부터 산출한 치료계획을 적용하여 더 많은 환자를 치료할 수 있을 것으로 보인다. 어느 순간 측정하여 30 Bq/L를 넘지 않기 위하여 병원마다 실제 필요한 정화조보다 훨씬 큰 시설을 유지하고 있기 때문이다. 나아가 배출기준의 완화도 필요하다. 우리나라의 배출기준이 미국이나 독일은 물론 일본보다도 더 엄격하기 때문이다<sup>8)</sup>. 수치해석과 이에 따른 모델, 모델 검증의 과정을 거치면, 현행 ICRP의 규정이나 우리나라 정부의 고시 기준을 따르면서도 각 병원에서 치료방침을 유연하게 바꿀 수 있을 것이다. 정화조에 혼입된 Tc-99m은 환경오염이 문제되지 않으므로 안전관리기준 충족여부를 점검할 때에도 I-131을 특이적으로 검출할 다채널분석기를 사용하여 측정하여야 함은 물론이다.

## 사사

정화조와 물 사용량의 자료를 실측 또는 추정하여 제공하여 주신 각 병원의 기사장과 방사선안전관리 실무자께 감사드린다.

## 부록 1.

Matlab 프로그램([http://MJ.ToTi.us/mj\\_radio\\_waste.p](http://MJ.ToTi.us/mj_radio_waste.p)) 사용법

[final, day\_acts, day\_lits]=mj\_radio\_waste(n\_pat,protocol,adi\_protocol,in\_act,ton,lit)

입력 변수는 아래와 같다.

n\_pat : 하루에 입원하는 환자 수.

protocol : 주간 입원 계획.

예) [2,2,2,1] : 2박 3일 3번과 1박 2일 한번.

adi\_protocol : 추가 병실의 입원 계획. 없을때는 [0].

in\_act : I-131 치료용량(mCi).

ton : 정화조 탱크의 실사용 용량(톤). 첫 탱크 기준으로 방사능 농도 측정.

예) [50,50,25,10]x0.9 : 50톤짜리 2개, 25톤과 10톤 짜리 하나씩, 안전을 위해 90%만 사용.

lit : 1일 환자당 오페수 사용량(리터).

출력 변수는 아래와 같다.

final : 배출시 방사능 농도(Bq/L).

day\_acts : 일별 유입 방사능 농도(확인용).

day\_lits : 일별 유입 오페수양(확인용).

사용예)

서울대 병원

```
>> mj_radio_waste(1,[2,2,2,1],[0],200,[40,40,40]*0.9,270)
```

ans =

9.6194e-005

## References

1. 김병일. 방사성옥소 격리치료의 방사선피폭과 규제. 2007년도 제 46차 대한핵의학회 춘계학술대회 심포지움 pp21-7.
2. 김창호, 이동수. 한국의 동위원소 격리치료실 현황과 보험수가 문제점. 2007년도 제 46차 대한핵의학회 춘계학술대회 심포지움 pp29-32
3. 교육과학기술부고시 “방사선방호 등에 관한 기준” 제6조 규정의 배출관리기준 방사성옥소(I-131)의 연간섭취한도 유도공기 온도 및 배출관리기준.
4. 교육과학기술부 방사선안전관리 등의 기술기준에 관한 규칙 제45조, 제 46조
5. 교육과학기술부 고시 제2005-35호 의료분야의 방사선안전관리에 관한 기술기준 제12조, 제13조
6. Ekström, L.P. and R.B. Firestone, WWW Table of Radioactive Isotopes. database version 2/28/99.
7. Valentine, J., Release of patients after therapy with unsealed radionuclides. Annals of the ICRP, 2004;34:1-79.
8. 정재민. 독일 바드버르카 센트럴클리닉(ZBB) 방문. 동위원소 회보, 2008;23:103-6.