

<원저>

# 몬테카를로 모의 모사를 이용한 방사성옥소 2인 치료병실의 안전성 평가

## - Evaluation of Stability using Monte Carlo Simulation in 2 People Isolation Treatment Room of Radiation Iodine -

<sup>1)</sup>동남권원자력의학원 핵의학과 · <sup>2)</sup>부산가톨릭대학교 보건과학대학 방사선학과  
장동근<sup>1)</sup> · 고성진<sup>2)</sup> · 김창수<sup>2)</sup> · 김정훈<sup>2)</sup>

— 국문초록 —

방사성옥소를 이용한 2인 치료격리병실은 환자간의 불필요한 피폭선량을 유발하게 된다. 이에 본 연구에서는 방사성 옥소를 섭취 후 배설 없이 모두 인체에 분포하였다는 가정 하에 방사성 옥소의 물리적 특성 및 생물역동학적 정보를 제외한 보수적인 관점으로 몬테카를로 모의 모사를 이용한 2인 치료격리병실의 안전성을 평가하고자 한다.

실험 결과 방사성옥소에서 방출되는 364 keV의 감마선은 공기층 약 30 cm 또는 납 차폐체 3 mm가 반기층으로 작용됨을 파악할 수 있었으며, 환자간 거리 및 납 차폐체의 두께를 이용하였을 때, 입원기간(48시간)동안 상대방 환자로부터 받게 되는 외부 피폭선량은 5 mSv 이하로 법적 격리 기준선량 보다 낮게 나타남으로써 2인 치료격리병실의 효율적인 관리가 가능한 것으로 분석되었다.

**중심 단어:** MCNPX, I-131, 격리병실

### I. 서 론

방사성옥소(I-131)를 이용한 갑상선암 치료는 그 효과가 널리 인정되어 50여 년 동안 시행되어 온 매우 효과적인 치료법이다<sup>1-2)</sup>. 하지만, 방사성옥소를 복용한 환자는 투여 시점으로부터 방사선원으로 구분되어, 주변인에게 불필요한 피폭선량을 유발하게 된다. 갑상선암 치료에 이용되는 방사성옥소의 표준화된 용량은 갑상선암의 잔여조직 파괴를 위해 30~100 mCi, 경부 림프절 전이가 있을 때 100~180 mCi, 원격전이가 있을 때 200 mCi를 투여하도록 권고되고 있으며<sup>3)</sup>, 치료선량 33 mCi 이상인 경우 주변인에 대한 피폭선량이 높아 격리하도록 규정하고 있다<sup>4)</sup>. 그뿐만 아니라 격리병실 퇴원 시에도 환자로부터 다른 개인의 유효선량이 5 mSv를 초과할 우려가 없는 경우 퇴원할 수 있도록 규정하고 있다<sup>4)</sup>.

이처럼 환자는 치료를 위해 2박 3일 동안 방사선에 대한 차폐시설이 갖추어진 격리병실에서 차단된 상태로 머물게 되며, 격리병실이라는 특수 환경으로 인하여 불안, 우울, 고립감 등을 경험하게 된다<sup>5-6)</sup>. 더욱이 환자는 치료준비 기간부터 갑상선호르몬제 중단으로 갑상선기능저하 증상이 나타나게 되며<sup>7)</sup>, 방사성옥소의 섭취로 인해 갑상선기능저하 상태는 더욱 심해져 환자의 스트레스는 더욱 가중되어진다<sup>8)</sup>. 그뿐만 아니라 격리병실 퇴원 후에도 주변인들에 대한 불필요한 방사선피폭을 피하기 위해 일정기간 생활 속 격리과정에서<sup>9)</sup> 불안, 두려움, 고립감 등 정서적 고통으로 인하여 삶의 질이 저하되어지고 있다<sup>10)</sup>.

이러한 단점들을 보완하고자 세계적으로 많은 나라들이 다인용 격리병실을 운영하고 있으며, 국내에서는 전국 168개의 방사성옥소 격리병실 중에서 서울대학교병원과 중앙대학교병원에서 시범적으로 2인 치료격리 병실이 운영 중에

Corresponding author: Junghoon Kim, Dept. of Radiological Science, College of Health Sciences, Catholic University of Pusan 57 Oryundae-ro, Geumjeong-gu, Busan, 46252, Korea / Tel: +82-51-510-0583 / E-mail: donald@cup.ac.kr

Received 30 June 2016; Revised 8 September 2016; Accepted 9 September 2016

있는 것으로 알려져 있다<sup>11-12)</sup>. 이에 본 연구에서는 2인 치료 병실의 전국적 확대를 위하여 상대방 환자로부터 받게 되는 불필요한 피폭선량을 토대로 2인 치료병실의 안전성을 평가하고자 하였다.

## II. 대상 및 방법

### 1. 선원항

본 연구에 사용된 몬테카를로 방법은 Monte Carlo N-Particle Transport Code (MCNPX, Los Alamos National Laboratory, ver. 2.5.0, USA)<sup>13)</sup>이며, 선원항은 점 선원과 ORNL MIRD Phantom을 선원으로 사용하였다. 방사능은 갑상선암 치료 시 이용되는 최대용량인 200 mCi로 설정하였으며, Phantom을 선원으로 이용 시에는 갑상선에 방사성옥소의 30%가 집중될 수 있도록 다른 모든 장치의 합을 7:3의 비율로 구성하였다(Fig. 1).

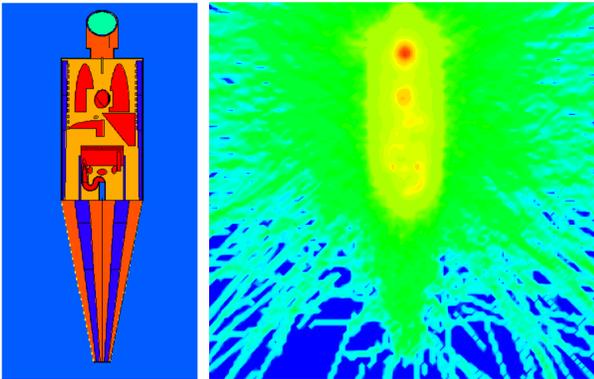


Fig. 1 ORNL MIRD Phantom

### 2. 방사성옥소의 감마선 분석

두 선원항으로부터 방출되는 감마선(364 keV)에 대해 공기(1.293 kg/m<sup>3</sup>)중에서 거리에 따른 선량률과 납 차폐체 두께에 따른 선량률의 차이를 분석하고자 하였으며, 선량률은 바닥에서 1 m 높이로 MCNPX의 Tally4와 de/df card를 이용하여 mSv/hr 단위로 선량률을 획득하였다(Fig. 2).



Fig. 2 Schematic for Gamma-ray analysis

### 3. 2인 치료병실의 선량률 분석

#### 1) 방사성옥소 환자의 내부피폭 추정

Phantom 선원에 200 mCi의 방사능이 분포되도록 모사하여(Fig. 1) Phantom이 자체적으로 받게 되는 선량률을 Tally4와 de/df card를 이용하여 장치별로 획득하였다. 획득된 선량률은 ICRP 60의 조직가중치 계산하여 환자의 내부피폭으로 추정하였다.

#### 2) 2인 병실에서의 외부 감마선 피폭

2인 치료병실의 환자 간 간격은 현재 2인 치료병실을 운영 중에 있는 서울대학교병원<sup>11)</sup>의 병실 크기를 참조하여 370 × 725 cm의 면적을 이용하였다. 점 선원으로부터 방출된 감마선이 Phantom에 미치는 영향을 알아보기로 MCNPX의 Tally4와 de/df card를 이용하여 선량률을 mSv/hr 단위로 획득하였다(Fig. 3). 환자와 점 선원과의 거리는 3 m로 설정 하였으며, 베타선은 측정항목에서 제외하였다.

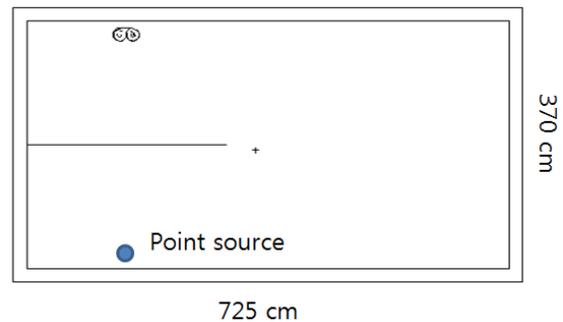


Fig. 3 Schematic of 2 people isolation treatment room

위 모든 실험은 통계적인 오차를 2% 이하로 줄이기 위해 1×10<sup>8</sup>번 모의 추정하였다

### III. 결 과

본 연구에서는 방사성옥소 치료 격리병실에 입원한 환자의 불안, 우울, 고립감 등을 해소하기 위하여 2인 병실 운영에 따른 안전성을 평가하고자 하였다.

#### 1. 방사성옥소의 감마선 특징 분석

##### 1) 거리에 따른 선량률 분석

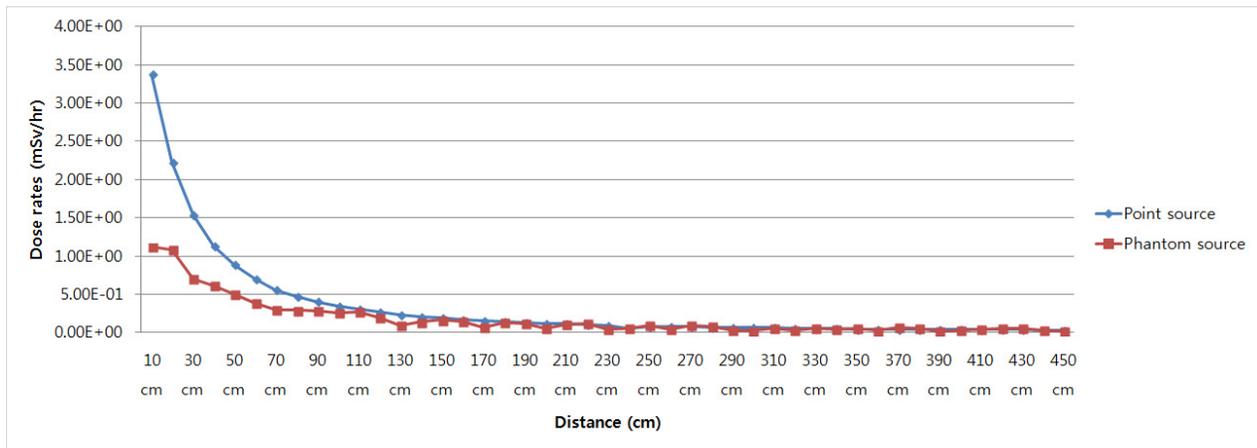


Fig. 4 Dose rates according to the distance of the point source and the phantom source

##### 2) 납 차폐체 두께에 따른 선량률 분석

납 차폐체를 사용하지 않았을 때, 2.26E-02 mSv/hr의 선량률을 나타내었고, 3 mmPb 차폐체를 사용하였을 때, 선량률은 약 1/2 (1.05E-02 mSv/hr)로 감소되는 것을 확인할 수 있었다(Fig. 5).

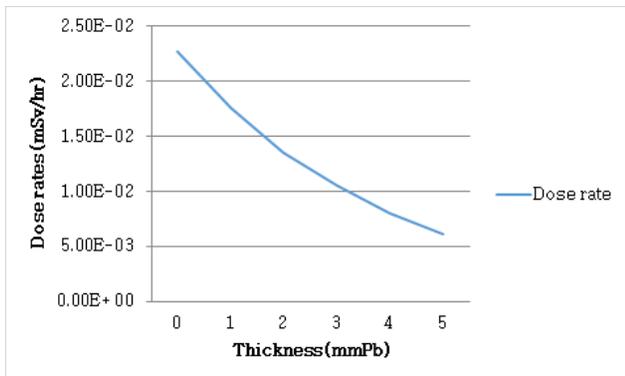


Fig. 5 Dose rates according to the thickness of lead shielding

점 선원으로부터 10 cm 거리에서 약 3.37 mSv/hr의 선량률이 나타났고, 거리가 늘어남에 따라 약 30 cm 부근에서 선량률이 약 1/2로 감소되었다. 최대 거리인 450 cm에서 0.0323 mSv/hr까지 약 1/100로 감소되었다. Phantom을 선원으로 이용한 실험에서는 10 cm 거리에서 1.12 mSv/hr의 선량률이 나타났고, 거리가 늘어남에 따라 감소하여 약 110 cm 이상부터 점 선원으로부터 받는 선량률과 같아졌다 (Fig. 4).

#### 2. 2인 치료병실의 선량률 분석

##### 1) 방사성옥소 환자의 내부피폭 추정

200 mCi의 방사능이 분포된 Phantom의 장기별 선량률을 측정된 결과 Table 1과 같이 나타났으며, Phantom이 받게 되는 총 선량률은 105.65 mSv/hr로 나타났다.

Table 1 Estimate of internal exposure it receives from the iodide gamma ray

Organ	Dose rates (mSv/hr)
EYE	2.80E-01
Adrenals	3.27E+00
Brain	6.35E-01
Colon	2.88E-01
pharynx	2.56E+00
Larynx	5.83E-01
trachea	2.52E+00
GB	2.58E+00
Heart	8.53E+00

Organ	Dose rates (mSv/hr)
Kidney	3.57E+00
Liver	1.92E+00
Lung	6.96E-01
Muscle	5.31E-01
Esophagus	1.49E+00
Pancreas	1.63E+01
Prostate	1.46E+00
Skin	9.99E-01
Small intestine	8.45E+00
Spleen	2.90E+00
Stomach	3.64E+01
Testes	1.25E+00
Thyroid	6.28E+00
Bladder	4.83E-02
Breast	2.12E+00

## 2) 2인 병실에서의 외부 감마선 피폭

점 선원으로부터 Phantom이 받게 되는 외부피폭 선량은 납 차폐체를 사용하지 않았을 때 0.132 mSv/hr로 나타났으며, 납 차폐체 사용에 따라 선량은 감소하였다 (Table 2).

**Table 2** Dose rates according to the thickness of the lead in 2 people isolation treatment room

Thickness (mmPb)	Dose rates (mSv/hr)	Dose rates (mSv/48hr)
0	0.132	6.336
1	0.087	4.176
2	0.066	3.168
3	0.051	2.448
4	0.04	1.920
5	0.031	1.488

## IV. 고 찰

갑상선암 치료 예후의 안전성(생존율 100.2%)은 이미 입증되어있다<sup>14)</sup>. 하지만 방사성옥소의 사용에 따른 격리병실의 스트레스와 여러 가지 제약으로 인하여 환자는 두려움, 고립감 등 정서적 고통을 받게 된다. 이러한 문제점을 해소하고자 2명의 환자를 함께 치료하는 방법이 고안되었

고, 본 연구에서는 상대방 환자로부터 받게 되는 불필요한 피폭선량을 분석하여 2인 치료병실의 안전성을 평가해 보고자 하였다.

첫째, 방사성옥소에서 방출되는 346 keV의 에너지를 갖는 감마선을 분석한 결과 공기 (1,293 kg/m<sup>3</sup>)를 투과할 때 약 30 cm에서 반가층을 갖는 것으로 나타났으며, 납 차폐체를 투과할 때는 3 mmPb에서 반가층을 갖는 것으로 나타났다.

둘째, 점 선원과 Phantom에 대한 선원의 거리별 선량률의 변화를 비교해본 결과 110 cm 이하에서 점 선원은 방사능이 집중되어 있어 Phantom 선원 보다 선량률이 다소 높게 나타났으나, 110 cm 이상에서부터는 두 선원의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

셋째, 위의 실험결과를 토대로 점 선원으로부터 받을 수 있는 피폭선량을 Phantom으로 측정하여 이를 환자가 받을 수 있는 피폭선량으로 추정하여 실험을 진행하였다. 실험 결과 점 선원으로부터 Phantom이 받게 되는 선량률은 0.132 mSv/hr로 나타났다. 뿐만 아니라 납 차폐체를 추가적으로 설치하여 0.087(1mmPb)~0.031(5mmPb) mSv/hr 까지 불필요한 선량을 감소시킬 수 있었다. 또한 Phantom을 선원으로 하였을 때, Phantom이 감마선을 통해 자체적으로 받게 되는 선량률은 105.65 mSv/hr로 나타났으며, 점 선원으로부터 Phantom이 받게 되는 불필요한 선량률은 Phantom이 자체적으로 받은 선량률의 약 0.12~0.03%로 매우 낮음을 알 수 있었다. 본 실험은 상대방 환자에게 영향을 미치는 감마선만을 실험하였으며, 실제 치료에 이용되는 베타선을 고려할 경우 불필요한 선량률의 정도(%)는 더욱 낮아질 것으로 사료되어진다. 또한 입원기간인 48시간 동안 받게 되는 선량은 5 mSv 미만으로 법적 기준치를 초과하지 않으므로 방사성옥소의 2인 치료병실이 안전함을 알 수 있었다. 본 연구는 방사성옥소의 반감기 및 인체의 생물역동학적 정보를 배제한 보수적인 실험으로 실제 환자가 받게 되는 불필요한 피폭선량은 더욱 낮아질 것으로 사료되며, 방사성옥소 2인 치료병실을 운영함에 있어 기초자료로 활용될 수 있을 것으로 사료되어진다.

## V. 결 론

방사성옥소를 이용한 갑상선암 치료는 주변인에 대한 방사선 피폭으로 인하여 격리병실을 사용하게 되며, 이러한 격리로 인하여 환자는 불안, 두려움, 고립감 등의 스트레스를 경험하게 된다. 이에 본 연구에서는 이러한 스트레스를

해소하고자 2인 격리병실의 안전성을 평가하고자 하였다. 실험 결과 2인 병실에 입원 시 상대방 환자로부터 받게 되는 불필요한 선량률은 0.12~0.03% 에 불과하며, 입원기간인 48시간 동안 받게 되는 피폭선량 또한 법적 격리 기준선량인 5 mSv 이하로 2인 치료병실을 운영하는데 있어 안전함을 알 수 있었다.

## REFERENCES

1. Chang Ghun Kim, Dae-Weung Kim: Are Medical Personnel Safe from Radiation Exposure from Patient Receiving Radioiodine Ablation Therapy?, *Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, 43(4), 259-279, 2009
2. Keon Wook Kang: RAI Treatment of Distant Metastasis of Thyroid Cancer, *Journal of Korean Thyroid Association*, 6(1), 49-55, 2013
3. Jung Mi Park: Radioiodine Therapy: Review of the Empiric Fixed Dose Approaches and Their Selective Applications, *Journal of Korean Thyroid Association*, 6(1), 34-42, 2013
4. Nuclear Safety And Security Commission: notification 2015-005
5. Nami Chun: Effect of Depression and Anxiety on Symptoms in Thyroid Cancer Patients Undergoing Radioactive Iodine (I131) Therapy, *Korean Oncology Nursing Society*, 12(4), 297-304, 2012
6. Seon Hee Yoo, Smi Choi-Kwon: Changes in Quality of Life and Related Factors in Thyroid Cancer Patients with Radioactive Iodine Remnant Ablation, *Journal of Korean Academy of Nursing*, 43(6), 801-811, 2013
7. Won Bae Kim, Ju Won Seok, Min-Hee Kim, et al.: Korean Thyroid Association Guidelines for Patients Undergoing Radioiodine Therapy for Differentiated Thyroid Cancers, *The Korean Journal of Internal Medicine*, 6(1), 12-25, 2013
8. Ju-Sung Kim, and Hyun-Mi Son: The Experiences of Thyroid Cancer Patients Receiving Radioactive Iodine Therapy, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, 11(12), 4935-4944, 2010
9. Korean Thyroid Association: Patient's Guide to Thyroid Radioactive Iodine Treatment, 2012
10. Tagay, S., Herpertz, S., Langkafel, M., et al.: Health-Related Quality of Life, Depression and Anxiety in Thyroid Cancer Patients, *Quality of Life Research*, 15(4), 695-703, 2006
11. Kyung Jae Lee, Hyun Duck Cho, Chang Bum Oh, et al.: Evaluation on Safety of Two-bed Therapy Rooms, *The Korean Journal of Nuclear Medicine Technology*, 15(1), 75-80, 2011
12. The Korean Society of Nuclear Medicine: Nuclear medicine scan statistics, 2013
13. DB Pelowitz: MCNPX user's manual version 2.5.0., Los Alamos National Laboratory, 2005
14. National Cancer Information Center: <http://www.cancer.go.kr/>

•Abstract

## Evolution of Stability using Monte Carlo Simulation in 2 People Isolation Treatment Room of Radiation Iodine

Dong-Gun Jang<sup>1)</sup>·Sung-Jin Ko<sup>2)</sup>·Chang-Soo Kim<sup>2)</sup>·Jung-Hoon Kim<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>*Dept. of Nuclear Medicine, Dongnam Institute of Radiological & Medical Sciences Cancer center*

<sup>2)</sup>*Dept. of Radiological Science, College of Health Sciences, Catholic University of Pusan*

Radioactive iodine treatment that uses the 2 people isolation room is to cause unnecessary radiation exposure between patients. This research is to be tested safety of 2 people Isolation treatment room and dose-rate through conservative perspective except physiology characteristic and biology information on the assumption that patient have iodine without excretion in 2 people isolation treatment room. This research shows that 364 keV gamma rays emitted by the radioiodine was to determine that the air layer about 30 cm or lead shield 3 mm a half-layer. In addition, In addition, patients in the distance, and lead shielding, length of hospital stay (48 hours) for external radiation exposure that is received from the other patients, two of treatment as appears to be lower than the legal isolation standard dose less than 5 mSv isolation room effective analyzed that manageable.

---

**Key Words :** MCNPX, I-131, Isolation