

A Study on Reduction of Radiation Exposure by Nuclear Medicine Radiation Workers

Wanghui Lee,¹ Sungmin Ahn^{2,*}

¹Department of Nuclear Medicine, Gachon University Gil Medical Center

²Department of Radiological Science, Gachon University

Received: March 05, 2019. Revised: April 26, 2019. Accepted: April 30, 2019

ABSTRACT

This study investigated the shielding efficiency of various types of shielding materials and measured the dose by organ using the phantom. Results of Shielding Efficiency Measurement Using Personal Radiation Meter. Among the various shielding materials, 1.1 mm RNS-TX composed of nano tungsten showed the highest shielding efficiency and 0.2 mm lead shielding showed the lowest shielding efficiency. ^{99m}Tc 30 mCi was exposed to the phantom for 120 minutes and the result of the measurement of the organs. 20.53 mSv without radiation protective clothing, 8.75 mSv when wearing 0.25 mm Pb protective clothing, 6.03 mSv when wearing 0.5 mm Pb protective clothing. ^{131I} 2 mCi was exposed to the phantom for 120 minutes and the result of the measurement of the organs. 7.71 mSv without radiation protective clothing, 4.88 mSv when wearing 0.25 mm Pb protective clothing, 2.79 mSv when wearing 0.5 mm Pb protective clothing. ^{18F} 5 mCi was exposed to the phantom for 120 minutes and the result of the measurement of the organs. 16.39 mSv without radiation protective clothing, 15.84 mSv when wearing 0.25 mm Pb protective clothing, 12.52 mSv when wearing 0.5 mm Pb protective clothing. None of the radiation workers working in the nuclear medicine department exceeded the dose limit. However, when compared with other workers in the hospital, they showed a relatively high dose. Therefore, it is necessary to prepare measures to reduce and manage the dose of radiation workers in the nuclear medicine department through the wearing of radiation protective clothing made of lightweight, shielding material with good shielding efficiency, circulation task, task sharing, and substitution equipment such as auto dispenser.

Keywords: Nuclear medicine radiation workers, Exposure dose, Nano tungsten, Lead-free radiation protection

I . INTRODUCTION

핵의학은 방사성 및 안정된 핵종의 특이한 성질을 이용하여 신체의 해부학적, 생리학적, 생화학적 상태를 진단, 평가하고 개방 방사선원을 이용해 치료하는 의학의 전문분야이다.^[1]

핵의학과에서 검사와 치료를 위해 사용되는 다양한 종류의 방사성 동위원소는 붕괴하면서 방사선을 방출한다. 이때 방출하는 방사선은 동위원소 각각의 고유한 특성이기 때문에 핵의학과 내에서 업무를 수행하는 방사선 작업종사자가 인위적으로 성질을 제어할 수 없다.^[2] 방출되는 방사선의 에너지와 투과력은 높지만, 방향성이 없기 때문에 차폐

가 쉽지 않고, 핵의학 작업종사자가 검사나 치료에 사용되는 동위원소를 분배하거나 환자에게 동위원소를 주사 하는 경우, 검사나 치료를 위해 방사성 동위원소를 섭취하거나 투여 받은 환자 돌봄 시 환자로부터 방출되는 방사선에 노출되어 있다.^[3]

이에 본 연구는 핵의학과 내에서 업무를 수행하는 방사선 작업종사자의 방사선 피폭을 줄일 수 있는 방안으로 다양한 종류의 차폐체가 가진 차폐 효율을 확인하여 핵의학과 내 작업환경에 적합한 차폐 물질을 선정, 궁극적으로 핵의학 방사선 작업종사자의 피폭을 최적화된 관점에서 가능한 낮은 수준으로 관리 할 수 있는 방안을 연구해보려 한다.

* Corresponding Author: Ahn Sungmin

E-mail: sman@gachon.ac.kr

Tel: +82-32-820-4360

II. MATERIAL AND METHOD

1. 개인방사선량 측정기를 이용한 차폐체 차폐효율 측정

1.1 실험재료

1.1.1 개인방사선량 측정기

(DKG-21, ECOTEST, Ukraine)

감마선과 엑스선과 같은 광자를 측정할 수 있으며, GM-Tube 방식의 검출기를 사용한다. 0.1 uSv/h ~ 1 Sv/h의 선량을 측정 범위를 갖고, 1 uSv ~ 9,999 mSv 범위의 누적선량을 측정할 수 있다. 측정 가능한 에너지 범위는 50 keV ~ 6 MeV이며, 표시 단위는 uSv/h, mSv이다. 크기는 90 × 55 × 10 mm이고, 무게는 80 g으로 작고 가벼워 가슴이나 필요 위치에 패용하기 용이하다. (Calibration date : December 27, 2017. Calibration constant(N_γ): 0.935)

1.1.2 차폐체

Fig. 1과 같이 가로 85 mm × 세로 50 mm 로 0.2 mm, 0.5 mm, 1.0mm 두께의 납(Pb)을 사용하였으며, RNS-MP : 85 mm × 50 mm × 0.65 mm (동원엔텍, KOREA), RNS-TX : 85 mm × 50 mm × 1.1 mm (동원엔텍, KOREA), RNS-MP : 85 mm × 50 mm × 1.5 mm (동원엔텍, KOREA)를 사용하였다.



(A) 0.2 mm Pb



(B) 0.5 mm Pb



(C) 1.0 mm Pb



(D) 0.65 mm RNS-MP



(E) 1.1 mm RNS-TX



(F) 1.5 mm RNS-MP

Fig 1. Various kinds of shielding materials.

*RNS-MP consisted of mixture of bismuth and barium sulfate at a certain ratio of nano-sized tungsten as main material.
RNS-TX consists of nanoparticle-sized tungsten.

1.1.3 방사성 동위원소

^{99m}Tc 5cc 3 mCi, ¹³¹I 5cc 3 mCi, ¹⁸F 5cc 3 mCi를 사용하였다.

1.2 실험방법

동위원소 ^{99m}Tc, ¹³¹I, ¹⁸F를 각각 개인방사선량 측정기와 30 cm 떨어진 곳에 위치시키고, 90분 동안의 누적된 선량을 측정했다. 이 때 차폐체가 없는 경우, 0.2 mm 납 차폐체, 0.5 mm 납 차폐체, 1.0 mm 납 차폐체, 0.65 mm RNS-MP 차폐체, 1.1 mm RNS-TX 차폐체, 1.5 mm RNS-MP 차폐체를 사용한 경우로 나누어 각각의 차폐체 유무에 따른 누적선량을 3회 측정하여 평균을 기록했다.

1.3 통계분석

자료 분석은 SPSS version 23.0 (IBM Co, Chicago, USA)을 이용하여 분석하였으며, 신뢰구간 95%로 설정하여 유의확률 0.05 미만인 경우를 통계적으로 유의성이 있는 것으로 판단했다. 수집된 자료의 일반적인 특성을 분석하기 위해 빈도분석, 기술통계를 실시하였다.

2. 팬텀을 이용한 장기별 선량 측정

2.1 실험재료

2.1.1 팬텀(Phantom)

소아 팬텀(ATOM Dosimetry Phantom, Model 706-G, CIRS, Norfolk, Virginia)을 사용하였다. 조직 등이 물질로 구성되어 있으며, 인체와 동일한 구조로 22개의 내부 장기의 특징을 구현하는데 최적화되어있다.

2.1.2 광자극발광선량계시스템(Optically Stimulated Luminescence Dosimetry System, OSLD)

Reading 시스템은 OSLD Microstar Reading System (MicroStar, Landauer, USA), 소자는 OSLD nano Dot (Landauer Co., Glenwood, IL, USA), Annealing 시스템은 수동 OSL annealing(Serial NO: HA-ONH001, Hanil Nuclear Co., KOREA)을 사용했다.

2.1.3 방사선 방호복(Radiation protective clothing)

A사의 Equivalency 0.25 mm Pb, 0.5 mm Pb 방사선 차폐복(SK 15-5)을 사용했다.

2.1.4 방사성 동위원소(Radioisotope)

^{99m}Tc 5 cc 30 mCi(1110 MBq), ^{131}I 5 cc 2 mCi(74 MBq), ^{18}F 5 cc 5 mCi(185 MBq)를 사용하였다.

2.2 실험방법

선원과 팬텀 사이 거리를 100 cm로 유지하고, 선원 노출시간은 120 분으로 설정했다. 장기 선량 측정 부위는 폐, 뼈, 연부조직으로 구분 했다. OSLD nano Dot 소자가 삽입된 팬텀과 100 cm 떨어진 곳에 30 mCi, 5 cc ^{99m}Tc 선원을 위치시키고, 120분 동안 차폐체가 없는 경우, 0.25 mm 방사선방호복, 0.5 mm 방사선방호복을 착용한 경우로 나누어 장기별 선량을 측정했다. OSLD nano Dot 선량계에 누적된 선량을 3회 측정한 평균에서 background 선량을 뺀 값을 기록했다. 장기는 크게 폐(Lung), 뼈(Bone), 연부조직(Soft tissue)으로 구분했으며, 폐는 다시 폐상(上), 폐 중(中), 폐 하(下)로 나누어 상의 위치에 2개, 중과 하 위치에 각각 4개씩의 선량계를 삽입해 총 10개의 선량계를 이용해 선량을 측정 했다. 뼈는 흉추, 쇄골, 흉골, 갈비뼈, 견갑골, 요추로 나누어 총 10개의 선량계를 뼈 위치에 삽입하여 선량을 측정했다. 연부조직은 흉선, 유방, 심장, 간, 비장, 신장으로 나누어 총 9개의 선량계를 삽입하여 선량을 측정했다. 위와 같은 방법으로 2 mCi ^{131}I , 5 mCi ^{18}F 선원을 이용해 동일하게 실험을 진행했고,

각 장기들의 깊이는 체표면을 기준으로 실측했다.

3.3 통계분석

자료 분석은 SPSS version 23.0(IBM Co, Chicago, USA)을 이용하여 분석하였으며, 신뢰구간 95%로 설정하여 유의확률이 0.05 미만인 경우를 통계적으로 유의성이 있는 것으로 판단했다.

방사선 방호복 착용과 장기별 누적선량 변화와의 상관관계를 착용하지 않았을 때의 선량을 기준으로 각각 대응표본 t 검정 방법을 적용해 분석했고, 체표면을 기준으로 장기까지의 거리를 측정하여 장기가 위치한 깊이와 선량변화와의 상관관계를 단순 회귀분석을 이용해 분석했다.

III. RESULT

1. 개인방사선량 측정기를 이용한 차폐체 차폐 효율 측정 결과

개인방사선량 측정기를 이용한 차폐체 차폐효율 측정 결과 각각의 개봉방사선원에서 방출하는 방사선 차폐 시 차폐체 사용은 모두 선량을 감소시키는 결과를 보였다. ^{99m}Tc , ^{131}I , ^{18}F 모두 1.1 mm RNS-TX 차폐체가 가장 높은 차폐 효율을 보였고, 0.2 mm 납 차폐체의 경우 가장 낮은 차폐효율을 보였다. 이는 Table 1과 같다.

2. 팬텀을 이용한 장기별 선량 측정 결과

2.1 ^{99m}Tc 30 mCi 120분 노출

팬텀을 이용하여 ^{99m}Tc 30 mCi의 방사능에 120분 노출 시켰을 때, 방사선방호복이 없는 경우, 0.25 mm Pb 방사선 방호복을 착용한 경우, 0.5 mm Pb 방사선 방호복을 착용한 경우로 나누어 장기 선량과 깊이별 선량 변화에 대해 알아보았다. 이는 Table 2와 같다.

방사선 방호복을 착용하지 않았을 때의 선량을 기준으로 0.25 mm Pb 방사선 방호복을 착용했을 경우 57.38 %의 선량 감소 효과가 있었고, 0.5 mm Pb 방사선 방호복을 착용한 경우 70.63 %의 선량 감소 효과가 있었다. 통계 분석 결과 유의 확률 0.05 미만으로 나타났으며, ^{99m}Tc 을 사용하는 경우, 방사

선 방호복의 착용이 선량감소 효과가 있다는 결과를 Table 3과 같이 도출했다.

체표면에서 장기까지의 거리와 각 장기별 선량 감소와의 관계를 분석한 결과 방사선방호복을 입지 않은 경우, 0.25 mm Pb 방사선방호복을 착용한 경우, 0.5 mm Pb 방사선방호복을 착용한 경우 모두 유의 확률 0.05 미만으로 나타났으며, 깊게 위치하고 있는 장기일수록 선량이 낮게 나타난다는 Table 4와 같은 결과를 얻었다.

2.2 ^{131}I 2 mCi 120분 노출

팬텀을 이용하여 ^{131}I 2 mCi의 방사능에 120분간 노출시켰을 때, 방사선방호복이 없는 경우, 0.25 mm Pb 방사선 방호복을 착용한 경우, 0.5 mm Pb 방사선 방호복을 착용한 경우로 나누어 깊이와 따른 장기별 선량 변화에 대해 알아보았다. 이는 Table 5와 같다. 방사선 방호복을 착용하지 않았을 때의 선량을 기준으로 0.25 mm Pb 방사선 방호복을 착용했을 경우 36.71 %의 선량 감소 효과가 있었고, 0.5 mm Pb 방사선 방호복을 착용한 경우 63.82 %의 선량감소 효과가 있었다. 통계 분석 결과 유의 확률 0.05 미만으로 나타났으며, ^{131}I 을 사용하는 경우, 방사선 방호복의 착용이 선량감소 효과가 있다는 결과를 Table 6과 같이 도출했다. 체표면에서 장기까지의 거리와 각 장기별 선량 감소와의 관계를 분석한 결과, 0.25 mm Pb 방사선방호복을 착용한 경우, 유의 확률 0.05 미만으로 나타나 통계적으로 유의한 결과를 얻었다. 그러나 방사선방호복을 입지 않은 경우와 0.5 mm Pb 방사선방호복을 착용한 경우 유의확률이 0.05보다 높게 나타나 체표면에서 장기까지의 거리와 장기의 선량 감소와의 관계 사이의 유의성을 찾을 수 없었다. 이는 Table 7과 같다.

2.3 ^{18}F 5 mCi 120분 노출

팬텀을 이용하여 ^{18}F 5 mCi의 방사능에 120분간 노출시켰을 때, 방사선방호복이 없는 경우, 0.25 mm Pb 방사선 방호복을 착용한 경우, 0.5 mm Pb 방사선 방호복을 착용한 경우로 나누어 장기 선량과 깊이별 선량 변화에 대해 알아보았다. 이는 Table 8과 같다.

방사선 방호복을 착용하지 않았을 때의 선량을

기준으로 0.25 mm Pb 방사선 방호복을 착용했을 경우 3.36%의 선량 감소 효과가 있었고, 0.5 mm Pb 방사선 방호복을 착용한 경우 23.62%의 선량감소 효과가 있었다. 통계 분석 결과 0.25 mm Pb 방사선 방호복을 착용한 경우 유의확률 0.466으로 0.05보다 크게 나타나 통계적으로 유의한 결과를 도출하지 못했다. 이는 0.25 mm Pb 방사선방호복 착용이 $^{18}\text{F}(E=511 \text{ keV})$ 을 사용하는 작업 환경에서 오히려 선량을 증가시킬 수도 있음을 의미한다. 반면 0.5 mm Pb 방사선방호복 착용의 경우 유의 확률 0.05 미만으로 나타났으며, 방사선 방호복의 착용이 선량감소 효과가 있다는 결과를 Table 9와 같이 도출했다.

체표면에서 장기까지의 거리와 각 장기별 선량 감소와의 관계를 분석한 결과 방사선방호복을 입지 않은 경우, 0.25 mm Pb 방사선방호복을 착용한 경우, 0.5 mm Pb 방사선방호복을 착용한 경우 모두 유의 확률 0.05 미만으로 나타났으며, 깊게 위치하고 있는 장기일수록 선량이 낮게 나타난다는 Table 10과 같은 결과를 얻었다.

IV. DISCUSSION

핵의학과 작업종사자의 피폭 선량이 병원 내 타 직군의 종사자 보다 높다는 선행 연구들이 있다.^[4-7]

방향성이 없고, 에너지가 높은 개방방사선원에서 방출되는 방사선에 의한 피폭을 줄이는데 가장 효과적인 방법은 선원으로부터 종사자가 노출되는 시간을 줄이는 것이다. 또 다른 대안으로는 핵의학 과 내에서 사용하는 개방선원에서 방출되는 감마 선을 효과적으로 차단할 수 있는 차폐체를 활용하는 것이다.^[8]

실험 결과에서 알 수 있듯, 다양한 종류의 차폐체와 방사선방호복은 차폐효율 면에서 차이는 있지만 선량을 감소시키는 결과를 나타냈다. 또한 방사선방호복은 작업종사자의 몸을 전체적으로 감싸, 방향성이 없는 방사선이 방출되는 핵의학과 작업 환경의 특성상 종사자가 방사선에 노출되는 빈도를 줄일 수 있는 가장 적합한 방법으로 사료된다.^[9] 그러나 진단용 엑스선 이용에 따른 국내 규정 기준에 맞춰 방사선방호복이 제작되다보니 현실적으로

핵의학과 내에서 사용되는 개봉방사선원에서 방출되는 다양한 에너지 영역($^{201}\text{Tl}(63\text{keV})$ 에서 $^{68}\text{Ga}(1.89\text{MeV})$)의 방사선을 효과적으로 차폐할만한 방사선 방호복은 없는 실정이다.^[10]

실험 결과 511 keV의 감마선을 방출하는 ^{18}F 의 경우 0.25 mm Pb 방호복을 입었을 때, 오히려 선량의 증가를 보이는 장기도 있었다. 이와 같은 결과는 방사선방호복 착용이 오히려 선량을 증가시킬 수 있다는 선행 연구들과 유사한 결과이며^[11-13], 차폐체와 방사선의 상호작용 시, 2차 전자 혹은 산란선의 영향으로 오히려 선량이 증가 하는 것으로 생각된다.

실험에 사용된 나노 크기의 텅스텐 입자로 구성된 차폐체(RNS-TX)는 ^{137}Cs 에서 방출되는 에너지 (662 keV) 기준 9~10%의 높은 차폐 성능을 가지고 있으며, 반가층(HVL, Half value layer) 기준 1.0 mm 납판과 동일 성능이상을 나타낸다.^[14] 본 실험에서도 RNS-TX가 140 keV, 364 keV, 511 keV의 에너지를 가진 감마선을 차폐하는데 있어, 각각 75%, 25%, 15%로 가장 높은 차폐 효율을 보였다.

향후 차폐 효율 측정에 활용되었던 RNS-TX 차폐체를 기반으로 핵의학 전용 방사선방호복을 제작하고, 실제로 팬텀 실험에 적용해 추가적으로 깊이 따른 장기별 선량 감소에 관한 실험을 한다면 더 신뢰도 높은 결과를 얻을 수 있을 것이다.

CT나 엑스레이 발생 장치를 이용해 인체모형 팬텀의 장기 선량을 직접 측정하는 선행 연구들은 있었지만^[15,16], 핵의학과 작업 환경에서 외부 선원에 의한 장기선량 측정에 대한 연구는 미비한 바, 핵의학과에서 주로 사용하는 선원을 이용해 인체모형 팬텀으로 깊이 따른 장기별 선량을 직접 측정했다는 점에서 본 실험은 의미가 있다고 생각한다.

V. CONCLUSION

입자의 크기를 줄인 나노 텅스텐이나 나노 보론과 같이 가볍고, 부피가 작으며, 차폐 효율을 높인 차폐 시트 개발을 통해, 일반 엑스선 방호용 방호복과는 별개로 핵의학과에서 주로 사용되는 선원에서 방출하는 다양한 방사선을 저, 중, 고 에너지 영

역으로 분류하여, 각각의 에너지에 맞는 전용 방호복 제작을 제안한다.

핵의학과 작업종사자의 주된 피폭 요인인 근접 거리에서 개봉선원을 다루는 업무를 수행하는 경우, 저 에너지 영역은 납이 포함되지 않은 무납 소재의 가벼운 방사선 방호복을 통해 적극적으로 방호할 수 있도록 하고, 중 에너지 영역은 차폐체의 무게가 증가하고, 부피가 커지더라도 차폐효율이 좋은 방호복(기존의 방사선방호복을 두 겹으로 겹쳐 입는 등)을 통해 차폐율을 높여야 한다. 고에너지 영역은 오토분주기(Auto Dose dispenser) 등을 적극 활용하여 분주 시 종사자가 개봉방사선원을 직접 다루는 시간을 최소화하고^[17], 방사성의약품 주사 시 환자와의 거리를 떨어뜨릴 수 있도록 주입 루트를 미리 확보하여 선원과 종사자 사이의 거리를 두고, 빠른 시간 안에 주사를 마무리하는 것이 최선이다.

팬텀을 이용한 실험 결과 엑스선 차폐용 방사선 방호복은 핵의학과에서 사용하는 선원으로부터 방출되는 높은 에너지의 방사선을 충분히 차폐하지 못했으며, 깊게 위치하고 있는 장기까지 방사선이 도달 하는 것으로 나타났다.

국제방사선단위측정위원회(International Commission on Radiation Units and Measurements: ICRU)에서 정의하고 있는 10 mm 깊이에서 대표되는 심부선량 값의 기준^[18]과는 별도로 에너지와 투과력이 높은 감마선을 사용하는 핵의학과 작업환경 특성상 선량을 줄이기 위한 최적화의 관점에서 실제 작업종사자의 선량을 팬텀에서 측정된 선량보다 낮은 수준으로 관리할 것을 제안하는 바이며, 깊이별 심부선량을 예측하고, 예측한 값을 관리할 수 있는 방안이 모색되어야 할 것이다. 또한 핵의학과 작업종사자가 업무를 수행하며 받게 되는 선량이 한도를 넘지 않는다고 하더라도, 핵의학과 전용 방사선 방호복이 없고, 타 직군과 비교했을 때, 피폭 선량이 높게 측정되므로, 가볍고 차폐효율이 좋은 차폐물질로 개발된 방사선방호복 착용, 순환 업무, 업무 분담, 오토분주기와 같은 대체 장비 도입 등을 통해 핵의학과 작업종사자의 선량을 줄이고, 관리할 수 있는 노력이 필요하다.

Table 1. Measurement of shielding rate using electronic radiation dose meter.

(Unit: mSv)

	Shield	N	%	Min	Max	Mean	SD
140 keV ^{99m} Tc	No Shield	3	100	.330	.334	.33167	.002082
	0.2mm Pb	3	73.41	.240	.245	.24267	.002517
	0.5mm Pb	3	37.46	.122	.125	.12367	.001528
	1.0mm Pb	3	30.21	.10	.13	.1133	.01528
	0.65mm RNS-MP	3	63.74	.210	.211	.21067	.000577
	1.1 mm RNS-TX	3	24.16	.080	.084	.08167	.002082
	1.5 mm RNS-MP	3	33.83	.112	.113	.11233	.000577
364 keV ¹³¹ I	No Shield	3	100	.505	.507	.50567	.001155
	0.2mm Pb	3	96	.480	.488	.48467	.004163
	0.5mm Pb	3	88	.452	.453	.45233	.000577
	1.0mm Pb	3	78	.399	.402	.40000	.001732
	0.65mm RNS-MP	3	92	.470	.477	.47333	.003512
	1.1 mm RNS-TX	3	74	.377	.379	.37800	.001000
	1.5 mm RNS-MP	3	84	.428	.488	.44833	.034356
511 keV ¹⁸ F	No Shield	3	100	1.615	1.618	1.61600	.001732
	0.2mm Pb	3	95.85	1.544	1.548	1.54600	.002000
	0.5mm Pb	3	91.02	1.470	1.479	1.47367	.004726
	1.0mm Pb	3	86.87	1.403	1.405	1.40367	.001155
	0.65mm RNS-MP	3	94.48	1.517	1.526	1.52300	.005196
	1.1 mm RNS-TX	3	84.82	1.370	1.372	1.37067	.001155
	1.5 mm RNS-MP	3	87.61	1.415	1.417	1.41567	.001155
Valid N (listwise)		3	-	-	-	-	-

Table 2. Dose by organ when exposed to ^{99m}Tc 30 mCi for 120 min.

(Unit: mSv)

Organ	No shield	0.25mm Pb	0.5mm Pb
Lung(U)	20.17	9.53	8.34
Lung(M)	24.66	9.47	6.20
Lung(L)	19.62	7.81	5.42
T-spine	10.20	7.05	5.53
Clavicle	28.99	11.21	7.91
Sternum	30.65	13.55	8.61
Rib	26.25	16.84	10.66
Scapula	14.92	5.88	3.20
L-spine	8.08	2.85	0.00
Thymus	24.01	9.27	5.47
Breast	33.87	12.39	8.99
Heart	18.89	9.02	7.71
Liver	18.53	7.02	6.63
Spleen	14.57	4.86	3.01
Kidney	14.54	4.64	2.89
Mean	20.53	8.75	6.03
S D	7.49	3.69	2.84
Ratio (%)	100	42.62	29.37
Efficiency (%)	0	57.38	70.63

Table 3. Dose change after wearing radiation protective clothing. (when radiation shielding of 140 keV)

^{99m} Tc	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
No shield - 0.25mm Pb	11.77067	4.79677	1.23852	9.11431	14.42703	9.504	14	.000
No shield - 0.5mm Pb	14.49200	5.53188	1.42833	11.42855	17.55545	10.146	14	.000

Table 4. The distance from the surface of the body to the organ and the dose change in the organ.

^{99m} Tc Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
Dependent Variable No shield	(Constant)	29.839	1.031		28.950	.000
	distance	-.186	.019	-.882	-9.717	.000
Dependent Variable 0.25mm Pb	(Constant)	13.123	.591		22.213	.000
	distance	-.091	.011	-.848	-8.330	.000
Dependent Variable 0.5mm Pb	(Constant)	9.000	.536		16.793	.000
	distance	-.061	.010	-.762	-6.108	.000

Table 5. Dose by organ when exposed to ¹³¹I 2 mCi for 120 min.

(Unit: mSv)

Organ	No shield	0.25mm Pb	0.5mm Pb
Lung(U)	8.50	6.60	2.50
Lung(M)	8.26	5.23	3.63
Lung(L)	7.46	4.40	2.09
T-spine	7.43	4.05	1.72
Clavicle	4.28	2.57	0.73
Sternum	6.43	4.64	3.32
Rib	5.57	5.21	1.82
Scapula	7.32	3.96	2.28
L-spine	5.94	4.90	4.61
Thymus	11.89	5.47	3.80
Breast	12.44	9.70	5.08
Heart	10.18	6.85	4.35
Liver	10.29	5.67	3.58
Spleen	3.47	0.46	0.23
Kidney	6.2	3.5	2.1
Mean	7.71	4.88	2.79
S D	2.61	2.07	1.41
Ratio (%)	100	63.29	36.18
Efficiency (%)	0	36.71	63.82

Table 6. Dose change after wearing radiation protective clothing. (when radiation shielding of 364 keV)

¹³¹ I	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
No shield - 0.25mm Pb	2.83000	1.45361	.37532	2.02502	3.63498	7.540	14	.000
No shield - 0.5mm Pb	4.92133	1.79346	.46307	3.92815	5.91452	10.628	14	.000

Table 7. The distance from the surface of the body to the organ and the dose change in the organ.

¹³¹ I Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	
	B	Std. Error	Beta			
Dependent Variable No shield	(Constant)	8.337	.732		11.392	.000
	distance	-.014	.014	-.197	-1.042	.307
Dependent Variable 0.25mm Pb	(Constant)	5.819	.625		9.312	.000
	distance	-.027	.012	-.403	-2.288	.030
Dependent Variable 0.5mm Pb	(Constant)	3.001	.418		7.175	.000
	distance	-.009	.008	-.210	-1.118	.274

Table 8. Dose by organ when exposed to ¹⁸F 5 mCi for 120 min.

(Unit: mSv)

Organ	No shield	0.25mm Pb	0.5mm Pb
Lung(U)	18.72	18.87	14.06
Lung(M)	21.23	23.32	14.63
Lung(L)	16.60	17.04	16.11
T-spine	13.82	11.24	10.86
Clavicle	17.90	17.08	15.58
Sternum	21.52	21.19	17.03
Rib	22.29	17.20	13.69
Scapula	13.92	11.76	8.47
L-spine	8.08	12.05	11.10
Thymus	17.20	21.64	11.49
Breast	22.55	19.84	15.04
Heart	14.03	12.80	8.94
Liver	20.62	16.04	15.78
Spleen	13.26	11.26	9.48
Kidney	4.07	6.27	5.55
Mean	16.39	15.84	12.52
S D	5.33	4.80	3.39
Ratio (%)	100	96.64	76.38
Efficiency (%)	0	3.36	23.62

Table 9. Dose change after wearing radiation protective clothing. (when radiation shielding of 511 keV)

^{18}F	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
No shield - 0.25mm Pb	.54733	2.83158	.73111	-1.02074	2.11541	.749	14	.466
No shield - 0.5mm Pb	3.86667	3.19769	.82564	2.09585	5.63749	4.683	14	.000

Table 10. The distance from the surface of the body to the organ and the dose change in the organ

^{18}F Model	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients		t	Sig.
	B	Std. Error	Beta			
Dependent Variable No shield	(Constant)	23.151	.915		25.299	.000
	distance	-.134	.017	-.835	-7.885	.000
Dependent Variable 0.25mm Pb	(Constant)	21.593	1.083		19.932	.000
	distance	-.111	.020	-.728	-5.510	.000
Dependent Variable 0.5mm Pb	(Constant)	16.140	.840		19.206	.000
	distance	-.064	.016	-.618	-4.082	.000

Reference

- [1] J. G. Jung, M. C. Lee, *GOCHANGSUN NUCLEAR MEDICINE*, 3rd Ed., Korea Medical Book Publisher Co. Seoul, pp. 1, 2008.
- [2] W. H. Lee, S. M. Ahn, "Evaluation of Reductive Effect of Exposure Dose by Using Air Gap Apron in Nuclear Medicine Related Work Environment," *The Korea Contents Society*, Vol. 14, No. 12, pp. 845-853, 2014.
- [3] J. Y. Kim, W. H. Lee, S. M. Ahn, "Shielding 140 keV Gamma Ray Evaluation of Dose by Depth According to Thickness of Lead Shield," *Journal of Radiological Science and Technology*, Vol. 41, No. 2 pp.129-134, 2018.
- [4] K. R. Dong, C. B. Kim, Y. S. Park, Y. S. Ji, C. N. Kim, J. U. Won, J. H. Roh, "A Study of Individual Dose for Radiological Technologists Working with Eadiat," *Journal of Korean Society for Indoor Environment*, Vol. 6, No. 1, pp. 38-47, 2009.
- [5] T. S. Jeong, B. C. Shin, C. W. Moon, Y. D. Cho, Y. H. Lee, H. Y. Yum, "The Analysis of Radiation Exposure of Hospital Radiation Workers," *Journal of Radiation Oncology*, Vol. 18, No. 2, pp. 157-166, 2000.
- [6] C. S. Lim, S. H. Kim, "A Study on the Radiation Dose Managements in the Nuclear Medicine Department," *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 10, No. 7, pp. 1760-1765, 2009.
- [7] Y. J. Ju, K. R. Dong, E. J. Choi, J. G. Kwak, J. K. Ryu, W. K. Chung, "A Study on Exposure Dose from Injection Work and Elution Work for Radiation Workers and Frequent Workers in Nuclear Medicine," *Journal of Radiation Industry*, Vol. 11, No. 1, pp. 47-54, 2017.
- [8] D. R. McAlister, "Gamma Ray Attenuation Properties of Common Shielding Materials," University Lane Lisle, USA. 2012.
- [9] N. Papadopoulos, C. Papaefstathiou, P. A. Kaplanis, G. Menikou, G. Kokona, D. Kaolis, C. Yiannakkaras, S. Christofides, "Comparison of Lead-free and Conventional x-ray aprons for Diagnostic Radiology," *World Congress on Medical Physics and Biomedical*

Engineering: September 7-12, pp. 544-546, 2009.

- [10] Korea Food and Drug Administration Notice 83, "Regulations on the classification of medical devices and items," 2018.
- [11] L. S. Fog, P. Collins, "Monte Carlo simulation of the dose to nuclear medicine staff wearing protective garments," *Australasian Physics & Engineering Sciences in Medicine*, Vol. 31. No. 4, pp. 307-316, 2008.
- [12] D. G. Jang, S. S. Kang, J. H. Kim, C. S. Kim, "An Analysis of Exposure Dose on Hands of Radiation Workers using a Monte Carlo Simulation in Nuclear Medicine," *Journal of Radiological Science and Technology*, Vol. 38, No. 4, pp. 477-482, 2015.
- [13] Y. I. Cho, S. Y. Ye, J. H. Kim, "Evaluation of the Apron Effectiveness during Handling Radiopharmaceuticals in PET/CT Work Environment," *Journal of Radiological Science and Technology*, Vol. 38, No. 3, pp. 237-244, 2015.
- [14] D. S. Shin, "Results of shielding survey," Korea Atomic Energy Research Institute, 2018.
- [15] D. Zhang, X. Li, Y. Gao, X. G. Xu, B. Liu, "A method to acquire CT organ dose map using OSL dosimeters and ATOM anthropomorphic phantoms," *American Association of Physicists in Medicine*, Vol. 40, No. 8, pp. 1-9, 2013.
- [16] B. W. Lee, "Optimum effective dose of radiograph for body organs by phantom for 10 year-old children," dissertation, Hanyang University, 2018.
- [17] IAEA, "Radioisotope handling facilities and automation of radioisotope production," IAEA Publication, 2004.
- [18] Nuclear Safety Commission Notice No. 2016-19, "Regulations on standards for reading registration and inspection," 2016.

핵의학 방사선 작업종사자 피폭 감소 방안에 대한 연구

이왕희,¹ 안성민^{2,*}

¹가천대 길병원 핵의학과

²가천대학교 방사선학과

요 약

본 연구는 다양한 종류의 차폐체가 가진 차폐 효율을 확인하고, 인체모형 팬텀을 활용해 깊이에 따른 장기별 선량을 측정하였다. 개인방사선량측정기를 이용한 차폐체 차폐효율 측정 결과 다양한 차폐체 중 나노텡스텐으로 구성된 1.1 mm RNS-TX가 가장 높은 차폐 효율을 보였고, 0.2 mm 납 차폐체가 가장 낮은 차폐 효율을 보였다. ^{99m}Tc 30 mCi를 120분 동안 팬텀에 노출시킨 뒤 장기가 받은 선량 측정 결과, 방사선 방호복을 착용하지 않은 경우, 0.25 mm Pb, 0.5 mm Pb 방호복을 착용한 경우, 장기의 평균 선량은 각각 20.53 mSv, 8.75 mSv, 6.03 mSv로 나타났다. ¹³¹I 2 mCi를 120분 동안 팬텀에 노출시킨 뒤 장기가 받은 선량 측정 결과, 방사선 방호복을 착용하지 않은 경우, 0.25 mm Pb, 0.5 mm Pb 방호복을 착용한 경우, 장기의 평균 선량은 각각 7.71 mSv, 4.88 mSv, 2.79 mSv로 나타났다. ¹⁸F 5 mCi를 120분 동안 팬텀에 노출 시킨 뒤 장기가 받은 선량 측정 결과, 방사선 방호복을 착용하지 않은 경우, 0.25 mm Pb, 0.5 mm Pb 방호복을 착용한 경우, 장기의 평균 선량은 각각 16.39 mSv, 15.84 mSv, 12.52 mSv로 나타났다. 핵의학 작업종사자의 피폭선량이 한도를 넘지 않는다고 하더라도, 병원 내 타 직군 종사자와 비교했을 때, 상대적으로 높은 피폭선량을 보이므로 가볍고 차폐효율이 좋은 차폐물질로 개발된 방사선방호복 착용, 순환 업무, 업무 분담, 오토분주기와 같은 대체 장비 도입 등을 통해 핵의학 작업종사자의 선량을 줄이고, 관리할 수 있어야 한다.

중심단어: 핵의학 방사선작업종사자, 피폭선량, 나노텡스텐, 무납차폐체

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	이왕희	가천대 길병원 핵의학과	방사선사
(교신저자)	안성민	가천대학교 방사선학과	교수