

<원저>

140 keV 감마선 차폐 시 납 차폐체 두께에 따른 깊이별 선량 평가

김지영¹⁾·이왕희²⁾·안성민¹⁾¹⁾가천대학교 방사선학과 · ²⁾가천대학교 길병원 핵의학과

Shielding 140 keV Gamma Ray Evaluation of Dose by Depth According to Thickness of Lead Shield

Kim Ji-Young¹⁾ · Lee Wang-Hui²⁾ · Ahn Sung-Min¹⁾¹⁾Department of Radiological Science, Gachon University²⁾Department of Nuclear Medicine, Gil-Hospital

Abstract The present study made a phantom for gamma ray of 140 keV radiated from ^{99m}Tc, examined shielding effect of lead by thickness of the shielding material, and measured surface dose and depth dose by body depth. The OSL Nano Dot dosimeter was inserted at 0, 3, 15, 40, 90, and 180 mm depths of the phantom, and when there was no shield, 0.2 mm lead shield, 0.5 mm lead shield, The depth dose was measured. Experimental results show that the total cumulative dose of dosimeters with depth is highest at 366.24 uSv without shield and lowest at 94.12 uSv with 0.5 mm lead shield. The shielding effect of 0.2 mm lead shielding was about 30.18% and the shielding effect of 0.5 mm lead shielding was 74.30%, when the total sum of the accumulated doses of radiation dosimeter was 100%. The phantom depth and depth dose measurements showed the highest values at 0 mm depth for all three experiments and the dose decreases as the depth increases. This study proved that the thicker a shielding material, the highest its shielding effect is against gamma ray of 140 keV. However, it was known that shielding material can't completely shield a body from gamma ray; it reached deep part of a human body. Aside from the International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU) recommending depth dose by 10 mm in thickness, a plan is necessary for employees working in department of nuclear medicine where they deal with gamma ray, which is highly penetrable, to measure depth dose by body depth, which can help them manage exposed dose properly.

Key Words: ^{99m}Tc, 140 keV Gamma ray, Shallow Dose, Depth Dose, Radiation Shield

중심 단어: ^{99m}Tc, 140 keV 감마선, 표층선량, 심부선량, 방사선차폐

I. 서 론

방사선은 물질을 투과할 수 있는 높은 에너지를 가지고 있으며, 물질과의 상호 작용을 통해 물질의 변환을 유발하는 입자선이나 전자기파로 정의된다. 인체에 방사선이 조사되면 세포 조직의 변환을 유발하거나 파괴할 수 있고, 이는 유전적 장애 발생의 원인이 될 수도 있다[1].

영상 진단영역에서 사용되는 방사선 발생장치는 발생되

는 방사선을 관계종사자가 제어할 수 있다. 검사에 협조하기 힘든 환자를 잡고 촬영하는 등 불가피한 상황을 제외하면 방사선 관계종사자는 방사선 발생장치로부터 발생하는 방사선으로부터 최대의 거리와 최소의 시간이 확보된 작업 환경을 제공 받는다. 그러나 핵의학과 작업종사자의 작업환경은 방사선 발생장치를 사용하는 진단영역의 작업 환경과는 다소 차이가 있다[2]. 핵의학과에서 사용되는 방사성동위원소는 붕괴하면서 방사선을 방출하게 된다. 이때 방출되

Corresponding author: Ann Sung-Min, Department of Radiological Science, Gachon University, 191 Hanbakmoero, Yeonsu-gu, Incheon, 21936, Korea / Tel : +82-32-820-4180 / E-mail: sman@gachon.ac.kr

Received 09 March 2018; Revised 29 March 2018; Accepted 05 April 2018

Copyright ©2018 by The Korean Journal of Radiological Science and Technology

는 방사선은 동위원소 각각의 고유한 특성이기 때문에 작업 종사자가 인위적으로 성질을 제어할 수 없다. 또한 방향성이 없기 때문에 분배나 주사 같이 작업종사자가 방사성 물질을 직접 취급하는 경우, 검사나 치료를 위해 방사성 물질을 섭취하거나 투여 받은 환자에게서 방출되는 방사선으로부터 유발되는 외부 피폭에 쉽게 노출된다[3-4].

Table 1과 같이 핵의학과 작업종사자들은 다른 부서에 비해 높은 피폭선량을 보이고 있는 것으로 나타났다[5].

핵의학과에서 사용되는 대표적인 핵종인 ^{99m}Tc 은 ^{99}Mo - ^{99m}Tc Generator를 통해 반감기 66.7 시간인 모핵종 ^{99}Mo 으로부터 생성된다. 반감기가 6시간인 ^{99m}Tc 은 비교적 짧은 반감기를 가지고 있고, β^- -ray을 방출 하는 다른 핵종과 비교했을 때, 환자의 피폭을 줄일 수 있으며, 방출되는 감마선은 140 keV 에너지를 가지며 조직 내 반감 두께 4.6 cm로 조직 투과율이 좋아 임상에서 널리 사용되고 있다[6].

핵의학과 작업 종사자의 경우 외부피폭을 줄이는 방법으로 다양한 차폐체를 사용하고 있으며, 그 중 납은 원자번호가 높아 감마선을 차폐하는데 효율적이다[7]. 납치마는 종사자가 직접 착용함으로써 핵의학과 내에서 발생 할 수 있는 외부 피폭으로부터 종사자를 보호하는 가장 효과적인 차폐체이다[8]. 일반적으로 사용하고 있는 납치마의 연당량은

0.25~1 mm이며, 연당량 0.5 mm의 차폐복은 약 4.95 kg의 무게를 가진다. 차폐효율은 50 kVp(약 16 keV) 방사선 에너지 세기에서 99.9%, 100 kVp(약 33 keV) 방사선 에너지 세기에서 75%의 차폐효율을 보인다. 140 keV의 감마선의 경우 연당량 0.25 mm의 납치마 사용 시 평균 30%, 연당량 0.5 mm 납치마 사용 시 평균 53%의 차폐 효율을 보인다[9].

본 연구에서는 ^{99m}Tc 에서 방출되는 140 keV의 감마선을 가지고, 팬텀을 이용해 납 차폐체의 두께에 따른 140 keV 감마선의 차폐 효과를 알아보고, Table 2에서 정의하는 기준과 별도로 Nano Dot OSL선량계를 이용해 깊이별 선량을 측정해 보고자 한다[10].

II. 대상 및 방법

1. 실험재료

가로 210 mm, 세로 300 mm, 두께 0.2 mm 납판, 가로 210 mm, 세로 300 mm, 두께 0.5 mm 납판, Fig. 1과 같은 광자극발광선량계 Nano Dot (Optically Stimulated Luminescence Dosimeter, Landauer의 Nano Dot, USA), Fig. 2와 같은

Table 1 Average exposure dose by department

	Nuclear Medicine	Angio	Radio logy	Radiation Oncology
Shallow Dose	0.40	0.32	0.21	0.09
Depth Dose	0.32	0.29	0.20	0.11

(Unit : mSv)

Table 2 Depth Dose & Shallow Dose[11]

Shallow Dose	Personal dose equivalent Hp(0.07) is the same as Hp(10) except that it refers to weakly penetrating radiation (skin dose)
Depth Dose	Personal dose equivalent Hp(10) is the dose equivalent in tissue at a depth of 10 mm in the body

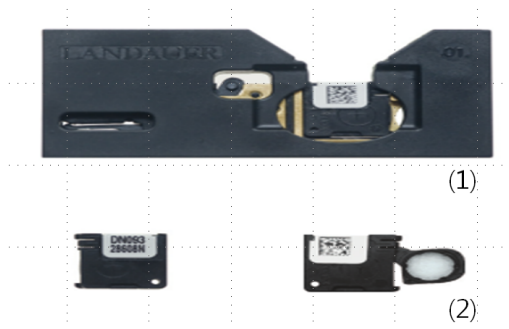


Fig. 1 Composition of OSL dosimeter
(1) Nano Dot Adapter, (2) Nano Dot OSL



Fig. 2 OSL Micro star Reader

광자극발광선량계 판독기(MicroStar Reader), ^{99m}Tc 1110 MBq (30 mCi) 1 cc, 가로 250 mm, 세로 180 mm, 높이 250 mm 아크릴 재질의 자체 제작한 팬텀을 사용하였다. 팬텀은 여러 장의 아크릴 판을 겹쳐 인체의 몸통을 재현하였고, 각각의 아크릴 판에는 Nano Dot 소자를 삽입할 수 있는 구멍을 만들었다.

2. 실험방법

1) 차폐체가 없을 때 선량 측정

Fig. 3과 같이 팬텀의 0, 3, 15, 40, 90, 180 mm 깊이에 Nano Dot OSL 선량계를 삽입 하고, 팬텀의 표면으로부터 높이 10 cm, 거리 30 cm에 1 cc 볼륨의 ^{99m}Tc 을 위치시킨 뒤, 1시간 동안 누적 선량을 측정한다. 재현성 확인을 위해 3회 반복 측정한다.

2) 0.2 mm 납 차폐체가 있을 때 선량 측정

Fig. 4와 같이 인체 모형 팬텀의 0, 3, 15, 40, 90, 180 mm 깊이에 Nano Dot OSL 선량계를 삽입하고, 팬텀의 표면에 0.2 mm 납판을 위치시킨다. 팬텀의 표면으로부터 높이 10 cm, 거리 30 cm에 1 cc 볼륨의 ^{99m}Tc 을 위치

시킨 뒤, 1시간 동안 누적 선량을 측정한다. 재현성 확인을 위해 3회 반복 측정한다.

3) 0.5 mm 납 차폐체가 있을 때 선량 측정

Fig. 5와 같이 인체 모형 팬텀의 0, 3, 15, 40, 90, 180 mm 깊이에 Nano Dot OSL 선량계를 삽입하고, 팬텀의 표면에 0.5 mm 납판을 위치시킨다. 팬텀의 표면으로부터 높이 10 cm, 거리 30 cm에 1 cc 볼륨의 ^{99m}Tc 을 위치시킨 뒤, 1시간 동안 누적 선량을 측정한다. 재현성 확인을 위해 3회 반복 측정한다.

III. 결 과

1. 차폐체가 없을 때 선량 측정

측정된 선량 값은 백그라운드 선량값을 제외하고 기록하였다.

Fig. 6과 같이 표면에 위치한 선량계의 선량값은 82.42 uSv로 측정되었고, 가장 높은 값을 보였다. 이후 깊이가 깊어질수록 선량이 감소하여 가장 깊은 180 mm에 위치한 선량계의 선량값은 10.69 uSv가 측정되었다.

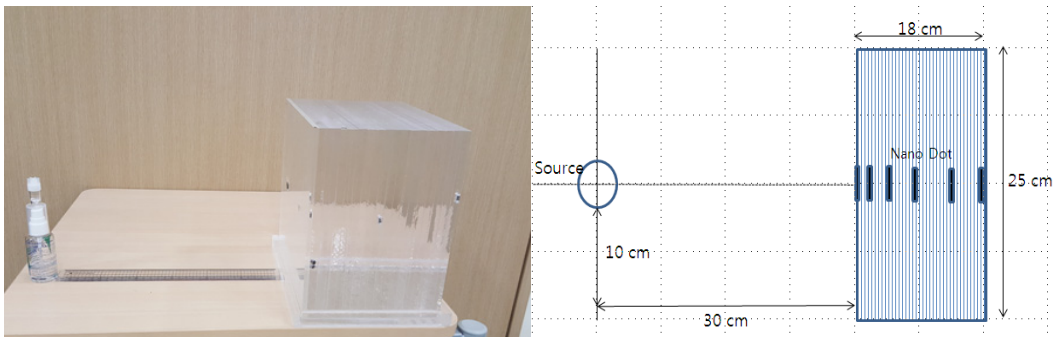


Fig. 3 No shield between the radiation source and the phantom

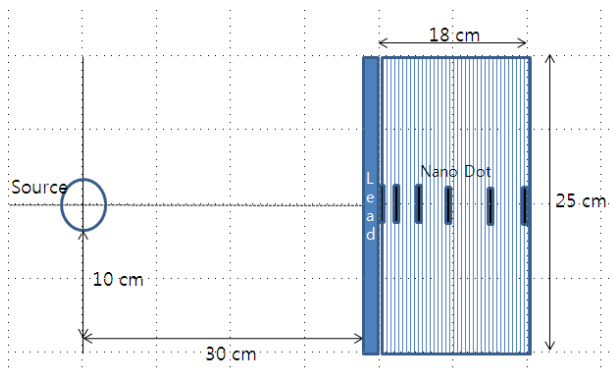


Fig. 4 Position of lead shielding material of 0.2 mm in thickness between the radiation source and the phantom

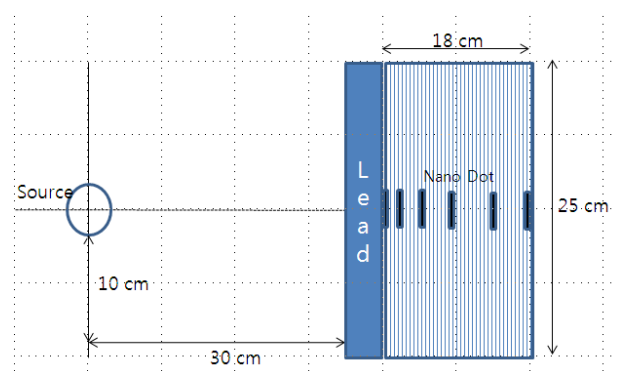


Fig. 5 Position of lead shielding material of 0.5 mm in thickness between the radiation source and the phantom

2. 0.2 mm 납 차폐체가 있을 때 선량 측정

측정된 선량 값은 백그라운드 선량값을 제외하고 기록하였다.

Fig. 7과 같이 표면에 위치한 선량계의 선량값은 62.02 uSv로 측정되었고, 가장 높은 값을 보였다. 이후 깊이가 깊어질수록 선량이 감소하여 가장 깊은 180 mm에 위치한 선량계의 선량값은 1.72 uSv가 측정되었다.

3. 0.5 mm 납 차폐체가 있을 때 선량 측정

Fig. 8과 같이 측정된 선량 값은 백그라운드 선량값을 제외하고 기록하였다.

표면에 위치한 선량계의 선량값은 24.04 uSv로 측정되었고, 가장 높은 값을 보였다. 이후 깊이가 깊어질수록 선량이 감소하여 가장 깊은 180 mm에 위치한 선량계의 측정값은 0 uSv로 측정되었다.

4. 차폐체의 종류와 깊이에 따른 선량

Fig. 9와 같이 차폐체가 없는 경우 모든 깊이의 선량값이 가장 높게 측정되었고, 0.5 mm 차폐체를 사용한 경우 선량값이 가장 낮게 측정되었다. 공통적으로 3가지 실험 모두 표층 선량값이 가장 높게 측정되었고, 이후 깊이가 깊어질수록 점차 감소하는 양상을 보였다.

5. 실험별 측정된 선량값

각각의 3가지 실험별 측정된 선량값의 총합은 차폐체가 없는 경우 1회 평균 깊이별 선량값의 총합이 366.24 uSv로 측정되었다. 차폐체가 없는 경우의 측정값을 100%라고 했을 때, 0.2 mm 차폐체를 사용하는 경우 255.70 uSv가 측정되어 69.82%, 0.5 mm 차폐체를 사용하는 경우 94.12 uSv가 측정되어 25.70%의 측정비를 보였다.

Fig. 10과 같이 차폐체가 없는 경우의 차폐 효율을 0%라고 했을 때, 0.2 mm 납 차폐체는 33.18%의 차폐 효율을 보였

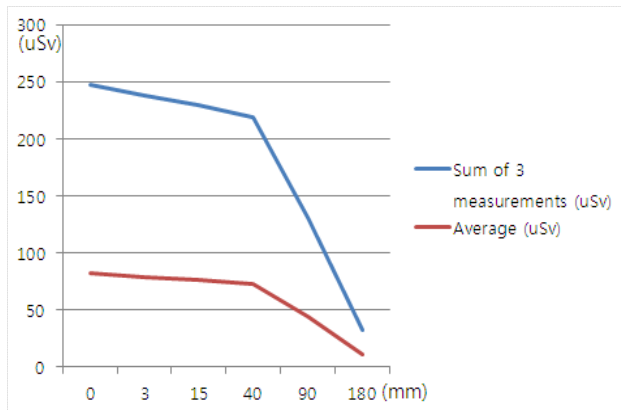


Fig. 6 No shield between the radiation source and the phantom

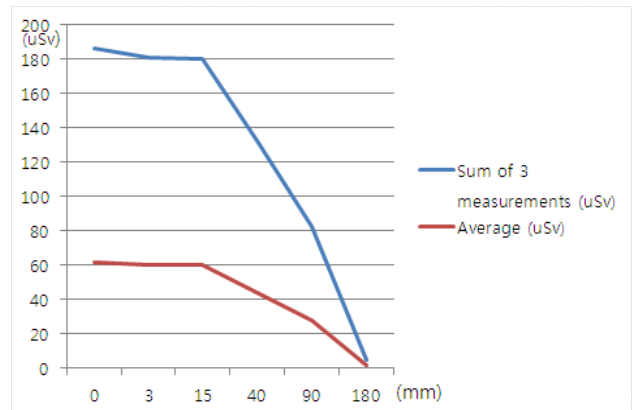


Fig. 7 Position of lead shielding material of 0.2 mm in thickness between the radiation source and the phantom

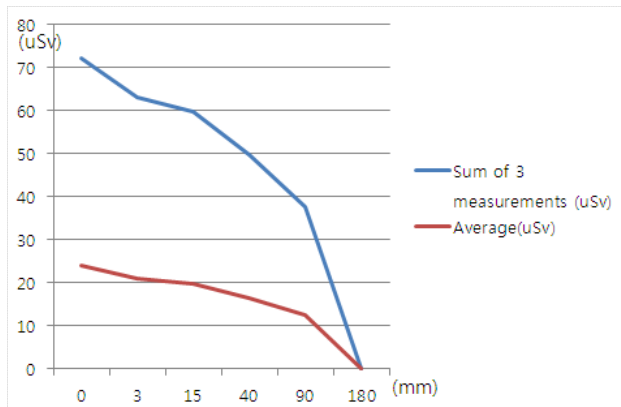


Fig. 8 Position of lead shielding material of 0.5 mm in thickness between the radiation source and the phantom

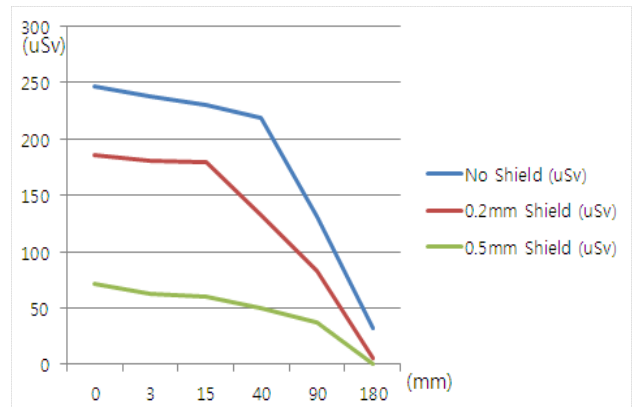


Fig. 9 Depth distribution of radiation dose by type of shielding material

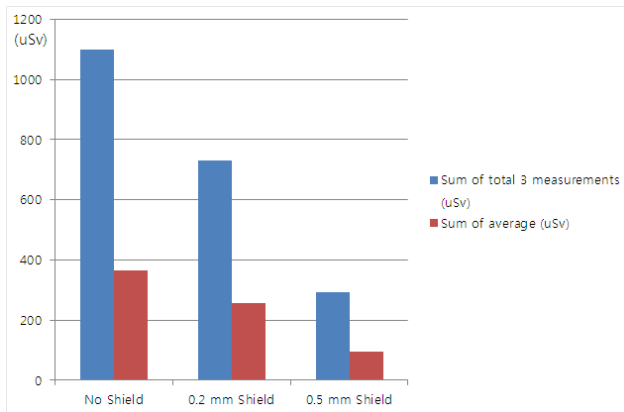


Fig. 10 Total Dose Measured and Shielding Effect by Shielding Material

고, 0.5 mm 차폐체는 74.30%의 차폐 효율을 보였다.

IV. 고 찰

본 연구는 ^{99m}Tc 에서 방출되는 140 keV의 감마선을 가지고 핵의학과에서 근무하는 작업 종사자를 대신해 자체 제작한 팬텀을 이용해 납 차폐체의 두께에 따른 작업종사자의 표층선량과 인체 깊이별 선량에 대해 평가 하고, 작업종사자들을 위한 적절한 차폐 방법을 제시하기 위함이다.

일반적으로 방사선 발생장치에서 발생하는 에너지의 영역은 40 kVp에서 150 kVp 이내이며, 위의 영역에서 발생하는 일차선과 산란선의 방호는 관계/작업 종사자가 납치마를 착용함으로써 수행되어진다.

선행연구에 따르면 140 keV의 감마선을 사용하는 작업환경에서 0.25 mm, 0.5 mm 납당량의 차폐복의 차폐율은 30~53% 정도의 차폐효과가 있다고 한다[12]. 그러나 감마선 차폐 시 차폐체의 두께가 두꺼울수록 차폐 효율은 좋아지지만 무작정 차폐체의 두께를 늘리게 되면 무게와 부피의 증가로 작업종사자의 피로도가 증가해 사고의 위험성이 높아지고, 활동성이 떨어질 수 있다는 단점이 있다[13].

핵의학과 내에서 사용되는 방사성동위원소의에너지 영역은 63 keV (^{201}Tl)에서 1.89 MeV (^{68}Ga)로 영상의학 방사선 에너지 영역에서 사용되는 것보다 훨씬 높고 다양하다. 또한 방사성동위원소에서 발생하는 투과력이 높은 감마선의 차폐는 납 용기 사용에 따른 차폐에 의존하고 있지만[14], 방사선의 에너지 종류에 따라 납 차폐체가 오히려 국소부위 피폭 증가의 요인이 될 수도 있다는 선행 연구도 있다[15].

연구 결과, 0.5 mm 납 차폐체를 사용한 경우 가장 차폐 효율이 높았다. 깊이별 선량 분포 측정을 위해 자체 제작한 팬

텀을 이용해 실제 깊이별 선량을 직접 측정했다는 점에서 의미 있는 실험이었다고 평가한다. 그러나 깊이별 선량 분포 측정을 위해 자체 제작한 팬텀의 경우 정육면체로 제작되어 실제 인체의 굴곡을 재현하는데 한계가 있었고, 실제 작업종사자를 대상으로 하는 경우 팬텀의 측정값과는 다소 차이가 있을 것이라 예상된다. 또한 핵의학과 내에서 사용되는 다양한 종류의 방사성동위원소를 모두 적용하지 못하고, ^{99m}Tc 에 국한되어 실험을 진행한 것은 추후 보완해야 할 점이다. 인체의 굴곡과 유사한 Rando Phantom을 사용하여 깊이별 조직 가중치를 적용해 실험을 한다면 좀 더 정확한 심부선량을 측정 할 수 있을 것이고, 더불어 다양한 종류의 방사성동위원소를 적용하여 추가적인 연구를 진행해야 할 것이다.

V. 결 론

핵의학과에서 주로 사용되는 ^{99m}Tc 에서 방출되는 140 keV의 감마선을 기준으로 팬텀을 제작해 3가지 실험을 통해, 납 차폐체 두께에 따른 표층선량과 깊이별 선량을 측정했다.

깊이별 누적 선량의 총합은 차폐체가 없는 경우 366.24 uSv로 가장 높게 나왔고, 0.5 mm 납 차폐체를 사용한 경우 94.12 uSv로 가장 낮은 누적 선량을 보였다. 차폐체가 없는 경우의 깊이별 선량계들의 누적 선량의 총 합을 100%라고 했을 때, 0.2 mm 납 차폐체의 경우 약 30.18%의 차폐 효율을 보였고, 0.5 mm 납 차폐체의 경우 74.30%의 차폐 효율을 보였다.

표층선량과 팬텀의 깊이 별 선량 측정 결과, 3가지 실험 모두 표층선량이 가장 높게 측정되었고, 이후 깊이가 깊어질수록 선량이 감소하는 것을 확인했다. 0.5 mm 납 차폐체를 사용하는 경우 70%가 넘는 차폐 효율을 보여주고 있으나 적지 않은 양이 표층 및 심부에 도달하는 것으로 나타났다. 실험 결과, 차폐체의 두께가 두꺼울수록 선량 감소 효과가 높아지는 것으로 나타났지만 차폐효과를 높이기 위해 차폐체의 두께와 무게를 무한정 늘리는 것은 한계가 있다.

140 keV의 감마선은 실험에 사용된 차폐체를 사용한다고 해도 인체의 깊은 곳까지 방사선이 도달한다. 방사선 작업 종사자들이 가슴에 패용하고 있는 개인피폭선량계의 선량 값은 0.07 mm 깊이에서의 표층선량과 10 mm 깊이에서의 심부선량만을 나타내고 있다. 그러나 국제방사선단위측정위원회(ICRU)에서 정의하고 있는 10 mm 깊이에서 대표되는 심부선량 값의 기준과는 별도로 투과력이 높은 감마선을 사용

하는 핵의학 작업종사자들은 깊이별 심부선량을 측정하고 관리할 수 있는 방안이 모색되어야 할 것이다.

REFERENCES

- [1] Shin GS. Radiation Physics. Seoul: Pyeonaem Hong; 2004, 85, 219.
- [2] Lee WH, Ahn SM. Evaluation of Reductive Effect of Exposure Dose by Using Air Gap Apron in Nuclear Medicine Related Work Environment. The Journal of the Korea Contents Association. 2014; 14(12): 845-53.
- [3] Lee WH, Kim SC, Ahn SM. Comparison on the Dosimetry of TLD and OSLD Used in Nuclear Medicine. The Journal of the Korea Contents Association. 2012;12(12):329-34.
- [4] Vetter RJ. Medical health physics: a review. Health physics. 2008;88(6):653-64.
- [5] Dong GR, Kim CB, Park YS, Ji YS, Kim CN, Won JU, et al. A Study of Individual Dose for Radiological Technologists Working with Eadiation. Journal of Korean Society for Indoor Environment. 2009; 6(1):38-47.
- [6] Bag SO, Ahn SM, Yang HJ, Yu GY, Jang SS, Lee GS, et al. NUCLEAR MEDICINE SCIENCE, 5th ed. Seoul: Bomun Seoweon; 2014, 44-6.
- [7] Jang DG, Lee SH, Choi HS, Son JC, Toon CY, Ji YS, et al. A Study on the Apron Shielding Ratio According to Electromagnetic Radiation Energy. Journal of Radiological Science and Technology. 2014;37(4): 247-52.
- [8] McCaffrey JP, Shen H, Downton B, Mainegra-Hing E. Radiation attenuation by lead and nonlead materials used in radiation shielding garments. Medical Physics. 2007; 34(2):530-7.
- [9] Kim SC, Park MH. Development of Radiation Shielding Sheet with Environmentally-Friendly Materials. Journal of Radiological Science and Technology. 2011; 34(2):141-7.
- [10] Nuclear safety and security commission announcement. Regulations on standards for reading registration and inspection, 2016.
- [11] ICRU report 47. Measurement of Dose Equivalents from External Photon and Electron Radiations. 1992.
- [12] Park MH, Gweon DM. Measurement of Apron Shielding Rate for X-ray and Gamma-ray. Journal of Radiological Science and Technology. 2007; 30(3):245-50
- [13] Kujala UM, Taimela S, Viljanen T, Jutila H, Jukka T. Tapio V, et al. Physical loading and performance as predictors of back pain in healthy adults: A 5-year prospective study. European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology. 1996;73(5):452-8
- [14] Choi TJ, Oh YK, Kim JH, Kim OB. Development of Lead Free Shielding Material for Diagnostic Radiation Beams. The Journal of the Korean Society of Medical Physics. 2010;21(2):232-7.
- [15] Jang DG, Kang SS, Kim JH, Kim CS. An Analysis of Exposure Dose on Hands of Radiation Workers using a Monte Carlo Simulation in Nuclear Medicine. Journal of Radiological Science and Technology. 2015;38(4):477-82.