

<원저>

안티몬 차폐시트의 감마선 차폐 성능평가

한상현

한서대학교 방사선학과

Performance Evaluation of Gamma ray Shielding of Antimony Shielding Sheet

Sang-Hyun Han

Department of Radiological Science, Hanseo University

Abstract In this study, the dose of antimony shielding sheet was measured and the shielding rates according to the distance between the radioisotopes and the detector was analyzed according to the type of ^{99m}Tc , ^{18}F , ^{201}Tl , ^{131}I , ^{123}I using the antimony shielding sheet. The detector was used with an inspector. Six sheets of 0.25 mmPb were prepared with 20 cm width and length. Measurement results using ^{99m}Tc , ^{201}Tl , and ^{123}I showed that as the thickness of the sheet became thicker, the farther the distance from the source to the sheet was, the smaller the transmitted dose amount was measured. It was analyzed that a thickness of 1.50 mm or more was required to obtain a shielding rates of 90% or more. In the experiments of ^{18}F and ^{131}I , the dose value was highest when 0.25 mm sheet was used, and the shielding rates was negative, unlike the results of other radioisotopes. Since ^{201}Tl are used when using antimony sheet and ^{18}F and ^{131}I have no shielding effect, it is thought that it is effective to reduce dose by repeating training and simulation training so that work can be done in a short time.

Key Words: Radioisotope, Antimony Shielding Sheet, Lead Equivalent, Gamma ray, Shielding rate

중심 단어: 방사성동위원소, 안티몬 차폐시트, 납당량, 감마선, 차폐율

1. 서 론

핵의학과에서 개인에 대한 방사선피폭으로부터 방호하기 위한 방법으로 납 치마를 주로 사용하고 있다. 보통 납 치마는 원자번호가 82인 납을 이용해 에너지의 크기에 따라 납 당량(mmPb)으로 사용되어 진다. 납은 진단영역에서 X선의 차폐효과가 우수하고 값이 싸고 가공성이 용이하기 때문에 많이 사용되고 있다[1]. 하지만 납의 사용량이 증가함에 따라 납의 직업성 노출도 증가하여 매년 납 중독으로 인한 환자 발생도 증가하고 있는 추세이다[2]. 이러한 문제로 인해 최근에는 텅스텐, 비스무트, 안티몬, 황산바륨 등 여러 가지 원소를 혼합하여 방호복을 생산하고 있고, 납을 사용하지 않은 무납 차폐체의 연구가 활발히 진행 중이다[3-5]. 하지

만 이것은 X선을 사용하는 영상의학과에 국한되어 연구되어 있고, γ 선을 사용하는 핵의학과에서의 연구는 부족한 실정이다. 또한, 현재 핵의학과내에서도 방사성동위원소 종류에 따라 어떤 납 치마를 착용해야 하는지 모르거나 납 치마의 착용여부가 방사선피폭 방호에 효과가 있는지에 대한 의견도 엇갈리고 있다[6-7].

이에 본 연구는 납중독을 피하고, 경량화 할 수 있는 동시에 낮은 에너지에서 흡수계수가 높은 물질[8]인 안티몬(원자번호: 51, 밀도 6.68 g/cm³)을 시트형태로 만든 차폐체를 이용해 방사성동위원소의 종류에 따라 차폐율을 분석해 차폐시트의 성능을 평가하였고, 안티몬 차폐시트에 가장 차폐율이 높은 방사성동위원소를 알아보고자 하였다.

Corresponding author: Sang-Hyun Han, Department of Radiological Science, Hanseo University, 46, Hanseo1-ro, Haemi-myun, Seosan-si, Chungcheongnam-do, 31962, Korea / Tel : +82-10-3443-2720 / E-mail: luck2han@hanmail.net

Received 15 March 2018; Revised 01 April 2018; Accepted 05 April 2018

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

II. 실험기구 및 방법

1. 실험기구

1) 방사성동위원소

실험에 사용된 방사성동위원소는 2012년도 핵의학 관련 동위원소 이용현황 통계[9] 중에서 가장 많이 사용되고 있는 5가지 방사성동위원소를 이용하였다. 사용된 ^{99m}Tc (140 keV)과 ^{18}F (511 keV)의 방사능량은 370 MBq, ^{201}Tl (135, 167 keV)과 ^{131}I (364 keV), ^{123}I (159 keV)은 각각 111 MBq를 사용하였다.

2) 측정기구

실험에 사용된 측정기구는 정확한 방사능량을 측정하기 위해 Dose calibrator(Capintec, USA)를 이용하였고(Fig. 1), 안티몬 시트의 차폐율을 측정하기 위해 KRISS(국가측정표준대표기관)에서 교정 및 검정을 받은 Inspector(Se international, USA)를 사용하였다(Fig. 2).

3) 안티몬시트

안티몬 차폐시트는 안티몬을 주성분으로 하여 제작한 것으로 시트 한 장은 가로 20 cm, 세로 20 cm, 납당량 0.25 mm Pb로 제작하였고, 총 6장을 이용하여 두께가 두꺼워질수록 안티몬 차폐시트를 한 장씩 겹쳐 사용하였다(Fig. 3).

2. 실험방법

실험방법은 ^{99m}Tc , ^{18}F , ^{201}Tl , ^{131}I , ^{123}I 의 방사능량을 370 MBq, 111 MBq되게 한 후, 방사성동위원소로부터 Inspector 까지 일직선상으로 배치하였다(Fig. 4). 측정기의 높이는 100 cm가 되도록 하고, 선원에서 30 cm, 50 cm, 100 cm 거리를 두고 10회 반복 측정하였다. 결과 값은 최고치와 최저치를 제외하고 평균치 값을 사용하였다. 시트의 위치는 선행연구[10]를 참고하여 측정기 앞에서 2 cm가 되는 지점에 위치시켰고, 이러한 방법을 5가지 방사성동위원소 종류에 따라 안티몬 시트의 투과 선량값을 측정하였다. 측정 결과값은 안티몬 시트가 있을 때와 없을 때를 이용해 차폐율(식 1)을 구하였다.

$$\text{차폐율} = \frac{\text{안티몬 시트 사용전 선량} - \text{안티몬 시트 사용후 선량}}{\text{안티몬 시트 사용전 선량}} \times 100\% \quad (\text{식 1})$$



Fig. 1 Dose calibrator



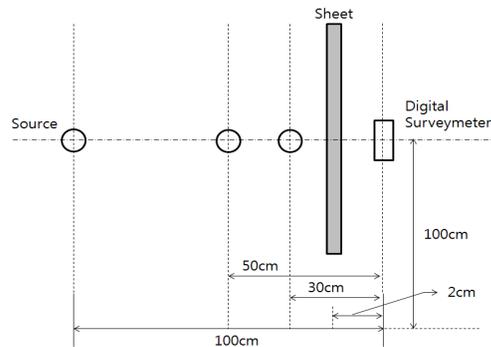
Fig. 2 Inspector



Fig. 3 Antimony sheet



Fig. 4 Experimental layout



III. 결 과

1. ^{99m}Tc 선원에서 차폐율

^{99m}Tc을 이용한 실험에서 안티몬 차폐시트가 없을 때 선량값은 13.66 mR/hr(30 cm), 4.64 mR/hr(50 cm), 1.13 mR/hr(100 cm)으로 측정되었다. 시트의 두께가 두꺼워질수록 시트를 투과한 선량값은 작게 측정되었고, 선원에서 시트까지의 거리가 30 cm, 50 cm, 100 cm로 멀어지면서 측정값도 작게 측정되었다. 차폐율은 두께가 두꺼워질수록 차폐율도 높아져 두께 1.50 mm, 모든 거리에서 85.0%이상의 차폐율을 나타냈다(Table 1), (Fig. 5).

2. ¹⁸F 선원에서 차폐율

¹⁸F을 이용한 측정값은 0.25 mm에서 89.83 mR/hr(30 cm), 32.08 mR/hr(50 cm), 7.82 mR/hr(100 cm)로 나타나 시트를 사용하지 않았을 때의 72.91 mR/hr(30 cm), 24.64 mR/hr(50 cm), 6.35 mR/hr(100 cm) 측정값보다 증가하였고, 0.50 mm

부터는 다시 감소하여 1.50 mm두께에서 68.89 mR/hr(30 cm), 23.78 mR/hr(50 cm), 6.01 mR/hr(100 cm)으로 측정되었다. 거리에 따른 측정값을 살펴보면 거리가 멀어질수록 측정값은 작게 나타났고, ¹⁸F의 차폐율은 1.25 mm에서 3.27%(30 cm), 0.27%(50 cm), 3.07%(100 cm)로 나타났고, 1.50 mm에서 5.51%(30 cm), 3.49%(50 cm), 5.32%(100 cm)로 나타나 1.25 mm와 1.50 mm 두께를 제외한 두께에서 모두 음의 차폐율을 나타냈다(Table 2), (Fig. 6).

3. ²⁰¹Tl 선원에서 차폐율

²⁰¹Tl을 이용한 실험에서 시트를 사용 전 측정값은 5.03 mR/hr(30 cm), 1.79 mR/hr(50 cm), 0.54 mR/hr(100 cm)로 측정되었다. 두께가 두꺼워질수록 측정값은 감소하였고, 거리가 멀수록 측정값이 작아지는 결과를 나타냈다. 시트를 겹쳐 사용한 차폐율 시험결과는 두께가 두꺼워질수록 차폐 효과가 좋은 것으로 나타났으며, 0.50 mm까지 차폐율이 급격히 증가하다가 0.75 mm부터는 차폐율이 완만히 증가한 결과를 나타냈다(Table 3), (Fig. 7).

Table 1 Measurements of ^{99m}Tc

| source | Measurements | Distance (cm) | Thickness(mm) | | | | | | |
|-------------------|-------------------|---------------|---------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 0 | 0.25 | 0.5 | 0.75 | 1.0 | 1.25 | 1.5 |
| ^{99m} Tc | Dose rate (mR/hr) | 30 | 13.660 | 12.182 | 7.671 | 5.285 | 3.285 | 2.106 | 1.685 |
| | | 50 | 4.646 | 4.153 | 2.655 | 1.892 | 1.128 | 0.782 | 0.614 |
| | | 100 | 1.135 | 1.025 | 0.695 | 0.489 | 0.281 | 0.201 | 0.159 |

Table 2 Measurements of ¹⁸F

| source | Measurements | Distance (cm) | Thickness(mm) | | | | | | |
|-----------------|-------------------|---------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | | 0 | 0.25 | 0.5 | 0.75 | 1.0 | 1.25 | 1.5 |
| ¹⁸ F | Dose rate (mR/hr) | 30 | 72,911 | 89,832 | 84,038 | 75,956 | 73,436 | 70,524 | 68,893 |
| | | 50 | 24,644 | 32,086 | 29,952 | 27,877 | 25,895 | 24,576 | 23,782 |
| | | 100 | 6,351 | 7,823 | 7,284 | 6,621 | 6,394 | 6,156 | 6,013 |

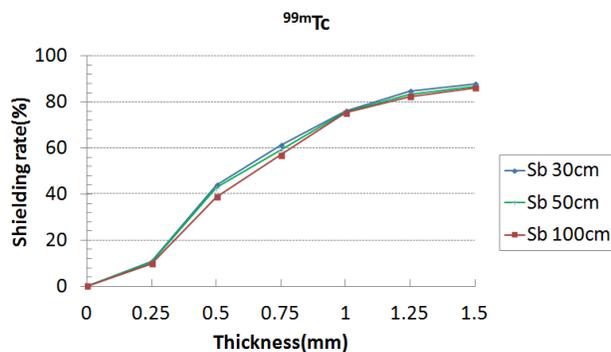


Fig. 5 Shielding rate of ^{99m}Tc

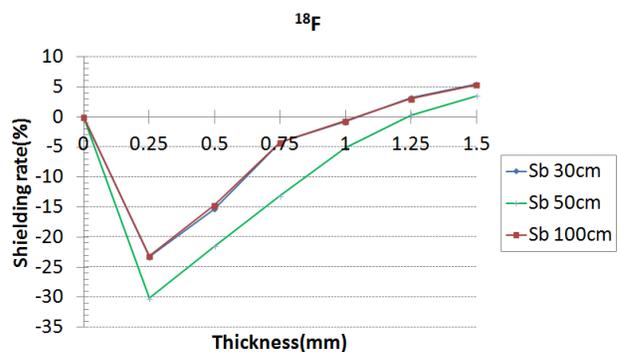


Fig. 6 Shielding rate of ¹⁸F

Table 3 Measurements of ^{201}Tl

| source | Measurements | Distance (cm) | Thickness(mm) | | | | | | |
|-------------------|----------------------|------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 0 | 0.25 | 0.5 | 0.75 | 1.0 | 1.25 | 1.5 |
| ^{201}Tl | Dose rate (mR/hr) | 30 | 5.039 | 3.098 | 1.727 | 1.244 | 0.898 | 0.606 | 0.501 |
| | | 50 | 1.799 | 1.138 | 0.631 | 0.445 | 0.353 | 0.234 | 0.184 |
| | | 100 | 0.544 | 0.342 | 0.198 | 0.149 | 0.113 | 0.091 | 0.074 |

Table 4 Measurements of ^{131}I

| source | Measurements | Distance (cm) | Thickness(mm) | | | | | | |
|------------------|----------------------|------------------|---------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | | | 0 | 0.25 | 0.5 | 0.75 | 1.0 | 1.25 | 1.5 |
| ^{131}I | Dose rate (mR/hr) | 30 | 11,327 | 15,894 | 14,782 | 13,643 | 12,772 | 12,161 | 11,861 |
| | | 50 | 3,718 | 5,491 | 5,182 | 4,862 | 4,627 | 4,391 | 4,181 |
| | | 100 | 0,912 | 1,301 | 1,208 | 1,112 | 1,041 | 0,998 | 0,961 |

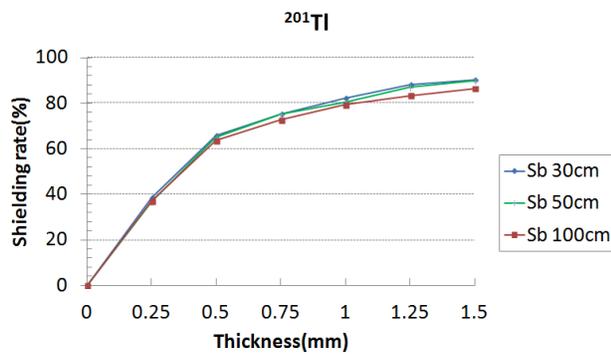


Fig. 7 Shielding rate of ^{201}Tl

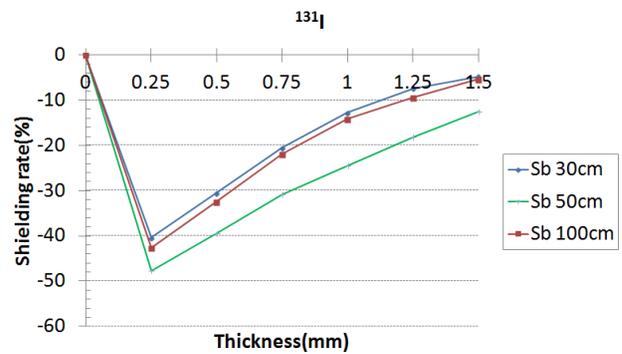


Fig. 8 Shielding rate of ^{131}I

4. ^{131}I 선원에서 차폐율

^{131}I 의 경우에는 두께에 따른 측정값을 살펴보면 ^{18}F 과 같이 0.25 mm에서 15.89 mR/hr(30 cm), 5.49 mR/hr(50 cm), 1.30 mR/hr(100 cm)로 나타나 0.25 mm일 때가 시트를 사용하지 않을 때 보다 더 높게 측정되었다. 그리고 0.5 mm부터 다시 감소하는 것으로 나타났다. 거리에 따른 측정결과는 다른 방사성동위원소들과 마찬가지로 거리가 멀어질수록 측정값이 작아지는 결과를 나타냈다. 차폐율을 나타낸 결과를 살펴보면 시트를 사용하지 않았을 경우와 시트를 사용했을 경우의 차폐율은 모두 음의 차폐율을 나타냈다. 특히 시트를 사용하지 않았을 경우보다 0.25 mm를 사용했을 때 -40.32%(30 cm), -47.69%(50 cm), -42.65%(100 cm)로 나타나 -40% 이상의 차폐율을 나타냈다(Table 4), (Fig. 8).

5. ^{123}I 선원에서 차폐율

^{123}I 을 이용하여 측정한 결과는 시트가 두꺼워지면 측정값은 감소하고, 거리가 멀어지면 측정값이 작아졌다. ^{123}I 의 차

폐율을 나타낸 결과는 ^{201}Tl 을 이용한 실험결과와 비슷하게 0.50 mm까지 급격한 차폐율의 증가를 보이다가 0.75 mm부터는 완만한 차폐율을 나타냈다(Table 5), (Fig. 9).

IV. 고 찰

$^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{201}Tl , ^{123}I 을 이용한 측정결과는 시트의 두께가 두꺼워질수록 투과한 선량값은 작게 측정되었고, 선원에서 시트까지의 거리가 멀어질수록 작게 측정되었다. 하지만 ^{18}F 과 ^{131}I 의 실험에서는 시트를 사용하지 않았을 경우 보다 0.25 mm 시트를 사용했을 경우 오히려 측정값이 제일 높게 나타났다. 각 방사성동위원소의 종류에 따라 차폐율을 측정 한 결과를 비교하였는데 비교한 거리는 핵의학 검사실에서 환자와 마주했을 때의 거리를 생각해 동일한 50 cm 거리에서 측정 한 결과를 분석하였다(Fig. 10).

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ 과 ^{201}Tl 그리고 ^{123}I 의 차폐율은 0.50 mm 두께에서 42.85%($^{99\text{m}}\text{Tc}$), 64.92%(^{201}Tl), 63.48%(^{123}I)로 차폐율 50%

Table 5 Measurements of ^{123}I

| source | Measurements | Distance (cm) | Thickness(mm) | | | | | | |
|------------------|----------------------|------------------|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | | 0 | 0.25 | 0.5 | 0.75 | 1.0 | 1.25 | 1.5 |
| ^{123}I | Dose rate (mR/hr) | 30 | 10,313 | 6,697 | 3,813 | 2,524 | 2,004 | 1,743 | 1,496 |
| | | 50 | 3,735 | 2,453 | 1,364 | 0,964 | 0,723 | 0,661 | 0,595 |
| | | 100 | 1,016 | 0,649 | 0,374 | 0,268 | 0,227 | 0,185 | 0,171 |

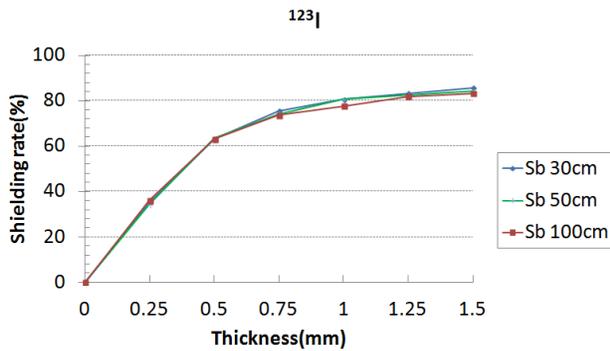


Fig. 9 Shielding rate of ^{123}I

에 근접하거나 높은 것으로 나타났고, 90% 이상의 차폐율을 얻기 위해서는 1.50 mm 이상의 두께가 필요한 것으로 분석되었다. 따라서 현재 납 치마와 비슷한 차폐효과를 얻기 위해서는 3~4배 정도의 납당량이 필요한 것으로 보인다. ^{18}F 과 ^{131}I 을 이용한 차폐율 결과에서는 다른 방사성동위원소들의 결과와는 다르게 음의 차폐율을 나타냈다. 특히 두께 0.25 mm에서는 -30.20% (^{18}F), -47.69% (^{131}I)로 나타나 가장 낮은 차폐율을 보였고 0.50 mm에서는 -21.54% (^{18}F), -39.38% (^{131}I)로 나타났다. 가장 두꺼운 1.50 mm에서는 3.49% (^{18}F), -12.45% (^{131}I)로 나타나 시트의 두께를 증가시켜도 차폐효과가 없거나 감소된 결과를 보였다. 이것은 선행연구[11] 결과와 같이 ^{18}F 과 ^{131}I 의 고에너지와 차폐시트와의 상호작용으로 인한 2차 산란선 때문인 것으로 고 에너지 β 선을 차폐할 경우에는 저 원자번호 물질을 이용하여 제동복사선을 줄인 후 고 원자번호 물질을 사용해 제동복사선을 차폐해야 한다 [12]. 향후 실험에서는 차폐시트와 검출기의 거리변화에 따른 실험방법[13]과 다른 검출기를 이용한 방법도 필요할 것으로 보이고 안티몬이 아닌 비스무트, 텅스텐 등 다른 물질을 이용한 차폐율 평가에 대한 연구도 필요할 것으로 생각된다.

V. 결 론

안티몬을 주성분으로 하는 차폐체를 시트형태로 만들

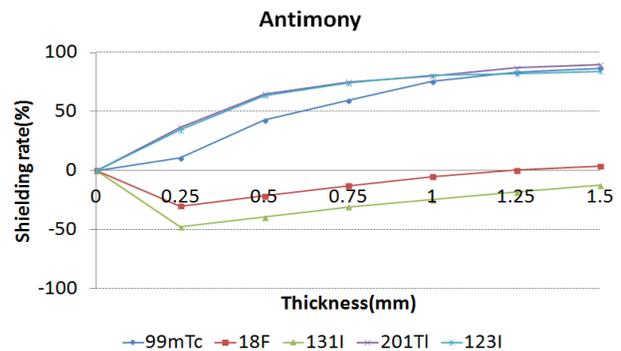


Fig. 10 Shielding rate of Antimony

어 핵의학과에서 사용하는 방사성동위원소 중 $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{18}F , ^{201}Tl , ^{131}I , ^{123}I 에서 방출되는 감마선을 안티몬 시트에 조사시켰다. 그리고 방사성동위원소의 종류와 거리변화에 따른 차폐율을 분석하였다. $^{99\text{m}}\text{Tc}$, ^{201}Tl , ^{123}I 을 이용한 측정결과 시트의 두께가 두꺼워질수록, 선원에서 시트까지의 거리가 멀어질수록 투과 선량값은 작게 측정되고, 차폐율은 높게 측정되었다. 하지만 ^{18}F 과 ^{131}I 의 결과에서는 0.25 mm 시트를 사용했을 경우에 투과 선량값이 가장 높게 나타나 오히려 차폐율이 낮게 측정되었다. 안티몬 시트의 차폐율이 가장 높은 방사성동위원소는 ^{201}Tl 이었다. 따라서 안티몬 시트를 사용할 때에는 ^{201}Tl 사용을 권장하고, ^{18}F 과 ^{131}I 은 빠른 시간 내에 작업이 이루어질 수 있도록 반복훈련과 모의훈련을 시행하는 것이 피폭선량 감소 방안에 효과적일 것으로 생각된다.

REFERENCES

- [1] Kim YG, Jang YI, Kim JM, Improvement of the shieldability and lightweight of a radiation protective apron, Korean Society of Radiological Technology, 2003;26(1):45-49.
- [2] Ministry of Employment and Labor, Result of worker health examination, 2013.
- [3] Choi TJ, Oh YK, Kim JH, Kim OB, Development of

- Lead Free Shielding Material for Diagnostic Radiation Beams, *Medical Physics*, 2010;21(2): 232-237.
- [4] Park YS, Lee JS, Dong KR, Compare Shielding Performance Evaluation of Lead Alternatives, *Advanced Engineering and Technology*, 2015;8(1):79-85.
- [5] L HR, Preparation and Characterization of X-ray Shielding Materials by Tungsten-silicon Composites [master's thesis], Daegu: University of Keimyung, 2014.
- [6] Lee SW, Kim SH, Ji BG, et al, A Consideration of Apron's Shielding in Nuclear Medicine Working Environment, *Nuclear Medicine Technology*, 2014; 18(1):110-114.
- [7] Na SK, Park BS, Kang YG, Study of Occupational Exposure in PET/CT, *Digital Convergence*, 2012; 10(11):449-457.
- [8] Roh JH, A Study on the Manufacturing Technology for the Light-weight Radiation-proof Apron using Non-toxic Lead-free Materials[master's thesis], Seoul: University of Korea, 2012.
- [9] Korea Radioisotope Association, 2012 Statistics on the Radiation Practices in Korea, 2013.
- [10] Jang DG, Kim CS, Kim JH, Simulation of Energy Absorption Distribution using of Lead Shielding in the PET/CT, *Korean Society of Radiology*, 2015; 9(7):459-465.
- [11] Heo SY, Kim YH, Kim JH, et al, Evaluation of the Effectiveness of an Apron in Handling Radiopharmaceuticals within the PET/CT Work Environment, *Korean Society of Radiology*, 2015; 9(2):99-104.
- [12] Korea Radioisotope Association, The Theory and Practice of Radiation, 2008:72-79.
- [13] Lee WH, Ahn SM, Evaluation of Reductive Effect of Exposure Dose by Using Air Gap Apron in Nuclear Medicine Related Work Environment, *Korea Contents Association*, 2014;14(12):845-853.
- [14] Jang DG, Lee SH, Choi HS, et al, A Study on the Apron Shielding Ratio According to Electromagnetic Radiation Energy, *Radiological Science and Technology*, 2014;37(4):247-252.