

방사성 핵종별 주사기 차폐기구의 재질 및 두께에 대한 차폐분석 Shielding Analysis of the Material and Thickness of Syringe Shield on the Radionuclide

조용인*, 김창수**, 강세식**, 김정훈**

동남권 원자력의학원 핵의학과*, 부산가톨릭대학교 보건과학대학 방사선학과**

Yong-In Cho(jyi1280@dirams.re.kr)*, Chang-Soo Kim(cszzim@cup.ac.kr)**,
Se-Sik Kang(sskang@cup.ac.kr)**, Jung-Hoon Kim(donald@cup.ac.kr)**

요약

몬테카를로 기법을 기반으로 한 모의실험을 통해 방사성 핵종별 주사기 차폐기구의 재질 및 두께에 대한 차폐분석 결과, 텅스텐, 납, 비스무스와 같이 상대적으로 원자번호가 높은 재질의 경우 거의 모든 핵종에서 가장 높은 차폐효과를 보였다. 그러나 ¹⁸F, ⁶⁷Ga, ¹¹¹In 선원의 경우, 차폐두께가 낮은 영역에서 저 원자번호 재질보다 더 높은 에너지를 나타냈으나, 이후 증가된 차폐두께에서는 투과되어 도달하는 감마선이 감소하여 더 낮은 에너지 분포를 나타냈다. 그 외 상대적으로 원자번호가 낮은 재질의 경우 구리, 철, 스테인리스강, 황산바륨의 순서로 에너지가 낮은 분포를 나타냈고, 알루미늄, 플라스틱, 콘크리트, 물의 경우 핵종별로 각기 다른 양상을 나타냈으며, 상대적으로 투과된 감마선의 증가로 전체적으로 높은 에너지 분포를 보여 차폐효과가 떨어지는 것으로 나타났다.

■ 중심어 : | 몬테카를로 기법 | 방사성 핵종 | 주사기 차폐기구 | 차폐물질 |

Abstract

A monte carlo simulation about shielding material and thickness of the syringe shield for radiation shield was performed. As a result of analysis, high atomic number materials such as tungsten, lead and bismuth have the highest shielding effect. However, ¹⁸F, ⁶⁷Ga and ¹¹¹In show high energy distribution in the region with thin shielding thickness. As the thickness of shielding materials increased, the energy distribution decreased due to reduction of γ -ray. In the case of low atomic number materials, they, showed energy distribution from highest to lowest, were barium sulfate, steel, stainless, iron and copper. Aluminum, plastic, concrete and water showed diverse aspect. they showed relatively high energy distribution because of increased γ -ray that penetrate the shield.

■ keyword : | Monte Carlo Technique | Radionuclide | Syringe Shield | Shielding Material |

1. 서론

방사성의약품을 이용한 진단 및 치료는 경제성과 편리성 등의 장점으로 인해 광범위하게 사용되고 있다.

핵의학진단에 사용되는 방사성의약품은 미량이기도 하지만 종사자들의 방사성핵종의 합성, 분배, 주사 등의 업무 특성상 장기간에 걸친 방사선피폭을 유발 시킬 수 있다[1]. 핵의학에서 현재 사용되고 있는 대표적인 핵종

접수일자 : 2015년 03월 06일

수정일자 : 2015년 04월 07일

심사완료일 : 2015년 4월 10일

교신저자 : 김정훈, e-mail : donald@cup.ac.kr

은 ^{99m}Tc , ^{131}I , ^{18}F , ^{123}I , ^{201}Tl , ^{67}Ga , ^{111}In , ^{89}Sr , ^{90}Y 등이 있으며[2], ^{177}Lu 을 포함한 다양한 치료용 방사성 동위원소의 연구가 이루어지고 있다[3].

방사성 핵종은 방출하는 방사선의 종류, 에너지(Energy), 반감기(Half life)등의 물리적인 성질이 다르며, 이에 따라 각 핵종의 물리적 특성에 따른 적절한 차폐기구의 설계 및 사용이 필요하다[4]. 기존 연구에 따르면 실제 의료기관에서 방사성 핵종 취급 시 차폐기구의 구비 유·무와 업무 환경에 따라서 적절하게 차폐기구를 사용하고 있는 곳이 많지 않으며, 특히 종사자의 손에 대한 피폭을 간과하고, 업무를 수행하는 것으로 보고하고 있다[5]. 국제방사선방호위원회에 따르면, 방사성 핵종 주사 시 손에 대한 피폭을 저감화하기 위해 사용하는 주사기 차폐기구(Syringe shield)는 종사자의 피폭측면에서 중요한 요소라고 언급하고 있다[6]. 이러한 주사기 차폐기구는 현재 다양한 형태로 상용화되어 있으나, 사용 시 차폐기구의 재질 및 두께에 대해서 명확하게 규정되어 있지 않다.

일반적으로 γ 선을 방출하는 선원의 경우, 고원자번호로서 물질에서 질량흡수계수가 높은 텅스텐(Tungsten), 납(Lead), 콘크리트(Concrete)와 같은 물질을 이용하여 차폐가 이루어진다[7]. 텅스텐의 경우, 납의 사용을 통해 발생할 수 있는 중금속 중독의 우려가 없고, 밀도가 높은 장점으로 인해 차폐물질로서 선호되고 있다[8]. 또한 그 외 방사선의 종류에 따라서 철(Iron), 구리(Copper), 스테인리스 강(Stainless steel), 플라스틱(Plastic)등 여러 가지 차폐재질이 알려져 있다[9]. 차폐 물질들은 단일 원소 혹은 화합물로 이루어져 있고, 원자번호와 밀도가 각기 다른 특성으로 인해 K 흡수단(K-edge absorption)이 다른 분포를 나타내며, 이는 재질별로 흡수하는 에너지 분포가 다른 특성을 보인다는 것을 의미한다[13].

이에 본 연구는 차폐기구로 사용할 수 있는 여러 물질을 대상으로 진단용 방사성 핵종의 물리적 특성에 대해 적절한 주사기 차폐재질 및 두께에 따른 에너지 분포를 파악하고자 모의실험을 진행하였다. 이를 통해 효율적인 차폐기구 연구를 위한 객관적인 자료를 제공하고자 한다.

II. 실험 대상 및 방법

1. 몬테카를로 시뮬레이션

(Monte carlo simulation)

몬테카를로 방법은 통계적 문제를 난수(random number)를 사용한 무작위적인 표본 추출을 이용하여 해결하는 방법으로, 물질들의 다양한 3차원 구조에서의 중성자, 광자, 전자의 거동을 모사한다[10]. 본 연구에서는 로스알라모스 국립연구소에서 개발한 MCNPX 프로그램(Ver.2.5.0)을 사용했다.

1.1 주사기 차폐기구(Syringe shielding model)

주사기는 반경 5 mm, 외벽의 두께 1 mm, 길이 7 cm 인 원기둥 형태의 폴리스틸렌(Polysthylene)재질로 실제 1 mL 주사기 크기와 동일하게 구성했고, 내부에는 반경 4.5 mm, 길이 3 cm 내 일정한 체적을 가진 선원을 중앙에 위치시켰다. 차폐기구는 주사기로부터 외부 원기둥의 반경을 1 mm 씩 증가시켜 주사기 차폐기구의 형태를 [그림 1]과 같이 단순화했다[그림 1]. 원통형으로 구성된 주사기에서 실제 주사기 바늘과 피스톤이 위치할 앞부분과 끝 부분의 개방된 부분은 누설되는 감마선의 영향을 배제하고자, 각각의 재질에 대해 반경 5 mm, 길이 1 mm 의 원기둥을 위치시켜 폐쇄된 형태로 구성하였다.

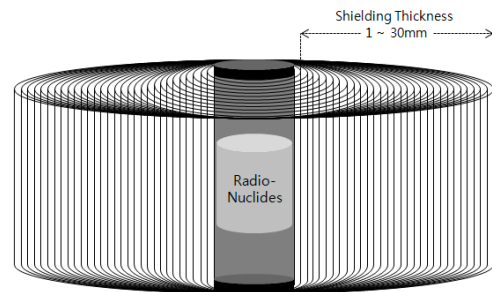


그림 1. Simplification of Syringe shielding model

1.2 방사선원 및 차폐재질

본 연구에서 사용한 방사성 핵종은 ^{99m}Tc , ^{18}F , ^{123}I , ^{201}Tl , ^{67}Ga , ^{111}In 선원으로 각 핵종에서 방출되는 γ 선 에너지와 발생비율을 고려하여 선원 정보로 사용했다 [11][표 1]. 방사성 핵종 주사 시 적절한 차폐기구의 재

표 1. Radionuclides information

(Unit:keV)

	Radionuclide					
	^{99m} Tc	²⁰¹ Tl	¹²³ I	¹⁸ F	⁶⁷ Ga	¹¹¹ In
Half-life	6.01 hour	2.8 day	13.2 hour	109.9 min	3.261 day	2.8 day
γ emission	140.5(0.89)	68.9(0.27)	159.0(0.83)	β ⁺ max emission	γ emission	γ emission
	18.4(0.04)	11.8(0.11)	27.5(0.46)	633.5(0.97)	93.3(0.37)	274.0(0.94)
Emitting Energy (yield)	18.3(0.02)	80.3(0.11)	27.2(0.25)	γ emission	300.2(0.16)	173.0(0.08)
		167.4(0.10)	31.0(0.09)	511.0(1.94)	393.5(0.05)	
		79.8(0.05)	31.7(0.03)		91.3(0.03)	
		82.6(0.04)	529.0(0.01)		209.0(0.02)	
		11.9(0.04)				
		135.3(0.03)				
		13.8(0.02)				
		12.0(0.02)				
		11.6(0.01)				

표 2. Information according to shielding materials

ELEMENT	Composition	Molecular Weight(g/mol)	Density(g/cm ³)
Tungsten (W)	W	183.8	19.24
Lead (Pb)	Pb	207.2	11.34
Copper (Cu)	Cu	63.5	8.94
Aluminum (Al)	Al	26.9	2.69
Iron (Fe)	Fe	55.8	7.87
Bismuth (Bi)	Bi	208.9	9.78
Water (H ₂ O)	H ₂ O	18.0	1.00
Polymethyl methacrylate (PMMA)	C ₅ H ₈ O ₂	87.7	1.19
Barium sulfate (BaSO ₄)	BaSO ₄	233.4	4.5
Stainless steel (Austenite type)	C 0.08%, Si 1%, Mn 2%, P 0.04%, S 0.03%, Ni 8%, Cr 18%	268.8	7.85
Concrete (Radiation Shielding type)	H 0.56%, O 50.01%, Na 1.71%, Mg 0.26%, Al 4.56%, Si 31.36%, S 0.13%, K 1.92%, Ca 8.26%, ⁵⁴ Fe 0.07%, ⁵⁶ Fe 1.13%, ⁵⁷ Fe 0.03%	397.6	2.26

질 및 두께를 알아보기 위해 재질은 텅스텐, 납, 구리, 알루미늄(Aluminum), 철, 비스무스(Bismuth), 물(Water), 플라스틱(PMMA, Polymethyl methacrylate), 황산바륨(Barium sulfate, BaSO₄), 스테인리스 강, 차폐용 콘크리트를 사용했다. 각각의 재질에 대한 성분과 밀도에 대한 자료를 수집하였고, [표 2]를 토대로 차폐재질을 모사하였다[표 2].

재질의 두께에 따라 흡수된 에너지 분포 비교를 위해 단위 질량당 흡수된 에너지(MeV/g)로 획득했다. 계산의 통계적인 오차를 3% 이하로 줄이기 위해 반복실험 횟수는 1×10⁸번 모의 추정하였다. 획득한 핵종별 차폐 재질 및 두께에 따른 에너지 흡수 분포를 비교하여, 방사성 핵종 주사 시 단일 차폐 재질 사용 시 필요한 차폐 두께와 각 재질의 차폐정도에 대해 비교 평가하였다.

2. 실험방법

주사기 차폐기구의 재질 및 두께에 따라 흡수된 에너지 분포를 측정하기 위해 선원이 있는 지점을 기준으로 모사한 1 ~ 30 mm 차폐기구의 두께에 대해서 각각의 관심 지점(tally)을 지정하였다. 관심지점 선량 번호(Tally specification cards)는 F6번을 이용하였으며, 각

III. 실험 결과

본 연구에서는 핵의학 진단에 사용되는 ^{99m}Tc, ¹⁸F, ¹²³I, ²⁰¹Tl, ⁶⁷Ga, ¹¹¹In 선원에 대해서 주사기 차폐기구에 대한 재질변화 및 두께에 따른 에너지 흡수 분포를 분

석하였다. 핵종별 차폐기구의 두께에 따른 에너지 분포는 [그림 2]과 같이 x축은 차폐기구의 두께(mm), y축은 단위 질량당 흡수된 에너지(MeV/g)에 대한 대수 눈금의 그래프로 나타내었다.

^{99m}Tc 선원의 경우, 텅스텐 4 mm 두께 이내에서 약 2.6~52배, 납 6 mm 내에서 2.3~18배, 비스무스 7 mm 내에서 2.4~13배 정도의 에너지 흡수가 감소되는 경향을 나타냈고, 이후 두께에서는 10^{-10} MeV/g 이하의 에너지

분포를 나타내어 적절하게 차폐가 이루어진 것으로 분석되었다. 그 외 재질에 대해서는 $10^{-8} \sim 10^{-4}$ MeV/g 범위 내에서 구리, 철, 스테인리스 강, 황산바륨, 알루미늄, 콘크리트, 플라스틱, 물의 순서로 일정한 비율로 감소되는 에너지 분포를 나타냈다. ^{201}Tl 선원의 경우, 텅스텐 5 mm 두께 이내에서 7.7~16배, 납 7 mm 내에서 4.8~10배, 비스무스 8 mm 내에서 4.8~8.6배 정도의 에너지 흡수가 감소되는 경향을 나타냈고, 이후 차폐 두께에서는

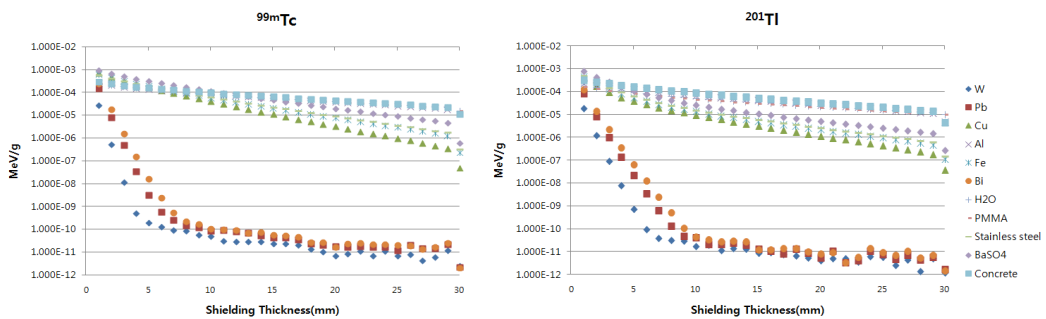


그림 2. The energy distribution according to shield material and thickness of ^{99m}Tc , ^{201}Tl

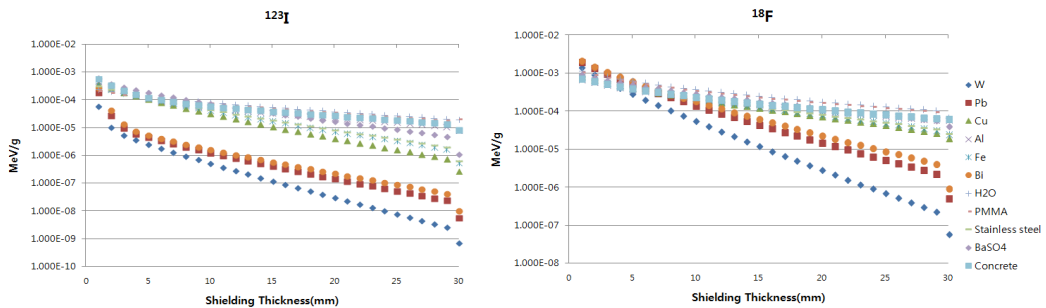


그림 3. The energy distribution according to shield material and thickness of ^{123}I , ^{18}F

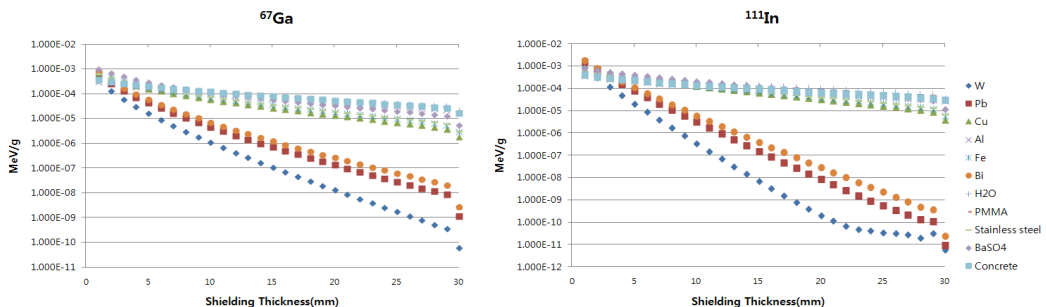


그림 4. The energy distribution according to shield material and thickness of ^{67}Ga , ^{111}In

10^{-10} MeV/g 이하의 에너지 분포를 보여 적절히 차폐가 이루어진 것으로 보인다. 그 외 재질에 대해서는 $10^{-7} \sim 10^{-3}$ MeV/g 범위 내에서 구리, 철, 스테인리스강, 알루미늄, 물, 황산바륨, 플라스틱, 콘크리트의 순서로 일정한 비율로 감소되는 에너지 분포를 나타냈다[그림 2].

^{123}I 선원의 경우 텅스텐, 납, 비스무스 1~2 mm 이내에서 1.9~6.6배 정도의 에너지 감소효과를 나타냈으며, 이후 두께에서는 $10^{-9} \sim 10^{-5}$ MeV/g 범위 내 일정한 비율로 감소하는 경향을 나타냈다. 그 중 텅스텐 30 mm 두께에서 10^{-10} MeV/g 이하의 에너지 분포를 나타내어 적절하게 차폐가 이루어진 것으로 보인다. 그 외 재질에 대해서는 ^{99m}Tc 선원과 유사한 경향을 나타냈다. ^{18}F 선원에서 방출되는 소멸 광자의 경우, 1~8 mm 이내 두께의 텅스텐, 납, 비스무스 재질에서 상대적으로 원자번호가 낮은 차폐재질보다 더 높은 에너지 분포를 나타냈으나, 이후 차폐두께에서는 투과되어 도달하는 감마선이 감소하여, 나머지 재질보다 더 낮은 에너지 분포를 나타냈다[그림 3].

^{67}Ga , ^{111}In 선원의 경우, ^{18}F 선원과 유사하게 1~4 mm 내 두께의 텅스텐, 납, 비스무스 재질에서 상대적으로 원자번호가 낮은 차폐재질보다 더 높은 에너지 분포를 나타냈으나, 이후 차폐두께에서는 투과되어 도달하는 감마선이 감소하여, 그 외 재질보다 더 낮은 에너지 분포를 보였다. ^{67}Ga 선원의 경우 텅스텐 27 mm, ^{111}In 선원의 경우 텅스텐 18 mm, 납 24 mm, 비스무스 27 mm 두께에서 10^{-10} MeV/g 이하의 에너지 분포를 나타내 차폐가 적절히 이루어진 것으로 판단된다. 그 외 재질에 대해서는 $10^{-6} \sim 10^{-4}$ MeV/g 범위에서 일정한 비율로 감소하는 에너지 분포를 나타냈다[그림 4].

IV. 고찰

본 연구에서는 핵의학 진단영역에서 사용하는 방사성 핵종 취급 시 사용하는 주사기 차폐기구의 효율적인 사용을 위해 여러 가지 차폐재질 및 두께에 따른 에너지 분포를 파악하고자 모의실험을 진행하였다. 위의 결과에 따르면 방사성 핵종별 물리적 특성으로 인해 여러

핵종을 사용함에 있어서 한 가지의 주사기 차폐재질 및 두께에 대해 명확하게 규정하기는 어려우며, 여러 핵종별 차폐재질의 에너지 분포 특성을 고려하여 적절한 차폐 모델링이 이루어져야 할 것이라고 사료된다.

Hae-Jun Sung, Mirta T.B, Blunck C.H 등의 연구에 의하면 차폐기구를 설계함에 있어서 안정성 뿐만 아니라 동시에 경제성, 최소중량, 구조상의 안전성등을 고려하여야 하므로[8], 차폐연구를 수행하기 위해 몬테카를로 기법을 기반으로 한 모의실험은 핵종의 선량 측정 및 차폐 모델링과 같은 연구에 있어 유용한 방법으로 언급되고 있다[12][13]. 그 외 모의실험을 통한 여러 가지 차폐에 대한 연구에서는 납의 유해성으로 인해 납을 대체하고자 하는 많은 연구가 있었으며[14][15], 황산바륨은 영상의학 분야에서 많이 사용하는 조영제의 한 성분으로서 납 치마를 대체할 수 있는 경량화 차폐도구로 사용될 수 있다고도 언급하고 있다[16]. 그러나 본 연구에서는 일반적인 진단 영역의 X선의 실효 에너지에 비해 높은 감마선 에너지를 방출하는 방사성 핵종의 특성으로 황산바륨에 비해 납의 효과가 더 뛰어난 것으로 사료된다. ORAMED Project Work package 4 제언에 따르면 핵의학 분야에서 가장 빈번하게 사용하는 ^{99m}Tc , ^{18}F 선원의 최소 허용 가능한 주사기 차폐기구의 두께는 각각 텅스텐 2 mm, 5 mm 로 언급하고 있으나 [17][18], 그에 반해 본 연구결과에 따르면 ^{99m}Tc 선원의 경우 텅스텐 4 mm, ^{18}F 선원의 경우 텅스텐 30 mm 이상으로 증가된 차폐기구의 사용이 필요할 것으로 보여 상이한 결과를 나타냈으며, 이는 모의실험 연구 내 모델링된 방사성 핵종의 특성과 차폐기구 그리고 에너지 평가 지점에 대한 시나리오의 차이점으로 인한 것으로 생각된다. 또한 본 연구에서는 주사기의 크기에 따른 방사선원에 대한 체적은 1 mL 내 일정하게 고정하여 실험을 진행하였으므로, 주사기 및 선원의 체적에 대한 부분에 대해서는 추후 좀 더 부가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

본 연구를 통해 방사성 핵종별 주사기 차폐기구의 차폐재질 및 두께에 따른 에너지 분포 경향을 파악함으로써 여러 가지 차폐물질의 모델링을 위한 객관적인 자료를 제공한다는 것에 의미가 있으며, 추후 더 향상된 차

폐효율을 갖춘 차폐기구 제작을 위한 기초자료를 제공할 것이라 사료된다.

V. 결론

몬테카를로 기법을 기반으로 한 모의실험을 통해 방사성 핵종별 주사기 차폐재질 및 두께에 따른 에너지 분포를 비교 분석한 결과, 텅스텐, 납, 비스무스와 같은 재질의 경우 거의 모든 선원에서 두께에 따른 에너지 감소 비율이 가장 높게 나타나 차폐효과가 가장 뛰어난 것으로 나타났고, 그 외 재질에 대해서는 구리, 철, 스테인리스 강, 황산바륨의 순서로 차폐 효과를 나타냈으며, 알루미늄, 플라스틱, 콘크리트, 물의 경우 핵종별로 다른 양상을 나타냈다. 이는 텅스텐, 납, 비스무스가 다른 재질보다 상대적으로 높은 원자번호와 밀도를 가진 특성으로 광자와 차폐재질과의 높은 상호작용 확률로 인해 전체적으로 차폐효과가 가장 뛰어난 것으로 보인다. 그러나 방사성 핵종별 물리적 특성으로 인해 여러 핵종을 사용함에 있어서 한 가지의 주사기 차폐재질 및 두께에 대해 명확하게 규정하기는 어려우며, 핵종별 차폐재질의 에너지 분포 특성을 고려하여 적절한 차폐 모델링이 이루어져야 할 것이라고 사료된다. 향후 본 연구를 토대로 각 핵종별 차폐재질의 에너지 분포를 고려한 여러 가지 재질의 혼합을 통해 향상된 차폐효율을 갖춘 차폐기구의 모델링이 필요할 것으로 생각된다.

참고 문헌

- [1] F. Vanhavere, E. Carinou, and L. Donadille, "An Overview on Extremity Dosimetry In Medical Applications," *Radiat. Prot. Dosim.*, Vol.129, No.1-3, pp.350-355, 2008.
- [2] Korea Radioisotope Association, "Statistics on the Radiation Practices in Korea," *Kor. Assoc. Radiat. Appl.* pp.120-125, 2013.
- [3] S. J. Choi, Y. D. Hong and S. Y. Lee, "Therapeutic radionuclides," *Nucl. Med. Mol. Imaging*, Vol.40, No.2, pp.58-65, 2006.
- [4] C. Chiesa, V. De Sanctis, and F. Crippa, "Radiation dose to technicians per nuclear medicine procedure: comparison between technetium-99m, gallium-67, and iodine-131 radiotracers and fluorine-18 fluorodeoxy -glucose," *Eur. J. Nucl. Med.* Vol.24, pp.1380-1389, 1997.
- [5] J. C. Park and S. J. Pyo, "Study of External Radiation Expose Dose on Hands of Nuclear Medicine Workers," *J. Kor. Soc. Radio. Technol.*, Vol.35, No.2, pp.141-149, 2012.
- [6] ICRP, "Radiation Dose to Patients from Radio-pharmaceuticals," - Addendum 3 to ICRP Publication 53. ICRP Publication 106. *Ann. ICRP*, Vol.38, No.1-2, Annex E 2008.
- [7] James E. Martin, "Physics for Radiation Protection: A handbook," Wiley-VCH Pub., pp.367-423, 2006.
- [8] K. T. Kim, S. S. Kang, and S. C. Noh, "Absorbed Spectrum Comparison of Lead and Tungsten in Continuous X-ray Energy using Monte Carlo Simulation," *J. Korean. Soc. Radiol.*, Vol.27, pp.483-487, 2012.
- [9] H. J. Sung, *Radiation Shielding Analysis according to the Material Making up the Transport Container of ^{99m}Tc Injectors Using GEANT4*, Master's degree, Majoring in Radiation, Graduate School of Chonbuk National University, 2008.
- [10] Y. H. Chung, C. H. Beak, and S. J. Lee, "Monte Carlo Simulation Codes for Nuclear Medicine Imaging," *Nucl. Med. Mol. Imaging*, Vol.42, No.2, pp.127-136, 2008.
- [11] Richard E. Faw and J. Kenneth Shultis, "Radiological Assessment: Sources and Doses," Prentice Hall Pub. 1999.
- [12] A. Carnicer, M. Ginjaume, and M. A. Duch, "The use of different types of thermo-

luminescent dosimeters to measure extremity doses in nuclear medicine,” Radiat. Meas, Vol.46, No.12, pp.1835-1838, 2011.

- [13] C. H. Blunck, F. Becker, and M. Urban, “Simulation of Beta Radiator Handling Procedures in Nuclear Medicine by Means of a Movable Hand Phantom,” Radiat. Prot. Dosim, Vol.144, No.1-4, pp.497-500, 2011.
- [14] J. P. McCaffrey, E. Mainegra-Hing, and H. Shen, “Radiation attenuation by lead and nonlead materials used in radiation shielding garments,” Med. Phys., Vol.34, No.2, pp.530-537, 2007.
- [15] J. P. McCaffrey, E. Mainegra-Hing, and H. Shen, “Optimizing non-Pb radiation shielding materials using bilayers,” Med. Phys, Vol.36, No.12, pp.5586-5594, 2009.
- [16] S. C. Kim, K. T. Kim, and J. K. Park, “Barium Compounds through Monte Carlo Simulations Compare the Performance of Medical Radiation Shielding Analysis,” J. Korean. Soc. Radiol. Vol.7, No.6, 2013.
- [17] P. Ferrari, M. Sans-Merce, and A. Carnicer, “Main results of the monte carlo studies carried out for nuclear medicine practices within the ORAMED project,” Radiat. Meas, Vol.46, No.11, pp.1287-1290, 2011.
- [18] F. Mariotti and G. Gualdrini, “Extremity dosimetry problems during the handling of radionuclides syringes in nuclear medicine: A Monte carlo radiation transport simplified approach,” Radiat. Meas., Vol.46, pp.430-435, 2011.

저 자 소 개

조 용 인(Yong-In Cho)

준회원



- 2012년 11월 ~ 현재 : 동남권원자력의학원 핵의학과
- 2014년 2월 : 동의과학대학 방사선과 전공심화과정(학사)
- 2014년 3월 ~ 현재 : 부산가톨릭대학교 방사선학과(석사과정)

<관심분야> : 핵의학, 방사선량 평가

김 창 수(Chang-Soo Kim)

정회원



- 2003년 2월 : 한국해양대학교 전자통신공학과(공학석사)
- 2006년 2월 : 한국해양대학교 전자통신공학과(공학박사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 부산가톨릭대학교 방사선학과 부교수

<관심분야> : 영상 평가, U-Healthcare, Computer Aided Detection(CAD)

강 세 식(Se-Sik Kang)

정회원



- 1991년 2월 : 원광대학교 농화학과(농학박사)
- 1997년 3월 ~ 현재 : 부산가톨릭대학교 보건과학대학 방사선학과 교수

<관심분야> : 방사선치료학, 방사선기기학

김 정 훈(Jung-Hoon Kim)

정회원



- 2003년 2월 : 경희대학교 원자력공학과(공학석사)
- 2007년 2월 : 경희대학교 원자력공학과(공학박사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 부산가톨릭대학교 방사선학과 부교수

<관심분야> : 방사선량 평가, 문항개발 및 분석