

소형 감마카메라 제작에 사용되는 NaI(Tl)-광전자증배관 검출기의 민감도와 위치 분해능 특성 연구를 위한 몬테카를로 시뮬레이션

김종호**, 최 용*, 김준영**, 임기천*, 김상은*, 최연성*, 주관식*, 김영진*, 김병태*

삼성서울병원 핵의학과*, 삼성생명과학연구소 임상의학연구센터*

명지대학교 물리학과*, 한양대학교 물리학과*

초 록

본 연구에서는 유방암 진단용 감마카메라 제작 시에 고려되어야 하는 섬광체의 크기와 섬광체 면의 적절한 표면처리가 카메라의 민감도와 위치 분해능에 미치는 영향을 연구하기 위하여 섬광의 광학적 특성을 몬테카를로(Monte Carlo) 시뮬레이션 방법을 이용하여 고찰하였다. 섬광체는 NaI(Tl) 결정체로 크기가 60 mm × 60 mm × 6 mm이며, 발생한 섬광이 광전자증배관의 광음극에 도달할 때까지를 시뮬레이션 하였다. 섬광체 표면 처리를 (5가지 : Ground, Polished, Metal-0.95RC(반사계수), Polished-0.98RC, Painted-0.98RC) 변화시켜 민감도를 계산하였다. 섬광체와 광전자증배관(photomultiplier tube, PMT)의 접합면에 사용되는 물질의 굴절률 변화에 따른 민감도와 NaI(Tl) 섬광체 창으로 많이 사용되고 있는 유리의 두께 변화에 따른 민감도를 조사하였다. 또한 섬광 결정체의 내인성 위치 분해능(intrinsic position resolution)을 섬광이 발생된 후 섬광 퍼짐(light spread) 정도를 시뮬레이션 함으로써 고찰하였다. 감마선의 입사면을 각각 Ground, Polished, Metal-0.95RC, Polished-0.98RC, Painted-0.98RC로 표면처리 하였을 때 민감도가 70.9%, 73.9%, 78.6%, 80.1%, 85.2%로 나타나 Painted-0.98RC일 때 민감도가 가장 우수하였다. 섬광체와 광전자증배관의 접합에 사용된 물질의 굴절률이 증가할수록 민감도가 증가하였으며 매질이 두꺼울수록 민감도는 저하되었다. 디자인된 검출기의 내인성 위치분해능은 수직, 수평 방향으로 약 1.2 mm 로 예측되었다. 이 연구에서는 감마카메라의 성능에 직접적인 영향을 미치는 NaI(Tl)-PMT의 민감도와 위치 분해능을 몬테카를로 시뮬레이션을 통해 예견할 수 있었으며, 본 연구결과 NaI(Tl)-PMT를 이용한 검출기가 고민감도·고해상력이 요구되는 유방암 진단용 소형 감마카메라 제작에 적합하다고 판단된다.

서 론

유선조영술(mammography)은 축진이 어려운 유방암을 관별하는데 높은 민감도를 보이는 우수한 진단방법으로 널리 이용되고 있으나, 검사대상 세포조직의 밀도 이상유무에 따라 검사결과가 결정되므로 양성종양과 악성종양을 구별하는 특이도는 낮아 20~30% 정도로 보고되고 있다^{1,2)}. 이러한 낮은 특이도는 70~80%의 높은 위양성율을 보여 자주 불필요한

이 연구의 일부는 1997년도 선도기술(G7) 의료공학기술개발사업과 삼성전자부설 삼성생명과학연구소 연구비의 보조로 이루어졌음.

소형 감마카메라 제작에 사용되는 NaI(Tl)-광전자증배관 검출기의 민감도와 위치 분해능 특성 연구를 위한 몬테카를로 시뮬레이션

생체검사를 시행하게 되는 결과를 초래한다.

최근에 ^{99m}Tc 이 표지된 sestamibi 나 methylene diphosphate (MDP) 같은 암추적 방사성의약품과 감마카메라를 이용하여 시행한 유방암 검사결과, 90% 이상의 높은 특이도와 민감도를 보이는 것으로 보고되었다.³⁾ 하지만 현재 사용되고 있는 일반 감마카메라의 폭은 약 50~70 cm 정도로 전신 영상획득에 적합하도록 설계되어 있어 유방암 진단을 위한 영상획득에는 부적합한 요소가 있다. 유방영상 전용 소형 감마카메라를 사용하여 영상을 획득한다면 심근에 섭취된 배후 방사능 효과와 광자감쇠 효과를 최소화할 수 있고 영상의 공간분해능을 향상시켜 더욱 정확한 진단이 가능할 것으로 기대된다. 또한 유방암 진단용 소형 감마카메라는 고가인 검출기 크기를 최소화하여 경제적인 시스템을 구성할 수 있는 장점도 있다.

감마카메라는 크게 감마선을 검출하는 검출기 부분과 신호처리 부분 그리고 영상을 표현하는 부분으로 나눌 수 있으며, 이 중 검출기 부분은 감마카메라의 민감도와 해상력을 결정하는 핵심 부분이다. 섬광검출기의 섬광체에 감마선이 입사되면 그 에너지는 섬광체에 축적된 후 등방적으로 섬광을 발생시키고, 이 섬광들은 광전자증배관(Photomultiplier Tube, PMT)내의 광음극(photo-cathode)에 의해 검출되기까지 섬광체내에서 흡수, 산란, 반사, 회절 등의 현상을 보인다. 이러한 섬광의 광학적 특성은 섬광체 자체 및 섬광체와 광전자증배관을 접합시키는 매질의 물리적 성질, 기하학적 요인, 섬광체 면의 표면 처리에 의해 결정된다.⁴⁾

이 연구에서는 유방암 진단용 소형 감마카메라 개발의 핵심기술 부분인 검출기의 민감도와 위치 분해능에 영향을 미치는 요인들을 검토하고, 유방암 진단용 소형 감마카메라 제작에 사용되는 NaI(Tl)-PMT 검출기의 민감도와 위치분해능 특성을 몬테카를로(Monte Carlo) 시뮬레이션 방법을 이용하여 고찰하고자 한다.

재료 및 방법

몬테카를로 시뮬레이션은 광자궤적 탐지코드인 DETECT97을 사용하여 실행하였다.¹⁰⁾ 섬광체의 기하학적 모양과 크기, 면의 표면처리 그리고 모든 매질의 광학적 성질을 입력한 후, 관심 있는 변수에 따른 결과를 한 사건 당 100,000회씩 시뮬레이션하여 구하였다. 그림 1은 시뮬레이션에 사용된 NaI(Tl)-PMT 검출기의 개략적인 모습을 도식화하여 나타내었다.

시뮬레이션에 사용된 섬광체는 감마선 검출에 보편적으로 사용되고 있으며, 표 1에 나타난 바와 같이 비교적 높은 원자량을 갖는 원소로 이루어져 높은 밀도(3.67 g/cm^3)와 효율성을 지닌 무기섬광체인 NaI(Tl) 결정체로 하였다. NaI(Tl) 결정체는 광전환 효율이 우수하지만 깨지기 쉽고 조해성이 커서 유리창을 붙인 알루미늄 케이스에 밀봉하여 사용한다. 결정체의 크기는 유방영상 획득에 적합하도록 $60 \text{ mm} \times 60 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$ 로 하였으며, 감마선 에너지는 핵의학 분야에서 많이 사용되는 ^{99m}Tc 붕괴 감마선 에너지인 140 keV로 하여 다음과 같은 시뮬레이션 실험을 시행하였다.

(1) 섬광체 표면처리에 따른 민감도와 광 퍼짐(light spread) 고찰

섬광체 옆면을 흡수체로 고정하고, 감마선이 입사되는 섬광체 면의 처리를 변화시키면서 입사된 감마선에 의해 발생된 섬광의 수집정도(민감도)와 공간 퍼짐(공간해상도) 현상을 고찰하였다. 섬광체 표면처리는 5가지의 경우(Ground : 광학적으로 거친 표면처리, Poli

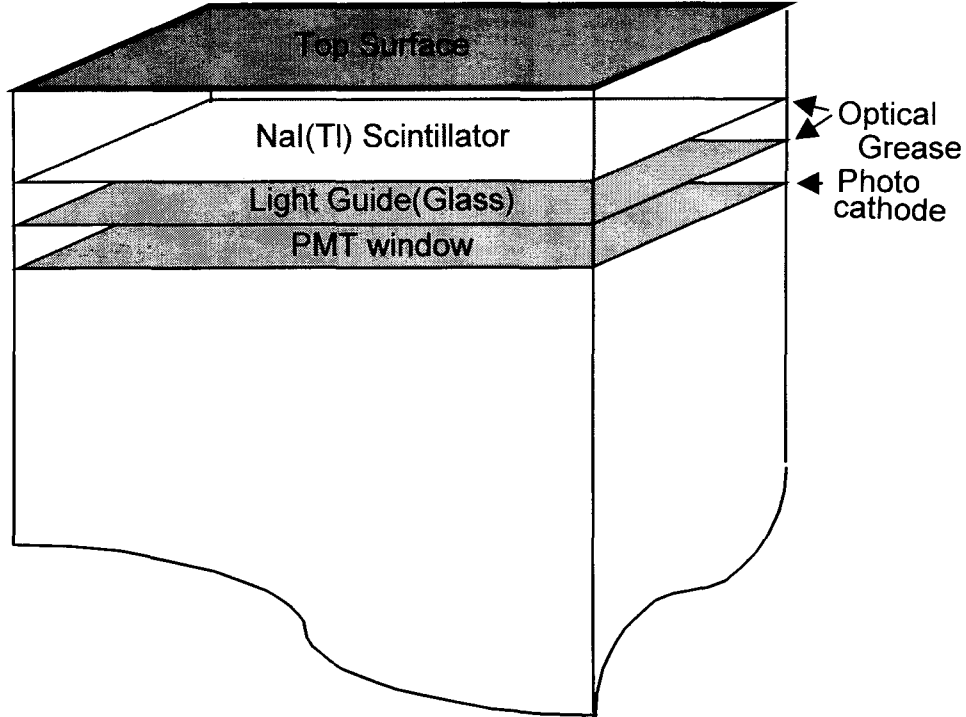


그림 1. 시뮬레이션에 이용된 NaI(Tl)-PMT 검출기 개요도.

표 1. NaI(Tl) 섬광체의 물리적 특성

Properties	Density (g/cm ³)	Stability	Refractive Index	Decay Constant (ns)	Peak Scintillation Wavelength(nm)	Photons/MeV
NaI(Tl) Scintillator	3.67	Hygroscopic	1.85	230	410	40000

shed : 광학적 광택 표면처리, Metal-0.95RC(Reflection Coefficient, 반사계수) : 95%의 반사계수를 갖는 금속코팅 처리, Polished-0.98RC : 98%의 반사계수를 갖는 광택처리, Painted-0.98RC : 98%의 반사계수를 갖는 착색처리)를 선택하여 민감도와 광 퍼짐을 고찰하였다. 각 경우에 대하여 10회씩 반복 계산하여 평균과 표준편차를 산출하였다.

(2) 섬광체 두께변화에 따른 민감도 고찰

섬광체 두께 변화에 따라 발생된 섬광의 검출 정도를 조사하기 위하여 섬광체 두께를 0.5~13 mm 까지 변화시켜 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 조건은 섬광체 옆면을 흡수체로, 감마선 입사면은 Paint-0.98RC 로 고정하였으며 섬광체만의 민감도와 섬광체에 광전자증배관을 연결하였을 때의 민감도를 함께 조사하였다.

(3) 섬광체와 광전자증배관 접합에 사용된 물질의 굴절률변화에 따른 민감도 고찰

NaI(Tl) 섬광체는 조해성이 매우 크기 때문에 유리와 같은 매질을 창으로 하여 밀봉한

소형 감마카메라 제작에 사용되는 NaI(Tl)-광전자증배관 검출기의 민감도와 위치 분해능 특성 연구를 위한 몬테카를로 시뮬레이션

뒤 사용하고 있으므로, 섬광체에서 발생된 섬광이 전기신호로 변환되기 위해서는 섬광체로부터 창으로 쓰인 매질과 광전자증배관의 입사창을 통과하여 광음극(photo-cathode)에 의해 검출되어야 한다. 섬광체와 광전자증배관의 광음극 사이에 적용된 물질의 굴절률 변화에 따른 민감도를 조사하고자 굴절률을 1~2.5 까지 변화시켜 시뮬레이션 하였다. 섬광체 옆면은 흡수체로 고정하였고 입사면은 Paint-0.98RC로 가정하여 계산하였다.

(4) 검출된 섬광에 대한 내인성 위치분해능(intrinsic position resolution) 계산

크기가 60 mm × 60 mm × 6 mm인 NaI(Tl) 섬광체로부터 발생한 섬광이 유리창을 통과하여 광전자증배관내의 광음극에 의해 검출될 때까지의 내인성 위치 분해능을 계산하였다. 시뮬레이션 조건은 앞의 과정에서와 같이 섬광체 옆면을 흡수체로 고정하였고, 입사면은 Paint-0.98RC로 설정하였다. 섬광체내의 한 점에서 섬광을 발생시킨 후, 광음극에서 검출된 광자의 위치에 대한 가중평균점(weighted mean point)을 산출하여 X, Y 좌표를 결정하였다.

$$X \text{ or } Y \text{ 좌표} = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i \text{ or } Y_i \times C_i)}{\sum_{i=1}^n C_i}$$

여기서 n은 영상의 화소크기(n=256), X_i와 Y_i는 X, Y방향의 i번째 화소이고, C_i는 X_i, Y_i위치에서 계수된 카운트 값이다. 같은 위치에 대하여 임의로 50회를 반복 시행하여 각 시행마다 X, Y 좌표를 산출하였다.

(5) 섬광체와 감마선 상호작용이 일어나는 깊이에 따른 광 퍼짐 고찰

섬광체 내에서 감마선과 상호작용이 일어나는 깊이에 따른 광 퍼짐 현상을 측정하였다. 상호작용의 깊이를 섬광체의 가장 윗표면(0 mm)으로부터 가장 아래표면(6 mm)까지 2 mm 간격으로 변화시켜 실행하였으며, 섬광체의 측면은 모두 흡수체처리를 하였고, 윗표면 처리는 Paint-0.98RC로 하였다.

결 과

(1) 섬광체 표면처리 효과

그림 2는 섬광체 내 4 mm 깊이에서 섬광이 발생하였을 때 4가지 표면처리의 경우(Ground, Polish-0.98RC, Metal-0.95RC, Paint-0.98RC)에 대하여 시뮬레이션한 결과이며, 각 영상은 256 × 256 화소크기(pixel size)로 표현하였다. 시뮬레이션된 영상의 중심을 통과하는 프로파일 분석에 나타난 것처럼 4가지 경우의 표면처리에 따른 광 퍼짐의 차이는 적었지만, 그림 3에서 나타난 바와 같이 민감도에 있어서는 각각 70.9%, 73.9%, 78.6%, 80.1%, 85.2%로 차이를 나타내었다. 그 중 Paint-0.98RC로 입사면을 처리했을 경우가 가장 우수한 민감도(85.2%)를 보여주었다.

(2) 섬광체 두께변화에 따른 효과

섬광체 두께변화에 따른 효과는 그림 4에 나타난 바와 같이 광전자증배관의 유무에 관계없이 섬광체 두께가 커질수록 민감도가 감소되는 것으로 나타났다.

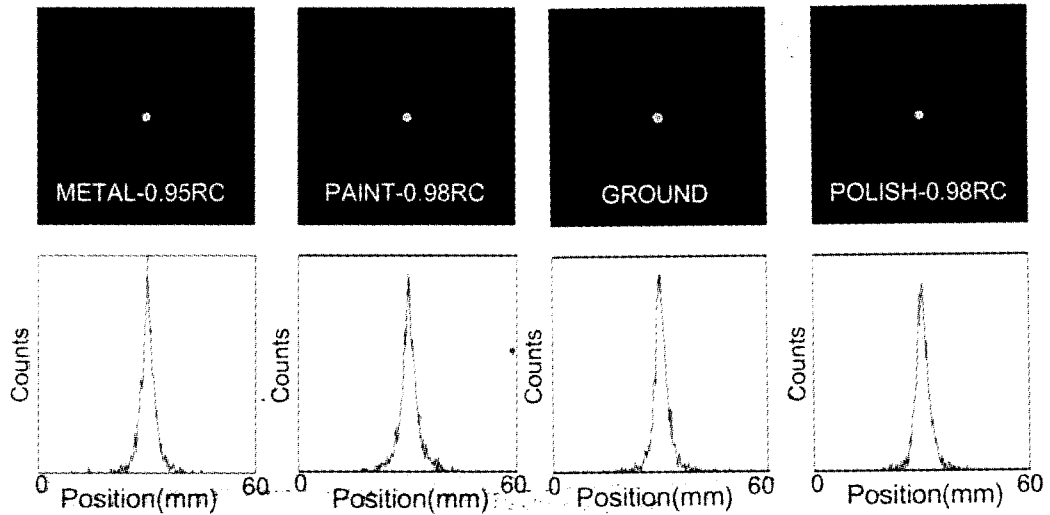


그림 2. 입사면 표면처리(Ground, Polished, Metal-0.95RC, Polished-0.98RC and Painted-0.98RC)에 의한 광 퍼짐 영상과 1차원 프로파일.
(RC = 반사계수)

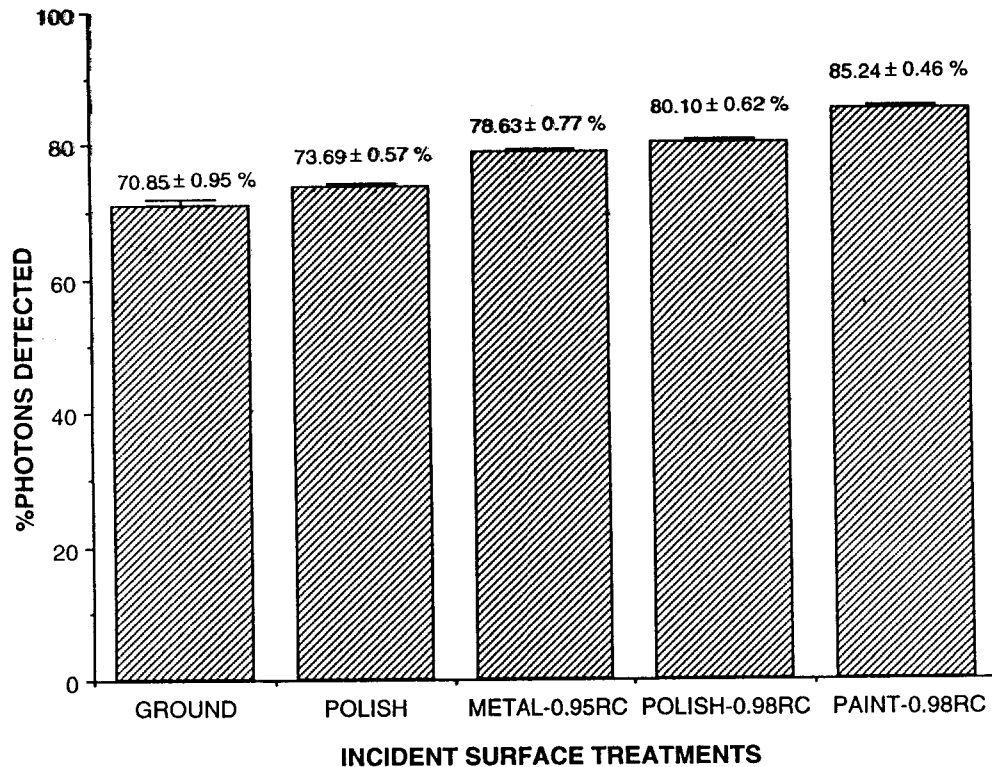


그림 3. 감마선이 입사되는 섬광체 면의 처리에 따른 민감도 변화. 섬광체 측면은 모두 흡수체로 고정하였다.

소형 감마카메라 제작에 사용되는 NaI(Tl)-광전자증배관 검출기의 민감도와 위치 분해능 특성 연구를 위한 몬테카를로 시뮬레이션

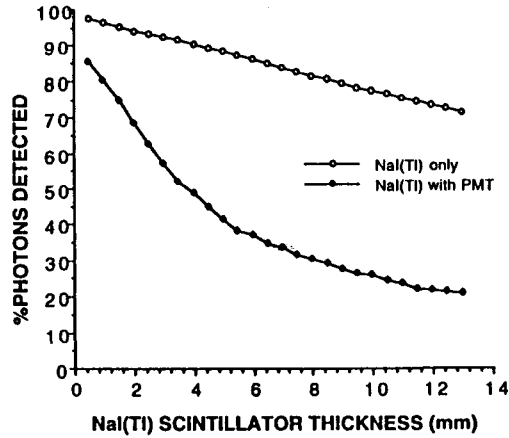


그림 4. 섬광체 두께변화에 따라 시뮬레이션하여 구한 민감도. 섬광체 측면은 모두 흡수체로 고정하였다. NaI(Tl) only-섬광체만의 경우, NaI(Tl) with PMT-PMT가 있는 경우.

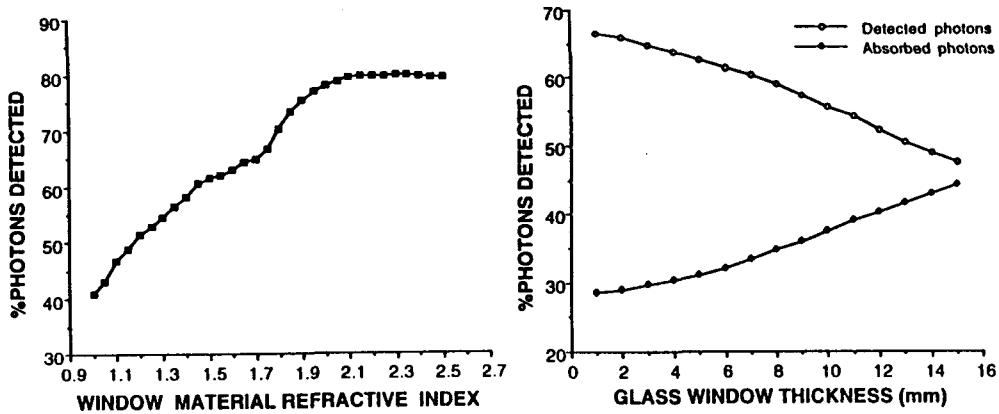


그림 5. NaI(Tl) 섬광체 창으로 쓰이는 물질의 굴절률변화에 따른 민감도. 그림 6. NaI(Tl)섬광체와 PMT 접합면에 사용된 유리의 두께변화에 따른 민감도.

(3) 섬광체와 광전자증배관 접합에 사용된 물질의 굴절률 변화 효과

섬광체 창으로 사용된 물질의 굴절률이 커짐에 따라 민감도가 증가되었으며, 특히 굴절률이 1.8~2.1 인 범위에서 민감도의 증가율이 가장 크게 나타났고 그 이상의 굴절률에서는 민감도의 변화가 둔화되는 것이 관찰되었다.

그림 6은 접합면에 사용된 매질이 유리였을 경우, 두께 변화에 따른 민감도를 계산하여 나타내었다. 이 경우에 있어서도 유리의 두께가 두꺼워질수록 민감도가 저하되었으며, 매질 옆면의 흡수체에 의한 흡수율은 반대로 증가하는 모습을 보여주었다.

(4) 검출된 섬광의 위치분해능

섬광체내의 한 점에서 발생한 섬광에 대하여 시뮬레이션한 후 가중평균좌표를 계산하였다. 임의로 50번을 같은 위치에서 반복 시뮬레이션하여 그림 7에 나타내었다. 계산된 좌표는 X, Y 방향으로 1.2 mm 이내에 위치하였다.

(5) 섬광체와 감마선의 상호작용이 일어나는 깊이에 따른 광 퍼짐

그림 8은 섬광체와 감마선 상호작용이 일어나는 깊이에 따른 섬광의 퍼짐을 영상으로 나타내었다. 영상의 시각적 분석과 프로파일 분석에서 알 수 있듯이 상호작용이 측정면에서 멀어질수록 광 퍼짐 현상이 증가됨을 관찰하였다. 섬광체내의 하단 부(4~6 mm)에서 상호작용이 있는 경우 광 퍼짐 정도가 매우 미약하게 나타났다.

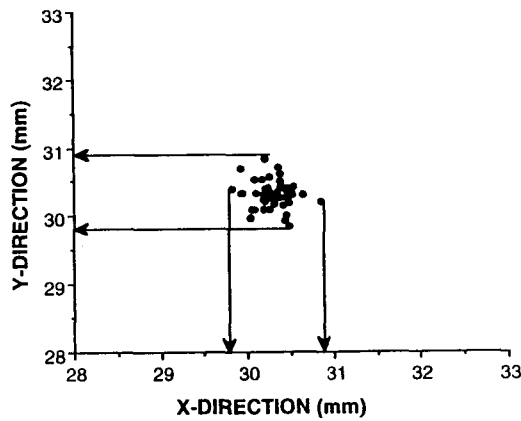


그림 7. NaI(Tl) 섬광체 내에서 발생한 섬광에 대하여 시뮬레이션한 후 계산된 가중 평균(weighted mean) 좌표를 50회 시뮬레이션한 결과.

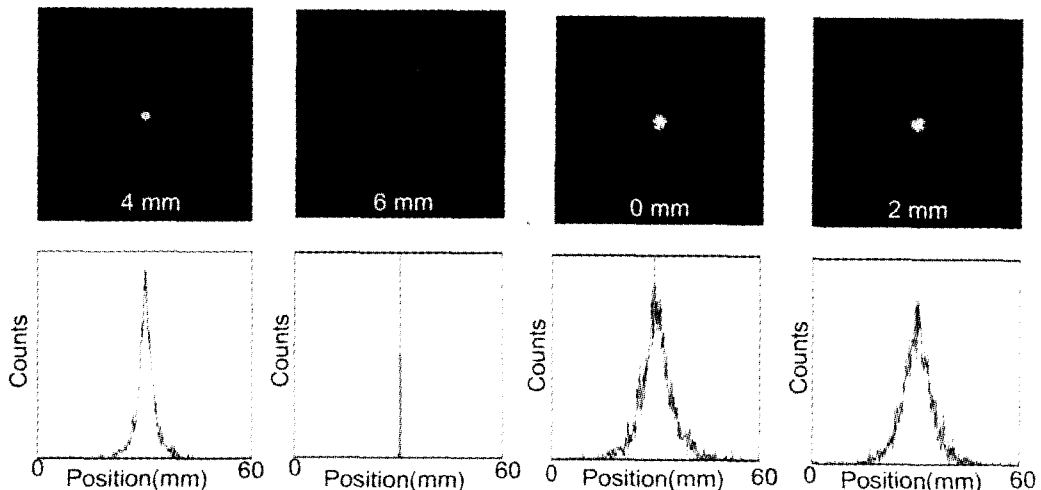


그림 8. 섬광체내에서 감마선과 섬광결정의 상호 작용이 일어난 위치(깊이)에 따른 시뮬레이션 영상과 1차원 프로파일.

고 찰

검출기의 종류나 크기와 같은 물리적 요인은 감마카메라 성능에 직접적으로 영향을 주므로 감마카메라를 설계, 제작함에 있어 사용하고자 하는 검출기의 민감도나 공간분해능을 예견하는 것이 필수 조건이다. 이 연구에서는 유방암 진단용 소형 감마카메라 제작에 사용되는 NaI(Tl)-PMT 검출기의 민감도와 위치분해능에 영향을 미치는 인자들을 몬테카를로 시뮬레이션을 통하여 고찰하였다.

섬광체 표면처리 효과는 그림 2에 나타난 바와 같이 광 퍼짐에 대한 영향은 미약하나, 민감도에는 많은 영향을 주는 것으로 관찰되었다. 검출기를 임상목적으로 적용할 경우, 민감도는 촬영 시간과 방사성의약품 주입량에 밀접한 관계가 있는 인자로 높은 민감도 시스템 개발은 촬영시간을 단축하거나 방사성의약품 사용량을 감소시킬 수 있게 한다.

섬광체 두께가 커질수록 발생한 섬광들이 측면 흡수체에 의해 흡수되는 정도가 증가되어 민감도가 떨어짐을 그림 4의 결과를 통하여 알 수가 있었다. 이는 광 퍼짐을 최소화시켜 좋은 위치분해능을 얻고자 섬광체 옆면을 흡수체로 설정하였기 때문에 이로 인한 흡수율이 섬광체의 두께가 커질수록 더욱 높아져 전체적인 민감도가 감소된 것으로 판단된다. 특히 광전자증배관을 연결시켰을 때에는 섬광체와 광전자증배관의 창(보통은 유리)에 의해 전체적인 두께가 커지므로 옆면에서의 증가된 흡수율로 인하여 민감도의 감소정도가 매우 크게 나타났다. 결과에 의하면 좋은 위치분해능과 높은 민감도를 위하여 섬광체의 두께를 가능한 얇게 제작하는 것이 유리하나, NaI(Tl) 섬광체의 밀도와 검출효율을 고려할 때 사용될 ^{99m}Tc 붕괴 감마선 에너지인 140 keV가 6 mm 이하의 두께에서는 섬광체에서 검출되지 않고 투과할 가능성이 높아져 NaI(Tl) 섬광체 두께는 6 mm 정도가 가장 적합한 것으로 알려져 있다.⁶⁾

조해성이 큰 NaI(Tl) 섬광체를 사용하기 위하여 유리와 같은 물질을 매질로하여 밀봉하는데 매질의 굴절률은 전체 민감도에 커다란 영향을 끼칠 수 있다. 그림 5와 그림 6의 결과를 통해 매질의 굴절률이 $n=2$ 이상에서 민감도가 가장 우수하게 나타났으며, 또한 사용된 매질의 두께가 얇을 수록 민감도 감소가 작게 나타남을 보여주고 있다. 그러므로 현재 일반적으로 사용되고 있는 유리대신 굴절률이 $n=2$ 정도의 물질을 가능한 얇게 하여 NaI(Tl) 섬광체를 밀봉할 경우, 더욱 향상된 민감도와 위치분해능이 예견된다.

이 연구에서 디자인된 검출기의 순수한 내인성 위치분해능 측정을 위한 가중평균좌표 결과가 X, Y 방향으로 1.2 mm 로 나타났다(그림 7). 이 결과로 NaI(Tl)-PMT 검출기만의 위치분해능(FWHM)은 1.2 mm 정도로 예측되어 본 연구에서 디자인된 검출기가 우수한 해상력을 가질 것으로 생각된다.

이 연구를 통하여 감마카메라에 사용되는 NaI(Tl)-PMT의 민감도와 위치분해능에 직접적인 영향을 미치는 요인들을 고찰하였으며, 본 연구진이 설계, 제작할 소형 감마카메라에 이용될 NaI(Tl)-PMT 검출기에 대하여 시뮬레이션한 결과, 높은 민감도와 위치분해능이 기대되어 이를 이용한 고민감도·고해상력의 유방암 진단용 소형 감마카메라 제작이 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. C. J. Baines, A. B. Miller, C. Wall, et al. : Sensitivity and Specificity of First Screen Mammography in the Canadian National Breast Screening Study : A Preliminary Report from Five Centers : *Radiology*, 160, 295–298 (1986)
2. L. Tabar, P. B. Dean : Mammographic Parenchymal Patterns : Risk Indicator for Breast Cancer ? : *J. Am. Med. Assoc.*, 247, 185–189(1982)
3. S. Piccolo, S. Lastoria, C. Mainolfi, P. Muto, L. Bazzicalupo, M. Salvatore : Tc-99m-Methylene Diphosphonate Scintimammography to Image Primary Breast Cancer : *J. Nucl. Med.*, 36, 718–724(1995)
4. C. S. Levin, E. J. Hoffman, M. P. Tornai, L. R. MacDonald : Design of a Small Scintillation Camera with Photodiode Readout for Imaging Malignant Breast Tumors : *J. Nucl. Med.*, 37, p.52(1996)
5. C. S. Levin, L. R. MacDonald, M. P. Tornai, E. J. Hoffman, J. Park : Optimizing Light Collection from Thin Scintillators Used in a Beta-ray Camera for Surgical Use : *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, 42–4(1996)
6. S. Sigel, S. R. Cherry, A. R. Ricci, Y. Shao, M. E. Phelps : Development of Continuous Detectors for a High Resolution Animal PET System : *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, NS-42(4)(1995)
7. M. P. Tornai, C. S. Levin, L. R. MacDonald, E. J. Hoffman, J. Park : Development of a Small Area Beta Detecting Probe for Intra-Operative Tumor Imaging : *J. Nucl. Med.*, 36, p.109(1995)
8. J. A. Sorenson, M. E. Phelps : *Physics in Nuclear Medicine* : Grune & Stratton Inc., 2nd Ed. (1987)
9. P. D. Cutler, S. R. Cherry : Design Features and Performance of a PET System for Animal Research : *J. Nucl. Med.*, 33, p.595(1992)
10. G. F. Knoll, T. F. Knoll, T. M. Henderson : Light Collection in Scintillating Detector Composites for Neutron Detection : *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, NS-35(1), 872–5(1988)
11. I. Holl, E. Lorenz, G. Mageras : A Measurement of the Light Yield of Common Inorganic Scintillators : *IEEE Trans. Nucl. Sci.*, NS-35(1)(1988)

Monte Carlo Simulations of Detection Efficiency and Position Resolution of NaI(Tl)-PMT Detector used in Small Gamma Camera

J.H. Kim^{*‡}, Y. Choi^{*}, J.Y. Kim^{**}, K.C. Im^{*}, S.E. Kim^{*}, Y.S. Choe^{*}, K.S. Joo[‡], Y.J. Kim[‡], B.T. Kim^{*}

Department of Nuclear Medicine, Samsung Medical Center^{*}, Clinical Research Center, Samsung Biomedical Research Institute^{*}

Department of Physics, Myongji University^{*}

Department of Physics, Hanyang University[‡]

Abstract

We studied optical behavior of scintillation light generated in NaI(Tl) crystal using Monte Carlo simulation method. The simulation was performed for the model of NaI(Tl) scintillator (size : 60 mm × 60 mm × 6 mm) using an optical tracking code. The sensitivity as a function of surface treatment (Ground, Polished, Metal-0.95RC, Polished-0.98RC, Painted-0.98RC) of the incident surface of the scintillator was compared. The effects of NaI(Tl) scintillator thickness and the refractive index of light guide optically coupling between the NaI(Tl) scintillator and photomultiplier tube (PMT) were simulated. We also evaluated intrinsic position resolution of the system by calculating the spread of scintillation light generated. The sensitivities of the system having the surface treatment of Ground, Polished, Metal-0.95RC, Polished-0.98RC and Painted-0.98RC were 70.9%, 73.9%, 78.6%, 80.1% and 85.2%, respectively, and the surface treatment of Painted-0.98RC allowed the highest sensitivity. As increasing the thickness of scintillation crystal and light guide, the sensitivity of the system was decreased. As the refractive index of light guide increases, the sensitivity was increased. The intrinsic position resolution of the system was estimated to be 1.2 mm in horizontal and vertical directions. In this study, the performance of NaI(Tl)-PMT detector system was evaluated using Monte Carlo simulation. Based on the results, we concluded that the NaI(Tl)-PMT detector array is a favorable configuration for small gamma camera imaging breast tumor using Tc-99m labeled radiopharmaceuticals.