(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2022-0005196
(43) 공개일자 2022년01월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G21K 1/02 (2006.01) *G01T 1/16* (2006.01)
G21K 1/06 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G21K 1/025 (2013.01)
G01T 1/16 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0082720
(22) 출원일자 2020년07월06일
심사청구일자 2020년07월06일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
주식회사 아라레연구소
서울특별시 성북구 안암로 145, 알앤디센터 636호(안암동5가, 고려대학교)
(72) 발명자
이학재
서울특별시 성북구 동소문로43길 50, A-401 (길음동, 윤성빌라)
이기성
서울특별시 서초구 서초중앙로31길 6, 602호(반포동, 새서울빌라)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인남촌

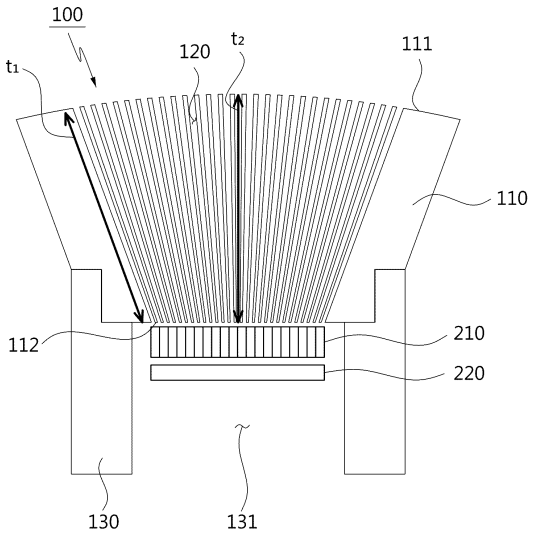
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 **방사선 검출용 콜리메이터 및 이를 이용한 방사선 검출 장치**

(57) 요 약

본 발명은 방사선 검출용 콜리메이터 및 이를 이용한 방사선 검출 장치에 관한 것이다. 본 발명에 따른 방사선 검출 장치는 방사선이 입사되는 제1 면과, 상기 제1 면의 종방향 반대 측에 형성되는 제2 면을 갖는 본체와, 상기 본체 내부에 상기 종방향으로 각각 형성되어 상기 제1 면과 상기 제2 면을 관통하는 복수의 검출홀을 포함하고; 복수의 상기 검출홀은 상기 종방향을 중심으로 횡방향 외측으로 갈수록 경사지게 형성되고; 상기 제1 면은 복수의 상기 검출홀의 상기 종방향으로의 길이가 동일하게 형성되도록 곡면 형상을 갖는 것을 특징한다. 이에 따라, 검출홀의 길이의 차이로 인해 발생하는 해상도 저하 및 영상 품질 저하 문제를 제거할 수 있다.

대 표 도 - 도7



(52) CPC특허분류
G21K 1/06 (2013.01)
(72) 발명자
염정열
서울특별시 성북구 보문사길 40, 103동402호(보문동3가, 이편한세상보문)
차혜미
서울특별시 성북구 안암로9가길 85, 203호 (안암동5가, 천해)
김현구
서울특별시 서초구 반포대로39길 63-8, A-402(반포동, 반포서래월드메르디앙라스칼라)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	201932024
과제번호	2019-MOIS32-024
부처명	행정안전부
과제관리(전문)기관명	국립재난안전연구원
연구사업명	재난안전 산업육성지원 사업
연구과제명	2.5배율의 줌 기능을 갖춘 다목적 방사선 재난 감시 시스템
기 여 율	1/2
과제수행기관명	주식회사 아라레연구소
연구기간	2020.01.01 ~ 2020.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711093814
과제번호	R1909262
부처명	교육부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	원자력기초연구지원사업
연구과제명	드론을 이용한 원거리 방사선 탐지 영상화 시스템 개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	고려대학교 산학협력단
연구기간	2020.01.01 ~ 2020.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

방사선이 입사되는 제1 면과, 상기 제1 면의 종방향 반대 측에 형성되는 제2 면을 갖는 본체와,

상기 본체 내부에 상기 종방향으로 각각 형성되어 상기 제1 면과 상기 제2 면을 관통하는 복수의 검출홀을 포함하고;

복수의 상기 검출홀은 상기 종방향을 중심으로 횡방향 외측으로 갈수록 경사지게 형성되고;

상기 제1 면은 복수의 상기 검출홀의 상기 종방향으로의 길이가 동일하게 형성되도록 곡면 형상을 갖는 것을 특징으로 하는 방사선 검출용 콜리메이터.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제2 면은 평면 형상을 갖는 것을 특징으로 하는 방사선 검출용 콜리메이터.

청구항 3

제2항에 있어서,

복수의 상기 검출홀은 상기 중심으로부터 상기 제1 면을 향해 펼쳐진 확산 다공형 구조를 형성하는 것을 특징으로 하는 방사선 검출용 콜리메이터.

청구항 4

제2항에 있어서,

복수의 상기 검출홀은 상기 중심으로부터 상기 제1 면을 향해 수렴하는 수렴 다공형 구조를 형성하는 것을 특징으로 하는 방사선 검출용 콜리메이터.

청구항 5

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 본체는 텅스텐 재질로 마련되고,

텅스텐 소재를 이용하여 DMLS(Direct metal laser sintering) 방식의 3D 프린팅을 통해 상기 본체 및 복수의 상기 검출홀이 형성되는 것을 특징으로 하는 방사선 검출용 콜리메이터.

청구항 6

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 따른 방사선 검출용 콜리메이터와;

상기 방사선 검출용 콜리메이터의 상기 제2 면으로부터 각각의 상기 검출홀에 삽입되어 해당 검출홀로 유입되는 방사선에 반응하는 단위 섬광결정과;

상기 제2 면에 설치되어 각각의 상기 단위 섬광결정의 방사선 반응을 검출하는 광 센서를 포함하는 것을 특징으로 하는 방사선 검출 장치.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 방사선 검출용 콜리메이터는

상기 본체의 상기 제2 면 측 가장자리 영역으로부터 하향 연장되고, 상기 광센서가 수용되는 하향 개방된 수용

공간이 형성된 기기 수용부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방사선 검출 장치.

청구항 8

제1항 내지 제4항 중 어느 한 항에 따른 방사선 검출용 콜리메이터와;

상기 방사선 검출용 콜리메이터의 상기 제2 면에 설치되어 각각의 상기 검출홀을 통해 유입되는 방사선에 반응하는 섬광결정과;

상기 섬광결정의 방사선 방응을 검출하는 광센서를 포함하는 것을 특징으로 하는 방사선 검출 장치.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 방사선 검출용 콜리메이터는

상기 본체의 상기 제2 면 측 가장자리 영역으로부터 하행 연장되고, 상기 섬광결정 및 상기 광센서가 수용되는 하향 개방된 수용공간이 형성된 기기 수용부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방사선 검출 장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 방사선 검출용 콜리메이터 및 이를 이용한 방사선 검출 장치에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 감마 카메라와 같은 방사선 검출 장치에서 집속 다공형 콜리메이터나 확산 다공형 콜리메이터에 적용 가능한 방사선 검출용 콜리메이터 및 이를 이용한 방사선 검출 장치에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 쓰나미와 지진으로 발생한 2011년 일본 후쿠시마 원자력 사고는 비극적인 사고였는데, 재난에 대한 초기 대응이 부족하여 대량의 방사선 누출과 노출 문제를 일으켰다. 이와 같은 원자력 사고를 피하고 방사능 오염의 확산을 막기 위해서는, 사고의 정확한 원인을 신속하게 찾아내서 분석하고 대응하는 것이 중요하다.

[0003] 그런데, 방사능 사고에 대응하는 종래의 프로세스는 작업자가 피폭되는 문제, 사상자 발생문제, 국지적으로 핫스팟을 간과하는 문제, 시간 소모 문제, 느린 대응 문제 등등의 한계점이 있다.

[0004] 이러한 문제들을 해결하기 위해, 프로젝트 DRIS(Drone based Radiation detection Imaging System; 드론-기반의 방사선 검출 이미징 시스템)에서는 드론-기반의 원격 방사선 이미징 시스템을 개발하는 것을 목표로 한다. 이를 통해, 재난 발생시 무인 원격 검출이 가능하게 되며, 작업자가 불필요하게 피폭되는 것을 막을 수 있을 뿐만 아니라, 사고지점에 신속하고 정확하게 접근하여 타켓에 대한 정보를 수집할 수 있다.

[0005] 실시간으로 방사선 이미지를 획득하기 위해, 방사선 검출 장치는 가볍고 드론에 장착되는 컴팩트한 감마 카메라(Gamma camera)가 필요하다. 방사선 검출용 콜리메이터는 감마 카메라의 성능과 무게에 영향을 미치는 주요 요소들 중 하나이다.

[0006] 방사선 검출용 콜리메이터는 방사선 차단을 위해 납 또는 텅스텐과 같이 원자번호와 밀도가 높은 물질로 만들어지기 때문에, 기존의 방사선 검출용 콜리메이터는 일반적인 주조 공법이나 드릴링 기술로는 복잡하고 정교한 모양을 만들기가 어렵다.

[0007] 그런데, 최근에, 높은 에너지의 레이저로 금속 분말을 소결시켜 3D 구조를 만드는 DMLS(Direct metal laser sintering) 3D 프린팅 기술이 개발되어, 보다 정교하고 복잡한 콜리메이터를 구현할 수 있게 되었다.

[0008] 도 1은 종래의 감마 카메라의 구조의 예를 나타낸 도면이다. 도 1을 참조하여 설명하면, 종래의 감마 카메라(1)는 방사선 검출용 콜리메이터(Collimator)(10)와, 방사선 검출용 콜리메이터(10)를 통과한 방사선을 감지하는 방사선 검출부(20)를 포함한다.

[0009] 방사선 검출용 콜리메이터(10)는 외부의 감마선 중 특정 방향의 감마선만을 통과시키고 다른 방향에서 오는 감마선을 차단하는 조준기로서의 기능을 수행한다.

[0010] 도 1 및 도 2의 (a)에 도시된 방사선 검출용 콜리메이터(10)는 다수의 홀이 형성된 평행 다공형 콜리메이터

(Parallel multi-hole collimator)의 예를 나타낸 도면이고, 도 2의 (b), (c) 및 (d)는 각각 확산 다공형 콜리메이터(Diverging multi-hole collimator), 집속 다공형 콜리메이터(Converging multi-hole collimator), 핀홀 콜리메이터(Pin-hole collimator)를 나타내고 있다.

[0011] 평행 다공형 콜리메이터는 홀의 배열이 평행하고 가장 널리 사용되는 것으로, 콜리메이터와 측정 대상 간의 거리에 따른 영상의 크기 변화가 없으며, 분해능 향상과 감도를 증가시키려면 거리가 짧게 한다. 일반적으로, 저에너지용이 격벽이 얇고, 에너지가 높아질수록 격벽이 두꺼워진다.

[0012] 확산 다공형 콜리메이터는 콜리메이터의 유효 직경보다 사이즈가 큰 측정 대상을 검사하는데 사용되며, 영상 분해능은 상대적으로 낮은 편이다. 콜리메이터와 측정 대상 간의 거리가 멀어질수록 유효 시야는 넓어지나 감도나 분해능은 낮아진다.

[0013] 핀홀 콜리메이터는 분해능이 높아 작은 측정 대상이나 국소부위의 검사에 유용하다. 감도 증가와 분해능 향상을 위해서는 측정 대상과 콜리메이터 간의 거리가 짧아야 하며, 거리가 길어지면 상이 축소된다.

[0014] 집속 다공형 콜리메이터는 평행 다공형 콜리메이터와 핀홀 콜리메이터의 혼합형으로 볼 수 있으며, 콜리메이터와 측정 다상 간의 거리가 가까워질수록 상이 확대되고, 실물이 초점에 가까워질수록 상이 축소된다.

[0015] 다시 도 1을 참조하여 설명하면, 방사선 검출부(20)는 섬광결정(21), 즉 신틸레이터, 광 가이드부(22) 및 광증배관(23)을 포함할 수 있다. 방사선 검출용 콜리메이터(10)를 통과한 감마선은 섬광결정(21)에 입사된다.

[0016] 여기서, 방사선 검출용 콜리메이터(10)를 통과하여 섬광결정(21)과 반응한 감마선은 섬광결정(21)에 의해 검출하기 쉬운 형태의 낮은 에너지 전자기파로 변환되어 광 가이드부(22)를 거쳐 광전자증배관(23)에서 증폭 및 전기신호로 변환되고, 검출된 위치나 에너지 등이 컴퓨터에 저장됨으로써, 영상을 획득하게 된다.

[0017] 도 3은 종래의 확산 다공형 타입의 방사선 검출용 콜리메이터(10)의 단면을 나타낸 도면이다. 도 3에 도시된 바와 같이, 종래의 방사선 검출용 콜리메이터(10)는 방사선이 입사되는 제1 면(11)과, 방사선이 출사되는 제2 면(12), 즉 섬광결정(21)과 대면하는 제2 면(12)을 갖는 본체와, 본체 내부에 제1 면(11)과 제2 면(12)을 종방향으로 관통하여 형성되는 복수의 검출홀(13)을 포함한다. 여기서, 복수의 검출홀(13)은 종방향을 중심으로 반경방향 외측으로 갈수록 경사진 형태를 가져 확산 다공형 콜리메이터를 형성하게 된다.

[0018] 상기와 같은 확산 다공형 콜리메이터(10)의 성능은 초첨 거리, 격벽 두께, 홀 크기, 홀 형상, 제1 면(11)으로부터 소스까지의 거리, 제1 면(11)에 직교하는 소스의 각도와 같은 여러 변수에 의해 영향을 받는다.

[0019] Cherry, Simon R., James A. Sorenson, 및 Michael E. Phelps의 논문 "Physics in nuclear medicine, 4th edition(Elsevier Health Sciences, 2012.)"과, Van Audenhaege, Karen 등의 논문 "Review of SPECT collimator selection, optimization, and fabrication for clinical and preclinical imaging(Medical physics 42.8 (2015): 4796-4813)"에서는 공간 분해능(Spatial resolution) 및 기하학적 감도(Geometric sensitivity)와 같은 확산 다공형 콜리메이터(10)의 성능을 연구한 바 있다. 기하학적 매개변수를 고려한 확산 다공형 콜리메이터(10)의 해상도(R_{divg}) 및 감도(S_{divg})는 [수학식 1] 및 [수학식 2]와 같이 표현할 수 있다.

[0020] [수학식 1]

[0021] $$R_{divg}(h,\theta) = d\frac{a_{eff}+h}{a_{eff}}\ \frac{1}{cos\theta}\left(1+\frac{a_{eff}}{2f}\right)$$

[0022] [수학식 2]

[0023] $$S_{divg}(h,\theta) = \frac{\sqrt{3}}{8\pi}\frac{d^2}{{a_{eff}}^2}\frac{d^2}{(d+t)^2}\left(\frac{f+a}{f+a+h}\right)^n cos^2\theta$$

[0024] [수학식 1] 및 [수학식 2]에서 d는 확산 다공형 콜리메이터(10)의 홀 크기이고, a_{eff}는 유효 콜리메이터 높이이며, h는 소스로부터 확산 다공형 콜리메이터(10)의 표면, 즉 제1 면(11)까지의 거리이고, θ는 종방향을 중심으로 감마선이 이루는 각도이고, f는 초점 거리이고, t는 격벽의 두께이고, a는 확산 다공형 콜리메이터(10)의 높이이다.

[0025] [수학식 1] 및 [수학식 2]에서 확인할 수 있듯이, 확산 다공형 콜리메이터(10)의 높이가 증가하면, 감도는 낮아

지고 해상도는 높아진다.

[0026] 그런데, 기존의 확산 다공형 콜리메이터(10)의 각각의 검출홀(13)이 길이, 즉 확산 다공형 콜리메이터(10)의 높이(a)는 각 검출홀(13)에 따라 다르다. 도 3에 도시된 예에서, 중심부 쪽의 검출홀(13)의 길이는 27.5㎜인 반면 최외측 검출홀(13)의 길이는 29.2㎜로 각 검출홀(13)마다 다른 길이를 갖게 된다.

[0027] 이와 같은 길이의 차이는 각 검출홀(13)을 통해 검출된 방사선의 해상도 및 감도를 달라지게 하는 문제점을 야기하게 되어, 전체 이미지의 해상도를 저하시키는 문제점이 있다.

[0028] 또한 종래의 확산 다공형 콜리메이터(10)는 DOI(Depth-of Interaction)으로 인한 섬광결정(21) 반응 위치 문제를 야기한다. 도 4를 참조하여 설명하면, 확산 다공형 콜리메이터(10)의 경우, 외곽부로 갈수록 입사 방사선의 각도가 수직 어레이(Array) 형태로 제적되는 섬광결정(21)의 각도와 차이가 커지게 되고, 이로 인해 실제 확산 다공형 콜리메이터(10)를 투과한 감마선이 반응하는 섬광결정(21) 내의 깊이에 따라 추정되는 섬광결정(21)의 위치가 달라지는 DOI 문제가 발생한다.

[0029] 즉, 도 4에서 섬광결정(21) 픽셀 중 반응 예상 위치는 좌측으로부터 첫번째 픽셀이여야 하는데, 실제 반응은 세번째 픽셀에서 이루어지게 되어, 영상의 균일도가 달라지는 문제를 야기하게 된다.

[0030] 또한, 종래의 확산 다공형 콜리메이터(10)의 경우, 섬광결정(21) 내의 Inter-crystal scattering 문제를 갖고 있다. 방사선이 물질과 반응하는 원리 중 하나인 Compton scattering은 영상에 있어 노이즈를 형성하는 문제를 발생하는데, 이는 일반적으로 감마선의 에너지를 측정하여 제거하는 기법을 이용하고 있다.

[0031] 그러나, 도 5에 도시된 바와 같이, 섬광결정(21) 내에서 두 번 이상의 반응을 일으키는 Inter-crystal scattering의 경우, 감마선의 에너지가 거의 모두 문할되기 때문에, 에너지 기반으로 하는 노이즈 제거가 어렵고, 실제 회로 상에서 잘못된 감마선의 반응 위치 값을 가져오게 되는 문제점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0032] 이에, 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해소하기 위해 안출된 것으로서, 검출홀의 길이의 차이로 인해 발생하는 해상도 저하 및 영상 품질 저하 문제를 제거할 수 있는 방사선 검출용 콜리메이터 및 이를 이용한 방사선 검사 장치를 제공하는데 그 목적이 있다.

[0033] 또한, 본 발명은 감마선이 반응하는 섬광결정 내의 깊이에 따라 추정되는 섬광결정의 위치가 달라지는 DOI 문제을 해소할 수 있는 방사선 검출용 콜리메이터 및 이를 이용한 방사선 검사 장치를 제공하는데 또 다른 목적이 있다.

[0034] 또한, 본 발명은 섬광결정 내의 Inter-crystal scattering 현상을 감소시킬 수 있는 방사선 검출용 콜리메이터 및 이를 이용한 방사선 검사 장치를 제공하는데 또 다른 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0035] 상기 목적은 본 발명에 따라, 방사선이 입사되는 제1 면과, 상기 제1 면의 종방향 반대 측에 형성되는 제2 면을 갖는 본체와, 상기 본체 내부에 상기 종방향으로 각각 형성되어 상기 제1 면과 상기 제2 면을 관통하는 복수의 검출홀을 포함하고; 복수의 상기 검출홀은 상기 종방향을 중심으로 횡방향 외측으로 갈수록 경사지게 형성되고; 상기 제1 면은 복수의 상기 검출홀의 상기 종방향으로의 길이가 동일하게 형성되도록 곡면 형상을 갖는 것을 특징으로 하는 방사선 검출용 콜리메이터에 의해서 달성된다.

[0036] 여기서, 상기 제2 면은 평면 형상을 가질 수 있다.

[0037] 그리고, 복수의 상기 검출홀은 상기 중심으로부터 상기 제1 면을 향해 펼쳐진 확산 다공형 구조를 형성할 수 있다.

[0038] 그리고, 복수의 상기 검출홀은 상기 중심으로부터 상기 제1 면을 향해 수렴하는 수렴 다공형 구조를 형성할 수 있다.

[0039] 그리고, 상기 본체는 텅스텐 재질로 마련되고, 텅스텐 소재를 이용하여 DMLS(Direct metal laser sintering) 방식의 3D 프린팅을 통해 상기 본체 및 복수의 상기 검출홀이 형성될 수 있다.

[0040] 한편, 상기 목적은 본 발명의 다른 실시 형태에 따라, 상기의 방사선 검출용 콜리메이터와; 상기 방사선 검출용 콜리메이터의 상기 제2 면으로부터 각각의 상기 검출홀에 삽입되어 해당 검출홀로 유입되는 방사선에 반응하는 단위 섬광결정과; 상기 제2 면에 설치되어 각각의 상기 단위 섬광결정의 방사선 반응을 검출하는 광 센서를 포함하는 것을 특징으로 하는 방사선 검출 장치에 의해서 달성될 수 있다.

[0041] 여기서, 상기 방사선 검출용 콜리메이터는 상기 본체의 상기 제2 면 측 가장자리 영역으로부터 하향 연장되고, 상기 광센서가 수용되는 하향 개방된 수용공간이 형성된 기기 수용부를 더 포함할 수 있다.

[0042] 한편, 상기 목적은 본 발명의 또 다른 실시 형태에 따라, 상기의 방사선 검출용 콜리메이터와; 상기 방사선 검출용 콜리메이터의 상기 제2 면에 설치되어 각각의 상기 검출홀을 통해 유입되는 방사선에 반응하는 섬광결정과; 상기 섬광결정의 방사선 방응을 검출하는 광센서를 포함하는 것을 특징으로 하는 방사선 검출 장치에 의해서도 달성된다.

[0043] 여기서, 상기 방사선 검출용 콜리메이터는 상기 본체의 상기 제2 면 측 가장자리 영역으로부터 하향 연장되고, 상기 섬광결정 및 상기 광센서가 수용되는 하향 개방된 수용공간이 형성된 기기 수용부를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0044] 상기와 같은 구성에 따라, 본 발명에 따르면 검출홀의 길이의 차이로 인해 발생하는 해상도 저하 및 영상 품질 저하 문제를 제거할 수 있는 방사선 검출용 콜리메이터 및 이를 이용한 방사선 검사 장치가 제공된다.

[0045] 또한, 본 발명에 따르면 감마선이 반응하는 섬광결정 내의 깊이에 따라 추정되는 섬광결정의 위치가 달라지는 DOI 문제을 해소할 수 있는 방사선 검출용 콜리메이터 및 이를 이용한 방사선 검사 장치가 제공된다.

[0046] 또한, 본 발명에 따르면 섬광결정 내의 Inter-crystal scattering 현상을 감소시킬 수 있는 방사선 검출용 콜리메이터 및 이를 이용한 방사선 검사 장치가 제공된다.

도면의 간단한 설명

[0047] 도 1은 종래의 감마 카메라의 구조의 예를 나타낸 도면이고,

도 2는 종래의 방사선 검출용 콜리메이터의 종류를 설명하기 위한 도면이고,

도 3은 종래의 확산 다공형 콜리메이터의 단면도이고,

도 4 및 도 5는 종래의 확산 다공형 콜리메이터의 문제점을 설명하기 위한 도면이고,

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 방사선 검출용 콜리메이터의 사시도이고,

도 7은 본 발명의 실시예에 따른 방사선 검출 장치를 설명하기 위한 도면이고,

도 8은 본 발명의 다른 실시예에 따른 방사선 검출 장치를 설명하기 위한 도면이고,

도 9 내지 도 18은 본 발명의 실시예에 따른 방사선 검출 장치의 실험 결과를 설명하기 위한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0048] 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예들에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성 요소를 지칭한다.

[0049] 이하에서는 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 실시예들을 상세히 설명한다.

[0050] 도 6은 본 발명의 실시예에 따른 방사선 검출용 콜리메이터(100)의 사시도이고, 도 7은 본 발명의 실시예에 따른 방사선 검출 장치(300)를 설명하기 위한 도면이다.

[0051] 도 6 및 도 7을 참조하여 설명하면, 본 발명의 실시예에 따른 방사선 검출용 콜리메이터(100)는 본체(110) 및 복수의 검출홀(120)을 포함한다.

[0052] 본체(110)는 방사선이 입사되는 제1 면(111)과, 제1 면(111)의 종방향 반대 측에 형성되는 제2 면(112)을 포함

할 수 있다.

[0053] 복수의 검출홀(120)은 본체(110) 내부에 종방향으로 각각 형성되어 제1 면(111)과 제2 면(112)을 관통한다. 제1 면(111)으로부터 각각의 검출홀(120)을 통해 입사되는 방사선은 검출홀(120)을 거쳐 제2 면(112)으로 향하게 된다.

[0054] 여기서, 복수의 검출홀(120)은 종방향을 중심으로 횡방향 외측으로 갈수록 경사지게 형성되는데, 앞서 설명한 바와 같이, 본 발명의 실시예에서는 확산 다공형 콜리메이터 형태를 갖는 것을 예로 하는 바, 복수의 검출홀(120)이 제2 면(112)으로부터 제1 면(111)을 향해 펼쳐진 형상을 갖는다.

[0055] 본 발명에서는 본체(110)의 제1 면(111)이 복수의 검출홀(120)의 종방향으로의 길이(t1,t2)가 동일하게 형성되도록 곡면 형상을 갖는다. 즉, 복수의 검출홀(120)의 길이가 동일하게 형성되도록, 횡방향으로 중심부에 위치하는 검출홀(120)의 제2 면(112)으로부터의 높이가 가장 높고, 횡방향으로 외측으로 갈수록 경사 각도가 커져 제2 면(112)으로부터의 높이가 낮아져, 결과적으로 제1 면(111)이, 도 6에 도시된 바와 같이, 곡면 형상을 갖게 된다.

[0056] 여기서, 제2 면(112)은 후술할 섬광결정(210) 또는 광 센서(220)의 배치를 위해 평면 형상을 갖는 것을 예로 한다.

[0057] 본 발명에서는 방사선의 차폐를 위해 본체(110)가 텅스텐 재질로 마련되는 것을 예로 하며, 텅스텐 소재를 이용하여 DMLS(Direct metal laser sintering) 방식의 3D 프린팅을 통해 본체(110) 및 복수의 검출홀(120)이 형성되는 것을 예로 한다.

[0058] 도 7을 참조하여 설명하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 방사선 검출 장치(300)는 상술한 바와 같은 방사선 검출용 콜리메이터(100), 섬광결정(210) 및 광 센서(220)를 포함할 수 있다.

[0059] 여기서, 본 발명의 실시예에 따른 방사선 검출용 콜리메이터(100)는 본체(110)의 제2 면(112) 측 가장자리 영역으로부터 하향 연장되는 기기 수용부(130)를 포함하는 것을 예로 한다. 기기 수용부(130)는 하향 개방된 수용 공간(131)이 형성되며, 해당 수용 공간(131)에 섬광결정(210) 및 광 센서(220)가 설치 가능하게 수용된다.

[0060] 섬광결정(210)은 방사선 검출용 콜리메이터(100)의 후방, 즉 제2 면(112) 측에 배치되어, 각각의 검출홀(120)을 통해 유입되는 방사선에 반응한다. 여기서, 섬광결정(210)은 각각 픽셀화되어 각각의 검출홀(120)에 대응하는 위치에서 해당 검출홀(120)을 통해 유입되는 방사선에 반응하게 된다.

[0061] 광 센서(220)는 섬광결정(210)의 각 픽셀에서의 방사선 반응을 감지하여 그 위치 및 세기를 측정하게 되며, 도시되지 않은 컴퓨터 등의 정보처리장치가 이를 영상화하게 된다.

[0062] 상기와 같은 구성에 따라, 본 발명의 실시예에 따른 방사선 검출용 콜리메이터(100) 및 방사선 검출 장치(300)는 방사선 검출용 콜리메이터(100)에 형성된 복수의 검출홀(120)의 길이가 모두 동일하게 구성됨으로써, 서로 다른 길이에 따라 발생하는 해상도 및 감도 저하를 제거할 수 있게 된다.

[0063] 도 8은 본 발명의 다른 실시예에 따른 방사선 검출 장치(300)를 설명하기 위한 도면이다. 도 8을 참조하여 설명하면, 본 발명의 다른 실시예에 따른 방사선 검출 장치(300)는 방사선 검출용 콜리메이터(100), 복수의 단위 섬광결정(210a) 및 광 센서(220)를 포함할 수 있다.

[0064] 도 8에 도시된 방사선 검출용 콜리메이터(100)는 앞서 설명한 실시예의 구성에 대응한다.

[0065] 각각의 단위 섬광결정(210a)은 방사선 검출용 콜리메이터(100)의 제2 면(112)으로부터 각각의 검출홀(120)에 삽입되어 해당 검출홀(120)로 유입되는 방사선에 반응하게 된다. 즉, 하나 하나의 단위 섬광결정(210a)이 각각의 검출홀(120)에 삽입된 상태에서 해당 검출홀(120)로 유입되는 방사선에 반응하게 되어, 방사선이 반응하는 섬광결정(210) 내의 깊이에 따라 추정되는 섬광결정(210)의 위치가 달라지는 DOI 문제가 해소될 수 있다.

[0066] 또한, 각각의 단위 섬광결정(210a)이 검출홀(120) 내부에 배치되어, 다른 섬광결정(210)과는 격벽에 의해 차단되는 구조를 가져 섬광결정(210) 내의 Inter-crystal scattering 현상을 현저하게 감소시킬 수 있는 효과가 제공된다.

[0067] 여기서, 광 센서(220)는 방사선 검출용 콜리메이터(100)의 후방, 즉 제2 면(112) 측에 배치되어, 각각의 검출홀(120)에 삽입된 단위 섬광결정(210a)에서의 방사선 반응을 검출하게 된다.

[0068] 상기와 같은 구성에 따라, DOI 문제 및 Inter-crystal scattering 문제가 해소 또는 감소될 뿐만 아니라, 검출

홀(120)의 길이가 동일하여 고해상도, 고감도의 방사선 영상의 획득이 가능하게 된다.

[0069] 이하에서는, 본 발명의 실시예에 따른 방사선 검출 장치(300)의 효과를 도 9 내지 도 18을 참조하여 설명한다. 실험에는 도 7에 도시된 실시예에 따른 방사선 검출 장치(300)가 사용되었으며, 비교를 위해 도 3에 도시된 종래의 방사선 검출 장치(1)가 적용되었다.

[0070] 실험에 적용된 종래의 방사선 검출용 콜리메이터(10) 및 본 발명에 따른 방사선 검출용 콜리메이터(100)의 스펙으로, 0.4 mm ~ 0.6 mm의 콜리메이터 홀 크기, 각각 0.4 mm ~ 0.2 mm의 격벽의 두께, 20 mm ~ 50 mm의 콜리메이터 높이가 설정되었다. 외부의 예측하기 어려운 이벤트를 줄이기 위해, 검출부 측과 및 콜리메이터 구조의 엣지 주변에 8mm 차폐 구조를 설치하였다.

[0071] 포인트 소스의 에너지는 662 keV 였고, Cs-137 소스를 타겟으로 하고, 액티비티(활성도)는 각각 10 mCi 이었다. ±10 % 디지타이저 쓰레스홀더(thresholder)를 가지고 각각의 시뮬레이션에 대하여 5초 동안 데이터를 획득하였다.

[0072] 방사선 검출용 콜리메이터(100)의 높이는 본 발명에 따른 방사선 검출용 콜리메이터(100)의 검출홀(120) 길이에 의해 설정되었고, 종래의 방사선 검출용 콜리메이터(10)의 높이는 본 발명과 동일한 무게를 갖도록 설계되었다.

[0073] 결과적으로 본 발명에 따른 방사선 검출용 콜리메이터(100)의 검출홀(120) 길이는 30mm였고, 무게는 994.0g 이었고, 종래의 방사선 검출용 콜리메이터(10)의 검출홀(120)의 길이는 27.5 mm ~ 29.2 mm 이었고, 무게는 993.1 g 이었다.

[0074] 실험은 도 9에 도시된 바와 같이, 세가지 유형의 소스에 대해 수행되었다. 도 9의 (a)는 본 발명에 따른 방사선 검출용 콜리메이터(100)의 제1 면(111)과 동일한 거리에 위치하는 다수의 포인트 소스, 도 9의 (b)는 FOV의 중심에 위치하며 제1 면(111)으로부터 서로 다른 거리에 위치하는 포인트 소스, 그리고, 도 9의 (c)는 FOV의 중심에서 탐지 영역을 통과하는 라인 소스이다.

[0075] 도 9의 (a)에서, 네 개의 포인트 소스들이 FOV의 중앙에, 그리고 FOV 크기의 29, 57, 86% 만큼 중앙으로부터 떨어진 지점에 위치시키고, 제1 면(111)으로부터 10cm 떨어진 곳에 위치시킨다. 격벽의 효과를 최소화하기 위해, 각각의 포인트 소스가 검출홀(120)의 중심의 연장선 상에 놓인다. 662 keV 의 에너지와 10 mCi 의 액티비티(활성도)를 갖는 포인트 소스를 이용하여 5초 동안 데이터를 획득하였다.

[0076] 도 9의 (b)에서, FOV의 중앙에 제1 면(111)으로부터 10, 20, 30, 및 40 cm 떨어진 포인트 소스들에 시뮬레이션을 수행하였다. 포인트 소스의 에너지와 액티비티(활성도)는 각각 662 keV 와 10 mCi로 동일하다.

[0077] 마지막으로, 도 9의 (c)에서, 662 keV의 에너지와 10 mCi의 활성도를 갖는 라인 소스를 제1 면(111)에서 10cm 떨어진 곳에서 FOV 중앙을 가로질러 설치하였다. 시뮬레이션을 5초 동안 수행하고, 백그라운드에 대한 신호 피크(peak)의 분포와 전체 FOV에 대하여 연속하는 라인 소스의 신호 크기를 비교하였다.

[0078] 도 10은 각각의 방사선 검출용 콜리메이터(100)의 격벽의 두께를 0.2 mm, 0.3 mm, 0.4 mm로 달리하고, 높이를 20 mm, 30 mm, 40 mm으로 달리하여, 종래의 방사선 검출용 콜리메이터(10)와 본 발명에 따른 방사선 검출용 콜리메이터(100)에 대해 시뮬레이션한 FOV의 엣지와 중앙에 위치한 포인트 소스의 이미지를 나타낸 것이다.

[0079] 도 10의 (a)는 종래의 방사선 검출용 콜리메이터(10)의 FOV의 중앙에 위치한 포인트 소스, 도 10의 (b)는 종래의 방사선 검출용 콜리메이터(10)의 FOV의 엣지에 위치한 포인트 소스, 도 10의 (c)는 본 발명에 따른 방사선 검출용 콜리메이터(100)의 FOV 중앙에 위치한 포인트 소스, 그리고 도 10의 (c)는 본 발명에 따른 방사선 검출용 콜리메이터(100)의 FOV의 엣지에 위치한 포인트 소스에 대한 이미지이다.

[0080] [수학식 1]에서와 같이 높이가 높을수록, 그리고 격벽의 두께가 두꺼울수록 백그라운드 노이즈가 감소되며, 포인트 소스들을 더 명확하게 식별할 수 있다. 반면, 높이와 격벽 두께가 증가할 때 카운트가 너무 낮으면, 포인트 소스는 특히 FOV의 엣지에서 흐려진다.

[0081] 도 11의 (a)는 종래의 방사선 검출용 콜리메이터(10)에 의해 감지된 전체 카운트의 변화를 나타낸 것이고, 도 11의 (b)는 본 발명에 따른 방사선 검출용 콜리메이터(100)에 의해 감지된 전체 카운트의 변화를 나타낸 것이다. 콜리메이터의 높이와 격벽 두께가 증가함에 따라, 카운트가 감소하는 경향이 있는데, 이는 앞서 설명한 이론적인 경향과 비슷하다.

[0082] 도 12는 백그라운드 노이즈를 제외시킨 신호 카운트를 비교한 그래프이다. 신호 카운트는, 이미지의 29ㅅ29 픽셀 중에서 포인트 소스의 위치에 대응하는 픽셀을 중심으로 위치하는 9 픽셀의 ROI로 설정되었다. 콜리메이터

높이와 격벽 두께가 증가함에 따라 ROI의 신호 카운트는 감소하는 경향이 있지만, 그 변화는 전체 카운트와 비교할 때 매우 적은 것으로 확인된다.

[0083] 일반적으로 감마 카메라의 무게는 드론 기반의 방사선 이미징 시스템의 중요한 요소들 중 하나이다. 2kg 이내의 컴팩트한 감마 카메라를 제조하는 것을 목표로 하는데, 이를 위해, 콜리메이터의 무게는 1.5kg 미만으로 제한될 수 있다.

[0084] 이러한 상황을 고려하여, 방사선 검출용 콜리메이터(100)의 높이가 30mm 미만인 경우가 적합하며, 이를 기초로, 콜리메이터 높이가 20mm 및 30mm 인 경우에 이미지의 PBR 값을 도 13에 도시된 것처럼 얻었다.

[0085] PBR은 콜리메이터의 모양과 상관없이 콜리메이터의 높이와 격벽 두께가 클 때 더 높다. 하지만, 격벽두께가 0.2mm 에서 0.3mm로 증가할 때 본 발명에 따른 방사선 검출용 콜리메이터(100)가 더 크게 향상됨을 확인할 수 있다.

[0086] 실제 시스템의 제작에 대한 조립공차를 고려하면서, 시뮬레이션을 통해 선정한 매개 변수를 가지고 종래 및 본 발명에 따른 방사선 검출용 콜리메이터(100) 구조를 설계하였으며, [표 1]에 나타난 바와 같다.

[0087] [표 1]

매개변수	종래	본 발명
Collimator height [mm]	27.5	28.2 - 30
Collimator hole length [mm]	27.5 - 29.2	30
Volume [cm^3]	51.6	51.6
Mass [g]	993.1	994.0
Top size [mm]	59.1	58.5
Top hole size [mm]	0.94	0.91 - 0.98
Top septal thickness [mm]	0.56	0.55 - 0.59

[0088]

[0089] 도 14의 (a)는 종래의 방사선 검출용 콜리메이터(10)를 통해 획득된 FOV의 위치에 따른 포인트 소스의 이미지이고, 도 14의 (b)는 본 발명에 따른 방사선 검출용 콜리메이터(100)를 통해 획득된 FOV의 위치에 따른 포인트 소스의 이미지이다. 콜리메이터의 무게에 기초하여, 종래의 방사선 검출용 콜리메이터(10)는 본 발명에 따른 방사선 검출용 콜리메이터(100)보다 검출홀(120)의 길이가 더 짧은 경향이 있고, 따라서 종래의 방사선 검출용 콜리메이터(10)의 전체 카운트가 더 높다. 그러나, 종래의 방사선 검출용 콜리메이터(10)의 경우, 획득한 이미지에서 볼 수 있듯이 관통된 백그라운드 카운트도 더 높은 경향이 있다.

[0090] 이와 관련하여, 도 15는 수량으로 나타내는데, 포인트 소스의 위치에 대응하는 픽셀을 중심으로 위치된 25개의 픽셀을 세팅함으로써 위치에 따른 포인트 소스의 신호 피크 카운트와 전체 카운트를 보여주고 있다.

[0091] 각각의 방사선 검출용 콜리메이터(100)에 대하여 FOV의 중앙에 위치하는 소스에 데이터를 정규화(normalize)하였다. 두 방사선 검출용 콜리메이터(10,100)의 대하여, 소스가 엣지로 이동할 때, 즉 경사 각도가 증가할 때 카운트는 감소하는 경향이 있다.

[0092] 하지만, FOV 중앙과 비교하여 각각의 포인트 소스의 전체 카운트는 종래의 방사선 검출용 콜리메이터(10)(Flat)의 경우 93.1 % 에서 56.0 %로 감소하고, 본 발명에 따른 방사선 검출용 콜리메이터(100)(Curved)의 경우 94.4 % 에서 61.3 %로 감소한다. 백그라운드 효과 없이 피크 신호의 카운트와 비교하면, 종래의 방사선 검출용 콜리메이터(10)의 카운트는 중앙의 소스와 비교하여 95.7 % 내지 72.2 % 의 범위에 있고, 본 발명에 따른 방사선 검출용 콜리메이터(100)의 96.2 % 내지 61.7 %의 범위 보다 11%까지 적다.

[0093] 제1 면(111)으로부터 이격된 거리가 상이한 포인트 소스 이미지들의 투영된 합계(sum) 프로파일은 도 16에 도시되어 있다. 앞서 설명한 것처럼, 종래의 방사선 검출용 콜리메이터(10)는 본 발명에 따른 방사선 검출용 콜리메이터(100) 보다 더 짧고 이 경우에 검출된 카운트는 본 발명보다 18.5% 더 많다.

[0094] 그러나, 소스 포지션을 제외한 픽셀 값의 평균이 백그라운드로 설정될 때, 종래의 방사선 검출용 콜리메이터(10)의 백그라운드의 증가는 평균적으로 25.2%인데, 신호 피크(signal peak)의 증가는 단지 10.9%이다. 이러한 사실은 종래의 방사선 검출용 콜리메이터(10)의 대부분의 높은 카운트는 통과된 백그라운드 이벤트에 대응한다는 것을 나타낸다.

[0095] 도 17은 소스로부터 제1 면(111)까지의 거리에 기초하여 획득한 PBR 값을 나타낸다. 두 방사선 검출용 콜리메이터(10,100)에 대해, 소스가 방사선 검출용 콜리메이터(100)의 제1면에서 멀어질 때 PBR 값은 감소하는 경향이 있다.

[0096] 소스로부터 방사선 검출용 콜리메이터(100)까지의 거리가 증가할 때, PBR 값은 종래의 방사선 검출용 콜리메이터(10)에서 0.71에서 0.66으로 감소하였고, 본 발명에 따른 방사선 검출용 콜리메이터(100)에서 0.81에서 0.76으로 감소하였다. 모든 경우에, 본 발명에 따른 방사선 검출용 콜리메이터(100)는 더 높은 PBR 값을 나타내는데, 이는 본 발명에 따른 방사선 검출용 콜리메이터(100)의 경우에 신호가 더욱 뚜렷하다는 것을 말해준다.

[0097] 도 18의 (a)는 도 9의 (c)에 도시된 FOV의 중앙을 가로지르는 라인 소스의 이미지를 보여준다. 두 방사선 검출용 콜리메이터(10,100)에 대하여, 이미지를 통해 라인 소스의 분포를 식별할 수 있고, 전체 카운트는 종래의 방사선 검출용 콜리메이터(10)의 경우 약 20% 더 높다. FOV의 중앙으로부터 엣지까지 연속하는 검출 반응을 분석하기 위해, 이미지의 대칭하는 데이터의 평균 값을 이용하여 신호 카운트와 PBR 값을 획득하였다.

[0098] FOV 위치에 따른 신호 카운트는, 각각, 종래의 방사선 검출용 콜리메이터(10)의 경우 평균 픽셀값이 318이고, 표준편차가 36.9이며, 본 발명에 따른 방사선 검출용 콜리메이터(100)의 경우 평균 픽셀값이 292이고, 표준편차가 31.0이다. 종래의 방사선 검출용 콜리메이터(10)의 평균 값은 본 발명에 따른 방사선 검출용 콜리메이터(100)보다 18.2% 높고, 종래의 방사선 검출용 콜리메이터(10)의 표준편차는 본 발명에 따른 방사선 검출용 콜리메이터(100)보다 16.2% 높다.

[0099] PBR 값을 비교할 때, 종래의 방사선 검출용 콜리메이터(10)의 경우 0.74의 평균값, 0.077의 표준편차를 갖고, 본 발명에 따른 방사선 검출용 콜리메이터(100)의 경우 0.82의 평균값, 0.050의 표준편차를 갖는데, 이는 도 18의 (b)에 도시된 것처럼 본 발명에 따른 방사선 검출용 콜리메이터(100)의 경우 평균값이 더 높고 표준편차가 더 낮다는 것을 나타낸다.

[0100] 전술한 실시예에서는 본 발명에 따른 방사선 검출용 콜리메이터(100)가 확산 다공형 구조인 것을 예로 하고 있으나, 복수의 검출홀(120)이 중심으로부터 제1 면(111)을 향해 수렴하는 수렴 다공형 구조에도 적용 가능함은 물론이다.

[0101] 비록 본 발명의 몇몇 실시예들이 도시되고 설명되었지만, 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 당업자라면 본 발명의 원칙이나 정신에서 벗어나지 않으면서 본 실시예를 변형할 수 있음을 알 수 있을 것이다. 발명의 범위는 첨부된 청구항과 그 균등물에 의해 정해질 것이다.

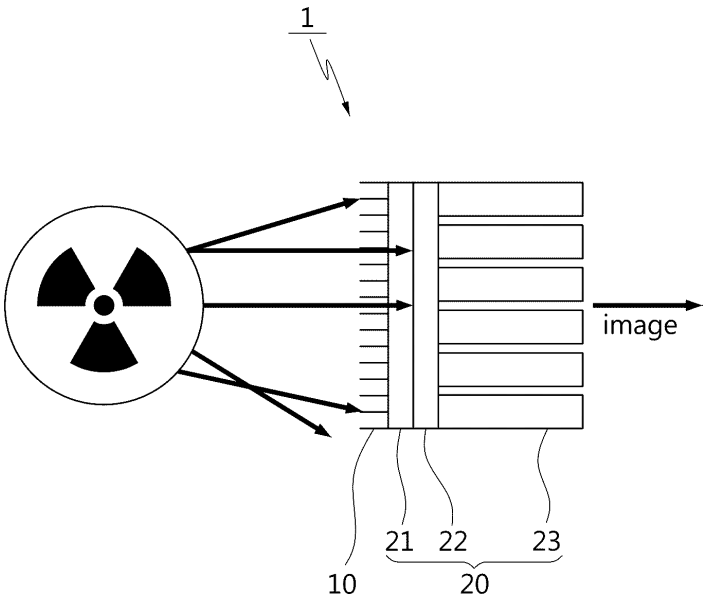
부호의 설명

[0102]

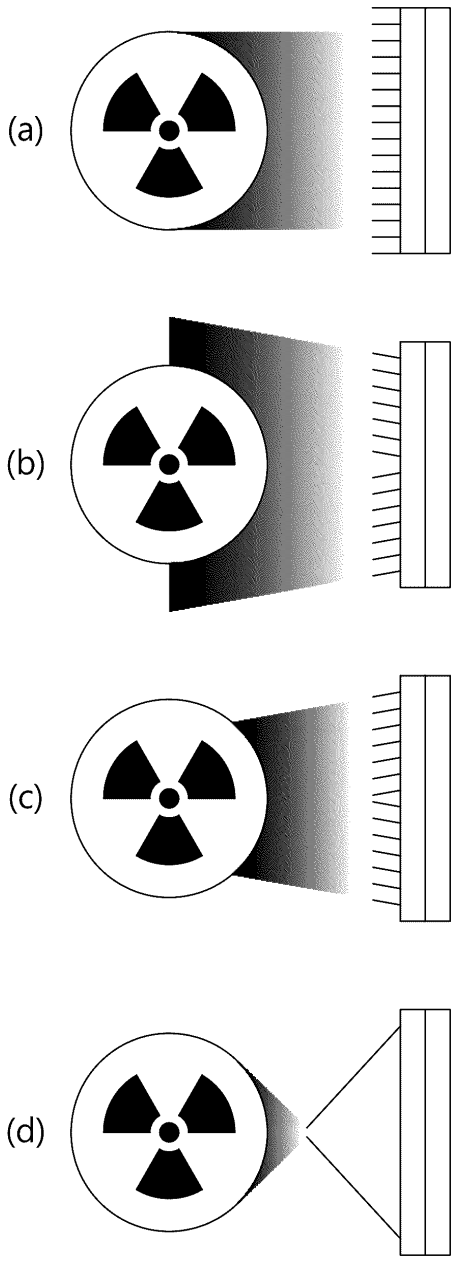
300	: 방사선 검출 장치	100	: 방사선 검출용 콜리메이터
110	: 본체	111	: 제1 면
112	: 제2 면	120	: 검출홀
130	: 기기 수용부	131	: 수용 공간
210	: 섬광결정	210a	: 단위 섬광결정
220	: 광 센서		

도면

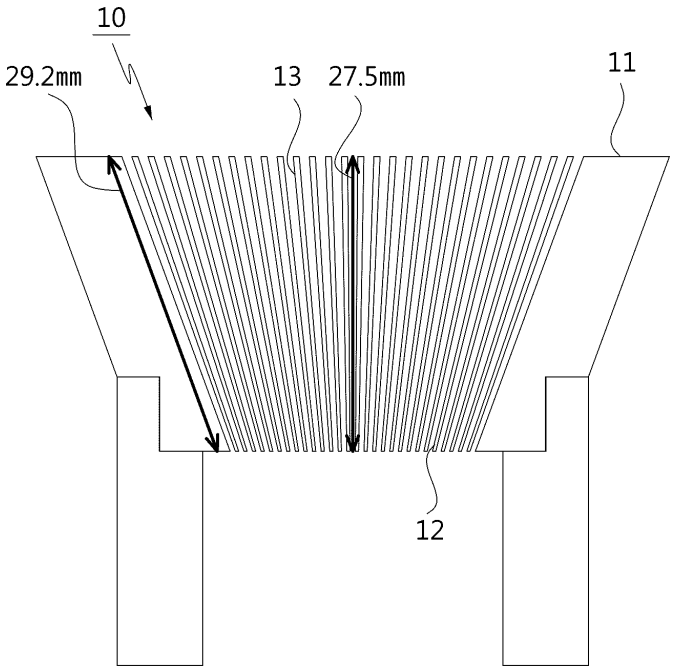
도면1



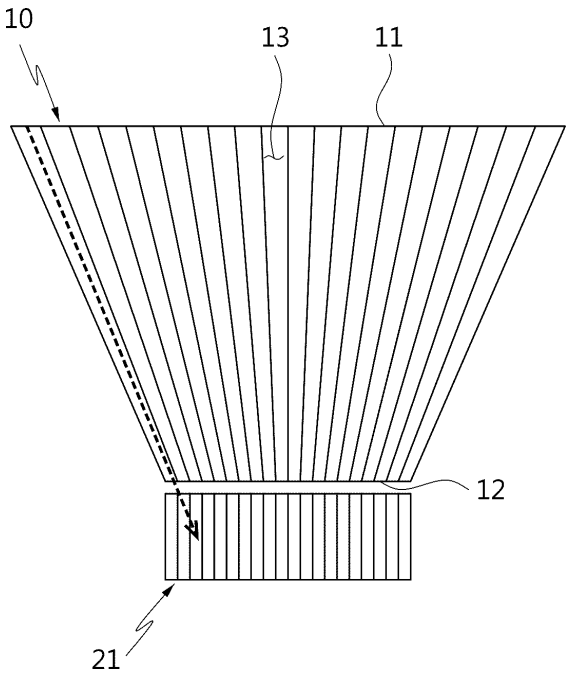
도면2



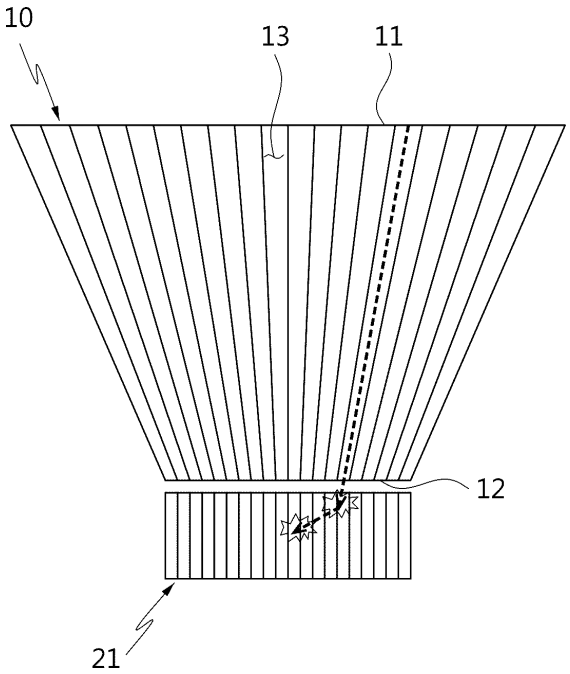
도면3



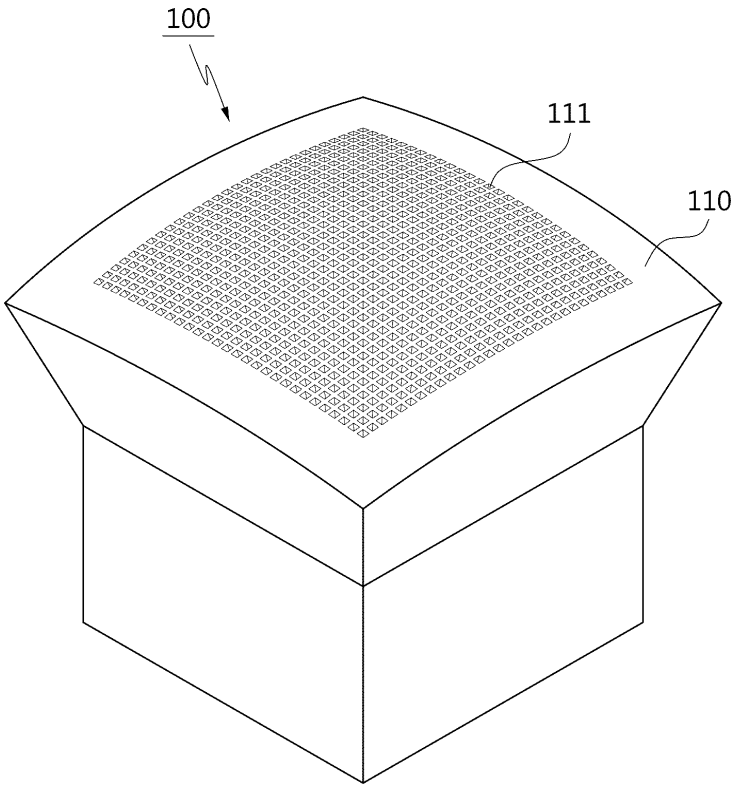
도면4



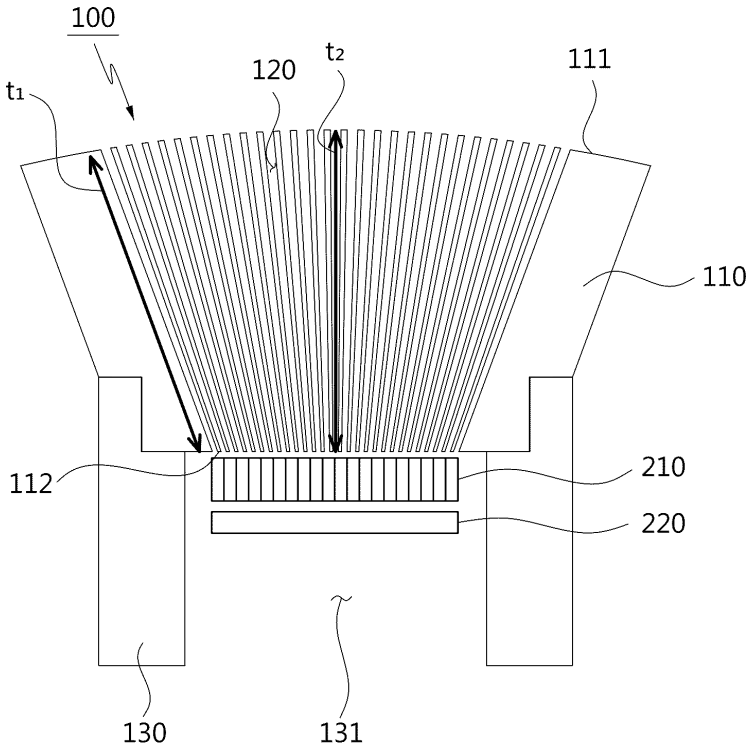
도면5



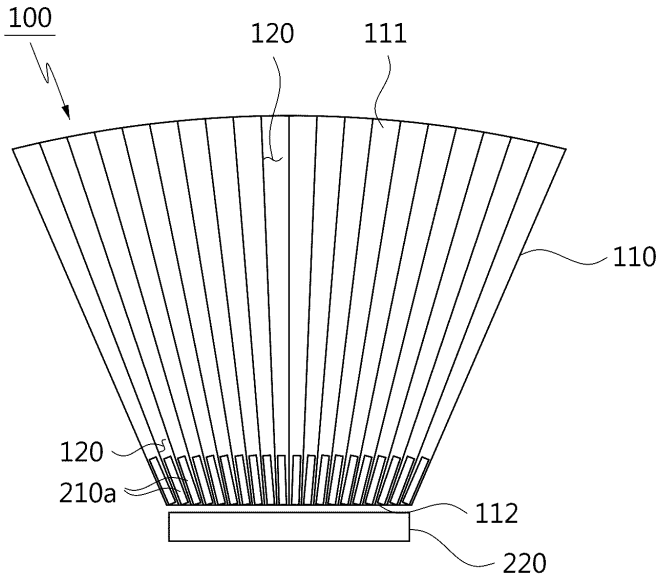
도면6



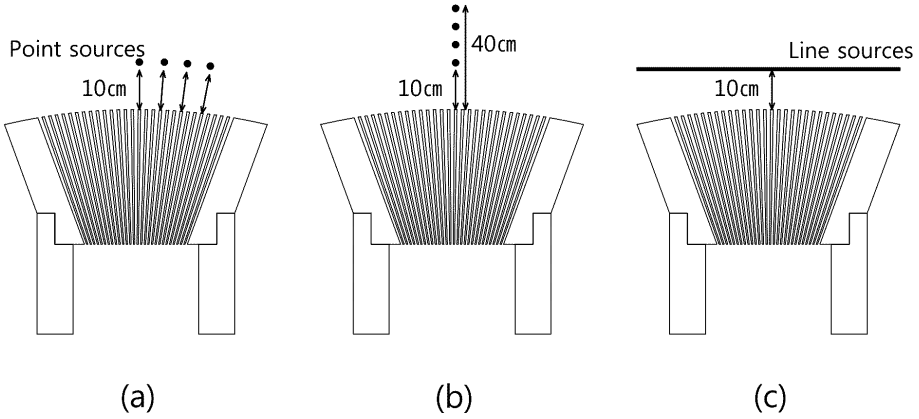
도면7


100
120
t₂
111
t₁
110
112
210
220
130
131

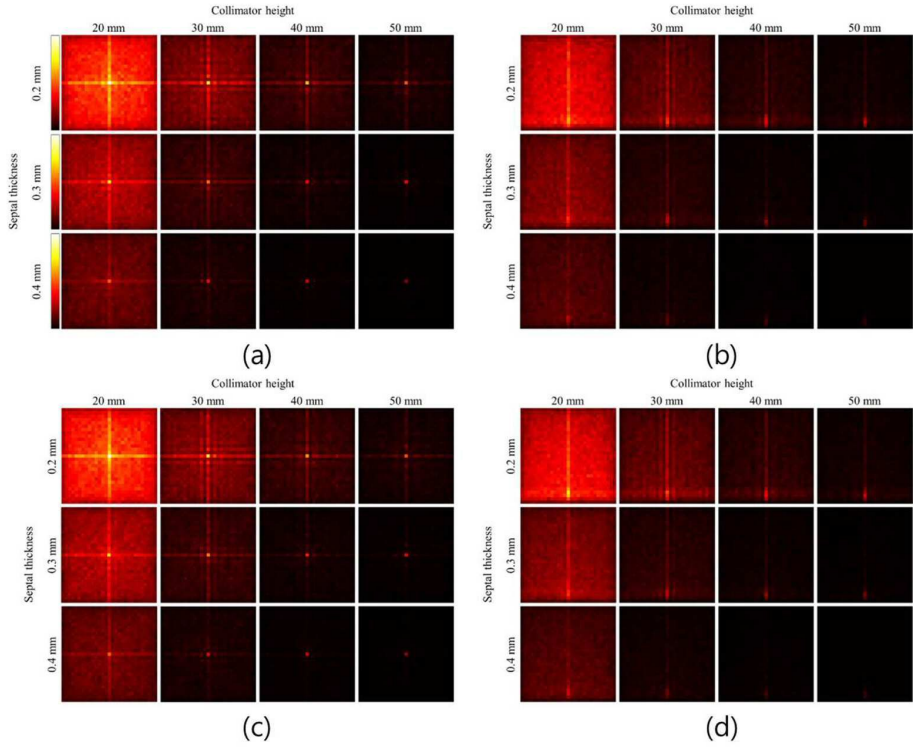
도면8


100
120
111
110
120
210a
112
220

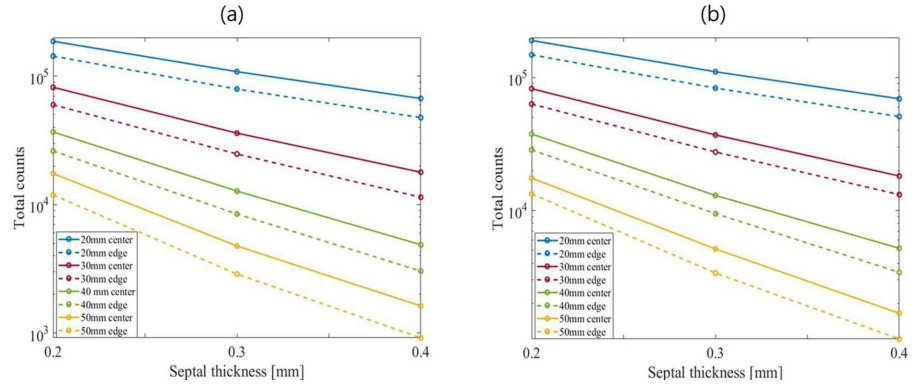
도면9



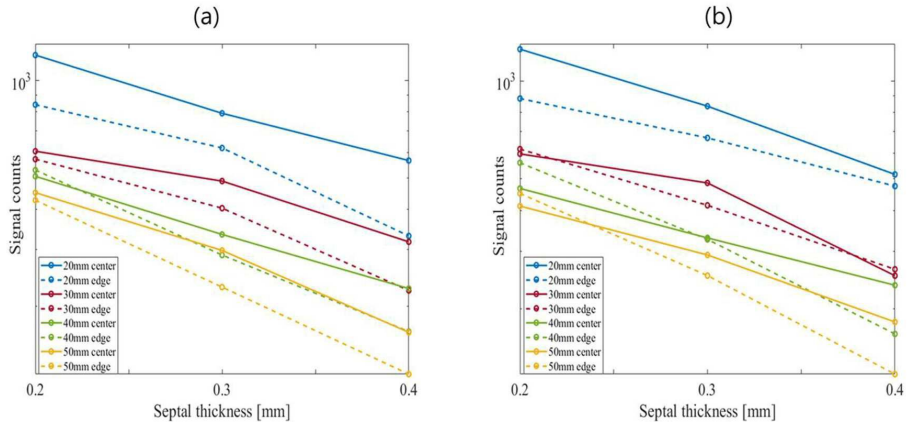
도면10



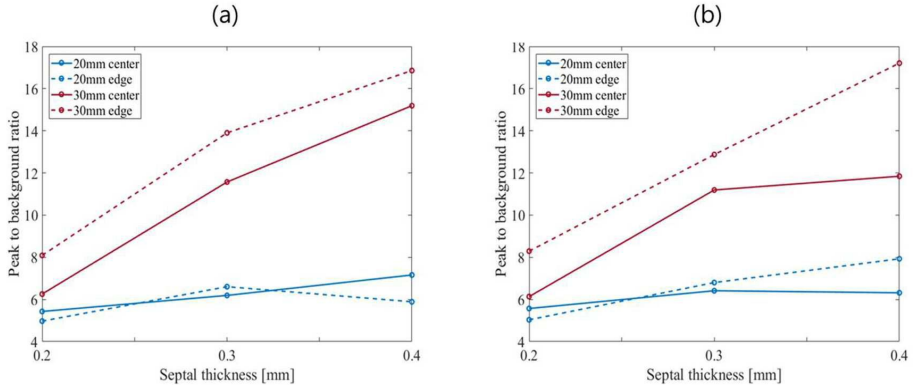
도면11



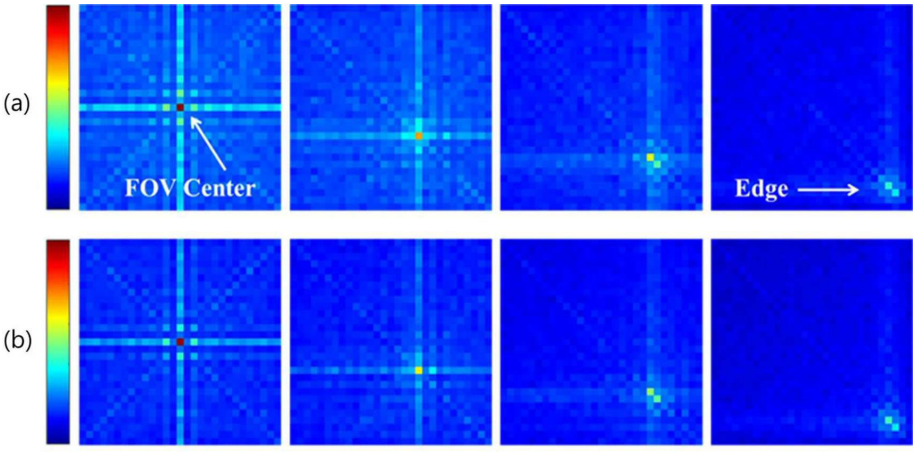
도면12



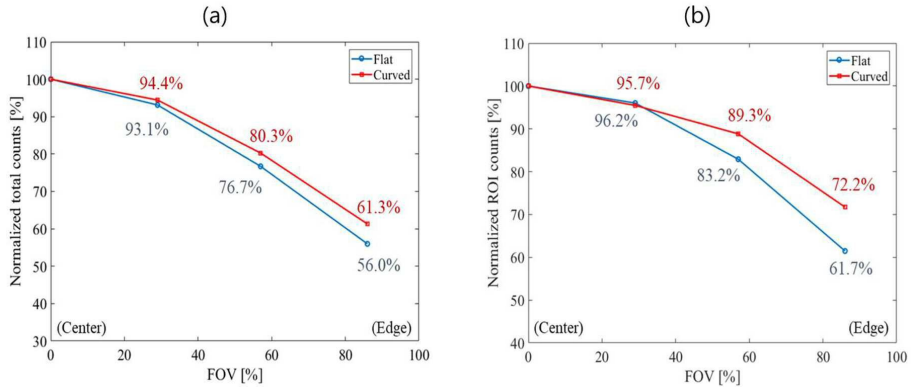
도면13



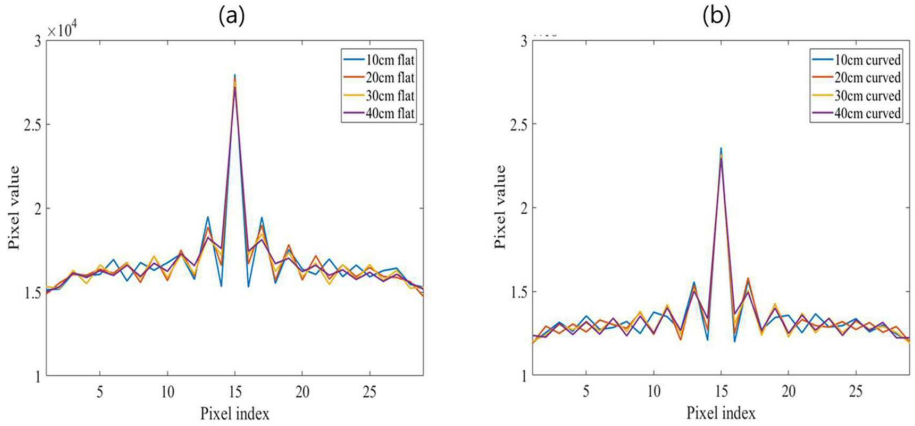
도면14



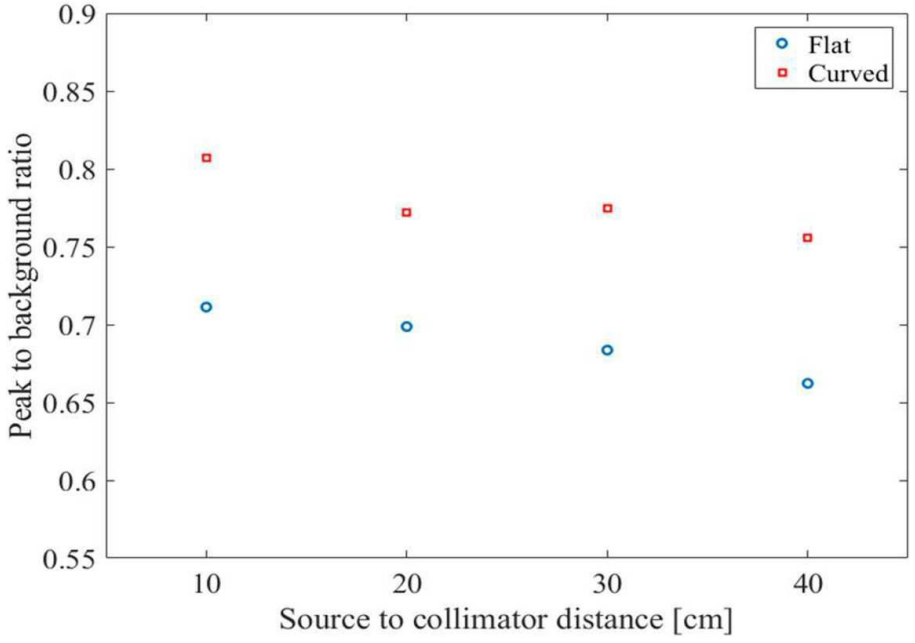
도면15



도면16

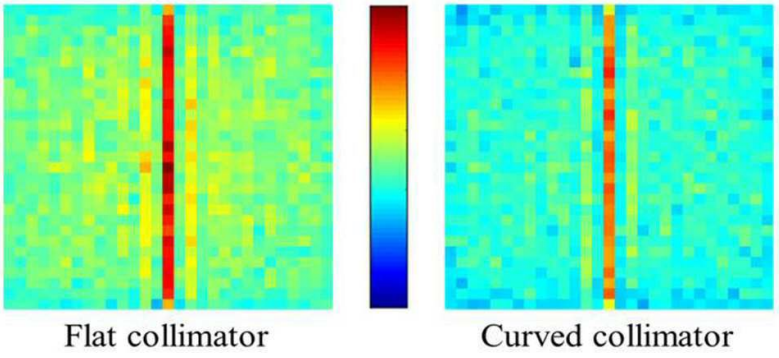


도면17

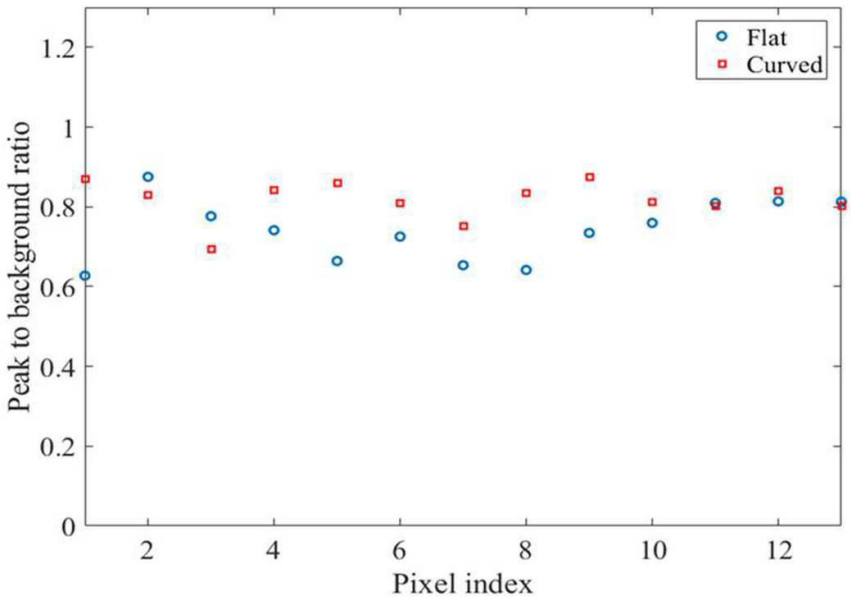


도면18

(a)


Flat collimator
Curved collimator

(b)


Flat
Curved
Peak to background ratio
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
2
4
6
8
10
12
Pixel index