

컴프턴 산란에 기반한 감마선원 3차원 영상화 기술

서희 · 박진형 · 김찬형* · 이주한[†] · 이춘식[†] · 이재성[‡]
한양대학교 · 중앙대학교[†] · 서울대학교[‡]

*E-mail: chkim@hanyang.ac.kr

중심어 (keyword) : 컴프턴 카메라, 양면 실리콘 스트립 검출기, NaI(Tl) 섬광 검출기, 동시계수

서론

감마선 또는 엑스선(이하, '광자'라 칭함)을 이용한 영상장치는 크게 두 가지로 나누어 볼 수 있다. 즉, 전산화 단층촬영(computed tomography, CT)이나 흉부 X선 촬영과 같이 인체의 외부에서 광자를 조사한 후 대상체를 투과하여 나오는 광자를 계측하여 영상화하는 투과영상기법(transmission imaging)이 그 하나이고, 단일 광자 방출 전산화 단층촬영(single photon emission computed tomography, SPECT)이나 양전자 방출 단층촬영(positron emission tomography, PET)과 같이 인체의 내부에 광자를 방출하는 선원을 삽입한 후 인체 내부에서 나오는 광자를 외부에서 계측하여 영상화하는 방출영상기법(emission imaging)이 다른 하나이다. 투과영상기법의 경우 인체의 해부학적 정보를 잘 보여준다는 장점이 있으나, 방출영상기법은 인체의 기능적 정보를 제공할 수 있다는 장점이 있다.

컴프턴 카메라는 광자의 컴프턴 산란에 기반하는 신개념의 방출영상장치이다. 컴프턴 영상기법은 물리적 집속기를 사용하는 기존의 영상기법이 가진 한계들을 극복할 수 있어서 다양한 분야에서 활용 가능성을 보이고 있다. 컴프턴 카메라의 중요한 특징 중 하나는 한 쪽 방향의 고정된 위치에서 선원의 3차원적 분포를 영상화할 수 있다는 점이다. 본 연구에서는 컴프턴 카메라를 이용하여 3차원 공간상에 위치한 감마선원에 대한 영상을 고정된 위치에서 획득함으로써 컴프턴 카메라의 중요한 특성을 실증하고자 한다.

재료 및 방법

컴프턴 카메라는 일반적으로 두 개의 위치 민감형 방사선 검출기를 사용한다. 선원 방향으로 앞에 위치한 검출기(scatterer)에서는 선원에서 발생한 광자가 컴프턴 산란을 일으킨 3차원적 위치와 이 때 전달된 에너지를 측정한다. 이 후 뒤에 있는 검출기(absorber)에서 산란된 광자를 완전히 흡수시켜, 흡수된 위치와 광자의 잔여 에너지를 측정한다. 이렇게 네 가지의 물리량을 단일광자에 대해서 정확히 결정할 수 있다면, 감마선의 궤적을 추적할 수 있으며 감마선원의 삼차원적 분포를 고정된 위치에서 고감도로 영상화할 수 있다(그림 1).

본 연구에서는 산란부 두 대와 흡수부 하나로 이루어진 이중 산란형 컴프턴 카메라를 이용하여 감마선원의 영상을 획득하였다. 산란부 검출기로는 양면에

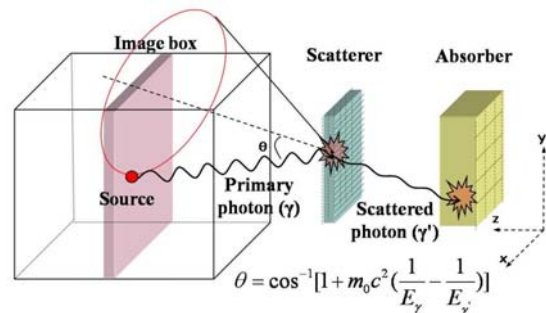


그림 1. 컴프턴 카메라 영상원리. 두 개의 검출기에서 광자가 반응한 위치와 에너지를 측정하여, 두 반응위치를 직선으로 연결하여 타원추의 축으로 결정하고, 타원추의 반각은 컴프턴 산란공식을 이용하여 결정한다. 여러개의 타원추가 3차원 공간상에서 겹치는 지점을 선원의 위치로 추정한다.

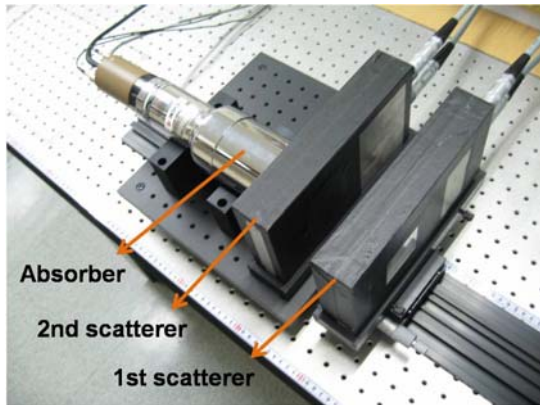


그림 2. 프로토타입 이중 산란형 컴프턴 카메라.

16개씩의 스트립이 수직하게 입혀져 있는 양면 실리콘 스트립 검출기($5 \times 5 \times 0.15 \text{ cm}^3$, Micron Semiconductor, UK) 두 대를 사용하였고, 흡수부 검출기로는 NaI(Tl) 섬광 검출기(3 in. \times 3 in., ORTEC, USA)를 사용하였다. 그림 2는 제작된 프로토타입 이중 산란형 컴프턴 카메라를 보여주고 있다.

선원으로는 양전자를 방출하는 점선원 형태의 ^{22}Na 선원을 사용하였으며, 선원거리는 3.7 cm이다. 영상재구성은 통계적 기법인 기댓값 최대화(expectation maximization, EM) 알고리즘을 사용하였다.

결과 및 고찰

동시계수기법을 이용하여 이중 산란형 컴프턴 카메라를 구성하는 세 개의 방사선 검출기에서 동시에 반응이 일어난 경우에만 데이터를 기록하였으며, 이 중 우연한 동시반응들은 에너지 게이트($511 \text{ keV} \pm 51 \text{ keV}$)를 통하여 제거하여 주었다. 10시간의 영상 실험을 통해 511 keV에 대한 762개의 유효반응을 획득하였으며, 이 유효반응을 사용하여 예상되는 선원위치를 중심으로 $5 \times 5 \times 2.5 \text{ cm}^3$ 의 3차원 공간상에 영상재구성을 실시하였다. 영상공간의 복셀수는 $64 \times 64 \times 32$ 개이며, 사이즈는 한 변이 0.078 cm이다. EM 알고리즘을 이용하여 재구성된 3차원 볼륨데이터는 Geant4 toolkit에 연결된 OpenInventorX (OIX) visualization driver를 사용하여 가시화하였다. 그림 3은 이중 산란형 컴프턴 카메라를 통해 실험적으로 획득한 데이터를 3차원 공간상에 영상 재구성을 실시하여 획득한 컴프턴 영상

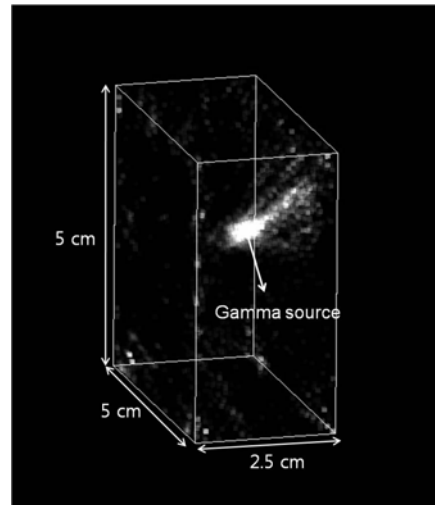


그림 3. ^{22}Na 에서 발생한 양전자의 3차원적 분포에 대한 컴프턴 영상.

이다. 재구성 결과 영상의 우측, 즉 컴프턴 카메라 방향으로 잡음이 다소 존재하였다. 이는 구성 검출기의 에너지 분해능이 저조하여 에너지 게이트를 넓게 잡아줄 수 밖에 없었는데, 이로 인해 우연한 동시반응들이 완전히 걸러지지 않았기 때문이다. 또한 ^{22}Na 선원은 양전자와 함께 1275 keV의 감마선을 방출하는데, 이 감마선에 의한 반응이 우연히 511 keV 에너지 게이트에 들어와서 영상의 잡음으로 작용하였기 때문이다.

결론

본 연구에서는 프로토타입 이중 산란형 컴프턴 카메라를 이용하여 감마선원에 대한 3차원적인 분포를 고정된 위치에서 획득하였다. 이러한 컴프턴 카메라의 중요한 특성은 대형 원자력 시설 해체 시 콘크리트 벽 안에 존재하는 방사화된 철근의 위치 및 분포를 3차원적으로 정밀하게 결정할 때 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 기초공동연구소 사업(BAERI, M20508050003-05B0805-00310)과 지식경제부(2008-P-EP-HM-E-06-0000) 및 선광원자력의 지원으로 수행되었습니다.