



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2016년12월12일
(11) 등록번호 10-1682088
(24) 등록일자 2016년11월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01T 1/169 (2006.01) G01T 1/20 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2014-0194939
(22) 출원일자 2014년12월31일
심사청구일자 2014년12월31일
(65) 공개번호 10-2016-0081307
(43) 공개일자 2016년07월08일
(56) 선행기술조사문헌
JP2002357661 A*
KR101206005 B1*
KR1020100033175 A*
KR101094159 B1
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
김기현
서울특별시 성동구 독서당로 156, 3동 101호 (옥수동, 한남하이츠아파트)
박문규
경기도 용인시 수지구 문정로7번길 22 (풍덕천동)
(74) 대리인
홍성욱, 심경식

전체 청구항 수 : 총 13 항

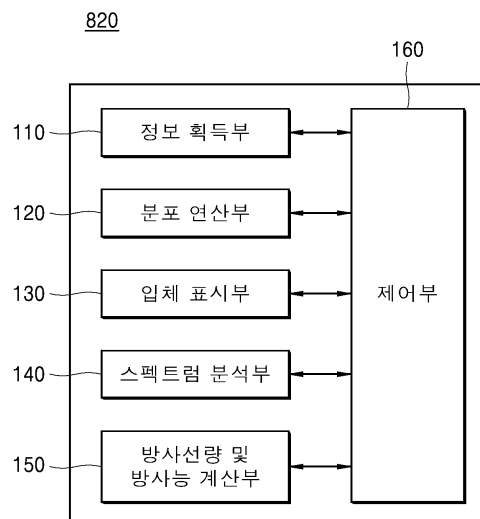
심사관 : 전형태

(54) 발명의 명칭 방사선원의 3차원 영상 처리 장치 및 방법

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 따른 방사선원의 3차원 영상 처리 장치는 방사선원으로부터 감마선 영상 정보를 획득하는 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기를 구비하고, 상기 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기를 이용하여, 감마선의 각 반응 위치 및 상기 각 반응 위치에서의 반응을 통해 상기 3차원 위치 민감형 방사선 검출기로 전달되는 각 에너지를 획득하는 정보 획득부; 상기 감마선의 첫 번째 콤프턴 산란 반응 위치와 두 번째 반응 위치에 따른 방향벡터 및 상기 각 에너지를 모두 합산한 총 에너지 값에 기초하여, 상기 방사선원이 존재할 수 있는 확률을 가진 복수의 원뿔형 기하체를 도출하고, 상기 복수의 원뿔형 기하체 각각의 배치 관계에 따른 가중치 값에 기초하여 상기 방사선원의 공간적 분포를 계산하는 분포 연산부; 및 상기 방사선원의 공간적 분포를 시각화하여 입체적으로 표시하는 입체 표시부를 포함한다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

정해용

대전광역시 동구 계족로140번길 33, 102동 1102호
(대동, 펜타뷰)

정우식

경기도 남양주시 순화궁로 384, 2405동 502호 (별
내동, 대원 칸타빌)

박창제

서울특별시 광진구 동일로32길 20, 602호 (군자동)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1075000238

부처명 원자력안전위원회

연구관리전문기관 한국원자력안전재단

연구사업명 핵활동탐지 및 안전조치기술개발사업

연구과제명 신호 파형 분석 및 회전 변조 집속기 기반 감마선/ 중성자 이중영상 장비를 이용한 핵안보
기반 기술 개발

기 여 율 1/1

주관기관 세종대학교 산학협력단

연구기간 2014.12.01 ~ 2017.09.30

명세서

청구범위

청구항 1

방사선원으로부터 감마선 영상 정보를 획득하는 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기를 구비하고, 상기 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기를 이용하여, 감마선의 각 반응 위치 및 상기 각 반응 위치에서의 반응을 통해 상기 3차원 위치 민감형 방사선 검출기로 전달되는 각 에너지를 획득하는 정보 획득부;

상기 감마선의 첫번째 컴프턴 산란 반응의 위치와 두 번째 반응 위치에 따른 방향벡터, 및 상기 각 에너지를 모두 합산한 총 에너지 값에 기초하여, 상기 방사선원이 존재할 수 있는 확률을 가진 복수의 원뿔형 기하체를 도출하고, 상기 복수의 원뿔형 기하체 각각의 배치 관계에 따른 가중치 값에 기초하여 상기 방사선원의 공간적 분포를 계산하는 분포 연산부; 및

상기 방사선원의 공간적 분포를 시각화하여 입체적으로 표시하는 입체 표시부를 포함하고,

상기 총 에너지 값에 대한 스펙트럼 분석을 통해 상기 총 에너지 값에 관한 분포 밀도 함수를 분포 스펙트럼 형태로 생성하는 스펙트럼 분석부를 더 포함하고,

상기 입체 표시부는 사전에 구축된 핵종 정보 및 상기 분포 스펙트럼 형태의 상기 분포 밀도 함수를 이용하여 해당 핵종 정보를 표시하고,

상기 스펙트럼 분석부는 상기 총 에너지 값을 사용자가 필요로 하는 복수의 채널 수에 따라 분류하고, 감마선의 각 반응에 따라 해당 채널의 카운트 수를 증가시키며, 상기 각 채널별 카운트 수에 기초하여 상기 분포 밀도 함수를 상기 분포 스펙트럼 형태로 생성하고,

복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기는 복수의 무선 조종 비행기에 탑재되거나 복수의 무선 조종 육상 기기에 탑재되어 육상 및 공중을 막론한 3차원 공간 내의 어느 위치에서나 상기 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기를 통해 상기 감마선 영상 정보를 획득하는 것을 특징으로 하는 방사선원의 3차원 영상 처리 장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 정보 획득부는

상기 감마선의 첫 번째 반응 위치 및 첫 번째 반응(산란)을 통해 상기 3차원 위치 민감형 방사선 검출기로 전달되는 에너지를 획득하고, 상기 감마선의 두 번째 반응 위치 및 두 번째 반응(산란 또는 광전 흡수)을 통해 상기 3차원 위치 민감형 방사선 검출기로 전달되는 에너지를 획득하는 과정을 상기 감마선의 반응이 더 이상 일어나지 않을 때까지 N (N 은 2 이상의 자연수)번 반복하는 것을 특징으로 하는 방사선원의 3차원 영상 처리 장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 분포 연산부는

N 번째 반응 위치까지 연산을 반복하여, 반응 순서에 따라 이웃하는 두 반응 위치 간의 차이에 따른 각 방향 벡터를 산출하고, 상기 첫 번째 반응부터 상기 N 번째 반응까지의 각 에너지를 모두 합산하여 상기 총 에너지 값을 산출하며, 상기 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기로 입사된 각각의 방사선 양자(quantum)가 일으키는 이벤트들에 대하여 첫 번째 컴프턴 산란 반응과 두 번째 반응에 의해 기술되는 상기 방향벡터와 상기 총 에너지 값에 기초하여, 상기 방향벡터에 대해 산출된 각도를 가지는 복수의 원뿔형 기하체를 도출하는 것을 특징으로 하는 방사선원의 3차원 영상 처리 장치.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 분포 연산부는

상기 복수의 원뿔형 기하체 각각의 배치 관계에 따라 상기 원뿔형 기하체의 옆면 꺾질이 겹치는 부분들에 대해 가중치 값을 부여하고, 상기 복수의 원뿔형 기하체상에서의 상기 가중치 값의 분포에 기초하여 상기 방사선원의 공간적 분포를 계산하는 것을 특징으로 하는 방사선원의 3차원 영상 처리 장치.

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

방사선원으로부터 감마선 영상 정보를 획득하는 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기를 구비하고, 상기 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기를 이용하여, 감마선의 각 반응 위치 및 상기 각 반응 위치에서의 반응을 통해 상기 3차원 위치 민감형 방사선 검출기로 전달되는 각 에너지를 획득하는 정보 획득부;

상기 감마선의 반응을 나타내는 이벤트가 발생할 확률을 계산하고, 상기 각 반응 위치 및 상기 각 에너지에 대해 상기 확률을 극대화시키는 이벤트에 기초하여 상기 방사선원의 위치에 대한 확률 분포를 계산하는 분포 연산부; 및

상기 확률 분포에 따른 상기 방사선원의 공간적 분포를 시각화하여 입체적으로 표시하는 입체 표시부를 포함하고,

상기 분포 연산부는 N번째 반응 위치까지 연산을 반복하여, 반응 순서에 따라 이웃하는 두 반응 위치 간의 차이에 따른 각 방향 벡터를 산출하고, 상기 첫 번째 반응부터 상기 N번째 반응까지의 각 에너지를 모두 합산하여 총 에너지 값을 산출하며, 영상화하고자 하는 공간을 확률 변수를 기반으로 하는 3차원 공간 좌표계를 이용하여 설정하고, 상기 공간을 단위 공간을 이용하여 구분하여 상기 단위 공간에서 방출된 감마선이 상기 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기에 도달하여 상기 이벤트를 형성하게 되는 가능한 모든 경우에 대한 확률을 계산하고,

상기 분포 연산부는 상기 확률을 극대화시키는 이벤트를 찾아 3차원 입체 공간상에 표시하여 상기 방사선원의 위치에 따른 확률 분포를 계산하는 것을 특징으로 하는 방사선원의 3차원 영상 처리 장치.

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

청구항 11

제8항에 있어서,

상기 입체 표시부는

상기 확률 분포를 색깔 차이 또는 명암 차이에 기초하여 구분 처리함으로써 상기 방사선원의 공간적 분포를 시각화하여 입체적으로 표시하는 것을 특징으로 하는 방사선원의 3차원 영상 처리 장치.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 입체 표시부는

상기 방사선원의 공간적 분포를 3차원의 지물, 지형, 형상들에 대한 가시적 영상에 결합, 중첩시켜 표시하는 것을 특징으로 하는 방사선원의 3차원 영상 처리 장치.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 방사선원의 공간적 분포와 방사선 에너지 분포 스펙트럼으로부터 조사선량, 흡수선량 분포 및 방사능의 강도를 계산하는 방사선량 및 방사능 계산부

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방사선원의 3차원 영상 처리 장치.

청구항 14

3차원 영상 처리 장치의 정보 획득부에서, 방사선원으로부터 감마선 영상 정보를 획득하는 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기를 이용하여, 감마선의 각 반응 위치 및 상기 각 반응 위치에서의 반응을 통해 상기 3차원 위치 민감형 방사선 검출기로 전달되는 각 에너지를 획득하는 단계;

상기 3차원 영상 처리 장치의 분포 연산부에서, 상기 감마선의 첫번째 콤프턴 산란 반응의 위치와 두 번째 반응 위치에 따른 방향벡터 및 상기 각 에너지를 모두 합산한 총 에너지 값에 기초하여, 상기 방사선원이 존재할 수 있는 확률을 가진 복수의 원뿔형 기하체를 도출하는 단계;

상기 3차원 영상 처리 장치의 분포 연산부에서, 상기 복수의 원뿔형 기하체 각각의 배치 관계에 따른 가중치 값에 기초하여 상기 방사선원의 공간적 분포를 계산하는 단계; 및

상기 3차원 영상 처리 장치의 입체 표시부에서, 상기 방사선원의 공간적 분포를 시각화하여 입체적으로 표시하는 단계고,

상기 3차원 영상 처리 장치의 스펙트럼 분석부에서, 상기 총 에너지 값에 대한 스펙트럼 분석을 통해 상기 총 에너지 값에 관한 분포 밀도 함수를 분포 스펙트럼 형태로 생성하는 단계; 및

상기 입체 표시부에서, 사전에 구축된 핵종 정보 및 상기 분포 스펙트럼 형태의 상기 분포 밀도 함수를 이용하여 해당 핵종 정보를 표시하는 단계를 더 포함하고,

상기 분포 밀도 함수를 분포 스펙트럼 형태로 생성하는 단계는

상기 총 에너지 값을 사용자가 필요로 하는 복수의 채널 수에 따라 분류하는 단계;

감마선의 각 반응에 따라 해당 채널의 카운트 수를 증가시키는 단계; 및

상기 각 채널별 카운트 수에 기초하여 상기 분포 밀도 함수를 상기 분포 스펙트럼 형태로 생성하는 단계를 포함하고,

복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기는 복수의 무선 조종 비행기에 탑재되거나 복수의 무선 조종 육상 기기에 탑재되어 육상 및 공중을 막론한 3차원 공간 내의 어느 위치에서나 상기 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기를 통해 상기 감마선 영상 정보를 획득하는 것을 특징으로 하는 방사선원의 3차원 영상 처리 방법.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 복수의 원뿔형 기하체를 도출하는 단계는

N번째 반응 위치까지 연산을 반복하여, 반응 순서에 따라 이웃하는 두 반응 위치 간의 차이에 따른 각 방향 벡터를 산출하는 단계;

상기 첫 번째 반응부터 상기 N번째 반응까지의 각 에너지를 모두 합산하여 상기 총 에너지 값을 산출하는 단계; 및

상기 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기로 입사된 각각의 방사선 양자(quantum)가 일으키는 이벤트들에 대하여 첫 번째 콤프턴 산란 반응과 두 번째 반응에 의해 기술되는 상기 방향벡터와 상기 총 에너지 값에 기초하여, 상기 방향벡터에 대해 산출된 각도를 가지는 복수의 원뿔형 기하체를 도출하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 방사선원의 3차원 영상 처리 방법.

청구항 16

제15항에 있어서,

상기 방사선원의 공간적 분포를 계산하는 단계는

상기 복수의 원뿔형 기하체 각각의 배치 관계에 따라 상기 원뿔형 기하체의 옆면 꺾임이 서로 겹치는 부분들에 대해 가중치 값을 부여하는 단계; 및

상기 복수의 원뿔형 기하체상에서의 상기 가중치 값의 분포에 기초하여 상기 방사선원의 공간적 분포를 계산하는 단계

를 포함하는 것을 특징으로 하는 방사선원의 3차원 영상 처리 방법.

청구항 17

삭제

청구항 18

삭제

청구항 19

제14항에 있어서,

상기 3차원 영상 처리 장치의 방사선량 및 방사능 계산부에서, 상기 방사선원의 공간적 분포와, 스펙트럼 분석부에 의해 생성된 방사선 에너지 분포 스펙트럼으로부터 조사선량, 흡수선량 분포 및 방사능의 강도를 계산하는 단계

를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 방사선원의 3차원 영상 처리 방법.

청구항 20

3차원 영상 처리 장치의 정보 획득부에서, 방사선원으로부터 감마선 영상 정보를 획득하는 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기를 이용하여, 감마선의 각 반응 위치 및 상기 각 반응 위치에서의 반응을 통해 상기 3차원 위치 민감형 방사선 검출기로 전달되는 각 에너지를 획득하는 단계;

상기 3차원 영상 처리 장치의 분포 연산부에서, 상기 감마선의 반응을 나타내는 이벤트가 발생할 확률을 계산하

는 단계;

상기 3차원 영상 처리 장치의 분포 연산부에서, 상기 각 반응 위치 및 상기 각 에너지에 대해 상기 확률을 극대화시키는 이벤트에 기초하여 상기 방사선원의 위치에 대한 확률 분포를 계산하는 단계; 및

상기 3차원 영상 처리 장치의 입체 표시부에서, 상기 확률 분포에 따른 상기 방사선원의 공간적 분포를 시각화하여 입체적으로 표시하는 단계를 포함하고,

상기 이벤트가 발생할 확률을 계산하는 단계는

N번째 반응 위치까지 연산을 반복하여, 반응 순서에 따라 이웃하는 두 반응 위치 간의 차이에 따른 각 방향 벡터를 산출하는 단계;

상기 첫 번째 반응부터 상기 N번째 반응까지의 각 에너지를 모두 합산하여 총 에너지 값을 산출하는 단계;

영상화하고자 하는 공간을 확률 변수를 기반으로 하는 3차원 공간 좌표계를 이용하여 설정하는 단계; 및

상기 공간을 단위 공간을 이용하여 구분하여 상기 단위 공간에서 방출된 감마선이 상기 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기에 도달하여 상기 이벤트를 형성하게 되는 가능한 모든 경우에 대한 확률을 계산하는 단계를 포함하고,

상기 방사선원의 위치에 대한 확률 분포를 계산하는 단계는

상기 확률을 극대화시키는 이벤트를 찾아 3차원 입체 공간상에 표시하여 상기 방사선원의 위치에 따른 확률 분포를 계산하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 방사선원의 3차원 영상 처리 방법.

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명의 실시예들은 감마선 영상 장치를 이용하여 미지의 방사선원에 대한 공간적 분포 및 핵종에 관한 정보를 획득하여 시각화할 수 있는 방사선원의 3차원 영상 처리 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 2011년 후쿠시마 원전 사고로 인하여 전 세계적으로 방사능에 대한 관심이 고조된 상태이고, 방사성 물질로 오염된 물체 및 지역의 방사능을 정확하게 측정하고 분석하는데 필요한 정밀한 방사선 검출기 개발에 대한 요구가 비약적으로 증가하고 있다. 현재 일본은 후쿠시마 원전 사고 이후 방사성 물질로 오염된 환경을 원래대로 복원하기 위해 기존의 방사선 검출기 및 방사능 측정 시스템을 활용하고 있으나, 오염 지역이 너무 광범위하고, 방사선 작업 종사자가 직접 검출기를 들고 오염 지역을 구석구석 찾아 다니며 오염 물질을 찾아내야만 하는 기존 시스템의 한계로 인해, 해결에 큰 어려움을 겪고 있다. 그러므로, 단시간에 넓은 오염 지역을 측정하여 오염 정도를 정량화 할 수 있고, 오염된 영역과 오염되지 않은 영역을 정확하게 분리해 낼 수 있는 신개념의 방사선 측정 기술 개발이 필요하다.

[0003] 방사선 응용 기술의 발전과 함께 방사선 사용에 대한 수요가 계속적으로 증가하는 추세이며, 이와 관련하여 인간의 감각으로 즉시 감지할 수 없는 방사선의 안전한 사용에 대한 요구도 증대되고 있다. 특히, 방사선이 상시적으로 이용되는 장소에서 미지 혹은 분실 방사선원을 찾기 위한 방법이 꾸준히 개발되어 왔으나, 이런 노력에도 불구하고 여전히 미지의 방사선원을 찾는 것은 많은 시간과 노력이 필요한 실정이며, 원자력발전소와 같이 방사선원에 상시적으로 노출될 가능성이 있는 지역에서 작업종사자들의 안전을 위하여 방사선원에 대한 감시 및

이동을 탐지할 수 있는 방사선원 위치 탐지 기술 개발이 꼭 필요한 실정이다.

- [0004] 미국은 방사선에 의한 테러를 방지하고, 국경 및 항만에서의 핵물질 밀반입(출)을 효과적으로 차단하기 위해 방사선 위치추적 검출기에 대한 연구를 지속적으로 수행하여 왔다. 미국 국방부로부터 장기 연구 지원을 받은 미시간대학교는 상온반도체를 이용한 방사선 탐지 및 감마선 영상 기술을 비약적으로 발전시키고 이를 상용화하여, 현재 전 세계적으로 감마선 영상 장치를 공급할 수 있게 되었다. 방사선 위치추적 검출기는 최초 테러방지 및 방사선 작업종사자의 방사선 안전에 도움이 되는 기본적 목적 외에 산업적으로도 기술적 파급력이 매우 큰 기술이다. 현재 전 세계적으로 감마선 영상 장치를 의료 및 산업에 응용하려는 연구가 활발히 진행되고 있다.
- [0005] 관련 선행기술로는 대한민국 등록특허공보 제10-0251064호(발명의 명칭: 방사선 분포 3차원 측정장치 및 방법, 등록일자: 2000년 1월 10일)가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 본 발명의 일 실시예는 복수의 컴프턴 산란 방식의 감마선 영상 장치(3차원 위치 민감형 방사선 검출기)를 이용하여 미지의 방사선원에 대한 공간적 분포를 3차원적으로 구현하는 동시에 핵종 및 방사능에 관한 정보를 파악할 수 있는 방사선원의 3차원 영상 처리 장치 및 방법을 제공한다.
- [0007] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 과제(들)로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제(들)는 아래의 기재로부터 당업자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0008] 본 발명의 일 실시예에 따른 방사선원의 3차원 영상 처리 장치는 방사선원으로부터 감마선 영상 정보를 획득하는 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기를 구비하고, 상기 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기를 이용하여, 감마선의 각 반응 위치 및 상기 각 반응 위치에서의 반응을 통해 상기 3차원 위치 민감형 방사선 검출기로 전달되는 각 에너지를 획득하는 정보 획득부; 상기 감마선의 첫번째 컴프턴 산란 반응 위치와 두 번째 반응 위치에 따른 방향벡터, 및 상기 각 에너지를 모두 합산한 총 에너지 값에 기초하여, 상기 방사선원이 존재할 수 있는 확률을 가진 복수의 원뿔형 기하체를 도출하고, 상기 복수의 원뿔형 기하체 각각의 배치 관계에 따른 가중치 값에 기초하여 상기 방사선원의 공간적 분포를 계산하는 분포 연산부; 및 상기 방사선원의 공간적 분포를 시각화하여 입체적으로 표시하는 입체 표시부를 포함한다.
- [0009] 상기 정보 획득부는 상기 감마선의 첫 번째 반응 위치 및 첫 번째 반응(산란)을 통해 상기 3차원 위치 민감형 방사선 검출기로 전달되는 에너지를 획득하고, 상기 감마선의 두 번째 반응 위치 및 두 번째 반응(산란 또는 광전 흡수)을 통해 상기 3차원 위치 민감형 방사선 검출기로 전달되는 에너지를 획득하는 과정을 상기 감마선의 반응이 더 이상 일어나지 않을 때까지 N (N 은 2 이상의 자연수)번 반복할 수 있다.
- [0010] 상기 분포 연산부는 N 번째 반응 위치까지 연산을 반복하여, 반응 순서에 따라 이웃하는 두 반응 위치 간의 차이에 따른 각 방향 벡터를 산출하고, 상기 첫 번째 반응부터 상기 N 번째 반응까지의 각 에너지를 모두 합산하여 상기 총 에너지 값을 산출하며, 검출기 내로 입사된 각각의 방사선 양자(quantum)가 일으키는 이벤트들에 대하여 첫 번째 컴프턴 산란 반응과 두 번째 반응에 의해 기술되는 방향벡터(r_{12})와 총 에너지 값에 기초하여 상기 방향벡터에 대해 산출된 각도를 가지는 복수의 원뿔형 기하체를 도출할 수 있다.
- [0011] 상기 분포 연산부는 상기 복수의 원뿔형 기하체 각각의 배치 관계에 따라 상기 원뿔형 기하체의 옆면 꺾임이 서로 겹치는 부분들에 대해 가중치 값을 부여하고, 상기 복수의 원뿔형 기하체상에서의 상기 가중치 값의 분포에 기초하여 상기 방사선원의 공간적 분포를 계산할 수 있다.
- [0012] 본 발명의 일 실시예에 따른 방사선원의 3차원 영상 처리 장치는 상기 총 에너지 값에 대한 스펙트럼 분석을 통해 상기 총 에너지 값에 관한 분포 밀도 함수를 분포 스펙트럼 형태로 생성하는 스펙트럼 분석부를 더

포함하고, 상기 입체 표시부는 사전에 구축된 핵종 정보 및 상기 분포 스펙트럼 형태의 상기 분포 밀도 함수를 이용하여 해당 핵종 정보를 표시할 수 있다.

- [0013] 상기 스펙트럼 분석부는 상기 총 에너지 값을 사용자가 필요로 하는 복수의 채널 수에 따라 분류하고, 감마선의 각 반응에 따라 해당 채널의 카운트 수를 증가시키며, 상기 각 채널별 카운트 수에 기초하여 상기 분포 밀도 함수를 상기 분포 스펙트럼 형태로 생성할 수 있다.
- [0014] 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기는 복수의 무선 조종 비행기에 탑재되거나 복수의 무선 조종 육상 기기에 탑재되어 육상 및 공중을 막론한 3차원 공간 내의 어느 위치에서나 복수개의 검출기를 통해 상기 감마선 영상 정보를 획득할 수 있다.
- [0015] 본 발명의 다른 실시예에 따른 방사선원의 3차원 영상 처리 장치는 방사선원으로부터 감마선 영상 정보를 획득하는 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기를 구비하고, 상기 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기를 이용하여, 감마선의 각 반응 위치 및 상기 각 반응 위치에서의 반응을 통해 상기 3차원 위치 민감형 방사선 검출기로 전달되는 각 에너지를 획득하는 정보 획득부; 상기 감마선의 반응을 나타내는 이벤트가 발생할 확률을 계산하고, 상기 각 반응 위치 및 상기 각 에너지에 대해 상기 확률을 극대화시키는 이벤트에 기초하여 상기 방사선원의 위치에 대한 확률 분포를 계산하는 분포 연산부; 및 상기 확률 분포에 따른 상기 방사선원의 공간적 분포를 시각화하여 입체적으로 표시하는 입체 표시부를 포함한다.
- [0016] 상기 분포 연산부는 N번째 반응 위치까지 연산을 반복하여, 반응 순서에 따라 이웃하는 두 반응 위치 간의 차이에 따른 각 방향 벡터를 산출하고, 상기 첫 번째 반응부터 상기 N번째 반응까지의 각 에너지를 모두 합산하여 상기 총 에너지 값을 산출하며, 영상화하고자 하는 공간을 확률 변수를 기반으로 하는 3차원 공간 좌표계를 이용하여 설정하고, 상기 공간을 단위 공간을 이용하여 구분하여 상기 단위 공간에서 방출된 감마선이 상기 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기에 도달하여 상기 이벤트를 형성하게 되는 가능한 모든 경우에 대한 확률을 계산할 수 있다.
- [0017] 상기 분포 연산부는 상기 확률을 극대화시키는 이벤트를 찾아 3차원 입체 공간상에 표시하여 상기 방사선원의 위치에 따른 확률 분포를 계산할 수 있다.
- [0018] 상기 입체 표시부는 상기 확률 분포를 색깔 차이 또는 명암 차이에 기초하여 구분 처리함으로써 상기 방사선원의 공간적 분포를 시각화하여 입체적으로 표시할 수 있다.
- [0019] 상기 입체 표시부는 상기 방사선원의 공간적 분포를 3차원의 지물, 지형, 형상들에 대한 가시적 영상에 결합, 중첩시켜 표시할 수 있다.
- [0020] 본 발명의 다른 실시예에 따른 방사선원의 3차원 영상 처리 장치는 상기 방사선원의 공간적 분포와 방사선 에너지 분포 스펙트럼으로부터 조사선량, 흡수선량 분포 및 방사능의 강도를 계산하는 방사선량 및 방사능 계산부를 더 포함할 수 있다.
- [0021] 본 발명의 일 실시예에 따른 방사선원의 3차원 영상 처리 방법은 3차원 영상 처리 장치의 정보 획득부에서, 방사선원으로부터 감마선 영상 정보를 획득하는 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기를 이용하여, 감마선의 각 반응 위치 및 상기 각 반응 위치에서의 반응을 통해 상기 3차원 위치 민감형 방사선 검출기로 전달되는 각 에너지를 획득하는 단계; 상기 3차원 영상 처리 장치의 분포 연산부에서, 상기 각 반응 위치의 차이에 따른 방향 벡터 및 상기 각 에너지를 모두 합산한 총 에너지 값에 기초하여, 상기 방사선원이 존재할 수 있는 확률을 가진 복수의 원뿔형 기하체를 도출하는 단계; 상기 3차원 영상 처리 장치의 분포 연산부에서, 상기 복수의 원뿔형 기하체 각각의 배치 관계에 따른 가중치 값에 기초하여 상기 방사선원의 공간적 분포를 계산하는 단계; 및 상기 3차원 영상 처리 장치의 입체 표시부에서, 상기 방사선원의 공간적 분포를 시각화하여 입체적으로 표시하는 단계를 포함한다.
- [0022] 상기 복수의 원뿔형 기하체를 도출하는 단계는 N번째 반응 위치까지 연산을 반복하여, 반응 순서에 따라 이웃하는 두 반응 위치 간의 차이에 따른 각 방향 벡터를 산출하는 단계; 상기 첫 번째 반응부터 상기 N번째 반응까지의 각 에너지를 모두 합산하여 상기 총 에너지 값을 산출하는 단계; 및 상기 각 방향 벡터 및 상기 총 에너지 값에 기초하여 상기 각 방향 벡터에 대해 산출된 각도를 가지는 상기 복수의 원뿔형 기하체를 도출하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0023] 상기 방사선원의 공간적 분포를 계산하는 단계는 상기 복수의 원뿔형 기하체 각각의 배치 관계에 따라 상기 원뿔형 기하체의 옆면 꺾임이 서로 겹치는 부분들에 대해 가중치 값을 부여하는 단계; 및 상기 복수의 원뿔형 기

하체상에서의 상기 가중치 값의 분포에 기초하여 상기 방사선원의 공간적 분포를 계산하는 단계를 포함할 수 있다.

[0024] 본 발명의 일 실시예에 따른 방사선원의 3차원 영상 처리 방법은 상기 3차원 영상 처리 장치의 스펙트럼 분석부에서, 상기 총 에너지 값에 대한 스펙트럼 분석을 통해 상기 총 에너지 값에 관한 분포 밀도 함수를 분포 스펙트럼 형태로 생성하는 단계; 및 상기 입체 표시부에서, 사전에 구축된 핵종 정보 및 상기 분포 스펙트럼 형태의 상기 분포 밀도 함수를 이용하여 해당 핵종 정보를 표시하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0025] 상기 분포 밀도 함수를 분포 스펙트럼 형태로 생성하는 단계는 상기 총 에너지 값을 사용자가 필요로 하는 복수의 채널 수에 따라 분류하는 단계; 감마선의 각 반응에 따라 해당 채널의 카운트 수를 증가시키는 단계; 및 상기 각 채널별 카운트 수에 기초하여 상기 분포 밀도 함수를 상기 분포 스펙트럼 형태로 생성하는 단계를 포함할 수 있다.

[0026] 본 발명의 일 실시예에 따른 방사선원의 3차원 영상 처리 방법은 상기 3차원 영상 처리 장치의 방사선량 및 방사능 계산부에서, 상기 방사선원의 공간적 분포와, 스펙트럼 분석부에 의해 생성된 방사선 에너지 분포 스펙트럼으로부터 조사선량, 흡수선량 분포 및 방사능의 강도를 계산하는 단계를 더 포함할 수 있다.

[0027] 본 발명의 다른 실시예에 따른 방사선원의 3차원 영상 처리 방법은 3차원 영상 처리 장치의 정보 획득부에서, 방사선원으로부터 감마선 영상 정보를 획득하는 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기를 이용하여, 감마선의 각 반응 위치 및 상기 각 반응 위치에서의 반응을 통해 상기 3차원 위치 민감형 방사선 검출기로 전달되는 각 에너지를 획득하는 단계; 상기 3차원 영상 처리 장치의 분포 연산부에서, 상기 감마선의 반응을 나타내는 이벤트가 발생할 확률을 계산하는 단계; 상기 3차원 영상 처리 장치의 분포 연산부에서, 상기 각 반응 위치 및 상기 각 에너지에 대해 상기 확률을 극대화시키는 이벤트에 기초하여 상기 방사선원의 위치에 대한 확률 분포를 계산하는 단계; 및 상기 3차원 영상 처리 장치의 입체 표시부에서, 상기 확률 분포에 따른 상기 방사선원의 공간적 분포를 시각화하여 입체적으로 표시하는 단계를 포함한다.

[0028] 상기 이벤트가 발생할 확률을 계산하는 단계는 N번째 반응 위치까지 연산을 반복하여, 반응 순서에 따라 이웃하는 두 반응 위치 간의 차이에 따른 각 방향 벡터를 산출하는 단계; 상기 첫 번째 반응부터 상기 N번째 반응까지의 각 에너지를 모두 합산하여 상기 총 에너지 값을 산출하는 단계; 영상화하고자 하는 공간을 확률 변수를 기반으로 하는 3차원 공간 좌표계를 이용하여 설정하는 단계; 및 상기 공간을 단위 공간을 이용하여 구분하여 상기 단위 공간에서 방출된 감마선이 상기 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기에 도달하여 상기 이벤트를 형성하게 되는 가능한 모든 경우에 대한 확률을 계산하는 단계를 포함할 수 있다.

[0029] 상기 방사선원의 위치에 대한 확률 분포를 계산하는 단계는 상기 확률을 극대화시키는 이벤트를 찾아 3차원 입체 공간상에 표시하여 상기 방사선원의 위치에 따른 확률 분포를 계산하는 단계를 포함할 수 있다.

[0030] 기타 실시예들의 구체적인 사항들은 상세한 설명 및 첨부 도면들에 포함되어 있다.

발명의 효과

[0031] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 복수의 컴프턴 산란 방식의 감마선 영상 장치(3차원 위치 민감형 방사선 검출기 기반)를 이용하여 미지의 방사선원에 대한 공간적 분포를 3차원적으로 구현할 수 있으며, 이를 통해 방사선량 및 선원의 방사능에 대한 추정을 할 수 있다.

[0032] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기로부터 획득한 감마선의 에너지와 반응 위치 정보를 기반으로, 영상화 알고리즘을 적용하여 방사선원의 위치를 파악하고, 동시에 감마선 에너지 스펙트럼을 분석함으로써 대상 방사선원의 핵종 정보를 파악하여, 대상 지역 내의 방사능에 대한 정보를 종합적으로 분석할 수 있다.

[0033] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 방사선원의 정확한 위치 및 공간적 분포에 대한 정보를 획득하여 방사능 및 선량 정보를 정확히 파악할 수 있으며, 이를 바탕으로 방사성 폐기물 용기의 건전성 검사 및 방사선 관리 구역 내의 사고 시 대처, 의료 영상 기술, 핵안보 및 핵확산 검증을 위한 핵활동 탐지 기술에 응용할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0034] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 방사선원의 3차원 영상 처리 장치를 설명하기 위해 도시한 블록도이다.
- 도 2 및 도 3은 본 발명의 일 실시예에 있어서, 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기의 탑재 대상을 나타낸 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따라 감마선의 반응 위치 및 에너지를 획득하는 과정을 예시적으로 설명하기 위해 도시한 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따라 도출되는 원뿔형 기하체를 이용해 방사선원의 공간적 분포를 계산하는 과정을 예시적으로 설명하기 위해 도시한 도면이다.
- 도 6 및 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따라 방사선원의 공간적 분포를 시각화하여 표시하는 일례를 도시한 도면이다.
- 도 8 내지 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 방사선원의 3차원 영상 처리 방법을 설명하기 위해 도시한 흐름도이다.
- 도 11 내지 도 13은 본 발명의 다른 실시예에 따른 방사선원의 3차원 영상 처리 방법을 설명하기 위해 도시한 흐름도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0035] 본 발명의 이점 및/또는 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 것이며, 단지 본 실시예들은 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 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 구성요소를 지칭한다.
- [0036] 이하에서는 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들을 상세히 설명하기로 한다.
- [0037] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 방사선원의 3차원 영상 처리 장치를 설명하기 위해 도시한 블록도이다.
- [0038] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 방사선원의 3차원 영상 처리 장치(100)는 정보 획득부(110), 분포 연산부(120), 입체 표시부(130), 스펙트럼 분석부(140), 방사선량 및 방사능 계산부(150), 및 제어부(160)를 포함할 수 있다.
- [0039] 상기 정보 획득부(110)는 방사선원으로부터 감마선 영상 정보를 획득하는 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기를 구비할 수 있다.
- [0040] 상기 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기는 도 2에 도시된 바와 같이 복수의 무선 조종 비행기에 탑재되어 공중에서 상기 감마선 영상 정보를 획득할 수 있다. 또 달리, 상기 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기는 도 3에 도시된 바와 같이 복수의 무선 조종 육상 기기에 탑재되어 공중에서 상기 감마선 영상 정보를 획득할 수 있다.
- [0041] 상기 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기는 필요성 및 환경에 따라 같은 역할을 하는 복수 개의 모듈이 각각 다른 위치에 배치되어 구동할 수 있다. 상기 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기가 많이 존재하면 존재할수록, 그 결과물의 성능은 더 뛰어날 것을 기대할 수 있다.
- [0042] 상기 정보 획득부(110)는 상기 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기를 이용하여, 감마선의 각 반응 위치 및 상기 각 반응 위치에서의 반응을 통해 상기 3차원 위치 민감형 방사선 검출기로 전달되는 각 에너지를 획득한다. 상기 정보 획득부(110)가 상기 각 반응 위치 및 각 에너지를 획득하는 과정에 대해 도 4를 참조하여 구체적으로 설명하면 다음과 같다.
- [0043] 즉, 도 4를 참조하면, 상기 정보 획득부(110)는 상기 감마선의 첫 번째 반응 위치($r_1=(x_1, y_1, z_1)$) 및 첫 번째 반응(산란)을 통해 상기 3차원 위치 민감형 방사선 검출기로 전달되는 에너지(E_1)를 획득할 수 있다. 이어서,

상기 정보 획득부(110)는 상기 감마선의 두 번째 반응 위치($r_2=(x_2, y_2, z_2)$) 및 두 번째 반응(산란 또는 광전 흡수)을 통해 상기 3차원 위치 민감형 방사선 검출기로 전달되는 에너지(E_2)를 획득할 수 있다.

[0044] 상기 감마선의 세 번째 반응이 존재할 경우, 상기 정보 획득부(110)는 상기 감마선의 세 번째 반응 위치($r_3=(x_3, y_3, z_3)$) 및 세 번째 반응(산란 또는 광전 흡수)을 통해 상기 3차원 위치 민감형 방사선 검출기로 전달되는 에너지(E_3)를 획득할 수 있다. 이와 같은 방법으로, 상기 정보 획득부(110)는 상기의 과정을 상기 감마선의 반응이 더 이상 일어나지 않을 때까지 N (N 은 2 이상의 자연수)번 반복할 수 있다.

[0045] 상기 분포 연산부(120)는 상기 정보 획득부(110)에 의해 획득된 상기 각 반응 위치 및 상기 각 에너지를 이용하여 상기 방사선원의 3차원적 공간 분포를 연산할 수 있다. 이때, 상기 분포 연산부(120)는 단순 영상화 알고리즘인 SBP(Simple Backprojection Method) 또는 확률 기반 알고리즘인 MLEM(Maximum Likelihood Estimation Maximization) 방법을 이용할 수 있다.

[0046] 이하에서는 본 발명의 일 실시예로서 먼저 상기 SBP 알고리즘을 이용하는 방법을 설명한다.

[0047] 상기 분포 연산부(120)는 상기 각 반응 위치의 차이에 따른 방향 벡터 및 상기 각 에너지를 모두 합산한 총 에너지 값에 기초하여, 상기 방사선원이 존재할 수 있는 확률을 가진 복수의 원뿔형 기하체를 도출한다.

[0048] 즉, 상기 분포 연산부(120)는 N 번째 반응 위치까지 연산을 반복하여, 반응 순서에 따라 이웃하는 두 반응 위치 간의 차이에 따른 각 방향 벡터를 산출할 수 있다. 상기 분포 연산부(120)는 상기 첫 번째 반응부터 상기 N 번째 반응까지의 각 에너지를 모두 합산하여 상기 총 에너지 값을 산출할 수 있다. 상기 분포 연산부(120)는 검출기 내로 입사된 각각의 방사선 양자(quantum)가 일으키는 이벤트들에 대하여 첫 번째 콤프턴 산란 반응과 두 번째 반응에 의해 기술되는 방향벡터(r_{12})와 총 에너지 값에 기초하여 상기 방향벡터에 대해 산출된 각도를 가지는 복수의 원뿔형 기하체를 도출할 수 있다.

[0049] 예를 들면, 도 4에 도시된 바와 같이, 상기 분포 연산부(120)는 상기 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기 각각으로부터 획득한 반응 위치 r_1 과 r_2 를 이용하여 그 차이에 따른 방향 벡터 $r_{12} = r_2 - r_1$ 를 구하고, 이와 같은 방법으로 생성 가능한 벡터 $r_{23} = r_3 - r_2$, $r_{34} = r_4 - r_3$ 등을 구한다. 아울러, 상기 분포 연산부(120)는 상기 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기 각각에서 획득한 각 반응(이벤트)에 대한 전달 에너지값 E_1, E_2, \dots, E_N 을 합산하여 $E_y = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_N$ 을 구한다.

[0050] 계속해서, 상기 분포 연산부(120)는 콤프턴 산란 반응에 관한 관계식을 이용하여 첫 번째 반응의 위치 r_1 으로부터 방향벡터 r_{12} 에 대해 각도(θ)를 가지는, 방사선원이 존재할 수 있는 확률을 가진 원뿔형 기하체를 도출한다. 상기 분포 연산부(120)는 각각의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기 내로 입사된 각각의 방사선 양자(quantum)가 방사선 검출기와 반응하여 초래하는 이벤트들에 대하여 첫 위치 벡터 r_{12} 에 대해서 위의 과정을 반복적으로 수행하여 검출기 내로 입사하여 콤프턴 산란 반응을 일으킨 광자수만큼의 원뿔형 기하체를 도출한다.

[0051] 참고로, 상기 콤프턴 산란 반응에 관한 관계식은 다음과 같다.

$$\cos \theta = 1 - \frac{E_1 m_0 c^2}{E_y (E_y - E_1)}$$

[0052] 여기서, m_0 은 전자의 질량을 나타내고, c 는 광속(빛의 속도)을 나타낸다.

[0053]

[0054] 상기 분포 연산부(120)는 상기 복수의 원뿔형 기하체 각각의 배치 관계에 따른 가중치 값에 기초하여 상기 방사선원의 공간적 분포를 계산한다.

[0055] 즉, 도 5에 도시된 바와 같이, 상기 분포 연산부(120)는 상기 복수의 원뿔형 기하체(510, 520) 각각의 배치 관계에 따라 상기 원뿔형 기하체(510, 520)의 옆면 겹침이 서로 겹치는 부분(530, 540)에 대해 가중치 값을 부여할 수 있다. 상기 분포 연산부(120)는 상기 복수의 원뿔형 기하체(510, 520)상에서의 가중치 값의 분포에 기초하여 상기 방사선원의 공간적 분포를 계산할 수 있다.

[0056] 보다 구체적으로, 상기 분포 연산부(120)는 방사선원의 분포를 나타낼 수 있는(방사선원의 위치 존재 확률 함수

를 나타낼 수 있는) 위치에 관한 확률변수 (x, y, z) 또는 (r, θ, ϕ) 를 통해 이루어지는 3차원적 공간 좌표계와, 각 위치에서의 방사선원의 존재 확률 함수값을 나타내는 결과표를 3차원 배열과 같은 형식으로 생성할 수 있다. 상기 분포 연산부(120)는 각각의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기에 대하여, 상기 도출된 원뿔형 기하체의 옆면이 통과하는 좌표 위치에 대한 확률 함수 값을 일정부분(예를 들면 0.1, 또는 1, 또는 원하는 값 아무 것이나) 증가(가중치 값 증가)시키고, 그 확률 함수 값의 분포에 따라 상기 방사선원의 공간적 분포를 계산할 수 있다.

[0057] 이와 같이, 상기 분포 연산부(120)는 상기 SBP 알고리즘을 이용하여 각각의 이벤트로 인해 나타난 확률론적 원뿔형 기하체(Cone)을 입체 평면상에서 표시하여 원뿔의 단면이 아닌, 밑 면이 존재하지 않는 원뿔의 옆면 꺾임이 서로 겹치는 부분들에 대해 가중치 값(weighting value)를 증가시키고, 반복되어 얻어지는 사건들에 대해 원뿔의 체적이 겹치는 부분들에 대한 가중치 인자(weighting factor)의 분포를 나타냄으로써, 방사선원의 공간적 분포에 대한 정보를 계산할 수 있다.

[0058] 이하에서는 본 발명의 다른 실시예로서 MLEM 알고리즘을 이용하는 방법을 설명한다.

[0059] 상기 분포 연산부(120)는 상기 MLEM 알고리즘을 이용하여 상기 감마선의 반응을 나타내는 이벤트가 발생할 확률을 계산한다.

[0060] 즉, 상기 분포 연산부(120)는 N번째 반응 위치까지 연산을 반복하여, 반응 순서에 따라 이웃하는 두 반응 위치 간의 차이에 따른 각 방향 벡터를 산출하고, 상기 첫 번째 반응부터 상기 N번째 반응까지의 각 에너지를 모두 합산하여 상기 총 에너지 값을 산출할 수 있다(도 4 참조).

[0061] 그리고, 상기 분포 연산부(120)는 영상화하고자 하는 공간을 확률 변수를 기반으로 하는 3차원 공간 좌표계를 이용하여 설정하고, 상기 공간을 단위 공간을 이용하여 구분하여 상기 단위 공간에서 방출된 감마선이 상기 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기에 도달하여 상기 이벤트를 형성하게 되는 가능한 모든 경우에 대한 확률을 계산할 수 있다.

[0062] 상기 분포 연산부(120)는 상기 각 반응 위치 및 상기 각 에너지에 대해 상기 확률을 극대화시키는 이벤트에 기초하여 상기 방사선원의 위치에 대한 확률 분포를 계산할 수 있다. 즉, 상기 분포 연산부(120)는 상기 확률을 극대화시키는 이벤트를 찾아 3차원 입체 공간상에 표시하여 상기 방사선원의 위치에 따른 확률 분포를 계산함으로써 상기 방사선원의 공간적 분포를 계산할 수 있다.

[0063] 보다 구체적으로, 상기 분포 연산부(120)는 상기 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기(계측 모듈) 각각으로부터 획득한 반응 위치 r_1 과 r_2 를 이용하여 그 차이에 따른 방향 벡터 $r_{12} = r_2 - r_1$ 를 구하고, 이와 같은 방법으로 생성 가능한 벡터 $r_{23} = r_3 - r_2$, $r_{34} = r_4 - r_3$ 등을 구한다. 아울러, 상기 분포 연산부(120)는 상기 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기 각각에서 획득한 각 반응(이벤트)에 대한 전달 에너지값 E_1, E_2, \dots, E_N 을 합산하여 $E_v = E_1 + E_2 + E_3 + \dots + E_N$ 을 구한다.

[0064] 계속해서, 상기 분포 연산부(120)는 영상화하고자 하는 공간을 확률변수 (x, y, z) 또는 (r, θ, ϕ) 를 기반으로 한 3차원 공간 좌표계를 이용하여 설정하고, 단위 공간(Voxel)을 이용하여 구분한다. 어떤 Voxel 'j'에서 방출된 감마선이 상기 계측 모듈에 도달하여 하나의 계측 이벤트 'i'를 형성하게 되는 가능한 모든 경우에 대한 확률을 계산하여 응답함수 t_{ij} 로 정의한다.

[0065] 본 계측 시스템에 관한 상기 응답함수 t_{ij} 는 다음과 같은 형태로 표현 가능하다.

$$t_{ij} = \int_{\Delta V_i} d\vec{i} \int f(\vec{i}|\vec{j}) f(\vec{i}|\vec{j}) d\vec{i}$$

[0066] $f(\vec{i}|\vec{j})$ 는 Voxel j에서 방출된 광자가 실제 반응 위치와, 전달 에너지에 대한 이벤트 \vec{i} 를 생성하는 경우에 대한 확률 분포함수이고, $f(\vec{i}|\vec{i})$ 는 계측기 시스템이 실제 이벤트 \vec{i} 에 대하여 일정 수준의 불확도를 내포하는 계측기의 반응 \vec{i} 를 생성할 확률이다. 계측 이벤트가 일어난 각각의 위치 i 주변의 단위 부피 ΔV_i 에 대하여 적분한 값이 이벤트 ij에 대한 계측 시스템 응답함수로 정의할 수 있다. 그러므로, $f(\vec{i}|\vec{j})$ 를 계산한 후,

$f(\hat{i}|\hat{j})$ 를 계산하고, 계측 이벤트가 일어난 각각의 위치 i 주변의 단위 부피 ΔV_i 에 대하여 적분해줌으로써 계산할 수 있다.

$f(\hat{i}|\hat{j})$ 를 계산하기 위해 고려해주어야 할 경우는 다음과 같은 것들이 있다.

- Voxel $j(r_0)$ 에서 광자가 $\hat{\Omega}_1$ 방향으로 방출될 확률

- 이후 \hat{r}_1 에까지 다른 반응 없이 무사히 도달할 확률

- 도달 후, \hat{E}_1 만큼의 에너지를 전달하고 와서 $\hat{\Omega}_2$ 방향으로 산란할 확률

- 이후 일정 거리를 자유 행정하여, \hat{r}_2 에 도달할 확률

- 도달 후, 두 번째 반응이 어떤 반응을 일으키게 되느냐에 따라 시나리오가 나뉜다. 즉, 두 번째 반응이 광전 효과이면, \hat{E}_2 에 대하여 광전효과를 일으킬 확률을 계산하고, 두 번째 반응이 또 다른 컴프턴 산란이면, \hat{E}_2 만큼의 에너지를 전달하고 $\hat{\Omega}_3$ 방향으로 산란할 확률을 계산함.

- 두 번째 반응이 또다른 컴프턴 산란일 경우에는 두 번째 반응 이후 일정 거리를 다시 자유 행정하여, \hat{r}_3 에 도달할 확률

- 도달 후 다음 반응이 어떤 반응을 일으키게 되느냐에 따라 상기와 같은 방법으로 시나리오가 나뉜다.

- 같은 방법으로 자유 행정이 마무리 될 때까지 반복

한편, Voxel j 에서 방출된 광자가 계측기에 관측되는 이벤트 \hat{i} 를 생성하는 경우에 대한 확률은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$f(\hat{i}|\hat{j}) = \int f(\hat{i}|\hat{j})f(\hat{i}|\hat{j})d\hat{i}.$$

$$f(\hat{E}_1, \hat{r}_1, \hat{E}_2, \hat{r}_2|E_0, r_0)$$

$$= \int f(\hat{E}_1, \hat{r}_1, \hat{E}_2, \hat{r}_2|\tilde{E}_1, \tilde{r}_1, \tilde{E}_2, \tilde{r}_2)f(\tilde{E}_1, \tilde{r}_1, \tilde{E}_2, \tilde{r}_2|E_0, r_0)dV$$

계측의 불확도에 관한 부분을 합동 정규 분포의 형태로 가정하여,

$f(\hat{i}|\hat{j}) = f(\hat{E}_1, \hat{r}_1, \hat{E}_2, \hat{r}_2|\tilde{E}_1, \tilde{r}_1, \tilde{E}_2, \tilde{r}_2)$ 를 구하면,

$$t_{ij} = \int_{\Delta V_i} f(\hat{i}|\hat{j})d\hat{i} = \int_{\Delta V_i} f(\hat{E}_1, \hat{r}_1, \hat{E}_2, \hat{r}_2|E_0, r_0)d\hat{i}, \quad d\hat{i} = d\hat{E}_1 d\hat{r}_1 d\hat{E}_2 d\hat{r}_2$$

를 구할 수 있게 된다.

복수개의 계측기에 관한 복합적인 확률은 각각의 계측기에 대한 t_{ij} 확률들의 곱으로 주어지고, 복수개의 계측기에서 관찰되는 이벤트들에 대한 복합 확률을 최종 t_{ij} 의 값으로 정의한다.

이러한 모든 t_{ij} 의 경우들의 합을 구하여, $s_j = \sum_i t_{ij}$ 로 정의하고,

$$\lambda_j^{n+1} = \frac{\lambda_j^n}{s_j} \sum_{i=1}^N \frac{t_{ij}}{\sum_k t_{ik} \lambda_k^n}$$

다음과 같은 점화식,

을 통해 필요한 횟수만큼 반복 계산을 수행하여, 모든 Voxel j 에 관해 $n+1$ 회 반복 계산을 수행한 λ_j^{n+1} 값을

계산한다.

- [0086] 상기 분포 연산부(120)는 방사선원의 분포를 나타낼 수 있는(방사선원의 위치 존재 확률 함수를 나타낼 수 있는) 위치에 관한 확률변수 (x, y, z) 또는 (r, θ, ϕ)를 통해 이루어지는 3차원적 공간 좌표계와, 각 위치에 서의 방사선원의 존재 확률 함수 값을 나타내는 결과에 대한 4차원 배열을 생성하고, 두 가지 종류의 확률 변수를 이용해 나타낼 수 있는 각각의 좌표 위치에 대응되는 Voxel j 를 할당하고 n 회의 반복 계산에 의해 산출된 결과값을 대입하여 상기 방사선원의 위치에 따른 확률 분포를 계산함으로써 상기 방사선원의 공간적 분포를 계산할 수 있다.
- [0087] 이와 같이, 상기 분포 연산부(120)는 상기 MLEM 알고리즘을 이용하여 3차원 입체 공간상에 존재하는 각각의 위치에 대하여, 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기에 위치 및 에너지 정보에 관련된 신호를 생성하게 되는 이벤트에 대한 확률을 각각 계산하고, 상기 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기에 수집된 정보들에 대하여 이러한 확률을 극대화 시키는 이벤트를 각각 찾아 3차원 입체 공간상에 표시할 수 있으며, 이로 인해 얻어진 방사선원 위치에 대한 확률 분포를 계산하여 방사선원의 공간적 분포를 도출해낼 수 있게 된다.
- [0088] 상기 입체 표시부(130)는 상기 방사선원의 공간적 분포를 시각화하여 입체적으로 표시한다. 이때, 상기 입체 표시부(130)는 도 6에 도시된 바와 같이, 상기 확률 분포를 색깔 차이 또는 명암 차이에 기초하여 구분 처리함으로써 상기 방사선원의 공간적 분포를 시각화하여 입체적으로 표시할 수 있다.
- [0089] 또한, 상기 입체 표시부(130)는 도 7에 도시된 바와 같이, 상기 방사선원의 공간적 분포를 3차원의 지물, 지형, 형상들에 대한 가시적 영상에 결합, 중첩시켜 표시할 수 있다. 이로써, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 3차원적으로 어느 위치, 어느 장소에 방사선원이 존재할 확률이 높은지를 파악할 수 있다.
- [0090] 상기 스펙트럼 분석부(140)는 상기 총 에너지 값에 대한 스펙트럼 분석을 통해 상기 총 에너지 값에 관한 분포 밀도 함수를 분포 스펙트럼 형태로 생성할 수 있다.
- [0091] 이를 위해, 상기 스펙트럼 분석부(140)는 상기 총 에너지 값을 사용자가 필요로 하는 복수의 채널 수에 따라 분류하고, 감마선의 각 반응에 따라 해당 채널의 카운트 수를 증가시키며, 상기 각 채널별 카운트 수에 기초하여 상기 분포 밀도 함수를 상기 분포 스펙트럼 형태로 생성할 수 있다.
- [0092] 이에 따라, 상기 입체 표시부(130)는 사전에 구축된 핵종 정보 및 상기 분포 스펙트럼 형태의 상기 분포 밀도 함수를 이용하여 해당 핵종 정보를 표시할 수 있다.
- [0093] 상기 방사선량 및 방사능 계산부(150)는 상기 방사선원의 공간적 분포로부터 조사선량률(Exposure Rate), 흡수선량률(Dose Rate) 분포 및 방사능의 강도를 계산할 수 있다. 이에 따라, 상기 입체 표시부(130)는 상기 계산된 분포 및 강도 등을 입체 공간에 대해 시각화하여 표시할 수 있다.
- [0094] 또한, 상기 방사선량 및 방사능 계산부(150)는 등가 선량률, 선량 증가율, 유효 등가 선량률을 계산하여 작업자 또는 일반인에 대해 경계 지역을 표시 또는 알람을 해주는 기능을 제공할 수도 있다.
- [0095] 상기 제어부(160)는 본 발명의 일 실시예에 따른 방사선원의 3차원 영상 처리 장치(100), 즉 상기 정보 획득부(110), 상기 분포 연산부(120), 상기 입체 표시부(130), 상기 스펙트럼 분석부(140), 상기 방사선량 및 방사능 계산부(150) 등의 동작을 전반적으로 제어할 수 있다.
- [0096] 도 8 내지 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 방사선원의 3차원 영상 처리 방법을 설명하기 위해 도시한 흐름도이다.
- [0097] 도 1 및 도 8을 참조하면, 단계(810)에서 상기 3차원 영상 처리 장치(100)의 정보 획득부(110)는 방사선원으로부터 감마선 영상 정보를 획득하는 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기를 이용하여, 감마선의 각 반응 위치 및 상기 각 반응 위치에서의 반응을 통해 상기 3차원 위치 민감형 방사선 검출기로 전달되는 각 에너지를 획득한다.
- [0098] 다음으로, 단계(820)에서 상기 3차원 영상 처리 장치(100)의 분포 연산부(120)는 상기 각 반응 위치의 차이에 따른 방향 벡터 및 상기 각 에너지를 모두 합산한 총 에너지 값에 기초하여, 상기 방사선원이 존재할 수 있는 확률을 가진 복수의 원뿔형 기하체를 도출한다. 이에 대해 도 9를 더 참조하여 구체적으로 설명하면 다음과 같다.

- [0099] 즉, 단계(910)에서 상기 분포 연산부(120)는 N번째 반응 위치까지 연산을 반복하여, 반응 순서에 따라 이웃하는 두 반응 위치 간의 차이에 따른 각 방향 벡터를 산출할 수 있다. 이후, 단계(920)에서 상기 분포 연산부(120)는 상기 첫 번째 반응부터 상기 N번째 반응까지의 각 에너지를 모두 합산하여 상기 총 에너지 값을 산출할 수 있다. 이후, 단계(930)에서 상기 분포 연산부(120)는 상기 첫번째 컴프턴 산란 반응의 위치와 두 번째 반응 위치 간의 차이에 따른 방향 벡터(r_{12}) 및 상기 총 에너지 값에 기초하여 상기 방향 벡터(r_{12})에 대해 산출된 각도를 가지는 상기 복수의 원뿔형 기하체를 도출할 수 있다.
- [0100] 다음으로, 단계(830)에서 상기 분포 연산부(120)는 상기 복수의 원뿔형 기하체 각각의 배치 관계에 따른 가중치 값에 기초하여 상기 방사선원의 공간적 분포를 계산한다. 이에 대해 도 10을 더 참조하여 구체적으로 설명하면 다음과 같다.
- [0101] 즉, 단계(1010)에서 상기 분포 연산부(120)는 상기 복수의 원뿔형 기하체 각각의 배치 관계에 따라 상기 원뿔형 기하체의 옆면 겹질이 겹치는 부분들에 대해 가중치 값을 부여할 수 있다. 이후, 단계(1020)에서 상기 분포 연산부(120)는 상기 복수의 원뿔형 기하체상에서의 상기 가중치 값의 분포에 기초하여 상기 방사선원의 공간적 분포를 계산할 수 있다.
- [0102] 다음으로, 단계(840)에서 상기 3차원 영상 처리 장치(100)의 입체 표시부(130)는 상기 방사선원의 공간적 분포를 시각화하여 입체적으로 표시한다.
- [0103] 도 11 내지 도 13은 본 발명의 다른 실시예에 따른 방사선원의 3차원 영상 처리 방법을 설명하기 위해 도시한 흐름도이다.
- [0104] 도 1 및 도 11을 참조하면, 단계(1110)에서 상기 3차원 영상 처리 장치(100)의 정보 획득부(110)는 방사선원으로부터 감마선 영상 정보를 획득하는 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기를 이용하여, 감마선의 각 반응 위치 및 상기 각 반응 위치에서의 반응을 통해 상기 3차원 위치 민감형 방사선 검출기로 전달되는 각 에너지를 획득한다.
- [0105] 다음으로, 단계(1120)에서 상기 3차원 영상 처리 장치(100)의 분포 연산부(120)는 상기 감마선의 반응을 나타내는 이벤트가 발생할 확률을 계산한다. 이에 대해 도 12를 더 참조하여 구체적으로 설명하면 다음과 같다.
- [0106] 즉, 단계(1210)에서 상기 분포 연산부(120)는 N번째 반응 위치까지 연산을 반복하여, 반응 순서에 따라 이웃하는 두 반응 위치 간의 차이에 따른 각 방향 벡터를 산출할 수 있다. 이후, 단계(1220)에서 상기 분포 연산부(120)는 상기 첫 번째 반응부터 상기 N번째 반응까지의 각 에너지를 모두 합산하여 상기 총 에너지 값을 산출할 수 있다. 이후, 단계(1230)에서 상기 분포 연산부(120)는 영상화하고자 하는 공간을 확률 변수를 기반으로 하는 3차원 공간 좌표계를 이용하여 설정할 수 있다. 이후, 단계(1240)에서 상기 분포 연산부(120)는 상기 공간을 단위 공간을 이용하여 구분하여 상기 단위 공간에서 방출된 감마선이 상기 복수의 3차원 위치 민감형 방사선 검출기에 도달하여 상기 이벤트를 형성하게 되는 가능한 모든 경우에 대한 확률을 계산할 수 있다.
- [0107] 다음으로, 단계(1130)에서 상기 분포 연산부(120)는 상기 각 반응 위치 및 상기 각 에너지에 대해 상기 확률을 극대화시키는 이벤트에 기초하여 상기 방사선원의 위치에 대한 확률 분포를 계산한다. 이에 대해 도 13을 더 참조하여 구체적으로 설명하면 다음과 같다.
- [0108] 즉, 단계(1310)에서 상기 분포 연산부(120)는 상기 확률을 극대화시키는 이벤트를 탐색할 수 있다. 이후, 단계(1320)에서 상기 분포 연산부(120)는 상기 이벤트의 탐색 위치를 3차원 입체 공간상에 표시할 수 있다. 이후, 단계(1330)에서 상기 분포 연산부(120)는 상기 3차원 입체 공간에 표시된 탐색 위치를 토대로 상기 방사선원의 위치에 따른 확률 분포를 계산할 수 있다.
- [0109] 다음으로, 단계(1140)에서 상기 3차원 영상 처리 장치(100)의 입체 표시부(130)는 상기 확률 분포에 따른 상기 방사선원의 공간적 분포를 시각화하여 입체적으로 표시한다.
- [0110] 본 발명의 실시예들은 다양한 컴퓨터로 구현되는 동작을 수행하기 위한 프로그램 명령을 포함하는 컴퓨터 판독 가능 매체를 포함한다. 상기 컴퓨터 판독 가능 매체는 프로그램 명령, 로컬 데이터 파일, 로컬 데이터 구조 등을 단독으로 또는 조합하여 포함할 수 있다. 상기 매체는 본 발명을 위하여 특별히 설계되고 구성된 것들이거나 컴퓨터 소프트웨어 당업자에게 공지되어 사용 가능한 것일 수도 있다. 컴퓨터 판독 가능 기록 매체의 예에

는 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체, CD-ROM, DVD와 같은 광기록 매체, 플롭티컬 디스크와 같은 자기-광 매체, 및 롬, 램, 플래시 메모리 등과 같은 프로그램 명령을 저장하고 수행하도록 특별히 구성된 하드웨어 장치가 포함된다. 프로그램 명령의 예에는 컴파일러에 의해 만들어지는 것과 같은 기계어 코드뿐만 아니라 인터프리터 등을 사용해서 컴퓨터에 의해서 실행될 수 있는 고급 언어 코드를 포함한다.

[0111] 지금까지 본 발명에 따른 구체적인 실시예에 관하여 설명하였으나, 본 발명의 범위에서 벗어나지 않는 한도 내에서는 여러 가지 변형이 가능함은 물론이다. 그러므로, 본 발명의 범위는 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 안 되며, 후술하는 특허 청구의 범위뿐 아니라 이 특허 청구의 범위와 균등한 것들에 의해 정해져야 한다.

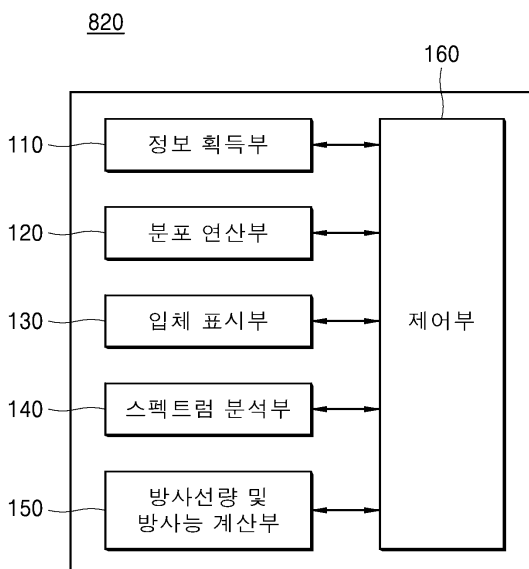
[0112] 이상과 같이 본 발명은 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 이는 본 발명이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 따라서, 본 발명 사상은 아래에 기재된 특허청구범위에 의해서만 파악되어야 하고, 이의 균등 또는 등가적 변형 모두는 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

부호의 설명

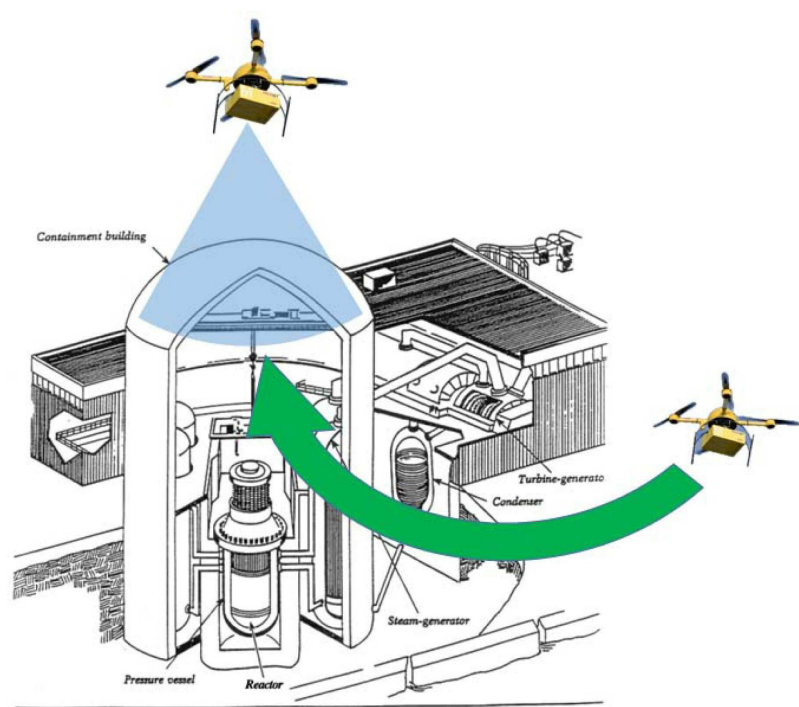
- [0113]
- 110: 정보 획득부
 - 120: 분포 연산부
 - 130: 입체 표시부
 - 140: 스펙트럼 분석부
 - 150: 방사선량 및 방사능 계산부
 - 160: 제어부

도면

도면1

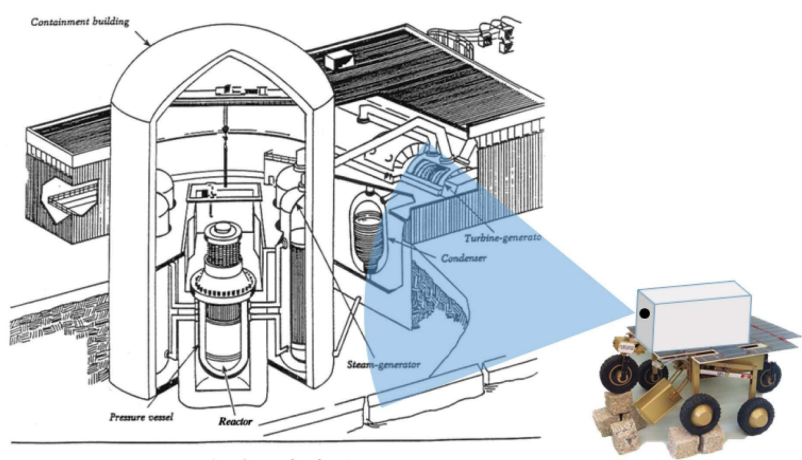


도면2



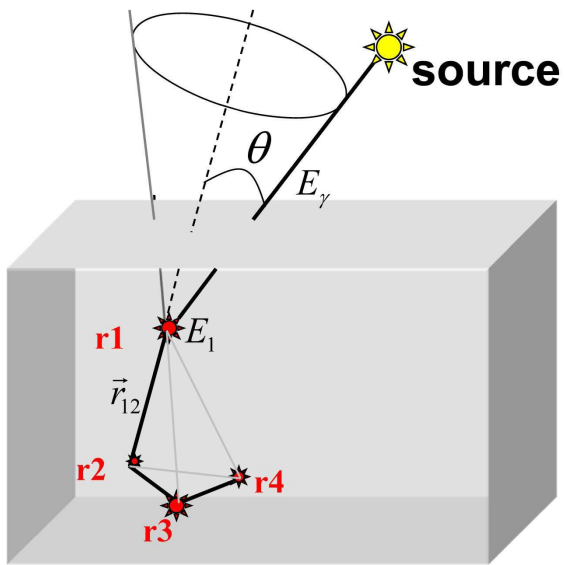
2 major parts of a nuclear powerplant work together to produce electricity.

도면3

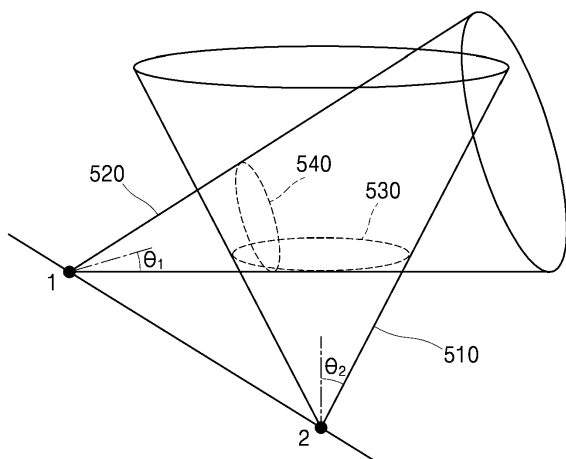


2 major parts of a nuclear powerplant work together to produce electricity.

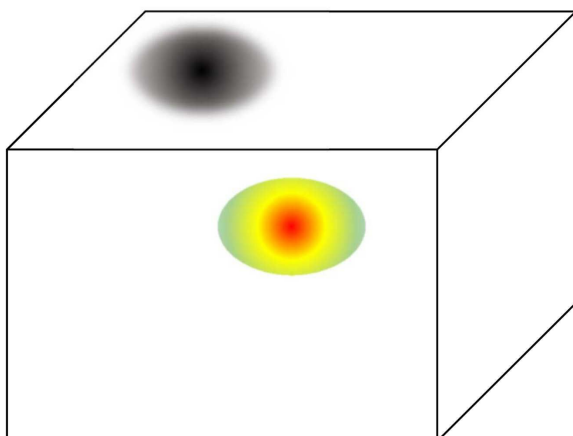
도면4



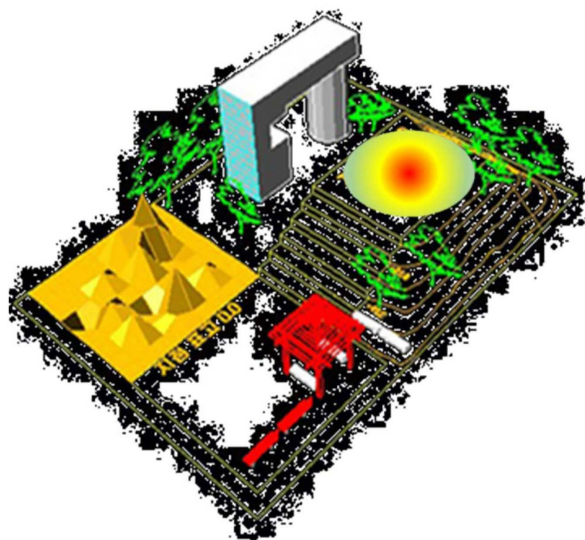
도면5



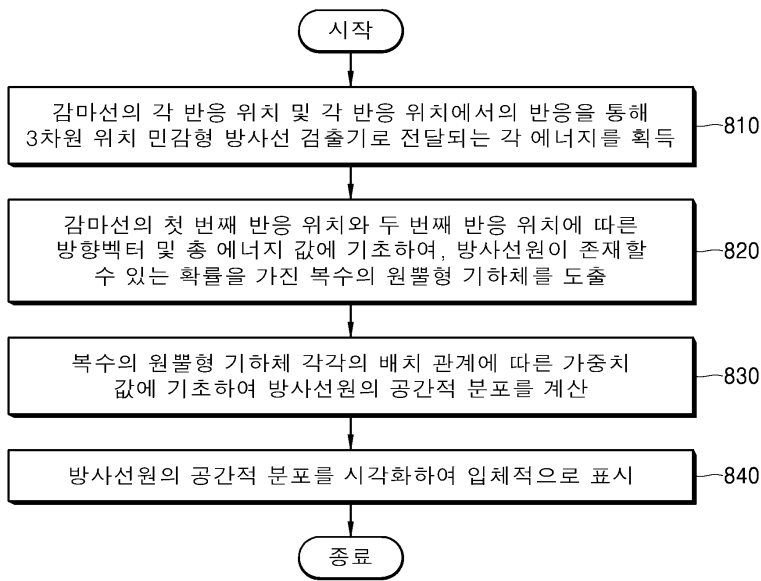
도면6



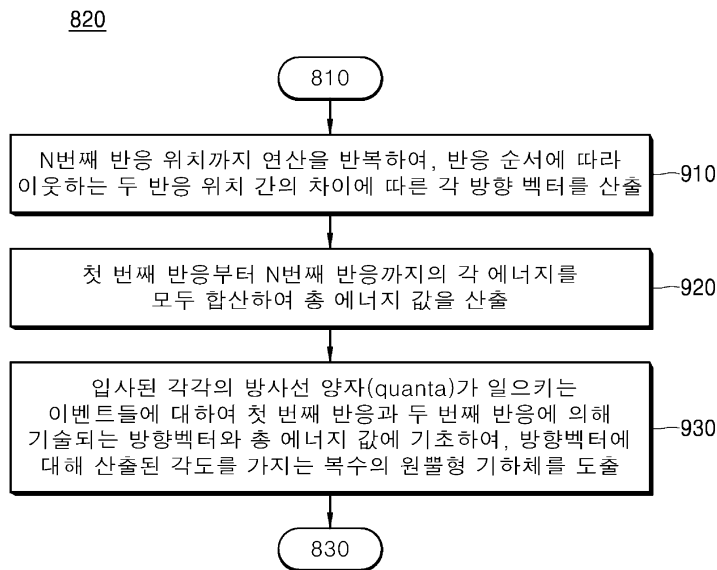
도면7



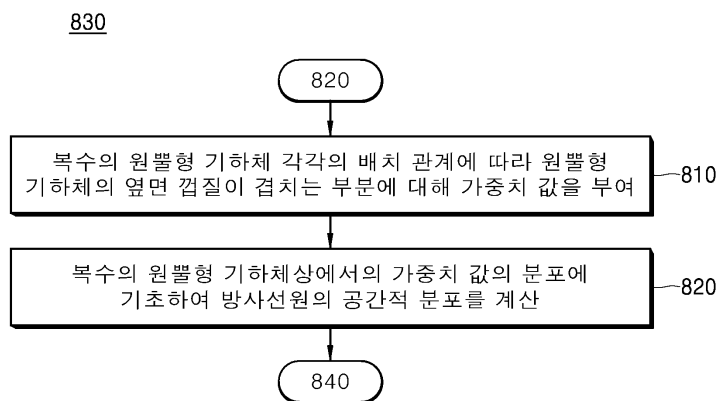
도면8



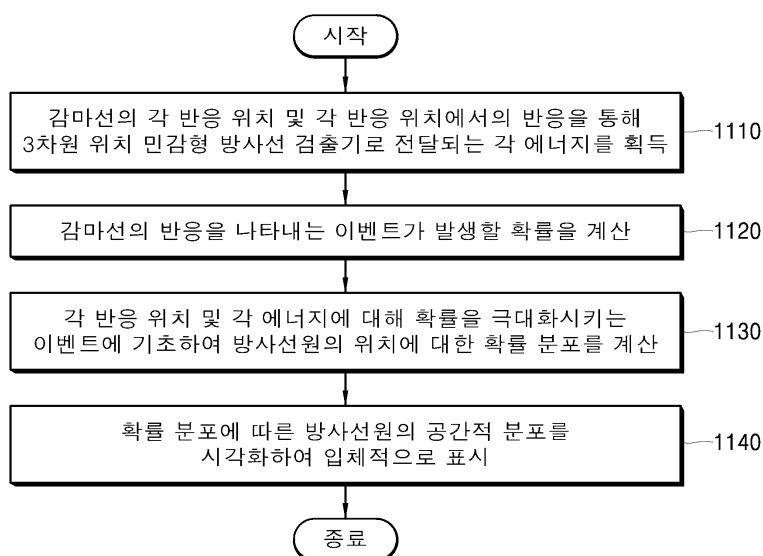
도면9



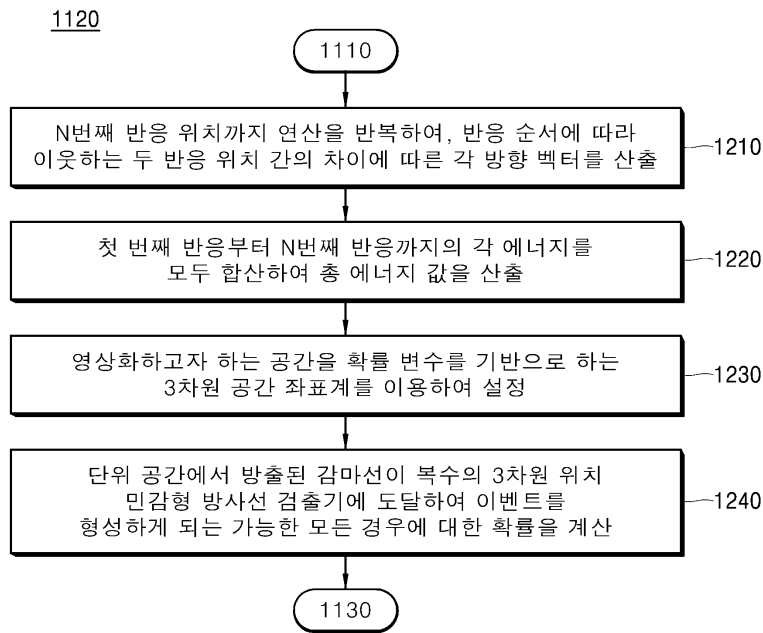
도면10



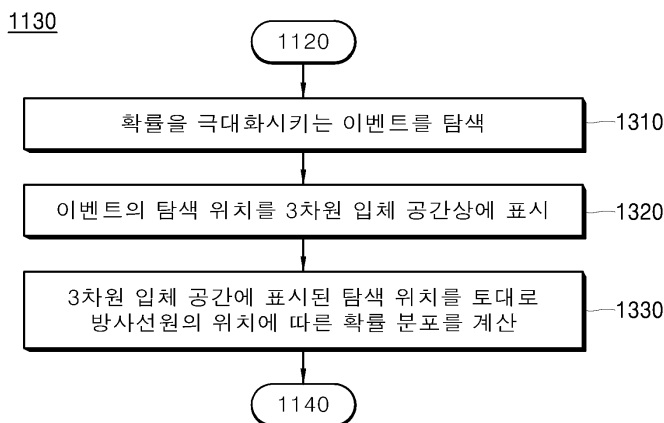
도면11



도면12



도면13



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 44쪽 첫째줄(청구항 20)

【변경전】

상기 총 에너지

【변경후】

총 에너지

【직권보정 2】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 38쪽 첫째줄(청구항 8)

【변경전】

상기 총 에너지

【변경후】

총 에너지