



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년07월24일
(11) 등록번호 10-2559287
(24) 등록일자 2023년07월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G21C 17/06 (2006.01) G01T 1/24 (2006.01)
G21C 3/30 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G21C 17/06 (2013.01)
G01T 1/24 (2021.01)
(21) 출원번호 10-2021-0135726
(22) 출원일자 2021년10월13일
심사청구일자 2021년10월13일
(65) 공개번호 10-2023-0052548
(43) 공개일자 2023년04월20일
(56) 선행기술조사문헌
JP07318685 A*
KR1020190064869 A*
KR102254651 B1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
연세대학교 원주산학협력단
강원도 원주시 흥업면 연세대길 1
(72) 발명자
민철희
강원도 원주시 흥업면 연세대길 1 백운관 431호
최형주
서울특별시 도봉구 해동로 118 상아1차아파트 3동 901호
최현준
강원도 원주시
(74) 대리인
오영진

전체 청구항 수 : 총 5 항

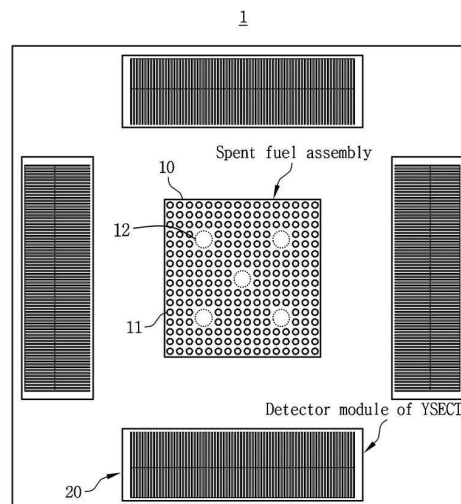
심사관 : 이용호

(54) 발명의 명칭 고집적 핵연료집합체에 대한 고화질 방출단층영상 획득 장치

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 따른 고집적 핵연료집합체에 대한 고화질 방출단층영상 획득 장치는, 복수개의 연료봉을 수용하는 핵연료집합체의 방사선을 검출하기 위한 방출단층 촬영장치에 관한 것으로, 상기 핵연료집합체의 일측에 배치되어 상기 핵연료집합체에서 방출되는 방사선을 검출하는 제1 검출부 및 상기 핵연료집합체 내부에 배치되는 봉 형상의 밀봉부 및 상기 밀봉부 내부에 배치되어 상기 핵연료집합체에서 방출되는 방사선을 검출하는 검출부재를 갖는 제2 검출부를 포함할 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G21C 3/30 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2021510226
과제번호	2101073-0121-CG100
부처명	원자력안전위원회
과제관리(전문)기관명	원자력안전재단
연구사업명	원자력안전연구사업
연구과제명	핵연료집합체 부분결손 검증을 위한 방출단층촬영기술 개발
기 여 율	1/2
과제수행기관명	연세대학교 원주산학협력단
연구기간	2021.04.01 ~ 2021.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2021510342
과제번호	20214000000070
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국에너지기술평가원
연구사업명	에너지인력양성사업
연구과제명	방사선기술 에너지산업 고도화 인력양성
기 여 율	1/2
과제수행기관명	연세대학교 원주산학협력단
연구기간	2021.04.01 ~ 2021.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

복수개의 연료봉을 수용하는 핵연료집합체의 방사선을 검출하기 위한 방출단층 촬영장치에 있어서,
 상기 핵연료집합체의 외부에 배치되어 상기 핵연료집합체에서 방출되는 방사선을 검출하는 제1 검출부; 및
 상기 핵연료집합체 내부에 배치되는 봉 형상의 밀봉부 및 상기 밀봉부 내부에 배치되어 상기 핵연료집합체에서 방출되는 방사선을 검출하는 검출부재를 갖는 제2 검출부를 포함하고,
 상기 제2 검출부는,
 내부에 상기 검출부재가 배치되고 외측면이 밀봉부에 의해 감싸지며, 일측면에 상기 핵연료집합체에서 방출되는 방사선이 통과되도록 하는 슬릿이 형성된 콜리메이터를 포함하는 고집적 핵연료집합체에 대한 고화질 방출단층 영상 획득 장치.

청구항 2

삭제

청구항 3

제 1 항에 있어서,
 상기 제2 검출부는,
 상기 콜리메이터의 내부공간을 복수개로 분할하는 격벽을 포함하는 고집적 핵연료집합체에 대한 고화질 방출단층 영상 획득 장치.

청구항 4

제 3 항에 있어서,
 상기 검출부재는,
 복수개로 형성되어 상기 분할된 내부공간에 각각 배치되는 고집적 핵연료집합체에 대한 고화질 방출단층 영상 획득 장치.

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

복수개의 연료봉을 수용하는 핵연료집합체의 방사선을 검출하기 위한 방출단층 촬영장치에 있어서,
 상기 핵연료집합체의 외부에 배치되어 상기 핵연료집합체에서 방출되는 방사선을 검출하는 제1 검출부; 및
 상기 핵연료집합체 내부에 배치되는 봉 형상의 밀봉부 및 상기 밀봉부 내부에 배치되어 상기 핵연료집합체에서 방출되는 방사선을 검출하는 검출부재를 갖는 제2 검출부를 포함하고,
 상기 제2 검출부는,
 축방향이 상기 연료봉의 축방향과 대응되도록 배치되고, 축방향을 따라 선형 이동 가능하며,
 축방향이 상기 연료봉의 축방향과 대응되도록 배치되고, 중심축을 기준으로 회전하면서 상기 핵연료집합체에서

방출되는 방사선을 검출하며, 상기 검출부재의 배치 개수에 따라 회전각도가 제어 가능한 고집적 핵연료집합체에 대한 고화질 방출단층영상 획득 장치.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 검출부재는,

섬광체 또는 반도체 검출기로 형성되는 고집적 핵연료집합체에 대한 고화질 방출단층영상 획득 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 고집적 핵연료집합체에 대한 고화질 방출단층영상 획득 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 사용후핵연료는 상업용 또는 연구용 원자로에서 연료로 사용된 핵연료 물질 또는 기타의 방법으로 핵분열시킨 핵연료 물질이다.

[0003] 사용전핵연료와 외관상으로 차이는 없으나 원자로 내에서 일어나는 중성자 조사와 핵분열 연쇄 반응 등을 통해 물질 구성이 달라지고, 방사선과 높은 열을 방출한다.

[0004] 이러한 사용후핵연료는 재처리나 처분 또는 임시보관하는 방식으로 처리하고 있는 상황인데, 이 경우 사용후핵연료의 상태에 대하여 정확하게 검증 및 모니터링할 필요가 있다.

[0005] 국제원자력기구에서 공인한 체렌코프 방사선 검사 장비, 감마선 에너지스펙트럼 분석 장비, 총 중성자 및 감마선 검사 장비 등 140종류 이상의 사용후핵연료 검증기술은 부피당 방사선으로 간접적으로 검사를 수행하거나 또는 오차율이 크다는 문제점이 있어서 방출단층촬영 기술을 이용하여 사용후핵연료를 검증하는 기술이 제안되고 있다.

[0006] 이러한 방출단층촬영 기술은 직접적으로 사용후 핵연료집합체의 단층을 영상화할 수 있기 때문에 이에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 상황이지만, 사용후 핵연료집합체 내에 배열된 핵연료봉의 개수가 증가함에 따라, 즉 사용후 핵연료집합체의 밀도가 높아짐에 따라 내부의 단층영상을 획득하는데 어려움이 있었고 측정 효율도 심각하게 저하되는 문제점이 있었다. 이 경우 사용후 핵연료집합체를 구성하고 있는 핵연료봉의 결함 발생 여부 및 해당 결함 위치를 판별하기 어려운 문제점이 발생할 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 몬테칼로 전산모사 기반 핵연료집합체 내, 외부의 두가지 종류의 방사선 검출부를 이용한 방출단층영상 획득 장치의 설계 최적화를 통하여 고화질의 핵연료집합체의 단층영상을 획득함으로써 효율적으로 핵연료집합체의 결함여부 및 결함위치를 판단할 수 있는 고집적 핵연료집합체에 대한 고화질 방출단층영상 획득 장치를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명의 일 실시예에 따른 고집적 핵연료집합체에 대한 고화질 방출단층영상 획득 장치는, 복수개의 연료봉을 수용하는 핵연료집합체의 방사선을 검출하기 위한 방출단층 촬영장치에 관한 것으로, 상기 핵연료집합체의 일측에 배치되어 상기 핵연료집합체에서 방출되는 방사선을 검출하는 제1 검출부 및 상기 핵연료집합체 내부에 배치되는 봉 형상의 밀봉부 및 상기 밀봉부 내부에 배치되어 상기 핵연료집합체에서 방출되는 방사선을 검출하는 검출부재를 갖는 제2 검출부를 포함할 수 있다.

[0009] 상기 제2 검출부는, 내부에 상기 검출부재가 배치되고 외측면이 상기 밀봉부에 의해 감싸지며, 일측면에 상기 핵연료집합체에서 방출되는 방사선이 통과되도록 하는 슬릿이 형성된 콜리메이터를 포함할 수 있다.

[0010] 상기 제2 검출부는, 상기 콜리메이터의 내부공간을 복수개로 분할하는 격벽을 포함할 수 있다.

- [0011] 상기 검출부재는, 복수개로 형성되어 상기 분할된 내부공간에 각각 배치될 수 있다.
- [0012] 상기 제2 검출부는, 축방향이 상기 연료봉의 축방향과 대응되도록 배치되고, 중심축을 기준으로 회전하면서 상기 핵연료집합체에서 방출되는 방사선을 검출할 수 있다.
- [0013] 상기 제2 검출부는, 축방향이 상기 연료봉의 축방향과 대응되도록 배치되고, 축방향을 따라 선형 이동 가능할 수 있다.
- [0014] 상기 제2 검출부는, 축방향이 상기 연료봉의 축방향과 대응되도록 배치되고, 중심축을 기준으로 회전하면서 상기 핵연료집합체에서 방출되는 방사선을 검출하며, 상기 검출부재의 배치 개수에 따라 회전각도가 제어 가능할 수 있다.
- [0015] 상기 검출부재는, 섬광체 또는 반도체 검출기로 형성될 수 있다.

발명의 효과

- [0016] 본 발명의 고집적 핵연료집합체에 대한 고화질 방출단층영상 획득 장치는, 몬테칼로 전산모사 기반 핵연료집합체 방출단층영상 획득 장치의 제1 검출부 및 제2 검출부 구조 등의 최적화를 통해 핵연료집합체의 단층영상을 획득하고, 단층영상에 나타난 선원발생위치를 통해 핵연료집합체의 결함여부 및 결함위치를 검증할 수 있으며, 이에 따라 추가적인 결함발생이나 방사선물질의 누출을 방지할 수 있는 효과가 있다.
- [0017] 본 발명의 고집적 핵연료집합체에 대한 고화질 방출단층영상 획득 장치는, 핵연료집합체의 외부에 제1 검출부를 배치하고 핵연료집합체 내부에 설치된 가이드튜브에 제2 검출부를 배치하여 내외부에서 이중으로 방사선을 검출함으로써, 핵연료집합체의 밀도가 높아지더라도 고화질의 방출단층영상을 획득할 수 있는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0018] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 고집적 핵연료집합체에 대한 고화질 방출단층영상 획득 장치의 평면도이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 핵연료집합체의 평면도이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 핵연료집합체 및 제2 검출부를 나타낸 사시도이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 제2 검출부를 도시한 평면도이다.
- 도 5 내지 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 핵연료집합체의 다양한 구조를 나타낸 평면도이다.
- 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 제2 검출부의 변형예를 도시한 평면도이다.
- 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 제1 검출부로부터 획득한 사이노그램이다.
- 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 제2 검출부로부터 획득한 사이노그램이다.
- 도 11은 도 9 및 도 10을 합성하여 획득한 합성 사이노그램이다.
- 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 제1 검출부로부터 획득한 단층영상이다.
- 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 제1 검출부 및 제2 검출부로부터 획득한 단층영상이다.
- 도 14는 도 13의 단층영상을 바탕으로 핵연료집합체의 선원발생위치를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0019] 이하, 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다. 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 동일 또는 유사한 구성요소에 대해서는 동일한 참조부호를 붙였다.
- [0020] 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다. 또한, 층, 막, 영역, 판 등의 부분이 다른 부분 "위에" 있다고 할 경우, 이는 다른 부분 "바로 위에" 있는 경우뿐만 아니라 그 중간에 또 다른 부분이 있는 경우도 포함한다. 반대로 층, 막, 영역, 판 등의 부

분이 다른 부분 "아래에" 있다고 할 경우, 이는 다른 부분 "바로 아래에" 있는 경우뿐만 아니라 그 중간에 또 다른 부분이 있는 경우도 포함한다.

- [0021] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 고집적 핵연료집합체에 대한 고화질 방출단층영상 획득 장치의 평면도이고, 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 핵연료집합체의 평면도이며, 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 핵연료집합체 및 제2 검출부를 나타낸 사시도이고, 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 제2 검출부를 도시한 평면도이다.
- [0022] 도 1 및 도 2를 참고하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 방출단층촬영(Yonsei Single-photon Emission Computed Tomography, YSECT) 시스템을 이용한 방출단층영상 획득 장치(1)는, 제1 검출부(20) 및 제2 검출부(100)를 포함함으로써, 핵연료집합체(10)의 단층영상을 획득할 수 있다.
- [0023] 핵연료집합체(10)는 소정 간격으로 배열된 복수개의 연료봉(11)을 수용할 수 있다. 또한, 핵연료집합체(10) 내부 소정의 위치에는 가이드튜브(12)가 형성되며, 이러한 가이드튜브의 내부에 후술할 제2 검출부(100)가 배치될 수 있다.
- [0024] 또한, 가이드튜브(12)는 원자력발전시 임계점을 넘어 발생하는 폭발을 방지하기위해 원자로 제어시나 긴급정지할 경우 제어봉이 삽입되는 경로 역할을 할 수도 있다. 예를 들어, 도 1에 도시된 바와 같이 핵연료집합체 내부에 형성된 5개의 공간에 각각 가이드튜브(12)가 형성될 수 있다. 이때, 각 가이드튜브(12)는 연료봉(11) 4개에 해당하는 공간을 차지할 수 있다.
- [0025] 제1 검출부(20)는 핵연료집합체(10)의 일측에 배치되어, 핵연료집합체(10)로부터 방출되는 방사선을 검출할 수 있다. 제1 검출부(20)는 복수개로 형성되며, 각각은 일정한 각도 간격을 갖도록 배열될 수 있다. 예를 들어, 도 1에 도시된 바와 같이 제1 검출부(20)는 4개가 핵연료집합체(10) 주변에 일정한 각도 간격을 갖도록 배치될 수 있다. 이때, 복수개의 제1 검출부(20)는 핵연료집합체(10)를 중심으로 회전하면서 핵연료집합체(10)로부터 방출되는 방사선을 검출할 수 있다.
- [0026] 한편, 핵연료집합체(10)를 검측하기 위해서는 제1 검출부(20)가 핵연료집합체(10)주위를 360도 회전해야한다. 이때, 제1 검출부(20)가 1대일 경우 핵연료집합체(10) 주위를 360도로 회전할 수 있고, 2대일 경우 각각은 180도를 회전할 수 있으며, 4대일 경우 각각 90도로 회전할 수 있다. 즉, 제1 검출부(20)의 개수에 따라 회전각도는 상이할 수 있다.
- [0027] 제2 검출부(100)는 핵연료집합체(10)내 소정의 위치에 형성된 가이드튜브(12)의 내부에 배치되어, 핵연료집합체(10)로부터 방출되는 방사선을 검출할 수 있다. 예를 들어, 제2 검출부(100)는 핵연료집합체(10) 내에서 연료봉(11) 4개에 해당하는 공간에 배치될 수 있다.
- [0028] 또한, 제2 검출부(100)는 복수개가 핵연료집합체(10) 내에서 소정 간격 이격되어 배치될 수 있다. 예를 들어, 도 2에 도시된 바와 같이 핵연료집합체(10)가 가로방향 및 세로방향으로 각각 16개의 연료봉(11)이 배열되는 16X16 배열일 경우, 제2 검출부(100)는 5개가 소정 간격 이격되어 배치될 수 있다.
- [0029] 또한, 제2 검출부(100)는 축방향이 연료봉(11)의 축방향과 대응되도록 배치될 수 있다. 이때, 제2 검출부(100)는 중심축을 기준으로 회전하면서 핵연료집합체(10)에서 방출되는 방사선을 검출할 수 있다.
- [0030] 또한, 제2 검출부(100)는 축방향을 따라 선형 이동하면서 핵연료집합체(10)에서 방출되는 방사선을 검출할 수 있다. 예를 들어, 연료봉(11)의 길이가 제2 검출부(100)보다 길게 형성될 경우, 제2 검출부(100)는 축방향을 따라 선형 이동하면서 방사선을 검출함으로써 단층영상의 공간분해능을 향상시킬 수 있다.
- [0031] 한편, 방출단층영상 획득 장치(1)는 단층영상생성모듈(미도시)을 더 포함할 수 있다. 단층영상생성모듈은 제1 검출부(20) 및 제2 검출부(100) 중 적어도 어느 하나로부터 수신한 검출데이터에 기초하여 핵연료집합체(10)의 단층영상을 생성할 수 있다.
- [0032] 도 3 및 도 4를 참고하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 제2 검출부(100)는 밀봉부(110), 콜리메이터(120), 격벽(130) 및 검출부재(140)를 포함할 수 있다.
- [0033] 밀봉부(110)는 소정 길이로 연장되는 원형의 봉 형상으로, 콜리메이터(120), 격벽(130) 및 검출부재(140)가 내장될 수 있다. 예를 들어, 밀봉부(110)는 콜리메이터(120)의 외측면을 감싸도록 형성되어, 내부공간(150)을 밀봉할 수 있다. 예를 들어, 밀봉부(110)는 베릴륨(Be) 또는 스테인리스 철(stainless steel) 물질로 이루어질 수 있다. 이에 따라, 제2 검출부(100)는 밀봉부(110)에 의해 침수가 방지되므로, 습식저장시설에 보관되어 있는 핵

연료집합체(10)에도 적용 가능할 수 있다.

- [0034] 콜리메이터(120)는 소정 길이로 연장되는 중공형의 관 형상으로, 내부에는 격벽(130) 및 검출부재(140)가 배치될 수 있다. 콜리메이터(120)는 외측면이 밀봉부(110)에 의해 감싸져 밀봉될 수 있다. 이러한 콜리메이터(120)는 텅스텐 물질로 이루어질 수 있다.
- [0035] 또한, 콜리메이터(120)는 핵연료집합체(10)에서 방출된 방사선을 통과시킬 수 있도록 슬릿(121)이 형성될 수 있다. 이에 따라, 콜리메이터(120)는 슬릿(121)을 통해 소정 방향의 방사선만을 통과시키고 다른 방향에서 입사되는 방사선을 차단하는 기능을 수행할 수 있다.
- [0036] 예를 들어, 슬릿(121)은 도 3 및 도 4에 도시된 바와 같이 콜리메이터(120)의 일측면으로부터 타측면까지 관통하도록 형성될 수 있다. 다른 예로, 슬릿(121)은 콜리메이터(120)의 일측면으로부터 소정 깊이로 함몰되도록 형성될 수 있다. 이때, 슬릿(121)은 콜리메이터(120)의 길이방향을 따라 연장형성될 수 있다. 또한, 슬릿(121)은 복수개가 소정간격으로 이격되어 배치될 수 있다.
- [0037] 격벽(130)은 콜리메이터(120)의 내부공간(150)에 배치되어, 상기 내부공간을 복수개로 분할할 수 있다. 격벽(130)은 콜리메이터(120)의 길이방향을 따라 연장형성되며, 콜리메이터(120)의 중심축을 기준으로 내부공간을 분할할 수 있으며, 분할된 각 내부공간에는 검출부재(140)가 배치될 수 있다.
- [0038] 예를 들어, 격벽(130)은 도 3 및 도 4에 도시된 바와 같이 단면이 십자형태로 형성되어 콜리메이터(120)의 내부공간을 동일한 크기로 4분할할 수 있다. 이때, 복수개의 슬릿(121)은 분할된 콜리메이터(120)의 내부공간(150)에 각각 대응되도록 배열될 수 있다. 이에 따라, 복수개의 슬릿(121) 각각은 분할된 콜리메이터(120)의 내부공간(150)으로 각각 방사선이 입사되도록 할 수 있다.
- [0039] 검출부재(140)는 콜리메이터(120) 내부에 배치되어, 슬릿(121)을 통과하여 입사한 방사선을 검출할 수 있다. 예를 들어, 검출부재(140)는 방사선을 입사받아 가시광선을 방출하는 섬광체(scintillator)이거나, 또는 반도체 검출기(semi-conductor detector) 검출기일 수 있다.
- [0040] 예를 들어, 검출부재(140)는 복수개로 형성되어, 콜리메이터(120)의 분할된 공간에 각각 배치될 수 있다. 다른 예로, 검출부재(140)는 슬릿(121)과 마주보게 배치되어, 슬릿(121)을 통과한 방사선의 입사효율이 증가될 수 있다.
- [0041] 이때, 제2 검출부(100)의 회전각도는 검출부재(140)의 배치 개수에 따라 제어될 수 있다. 예를 들어, 도 3 및 도 4에 도시된 바와 같이 4개의 검출부재(140)가 일정한 각도 간격으로 배열되어 있을 경우, 제2 검출부(100)는 90도만 회전하여도 제2 검출부(100) 주위 전방향에서 입사되는 방사선을 검출할 수 있다.
- [0042] 도 5 내지 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 핵연료집합체의 다양한 구조를 나타낸 평면도이고, 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 제2 검출부의 변형예를 도시한 평면도이다.
- [0043] 본 발명의 일 실시예에 따른 핵연료집합체(10)는 도 5 내지 도 7에 도시된 바와 같이 14X14 배열, 16X16 배열, 17X17 배열로 형성되고 이외에도 다양한 배열로 형성 가능하며, 내부 소정의 위치에는 가이드튜브가 형성될 수 있다. 예를 들어, 가이드튜브는 연료봉(11) 1개에 해당하는 공간을 차지할 수 있다.
- [0044] 제2 검출부(200)는 핵연료집합체(10)내 소정의 위치에 형성된 가이드튜브의 내부에 배치되어, 핵연료집합체(10)로부터 방출되는 방사선을 검출할 수 있다. 예를 들어, 제2 검출부(200)는 핵연료집합체(10) 내에서 연료봉(11) 1개에 해당하는 공간에 배치될 수 있다.
- [0045] 또한, 제2 검출부(200)는 복수개가 핵연료집합체(10) 내에서 소정 간격 이격되어 배치될 수 있다. 예를 들어, 도 5와 같이 핵연료집합체(10)가 14X14일 경우 제2 검출부(200)는 17개가 이격 배치되고, 도 6와 같이 핵연료집합체(10)가 16X16일 경우 제2 검출부(200)는 21개가 이격 배치되며, 도 7과 같이 핵연료집합체(10)가 17X17일 경우 제2 검출부(200)는 25개가 이격 배치될 수 있다.
- [0046] 도 8를 참고하면, 제2 검출부(200)는 밀봉부(210), 콜리메이터(220) 및 검출부재(240)를 포함할 수 있다. 밀봉부(210)는 전술한 본 발명의 일 실시예에 따른 제2 검출부(100)의 밀봉부(110)와 동일한 기능을 수행하므로 상세한 설명은 생략하며, 나머지 구성요소와 관련해서는 차이가 있는 부분에 대해서만 설명한다.
- [0047] 콜리메이터(220)는 내부에 검출부재(240)가 배치되고, 외측면이 밀봉부(210)에 의해 감싸져 밀봉될 수 있다. 또한, 콜리메이터(220)는 핵연료집합체(10)에서 방출된 방사선을 통과시킬 수 있도록 슬릿(221)이 형성될 수 있다.

- [0048] 예를 들어, 슬릿(221)은 도 8에 도시된 바와 같이 콜리메이터(220)의 일측면으로부터 타측면까지 관통하도록 형성될 수 있다. 다른 예로, 슬릿(221)은 콜리메이터(220)의 일측면으로부터 소정 깊이로 함몰되도록 형성될 수 있다. 이때, 슬릿(221)은 콜리메이터(220)의 길이방향을 따라 연장형성 될 수 있다.

[0049] 변형예에 따른 제2 검출부(200)의 콜리메이터(220)는 하나의 슬릿(221)이 형성되고, 내부공간(250)에는 하나의 검출부재(240)가 배치될 수 있다. 이때, 제2 검출부(200)는 중심축을 기준으로 360도 회전함에 따라 제2 검출부(200) 주위 전방향에서 입사되는 방사선을 검출할 수 있다.

[0050] 도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 제1 검출부로부터 획득한 사이노그램이고, 도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 제2 검출부로부터 획득한 사이노그램이며, 도 11은 도 9 및 도 10를 합성하여 획득한 합성 사이노그램이고, 도 12는 본 발명의 일 실시예에 따른 제1 검출부로부터 획득한 단층영상이며, 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 제1 검출부 및 제2 검출부로부터 획득한 단층영상이고, 도 14는 도 13의 단층영상을 바탕으로 핵연료집합체의 선원발생위치를 나타낸 도면이다.

[0051] 전술한 바와 같이, 고집적 핵연료집합체에 대한 고화질 방출단층영상 획득 장치(1)는 단층영상생성모듈(미도시)을 통해 제1 검출부(20) 및 제2 검출부(100)에서 수신한 검출데이터에 기초하여 핵연료집합체(10)의 단층영상을 생성할 수 있다.

[0052] 구체적으로, 단층영상생성모듈은 제1 검출부(20)가 회전에 의해 도 9에 도시된 1차원 투사 영상의 2차원 데이터인 사이노그램을 획득할 수 있고, 제2 검출부(100)의 회전에 도 10에 도시된 사이노그램을 획득할 수 있다. 또한, 단층영상생성모듈은 제1 검출부(20) 및 제2 검출부(100)로부터 획득한 사이노그램을 합성하여 도 11에 도시된 합성 사이노그램을 획득할 수 있다.

[0053] 나아가, 단층영상생성모듈은 영상 재구성 알고리즘을 이용하여 획득한 사이노그램을 재구성함으로써 단층영상을 생성할 수 있다.

[0054] 도 11에 도시된 단층영상은 제1 검출부(20)를 통해 획득한 도 9의 사이노그램으로부터 재구성하여 생성될 수 있다. 도 12에 도시된 단층영상은 제1 검출부(20) 및 제2 검출부(100)를 통해 획득한 도 11의 합성 사이노그램으로부터 재구성하여 생성될 수 있다.

[0055] 도 12 및 도 13을 비교하면, 외부에 위치한 제1 검출부(20)만을 이용했을 때 보다, 제1 검출부(20) 및 제2 검출부(100)를 모두 이용한 경우 공간분해능이 더 향상되었으며, 핵연료집합체 내부에 위치한 핵연료봉을 구분할 수 있는 것을 확인할 수 있다. 이에 따라, 제1 검출부(20) 및 제2 검출부(100)를 통해 획득한 단층영상을 바탕으로 도 14에 도시된 바와 같이 선원발생위치를 파악할 수 있으며, 이에 따라 핵연료집합체 내 결함이 발생한 핵연료봉의 위치를 파악할 수 있다.

[0056] 즉, 전술한 바와 같이 본 발명의 고집적 핵연료집합체에 대한 고화질 방출단층영상 획득 장치는 제1 검출부 및 제2 검출부를 포함함으로써 핵연료집합체 내부에서 발생하는 방사선을 효과적으로 검출할 수 있으므로 획득된 단층영상 공간분해능이 향상될 수 있고, 단층영상에 나타난 선원발생위치를 기반으로 핵연료집합체의 결함여부 및 결함위치를 검증할 수 있으며, 이에 따라 핵연료집합체의 추가적인 결함발생이나 방사선물질의 누출을 방지할 수 있는 효과가 있다.

[0057] 이상에서 본 발명의 일 실시예에 대하여 설명하였으나, 본 발명의 사상은 본 명세서에 제시되는 실시 예에 제한되지 아니하며, 본 발명의 사상을 이해하는 당업자는 동일한 사상의 범위 내에서, 구성요소의 부가, 변경, 삭제, 추가 등에 의해서 다른 실시 예를 용이하게 제안할 수 있을 것이나, 이 또한 본 발명의 사상범위 내에 든다고 할 것이다.

부호의 설명

- [0058]
- | | |
|------------------|---------------|
| 1: 방출단층영상 획득 장치 | |
| 10: 핵연료집합체 | 11: 연료봉 |
| 12: 가이드튜브 | |
| 20: 제1 검출부 | |
| 100, 200: 제2 검출부 | 110, 210: 밀봉부 |

120,220: 콜리메이터

121,221: 슬릿

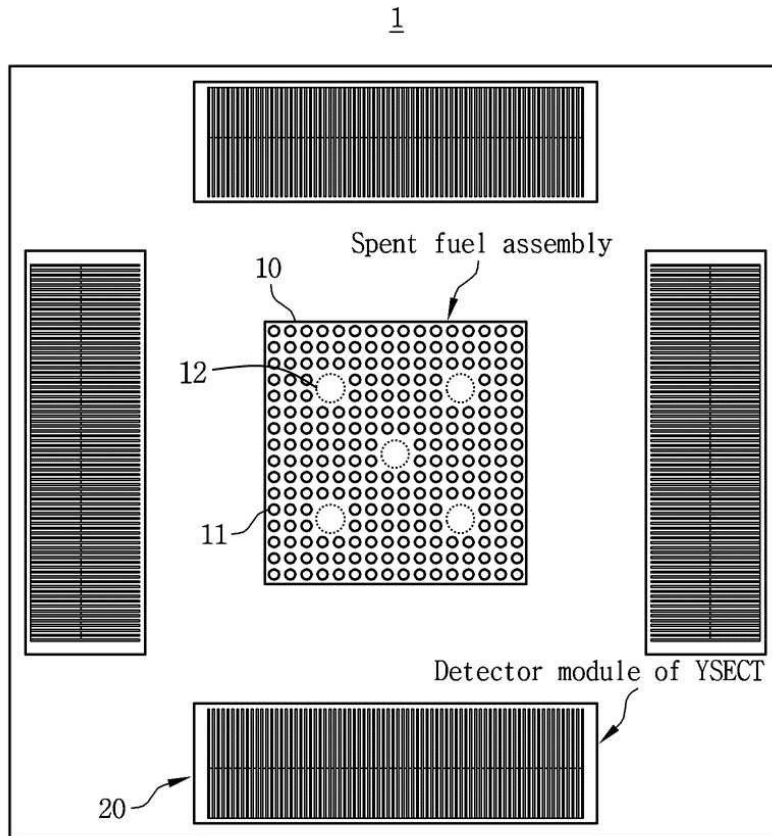
130: 격벽

140,240: 검출부재

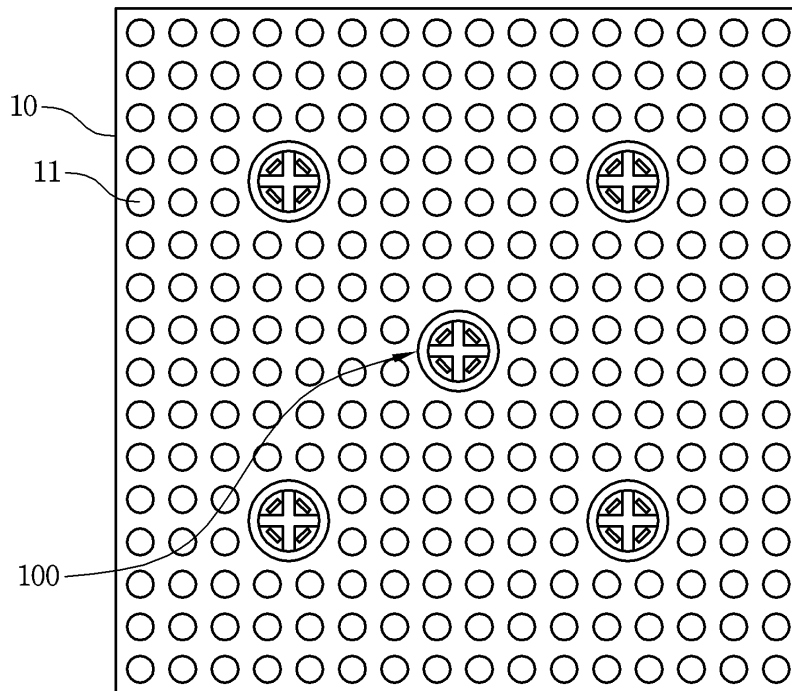
150,250: 내부공간

도면

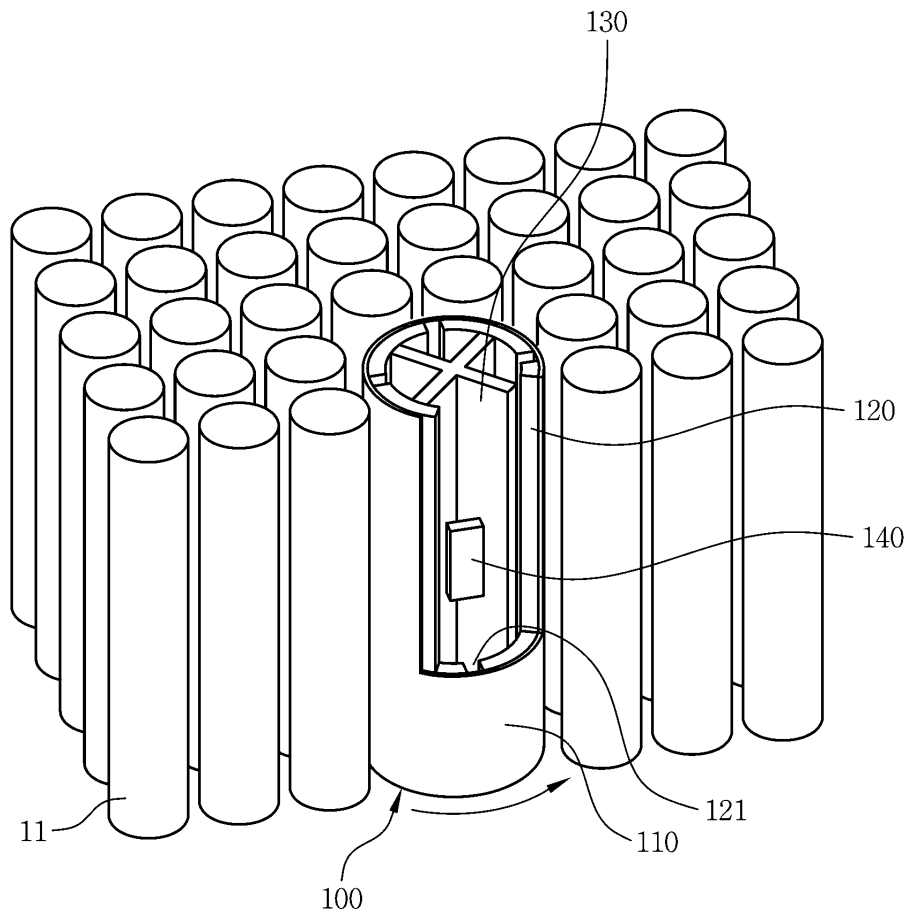
도면1



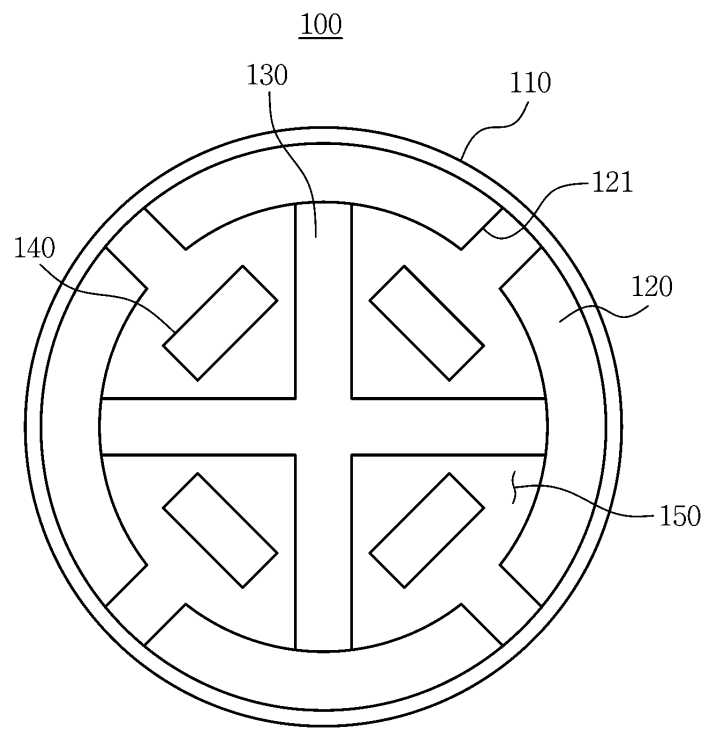
도면2



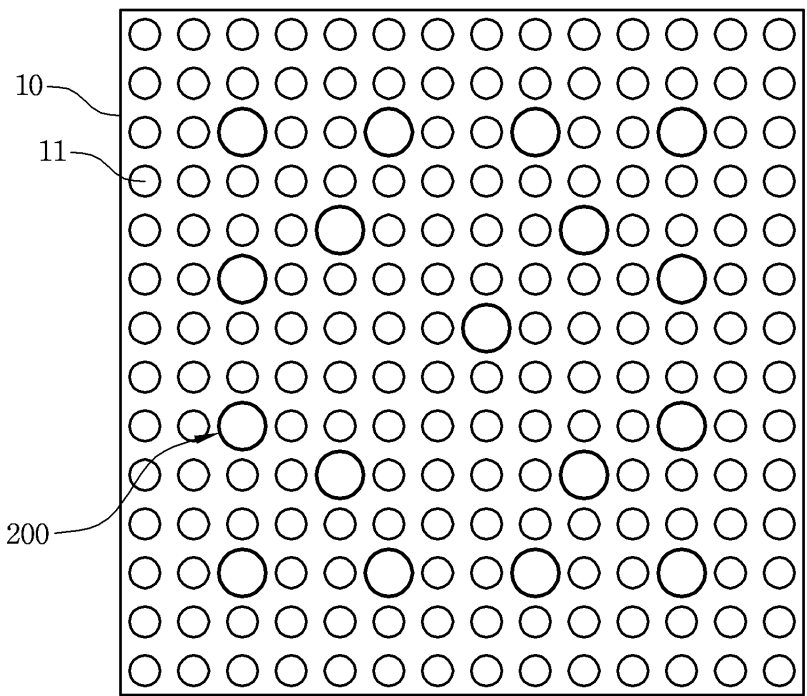
도면3



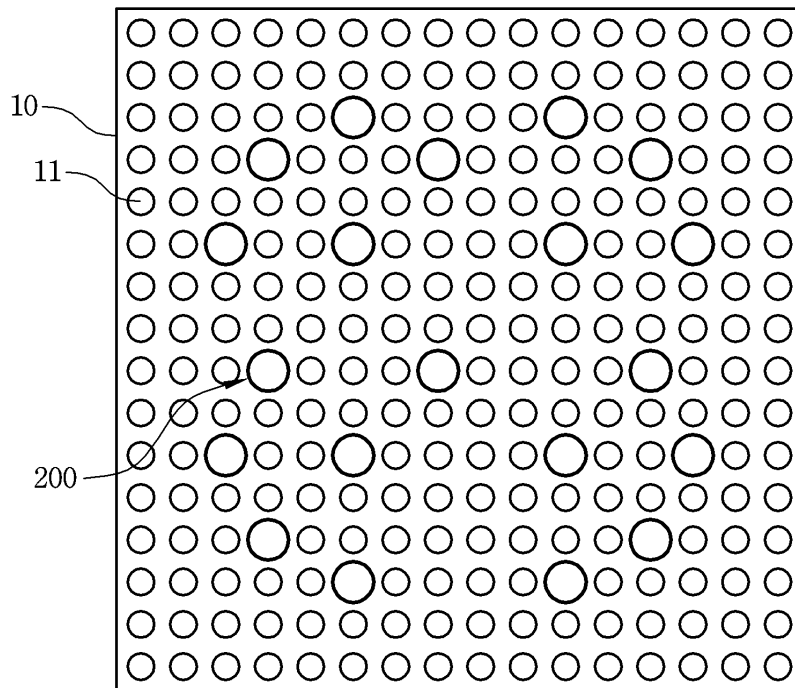
도면4



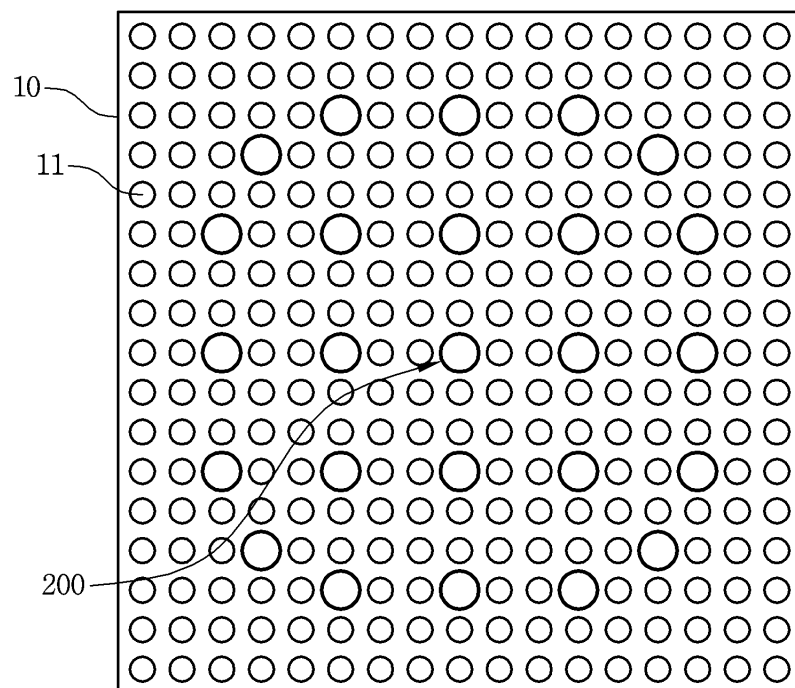
도면5



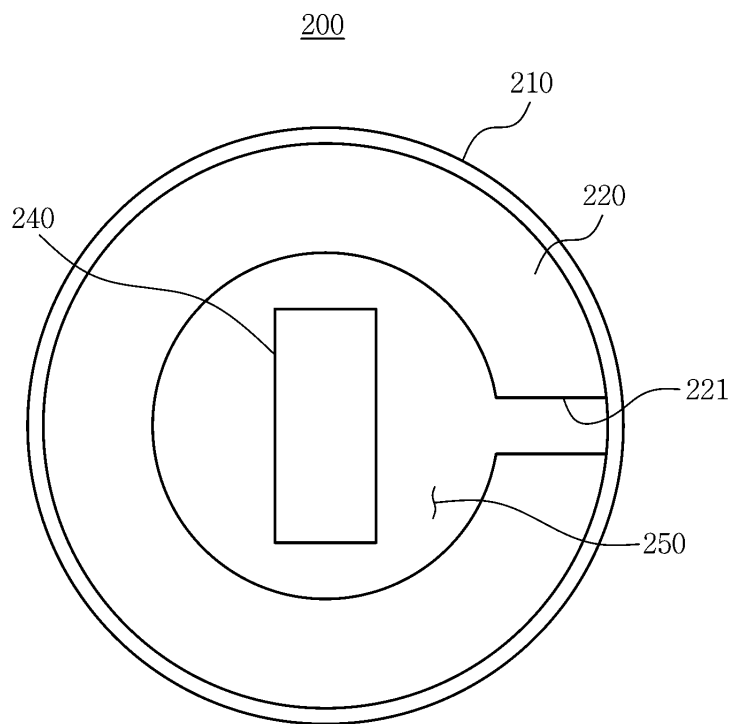
도면6



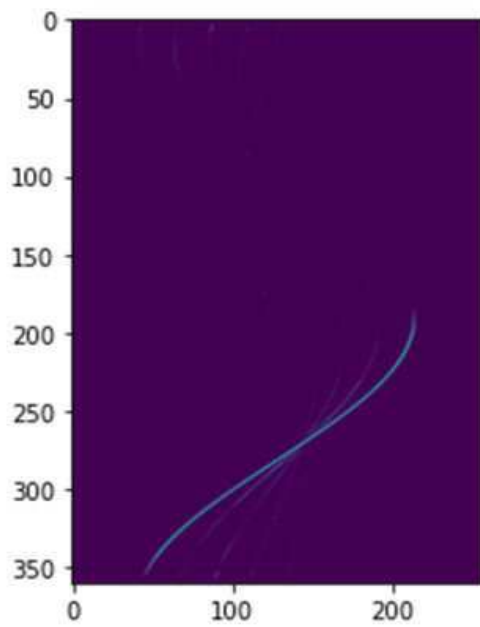
도면7



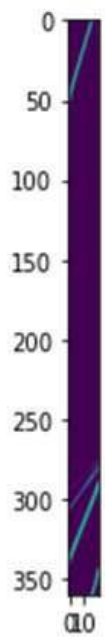
도면8



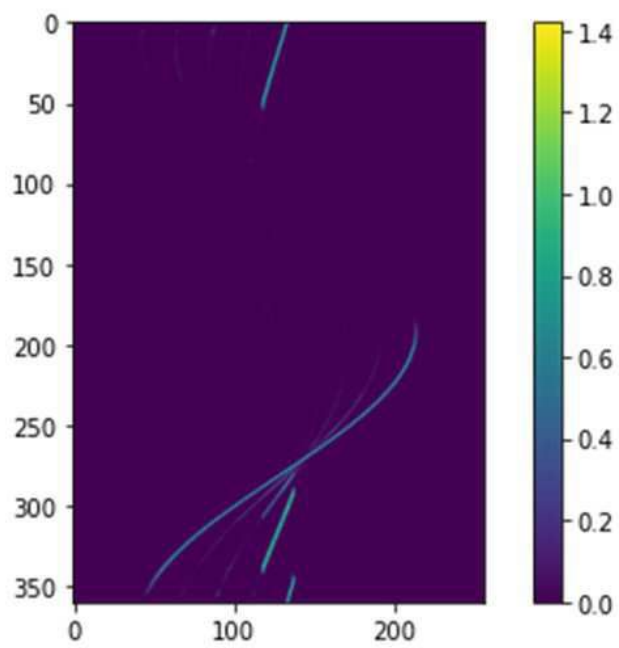
도면9



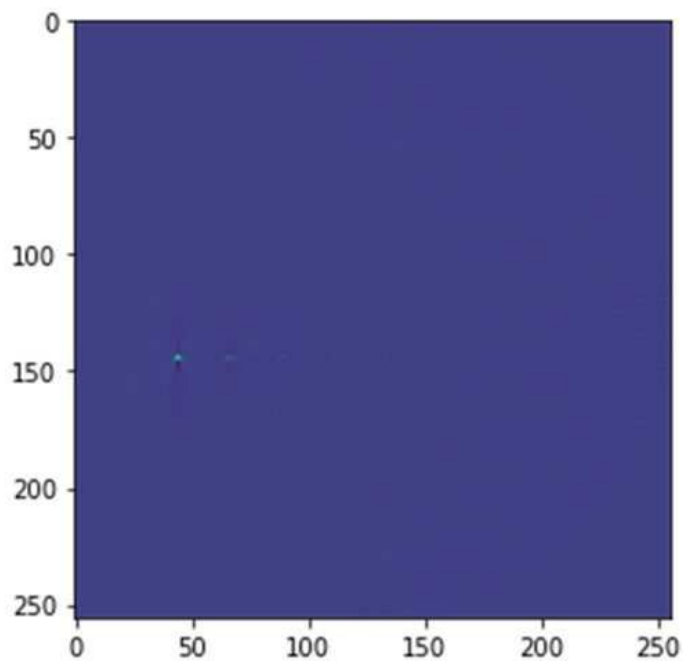
도면10



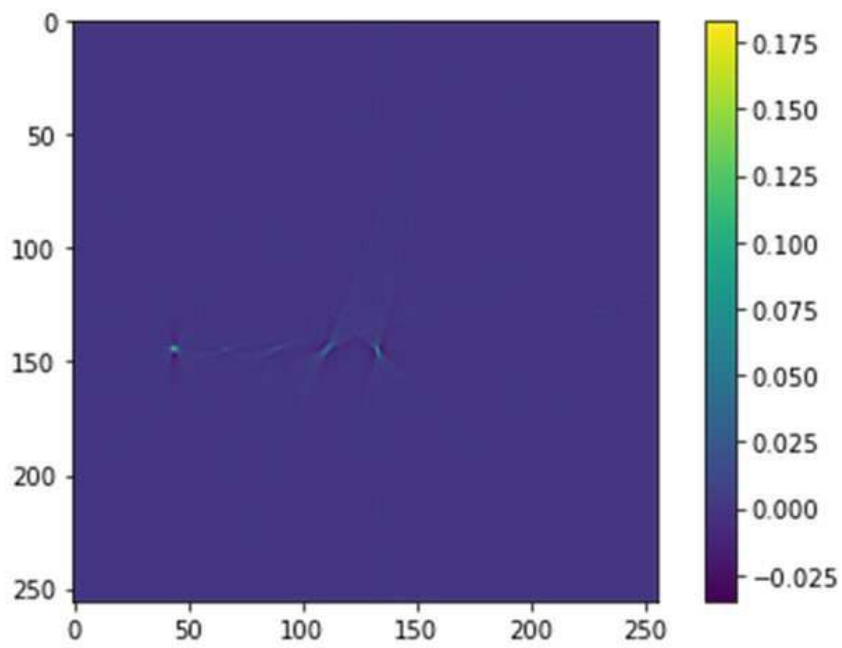
도면11



도면12



도면13



도면14

