



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년02월28일

(11) 등록번호 10-2504940

(24) 등록일자 2023년02월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G21C 17/10 (2006.01) G06N 20/00 (2019.01)

G06T 11/00 (2006.01) G21C 17/06 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G21C 17/10 (2013.01)

G06N 20/00 (2021.08)

(21) 출원번호 10-2020-0174782

(22) 출원일자 2020년12월14일

심사청구일자 2020년12월14일

(65) 공개번호 10-2022-0084869

(43) 공개일자 2022년06월21일

(56) 선행기술조사문헌

Automated Defect Detection in Spent Nuclear Fuels in Wet Storage Using Machine Learning and Image Analysis Techniques, Univ. of North Carolina State, (2019.12.31.) 1부.\*

Simultaneous Reconstruction of Emission and Attenuation in Passive Gamma Emission Tomography of Spent Nuclear Fuel, Univ. Helsinki.(2019.05.13.) 1부.\*

KR101589258 B1

KR102182848 B1

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

연세대학교 원주산학협력단

강원도 원주시 흥업면 연세대길 1

(72) 발명자

안재준

서울특별시 동작구 보라매로5가길 7 캐릭터그린빌 1903호

민철희

강원도 원주시 혁신로 400 푸른숨엘에이치11단지 1102동 1203호

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

오영진

전체 청구항 수 : 총 10 항

심사관 : 이용호

(54) 발명의 명칭 **사용후 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉 결손검출장치 및 결손검출방법****(57) 요약**

본 발명의 일 실시예에 따른 사용후 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉 결손검출장치는, 사용후 핵연료집합체 내부에 존재하는 핵연료봉에 의한 측정신호를 획득하는 신호 획득부; 상기 신호 획득부에서 획득한 측정신호를 재구성하여 상기 사용후 핵연료집합체 내부의 핵연료봉의 재구성영상을 생성하는 재구성영상 생성부; 상기 재구성영상에 상기 사용후 핵연료집합체 내부의 기준영상인 그라운드 트루스 영상(Ground Truth Image)을 아다마르 곱(Hadamard product)을 수행하여 가공영상을 생성하는 가공영상 생성부; 및 상기 가공영상의 각 픽셀의 강도 및 미리 설정된 값과의 비교 결과에 기초하여 영상처리를 수행하여 최종영상을 생성하는 영상처리부;를 포함한다.

**대표도** - 도1

100

200

300

400

(52) CPC특허분류

**G06T 11/008** (2013.01)

**G21C 17/06** (2013.01)

**G06T 2207/10081** (2013.01)

(72) 발명자

**정용현**

강원도 원주시 개운로 30 휴먼시아원주개운1단지  
102동 904호

**최세환**

서울특별시 동대문구 한천로8가길 17-1

**임진영**

강원도 원주시 흥업면 북원로 1412-11 휴먼스빌  
305호

**서민석**

서울특별시 금천구 한대로 69-54 주공14단지아파트  
1403동 204호

**장인호**

강원도 원주시 예술관길 15 원주 삼성아파트 3동  
303호

**최현준**

강원도 원주시

**최형주**

서울특별시 도봉구 해등로 118 상아1차아파트 3동  
901호

**백민규**

경기도 부천시 부천로366번길 68 성원주택102동  
201호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1075000982

과제번호 1803027

부처명 원자력안전위원회

과제관리(전문)기관명 한국원자력안전재단

연구사업명 핵비확산및핵안보이행기술개발(R&D)

연구과제명 단층촬영기법을 활용한 사용후 핵연료집합체 영상 검증 기술 개발

기 여 율 1/1

과제수행기관명 연세대학교 원주산학협력단

연구기간 2020.01.01 ~ 2020.12.31

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

사용후 핵연료집합체 내부에 존재하는 핵연료봉에 의한 측정신호를 획득하는 신호 획득부;

상기 신호 획득부에서 획득한 측정신호를 재구성하여 상기 사용후 핵연료집합체 내부의 핵연료봉의 재구성영상을 생성하는 재구성영상 생성부;

상기 재구성영상에 상기 사용후 핵연료집합체 내부의 기준영상인 그라운드 트루스 영상(Ground Truth Image)을 아다마르 곱(Hadamard product)을 수행하여 가공영상을 생성하는 가공영상 생성부; 및

상기 가공영상의 각 픽셀의 강도 및 미리 설정된 값과의 비교 결과에 기초하여 영상처리를 수행하여 최종영상을 생성하는 영상처리부;

를 포함하고,

상기 영상처리부는 상기 가공영상의 각 픽셀의 강도가 미리 설정된 임계값 (Threshold) 보다 낮은 픽셀을 제외하여 상기 최종영상을 생성하는 사용후 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉 결손검출장치.

#### 청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 신호 획득부는 상기 사용후 핵연료집합체를 단일광자방출 컴퓨터 단층촬영(Single-Photon Emission Computed Tomography, SPECT)을 통하여 사용후 핵연료집합체 내부에 존재하는 상기 핵연료봉에 의한 측정신호를 획득하는 것을 특징으로 하는 사용후 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉 결손검출장치.

#### 청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 재구성영상 생성부는 여과중첩 재구성방법(Filtered Back Projection, FBP)을 이용하여 상기 사용후 핵연료집합체 내부의 핵연료봉의 재구성영상을 생성하는 것을 특징으로 하는 사용후 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉 결손검출장치.

#### 청구항 4

삭제

#### 청구항 5

청구항 1에 있어서,

상기 최종영상에 기초하여 상기 사용후 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉 결손여부 및 결손위치를 판단하는 판단부;

를 더 포함하는 사용후 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉 결손검출장치.

#### 청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 가공영상 및 상기 가공영상과 대응되는 상기 판단부의 판단결과를 저장하는 데이터 저장부; 및  
 상기 데이터 저장부에 저장된 상기 가공영상 및 상기 판단결과에 기초하여 기계학습을 수행하여 상기 임계값을 생성하는 기계학습부;  
 를 포함하는 사용후 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉 결손검출장치.

## 청구항 7

신호 획득부가 사용후 핵연료집합체 내부에 존재하는 핵연료봉에 의한 측정신호를 획득하는 단계;  
 재구성영상 생성부가 상기 신호획득부에서 획득한 측정신호를 재구성하여 상기 사용후 핵연료집합체 내부의 핵연료봉의 재구성영상을 생성하는 단계;  
 가공영상 생성부가 상기 재구성영상에 상기 사용후 핵연료집합체 내부의 기준영상인 그라운드 트루스 영상(Ground Truth Image)을 아다마르아라미드 곱(Hadamard product)을 수행하여 가공영상을 생성하는 단계; 및  
 상기 가공영상의 각 픽셀의 강도 및 미리 설정된 값과의 비교 결과에 기초하여 영상처리를 수행하여 최종영상을 생성하는 단계;  
 를 포함하고,  
 상기 최종영상을 생성하는 단계는,  
 상기 가공영상의 각 픽셀의 강도를 검출하는 단계;  
 검출된 상기 픽셀의 강도와 미리 설정된 임계값(Threshold)과와 비교하는 단계; 및  
 상기 픽셀의 강도가 미리 설정된 임계값보다 작은 픽셀을 제거하는 단계; 를 포함하는 사용후 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉 결손검출방법.

## 청구항 8

청구항 7에 있어서,  
 상기 신호 획득부는 상기 사용후 핵연료집합체를 단일광자방출 컴퓨터 단층촬영(Single-Photon Emission Computed Tomography, SPECT)을 통하여 사용후 핵연료집합체 내부에 존재하는 상기 핵연료봉에 의한 측정신호를 획득하는 것을 특징으로 하는 사용후 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉 결손검출방법.

## 청구항 9

청구항 8에 있어서,  
 상기 재구성영상 생성부는 여과중첩 재구성방법(Filtered Back Projection, FBP)을 이용하여 상기 사용후 핵연료집합체 내부의 핵연료봉의 재구성영상을 생성하는 것을 특징으로 하는 사용후 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉 결손검출방법.

## 청구항 10

삭제

## 청구항 11

청구항 7에 있어서, 상기 최종영상을 생성하는 단계 이후에는,  
 판단부가 상기 최종영상에 기초하여 상기 사용후 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉 결손여부 및 결손위치를 판단하는 단계;

를 더 포함하는 사용후 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉 결손검출방법.

## 청구항 12

청구항 7에 있어서,

상기 임계값은 상기 가공영상 및 상기 가공영상과 대응되는 판단결과에 기초하여 기계학습을 수행하여 결정되는 사용후 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉 결손검출방법.

## 발명의 설명

### 기술 분야

[0001] 본 발명은 사용후 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉 결손검출장치 및 결손검출방법에 관한 것이다.

### 배경 기술

[0003] 핵연료는 원자로 안에 장입하여 핵분열을 연쇄적으로 일으켜서 이용 가능한 에너지를 얻을 수 있는 물질을 말하며, 사용후핵연료는 핵분열을 일으킨 후에 남은 물질을 말한다.

[0004] 사용후 핵연료(Spent Nuclear Fuel)란 원자로에서 방사선에 조사된 후에 원자로로부터 영구적으로 분리된 핵연료를 말하며, 사용전 핵연료와 외관상 차이는 없으나 물질 구성이 다르다.

[0005] 사용전 핵연료는 우라늄 동위원소로만 이루어져 있으나, 원자로에서 핵분열 연쇄반응으로 인해 세슘(Cs), 스트론튬(Sr), 요오드(I), 테크네튬(Tc), 플루토늄(Pu), 넵투늄(Np), 아메리슘(Am), 퀴륨(Cm) 등의 불안정 핵종이 생성되며, 이들 중 요오드, 테크네튬, 플루토늄, 넵투늄, 아메리슘 등은 인체에 매우 유독하면서 반감기가 최대 210만년으로 매우 길기 때문에 상당한 시간에 걸쳐 관리가 필요하며, 나아가 이러한 불안정한 핵종이 안정화되기 위해 방사선붕괴가 일어나는데 이 과정에서 인체에 유해한 강한 방사선과 방출열이 방출되게 된다.

[0006] 따라서 사용후 핵연료는 방사선붕괴 과정에서 발생하는 방사선과 방출열을 제거하면서 재처리 혹은 폐기를 위하여 저장하게 되는데, 이러한 저장은 저장관리, 중간저장, 영구처분 등으로 구분할 수 있다.

[0007] 저장관리는 사용후핵연료를 저장수조(습식저장)나 건식저장시설과 같은 발전소 내 저장 시설에 보관하는 것으로 임시 저장이라고도 하며, 중간저장은 임시 저장을 통해 충분히 냉각된 사용후 핵연료를 최종처분하기 이전까지 중장기적으로 저장, 관리하는 것으로, 최소 30년 내지 80년간 사용후 핵연료를 저장하게 된다.

[0008] 한편 현재 국내 원자력발전소에서 발생하는 사용후 핵연료는 일정기간 발전소 부지 내 사용후 핵연료 저장조에 임시 저장한 후 콘크리트 건식 사일로(silo) 및 조밀저장시설인 맥스터(MACSTOR)에 중간 저장하고 있는데 이러한 과정에서 핵연료집합체 내에 일부 핵연료봉의 결손이 발생할 경우 극도로 위험한 물질이 외부로 유출되게 되므로 핵연료봉의 결손 여부를 정확하고 신속하게 확인할 수 있는 기술의 개발이 요구된다.

[0009] 한편, 하기 선행기술문헌은 사용후 핵연료봉 내에 존재하는 방사능플루토늄의 양을 측정하는 방법에 대한 기술을 개시하고 있으며, 본 발명의 기술적 요지는 개시하고 있지 않다.

### 선행기술문헌

#### 특허문헌

[0011] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허공보 제10-1740882호

### 발명의 내용

#### 해결하려는 과제

[0012] 본 발명의 일 실시예에 따른 사용후 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉 결손검출장치 및 결손검출방법은 전술한

문제점을 해결하기 위하여 다음과 같은 해결과제를 목적으로 한다.

[0013] 사용후 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉의 결손여부를 신속하고 정확하게 확인 및 판단할 수 있는 사용후 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉 결손검출방법을 제공하는 것이다.

[0014] 본 발명의 해결과제는 이상에서 언급된 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 해결과제들은 아래의 기재로부터 당해 기술분야에 있어서의 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해되어 질 수 있을 것이다.

### 과제의 해결 수단

[0016] 본 발명의 일 실시예에 따른 사용후 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉 결손검출장치는, 사용후 핵연료집합체 내부에 존재하는 핵연료봉에 의한 측정신호를 획득하는 신호 획득부; 상기 신호 획득부에서 획득한 측정신호를 재구성하여 상기 사용후 핵연료집합체 내부의 핵연료봉의 재구성영상을 생성하는 재구성영상 생성부; 상기 재구성영상에 상기 사용후 핵연료집합체 내부의 기준영상인 그라운드 트루스 영상(Ground Truth Image)을 아다마르 곱(Hadamard product)을 수행하여 가공영상을 생성하는 가공영상 생성부; 및 상기 가공영상의 각 픽셀의 강도 및 미리 설정된 값과의 비교 결과에 기초하여 영상처리를 수행하여 최종영상을 생성하는 영상처리부;를 포함한다.

[0017] 상기 신호 획득부는 상기 사용후 핵연료집합체를 단일광자방출 컴퓨터 단층촬영(Single-Photon Emission Computed Tomography, SPECT)을 통하여 사용후 핵연료집합체 내부에 존재하는 상기 핵연료봉에 의한 측정신호를 획득하는 것이 바람직하다.

[0018] 상기 재구성영상 생성부는 여과중첩 재구성방법(Filtered Back Projection, FBP)을 이용하여 상기 사용후 핵연료집합체 내부의 핵연료봉의 재구성영상을 생성하는 것이 바람직하다.

[0019] 상기 영상처리부는 상기 가공영상의 각 픽셀의 강도가 미리 설정된 임계값(Threshold) 보다 낮은 픽셀을 제외하여 상기 최종영상을 생성하는 것이 바람직하다.

[0020] 상기 최종영상에 기초하여 상기 사용후 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉 결손여부 및 결손위치를 판단하는 판단부;를 더 포함하는 것이 바람직하다.

[0021] 상기 가공영상 및 상기 가공영상과 대응되는 상기 판단부의 판단결과를 저장하는 데이터 저장부; 및 상기 데이터 저장부에 저장된 상기 가공영상 및 상기 판단결과에 기초하여 기계학습을 수행하여 상기 임계값을 생성하는 기계학습부;를 포함하는 것이 바람직하다.

[0023] 본 발명의 일 실시예에 따른 사용후 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉 결손검출방법은, 신호 획득부가 사용후 핵연료집합체 내부에 존재하는 핵연료봉에 의한 측정신호를 획득하는 단계; 재구성영상 생성부가 상기 신호획득부에서 획득한 측정신호를 재구성하여 상기 사용후 핵연료집합체 내부의 핵연료봉의 재구성영상을 생성하는 단계; 가공영상 생성부가 상기 재구성영상에 상기 사용후 핵연료집합체 내부의 기준영상인 그라운드 트루스 영상(Ground Truth Image)을 아라미드아다마르 곱(Hadamard product)을 수행하여 가공영상을 생성하는 단계; 및 상기 가공영상의 각 픽셀의 강도 및 미리 설정된 값과의 비교 결과에 기초하여 영상처리를 수행하여 최종영상을 생성하는 단계;를 포함한다.

[0024] 상기 신호 획득부는 상기 사용후 핵연료집합체를 단일광자방출 컴퓨터 단층촬영(Single-Photon Emission Computed Tomography, SPECT)을 통하여 사용후 핵연료집합체 내부에 존재하는 상기 핵연료봉에 의한 측정신호를 획득하는 것이 바람직하다.

[0025] 상기 재구성영상 생성부는 여과중첩 재구성방법(Filtered Back Projection, FBP)을 이용하여 상기 사용후 핵연료집합체 내부의 핵연료봉의 재구성영상을 생성하는 것이 바람직하다.

[0026] 상기 최종영상을 생성하는 단계는, 상기 가공영상의 각 픽셀의 강도를 검출하는 단계; 검출된 상기 픽셀의 강도와 미리 설정된 임계값(Threshold)와 비교하는 단계; 및 상기 픽셀의 강도가 미리 설정된 임계값보다 작은 픽셀을 제거하는 단계;를 포함하는 것이 바람직하다.

[0027] 상기 최종영상을 생성하는 단계 이후에는, 판단부가 상기 최종영상에 기초하여 상기 사용후 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉 결손여부 및 결손위치를 판단하는 단계;를 더 포함하는 것이 바람직하다.

[0028] 상기 임계값은 상기 가공영상 및 상기 가공영상과 대응되는 판단결과에 기초하여 기계학습을 수행하여 결정되는 것이 바람직하다.

## 발명의 효과

- [0030] 본 발명의 일 실시예에 따른 사용후 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉 결손검출장치 및 결손검출방법은 저화질의 영상을 인간의 눈으로도 객체의 존재 여부를 판단할 수 있는 영상을 쉽고 빠르게 획득할 수 있는 장점이 있다.
- [0031] 또한 이를 통하여 기상악화, 부실한 촬영 장비, 제한된 시간 등의 악조건에서도 객체 존재 여부를 신속하고 정확하게 판단할 수 있는 효과를 기대할 수 있다.
- [0032] 본 발명의 효과는 이상에서 언급된 것들에 한정되지 않으며, 언급되지 아니한 다른 효과들은 아래의 기재로부터 당해 기술분야에 있어서의 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해되어질 수 있을 것이다.

## 도면의 간단한 설명

- [0034] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 사용후 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉 결손검출장치를 간략히 도시한 블록도이다.
- 도 2 및 도 3은 여과중첩 재구성방법(Filtered Back Projection, FBP) 등을 통하여 생성된 재구성영상에 그라운드 트루스 영상을 아다마르마라드 곱을 수행하여 가공영상을 획득하는 예를 도시한 이미지이다.
- 도 4는 본 발명의 다른 실시예에 따른 사용후 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉 결손검출장치를 도시한 블록도이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 사용후 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉 결손검출방법을 시계열적으로 도시한 플로우차트이다.
- 도 6은 도 5에서의 최종영상을 생성하는 단계를 시계열적으로 세분화하여 도시한 플로우차트이다.

## 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0035] 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 상세히 설명하되, 도면 부호에 관계없이 동일하거나 유사한 구성 요소는 동일한 참조 번호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다.
- [0036] 또한, 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다. 또한, 첨부된 도면은 본 발명의 사상을 쉽게 이해할 수 있도록 하기 위한 것일 뿐, 첨부된 도면에 의해 본 발명의 사상이 제한되는 것으로 해석되어서는 아니 됨을 유의해야 한다.
- [0038] 이하 도 1 내지 도 3을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 사용후 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉 결손검출장치에 대하여 설명하도록 한다.
- [0039] 본 발명의 일 실시예에 따른 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉 결손검출장치는 도 1에 도시된 바와 같이 신호 획득부(100), 재구성영상 생성부(200), 가공영상 생성부(300) 및 영상처리부(400)를 포함하도록 구성된다.
- [0040] 신호 획득부(100)는 사용후 핵연료집합체 내부에 존재하는 핵연료봉에 의한 측정신호를 획득하는 기능을 수행하며, 구체적으로 사용후 핵연료집합체를 단일광자방출 컴퓨터 단층촬영(Single-Photon Emission Computed Tomography, SPECT)을 통하여 사용후 핵연료집합체 내부에 존재하는 상기 핵연료봉에 의한 측정신호를 획득한다.
- [0041] 재구성영상 생성부(200)는 신호 획득부(100)에서 획득한 핵연료봉에 의한 측정신호를 재구성하여 사용후 핵연료집합체 내부의 핵연료봉의 재구성영상을 생성하는 기능을 수행한다.
- [0042] 특히 재구성영상 생성부(200)는 여과중첩 재구성방법(Filtered Back Projection, FBP)을 이용하여 상기 사용후 핵연료집합체 내부의 핵연료봉의 재구성영상을 생성할 수 있다.
- [0043] 이러한 재구성영상의 경우 도 2의 FBP 영상 및 도 3의 (a)와 같이 사용후 핵연료집합체 내부의 핵연료봉의 위치가 출력되기는 하지만 핵연료봉의 흐릿하게(Blur) 출력되기 때문에 사용후 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉의 결손여부를 쉽게 판별하기 어렵다.
- [0044] 상기 문제점을 해결하기 위해서 본 발명의 일 실시예에 따른 사용후 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉 결손검출장치는 가공영상 생성부(300)를 구비하는데, 이러한 가공영상 생성부(300)는 재구성영상 생성부(200)가 생성한 재구성영상에 사용후 핵연료집합체 내부의 기준영상인 그라운드 트루스 영상(Ground Truth Image)을 아다마르



곱(Hadamard product)을 수행하여 가공영상을 생성하는 기능을 수행한다.

- [0045] 여기에서 그라운드 트루스 영상은 핵연료집합체의 기하학적 구조 정보를 보여주는 기준영상이며, 아다마르 곱이 란 도 2에 도시된 바와 같이 같은 크기의 두 행렬의 각 성분을 곱하는 연산이다.
- [0046] 이러한 가공영상 생성부(300)에 의하여 생성된 가공영상을 통하여 사용후 핵연료집합체 내의 핵연료봉의 위치, 즉 선원의 위치를 육안으로 쉽게 확인할 수 있게 된다.
- [0047] 영상처리부(400)는 가공영상 생성부(300)에서 생성한 가공영상의 각 픽셀의 강도(Intensity)와 미리 설정된 값과의 비교 결과에 기초하여 영상처리를 수행하는 구성이다.
- [0048] 구체적으로 영상처리부(400)는 가공영상의 각 픽셀의 강도(Intensity)가 미리 설정된 임계값(Threshold) 보다 낮은 픽셀을 가공영상에서 제외하여 최종영상을 생성하게 된다.
- [0049] 한편, 상술한 임계값은 사용자가 직접 설정할 수 있으나, 임계값이 너무 낮거나 높을 경우 핵연료봉의 위치 판별에 오류가 발생할 수 있기 때문에 최적의 임계값의 설정이 요구되며, 따라서 최적의 임계값을 자동으로 생성할 수 있도록 구현함으로써 사용후 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉의 검출여부를 정확히 판단하는 기능이 요구된다.
- [0050] 이를 위하여 본 발명의 다른 실시예에 따른 사용후 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉 결손검출장치는 상술한 신호 획득부(100), 재구성영상 생성부(200), 가공영상 생성부(300), 영상처리부(400)를 모두 구비하되, 도 4에 도시된 바와 같이 판단부(500), 데이터 저장부(600) 및 기계학습부(700)를 더 포함하도록 구성된다.
- [0051] 판단부(500)는 영상처리부(400)에서 생성한 최종영상에 기초하여 사용후 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉 결손여부 및 결손위치를 자동으로 판단하는 기능을 수행한다.
- [0052] 데이터 저장부(600)는 가공영상 및 가공영상과 대응되는 판단부(500)의 판단결과를 저장하는 기능을 수행하며, 기계학습부(700)는 데이터 저장부(600)에 저장된 가공영상 및 판단결과의 빅데이터(Big Data)에 기초하여 기계학습을 수행하여 최적의 임계값을 생성하는 기능을 수행하며, 여기에서 기계학습은 딥러닝(Deep Learning)인 것이 바람직하다.
- [0053] 즉 기계학습부(700)에 의하여 가공영상 및 판단결과 간의 상관관계인 최적의 임계값을 생성함으로써 사용자가 직접 임계값을 설정할 경우 발생할 수 있는 오류를 방지할 수 있다.
- [0055] 이하에서는 도 5 및 도 6을 참조하여 본 발명의 일 실시예에 따른 사용후 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉 결손검출방법에 대하여 설명하되, 앞에서 설명한 본 발명의 일 실시예 및 다른 실시예에 따른 사용후 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉 결손검출장치의 내용과 중복되는 내용은 그 자세한 설명을 생략하도록 한다.
- [0056] 본 발명의 일 실시예에 따른 사용후 핵연료집합체 내에서의 핵연료봉 결손검출방법은 도 5에 도시된 바와 같이 측정신호 획득단계(S100), 재구성영상 생성단계(S200), 가공영상 생성단계(S300), 최종영상 생성단계(S400) 및 핵연료봉 결손여부 및 결손위치 판단단계(S500)를 포함하도록 구성된다.
- [0057] 측정신호 획득단계(S100)는 신호 획득부(100)가 사용후 핵연료집합체 내부에 존재하는 핵연료봉에 의한 측정신호를 획득하는 단계로, 구체적으로 신호 획득부(100)는 상기 사용후 핵연료집합체를 단일광자방출 컴퓨터 단층촬영(Single-Photon Emission Computed Tomography, SPECT)을 통하여 사용후 핵연료집합체 내부에 존재하는 상기 핵연료봉에 의한 측정신호를 획득한다.
- [0058] 재구성영상 생성단계(S200)는 재구성영상 생성부(200)가 상기 신호획득부에서 획득한 측정신호를 재구성하여 상기 사용후 핵연료집합체 내부의 핵연료봉의 재구성영상을 생성하는 단계이며, 여기에서 상기 재구성영상 생성부(200)는 여과중첩 재구성방법(Filtered Back Projection, FBP)을 이용하여 상기 사용후 핵연료집합체 내부의 핵연료봉의 재구성영상을 생성한다.
- [0059] 가공영상 생성단계(S300)는 가공영상 생성부(300)가 상기 재구성영상에 상기 사용후 핵연료집합체 내부의 기준영상인 그라운드 트루스 영상(Ground Truth Image)을 아다마르아라미드 곱(Hadamard product)을 수행하여 가공영상을 생성하는 단계이다.
- [0060] 최종영상을 생성하는 단계(S400)는 가공영상의 각 픽셀의 강도 및 미리 설정된 값과의 비교 결과에 기초하여 영상처리를 수행하여 최종영상을 생성하는 단계이다.
- [0061] 이러한 최종영상을 생성하는 단계(S400)는 구체적으로 도 6에 도시된 바와 같이 가공영상의 각 픽셀의 강도를



검출하는 단계(S410), 검출된 픽셀의 강도와 미리 설정된 임계값(Threshold)와 비교하는 단계(S420) 및 픽셀의 강도가 미리 설정된 임계값보다 작은 픽셀을 제거하는 단계(S430)로 세분화할 수 있다.

[0062] 한편, 상기 임계값은 사용자의 경험에 의하여 적절히 설정하는 것도 가능하지만, 정확한 임계값의 설정을 위하여 앞에서 설명한 데이터 저장부(600)에 가공영상 및 가공영상과 대응되는 판단결과를 저장하고, 이러한 가공영상 및 판단결과와 빅데이터(Big Data)에 기초하여 딥러닝(Deep Learning)을 수행하여 최적의 임계값을 생성하는 것이 바람직하다.

[0063] 즉 딥러닝을 통한 임계값을 결정함으로써 가공영상 및 판단결과 간의 상관관계인 최적의 임계값을 생성할 수 있으며, 이를 통하여 사용자가 직접 임계값을 설정할 경우 발생될 수 있는 오류를 방지할 수 있다.

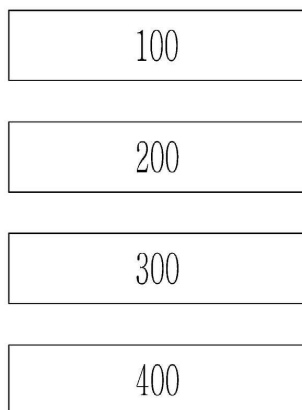
[0065] 본 명세서에서 설명되는 실시예와 첨부된 도면은 본 발명에 포함되는 기술적 사상의 일부를 예시적으로 설명하는 것에 불과하다. 따라서 본 명세서에 개시된 실시예들은 본 발명의 기술적 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이므로, 이러한 실시예에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것이 아님은 자명하다. 본 발명의 명세서 및 도면에 포함된 기술적 사상의 범위 내에서 당해 기술분야에 있어서의 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 유추할 수 있는 변형 예와 구체적인 실시예는 모두 본 발명의 권리범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

## 부호의 설명

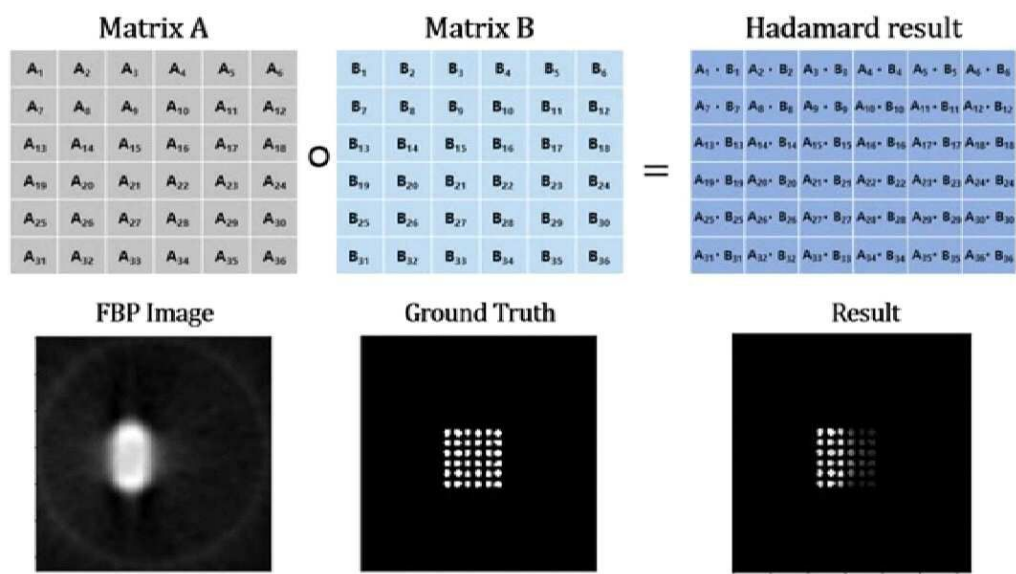
[0067] 100: 신호 획득부  
200: 재구성영상 생성부  
300: 가공영상 생성부  
400: 영상처리부  
500: 판단부  
600: 데이터 저장부  
700: 기계학습부

## 도면

### 도면1



도면2

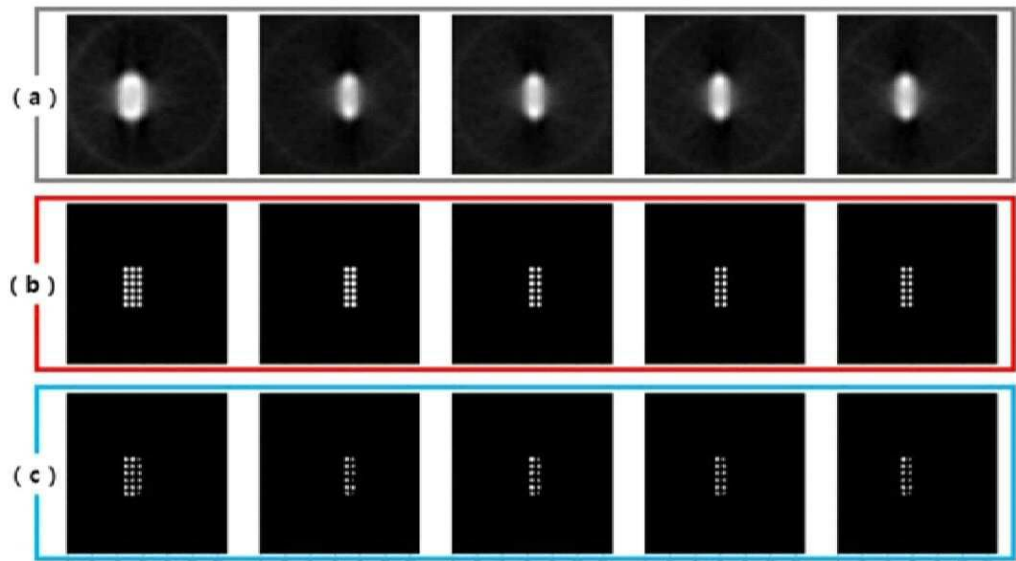


FBP Image

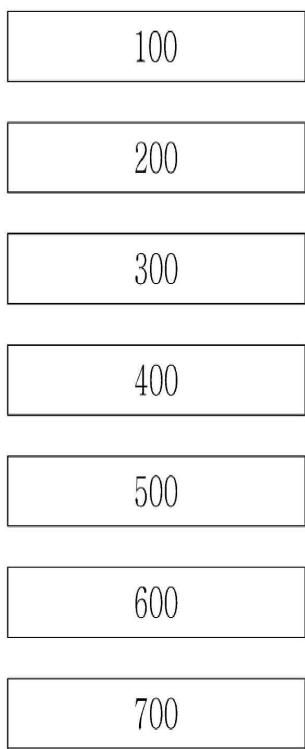
Ground Truth

Result

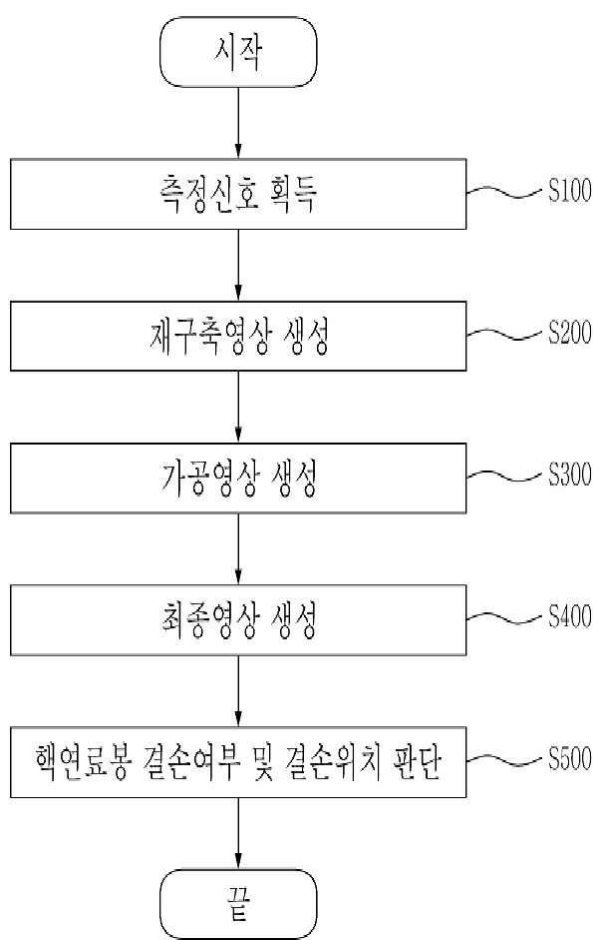
도면3



도면4



도면5



도면6

