



**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(45) 공고일자 2016년04월29일  
 (11) 등록번호 10-1614698  
 (24) 등록일자 2016년04월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
**G21C 3/34** (2006.01)  
 (21) 출원번호 10-2014-0097396  
 (22) 출원일자 2014년07월30일  
 심사청구일자 2014년07월30일  
 (65) 공개번호 10-2016-0015484  
 (43) 공개일자 2016년02월15일  
 (56) 선행기술조사문헌  
 JP2000230994 A\*  
 JP2753333 B2  
 JP06214073 A  
 KR101101975 B1  
 \*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
**울산과학기술원**  
 울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50  
 (72) 발명자  
**방인철**  
 울산 울주군 범서읍 굴화1길 55, 107동 705호 (굴  
 화강변월드메르디앙)  
**박성대**  
 울산 중구 유곡로 10, 215동 1906호 (우정동, 선  
 경2차아파트)  
 (뒷면에 계속)  
 (74) 대리인  
**장한특허법인**

전체 청구항 수 : 총 4 항

심사관 : 이용호

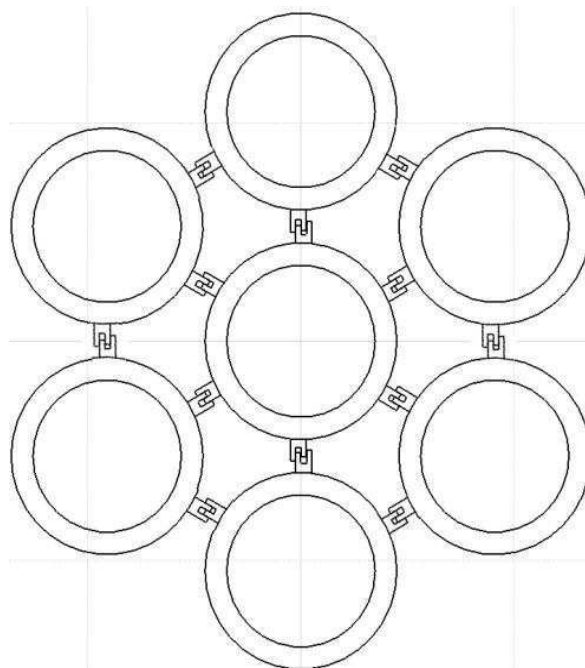
(54) 발명의 명칭 **간격체가 구비된 고속 원자로 핵연료 집합체**

**(57) 요약**

본 발명은 원자로 노심에 설치되는 복수의 핵연료 집합체에 관한 것으로서, 상기 복수의 핵연료 집합체 각각의 단위 집합체는 복수의 핵연료봉을 포함하고, 상기 복수의 핵연료봉 사이의 간격을 유지시키도록 상기 복수의 핵연료봉 각각의 슬러그 부분에 부착된 간격체를 포함하고, 상기 간격체는 서로 인접한 핵연료봉들 각각에 설치되

(뒷면에 계속)

**대표도** - 도5



어 서로 결합되도록 구성되는 것을 특징으로 한다.

이러한 본 발명에 의한 핵연료 집합체를 통하여, 먼저, 압력손실을 감소시켜 요구되는 펌프의 성능을 낮출 수 있으며 이로 인한 펌프 및 관련 부품 선정에서 경제적인 이득을 취할 수 있고, 또한 발전소에서 발생하는 유량상실 사고에서 펌프회전에 의한 관성력을 최대한 오랫동안 사용할 수 있으므로 노심의 안전성을 확보할 수 있으며, 아울러 원주방향에 대해서 3군데의 지지점이 발생하여 냉각수 유동에 의한 진동을 최소화 할 수 있을 뿐만 아니라 반경방향 팽창에 대한 응력을 최소화할 수 있으며, 나아가 2개 이상의 간격체 설치를 통해서 국부적인 온도 차이에 의해서 발생하는 핵연료봉 비틀림 현상을 방지할 수 있는 효과를 기대할 수 있다.

(72) 발명자

**서한**

서울 용산구 청파로43가길 26

**문성보**

울산 울주군 언양읍 유니스트길 50, 학생기숙사 (울산과학기술대학교)

**서석빈**

울산 울주군 언양읍 유니스트길 50, 학생기숙사 (울산과학기술대학교)

**허효**

경기 안산시 단원구 화정천서로 161, 1113동 706호 (초지동, 그린빌주공11단지)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711004063

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 재단법인 한국연구재단

연구사업명 원자력연구기반확충

연구과제명 소듐냉각고속로 중대사고 용융 금속연료와 냉각재 상호반응 실험 및 모델링

기여율 1/1

주관기관 국립대학법인 울산과학기술대학교 산학협력단

연구기간 2013.12.01 ~ 2018.11.30

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

원자로 노심에 설치되는 복수의 핵연료 집합체로서,

상기 복수의 핵연료 집합체 각각의 단위 집합체는 복수의 핵연료봉을 포함하고,

상기 복수의 핵연료봉 사이의 간격을 유지시키도록 상기 복수의 핵연료봉 각각의 핵연료 장착부분인 핵연료 슬러그 부분에 부착된 간격체를 포함하되,

상기 복수의 핵연료봉 집합체의 단위 집합체를 구성하는 복수의 핵연료봉은 육각형 모양으로 배열되며,

상기 육각형 모양으로 배열된 복수의 핵연료봉 중 서로 인접한 적어도 7개의 핵연료봉을 하나의 그룹으로 배치할 경우, 상기 그룹의 중앙에 배치되는 핵연료봉에는 동일 원주 평면 상에서 6개의 간격체가 배치되어 인접한 주위 핵연료봉에 구비된 간격체와 각각 결합하는 것을 특징으로 하는 핵연료 집합체.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 간격체는 서로 인접한 핵연료봉들 각각에 설치되어 서로 결합되도록 구성되는 것을 특징으로 하는 핵연료 집합체.

#### 청구항 3

제2항에 있어서,

상기 간격체는 동일 원주 평면상에서 하나의 핵연료봉 당 적어도 3개 이상 구비된 것을 특징으로 하는 핵연료 집합체.

#### 청구항 4

삭제

#### 청구항 5

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 복수의 핵연료봉 각각의 길이방향을 따라, 상기 슬러그 부분에 적어도 2개의 간격체가 설치된 것을 특징으로 하는 핵연료 집합체.

## 발명의 설명

### 기술 분야

본 발명은, 액체금속을 냉각수로 사용하는 고속로 원자력 발전소에서 핵연료의 간격을 유지시키는 간격체가 구비된 핵연료 집합체에 관한 것이다.

[0001]

**배경 기술**

- [0002] 핵연료 집합체는 통상적으로 다수의 핵연료봉을 육각형 배열로 변화시켜 육각형 핵연료 집합체로 구성된다.
- [0003] 도 1은 육각형 격자구조를 갖는 복수의 핵연료 집합체 중 하나인 단위 집합체의 일부 단면을 예시적으로 보여주고 있다. 이러한 노심 내에서 연료봉 또는 연료 집합체의 간격을 일정하게 유지시키는 구성인 핵연료 집합체의 지지 격자로서 '그리드(grid) 형태'나 와이어를 핵연료봉 주위에 감아 사용하는 '와이어 랩(wire-wrap) 형태'를 사용할 수 있으며, 육각형 격자구조의 덕트 내에 핵연료봉 주위를 감고 있는 와이어 랩은 현재 액체금속로 설계에 보편적으로 도입된 개념에 해당한다.
- [0004] 구체적으로, 단위 집합체의 구성요소인 복수의 핵연료봉 각각에는, 핵연료 집합체 내부에 설치될 경우 서로 일정한 간격을 유지할 수 있도록 하기 위하여 와이어 랩이 길이방향에 걸쳐 일정 방향으로 코일 형상처럼 주위에 감겨 있다.
- [0005] 액체금속을 냉각수로 사용하는 고속로 원자력 발전소에서 핵연료의 간격을 유지시키는 이러한 와이어 랩은 도 1에 도시된 바와 같이 모든 핵연료봉에 대해 동일한 방향으로 설치되도록 배치되어 있다.
- [0006] 도 1 (a)에는 종래의 와이어 랩이 감긴 패턴 및 유동방향을 나타내고, 도 1 (b)에는 역류 발생이 예상되는 지점이 도시되어 있다. 결국, 이러한 동일 방향으로의 와이어 랩 설치 구조로 인하여 압력 손실이 크게 발생하는 문제점이 있었다.

**선행기술문헌**

**특허문헌**

(특허문헌 0001) 대한민국 등록특허공보 제10-1201555호(2012.11.08)

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

- [0007] 본 발명은 이러한 종래의 와이어 랩 설치 구조에 따른 문제점을 해결하기 위한 핵연료봉 집합체를 제공하는 것을 목적으로 한다.

**과제의 해결 수단**

- [0008] 이러한 기술적 과제를 달성하기 위한 본 발명인 원자로 노심에 설치되는 복수의 핵연료 집합체는, 상기 복수의 핵연료 집합체 각각의 단위 집합체는 복수의 핵연료봉을 포함하고, 상기 복수의 핵연료봉 사이의 간격을 유지시키도록 상기 복수의 핵연료봉 각각의 슬러그 부분에 부착된 간격체를 포함하는 것을 특징으로 한다.
- [0009] 상기 간격체는 서로 인접한 핵연료봉들 각각에 설치되어 서로 결합되도록 구성되는 것을 특징으로 한다.
- [0010] 상기 간격체는 동일 원주 평면상에서 하나의 핵연료봉 당 적어도 3개 이상 구비된 것을 특징으로 한다. 이에 의하여 원주방향에 대해서 3군데의 지지점이 발생하여 냉각수 유동에 의한 진동을 최소화 할 수 있다.
- [0011] 여기서, 상기 복수의 핵연료봉 집합체의 단위 집합체를 구성하는 복수의 핵연료봉은 육각형 모양으로 배열되며, 상기 육각형 모양으로 배열된 복수의 핵연료봉 중 서로 인접한 적어도 7개의 핵연료봉을 하나의 그룹으로 배치할 경우, 상기 그룹의 중앙에 배치되는 핵연료봉에는 동일 원주 평면 상에서 6개의 간격체가 배치되어 인접한 주위 핵연료봉에 구비된 간격체와 각각 결합하는 것을 특징으로 하며, 이에 의하여 반경방향 팽창에 대한 응력을 최소화 할 수 있다.
- [0012] 바람직하게는, 상기 복수의 핵연료봉 각각의 길이방향을 따라, 상기 슬러그 부분에 적어도 2개의 간격체가 설치된다. 이러한 길이방향으로의 복수의 간격체 설치를 통하여, 국부적인 온도 차이에 의해서 발생하는 핵연료봉 비틀림 현상을 방지할 수 있다.

**발명의 효과**

[0013] 본 발명에 의한 핵연료 집합체를 통하여, 먼저, 압력손실을 감소시켜 요구되는 펌프의 성능을 낮출 수 있으며 이로 인한 펌프 및 관련 부품 선정에서 경제적인 이득을 취할 수 있고, 또한 발전소에서 발생하는 유량상실사고에서 펌프회전에 의한 관성력을 최대한 오랫동안 사용할 수 있으므로 노심의 안전성을 확보할 수 있으며, 아울러 원주방향에 대해서 3군데의 지지점이 발생하여 냉각수 유동에 의한 진동을 최소화 할 수 있을 뿐만 아니라 반경방향 팽창에 대한 응력을 최소화할 수 있으며, 나아가 2개 이상의 간격체 설치를 통해서 국부적인 온도 차이에 의해서 발생하는 핵연료봉 비틀림 현상을 방지할 수 있는 효과를 기대할 수 있다.

**도면의 간단한 설명**

- [0014] 도 1. 종래의 와이어 랩 배치 및 역류발생/압력손실에 대한 도면
- 도 2. 일반적인 고속로 노심의 예시적 구조
- 도 3. 도 2에서의 단위 핵연료봉 집합체 구조
- 도 4. 핵 연료봉에 대한 실제 와이어 랩 설치 구조
- 도 5. 본 발명의 실시예에 따른 간격체가 설치/배치된 단위 핵연료봉 집합체

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

[0015] 이하 첨부된 도면을 참조하면서 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 상세히 설명하기로 한다. 이에 앞서, 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이거나 사전적인 의미로 한정해서 해석되어서는 아니 되며, 발명자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여, 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.

[0016] 따라서, 본 명세서에 기재된 실시예와 도면에 도시된 구성은 본 발명의 가장 바람직한 일 실시예에 불과할 뿐이고 본 발명의 기술적 사상을 모두 대변하는 것은 아니므로, 본 출원시점에 있어서 이들을 대체할 수 있는 다양한 균등물과 변형예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다.

[0017] 도 2는 복수의 육각 집합체로 이루어진 일반적인 고속로의 노심 구조를 예시적으로 나타낸다.

[0018] 각 봉들 역시 집합체 안에 육각배열로 배치했다. 고속로에서 전체적으로 육각배열이 선호되는 이유는 고속 중성자를 사용하는 고속로 환경을 위해서 상대적으로 높은 밀집도를 구현하기 가장 좋은 배열이기 때문이다.

[0019] 도 2에 도시된 노심 장전 모델에 있어서, 복수의 육각형 모양 각각이 단위 핵연료 집합체에 해당한다. 이러한 하나의 단위 핵연료 집합체를 확대하여 보면 도 3에 도시된 바와 같으며, 동 도면에 있어서의 복수의 원 각각이 단위 핵연료봉에 해당한다.

[0020] 다수의 핵연료봉을 측면에서 바라본 모습은 도 4에 도시된 바와 같으며, 핵연료봉 각각에는 핵연료 집합체 내부에 설치될 경우, 핵연료가 장전된 핵연료 슬러그(fuel slug)의 간격을 일정하게 유지할 수 있도록 하기 위하여 와이어 랩(wire-wrap)이 길이방향에 걸쳐 일정 방향으로 코일 형상처럼 주위에 감겨 있다. 도 4는 실제 핵연료봉에 와이어 랩이 설치된 상태를 예시적으로 보여준다.

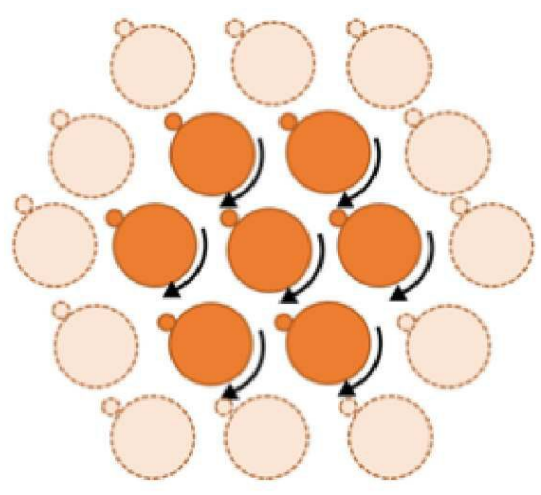
[0021] 앞서 종래기술에서 설명한 바와 같이, 종래에는 액체금속을 냉각수로 사용하는 고속로 원자력 발전소에서 핵연료의 간격을 유지시키는 와이어 랩이 도 1에 도시된 바와 같이 모든 핵연료봉에 대해 동일한 방향으로 설치되도록 배치되어 있었다. 이로 인하여 압력 손실이 크게 발생하는 문제점이 있었다.

[0022] 본 발명은, 핵연료봉 간극 유지를 목적으로 와이어 랩 대신에 간격체를 사용하여 냉각수 유동에 의해 발생하는 압력손실을 최소화한다. 압력손실이 최소화된다면, 기존보다 낮은 사양의 펌프 및 관련 부품 선정이 가능하므로 발전소 설립 및 운영에 요구되는 사용되는 비용을 줄일 수 있다. 또한 발전소의 유량상실 사고에서 발생하는 펌프회전에 의한 관성력을 최대한 오랫동안 사용할 수 있으므로 노심의 안전성을 확보할 수 있다.

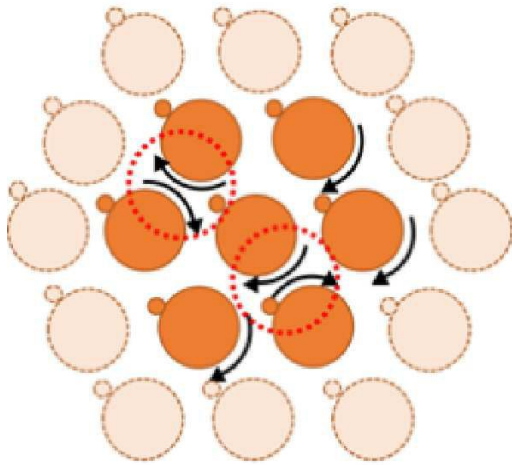
- [0023] 본 발명은 이를 위하여, 다음과 같은 형태의 핵연료 집합체의 사용을 제안하고 있다.
- [0024] 즉, 원자로 노심에 설치되는 복수의 핵연료 집합체는, 상기 복수의 핵연료 집합체 각각의 단위 집합체는 복수의 핵연료봉을 포함하고, 상기 복수의 핵연료봉 사이의 간격을 유지시키도록 상기 복수의 핵연료봉 각각의 슬러그 부분(핵연료가 장전되는 부분)에 부착된 간격체를 포함한다.
- [0025] 여기서, 상기 간격체는 서로 인접한 핵연료봉들 각각에 설치되어 서로 기구적으로 결합되도록 구성되며, 한 쌍의 간격체가 서로 고정 결합될 수 있다면 특정 결합 메커니즘에 한정될 이유는 없다.
- [0026] 이와 같이, 종래의 와이어 램을 사용하지 않고 인접 연료봉을 서로 고정 결합시킬 수 있는 간격체를 사용함에 의하여, 압력손실을 감소시켜 요구되는 펌프의 성능을 낮출 수 있고 이로 인한 펌프 및 관련 부품 선정에서 경제적인 이득을 취할 수 있을 뿐만 아니라, 발전소에서 발생하는 유량상실사고에서 펌프회전에 의한 관성력을 최대한 오랫동안 사용할 수 있으므로 노심의 안전성을 확보할 수 있는 효과가 기대된다.
- [0027] 도 5에서 확인되는 바와 같이, 상기 간격체는 동일 원주 평면상에서 하나의 핵연료봉 당 적어도 3개 이상 구비될 수 있다. 이에 의하여 원주방향에 대해서 3군데의 지지점이 발생하여 냉각수 유동에 의한 진동을 최소화할 수 있는 효과가 발생한다.
- [0028] 여기서, 상기 복수의 핵연료봉 집합체의 단위 집합체를 구성하는 복수의 핵연료봉은 육각형 모양으로 배열되며, 상기 육각형 모양으로 배열된 복수의 핵연료봉 중 서로 인접한 적어도 7개의 핵연료봉을 하나의 그룹으로 배치할 경우, 상기 그룹의 중앙에 배치되는 핵연료봉에는 동일 원주 평면 상에서 6개의 간격체가 배치되어 인접한 주위 핵연료봉에 구비된 간격체와 각각 결합할 수 있다(도 5 참조). 이에 의하여 반경방향 팽창에 대한 응력을 또한 최소화할 수 있다.
- [0029] 바람직하게는, 상기 복수의 핵연료봉 각각의 길이방향을 따라, 상기 슬러그 부분에 적어도 2개의 간격체가 설치된다. 이러한 길이방향으로의 복수의 간격체 설치를 통하여, 국부적인 온도 차이에 의해서 발생하는 핵연료봉 비틀림 현상을 방지할 수 있다.

**도면**

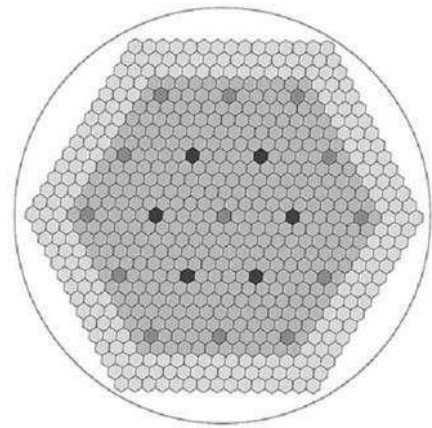
**도면1a**



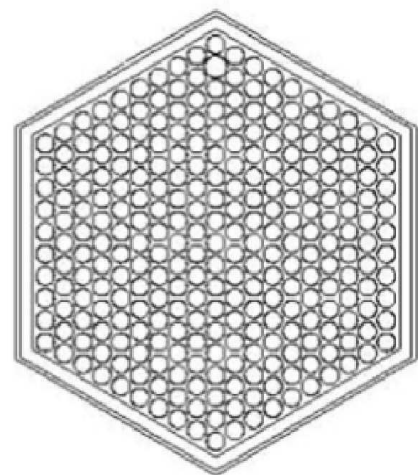
도면1b



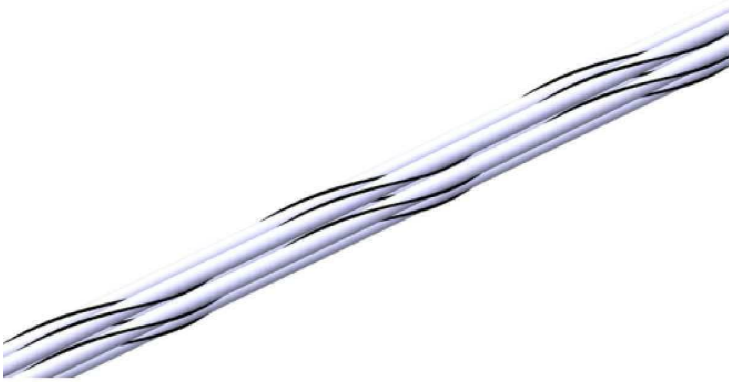
도면2



도면3



도면4



도면5

