



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년09월04일
(11) 등록번호 10-2152188
(24) 등록일자 2020년08월31일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G21C 3/62 (2006.01) G21C 1/04 (2006.01)
G21C 3/22 (2006.01) G21C 3/30 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G21C 3/623 (2013.01)
G21C 1/04 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0004975
(22) 출원일자 2018년01월15일
심사청구일자 2018년01월15일
(65) 공개번호 10-2019-0086887
(43) 공개일자 2019년07월24일
(56) 선행기술조사문헌
JP2017181445 A*
KR101694409 B1*
KR101717942 B1*
KR1020120123098 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
세종대학교산학협력단
서울특별시 광진구 능동로 209 (군자동, 세종대학교)
(72) 발명자
박창제
서울특별시 노원구 한글비석로 91, 108동 405호(하계동, 하계1차청구아파트)
최홍엽
서울특별시 광진구 능동로32길 82-32(능동) (뒷면에 계속)
(74) 대리인
유병욱, 한승범

전체 청구항 수 : 총 7 항

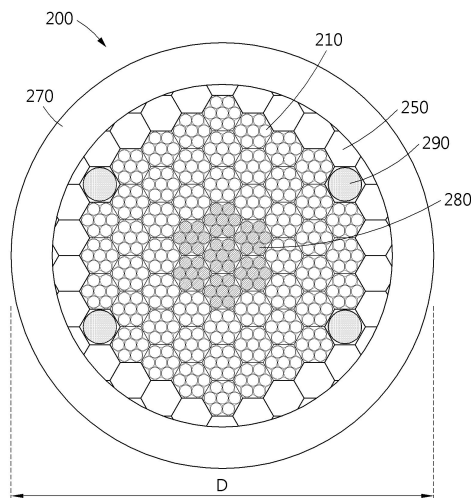
심사관 : 이용호

(54) 발명의 명칭 토륨 연료 기반 우주원자로 노심 및 이를 구비한 원자로

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 따른 토륨 연료 기반 우주원자로 노심은, 핵분열 연쇄반응이 일어나기 위한 복수의 핵연료체를 포함하는 핵연료 집합체; 상기 핵연료체 사이에 배치되어 상기 핵분열 연쇄반응에 의해 방출된 에너지를 흡수하는 냉각재; 상기 핵연료 집합체 사이 또는 상기 냉각재와 상기 핵연료 집합체 사이에 마련되어 상기 핵분열 연쇄반응에서 발생하는 열을 외부로 배출하는 히트 파이프; 및 상기 핵연료 집합체를 둘러싸도록 배치되며 상기 핵연료 집합체로부터 발생하는 중성자의 외부 누출을 저감시키는 반사체를 포함하며, 상기 핵연료체는 토륨(Th)-232 및 우라늄(U)-233 금속, 지르코늄(Zr) 합금 및 중성자 에너지 영역 천이 첨가제를 포함하는 육각형 기둥으로 형성될 수 있다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

G21C 3/22 (2013.01)

G21C 3/30 (2013.01)

(72) 발명자

샤에드 라와시

서울특별시 광진구 천호대로104길 24(군자동)

무스 보라비

서울특별시 광진구 능동로21길 22, B01 (군자동)

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

우주선에 마련되고 임계 원자로에 적용되며 열외중성자로 방식의 우주원자로 노심으로서,

핵분열 연쇄반응이 일어나기 위한 복수의 핵연료체를 포함하는 핵연료 집합체;

상기 핵연료체 사이에 배치되어 상기 핵분열 연쇄반응에 의해 방출된 에너지를 흡수하는 냉각재;

상기 핵연료 집합체 사이에 마련되어 상기 핵분열 연쇄반응에서 발생하는 열을 외부로 배출하는 히트 파이프; 및

상기 핵연료 집합체를 둘러싸도록 배치되며 상기 핵연료 집합체로부터 발생하는 중성자의 외부 누출을 저감시키는 반사체;를 포함하며,

상기 핵연료체는 토륨(Th)-232 및 우라늄(U)-233 금속, 지르코늄(Zr) 합금 및 중성자 에너지 영역 천이 첨가제를 포함하는 육각형 기둥으로 형성되고,

상기 히트 파이프는 상기 노심의 가운데 부분에 배치된 7개의 상기 핵연료 집합체의 외측에 육각형 형태로 배치되며 상기 노심의 가운데 부분에 배치된 7개의 상기 핵연료 집합체가 육각형 모양으로 배치될 때 육각형 배치 모양의 꼭지점 위치에 각각 1개씩 배치되는 것을 특징으로 하는 토륨 연료 기반 우주원자로 노심.

청구항 2

우주선에 마련되고 임계 원자로에 적용되며 열외중성자로 방식의 우주원자로 노심으로서,

핵분열 연쇄반응이 일어나기 위한 복수의 핵연료체를 포함하는 핵연료 집합체;

상기 핵연료체 사이에 배치되어 상기 핵분열 연쇄반응에 의해 방출된 에너지를 흡수하는 냉각재;

상기 냉각재와 상기 핵연료 집합체 사이에 마련되어 상기 핵분열 연쇄반응에서 발생하는 열을 외부로 배출하는 히트 파이프;

상기 핵연료 집합체를 둘러싸도록 배치되며 상기 핵연료 집합체로부터 발생하는 중성자의 외부 누출을 저감시키는 반사체; 및

상기 노심의 중심부에 마련되는 우라늄(U)-233 육각 핵연료 집합체;를 포함하며,

상기 핵연료체는 토륨(Th)-232 및 우라늄(U)-233 금속, 지르코늄(Zr) 합금 및 중성자 에너지 영역 천이 첨가제를 포함하는 육각형 기둥으로 형성되고,

상기 우라늄(U)-233 육각 핵연료 집합체는 토륨(Th)-232는 포함하지 않고 우라늄(U)-233으로만 형성되며 7개의 상기 우라늄(U)-233 육각 핵연료 집합체가 상기 노심의 중심부에 육각형 모양으로 배치되며,

7개의 상기 우라늄(U)-233 육각 핵연료 집합체를 둘러싸도록 그 바깥쪽에 복수개의 상기 핵연료 집합체가 육각형 모양으로 배치되고,

상기 히트 파이프는 육각형 모양으로 배치된 상기 핵연료 집합체의 외측에 배치되며 사각형 모양으로 배치되도록 상기 핵연료 집합체의 육각형 배치 모양의 꼭지점 중 4개의 꼭지점 위치에 각각 1개씩 배치되는 것을 특징으로 하는 토륨 연료 기반 우주원자로 노심.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

상기 핵연료체는, 90 중량%의 상기 토륨 및 우라늄 금속과, 10 중량%의 상기 지르코늄 합금을 포함하는 것을 특징으로 하는 토륨 연료 기반 우주원자로 노심.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 중성자 에너지 영역 천이 첨가제는, 중성자의 에너지 영역이 고속 중성자 에너지 영역에서 열외 중성자 에너지 영역으로 이동되게 하는 것을 특징으로 하는 토륨 연료 기반 우주원자로 노심.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 중성자 에너지 영역 천이 첨가제는 0.01중량%의 수소인 것을 특징으로 하는 토륨 연료 기반 우주원자로 노심.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 냉각재는 헬륨이고, 상기 반사체는 산화 베릴륨이며, 상기 히트 파이프 내부에는 암모니아가 마련되는 것을 특징으로 하는 토륨 연료 기반 우주원자로 노심.

청구항 7

제1항 또는 제2항에 따른 토륨 연료 기반 우주원자로 노심을 구비한 원자로.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 토륨 연료 기반 우주원자로 노심 및 이를 구비한 원자로에 관한 것으로, 보다 상세하게는 장수명을 확보할 수 있고 고유 안전성이 향상된 토륨 연료 기반 우주원자로 노심 및 이를 구비한 원자로에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 원자로(Nuclear Reactor)는 핵분열성 물질의 연쇄 핵분열 반응을 인공적으로 제어하여 열을 발생시키거나 방사성 동위원소 및 플루토늄 생산 등 여러 목적에 사용할 수 있도록 만들어진 장치를 의미한다.

[0003] 일반적으로 원자로에서 사용되는 핵연료로 가공하기 위해서 농축 우라늄을 원통형 펠릿(pellet)으로 만드는 성형 가공을 한 후, 이 펠릿들을 다발 형태로 묶어 일련의 과정을 거쳐 연료봉을 제조한다. 상기 연료봉은 핵연료 집합체를 구성하며, 원자로 내에서 핵반응을 통해 연소하게 된다.

[0004] 상기 핵연료 집합체는 상기 연료봉을 다양한 형태의 격자상으로 조립하여 제조할 수 있으며, 봉형 핵연료 외에 관형 핵연료 등 다양한 형상의 핵연료로 제조될 수 있다.

[0005] 최근 들어, 우라늄 원자로의 단점이 부각되면서 원자력 발전의 안정성에 대한 관심이 높아지고 있으며, 기존의 우라늄 원전의 대안으로서 토륨 원자로가 주목을 받고 있다.

[0006] 토륨 원자로는 핵연료로 우라늄 대신 토륨을 사용하는데, 토륨은 지구상에서 납 보다 흔한 금속이며 매장량이 풍부하고 우라늄처럼 복잡한 가공처리 과정을 거칠 필요가 없어 차세대 원자력 시스템의 주요 연료 원천물질로 관심을 받고 있다.

[0007] 특히, 토륨은 분열 과정에서 발생하는 중성자 수가 부족하여 외부에서 중성자를 공급해 주어야 핵분열이 일어나

며, 중성자 공급을 중단하면 핵분열도 멈추기 때문에 안전성이 보장되는 장점이 있다.

- [0008] 핵 연료성 물질(fertile)인 토륨(Th)-232는 중성자를 흡수하여 핵 분열성 물질(fissile)인 우라늄(U)-233으로 변환되고, 풍부한 매장량, 저렴한 가격, 플루토늄의 생성유무 등 다양한 장점으로 인하여 차세대 원자력시스템의 주요 연료 원천물질로 관심을 받고 있다.
- [0009] 원자로는 이용하는 중성자의 에너지 영역에 따라 약 100 KeV 이상의 고속중성자를 이용하는 고속로(fast reactor)형 원자로와 약 1 eV 이하의 열중성자를 주로 이용하는 열중성자로(thermal reactor)형 원자로로 분류될 수 있다. 대부분의 토륨 핵연료를 사용하는 원자로의 경우, 대단위 규모의 나트륨 냉각재를 사용한 고속 원자로 개념을 활용하여 설계되어 왔다.
- [0010] 한편, 우주 탐사를 위해 장기간 이동을 요구하는 우주선의 경우에는, 태양이 없는 경우에도 지속적인 고출력의 장기 에너지원을 필요로 하며 소형화에 유리하여야 한다. 특히, 우주선이 요구하는 우주원자로는, 태양 광 밀도가 감소하는 우주공간에서 긴 압축기 동안 신뢰성 있고 고출력 및 장기간의 에너지 원을 필요로 한다. 원자력 원자로는 우주선의 모든 요구를 충족시키며 발사 및 이륙과 같은 우주선 운용에 매우 중요한 저 중량의 고 에너지를 이용할 수 있다.
- [0011] 그러나, 기존의 우주선에 적용되는 원자로는, 방사성 동위원소 열전 발전기를 전력으로 개발하여 활용하고 있지만 방사성 동위원소를 대체할 무거운 차폐장치를 구축해야 한다는 단점과 우라늄 핵연료를 이용하기 때문에 안전성이 완벽하지 않다는 단점이 있다.
- [0012] 본 출원인은, 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여, 본 발명을 제안하게 되었다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0013] (특허문헌 0001) 한국등록특허공보 제10-1482018호(2015.01.07.)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0014] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 제안된 것으로, 토륨을 이용한 열외중성자로 개념을 도입하여 수명이 길고 안전성이 개선된 토륨 연료 기반 우주원자로 노심 및 이를 구비한 원자로를 제공한다.

과제의 해결 수단

- [0015] 상기한 바와 같은 과제를 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 토륨 연료 기반 우주원자로 노심은, 핵분열 연쇄반응이 일어나기 위한 복수의 핵연료체를 포함하는 핵연료 집합체; 상기 핵연료체 사이에 배치되어 상기 핵분열 연쇄반응에 의해 방출된 에너지를 흡수하는 냉각재; 상기 핵연료 집합체 사이 또는 상기 냉각재와 상기 핵연료 집합체 사이에 마련되어 상기 핵분열 연쇄반응에서 발생하는 열을 외부로 배출하는 히트 파이프; 및 상기 핵연료 집합체를 둘러싸도록 배치되며 상기 핵연료 집합체로부터 발생하는 중성자의 외부 누출을 저감시키는 반사체를 포함하며, 상기 핵연료체는 토륨(Th)-232 및 우라늄(U)-233 금속, 지르코늄(Zr) 합금 및 중성자 에너지 영역 천이 첨가제를 포함하는 육각형 기둥으로 형성될 수 있다.
- [0016] 상기 핵연료체는, 90 중량%의 상기 토륨 및 우라늄 금속과, 10 중량%의 상기 지르코늄 합금을 포함할 수 있다.
- [0017] 상기 토륨 및 우라늄 금속은 90 중량%이고 상기 지르코늄 합금은 10 중량%로 마련될 수 있다.
- [0018] 상기 중성자 에너지 영역 천이 첨가제는, 중성자의 에너지 영역이 고속 중성자 에너지 영역에서 열외 중성자 에너지 영역으로 이동되게 할 수 있다.
- [0019] 상기 중성자 에너지 영역 천이 첨가제는 0.01중량%의 수소로 마련될 수 있다.
- [0020] 상기 냉각재는 헬륨이고, 상기 반사체는 산화 베릴륨이며, 상기 히트 파이프 내부에는 암모니아가 마련될 수 있다.

[0021] 또한, 본 발명은 상술한 토륨 연료 기반 우주원자로 노심을 구비한 원자로를 제공할 수 있다.

발명의 효과

[0022] 본 발명에 따른 토륨 연료 기반 우주원자로 노심 및 이를 구비한 원자로는 종래의 우라늄 핵연료 대신 토륨 연료를 이용하기 때문에 노심의 온도 상승 등으로 인한 노심 용융 또는 폭발 등의 위험성을 줄일 수 있다.

[0023] 본 발명에 따른 토륨 연료 기반 우주원자로 노심 및 이를 구비한 원자로는 냉각재로 헬륨 가스를 사용하기 때문에 원자로의 중량을 줄일 수 있고 노심의 임계를 조절할 수 있다.

[0024] 본 발명에 따른 토륨 연료 기반 우주원자로 노심 및 이를 구비한 원자로는 토륨 및 우라늄 핵연료 집합체를 적절히 배치함으로써 토륨의 우라늄(U)-233으로의 변환 및 증식을 촉진할 수 있다.

[0025] 본 발명에 따른 토륨 연료 기반 우주원자로 노심 및 이를 구비한 원자로는 우주 공간으로 나아가서는 고 에너지의 우주 방사선을 활용하여 중성자 생성을 통한 임계 유지 및 핵분열성 물질(우라늄(U)-233)의 증식으로 장수명 원자로로 활용할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0026] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 토륨 연료 기반 우주원자로 노심을 나타내는 도면이다.

도 2는 도 1에 도시한 우주원자로 노심에 마련된 핵연료 집합체를 나타내는 도면이다.

도 3은 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 토륨 연료 기반 우주원자로 노심을 나타내는 도면이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 토륨 연료 기반 우주원자로 노심에 있어서 중성자 에너지 영역 천이 첨가제에 따른 중성자 에너지 스펙트럼을 나타내는 실험 그래프이다.

도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 토륨 연료 기반 우주원자로 노심에 있어서 중성자 에너지 영역 천이 첨가제에 따른 연소 주기를 나타내는 실험 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0027] 이하에서, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명에 따른 실시예들을 상세하게 설명한다. 그러나, 본 발명이 실시예들에 의해 제한되거나 한정되는 것은 아니다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.

[0028] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 토륨 연료 기반 우주원자로 노심을 나타내는 도면, 도 2는 도 1에 도시한 우주원자로 노심에 마련된 핵연료 집합체를 나타내는 도면, 도 3은 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 토륨 연료 기반 우주원자로 노심을 나타내는 도면, 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 토륨 연료 기반 우주원자로 노심에 있어서 중성자 에너지 영역 천이 첨가제에 따른 중성자 에너지 스펙트럼을 나타내는 실험 그래프, 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 토륨 연료 기반 우주원자로 노심에 있어서 중성자 에너지 영역 천이 첨가제에 따른 연소 주기를 나타내는 실험 그래프이다.

[0029] 도 1 및 도 2에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 토륨 연료 기반 우주원자로 노심(100)은, 핵분열 연쇄반응이 일어나기 위한 복수의 핵연료체(120)를 포함하는 핵연료 집합체(110), 핵연료체(120) 사이에 배치되어 상기 핵분열 연쇄반응에 의해 방출된 에너지를 흡수하는 냉각재(140), 핵연료 집합체(110) 사이 또는 냉각재(140)와 핵연료 집합체(110) 사이에 마련되어 상기 핵분열 연쇄반응에서 발생하는 열을 외부로 배출하는 히트 파이프(190) 및 핵연료 집합체(110)를 둘러싸도록 배치되며 핵연료 집합체(110)로부터 발생하는 중성자의 외부 누출을 저감시키는 반사체(170)를 포함할 수 있다.

[0030] 본 발명의 일 실시예에 따른 토륨 연료 기반 우주원자로 노심(100)은 우주선에 마련되는 우주원자로에 적용될 수 있으며, 임계 원자로에 적용되는 것이 바람직하다. 미임계 원자로의 경우에는 중성자 가속기 등 별도의 장비가 필요하므로 본 발명의 일 실시예에 따른 토륨 연료 기반 우주원자로 노심(100)은 미임계 원자로에 적용되기에는 적합하지 않다.

[0031] 도 2를 참조하면, 핵연료체(120)는 원기둥 형태로 형성되고, 7개의 핵연료체(120)를 포함하는 핵연료 집합체(110)는 육각형 기둥 형태로 형성되는 것이 바람직하다. 즉, 7개의 핵연료체(120)를 육각형 형태로 배치함으로써 핵연료 집합체(110)를 얻을 수 있다.

[0032] 여기서, 핵연료체(120)는 ThUZrH와 같은 금속 핵연료이다. 즉, 핵연료체(120)는 토륨(Th)-232 및 우라늄(U)-233

금속, 그리고 지르코늄(Zr) 합금을 포함하는 금속핵연료(ThUzrH)이다. 도 2를 참조하면, 핵연료체(120)는 원기둥 형상으로 마련되고, 핵연료체(120)를 둘러싸는 피복재(130)가 마련될 수 있다. 피복재(130)는 스테인리스 스틸 피복재(Stainless steel cladding)로 마련되는 것이 바람직하다. 피복재(130)의 외측에는 냉각재(140)가 마련될 수 있다.

- [0033] 핵연료체(120)를 둘러싸는 냉각재(140) 뿐만 아니라 핵연료 집합체(110)의 사이에 배치되거나 핵연료 집합체(110)와 반사체(170) 사이에도 냉각재(150)가 마련될 수 있다.
- [0034] 본 발명의 일 실시예에 따른 토륨 연료 기반 우주원자로 노심(100)은, 냉각재(140,150)로 헬륨(He) 기체를 사용하기 때문에 노심(100) 및 이를 구비하는 원자로의 중량을 줄일 수 있다. 따라서, 본 발명의 일 실시예에 따른 토륨 연료 기반 우주원자로 노심(100) 및 이를 구비한 원자로는 저 중량이기 때문에 우주선에 탑재되기에 용이하고, 중량 제한 때문에 우주선에 탑재되지 못할 가능성을 줄일 수 있다.
- [0035] 핵연료 집합체(110)를 둘러싸도록 배치되며 핵연료 집합체(110)로부터 발생하는 중성자의 외부 누출을 저감시키는 반사체(170)는 산화 베릴륨(BeO) 반사체가 사용될 수 있다.
- [0036] 도 1에 도시된 본 발명의 일 실시예에 따른 토륨 연료 기반 우주원자로 노심(100)은, 49개의 핵연료 집합체(110)를 포함하며, 핵연료 집합체(110)의 사이에 배치된 6개의 히트 파이프(190)를 포함할 수 있다. 도 1을 참조하면, 6개의 히트 파이프(190)는 노심(100)의 가운데 부분에 배치된 7개의 핵연료 집합체(110)를 둘러싸도록 육각형 형태로 배치될 수 있다. 즉, 노심(100)의 가운데 부분에 배치된 7개의 핵연료 집합체(110)가 육각형 모양으로 배치될 때 육각형의 꼭지점 위치에 각각 6개의 히트 파이프(190)가 배치될 수 있다.
- [0037] 6개의 히트 파이프(190)는 49개의 핵연료 집합체(110) 사이에 배치되기 때문에 대략 노심(100)의 반경의 1/2되는 지점에 배치된다고 할 수 있다.
- [0038] 히트 파이프(190, Heat Pipe)는 노심(100)에서 발생하는 열과 히트 파이프(190)의 내부를 유동하는 매체가 서로 열교환 하여 노심(100)의 열을 외부로 배출하는 역할을 한다. 이를 위해, 히트 파이프(190)의 내부에는 열교환 매체로서 암모니아(Ammonia)가 마련될 수 있다.
- [0039] 이와 같이 형성된 토륨 연료 기반 우주원자로 노심(100)을 구비한 원자로는 100 MWt/h의 출력을 낼 수 있다.
- [0040] 도 1에 도시된 우주원자로 노심(100)의 직경(D)은 24.2 센티미터(cm)로서, 본 발명의 일 실시예에 따른 토륨 연료 기반 우주원자로 노심을 구비한 원자로는 우주선 탑재에 유리하도록 소형 원자로 형태로 마련될 수 있다. 다만, 원자로 노심(100)의 직경은 원자로의 출력 또는 핵연료 집합체의 크기 등에 따라서 달라질 수 있다.
- [0041] 도 3에는 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 토륨 연료 기반 우주원자로 노심(200)이 도시되어 있다. 도 3을 참조하면, 본 발명의 다른 일 실시예에 따른 토륨 연료 기반 우주원자로 노심(200)은, 핵분열 연쇄반응이 일어나기 위한 복수의 핵연료체(120, 도 2 참조)를 포함하는 핵연료 집합체(210), 핵연료체(120) 사이에 배치되어 상기 핵분열 연쇄반응에 의해 방출된 에너지를 흡수하는 냉각재(250), 핵연료 집합체(210) 사이 또는 냉각재(250)와 핵연료 집합체(210) 사이에 마련되어 상기 핵분열 연쇄반응에서 발생하는 열을 외부로 배출하는 히트 파이프(290), 핵연료 집합체(210)를 둘러싸도록 배치되며 핵연료 집합체(210)로부터 발생하는 중성자의 외부 누출을 저감시키는 반사체(270) 및 핵연료 집합체(210)의 중심부에 마련되는 우라늄(U)-233 육각 핵연료 집합체(280)를 포함할 수 있다.
- [0042] 도 3에 도시된 우주원자로 노심(200)이 도 1에 도시된 우주원자로 노심(100)과 다른 점은 노심(200)의 중심부에 마련되는 우라늄(U)-233 육각 핵연료 집합체(280), 히트 파이프(290)의 배치 위치, 노심(200)의 직경이다.
- [0043] 우라늄(U)-233 육각 핵연료 집합체(280)는 토륨(Th)-232는 포함하지 않고 우라늄(U)-233으로만 형성되는 핵연료체(미도시) 7개를 육각형 모양으로 배치함으로써 형성될 수 있다. 이때, 우라늄(U)-233 외에 지르코늄(Zr)이 포함되거나 후술하는 중성자 에너지 영역 천이 첨가제가 포함될 수도 있다.
- [0044] 우라늄(U)-233 육각 핵연료 집합체(280)는 7개가 노심(100)의 중심부에 육각형 모양으로 배치될 수 있다. 7개의 우라늄(U)-233 육각 핵연료 집합체(280)를 둘러싸도록 그 바깥쪽에 복수개의 핵연료 집합체(210)가 마련될 수 있다. 핵연료 집합체(210)는 육각형 모양으로 배치될 수 있다.
- [0045] 여기서, 핵연료 집합체(210)는 도 1에 도시된 노심(100)의 핵연료 집합체(110)와 동일하게 마련될 수 있다. 냉각재(250)는 헬륨 기체가 사용되고, 반사체(270)는 산화 베릴륨(BeO)으로 형성될 수 있다.
- [0046] 노심(210)의 직경(D)은 26.2 센티미터(cm)인 것이 바람직하지만, 반드시 이에 한정되는 것은 아니다.

- [0047] 도 3을 참조하면, 4개의 히트 파이프(290)가 마련될 수 있는데, 육각형 모양으로 배치된 핵연료 집합체(210)의 꼭지점 위치에 히트 파이프(290)가 배치되되 사각형 모양으로 배치되는 것이 바람직하다. 히트 파이프(290)의 내부에는 암모니아가 마련될 수 있다.
- [0048] 한편, 도 1 내지 도 3에 도시된 토륨 연료 기반 우주원자로 노심(100,200)의 핵연료체(120)는 토륨(Th)-232 및 우라늄(U)-233 금속 그리고, 지르코늄(Zr) 합금 외에 중성자 에너지 영역 천이 첨가제를 더 포함할 수 있다.
- [0049] 핵연료체(120)에서, 토륨 및 우라늄 금속은 90 중량%이고 지르코늄 합금은 10 중량%의 조성으로 마련될 수 있다. 여기서, 중성자 에너지 영역 천이 첨가제는 0.01중량%의 조성으로 마련될 수 있다.
- [0050] 상기 중성자 에너지 영역 천이 첨가제는 불순물의 일종으로서 향상된 열외중성자 에너지 스펙트럼을 얻기 위해서 핵연료체(120)에 첨가될 수 있다. 핵연료체(120)에 중성자 에너지 영역 천이 첨가제가 추가됨으로써 중성자의 에너지 영역이 고속 중성자 에너지 영역에서 열외 중성자 에너지 영역으로 이동될 수 있다.
- [0051] 상기 중성자 에너지 영역 천이 첨가제로는 수소 또는 수소 수화물이 이용될 수 있다. 상기 중성자 에너지 영역 천이 첨가제로 수소 또는 수소 수화물이 사용되는 경우 0.01중량%의 수소 또는 수소 수화물이 첨가될 수 있다.
- [0052] 도 4에는 중성자 에너지 영역 천이 첨가제 량에 따라 중성자 에너지 스펙트럼을 보여주는 그래프가 도시되어 있다. 도 4의 경우 중성자 에너지 영역 천이 첨가제가 수소 내지 수소 수화물이고, H0.0은 중성자 에너지 영역 천이 첨가제가 추가되지 않은 경우, H0.1는 중성자 에너지 영역 천이 첨가제가 0.1중량% 추가된 경우, H0.2는 중성자 에너지 영역 천이 첨가제가 0.2중량% 추가된 경우, H0.3는 중성자 에너지 영역 천이 첨가제가 0.3중량% 추가된 경우를 의미한다. 또한, 도 4의 경우 수소의 농도 내지 함유량을 바꿔가면서 저온 구간에서의 공명(resonance)을 사용하였다.
- [0053] 도 4를 참조하면, 중성자 에너지 영역 천이 첨가제인 수소의 첨가량이 많아짐에 따라 중성자 에너지 스펙트럼이 고속 중성자 에너지 영역에서 열외 중성자 에너지 영역으로 이동함을 보여 준다. 수소와 같은 중성자 에너지 영역 천이 첨가제를 핵연료체(120)에 추가함으로써, 원자로 내부의 핵분열 반응에 의해 생성되는 고속 중성자의 에너지가 감속되며, 이와 같이 감속된 에너지를 이용하여 토륨(Th)-232의 우라늄(U)-233으로의 변환을 촉진시킬 수 있고 중성자 에너지 스펙트럼을 열외 중성자 영역으로 이동시킬 수 있다.
- [0054] 또한, 본 발명에 따른 토륨 연료 기반 우주원자로 노심(100,200)은, 중성자 에너지 영역 천이 첨가제로서 적은 양의 수소를 핵연료체(120)에 추가함으로써 핵연료체(120)의 수명을 늘릴 수 있다.
- [0055] 본 발명의 발명자들은 본 발명의 일 실시예에 따른 토륨 기반 우주원자로 노심(100,200)에 대해서 MCNP6.1 코드를 사용하여 연소 실험을 하였다. MCNP6.1 코드의 KCODE 카드를 사용하고, 계산을 위해 50회의 비활성 주기(cycle)를 포함하여 총 250회의 활성 주기 동안 10,000개의 중성자를 사용했다. 또한, 연소 계산을 위해서 MCNP6.1 코드의 BURN 카드를 사용한다. 연소 실험 결과, 도 5에 도시된 바와 같이 사용 주기가 약 5년 정도임을 알 수 있으며, 핵연료체의 우라늄(U)-233의 조성과 노심(100,200)의 구성을 변경하면 30년까지 사용 주기를 늘릴 수 있다.
- [0056] 도 5에는 수소와 같은 중성자 에너지 영역 천이 첨가제를 추가한 핵연료체(ThUZrH)와 추가하지 않은 핵연료체(ThUZr)에 대한 유효증배계수(K_{eff})도 나타나 있다.
- [0057] 도 5를 참조하면, 수소와 같은 중성자 에너지 영역 천이 첨가제를 추가한 핵연료체(ThUZrH)는 수소의 사용으로 인해서, 중성자 에너지 영역 천이 첨가제를 추가하지 않은 핵연료체(ThUZr) 보다 긴 수명과 높은 유효증배계수를 가진다는 것을 알 수 있다.
- [0058] 상기한 바와 같은 본 발명에 따른 토륨 연료 기반 우주원자로 노심 및 이를 구비한 원자로는, 노심(200)의 중심부에는 우라늄 육각 핵연료 집합체(280)를 위치시키고 그 주변에 토륨 육각 핵연료 집합체(210)를 위치시켜 노심(200)의 임계도를 1 이상으로 유지시킬 수 있다. 그리고, 수소 수화물을 첨가함으로써 더 높은 중성자 플럭스(flux)와 긴 수명을 유지할 수 있어 노심의 주기길이를 연장시킬 수 있다. 이와 같이 본 발명에 따른 토륨 연료 기반 우주원자로 노심 및 이를 구비한 원자로는 기존의 우주원자로 보다 우수한 주기길이 및 임계도를 가진다.
- [0060] 이상과 같이 본 발명의 일 실시예에서는 구체적인 구성 요소 등과 같은 특정 사항들과 한정된 실시예 및 도면에 의해 설명되었으나 이는 본 발명의 보다 전반적인 이해를 돕기 위해서 제공된 것일 뿐, 본 발명은 상기의 실시예에 한정되는 것은 아니며, 본 발명이 속하는 분야에서 통상적인 지식을 가진 자라면 이러한 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 따라서, 본 발명의 사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 아니 되며, 후술

하는 청구범위뿐 아니라 이 청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

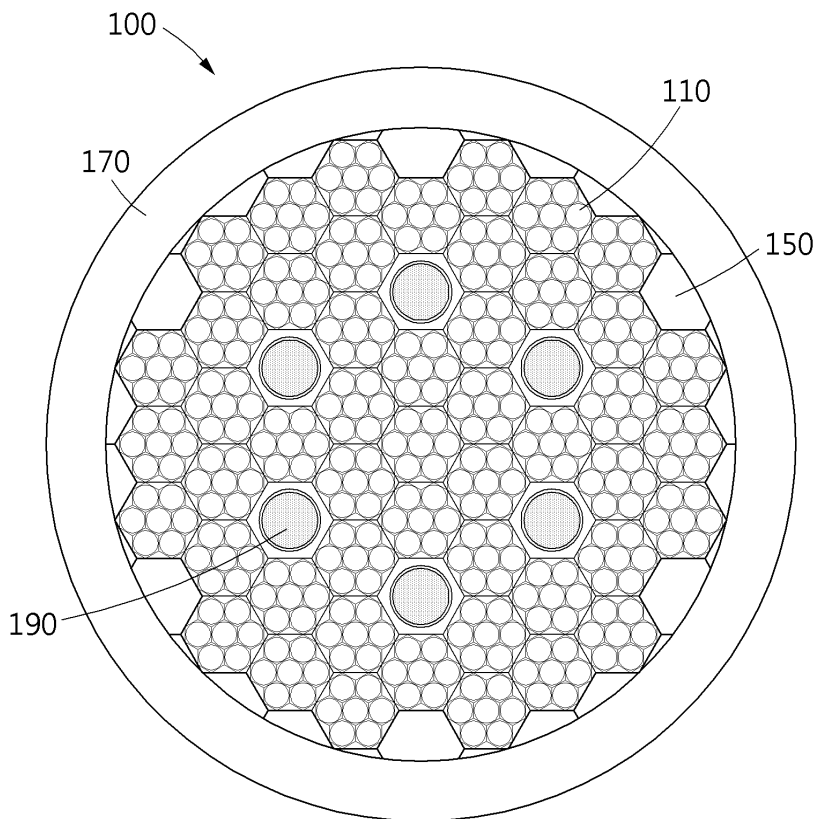
부호의 설명

[0061]

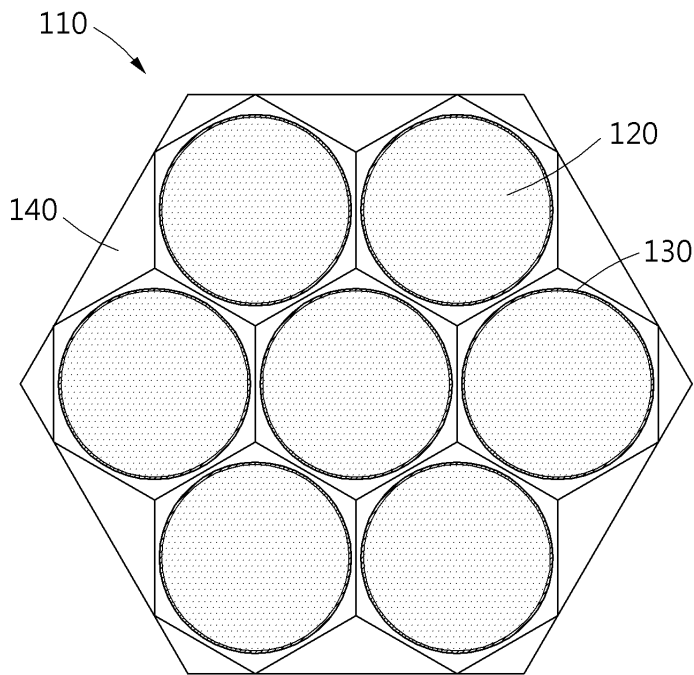
- 100,200: 토륨 연료 기반 우주원자로 노심
- 110,210: 핵연료 집합체
- 120: 핵연료체
- 130: 피복재
- 140,150,250: 냉각재
- 170,270: 반사체
- 190,290: 히트 파이프
- 280: 우라늄(U)-233 육각 핵연료 집합체

도면

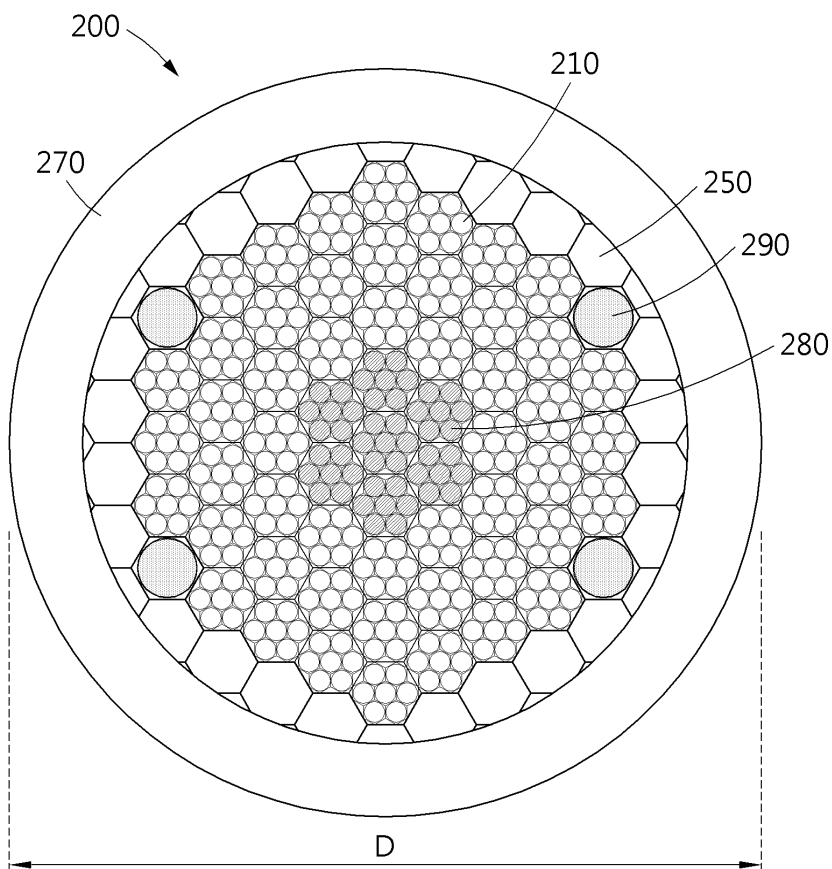
도면1



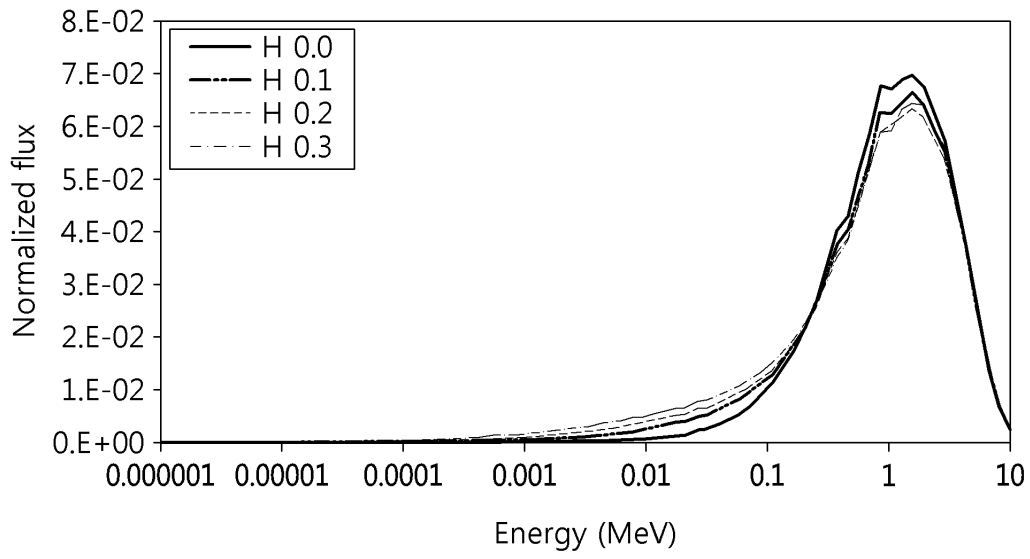
도면2



도면3



도면4



도면5

