



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2020년03월13일
(11) 등록번호 10-2089039
(24) 등록일자 2020년03월09일

(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 10-2018-0004977
(22) 출원일자 2018년01월15일
심사청구일자 2018년01월15일
(65) 공개번호 10-2019-0086888
(43) 공개일자 2019년07월24일
(56) 선행기술조사문헌
JP2009222617 A*
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)
(74) 대리인
유병욱, 한승범

전체 청구항 수 : 총 4 항

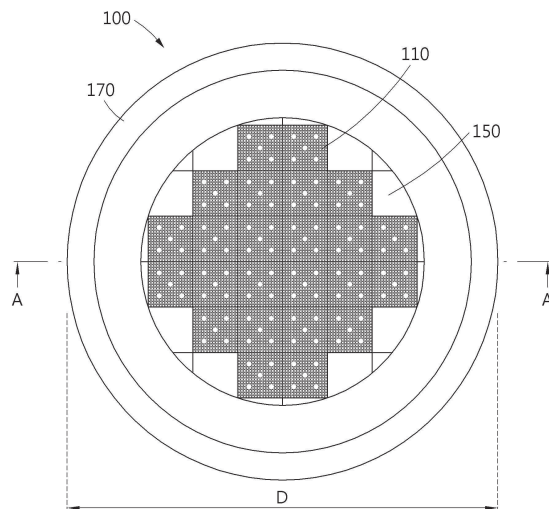
심사관 : 이용호

(54) 발명의 명칭 **토륨 기반 열외중성자로 노심 및 이를 구비한 원자로**

(57) 요약

본 발명의 일 실시예에 따른 토륨 기반 열외중성자로 노심은, 핵분열 연쇄반응이 일어나기 위한 복수의 핵연료체를 포함하는 핵연료 집합체; 상기 핵연료 집합체의 사이에 배치되어 상기 핵분열 연쇄반응에 의해 방출된 에너지를 흡수하는 냉각재; 및 상기 핵연료 집합체를 둘러싸도록 배치되며 상기 핵연료 집합체로부터 발생하는 중성자의 외부 누출을 저감시키는 반사체를 포함하며, 상기 핵연료 집합체는, 우라늄(U)-233을 포함하는 산화토륨으로 마련되는 복수개의 원통형 핵연료체 및 상기 핵연료체의 사이에 마련되는 복수개의 제어봉을 포함하고, 상기 냉각재는 상기 핵연료체 및 상기 제어봉의 사이에도 마련될 수 있다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G21C 3/22 (2013.01)

G21C 3/30 (2013.01)

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

쇄빙선에 적용되는 토륨 기반 열외중성자로 노심으로서,
 핵분열 연쇄반응이 일어나기 위한 복수의 핵연료체를 포함하는 핵연료 집합체;
 상기 핵연료 집합체의 사이에 배치되어 상기 핵분열 연쇄반응에 의해 방출된 에너지를 흡수하는 냉각재; 및
 상기 핵연료 집합체를 둘러싸도록 배치되며 상기 핵연료 집합체로부터 발생하는 중성자의 외부 누출을 저감시키는 반사체;를 포함하며,
 상기 핵연료 집합체는, 우라늄(U)-233을 포함하는 산화토륨으로 마련되는 복수개의 원통형 핵연료체 및 상기 핵연료체에 의해 둘러싸이도록 상기 핵연료체의 사이에 마련되는 복수개의 제어봉을 포함하고,
 상기 냉각재는 상기 핵연료체 및 상기 제어봉의 사이에도 마련되며,
 상기 핵연료체에는 U-233/(Th-232+U-233)이 2.3중량%가 되도록 우라늄(U)-233과 산화토륨이 포함되고,
 상기 핵연료 집합체는 상기 노심의 중심부에 배치되되 가로 및 세로 방향으로 각각 4개의 핵연료 집합체가 사각형 모양으로 배치되고, 사각형 모양으로 배치된 핵연료 집합체의 외측에 가로 및 세로 방향으로 각각 2개의 핵연료 집합체가 더 배치되어 상기 노심의 중심부에 대해서 대칭이 되는 형태로 배치되며,
 상기 핵연료 집합체 각각에 대해서 상기 제어봉은 상기 핵연료 집합체의 중심부에 1개가 배치되고, 중심부에 배치된 상기 제어봉을 기준으로 사각형의 꼭지점 위치에 각각 1개씩 배치되되 중심부에 배치된 상기 제어봉에 대해서 대칭이 되는 형태로 배치되고,
 상기 냉각재로는 물 또는 경수가 이용되되, 상기 냉각재는 중성자의 에너지 영역을 이동시키는 중성자 에너지 영역 천이 첨가제를 포함하며,
 상기 중성자 에너지 영역 천이 첨가제는 경수와 중수를 포함하며 경수 70%와 중수 30%가 상기 냉각재에 추가되거나 중수 70%와 경수 30%가 상기 냉각재에 추가되어 중성자의 에너지 영역이 열중성자 에너지 영역에서 열외중성자 에너지 영역으로 이동되게 하는 것을 특징으로 하는 토륨 기반 열외중성자로 노심.

청구항 2

삭제

청구항 3

삭제

청구항 4

삭제

청구항 5

삭제

청구항 6

제1항에 있어서,
 상기 중성자 에너지 영역 천이 첨가제는 우라늄(U)-233의 양을 증가시켜 운전 주기를 증가시키는 것을 특징으로 하는 토륨 기반 열외중성자로 노심.

청구항 7

제1항 또는 제6항에 있어서,
 상기 핵연료 집합체는 사각형 단면을 가지는 것을 특징으로 하는 토륨 기반 열외중성자로 노심.

청구항 8

제7항에 따른 토륨 기반 열외중성자로 노심을 구비한 원자로.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 토륨 기반 열외중성자로 노심 및 이를 구비한 원자로에 관한 것으로, 보다 상세하게는 열외중성자 영역에서의 핵분열성 물질을 증식시킬 수 있는 토륨 기반 열외중성자로 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 일어나며, 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] 한편, 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.

[0010] 대부분 중래의 상용 원자로는 가압경수로 원자로(Pressurized light water reactor)와 같은 열중성자로로 운영 중이며, 고속로는 기존 원자로의 단점을 보완하기 위하여 전 세계에서 연구가 진행되고 있다.

[0011] 하지만, 열외중성자로에 대한 연구는 열중성자로를 만드는 것이 보다 합리적이라는 이유만으로 연구가 진행되고 있지 않으며, 열외중성자로에 관하여 기존에 진행된 연구는 대부분이 추측된 결과만 존재할 뿐 열외중성자로에 대한 관심이 적은 상황이다.

[0012] 본 출원인은, 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여, 본 발명을 제안하게 되었다.

선행기술문헌

특허문헌

[0013] (특허문헌 0001) 한국등록특허공보 제10-1221569호(2013.01.14.)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0014] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위하여 제안된 것으로, 열외중성자 영역에서 핵분열성 물질의 증식을 적용할 수 있는 토륨 기반 열외중성자로 노심 및 이를 구비한 원자로를 제공한다.

과제의 해결 수단

[0015] 상기한 바와 같은 과제를 달성하기 위한 본 발명의 일 실시예에 따른 토륨 기반 열외중성자로 노심은, 핵분열 연쇄반응이 일어나기 위한 복수의 핵연료체를 포함하는 핵연료 집합체; 상기 핵연료 집합체의 사이에 배치되어 상기 핵분열 연쇄반응에 의해 방출된 에너지를 흡수하는 냉각재; 및 상기 핵연료 집합체를 둘러싸도록 배치되며 상기 핵연료 집합체로부터 발생하는 중성자의 외부 누출을 저감시키는 반사체;를 포함하며, 상기 핵연료 집합체는, 우라늄(U)-233을 포함하는 산화토륨으로 마련되는 복수개의 원통형 핵연료체 및 상기 핵연료체의 사이에 마련되는 복수개의 제어봉을 포함하고, 상기 냉각재는 상기 핵연료체 및 상기 제어봉의 사이에도 마련될 수 있다.

[0016] 상기 핵연료체의 우라늄(U)-233은 2.3중량%의 농축 우라늄으로 마련될 수 있다.

[0017] 상기 냉각재로는 물 또는 경수가 이용되며, 상기 냉각재는 중성자의 에너지 영역을 이동시키는 중성자 에너지 영역 천이 첨가제를 포함할 수 있다.

[0018] 상기 중성자 에너지 영역 천이 첨가제는, 중성자의 에너지 영역이 열중성자 에너지 영역에서 열외 중성자 에너지 영역으로 이동되게 할 수 있다.

[0019] 상기 중성자 에너지 영역 천이 첨가제로 중수가 이용될 수 있다.

[0020] 상기 중성자 에너지 영역 천이 첨가제는 우라늄(U)-233의 양을 증가시켜 운전 주기를 증가시킬 수 있다.

[0021] 상기 핵연료 집합체는 사각형 단면을 가지도록 형성될 수 있다.

[0022] 또한, 본 발명은 상술한 토륨 기반 열외중성자로 노심을 구비한 원자로를 제공할 수 있다.

발명의 효과

[0023] 본 발명에 따른 토륨 기반 열외중성자로 노심 및 이를 구비한 원자로는 열외중성자 영역에서 핵분열성 물질인 우라늄(U)-233을 증식시킬 수 있다.

[0024] 본 발명에 따른 토륨 기반 열외중성자로 노심 및 이를 구비한 원자로는 핵연료의 장주기 운전이 가능하다.

[0025] 본 발명에 따른 토륨 기반 열외중성자로 노심 및 이를 구비한 원자로는 토륨 기반 열중성자로의 냉각제를 변경하여 노심의 연소도를 연장하고 노심의 임계도를 조정할 수 있다.

[0026] 본 발명에 따른 토륨 기반 열외중성자로 노심 및 이를 구비한 원자로는 기존 우라늄 원자로의 단점을 보완함으로써 다양한 연구에 적용 가능하고 안전성이 향상된 원자로의 과급효과를 높이며 집중적 투자를 통한 고부가 가치를 창출할 수 있다.

[0027] 본 발명에 따른 토륨 기반 열외중성자로 노심 및 이를 구비한 원자로는 핵연료 집합체의 격자 사이즈 및 냉각재를 변경함으로써 중성자 에너지 스펙트럼을 열중성자 영역에서 열외중성자 영역으로 이동시켜 연소 주기 길이를 증가시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0028] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 토륨 기반 열외중성자로 노심을 나타내는 도면이다.

도 2는 도 1의 절단선 “A-A”에 따른 단면도이다.

도 3은 도 1에 도시한 열외중성자로 노심에 마련된 핵연료 집합체를 나타내는 도면이다.

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

도 5 및 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 토륨 기반 열외중성자로 노심에 있어서 중성자 에너지 영역 천이 첨가제에 따른 연소 실험 결과를 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0029] 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.
- [0030] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 토륨 기반 열외중성자로 노심을 나타내는 도면, 도 2는 도 1의 절단선 “A-A”에 따른 단면도, 도 3은 도 1에 도시한 열외중성자로 노심에 마련된 핵연료 집합체를 나타내는 도면, 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 토륨 기반 열외중성자로 노심에 있어서 중성자 에너지 영역 천이 첨가제에 따른 중성자 에너지 스펙트럼을 나타내는 실험 그래프, 도 5 및 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 토륨 기반 열외중성자로 노심에 있어서 중성자 에너지 영역 천이 첨가제에 따른 연소 실험 결과를 나타내는 그래프이다.
- [0031] 도 1 내지 도 3에 도시된 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따른 토륨 기반 열외중성자로 노심(100)은, 핵분열 연쇄반응이 일어나기 위한 복수의 핵연료체(120)를 포함하는 핵연료 집합체(110), 핵연료 집합체(110)의 사이에 배치되어 상기 핵분열 연쇄반응에 의해 방출된 에너지를 흡수하는 냉각재(150) 및 핵연료 집합체(110)를 둘러싸도록 배치되며 핵연료 집합체(110)로부터 발생하는 중성자의 외부 누출을 저감시키는 반사체(170)를 포함할 수 있다.
- [0032] 여기서, 반사체(170)는 피복재(Cladding)의 역할도 할 수 있으며, 스테인리스 스틸로 형성되는 것이 바람직하다.
- [0033] 본 발명의 일 실시예에 따른 토륨 기반 열외중성자로 노심(100)은 쇄빙선(Icebreaker ship)에 적용될 수 있고, 임계 원자로 뿐만 아니라 미임계 원자로에도 적용될 수 있다.
- [0034] 도 2를 참조하면, 핵연료 집합체(110)는, 산화우라늄(U)-233 및 산화토륨으로 마련되는 복수개의 원통형 핵연료체(120) 및 핵연료체(120)의 사이에 마련되는 복수개의 제어봉(160)을 포함할 수 있다.
- [0035] 도 3을 참조하면, 핵연료 집합체(110)는 가로 길이와 세로 길이(L)가 동일한 사각형 모양으로 형성되고, 핵연료체(120)는 원기둥 형태로 형성될 수 있다. 즉, 가로 방향으로 16개, 세로 방향으로 16개의 핵연료체(120)를 사각형 모양으로 배치함으로써 핵연료 집합체(110)가 형성될 수 있다.
- [0036] 본 발명의 일 실시예에 따른 토륨 기반 열외중성자로 노심(100)에는 24개의 핵연료 집합체(110)가 배치되는데, 도 1에 도시된 바와 같이, 노심(100)의 중심부에 가로 및 세로 각각 4개의 핵연료 집합체(110)가 사각형 모양으로 배치되고 사각형 모양의 외측에 각각 2개의 핵연료 집합체(110)가 배치되어 총 24개의 핵연료 집합체(110)가 노심(100)에 배치될 수 있다.
- [0037] 하나의 핵연료 집합체(110)에는 236개 또는 304개의 핵연료체(120)가 배치될 수 있다. 핵연료체(120)는 직경 0.5 센티미터(cm), 길이 115 센티미터(cm)의 원기둥 또는 봉 형태로 형성되고, 두께 0.05 센티미터(cm)의 피복재에 의해 둘러 싸인다. 피복재(미도시)는 지르코늄 합금(Zircaloy-4)으로 형성되는 것이 바람직하다.
- [0038] 한편, 노심(100)은 직경(D)이 238 센티미터(cm)이고, 높이(H)가 136 센티미터(cm) 또는 330 센티미터(cm)로 형성될 수 있다.
- [0039] 도 3을 참조하면, 핵연료 집합체(110)는 제어봉(160)을 포함하는데, 5개의 제어봉(160)이 구비될 수 있다. 5개의 제어봉(160)은 핵연료 집합체(110)의 중심부에 1개가 배치되고 중심부에 배치된 제어봉을 기준으로 나머지 4개의 제어봉이 사각형의 꼭지점을 형성하도록 배치될 수 있다. 여기서, 제어봉(160)은 보론카바이드(B₄C)로 형성되는 것이 바람직하다.
- [0040] 핵연료체(120)는 우라늄(enriched U-233)을 포함하는 산화토륨을 포함할 수 있다. 즉, 핵연료체(120)는 (Th+U)₂O₇를 포함할 수 있다. 여기서, 핵연료체(120)의 우라늄(U)-233은 2.3중량%의 농축 우라늄(enriched

uranium)으로 마련될 수 있다. 다시 말하면, 핵연료체(120)에 있어서, U-233/(Th-232+U-233)이 2.3중량%가 되도록 우라늄(U)-233과 산화토륨이 포함될 수 있다.

- [0041] 한편, 냉각재(150)는 핵연료체(120) 및 제어봉(160)의 사이에도 마련될 수 있으며, 감속재(moderator)의 역할도 할 수 있다.
- [0042] 냉각재(150)로는 물 또는 경수(light water)가 이용되는 것이 바람직하다.
- [0043] 본 발명의 일 실시예에 따른 토륨 기반 열외중성자로 노심(100)은 냉각재(150)에 중성자 에너지 영역 천이 첨가제가 포함될 수 있다.
- [0044] 상기 중성자 에너지 영역 천이 첨가제는 냉각재(150)에 추가되는 불순물의 일종으로서, 중성자의 에너지 영역을 이동시키거나 천이(shift)시킬 수 있다.
- [0045] 냉각재(150)에 중성자 에너지 영역 천이 첨가제를 추가함으로써 중성자의 에너지 영역이 열중성자(thermal neutron) 에너지 영역에서 열외 중성자(epithermal neutron) 에너지 영역으로 이동되게 할 수 있다.
- [0046] 토륨 주기의 핵연료 우라늄(U)-233은 0.3 eV 에너지 영역 부근(열중성자 영역)에서 포획 대 핵분열 비(포획/핵분열 비)가 높다. 이러한 0.3 eV 공명영역을 피하여 중성자 스펙트럼을 이동시킬 수 있다면, 낮은 포획 대 핵분열 비를 가지게 되고, 이로 인하여 중성자 재생인자(regeneration characteristics)가 증가(물질의 증식)하여 장주기 운전이 가능하게 된다.
- [0047] 본 발명의 일 실시예에 따른 토륨 기반 열외중성자로 노심(100)의 경우, 열외중성자 에너지 영역 부근에서 우라늄(U)-233의 중성자 재생인자가 우수하기 때문에 핵연료의 연소 주기를 늘일 수 있고 장주기 운전이 가능하게 된다.
- [0048] 한편, 중성자 에너지 영역 천이 첨가제로는 경수 뿐만 아니라 중수(D₂O)가 이용될 수 있다.
- [0049] 도 4에는 냉각재(150)에 추가되는 중성자 에너지 영역 천이 첨가제의 양에 따른 중성자 에너지 스펙트럼이 나타나 있다. 도 4에서 기준(Reference)는 중성자 에너지 영역 천이 첨가제가 추가되지 않은 경우이고, H₂O 70%+D₂O 30%는 중성자 에너지 영역 천이 첨가제로 경수 70%와 중수 30%가 추가된 경우이며, D₂O 70%+H₂O 30%는 중성자 에너지 영역 천이 첨가제로 중수 70%와 경수 30%가 추가된 경우이다.
- [0050] 도 4를 참조하면, 중성자 에너지 스펙트럼에서 기준(Reference)의 경우는 다른 스펙트럼 보다 저에너지 영역에서 피크 값이 크고, 고에너지에서 피크가 작다는 것을 알 수 있는데, 이것은 기준(Reference)의 경우가 열중성자 에너지 스펙트럼을 가진다는 것을 의미한다. 또한, 기준 H₂O 냉각재 즉, 기준(Reference)의 경우와 중성자 에너지 영역 천이 첨가제가 추가된 경우를 비교해 보면, 냉각재(150)에 불순물인 중성자 에너지 영역 천이 첨가제가 추가되면 중성자 에너지 스펙트럼이 달라짐을 확인할 수 있다. 구체적으로, 중성자의 에너지 영역이 열중성자(thermal neutron) 에너지 영역에서 열외 중성자(epithermal neutron) 에너지 영역으로 이동함을 알 수 있다.
- [0051] 한편, 냉각재(150)에 중성자 에너지 영역 천이 첨가제를 추가하면, 우라늄(U)-233의 양을 증가시켜 운전 주기를 증가시킬 수 있다.
- [0052] 본 발명의 발명자들은 본 발명의 일 실시예에 따른 토륨 기반 열외중성자로 노심(100)에 대해서 MCNP6.1 코드를 사용하여 임계 계산 및 연소 실험을 하였다. MCNP6.1 코드의 KCODE 카드를 사용하고, 총 50회의 비활성 주기(cycle)와 하여 250회의 활성 주기 동안 실험을 하였다. 또한, 연소 계산을 위해서 MCNP6.1 코드의 BURN 카드를 사용했다.
- [0053] 도 5는 불순물인 중성자 에너지 영역 천이 첨가제를 냉각재(150)에 추가함에 따른 토륨(Th)-232의 양이 증가되는지를 보여주는 연소 실험 결과이고, 도 6은 불순물인 중성자 에너지 영역 천이 첨가제를 냉각재(150)에 추가함에 따른 우라늄(U)-233의 양이 증가되는지를 보여주는 연소 실험 결과이다. 도 5 및 도 6에서, H₂O는 중성자 에너지 영역 천이 첨가제가 추가되지 않은 기준 냉각재의 경우이고, D₂O 70%+H₂O 30%는 중성자 에너지 영역 천이 첨가제로 중수 70%와 경수 30%가 추가된 경우이며, H₂O 70%+D₂O 30%는 중성자 에너지 영역 천이 첨가제로 경수 70%와 중수 30%가 추가된 경우이다.
- [0054] 도 5 및 도 6을 참조하면, 중성자 에너지 영역 천이 첨가제가 추가되지 않은 기준 H₂O 냉각재의 경우 보다 중성자 에너지 영역 천이 첨가제가 추가된 냉각재(D₂O 70 % + H₂O 30%, H₂O 70 % + D₂O 30%)의 경우 우라늄(U)-233

의 양이 증가 됨을 확인 할 수 있다.

[0055] 따라서, 본 발명의 일 실시예에 따른 토륨 기반 열외중성자로 노심(100) 및 이를 구비한 원자로는 냉각재(150)에 경수 또는 중수를 포함하는 중성자 에너지 영역 천이 첨가제를 추가함으로써, 우수한 장주기 운전 특성을 얻을 수 있다.

[0056] 상기한 바와 같은 본 발명에 따른 토륨 기반 열외중성자로 노심 및 이를 구비한 원자로는, 냉각재에 추가되는 중성자 에너지 영역 천이 첨가제를 변경함으로써 노심의 연소도를 연장할 수 있고 노심의 임계도를 조정할 수도 있다. 또한, 핵연료 집합체의 격자 사이즈 및 냉각재를 변경함으로써 중성자 에너지 스펙트럼을 열중성자 영역에서 열외중성자 영역으로 이동시켜 연소 주기 길이를 증가시킬 수 있다.

[0058] 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, 후술하는 청구범위뿐만 아니라 이 청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

부호의 설명

[0059] 100: 토륨 기반 열외중성자로 노심

110: 핵연료 집합체

120: 핵연료체

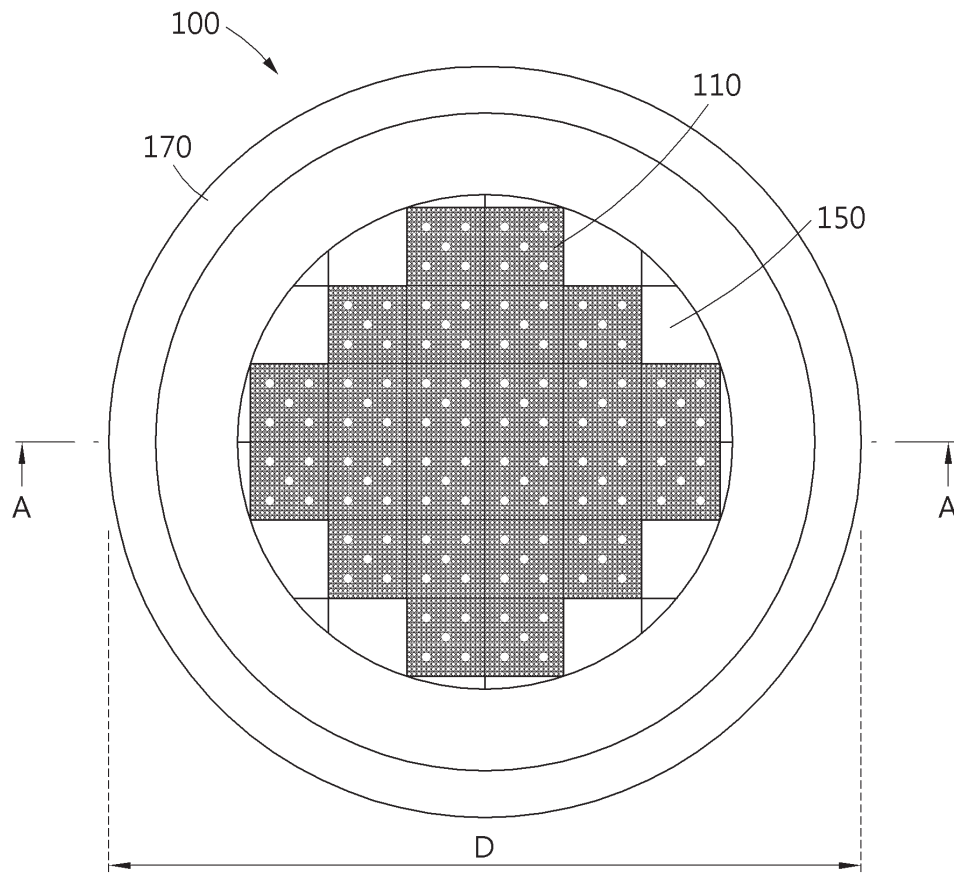
150: 냉각재

160: 제어봉

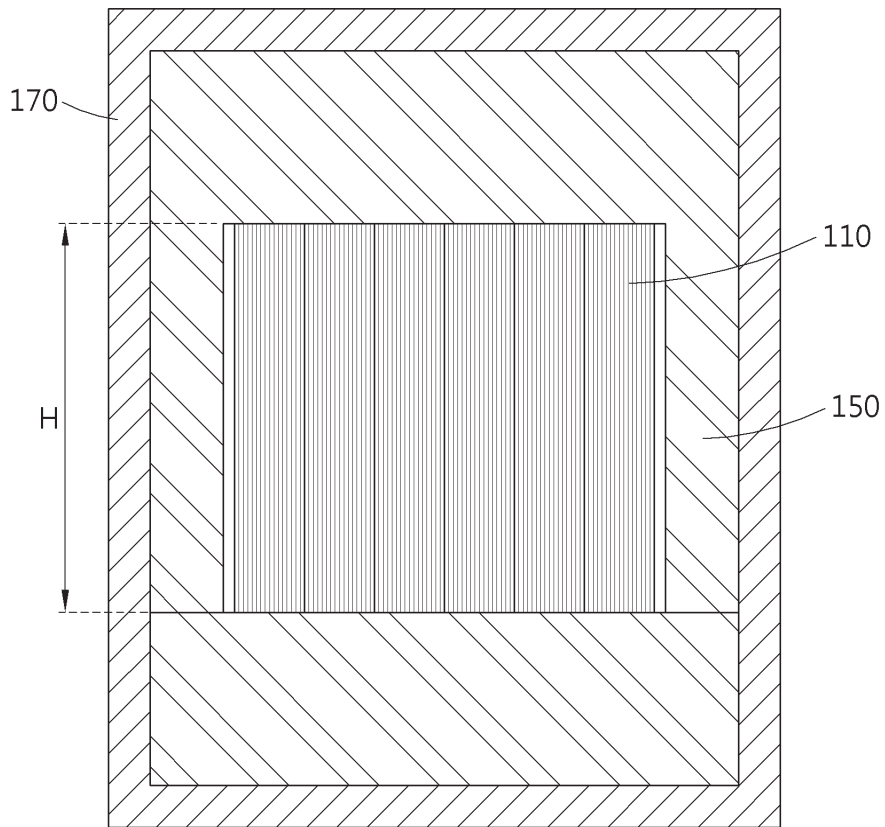
170: 반사체

도면

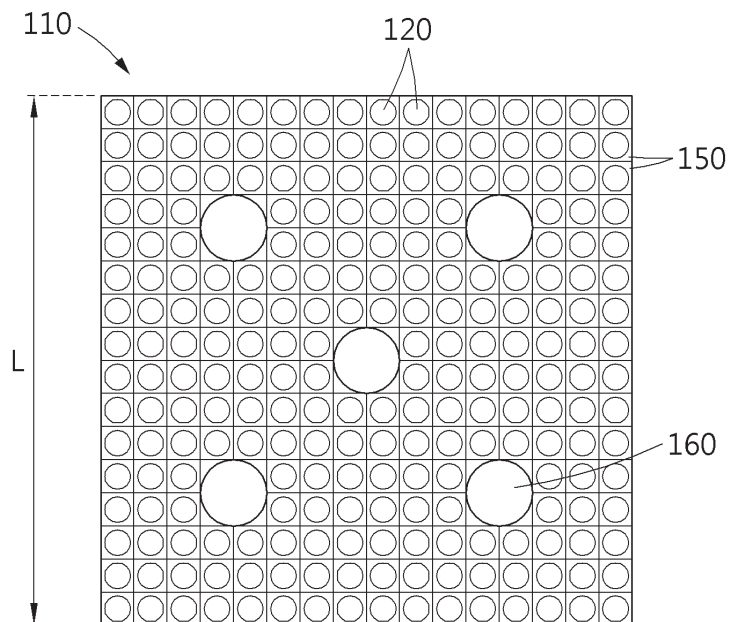
도면1



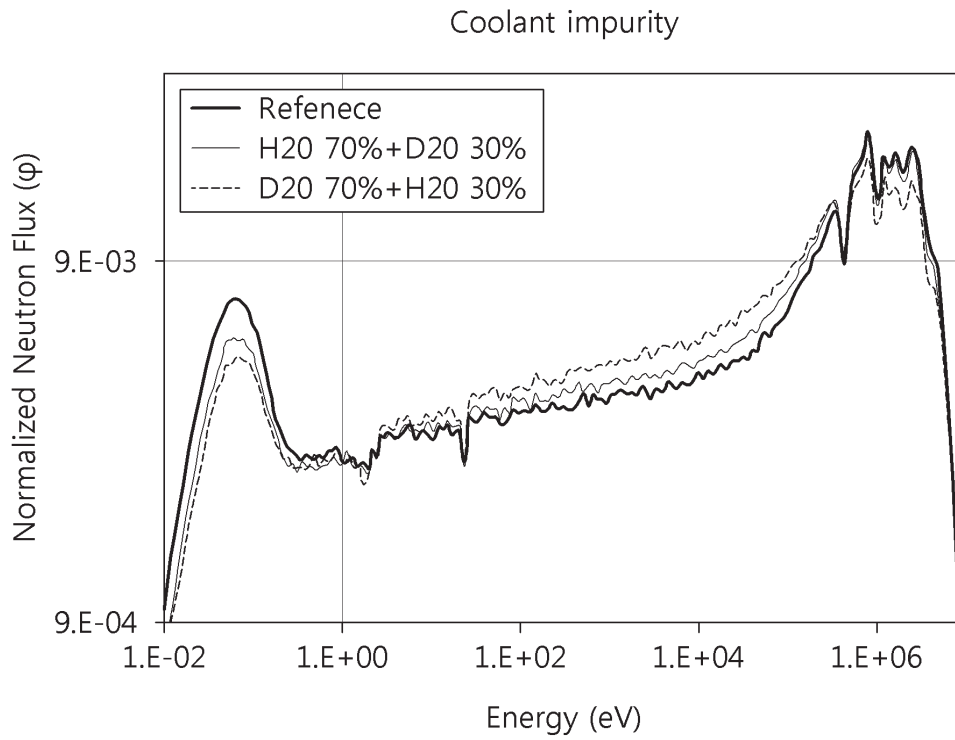
도면2



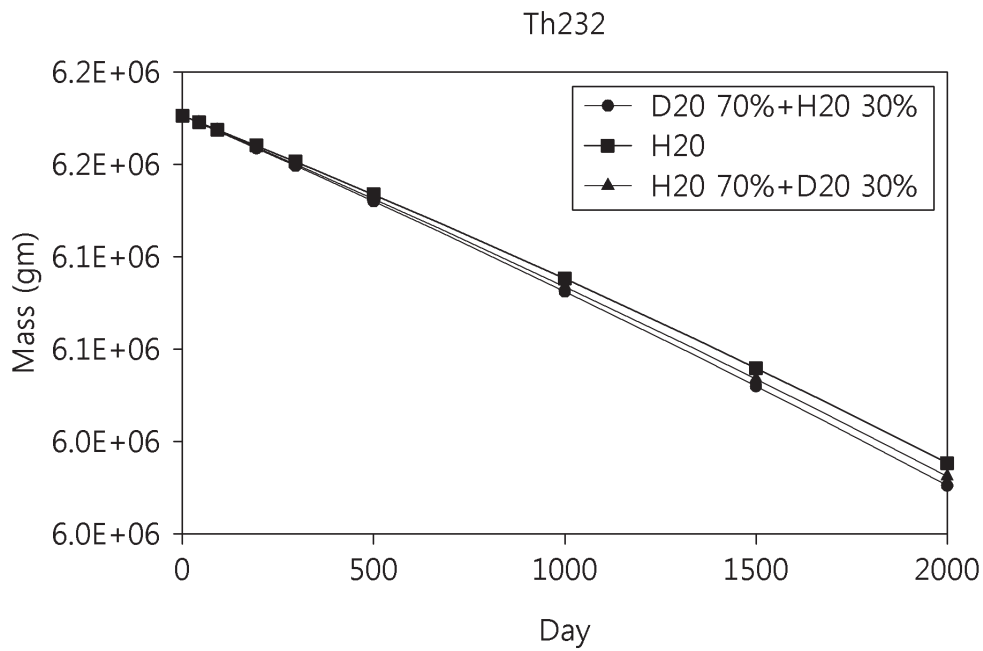
도면3



도면4



도면5



도면6

