(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0135663
(43) 공개일자 2018년12월21일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G21C 3/33 (2006.01) *G21C 1/02* (2006.01)
G21C 3/52 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G21C 3/3305 (2013.01)
G21C 1/02 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2017-0074017
(22) 출원일자 2017년06월13일
심사청구일자 2017년06월13일

(71) 출원인
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
방인철
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
이민호
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(74) 대리인
리앤목특허법인

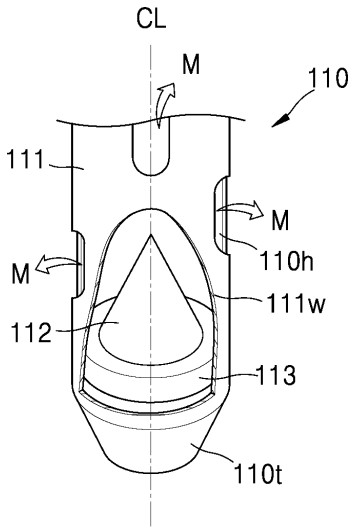
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 **핵연료 집합체 및 이를 이용하는 액체 금속 원자로**

(57) 요 약

본 발명은 액체 금속 원자로의 노심에 설치되는 핵연료 집합체로서, 내부에 복수개의 연료봉들을 구비하며, 상기 복수개의 연료봉들 사이로 냉각용 액체 금속이 유동하는 연료 유닛 및 상기 연료 유닛의 하단부에 결합되어 상기 액체 금속 원자로의 저면 방향으로 연장된 하부 유닛을 구비하고, 상기 하부 유닛은, 중공의 통 형상을 가지며, 외주면에 복수개의 제1 관통홀들을 갖는 하우징 및 상기 하우징의 내부에 배치되며, 상기 연료 유닛을 향하는 방향으로 갈수록 단면의 폭이 감소하는 가이드부를 구비하는, 핵연료 집합체를 제공한다.

대 표 도 - 도3



(52) CPC특허분류
G21C 3/52 (2013.01)
G21Y 2002/207 (2013.01)
G21Y 2002/50 (2013.01)
G21Y 2004/30 (2013.01)
Y02E 30/35 (2013.01)

명 세 서

청구범위

청구항 1

액체 금속 원자로의 노심에 설치되는 핵연료 집합체로서,

내부에 복수개의 연료봉들을 구비하며, 상기 복수개의 연료봉들 사이로 냉각용 액체 금속이 유동하는 연료 유닛; 및

상기 연료 유닛의 하단부에 결합되어 상기 액체 금속 원자로의 저면 방향으로 연장된 하부 유닛;을 구비하고,

상기 하부 유닛은,

중공의 통 형상을 가지며, 외주면에 복수개의 제1 관통홀들을 갖는 하우징; 및

상기 하우징의 내부에 배치되며, 상기 연료 유닛을 향하는 방향으로 갈수록 단면의 폭이 감소하는 가이드부;를 구비하는, 핵연료 집합체.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 하부 유닛은, 상기 하우징의 내부에 배치되되 상기 가이드부의 하단부에 결합된 베이스부;를 더 구비하는, 핵연료 집합체.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 베이스부는 상기 하우징의 내면에 밀착된 핵연료 집합체.

청구항 4

제 2 항에 있어서,

상기 베이스부의 상면은 상기 복수개의 제1 관통홀들보다 하측에 위치하는 핵연료 집합체.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 가이드부의 하단부는 상기 하우징의 내면에 밀착된 핵연료 집합체.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 가이드부의 하면은 상기 복수개의 제1 관통홀들보다 하측에 위치하는 핵연료 집합체.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 가이드부는 테이퍼 형상을 갖는 핵연료 집합체.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 가이드부의 적어도 일부는 상기 복수개의 제1 관통홀들로부터 내측으로 이격된 핵연료 집합체.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 연료 유닛의 상단부에 결합되며, 외주면에 복수개의 제2 관통홀들을 갖는 상부 유닛;을 더 구비하는, 핵연료 집합체.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 냉각용 액체 금속의 적어도 일부는 상기 복수개의 제1 관통홀들로부터 유입되어 상기 복수개의 제2 관통홀들로 유출되는, 핵연료 집합체.

청구항 11

제 1 항에 있어서,

상기 노심의 손상 시 생성된 노심 용융물의 적어도 일부는 상기 복수개의 제1 관통홀들로 유출되는, 핵연료 집합체.

청구항 12

제1항 내지 제11항 중 어느 한 항의 핵연료 집합체가 설치된 노심; 및

저면 방향에 상기 노심이 수용되며, 상기 노심을 통과하는 냉각용 액체 금속을 저장하는 원자로 용기;를 구비하는, 액체 금속 원자로.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명의 실시예들은 핵연료 집합체 및 이를 이용하는 액체 금속 원자로에 관한 것으로, 더 상세하게는 노심 손상 시 생성되는 노심 용융물의 퇴적을 방지하는 핵연료 집합체 및 이를 이용하는 액체 금속 원자로에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 종래에 건설된 원자로 및 현재 세워지고 있는 원자로는 열중성자(Thermal Neutron)를 이용한 경수로(Light Water Reactor: LWR)형이다. 경수로형 원자로는 3세대 원자로로서, 검증된 기술과 뛰어난 경제성 및 우수한 안정성을 갖고 있지만, 한편으로는 원자로를 구동한 후 발생하는 사용 후 핵연료의 증가로 그 지속적인 사용에 대한 문제가 되고 있다.

[0003] 이러한 상황에서 사용 후 핵연료의 문제를 해결하며 기존의 경수로보다 향상된 안전성을 보장할 수 있는 다양한 원자로들이 제안되고 있는데, 이러한 원자로들은 4세대 원자로로 분류된다. 4세대 원자로로 제안되는 여러 가지 원자로 중에서, 특히 열중성자에 비해 고에너지를 갖는 고속 중성자를 이용하여 연쇄 핵분열 반응을 기반으로 에너지를 생산하는 고속로(Fast Reactor)가 주목받고 있다. 물론, 고속로에도 다양한 종류가 있는데, 그 중에서도 높은 실현성을 갖고 있다고 판단되어 가장 활발한 연구가 진행되는 원자로로 액체 금속 고속 증식로(Liquid Metal Fast Breeder Reactor, 이하 액체 금속 원자로라 한다)가 있다.

[0004] 이러한 액체 금속 원자로에는 냉각재로 액체상태의 금속을 사용하며, 주로 소듐(Na)이 사용된다. 소듐은 물에 비하여 열전도도가 매우 높고, 열교환 능력이 뛰어나 높은 출력밀도의 노심을 효율적으로 냉각할 수 있어 액체 금속 원자로의 냉각재로 각광받고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 그러나, 이러한 액체 금속 원자로의 경우에도 냉각재의 공급이 원활하지 못하거나 내부의 이상 고온 현상이 발생하게 되면, 핵연료봉 내부의 핵연료 및 이를 감싼 피복재 등이 녹아 내리는 노심 용융의 문제가 발생할 수 있

다. 이때 핵연료봉 하부에 냉각되지 않은 노심 용융물이 퇴적되면, 추가적으로 핵연료봉이 녹아 내리게 되어 중대 사고로 발전하게 될 위험성이 높아진다.

[0006] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 포함하여 여러 문제점들을 해결하기 위한 것으로서, 노심 손상 시 생성되는 노심 용융물의 퇴적을 방지하는 핵연료 집합체 및 이를 이용하는 액체 금속 원자로를 제공하는 것을 목적으로 한다. 그러나 이러한 과제는 예시적인 것으로, 이에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명의 일 측면에 따르면, 액체 금속 원자로의 노심에 설치되는 핵연료 집합체로서, 내부에 복수개의 연료봉들을 구비하며, 상기 복수개의 연료봉들 사이로 냉각용 액체 금속이 유동하는 연료 유닛 및 상기 연료 유닛의 하단부에 결합되어 상기 액체 금속 원자로의 저면 방향으로 연장된 하부 유닛을 구비하고, 상기 하부 유닛은, 중공의 통 형상을 가지며, 외주면에 복수개의 제1 관통홀들을 갖는 하우징 및 상기 하우징의 내부에 배치되며, 상기 연료 유닛을 향하는 방향으로 갈수록 단면의 폭이 감소하는 가이드부를 구비하는, 핵연료 집합체가 제공된다.

[0008] 상기 하부 유닛은, 상기 하우징의 내부에 배치되되 상기 가이드부의 하단부에 결합된 베이스부를 더 구비할 수 있다.

[0009] 상기 베이스부는 상기 하우징의 내면에 밀착될 수 있다.

[0010] 상기 베이스부의 상면은 상기 복수개의 제1 관통홀들보다 하측에 위치할 수 있다.

[0011] 상기 가이드부의 하단부는 상기 하우징의 내면에 밀착될 수 있다.

[0012] 상기 가이드부의 하면은 상기 복수개의 제1 관통홀들보다 하측에 위치할 수 있다.

[0013] 상기 가이드부는 테이퍼 형상을 가질 수 있다.

[0014] 상기 가이드부의 적어도 일부는 상기 복수개의 제1 관통홀들로부터 내측으로 이격될 수 있다.

[0015] 상기 연료 유닛의 상단부에 결합되며, 외주면에 복수개의 제2 관통홀들을 갖는 상부 유닛을 더 구비할 수 있다.

[0016] 상기 냉각용 액체 금속의 적어도 일부는 상기 복수개의 제1 관통홀들로부터 유입되어 상기 복수개의 제2 관통홀들로 유출될 수 있다.

[0017] 상기 노심의 손상 시 생성된 노심 용융물의 적어도 일부는 상기 복수개의 제1 관통홀들로 유출될 수 있다.

[0018] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 상술한 것과 같은 핵연료 집합체가 설치된 노심 및 저면 방향에 상기 노심이 수용되며, 상기 노심을 통과하는 냉각용 액체 금속을 저장하는 원자로 용기를 구비하는, 액체 금속 원자로가 제공된다.

발명의 효과

[0019] 상술한 바와 같이 이루어진 본 발명의 일 실시예에 따르면, 노심 손상 사고 시 생성되는 노심 용융물의 퇴적을 방지하여 사고의 조기 종료를 촉진하고 추가적인 사고 진행을 방지할 수 있다.

[0020] 또한, 기존의 핵연료 집합체에도 큰 설계 변경 없이 쉽게 적용할 수 있다.

[0021] 물론 이러한 효과들에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

도면의 간단한 설명

[0022] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 액체 금속 원자로를 개략적으로 도시한 구성도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 핵연료 집합체를 개략적으로 도시한 정면도이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 핵연료 집합체의 하부를 개략적으로 도시한 확대 사시도이다.

도 4는 본 발명의 다른 실시예에 따른 핵연료 집합체의 하부를 개략적으로 도시한 확대 사시도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0023] 본 발명은 다양한 변환을 가할 수 있고 여러 가지 실시예들을 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하

고, 상세한 설명에 상세하게 설명하고자 한다. 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변환, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다. 본 발명을 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.

[0024] 본 명세서에서 사용되는 제1, 제2 등의 용어는 다양한 구성요소들을 설명하는데 사용될 수 있지만, 구성요소들은 용어들에 의해 한정되어서는 안 된다. 용어들은 하나의 구성요소를 다른 구성요소로부터 구별하는 목적으로만 사용된다.

[0025] 이하, 본 발명에 따른 실시예들을 도면을 참조하여 상세히 설명하기로 하며, 도면을 참조하여 설명함에 있어 실질적으로 동일하거나 대응하는 구성 요소는 동일한 도면번호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 도면에서 여러 층 및 영역을 명확하게 표현하기 위하여 두께를 확대하여 나타내었다. 그리고 도면에서, 설명의 편의를 위해 일부 층 및 영역의 두께를 과장되게 나타내었다.

[0026] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 액체 금속 원자로를 개략적으로 도시한 구성도이다.

[0027] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 액체 금속 원자로(10)는 노심(20) 및 노심(20)을 수용하는 원자로 용기(11)를 구비한다. 또한, 원자로 용기(11)의 중앙부에는 상부 내부 구조물(30)이 배치되는데, 상부 내부 구조물(30)에는 노심(20) 내에서 발생하는 연쇄 반응의 속도를 조절하기 위한 제어봉이 장착되어 있다.

[0028] 노심(20)은 액체 금속 원자로(10)에 있어서 핵반응이 발생하는 부분으로, 노심(20) 내에는 핵연료봉이 다발로 형성된 핵연료봉 집합체(미도시)가 구비되어 있다. 이러한 핵연료봉 집합체에 관한 구체적인 내용은 도 2 내지 도 4를 참조하여 후술한다.

[0029] 노심(20)은 원자로 용기(11)의 저면(11b) 방향에 배치된다. 이때 원자로 용기(11)에는 냉각용 액체 금속이 저장되며, 상기 냉각용 액체 금속은 노심(20)을 냉각시키는 역할을 한다. 일 실시예로, 상기 냉각용 액체 금속에는 소듐(Na)이 사용될 수 있다.

[0030] 원자로 용기(11)는 고온의 냉각용 액체 금속(LM1)이 저장된 고온 저장부와 저온의 냉각용 액체 금속(LM2)이 저장된 저온 저장부로 구획되며, 상기 고온 저장부와 상기 저온 저장부를 구획할 수 있도록 격벽(12)이 형성되어 있다.

[0031] 구체적으로, 고온 저장부는 원자로 용기(11)에 있어서 노심(20) 상에 위치하는 격벽(12)의 내부 공간으로 정의되며, 노심(20)으로부터 유출된 고온의 냉각용 액체 금속(LM1)이 모이는 부분이다. 상기 고온 저장부에는 중간 열교환기(IHX: Intermediate Heat Exchanger)(60)가 배치되어 고온의 냉각용 액체 금속(LM1)이 중간 열교환기(60)로 유입된다. 중간 열교환기(60)는 외부의 증기 발생 사이클(미도시)로 원자로 용기(11) 내부에서 발생한 열을 전달하게 되고, 이로써 상기 증기 발생 사이클을 통해 동력을 발생시키게 된다.

[0032] 중간 열교환기(60)를 통해 열교환되어 온도가 하강한 저온의 냉각용 액체 금속(LM2)은 중간 열교환기(60)의 하단을 통해 유출되어 저온 저장부로 모이게 된다. 이때 상기 저온 저장부는 원자로 용기(11)에 있어서 격벽(12)의 외부 공간으로 정의된다. 상기 저온 저장부에는 펌프(40)가 배치되어 저온의 냉각용 액체 금속(LM2)을 노심(20)으로 이동시키는 역할을 한다. 뿐만 아니라, 펌프(40)는 저온 저장부에 저장된 저온의 냉각용 액체 금속(LM2)의 액위를 고온 저장부에 저장된 고온의 냉각용 액체 금속(LM1)의 액위와 다르게 유지하는 역할을 하기도 한다.

[0033] 한편, 원자로 용기(11) 내에는 중간 열교환기(60)와 별도로 잔열 제거 열교환기(DHX: Decay Heat Exchanger)(50)가 구비될 수 있다. 잔열 제거 열교환기(50)는 노심(20)의 붕괴열을 원자로 용기(11) 밖으로 방출하기 위한 것으로, 강제 냉각(능동계통) 또는 자연 대류(피동계통)를 이용하여 상기 붕괴열을 제거하게 된다.

[0034] 노심(20)의 상부에는 상부 내부 구조물(UIS: Upper Internal Structure)(40)이 배치된다. 상부 내부 구조물(30)은 노심(20)의 연쇄 반응 속도를 제어하는 제어봉(미도시)을 지지하며, 상기 제어봉의 위치를 감지하는 센서를 구비하고 있다. 구체적으로, 제어봉은 노심(20)의 상단으로 삽입되어 그 삽입 정도에 따라 노심(20)의 중성자 증배계수를 조절하게 되며, 이를 위해 상기 제어봉에는 구동부(미도시)가 연결되어 노심(20)에 인입되거나 노심(20)으로부터 인출될 수 있다.

[0035] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 핵연료 집합체를 개략적으로 도시한 정면도이다.

[0036] 도 2 및 이전 도 1을 함께 참조하면, 핵연료 집합체(100)는 액체 금속 원자로(10)의 노심(20)에 설치되며, 구체

적으로는 연료 유닛(105), 연료 유닛(105) 하부에 배치된 하부 유닛(110) 및 연료 유닛(105) 상부에 배치된 상부 유닛(120)을 구비한다.

[0037] 연료 유닛(105)은 핵연료 집합체(100)의 중앙부에 배치된다. 연료 유닛(105)의 내부에는 복수개의 연료봉(105f)들이 구비된다. 복수개의 연료봉(105f)들은 덕트(duct) 형상의 케이스(105c) 내에 구비되며, 케이스(105c)는 다양한 형상의 단면을 가질 수 있으나, 일 실시예로 도 2에 도시된 것과 같이 육각형 단면으로 형성될 수 있다.

[0038] 복수개의 연료봉(105f)들은 케이스(105c)에 의해 다발 형태로 지지되는데, 일 실시예로 케이스(105c) 내에 구비된 탑재 선로(mounting rail)에 탑재되어 하부 유닛(110) 상단부에 기계적으로 결합될 수 있다.

[0039] 한편, 케이스(105c) 내부에는 복수개의 연료봉(105f)들 사이에 유로들이 형성되는데, 상기 유로들 각각에 냉각용 액체 금속이 고르게 흐를 수 있도록 냉각용 액체 금속을 강제로 유동시킬 필요가 있다. 이로써 상기 유로들 각각의 유동 저항이 균일해짐에 따라 낮은 유동 저항 경로로 냉각용 액체 금속이 흐르는 바이패스(by-pass) 현상이 완화되어 핵연료 집합체(100)를 효과적으로 냉각시킬 수 있다.

[0040] 연료 유닛(105)의 하단부에는 하부 유닛(110)이 결합된다. 구체적으로, 하부 유닛(110)은 액체 금속 원자로(10)의 저면(11b) 방향으로 연장된 하우징(111)을 구비하며, 하우징(111)의 외주면에는 복수개의 제1 관통홀(110h)들이 형성되어 있다.

[0041] 하부 유닛(110)은 핵연료 집합체(100)의 하부를 고정 지지하는 부분으로, 복수개의 제1 관통홀(110h)들을 통해 냉각용 액체 금속을 핵연료 집합체(100) 내부로 유입시키는 역할을 한다.

[0042] 또한, 연료 유닛(105)의 상단부에는 상부 유닛(120)이 결합되며, 상부 유닛(120)의 외주면에도 복수개의 제2 관통홀(120h)들이 형성된다. 이로써 연료 유닛(105)을 통과한 냉각용 액체 금속이 복수개의 제2 관통홀(120h)들을 통해 핵연료 집합체(100) 밖으로 유출되게 된다.

[0043] 이와 같이 액체 금속 원자로(10)가 정상 작동할 시에는 냉각용 액체 금속의 유동 방향이 하부 유닛(110)으로부터 상부 유닛(120)을 향하게 되는데 반하여, 복수개의 연료봉(105f)들이 녹아 내리는 등의 노심 용융 사고가 발생할 시에는 생성된 노심 용융물의 유동 방향이 하부 유닛(110)을 향하게 되는 문제가 발생한다. 따라서 본 발명은 후술하는 도 3 또는 도 4에 도시된 실시예 및 그 변형예들을 통해 상기와 같은 문제를 해결하고자 한다.

[0044] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 핵연료 집합체의 하부를 개략적으로 도시한 확대 사시도이고, 도 4는 본 발명의 다른 실시예에 따른 핵연료 집합체의 하부를 개략적으로 도시한 확대 사시도이다.

[0045] 먼저 도 3을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 핵연료 집합체의 하부 유닛(110)은 하우징(111), 가이드부(112) 및 베이스부(113)를 구비한다.

[0046] 하우징(111)은 중공의 통 형상을 가지며, 전술한 바와 같이 벽면(111w)에 복수개의 제1 관통홀(110h)들을 갖는다. 이러한 하우징(111)의 내부 공간을 통해 하부 유닛(110)의 상부로부터 노심 용융물(M)이 흘러 내려오게 된다.

[0047] 하우징(111)의 내부에는 가이드부(112) 및 베이스부(113)가 배치되는데, 가이드부(112)는 연료 유닛을 향하는 방향인 상방향으로 갈수록 단면의 폭이 감소하는 형상을 갖는다. 일 실시예로, 가이드부(112)는 대략 테이퍼 형상을 가질 수 있고, 좀 더 구체적으로는 도 3에 도시된 것과 같이 원뿔형으로 형성될 수 있다. 이로써 하우징(111)의 내부 공간으로 유입된 노심 용융물(M)을 가이드부(112) 외주면의 경사 방향으로 안내하여 복수개의 제1 관통홀(110h)로 용이하게 유출시킬 수 있다. 따라서 노심 용융물(M)이 하부 유닛(110) 내부에 저장되는 것을 방지하여, 냉각용 액체 금속의 유입이 차단되고 노심 용융물(M)에 노출된 연료봉이 추가 용융되는 문제를 해결할 수 있다.

[0048] 가이드부(112)는 벽면(111w)의 내측으로 이격될 수 있다. 이로써 벽면(111w)과 가이드부(112) 사이에는 노심 용융물(M)이 유동하는 유로가 형성될 수 있고, 상기 유로는 복수개의 제1 관통홀(110h)로 연결되어 노심 용융물(M)을 하부 유닛(110) 밖으로 안내하게 된다.

[0049] 도 3에는 가이드부(112)가 하부 유닛(110)의 중심선(CL)에 대해 대칭을 이루는 것으로 도시되어 있으나, 이는 어디까지나 예시일 뿐이며, 가이드부(112)의 경사진 각도나 방향은 복수개의 제1 관통홀(110h)들의 위치, 개수 등에 따라 다양하게 변형될 수 있음은 물론이다.

[0050] 가이드부(112)의 하단부에는 베이스부(113)가 결합된다. 베이스부(113)는 하우징(111)의 벽면(111w) 내측에 밀착되어, 노심 용융물(M)이 하부 유닛(110)의 하단부(110t)에 퇴적되거나, 벽면(111w)과 가이드부(112) 사이에

끼이는 현상을 방지할 수 있다.

[0051] 한편, 가이드부(112) 및 베이스부(113)는 복수개의 제1 관통홀(110h)들을 덮지 않도록 배치될 필요가 있다. 구체적으로는 베이스부(113)의 상면은 복수개의 제1 관통홀(110h)들보다 하측에 위치하는 것이 바람직하다.

[0052] 도 3에는 베이스부(113)가 원기둥 또는 원판 형상을 갖는 것으로 도시되어 있으나, 반드시 이에 한정되는 것은 아니며, 예컨대 베이스부(113)의 적어도 일부는 하부 유닛(110)의 하단부(110t)에 대응하는 형상을 가질 수도 있다.

[0053] 다음으로 도 4를 참조하면, 본 발명의 다른 실시예에 따른 핵연료 집합체의 하부 유닛(110a)은 하우징(111) 및 가이드부(112a)를 구비한다. 즉, 본 실시예의 경우 도 3에 도시된 실시예와 달리 베이스부(113)는 생략할 수 있다.

[0054] 가이드부(112a)는 상방향으로 갈수록 단면의 폭이 감소하도록 형성되어 하우징(111)의 내부 공간으로 유입된 노심 용융물(M)을 가이드부(112a) 외주면의 경사 방향으로 안내하여 복수개의 제1 관통홀(110h)로 용이하게 유출시킬 수 있다. 이때 가이드부(112a)가 테이퍼 형상 또는 원뿔 형상을 가질 수 있음은 전술한 실시예와 마찬가지이다.

[0055] 본 실시예의 경우 별도의 베이스부를 구비하지 않으므로, 가이드부(112a)의 하단부는 하우징(111)의 벽면(111w) 내측에 밀착되도록 배치된다. 이로써 도 3에 도시된 베이스부(113)와 마찬가지로 노심 용융물(M)이 하부 유닛(110)의 하단부(110t)에 퇴적되거나, 벽면(111w)과 가이드부(112a) 사이에 끼이는 현상을 방지할 수 있다.

[0056] 또한, 가이드부(112a)는 복수개의 제1 관통홀(110h)들을 덮지 않도록 배치될 필요가 있는바, 가이드부(112a)의 하면은 복수개의 제1 관통홀(110h)들보다 하측에 위치하는 것이 바람직하다.

[0057] 가이드부(112a)의 경사진 각도나 방향은 복수개의 제1 관통홀(110h)들의 위치, 개수 등에 따라 다양하게 변형될 수 있으며, 도 4에 도시된 것과 같이 하부 유닛(110)의 중심선(CL)에 대해 대칭을 이루는 것으로 제한되지 않음은 물론이다.

[0058] 이상에서 설명한 바와 같이, 본 발명의 일 실시예에 따르면 노심 손상 사고 시 생성되는 노심 용융물의 퇴적을 방지하여 사고의 조기 종료를 촉진하고 추가적인 사고 진행을 방지할 수 있다. 또한, 기존의 핵연료 집합체에도 큰 설계 변경 없이 쉽게 적용할 수 있다.

[0059] 이와 같이 본 발명은 도면에 도시된 일 실시예를 참고로 하여 설명하였으나, 이는 예시적인 것에 불과하며 당해 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 실시예의 변형이 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0060] 100: 핵연료 집합체

105: 연료 유닛

105f: 연료봉

110: 하부 유닛

110h: 제1 관통홀

111: 하우징

112, 112a: 가이드부

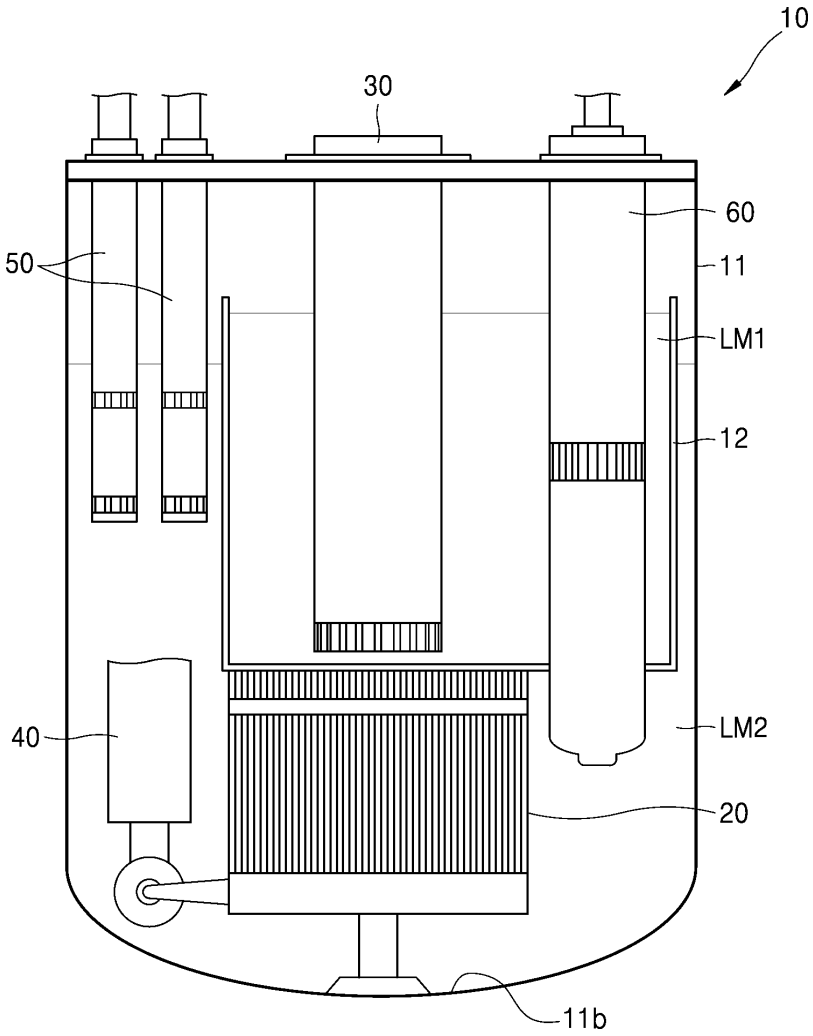
113: 베이스부

120: 상부 유닛

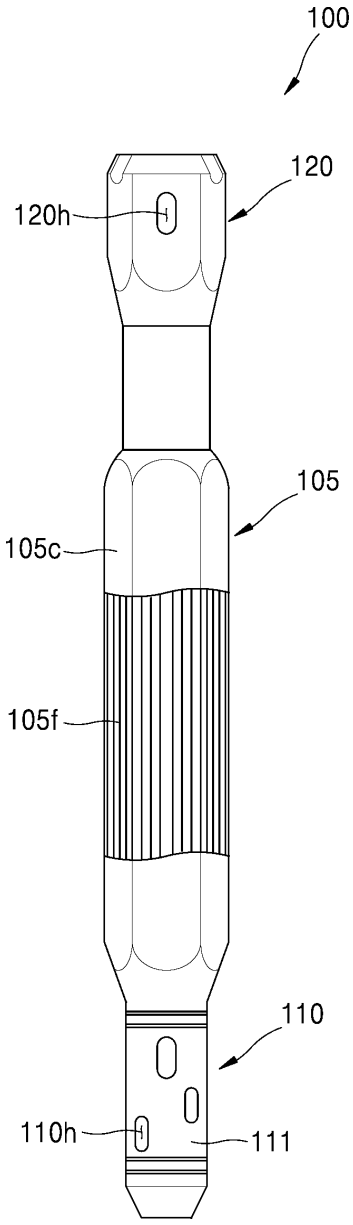
120h: 제2 관통홀

도면

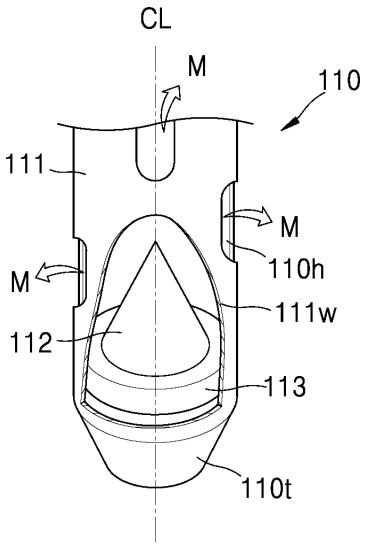
도면1



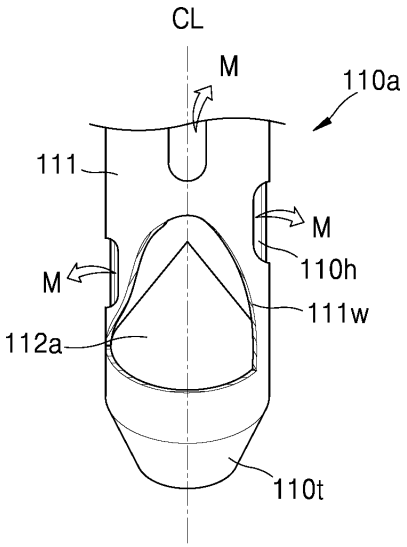
도면2



도면3


CL
M
110
111
M
110h
M
111w
112
113
110t

도면4


CL
M
110a
111
M
110h
M
111w
112a
110t