



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0078191
(43) 공개일자 2021년06월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G21C 3/06 (2006.01) G21C 3/33 (2006.01)
G21C 3/62 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G21C 3/06 (2013.01)
G21C 3/33 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0170010
(22) 출원일자 2019년12월18일
심사청구일자 2019년12월18일

(71) 출원인
한국과학기술원
대전광역시 유성구 대학로 291(구성동)
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
류호진
대전광역시 유성구 대학로 291(구성동, 한국과학기술원)
황일순
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(74) 대리인
특허법인 무한

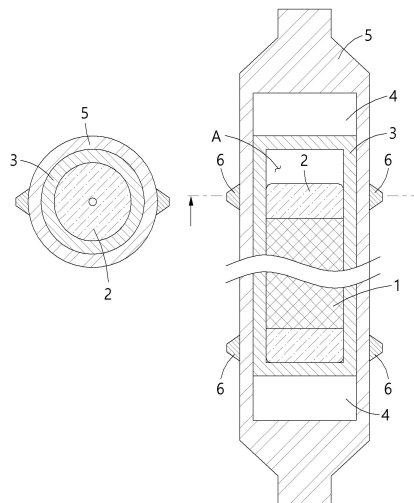
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 손상 저항성 핵연료

(57) 요약

본 발명은, 손상 저항성 핵연료에 관한 것으로, 보다 구체적으로, 우라늄 함유 핵연료; 상기 핵연료의 상단 및 하단에 위치한 지르코늄 지지체; 상기 핵연료와 지르코늄 지지체의 적어도 일부분을 간극 없이 감싸고 있는 지르코늄 라이너; 상기 지르코늄 라이너의 적어도 일부분을 간극 없이 감싸고 있는 피복관; 상기 지르코늄 라이너와 피복관 사이에 형성된 공간, 상기 공간은 태그 기체로 채워짐; 및 상기 피복관 외부에 장착된 복수개의 패드;를 포함하는, 핵연료에 관한 것이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G21C 3/623 (2013.01)

Y02E 30/30 (2020.08)

Y10S 376/901 (2013.01)

(72) 발명자

김지현

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

김형진

대전광역시 유성구 대학로 291(구성동, 한국과학기술원)

문지원

대전광역시 유성구 대학로 291(구성동, 한국과학기술원)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2019067210

부처명 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 한국연구재단

연구사업명 원자력연구개발사업

연구과제명 초장주기 핵연료 성능 평가, 안전 조치, 방사성폐기물 및 사용후핵연료 관리
방안(2019)

기 여 율 60/100

과제수행기관명 한국과학기술원

연구기간 2019.04.19 ~ 2019.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711094306

부처명 과학기술정보통신부

과제관리(전문)기관명 한국연구재단

연구사업명 원자력융복합기술개발사업(R&D)

연구과제명 핵연료-무교체 전수명 초소형 해양용 원자로 개념설계 핵심기술 개발연구

기 여 율 40/100

과제수행기관명 울산과학기술원

연구기간 2019.04.19 ~ 2019.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

우라늄 함유 핵연료;

상기 핵연료의 상단 및 하단에 위치한 지르코늄 지지체;

상기 핵연료와 지르코늄 지지체의 적어도 일부분을 간극 없이 감싸고 있는 지르코늄 라이너;

상기 지르코늄 라이너의 적어도 일부분을 간극 없이 감싸고 있는 피복관;

상기 지르코늄 라이너와 피복관 사이에 형성된 공간, 상기 공간은 태그 기체로 채워짐; 및

상기 피복관 외부에 장착된 복수개의 패드;

를 포함하는,

핵연료.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 우라늄 함유 핵연료는, 우라늄 함유 합금, 산화물, 질화물 및 탄화물 중 적어도 하나를 포함하는 것인,

핵연료.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 우라늄 함유 핵연료는, 지르코늄, 몰리브덴, 플루토늄, 토륨, 나이오븀 및 티타늄 중 적어도 하나의 원소를 더 포함하고,

상기 원소는, 상기 우라늄 함유 핵연료 중 0.1wt% 내지 40 wt%를 포함하는 것인,

핵연료.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 우라늄 함유 핵연료는, 우라늄 산화물(UO_2), 우라늄 질화물(UN) 또는 이 둘을 포함하는 것인,

핵연료.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 우라늄 함유 핵연료는, 분말 입자, 소결체, 입자 분산 복합재, 주조재 및 압출재 형태 중 적어도 하나를 포함하는 것인,

핵연료.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 우라늄 함유 핵연료는, 봉상 또는 판형의 성형체인 것인,

핵연료.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 지르코늄 지지체는, 핵분열 기체가 통과하기 위한 단일 또는 복수개의 미세기공, 구멍 또는 이 둘을 포함하는 통기성 구조체인 것인,

핵연료.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 단일 또는 복수개의 미세기공, 구멍 또는 이 둘은, 상기 지르코늄 지지체 전체 부피 중 5 부피 % 내지 50 부피%로 포함되는 것인,

핵연료.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 지르코늄 지지체는, 지르코늄, 지르코늄 합금 또는 이 둘을 포함하고,

상기 지르코늄 지지체는, 주석(Sn), 나이오븀(Nb) 및 철(Fe) 중 적어도 하나를 더 포함하는 것인,

핵연료.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 상단에 위치한 지르코늄 지지체와 지르코늄 라이너의 상단 사이에 빈 공간을 더 포함하는 것인,

핵연료.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 지르코늄 라이너는, 지르코늄, 지르코늄 합금 또는 이 둘을 포함하는 것인,

핵연료.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 피복관은, 15-15 Ti 스테인리스강을 사용하는 단일 피복관, 또는 15-15 Ti 스테인리스강 및 알루미늄 함유강을 동시에 사용하는 이중 피복관인 것인,

핵연료.

청구항 13

제1항에 있어서,

상기 기체는, 헬륨, 제논 및 크립톤 중 적어도 하나를 포함하는 것인,

핵연료.

청구항 14

제1항에 있어서,

상기 복수개의 패드 중 적어도 하나는, 상기 상단 및 하단에 위치한 지르코늄 지지체 각각과 인접하거나 또는 동일한 높이에 배치되고, 외부 충격을 전달 및 지지하는 기능을 갖는 것인,

핵연료.

청구항 15

제1항에 있어서,

상기 복수개의 패드 중 적어도 하나는, 핵연료봉을 지지하는 지지격자와 인접한 높이에 위치하는 것인,

핵연료.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은, 손상 저항성 핵연료에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 금속 핵연료는 산화물 핵연료에 비해 우라늄 밀도가 높아 노심의 소형화에 유리하고, 중성자 스펙트럼 에너지가 높아 우라늄 이용 효율이 높고 장수명 무교체 노심용 원자로에 유리하다. 기존의 핵연료 집합체는 핵연료 지지격자 (spacer grid)와 연료봉 간의 기계적인 상호작용으로 인한 마모가 심한 특성이 있어, 진동과 충격이 심한 쇄빙선 등 해양 원전용 핵연료로 사용할 경우 핵연료 손상의 우려가 있다. 특히 핵연료의 교체가 용이하지 않은 해양 원전의 경우 핵연료 손상의 확률을 최대한 억제하는 손상 저항성 핵연료 개념을 채용할 필요성이 있다.

[0003] 소듐냉각 고속로에서 사용되는 U-10wt%Zr 금속핵연료는 팽윤(swelling)이 심하기 때문에 핵연료-피복관 기계적 상호작용 (FCMI)를 완화하기 위하여 핵연료 심이 피복관 내부 면적을 차지하는 단면적 분율인 smeared density를 약 75% 수준으로 제한할 필요가 있다. U-10Zr 금속핵연료는 핵분열 기체 방출도 매우 많기 때문에 봉 내압을 증가시키게 된다. 따라서 핵분열 기체 방출을 수용하기 위하여 핵연료심 길이의 1.5배 정도 길이의 공간을 갖는 기체 플레넘 (plenum)을 제공하는 피복관 설계를 사용한다. 우라늄과 니켈, 철과 같은 원소는 화학적 상호 확산이 매우 빠르게 발생하여 낮은 녹는점을 갖는 공정 상 (eutectic phase)을 형성하게 된다. 고속로용 피복관으로 사용되는 스테인리스강의 주성분은 철과 니켈로서 핵연료와 화학적 상호작용을 억제할 필요성이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0004] 본 발명은, 상기 언급한 문제점을 해결하기 위한 것으로, 내충격성과 내마모성이 향상된 손상 저항성 핵연료를 제공하는 것이다.
- [0005] 그러나, 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

- [0006] 본 발명의 일 실시예에 따라, 우라늄 함유 핵연료; 상기 핵연료의 상단 및 하단에 위치한 지르코늄 지지체; 상기 핵연료와 지르코늄 지지체의 적어도 일부분을 간극 없이 감싸고 있는 지르코늄 라이너; 상기 지르코늄 라이너의 적어도 일부분을 간극 없이 감싸고 있는 피복관; 상기 지르코늄 라이너와 피복관 사이에 형성된 공간, 상기 공간은 태그 기체로 채워짐; 및 상기 피복관 외부에 장착된 복수개의 패드;를 포함하는, 핵연료에 관한 것이다.
- [0007] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 우라늄 함유 핵연료는, 우라늄 함유 합금, 산화물, 질화물 및 탄화물 중 적어도 하나를 포함하는 것일 수 있다.
- [0008] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 우라늄 함유 핵연료는, 지르코늄, 몰리브덴, 플루토늄, 토륨, 나이오븀 및 티타늄 중 적어도 하나의 원소를 더 포함하고, 상기 원소는, 상기 우라늄 함유 핵연료 중 0.1wt% 내지 40 wt%를 포함하는 것일 수 있다.
- [0009] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 우라늄 함유 핵연료는, 우라늄 산화물(UO_2), 우라늄 질화물(UN) 또는 이 둘을 포함하는 것일 수 있다.
- [0010] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 우라늄 함유 핵연료는, 분말 입자, 소결체, 입자 분산 복합재, 주조재 및 압출재 형태 중 적어도 하나를 포함하는 것일 수 있다.
- [0011] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 우라늄 함유 핵연료는, 봉상 또는 판형의 성형체인 것일 수 있다.
- [0012] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 지르코늄 지지체는, 핵분열 기체가 통과하기 위한 단일 또는 복수개의 미세 기공, 구멍 또는 이 둘을 포함하는 통기성 구조체인 것일 수 있다.
- [0013] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 단일 또는 복수개의 미세기공, 구멍 또는 이 둘은, 상기 지르코늄 지지체 전체 부피 중 5 부피% 내지 50 부피%로 포함되는 것일 수 있다.
- [0014] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 지르코늄 지지체는, 지르코늄, 지르코늄 합금 또는 이 둘을 포함하고, 상기 지르코늄 지지체는, 주석(Sn), 나이오븀(Nb) 및 철(Fe) 중 적어도 하나를 더 포함하는 것일 수 있다.
- [0015] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 상단에 위치한 지르코늄 지지체와 지르코늄 라이너의 상단 사이에 빈 공간을 더 포함하는 것일 수 있다.
- [0016] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 지르코늄 라이너는, 지르코늄, 지르코늄 합금 또는 이 둘을 포함하는 것일 수 있다.
- [0017] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 피복관은, 15-15 Ti 스테인리스강을 사용하는 단일 피복관, 또는 15-15 Ti 스테인리스강 및 알루미늄 함유 강을 동시에 사용하는 이중 피복관인 것일 수 있다.
- [0018] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 기체는, 헬륨, 제논 및 크립톤 중 적어도 하나를 포함하는 것일 수 있다.
- [0019] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 복수개의 패드 중 적어도 하나는, 상기 상단 및 하단에 위치한 지르코늄 지지체 각각과 인접하거나 또는 동일한 높이에 배치되고, 외부 충격을 전달 및 지지하는 기능을 갖는 것일 수 있다.
- [0020] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 복수개의 패드 중 적어도 하나는, 핵연료봉을 지지하는 지지격자와 인접한 높이에 위치하는 것일 수 있다.

발명의 효과

- [0021] 본 발명은, 핵연료가 손상저항성을 갖도록 하기 위해서는 팽윤에 의한 피복관 내에 장전된 핵연료와 피복관의 기계적 상호작용을 완화하고, 핵연료와 피복관의 화학적 상호작용을 억제하며, 핵분열 기체 방출을 수용할 수 있도록 설계된 핵연료를 제공하고, 이는 마모와 충격에 의한 피복관 손상을 방지할 뿐만 아니라, 해양 원전과 같이 마모와 충격이 심하고, 장수명 무교체 노심에 적용하기 위한 손상 저항성 핵연료를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0022] 도 1은, 본 발명의 일 실시예에 따라, 본 발명에 의한 핵연료의 구성에 대한 단면도를 예시적으로 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시예들을 상세히 설명한다. 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략할 것이다. 또한, 본 명세서에서 사용되는 용어들은 본 발명의 바람직한 실시예를 적절히 표현하기 위해 사용된 용어들로서, 이는 사용자, 운용자의 의도 또는 본 발명이 속하는 분야의 관례 등에 따라 달라질 수 있다. 따라서, 본 용어들에 대한 정의는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 내려져야 할 것이다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.
- [0024] 명세서 전체에서, 어떤 부재가 다른 부재 "상에" 위치하고 있다고 할 때, 이는 어떤 부재가 다른 부재에 접해 있는 경우뿐 아니라 두 부재 사이에 또 다른 부재가 존재하는 경우도 포함한다.
- [0025] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.
- [0026] 본 발명은, 손상 저항성 핵연료에 관한 것으로, 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 핵연료는, 우라늄 함유 핵연료와 피복관이 일체형으로 조립되고, 피복관 내에 장전된 구조체이다. 즉, 상기 핵연료는, 열전달이 향상되어 핵연료 온도가 낮아짐으로써, 팽윤 및 핵분열기체 방출을 감소시키고, 내부 및/또는 외부 환경에 의한 내충격성과 내마모성이 향상되어 손상 저항성 핵연료를 제공할 수 있도록 설계된 것이다. 더욱이, 상기 핵연료는, 충분한 기공 또는 빈 공간이 있는 핵연료심 구조를 사용하므로, 팽윤에 의한 핵연료와 피복관의 기계적 상호작용이 완화될 수 있다.
- [0027] 본 발명의 일 실시예에 따라, 상기 핵연료는 도 1을 참조하여 설명하여, 도 1의 본 발명의 일 실시예에 따라, 본 발명에 의한 핵연료 구성의 단면도를 예시적으로 나타낸 것이다.
- [0028] 도 1에서 상기 핵연료는, 핵연료 (1); 지르코늄 지지체 (2); 지르코늄 라이너 (3); 공간 (4); 피복관 (5); 및 복수개의 패드 (6)를 포함할 수 있다.
- [0029] 본 발명의 일 예로, 핵연료 (1)는, 금속 핵연료이며, 예를 들어, 우라늄 함유 핵연료이다. 핵연료 (1)는, 피복관 (5) 내에 장전되고, 피복관 (5)과의 상호작용을 통한 마모가 방지되므로, 외부 충격에 대한 강성과 진동 마모에 대한 손상 저항성을 향상시킬 수 있다.
- [0030] 상기 우라늄 함유 핵연료는, 우라늄 함유 합금, 우라늄 함유 산화물, 우라늄 함유 질화물 및 우라늄 함유 탄화물 중 적어도 하나를 포함할 수 있으며, 예를 들어, 우라늄 산화물(UO₂), 우라늄 질화물(UN) 등일 수 있다.
- [0031] 상기 우라늄 함유 핵연료는, 지르코늄, 몰리브덴, 플루토늄, 토륨 및 나이오븀, 티타늄 중 적어도 하나의 원소를 더 포함하고, 상기 원소는, 상기 우라늄 함유 핵연료 중 0.1 wt% 내지 40 wt%; 0.1 wt% 내지 20 wt%; 또는 0.1 wt% 내지 10 wt%를 포함할 수 있다.
- [0032] 상기 우라늄 함유 핵연료는, 분말 입자, 소결체, 입자 분산 복합재, 주조재 및 압출재 형태 중 적어도 하나를 포함하고, 바람직하게는 가스 아토마이제이션(Gas atomization)을 통해 분말 입자를 제조한 이후 소결하여 제조할 수 있다.
- [0033] 상기 우라늄 함유 핵연료는, 다양한 형상의 성형체로 단일 또는 복수개로 적용될 수 있고, 예를 들어, 봉상(또는, 펠렛) 또는 판형의 성형체일 수 있다.
- [0034] 지르코늄 지지체 (2)는, 피복관 (5) 내에 장입된 핵연료 (1)의 상단 영역 및 하단 영역에 각각 위치하고, 지르

코늄 지지체 (2)는, 외부 충격에 의한 핵연료 진동으로 마모가 생기는 것을 방지하고, 진동이 심한 해양 원전에 유리한 핵연료를 제공할 수 있다.

[0035] 지르코늄 지지체 (2)는, 진동 유발 마모에 의해 피복관 (5)이 파손되었을 때에도 핵물질이 밖으로 빠져나가는 것을 방지하는 역할을 하는 것으로, 지르코늄 지지체 (2)는, 핵분열 기체가 통과하기 위한 단일 또는 복수개의 미세기공, 구멍 또는 이 둘을 포함하는 통기성 구조체이며, 예를 들어, 상기 단일 또는 복수개의 미세기공, 구멍 또는 이 둘은, 지르코늄 지지체 (2)의 전체 부피 중 5 부피% 내지 50 부피%로 포함되는 것일 수 있다. 즉, 지르코늄 지지체 (2)는 조립체 내에 고정되어 있으나, 핵분열 기체는 지르코늄 라이너 (3)에 의한 플레넘 공간으로 이동하여 수용됨으로써, 이들이 유출되는 것이 방지될 수 있다.

[0036] 지르코늄 지지체 (2)의 적어도 일부분은, 지지격자 스프링(도면에 나타내지 않음)과 피복관 (5)이 맞닿는 위치 (또는, 높이)에 해당되는 내부에 삽입되므로, 외부 충격 저항성을 향상시켜 피복관 (5)의 손상을 방지하고, 핵물질 파편 이동을 방지할 수 있다.

[0037] 지르코늄 지지체 (2)는, 지르코늄, 지르코늄 합금 또는 이 둘을 포함하고, 주석 (Sn), 나이오븀 (Nb) 및 철 (Fe) 중 적어도 하나를 더 포함할 수 있다. 상기 지르코늄 지지체는, 5 mm 내지 20 mm 높이를 가질 수 있다.

[0038] 지르코늄 라이너 (3)는, 핵연료 (1)와 지르코늄 지지체 (2)를 간극 없이 감싸고, 지르코늄 라이너 (3)의 내부는 밀봉(air tight)된다. 지르코늄 라이너 (3)는, 핵연료 (1)와 피복관 (5)의 화학적 상호작용을 막아주는 라이너 역할과 핵분열 기체의 유출을 막아주는 기능을 제공할 수 있다. 즉, 지르코늄 라이너 (3)는, 피복관 (5)과 핵연료 (1) 사이에 위치되어 핵연료 (1)와 피복관 (5) 간의 물리적 또는 화학적 상호 작용(예를 들어, 화학적 반응)을 감소시켜, 핵연료 (1)의 손상을 방지하고, 충분한 플레넘 공간을 확보함으로써, 핵분열 기체의 방출을 이 중으로 방지할 수 있다.

[0039] 지르코늄 라이너 (3)는, 핵연료 (1)와 핵연료 (1)의 하단에 위치한 지르코늄 지지체 (2)의 적어도 일부분, 예를 들어, 지르코늄 라이너 (3)와 접촉 가능한 영역을 간극 없이 타이트하게 밀착되도록 감싸고, 핵연료 (1)의 상단에 위치한 지르코늄 지지체 (2)의 옆면은 간극 없이 감싸면서 지르코늄 지지체 (2)의 상단 영역과 지르코늄 라이너 (3) 상단 사이에 빈 공간(A)을 확보하도록 둘러싸고 밀봉된다. 상기 공간의 높이는, 핵연료 (1)의 총 높이 대비 0.1 내지 2배일 수 있다. 즉, 핵연료 (1)의 상단에 위치한 지르코늄 지지체 (2)는, 내부 핵분열 기체의 방출이 일어나면 상기 언급한 빈 공간(A)으로 향해 위로 올라갈 수 있고, 팽윤에 의한 핵연료 (1)와 피복관 (5)의 기계적 상호작용을 완화시킬 수 있다.

[0040] 지르코늄 라이너 (3)는, 지르코늄 지지체 (2)와 동일하거나 또는 상이한 성분이며, 예를 들어, 지르코늄, 지르코늄 합금 또는 이 둘을 포함할 수 있다.

[0041] 지르코늄 라이너 (3)의 두께는, 피복관 (5)와 동일하거나 또는 더 작을 수 있다. 예를 들어, 피복관 (5)의 두께 대비 1 내지 0.2; 또는 0.9 내지 0.4의 두께비를 가질 수 있다.

[0042] 피복관 (5)은 지르코늄 라이너 (3)의 적어도 일부분, 예를 들어, 옆면을 간극 없이 감싸고, 지르코늄 라이너 (3)와 피복관 (5) 사이에 공간 (4)을 형성할 수 있다. 예를 들어, 지르코늄 라이너 (3)의 상단 및 하단과 피복관 (5)의 상단 및 하단 사이에 각각 공간 (4)을 형성할 수 있다.

[0043] 피복관 (5)은, 15-15 Ti 스테인리스강 등의 철계 재료 또는 철계 재료와 알루미늄 함유 강을 포함하는 납 부식 저항성 피복관이며, 예를 들어, 15-15 Ti 스테인리스강을 사용하는 단일 피복관 또는 15-15 Ti 스테인리스강 및 알루미늄 함유 강을 동시에 사용하는 이중 피복관일 수 있다.

[0044] 즉, 상기 15-15 Ti 스테인리스강을 피복관으로 사용하여 기존의 고속로에 적용되는 페라이트 마르텐사이트강 (FMS) 보다 강도가 우수하고, 중성자 조사 시 팽윤이 낮아 핵연료 (1)과 피복관 (5)와의 기계적 상호작용을 완화시킬 수 있다.

[0045] 상기 알루미늄 함유 강은, AFA-SS (alumina-forming austenitic stainless steel alloys)이며, 구체적으로 AFA-25Ni, AFA-20Ni, AFA-12Ni 등일 수 있다.

[0046] 지르코늄 라이너 (3)와 피복관 (5) 사이에 공간 (4)은, 피복관 (5) 파손 시 조기 감지하여 핵물질 유출을 방지하기 위해서, 태그 (tag) 기체로 채워질 수 있고, 예를 들어, 헬륨 (He), 제논 (Xe), 크립톤 (Kr) 등의 불활성 태그 (tag) 기체를 포함할 수 있다.

[0047] 복수개의 패드 (6, spacer pad) 중 적어도 하나는, 상기 상단 및 하단에 위치한 지르코늄 지지체 각각에 대해

인접하거나 또는 동일한 높이에 위치되고, 외부 충격을 전달 및 지지하는 기능을 제공하거나 또는 핵연료봉을 지지하고 있는 지지격자 (또는, 지지격자 스프링)와 인접하거나 또는 동일한 높이에 위치, 예를 들어, 지지격자와 피복관 (5)와 맞닿는 위치의 표면에 접촉되어 외부의 충격을 흡수하여 마모저항성을 높일 수 있다.

[0048]

이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다. 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

도면1

