



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2013-0137601
(43) 공개일자 2013년12월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G21C 9/02 (2006.01) G21C 7/06 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2013-7005275
(22) 출원일자(국제) 2011년08월25일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2013년02월28일
(86) 국제출원번호 PCT/EP2011/064627
(87) 국제공개번호 WO 2012/025589
국제공개일자 2012년03월01일
(30) 우선권주장
1056754 2010년08월25일 프랑스(FR)

(71) 출원인
폼미사리아 아 레네르지 아토미끄 에프 옥스 에너지스 엘터네이티브즈
프랑스 파리 에프-75015 바띠멍 르 뽀낭 데 뤼르블랑 25
(72) 발명자
조르뉴, 크리스토프
프랑스, 버넬스 에프-13770 슈망 두 파피용 28
(74) 대리인
특허법인 원전

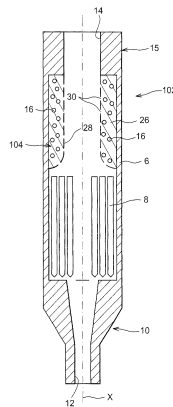
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 유효성이 개선된 핵연료 조립체의 중대 사고 완화 장치

(57) 요약

본 발명은 핵연료 조립체의 상부측에 배치되는 피동안전장치에 관한 것으로서, 이 피동안전장치는 중성자 흡수 물질 및 조립체(102) 내의 핵연료봉(8)의 클래딩을 형성하는 물질과의 저융점 공정(共晶)을 형성할 수 있는 물질; 및 이 물질들을 조립체(102) 내의 높은 위치에 유지하기 위한 퓨즈 수단을 포함한다.

대표도 - 도2



특허청구의 범위

청구항 1

핵연료 조립체(2, 102)의 상부 부근에 배치되도록 설계되는 피동안전장치(passive safety device)(4, 104)로서,

- 중성자 흡수 물질 및 조립체 내의 핵연료봉(8)의 클래딩(cladding)을 형성하는 물질과의 저융점 공정(共晶)을 형성할 수 있는 물질, 및
- 조립체(2, 102) 내의 높은 위치에 상기 물질들을 유지(retain)하기 위한 퓨즈 수단(fused means)을 포함하는 피동안전장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

저융점 공정을 형성할 수 있는 물질의 적어도 일부는 중성자 흡수 물질인, 피동안전장치.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서,

저융점 공정을 형성할 수 있는 물질은 클래딩을 스틸로 형성할 때 클래딩을 형성하는 물질의 밀도보다 높거나 같은, 예를 들면, 7000kg/m^3 이상의 높은 밀도를 갖는 피동안전장치.

청구항 4

제1항 내지 제3항 중 어느 한 항에 있어서,

클래딩은 스틸로 이루어지며 저융점 공정을 형성하는 물질은 천연 또는 열화(劣化) 우라늄으로 이루어지는 피동안전장치.

청구항 5

제3항에 있어서,

클래딩은 스틸로 이루어지며 저융점 공정을 형성하는 물질은 순수한 하프늄 또는 합금화된 하프늄인 피동안전장치.

청구항 6

제5항에 있어서,

약간 합금화된 하프늄은 합금 물질의 최대 20mass%를 함유하는 피동안전장치.

청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서,

합금 물질은 예를 들면, 니켈, 크롬, 붕소 또는 텅스텐인 피동안전장치.

청구항 8

제3항에 있어서,

클래딩은 스틸로 이루어지며 저융점 공정을 형성하는 물질은 천연 또는 열화 우라늄-하프늄 합금인 피동안전장치.

청구항 9

제8항에 있어서,

우라늄-하프늄 합금은 천연 또는 열화 우라늄의 최대 45원자%를 포함하는 피동안전장치.

청구항 10

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서,

조립체(2)의 축(X)을 따라 배치될 수 있고 또한 중성자 흡수 물질 및 저융점 공정을 형성하기 위해 클래딩을 형성하는 물질과 결합 가능한 물질이 조립체의 상단부로부터 매달릴 수 있는 와이어 위에 장착된 별개 요소의 형태로 있는 튜브(17)를 포함하며, 상기 와이어는 하부 퓨즈 스탑수단(lower fuse stop means)을 포함하는 피동안전장치.

청구항 11

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서,

중성자 흡수 물질 및 저융점 공정을 형성하기 위해 클래딩의 물질과 결합 가능한 물질은 저융점 모재(matrix)(26) 내에 분산되는 요소의 형태로 있고, 상기 모재는 조립체의 축과 동축(同軸)일 수 있는 중앙 통로(central passage)를 포함하는 피동안전장치.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 모재에 의해 둘러싸여 있고 상기 중앙 통로에 인접한 내부 유지 케이싱(inner retaining casing)(28)을 포함하며, 상기 내부 유지 케이싱은 천공(perforation)(30)을 포함하는 피동안전장치.

청구항 13

케이싱, 핵연료봉 및 제1항 내지 제12항 중 어느 한 항에 따른 피동안전장치를 포함하는 핵연료 조립체.

청구항 14

제1항 내지 제13항 중 어느 한 항에 따른 원자로(nuclear reactor)로서, 상기 원자로가 나트륨으로 냉각된 고속 중성자로(fast neutron reactor)인 원자로.

명세서

기술 분야

[0001] 본 발명은 중성자 흡수 물질(neutron-absorbing material)을 포함하며 핵연료 조립체(nuclear fuel assembly)에 통합되는 피동안전장치(passive safety device)에 관한 것이다. 이러한 조립체는 원자로(nuclear reactor) 노심(core)에, 특히 액체금속에 의해 냉각되는 고속 중성자 원자로(fast neutron nuclear reactor)의 중심부에 배치되도록 설계된다.

배경 기술

[0002] 원자로는, 사고가 일어나면 원자로 내부의 핵반응을 감속시키거나 심지어 정지시키도록 설계된 안전장치를 포함한다. 이것을 이루기 위해, 원자로는 노심 위에 매달려 있다가 사고 시에 노심 안으로 방출되는 복수개의 제어봉(control rod)을 포함한다. 제어봉은 중성자 흡수 물질, 대체로는 탄화붕소로 이루어진다. 제어봉은 순서에 따라 제어봉을 방출시키는 예를 들면 전자석 또는 그랩(grab)에 의해 매달려 있다. 이러한 안전장치는 외적 작용(outside action)의 촉발을 필요로 하기 때문에 능동(active)장치라고 불리워진다.

[0003] 원자로는 능동안전장치의 비가용성(unavailability)을 보상하기 위해 상보적 섯다운 시스템(complementary shutdown system; SAC)이라고도 불리우는 보조안전장치(redundant safety device)를 포함한다. 이 보조안전장치는 안전성을 최대화하기 위해 다른 물리원리에 기초하여 설계되어 있다.

[0004] 더구나, 상술한 바와 같이, 제어봉에 의해 형성되는 안전장치는 외적 작용을 필요로 한다. 그래서 어떠한 외부 상황(external order)도 필요로 함이 없이 독립적으로 촉발되는 안전장치를 사용할 수 있다고 생각하였으며, 이

러한 장치는 피동(passive)안전장치라고 불리워진다. 중성자 흡수 물질을 노심 안에 피동적으로 삽입하는 안전 장치의 한 가지의 타입은 특허문헌 FR 2 230 984 및 FR 2 683 667에 개시되어 있다. 이러한 피동장치는 사고 상황으로 인하여 온도 상승 시에 중성자 흡수 물질을 떨어뜨리게 하는 퓨즈(fuse)를 이용한다.

[0005] 특허문헌 FR 2 683 667은 내부에 중성자 흡수 물질의 원소(element)가 가두어져 있는 연료봉 위의 상부측에 퓨즈 물질(fuse material)로 된 모재(matrix)를 포함하는 조립체를 개시하고 있다. 온도가 소정의 한계값(threshold) 이상으로 상승되면, 모재는 용융되고 상기 원소는 연료봉들 위에 또는 그 사이에 떨어져 핵분열 반응을 감속시키거나 차단시킨다.

[0006] 액체금속으로 냉각된 고속 중성자로에서 사고가 일어나면, 금속 냉각재의 국부적인 끓음 현상과 연료봉 주위에 클래딩(cladding)을 형성하는 금속 및 클래딩 내부에 포함되는 연료의 용융 현상이 대략 1초 이내에 매우 신속히 관측된다. 금속 증기의 팽창은 조립체의 상부(top)를 향하여 클래딩으로부터의 용융 금속의 상향 변위(upward displacement)를 야기시키며, 이어서 이 용융 금속은 플러그(plug)를 형성하기 위해 여러 냉각대(cooler zone)와 접촉하여 고화(固化)될 것이다.

[0007] 본 발명자는 중성자 흡수 물질을 포함하는 피동안전장치의 퓨즈기구의 트리거 시간(trigger time)이 너무 긴 경우에, 금속 플러그가 핵분열성을 갖는 핵연료 사이에 삽입되어 핵분열 반응을 중단시킴으로써, 피동안전장치를 무력화시키거나 그 유효성(effectiveness)을 적어도 지연시킬 수 있다는 것을 찾아냈다.

[0008] 결과적으로, 본 발명의 목적들 중 한 가지는 본 발명자에 의해 알게 되었고 또 상술한 바와 같은 단점을 해소하는 수단을 제공하는 데 있다.

발명의 내용

[0009] 상술한 목적은 저융점 공정(共晶)(low melting eutectic)을 형성하기 위해, 플러그를 형성하는 물질, 특히 금속 연료봉의 클래딩을 형성하는 금속 또는 금속 합금과 결합될 수 있는 제1 및 제2 중성자 흡수 물질을 포함하는 피동안전장치에 의해 달성된다. 그래서 중성자 흡수 물질 및 저융점 공정을 갖는 공정 물질(eutectic material)이 방출(release)될 때에, 이 물질들은 플러그 위로 떨어지고, 이어서 플러그와 제2 물질 사이의 계면에서 공정(共晶)이 형성된다. 조립체 내부의 온도에서, 이 공정(共晶)은 용융되며, 다음으로 제1 중성자 흡수 물질은 핵분열 구역(fission zone)을 연결하여 핵분열 반응을 차단시킬 수 있다.

[0010] 주목할 점은, 상기한 공정(共晶)은 그 혼합물(mix)이 그 최저온도에서 액상(liquid phase) 상태로 있는 상태도(phase diagram)의 융점(melting point)이라는 것이다. "저융점 공정"은 스틸(steel)의 융점 이하, 실제로는 1400℃ 미만의 공정을 의미한다.

[0011] 이하의 설명에서는, 저융점 공정을 형성하기 위해 클래딩 물질과 결합할 수 있는 물질을 "공정 물질(material for eutectic)" 이라고 한다.

[0012] 나트륨으로 냉각된 고속 중성자로의 경우, 공정 물질은 저융점 공정을 형성하기 위해, 대체로 핵연료봉의 클래딩을 형성하는 스틸에 철(iron)과 결합되도록 선택된다.

[0013] 하나의 특히 유리한 실시형태에서는, 고밀도의 공정 물질은 플러그를 통해 중성자 흡수 물질의 통과를 가속시키기 위해 플러그 위에 공정 물질에 의해 적용되는 기계적인 질량 효과(mechanical mass effect)를 갖도록 선택되며, 유리하게는 공정 물질의 밀도는 스틸의 밀도보다 높다.

[0014] 예를 들면, 나트륨으로 냉각된 고속 중성자로의 경우에는, 725℃와 1080℃이고 18950kg/m³의 밀도에서 철과의 공정을 갖는 우라늄(바람직하게는 천연 우라늄 또는 열화(劣化) 우라늄)이 선택된다.

[0015] 하나의 매우 유리한 예에서는, 저융점 공정을 형성하기 위해 철과 결합되기도 하는 중성자 흡수 물질이 선택된다. 순수한 하프늄(pure hafnium), 합금화된 하프늄(alloyed hafnium) 또는 하프늄-우라늄 합금이 선택될 수 있고, 하프늄-우라늄 합금에서는 하프늄은 흡수되고 높은 밀도를 가지며, 저융점 합금을 형성하기 위해 클래딩의 스틸과 결합된다.

[0016] 따라서, 본 발명의 대상은 핵연료 조립체의 상부 부근에 배치될 수 있는 피동안전장치이며, 이 피동안전장치는,

[0017] - 중성자 흡수 물질 및 조립체 내의 핵연료봉의 클래딩을 형성하는 물질과의 저융점 공정을 형성할 수 있는 물질, 및

- [0018] - 조립체 내의 높은 위치에 상기 물질들을 유지(retain)하기 위한 퓨즈 수단(fused means)을 포함한다.
- [0019] 매우 유리하게는, 저융점 공정을 형성할 수 있는 물질의 적어도 일부는 중성자 흡수 물질이다.
- [0020] 바람직하게는, 저융점 공정을 형성할 수 있는 물질은 클래딩을 스틸로 형성할 때 클래딩을 형성하는 물질의 밀도보다 높거나 같은, 예를 들면, 7000kg/m^3 이상의 높은 밀도를 갖는다.
- [0021] 하나의 실시형태에서는, 클래딩은 스틸로 이루어지며 저융점 공정을 형성하는 물질은 천연 또는 열화 우라늄으로 이루어진다.
- [0022] 다른 실시형태에서는, 클래딩은 스틸로 이루어지며 저융점 공정을 형성하는 물질은 순수한 하프늄 또는 합금화된 하프늄이다. 약간 합금화된 하프늄은 합금 물질의 최대 20mass%를 함유하여도 좋다. 합금 물질은 예를 들면, 니켈, 크롬, 붕소 또는 텅스텐이어도 좋다.
- [0023] 다른 실시형태에서는, 클래딩은 스틸로 이루어지며 저융점 공정을 형성하는 물질은 천연 또는 열화 우라늄-하프늄 합금이다. 우라늄-하프늄 합금은 천연 또는 열화 우라늄의 최대 45원자%를 포함하여도 좋다.
- [0024] 하나의 실시형태에 따른 피동안전장치는 조립체의 축을 따라 배치될 수 있고 또한 중성자 흡수 물질 및 저융점 공정을 형성하기 위해 클래딩을 형성하는 물질과 결합 가능한 물질이 조립체의 상단부로부터 매달릴 수 있는 와이어 위에 장착된 별개 요소의 형태로 있는 튜브(tube)를 포함하며, 상기 와이어는 하부 퓨즈 스탑수단(lower fuse stop means)을 포함한다.
- [0025] 다른 실시형태에서는, 중성자 흡수 물질 및 저융점 공정을 형성하기 위해 클래딩의 물질과 결합 가능한 물질은 저융점 모재 내에 분산되는 요소의 형태로 있고, 상기 모재는 조립체의 축과 동축(同軸)일 수 있는 중앙 통로(central passage)를 포함한다. 상기 장치는 상기 모재에 의해 둘러싸여 있고 중앙 통로에 인접한 내부 유지 케이싱(inner retaining casing)을 포함하는 것이 유리하며, 상기 내부 유지 케이싱은 천공(perforation)을 포함한다.
- [0026] 본 발명의 다른 대상은 케이싱, 핵연료봉 및 본 발명에 따른 피동안전장치를 포함하는 핵연료 조립체이다.
- [0027] 본 발명의 또 다른 대상은 본 발명에 따라 서로 인접하게 배치된 여러 개의 조립체를 포함하는 원자로이다.

도면의 간단한 설명

- [0028] 도 1은 개략적으로 나타낸 본 발명의 제1 실시형태에 따른 피동안전장치가 끼워 맞춰진 조립체의 종단면도이다.
- 도 2는 개략적으로 나타낸 본 발명의 제2 실시형태에 따른 피동안전장치가 끼워 맞춰진 조립체의 종단면도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0029] 본 발명은 첨부한 도면을 참조하여 이하의 설명으로부터 더 잘 이해될 것이다.
- [0030] 도 1은 제1 실시형태에 따른 피동안전장치(4)를 포함하는 핵연료 조립체(2)를 매우 개략적으로 나타낸 것이다.
- [0031] 조립체는 종축(X)을 갖고 대체로 단면이 육각형인 케이싱(6) 및, 대략 케이싱 중앙부에 배치되는 핵연료봉(8)을 포함한다.
- [0032] 조립체는 대체로 하부 부분(10)에 설치되며, 이 하부 부분(10)은 그 하부 부분과 다른 조립체들을 지지하고 이 다른 조립체들에 액체 금속 냉각재를 공급하는 다이아그리드(diagrid, 도시하지 않음) 내의 조립체의 바닥이라고 불리운다. 조립체는 하부 부분에 액체 금속 주입구(12)와, 상부 부분에 액체 금속 배출구(14)를 포함하며, 액체 금속은 펌프에 의해 이송된다. 그러므로, 액체 금속은 조립체의 바닥으로부터 상부를 향하여 순환되고 연료봉으로부터 핵분열 반응에 의해 생성되는 열을 방출시킨다.
- [0033] 본 발명에 따른 피동안전장치(4)는 조립체의 상부 부분(15)에 배치된다. 도시한 실시예에서는, 피동안전장치는 중성자 흡수 물질(이하, "흡수 물질" 이라고 함)이 놓여지는 조립체의 종축(X)을 따라 배치되는 튜브(17)를 포함한다. 흡수 물질과 공정 물질(16)은 조립체의 상단부에 매달려 있는 와이어(20) 둘레에 장착되는 원통형 요소의 형태로 있다. 와이어(20)는 원통형 요소(16)를 유지하기 위해 하부 스탑수단(22)을 포함한다. 하부 스탑수단(22)은 용융된다. 즉, 하부 스탑수단(22)은 일정 조건하에서 용융되어, 와이어(20)를 따라 연료봉들 사이에 떨어질 수 있다. 이러한 용융은 온도 상승 또는 중성자속(neutron flux)의 증가 중 어느 하나가 원인일 수 있다. 후자(後者)의 경우에, 소량의 핵분열성 물질(fissile material)은 퓨즈 스탑(fuse stop)에 근접하여 놓

여질 수 있는데, 이는 반응성의 이상 상승(abnormal increase)이 있는 경우 또는 냉각이 감소되는 경우에 방출되는 열로 인하여 용융을 야기시킬 수 있다.

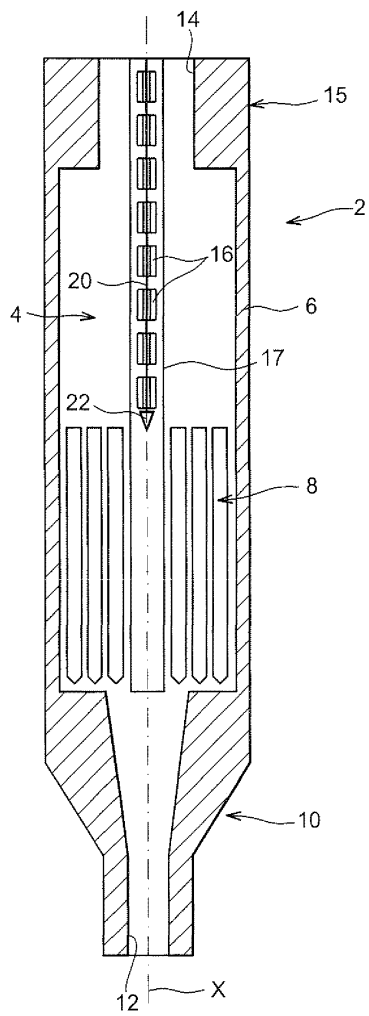
- [0034] 이하의 설명에서는, 본 발명자는 나트륨으로 냉각된 고속 중성자로의 예를 고려하고 있지만, 본 발명은 나트륨 이외의 액체 금속 냉각재에 의해 냉각된 모든 고속 중성자로와, 피동안전장치의 사용을 필요로 하는 모든 원자로에 적용가능하다는 것이 분명하다.
- [0035] 나트륨으로 냉각된 고속 중성자로에 있어서, 연료봉 클래딩은 스틸, 즉 주로 철로 이루어진 금속 합금으로 형성된다.
- [0036] 본 발명에 따르면, 클래딩을 형성하는 스틸, 특히 철과의 저융점 공정을 형성하기 위해 용강 플러그(molten steel plug)에 물질을 떨어뜨릴 수 있다.
- [0037] 제1 실시형태에서는, 이 물질은 금속 형태의 천연 또는 열화 우라늄이다. 그래서, 흡수 물질, 예를 들면 붕소 또는 가돌리늄을 우라늄과 결합하는 것을 도모하고 있으며, 이는 피동안전장치 내의 흡수 물질의 통상적인 기능을 수행할 것이다.
- [0038] 우라늄은 725℃와 1080℃에서 철과의 공정(共晶)을 형성한다. 그 결과, 우라늄이 클래딩의 용융에 의해 형성된 플러그 내의 스틸과 접촉하게 될 때, 우라늄은 철과 결합되어 725℃ 또는 1080℃의 융점을 갖는 공정을 형성하고, 다음으로 이 공정은 사고 시의 온도조건하에서 부분적으로 용융됨으로써, 흡수 물질이 핵분열성 연료구역을 향하여 통과하게 될 수 있다.
- [0039] 주목할 점은, 순철(pure iron)의 용융온도가 1550℃ 정도이고, 용융 클래딩의 스틸은 온도가 1500℃ 정도인 "냉각대(cold zone)"에서 재고화(resolidification)된다는 것이다.
- [0040] 클래딩은 오스테나이트강(austenitic steel) 또는 산화물 분산강화(oxide dispersed strengthened; ODS)강으로 형성될 수 있다. 이들의 용융온도는 1400℃~1500℃ 범위 내이다.
- [0041] 또한, 우라늄은 스틸보다 훨씬 높은 고밀도를 가져, 우라늄이 용강 플러그 위에 떨어지면, 고려하고 있는 온도에서 크리프(creep)에 더 민감한 플러그를 약화시키는 금속 질량효과(metal mass effect)를 갖는다. 주위온도(ambient temperature)에서의 우라늄의 밀도는 18950kg/m³이다.
- [0042] 우라늄의 흡수 특성은 충분하지 않지만, 연료 희석(fuel dilution) 기능을 수행한다. 바람직하게는, 핵분열성 동위원소(fissile isotope) 235로 열화된 우라늄을 선택하는데, 이는 핵분열성 동위원소 235가 풍부한 우라늄과 연료 형성 플루토늄의 희석을 가능하게 하여 임계성(criticality)의 위험을 줄여줄게 한다.
- [0043] 다른 실시형태에서는, 흡수 물질은, 천연 또는 열화 우라늄 및 하프늄의 합금이다.
- [0044] 이 합금은 우라늄과 유사한 방식으로 플러그에 작용하며, 이 합금은 우라늄과 유사한 방식으로 스틸과의 저융점 공정을 갖는다. 하프늄의 밀도가 13300kg/m³이기 때문에 이 합금 또한 고밀도를 갖는다.
- [0045] 더구나, 이 합금은, 하프늄이 흡수 특성을 가지기 때문에 직접 중성자 흡수 특성을 갖는다는 점에서 우라늄 단독보다 유리한 점이 있다.
- [0046] 이 합금은 또한 잘 혼화될 수 없거나 불혼화성을 갖는, 클래딩의 용융 금속스틸 상(molten metallic steel phase)과 용융 혼합 우라늄(molten mixed uranium) 및 플루토늄 산화물상(plutonium oxide phase) 사이의 분리에 기인하여 임계성의 위험을 저감시킨다. 이러한 혼화성은 임계성 위험의 저감을 초래하는 희석 현상을 저감시킨다.
- [0047] 이 합금, 특히 하프늄은 그 산화-환원 특성에 기인하여 용융 혼합 우라늄과 플루토늄 산화물 연료에 작용한다. 하프늄은 우라늄에 대하여 환원 특성을 갖는다. 즉, 하프늄은 우라늄과 플루토늄보다 더 환원된다. 따라서, 하프늄이 우라늄 산화물과 접촉하게 되면, 우라늄 산화물의 일부는 우라늄으로 환원되고 하프늄은 하프니아(hafnia)로 산화된다.
- [0048] 이렇게 형성된 금속 우라늄은 앞서 설명한 바와 같이 낮은 혼화성을 갖는 하프늄, 우라늄 및 용강으로 이루어지는 금속상(metallic phase)과 혼합된다. 하프니아는 남아있는 풍부한 우라늄과 플루토늄 산화물과 혼합된다.
- [0049] 첫째로, 액체 금속상(liquid metallic phase)과 액체 산화물상(liquid oxide phase)은 임계 중성자 형태(critical neutron configuration), 즉 금속상에서의 스틸에 의한 금속 우라늄(및/또는 플루토늄)의 희석, 및

산화물 상에서의 하프니아에 의한 감쇠(attenuation)가 적다.

- [0050] 둘째로, 우라늄 산화물의 환원은 금속상으로의 연료 일부의 공급을 가능하게 하지만, 그 환원 비율은 적다. 연료상(fuel phase)은 하프니아의 존재와 우라늄 산화물 일부의 제거로 인하여 "회석"되기도 한다.
- [0051] 예를 들면, 합금은 최대 45원자%의 우라늄을 함유하여도 좋다.
- [0052] 다른 실시형태에서는, 순수한 또는 약간 합금화된 하프늄으로는 예를 들면, 합금 물질의 5mass% 또는 10mass%, 최대 20mass%를 함유하는 것을 사용한다.
- [0053] 하프늄은 스틸보다 높은 13300kg/m^3 의 고밀도와, 우라늄과 우라늄-하프늄 합금의 용점보다 높더라도 자용점 공정을 갖는다. 매우 유리하게는, 하프늄은 우라늄-하프늄 합금보다 큰 흡수 능력을 갖는다.
- [0054] 예를 들면, 하프늄과 텅스텐 합금, 하프늄과 크롬 합금, 하프늄과 붕소 합금 또는 하프늄과 니켈 합금을 사용할 수 있다. 하프늄과 니켈 합금은 스틸, 특히 철과의 매우 낮은 용점 공정을 형성한다는 이점이 있다.
- [0055] 도 2는 다른 실시형태로서, 조립체의 상부 근방에 도 1의 장치(4)처럼 배치되어 있는 본 발명에 따른 피동안전장치를 장치한 조립체(102)를 나타낸 것이다.
- [0056] 이 장치(104)는, 냉각재가 조립체(102)의 축과 동축인 중앙통로를 통과할 수 있는 환형(環形) 형상을 갖는다.
- [0057] 이 장치는 흡수 물질과 연관된 우라늄, 열화된 우라늄-하프늄 합금, 순수한 하프늄 또는 약간 합금화된 하프늄과 같이 상술한 것과 동일한 하나 이상의 물질(16), 및 상기 물질을 정상 작동 조건하에서 높은 위치에 유지하고 이상 작동 조건하에, 즉 노심과 이에 따른 냉각재의 온도의 증가 시에 상기 물질을 클래딩을 향하여 떨어뜨릴 수 있는 퓨즈 수단을 포함한다.
- [0058] 유리하게는, 이러한 퓨즈 유지 수단(24)은 물질을 별개의 요소 형태로 매립(embed)시키는 모재(26)에 의해 형성된다.
- [0059] 도시한 예에서는, 모재(26)는 요소(16)를 통과시키게 할 수 있도록 천공(30)을 갖는 내부 유지 케이싱에 의해 둘러싸여 있다. 다음으로, 모재는 조립체의 외부 케이싱(6)과 내부 유지 케이싱(28) 사이에 수용된다.
- [0060] 모재(26)는 열을 전도하되 용점(melting point)이 고려 중의 압력에서 냉각재의 비등점(boiling point)보다 훨씬 작은 물질로 이루어진다. 예를 들면, 모재는 알루미늄, 알루미늄 합금, 알루미늄과 섬유 강화 알루미늄 또는 탄화규소 강화 알루미늄이어도 좋다. 예를 들면, 내부 케이싱은 스텐레스강으로 이루어져도 좋다.
- [0061] 도 2에서의 피동안전장치는 다음과 같이 기능한다. 냉각재의 온도가 설정된 값(predetermined value)에 도달하면, 모재는 천공(30)을 통과하여 용강 플러그 위에 떨어지는 방출 요소(16)를 용융한다. 이러한 떨어짐에 후속하는 작동은 앞서 설명한 작동과 동일하므로, 여기에서는 반복 설명하지 않는다.
- [0062] 유리하게는, 조립체의 용융 중에 형성되는 코륨을 회수하기 위해 각 조립체의 아래에는, 코륨 회수기(corium collector, 도시하지 않음)가 설치되어 있다. 이 회수기는 각 조립체의 아래에 배치된 복수의 트레이(tray) 또는 용기(vessel)의 아래에 배치된 1개 이상의 트레이 중 어느 하나로 이루어진다.
- [0063] 트레이는 바람직하게는, 용융 코륨에 포함되는 용융 연료에 작용할 수 있는 흡수 물질을 포함한다. 특히 유리하게는, 이와 같은 회수기 내에 순수한 하프늄 또는 약간 합금화된 하프늄을 놓아 둘 수 있어, 이러한 하프늄은 상술한 바와 같이 연료 일부의 환원, 및 금속상으로의 이행(transfer)을 가져와서, 임계성의 위험을 저감시키게 한다.
- [0064] 예를 들면, 회수기는 정상적인 작동 조건하에서 하프늄을 보호하는 커버를 포함하며, 이 커버는 용융 코륨이 유동될 때 파괴된다. 예를 들면, 하프늄은 회수기 내에 바(bar) 형태로 있어도 좋다.
- [0065] 따라서, 본 발명은 피동안전장치와 연료봉 사이에 플러그가 존재함에도 불구하고, 흡수 물질과 핵연료 사이에서 접촉을 일으키는 피동안전장치의 유효성을 향상시킨다.
- [0066] 분명히, 순수한 우라늄 원소와 순수한 하프늄 원소를 이 양쪽 원소의 합금 대신에 사용할 수 있다는 것을 예상할 수 있다.

도면

도면1



도면2

