

**(19) 대한민국특허청(KR)**  
**(12) 등록특허공보(B1)**

(51) Int. Cl. <sup>6</sup> G21C 3/00	(45) 공고일자 2000년 12월 15일
(21) 출원번호 10-1993-0004818	(11) 등록번호 10-0274767
(22) 출원일자 1993년 03월 26일	(24) 등록일자 2000년 09월 15일
(30) 우선권주장 7/858,904 1992년 03월 27일 미국(US)	(65) 공개번호 특 1993-0020483 (43) 공개일자 1993년 10월 19일

(73) 특허권자 지멘스 파워 코포레이션 로빈 엘. 포이에르바허 미국 워싱턴 리치랜드 호른 래피드스 로드 2101 (우편번호: 99352-0130)
(72) 발명자 리차드 에이. 페르킨스 미합중국 99336 워싱턴 케니윅 노쓰 네바다 스트리트 600 레이몬드 에이. 부쉬
미합중국 99320 워싱턴 벤튼 시티 박스 2289 알티.2
(74) 대리인 남상선

**심사관 : 김형철**

**(54) 핵 연료봉 피복에 사용되는 내식성 지르코늄 라이너**

**요약**

핵 연료에 대한 피복관으로서, 외부의 길게 늘린 피복관 및 지르코늄 라이너를 갖추고 있으며, 외부피복관은 지르코늄 라이너로 안을 대고 있고, 라이너의 내벽은 주석 또는 바나듐을 포함하는 지르코늄 기초합금으로 이루어진 내부확산부를 갖추고 있다.

**대표도**

**도1**

**명세서**

[발명의 명칭]

핵 연료봉 피복에 사용되는 내식성 지르코늄 라이너

[도면의 간단한 설명]

제1도는 명확하고 용이한 설명을 위해서 원자로에 사용되는 핵 연료 집합체를 종방향으로 단면으로 부분 절단하여 도시한 정면도.

제2도는 어닐링 하기전에 라이너의 내벽에 층착된 재료의 총을 보여주기 위해서 핵 연료봉 피복관을 확대하여 도시한 확대 단면도.

제3도는 제2도의 피복이 어닐링된 후에 형성되는 핵 연료봉의 확대 단면도.

\* 도면의 주요부분에 대한 부호의 설명

10 : 핵연료 집합체	11 : 연료 펠렛
13 : 연료봉	15 : 스페이서
17 : 스프링	20 : 연료봉 피복
30 : 피복관	40 : 라이너
41 : 내부 확산부	42 : 외부 확산부
50 : 총	

[발명의 상세한 설명]

본 발명은 원자로의 핵 연료집합체에 사용되는 핵 연료봉에 관한 것이며, 특히 지르코늄 합금으로 제조되고 지르코늄 라이너로 내부 표면을 댄 피복관(cladding tube)에 관한 것이다.

핵 연료체(nuclear fuel element)는 통상적으로 피복관을 갖추고 있는데, 이 피복관은 소결된 우라늄 산화물, 토륨 산화물, 플루토늄 산화물 또는 이러한 산화물 연료들의 혼합물로 이루어진 연료 펠렛 더미를 수용한다. 핵 연료체는 또한, 피복관의 상단부 및 하단부를 모두 밀봉하는 말단 플러그를 갖추고 있다.

게다가, 피복관내에는 핵 분열 생성가스를 수용하도록 가스 저장용 플레넘 또는 공간이 제공되어 있다. 소결된 연료펠렛을 피복관내에 안전하게 고정시키기 위하여 스프링 또는 다른 기구가 플레넘내에 제공되어 있다.

피복은 연료펠렛이 냉각제 또는 감속재와 접촉하는 것을 방지하고, 연료펠렛, 및 냉각제 또는 감속재 사이의 화학반응을 방지하는 기능을 수행한다. 또한, 피복관은 원자로 작동의 결과로 연료펠렛으로부터 방출된 방사성 핵 분열 생성물에 의해서 냉각제가 오염되는 것을 방지한다. 피복관이 밀착되지 않으면 원자로 및 관련장치들이 오염될 수 있으며, 설비의 작동이 중단될 수 있다.

피복관에 사용되는 재료는 훌륭한 기계적 성질, 및 원자로가 작동하는 동안에 예상되는 작동조건 및 환경에서의 높은 내식성이 요구된다. 일반적인 피복재료들은 지르코늄, 지르코늄 합금 및 스테인레스강을 포함한다. 주요성분이 지르코늄인 지르코늄 합금들은 피복관의 재료로서 널리 사용된다. 가장 일반적으로 사용되는 두개의 지르코늄 합금은 지르칼로이 2 및 지르칼로이 4이며, 이 합금들은 핵 응용에 사용되는 지르코늄 및 지르코늄 합금 강괴들에 대한 표준 설명서인 에이 에스티엠 스탠다드 비 350-91(ASTM standard B 350-91)(1991)에 성분 R60802 및 R60804로 각각 설명되어 있다. 키르칼로이 2(성분 R60802)는 1.20 내지 1.70 중량 퍼센트의 주석, 0.07 내지 0.20 중량퍼센트의 철, 0.05 내지 0.15 중량퍼센트의 크롬, 0.03 내지 0.08 중량퍼센트의 니켈로 구성되는데, 철, 크롬 및 니켈을 합한 함유량은 0.18 내지 0.38 중량퍼센트이며, 나머지 성분은 지르코늄 및 불순물이다. 지르칼로이 4(성분 R60804)는 1.20 내지 1.70 중량 퍼센트의 주석, 0.18 내지 0.24 중량퍼센트의 철, 0.07 내지 0.13 중량퍼센트의 크롬으로 구성되는데, 철과 크롬을 합한 함유량은 0.28 내지 0.37 중량퍼센트이며, 나머지 성분은 지르코늄 및 불순물이다. 지르칼로이 2 및 지르칼로이 4에 대한 최대불순물 수준은 에이에스 티엠 비 350-91 스탠다드(the ASTM B350-91 Standard)의 표1로부터 얻은 다음의 표로 주어진다.

## 최대 불순물(중량 %)

	R60001	R60802	R60804
알루미늄	0.0075	0.0075	0.0075
붕소	0.00005	0.00005	0.00005
카드뮴	0.00005	0.00005	0.00005
탄소	0.027	0.027	0.027
크롬	0.020	---	---
코발트	0.0020	0.0020	0.0020
구리	0.0050	0.0050	0.0050
하프늄	0.010	0.010	0.010
철	0.150	---	---
수소	0.0025	0.0025	0.0025
산소	*	*	*
마그네슘	0.0020	0.0020	0.0020
망간	0.0050	0.0050	0.0050
몰리브덴	0.0050	0.0050	0.0050

니켈	0.0070	---	0.0070
니오브	0.010	0.010	0.010
질소	0.0065	0.0065	0.0065
규소	0.0120	0.0120	0.0120
주석	0.0050	---	---
티타늄	0.0050	0.0050	0.0050
텅스텐	0.010	0.010	0.010
<b>우라늄(총계)</b>	<b>0.00035</b>	<b>0.00035</b>	<b>0.0035</b>

\* 산소의 양은 구입요청에 의해서 결정된다. 최대 또는 최소허용치, 또는 둘다 구입요청에 따라서 지정된다.

비록, 지르칼로이 2 및 지르칼로이 4와 같은 몇개의 지르코늄 합금이 높은 온도로 태우는 정상적인 조건 하에서, 피복재료로서 훌륭한 성질을 갖지만, 피복관은 국부적인 기계적 응력때문에 파괴를 일으키기 쉽다. 국부적인 기계적 응력은 핵 연료로 부터 이탈되어 피복내에 갇힌 핵 분열 생성가스와 결합된 피복 및 연료사이의 팽창 및 마찰차이때문에 발생한다. 이러한 형식의 파괴 메카니즘은 펠렛 피복 상호작용 (Pellet Cladding Interaction(PCI))으로서 언급된다.

PCI 균열을 방지하기 위해서, 연료펠렛 및 지르칼로이 관 사이에 피복 라이너 재료를 위치시킨다. 이러한 라이너는 지르칼로이 및 핵 분열생성물 사이의 직접적인 접촉을 제거한다. 연료펠렛의 열 팽창에 의해서 발생된 국부적인 응력을 경감시키기 위해서, 라이너 재료는 높은 연성을 가져야 한다. 순수 지르코늄이 라이너에 적합한 재료로 잘 알려져 있다. 지르코늄에 대한 최대 불순물 수준은 상기한 표에서 R60001의 표제아래에 실려 있다. 결정 막대 및 스폰지 지르코늄 둘다 이러한 목적을 위해서 사용되어 왔다. 지르코늄은 상당한 연성이 필요하기 때문에, 만약 합금화되지 않는다면 이러한 기능을 최고로 수행한다. 그러나 합금화되지 않은 지르코늄은 매우 낮은 내식성을 갖는다. 만약, 피복이 파괴되어 물 또는 증기가 연료봉의 내부로 들어가게 되면, 지르코늄 라이너, 특히 지르코늄 라이너의 내벽은 급격히 산화되기 쉽다. 이러한 급격한 내벽의 산화는 비정상적으로 큰 2차 파괴를 초래할 것이다. 그와같은 파괴는 피복에서 큰 축 방향 균열을 초래할 수 있으며, 냉각제내로의 방사성 재료의 지나칠 수 없는 큰 이탈을 가져올 수 있다. 그러나, 내식성을 개선시키기 위해서 라이너에 합금재료를 첨가하면 라이너의 연성이 감소될 수 있다.

지르코늄 라이너의 연성 및 큰 입도는 피복을 제작하는 동안에 표면균열 또는 미세균열을 조장할 수 있다. 미합중국 특허 제 4,894,203호에는 개선된 핵 연료봉이 개시되어 있는데, 이 핵 연료봉은 철, 크롬, 구리, 질소 또는 니오브가 추가로 제공되어 있는 지르코늄 합금층을 갖추고 있다. 이러한 합금은 원자로의 작동중에 제작 및 산화시키는 동안에 지르코늄 라이너의 균열을 일으키는 경향을 방지하도록 지르코늄라이너의 내벽에 형성된다. 미합중국 특허 제 4,610,842호 및 4,816,215호에는 라이너의 내식성을 개선시키기 위해서 0.1 내지 4 퍼센트 주석으로 전체 라이너를 합금화하는 것이 개시되어 있다. 주석에 의한 실질적인 합금화는 순수한 강도보다 지르코늄-주석합금의 강도를 증가시키지만, 지르코늄-주석합금으로 제조된 라이너의 연성은 감소된다.

그러므로, 본 발명은 지르코늄 라이너의 연성을 유지하면서 내식성 있는 내부 합금표면을 갖추고 있는 핵 연료봉의 피복에 사용하기 위한 지르코늄 라이너를 제공하는 잇점이 있다.

핵 연료에 대한 피복관은 외부의 길게늘린 금속 피복관 및 지르코늄 피복 라이너를 갖추고 있는데, 외부의 길게늘린 금속 피복관은 피복 라이너로 안을 대었으며, 지르코늄 피복라이너는 내벽을 갖추고 있고 내부에 형성되어 내벽으로부터 뻗어있는 내부확산부를 갖추고 있다. 내부확산부는 지르코늄-주석합금, 지르코늄-바나듐 합금, 및 지르코늄-주석-바나듐 합금의 그룹으로부터 선택되며, 지르코늄 피복 라이너에서 지르코늄 및 불순물이 나머지 성분을 이룬다.

이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명에 따른 바람직한 실시예를 보다 상세히 설명하면 다음과 같다.

제1도를 참조하면, 비등수형 원자로에 사용되는 통상적인  $8 \times 8$  핵연료 집합체(10)가 도시되어 있다. 핵연료 집합체(10)는 상부 및 하부결합판(도시되지 않음)들을 포함하고 있으며, 관 형상을 하고 있는 다수의 연료봉(13)을 포함하는데, 이 연료봉은 상부 및 하부 결합판에 대하여 마주보고 있는 양 단부가 고착되어 있다. 다수의 그리드(grid) 스페이서(15)가 연료봉(13)의 길이를 따라서 배열되어 있다. 스페이서(15)는

셀(cell)들을 형성하는데, 연료봉(13)은 이 셀들을 통과하여 빠져 있다. 연료봉(13) 다발의 외곽 주변부 둘레에 유동채널(channel)(도시되어 있지 않음)이 배열되어 있다. 그와같은 구조에 대한 보다 상세한 설명이 미합중국 특허 제 4,803,044호에 개시되어 있다.

비록, 명세서에는  $8 \times 8$  연료봉 배열이 설명되어 있지만, 이러한 배열은 단지 설명을 위해서 선택된 것이다. 비록, 본 발명은 원형 단면적을 갖는 연료봉들 또는 관형 연료봉들에 대하여 설명되고 있지만, 해당 기술분야의 숙련된 당업자들은 본 발명이 모든 크기, 형상 및 단면형태의 연료봉에 사용될 수 있음을 쉽게 이해할 수 있을 것이다.

각각의 연료봉(13)은 연료펠렛(11)의 더미를 둘러싼다. 각각의 더미에 존재하는 펠렛(11)은 연료봉(13)의 상단부 및 펠렛(11)들중 하나의 최상부 사이에 배치된 스프링(17)에 의해서 서고 가깝게 유지된다.

제2도에 도시된 바와같이, 연료봉 피복(20)은 피복관(30) 및 라이너(liner)(40)로 구성되어 있다. 라이너(40)의 내벽에는 주석 또는 바나듐으로 이루어진 층(50)이 부착되어 있다. 피복은 주석 또는 바나듐이 라이너내로 확산하도록 어닐링 된다.

제3도는 제1도에 도시된 핵연료 집합체에 사용되는 핵 연료봉의 일단부를 나타낸 단면도이다. 제3도에 도시된 연료봉(13)은 제2도에 도시되어 있는 피복관(30), 라이너(40) 및 층(50)을 어닐링한 후에 형성된다. 라이너(40)는 내부확산부(41)를 갖추고 있는데, 이 내부확산부(41)는 어닐링하는 동안에 주석 또는 바나듐이 부착된 층(50)으로부터 주석 또는 바나듐이 라이너(40)내로 이동함에 따라 조성된 확산지역이다.

피복(20)을 형성한 후에, 연료펠렛(11)은 피복내로 삽입된다. 연료펠렛(11)은 간격(60)에 의해서 라이너(40)의 내부확산부(41)로부터 분리되어 있다.

주석 또는 바나듐이 지르코늄 라이너(40)의 내부확산부(41)를 형성하도록 확산되는 것과 동시에, 합금속들이 지르칼로이 피복관(30)으로부터 라이너(40)의 외벽을 통과하여 라이너(40)내로 확산된다. 지르코늄 합금의 외부확산부(42)를 형성하기 위하여 철, 크롬 또는 니켈과 같은 금속들이 지르칼로이 피복관(30)으로부터 라이너(40)내로 확산된다. 또 다른 실시예에서, 그와같은 금속들은 주석 또는 바나듐과 지르코늄과의 합금을 형성하도록 라이너(40)를 통과하여 내부확산부(41)내로 확산 될 수 있는데, 주석 또는 바나듐과 지르코늄과의 합금은 라이너의 내부표면에 고도의 부식저항성을 제공한다.

본 발명에 따르면, 라이너(40)의 성분을 피복 제조과정동안에 주석 또는 바나듐을 라이너(40)의 내부면상에 증착시킴에 따라서 변화되며, 증착된 재료는 부수적인 어닐링 작업을 수행하는 동안에 라이너(40)내로 확산될 수 있다. 증착은 압출 다음에 진행되는 환원단계후에 이루어진다. 주석 또는 바나듐층은 화학적 또는 물리적인 증착, 전해 또는 침액(immersion)(전기가없음) 도금, 스퍼터링(sputtering)과 같은, 공지된 다양한 방법들에 의해서 라이너(40)의 내벽상에 위치하게 된다.

주석 및 바나듐은 라이너(40)의 내벽에 증착된 후에 내부 확산부(41)를 형성하도록 어닐링되는데, 내부 확산부는 피복관(30)이 파열되는 경우에 지르코늄의 내식성을 증가시키는 기능을 한다. 주석 또는 바나듐은 내부 확산부에서 얇은 지르코늄 합금을 성형하도록 지르코늄 라이너(40)내로 확산되지만, 라이너 주요 부분의 치환적인 합금화는 일어나지 않는다. 이것은 라이너의 일부분이 주석 또는 바나듐으로 합금화하지 않고서도 PCI 균열로부터 보호되는 필수적인 연성을 보유할 수 있게 한다. 개선된 내식성 때문에 내부확산부의 표면에는 보호용 산화물 스케일이 형성되는데, 이 산화물 스케일은 아래에 놓여 있는 지르코늄 라이너로 냉각제가 접근하는 것을 방지한다. 왜냐하면, 냉각제가 접근하게 되면 지르코늄 라이너가 급속히 산화되기 때문이다. 내부확산부(41)에서 라이너(40)의 내부에 합금을 형성함으로써, 물 또는 증기가 연료봉 내부로 들어가는 경우에 개선된 내식성이 얻어질뿐만 아니라, 연료펠렛(11)에 의해서 라이너(40)에 부과되는 기계적인 부하에 견디도록 라이너(40)의 연성이 유지된다.

비록, 피복관(30)에 사용된 재료들이 지르코늄, 지르코늄 합금 및 스테인레스강을 포함하지만, 바람직한 재료는 지르코늄 및 지르코늄 합금이며, 더욱 바람직한 것은 지르칼로이 2 및 지르칼로이 4이다. 라이너(40)에 사용되는 바람직한 재료는 소오스(sponge source) 또는 결정막대 소오스(crystal bar source) 지르코늄과 같은 고순도의 지르코늄이다.

본 발명에 따른 피복(20)은 강괴(ingots) 또는 속이 빈 관을 얇은 벽의 가늘고 긴 관으로 전환시키는 작업에 의해서 형성된다. 피복관(30)에 사용되는 재료, 바람직하게는 지르칼로이로 제조된 강괴 또는 로드가 관의 공동(hollow)내로 형성되고 바람직하게는 지르코늄으로 제조된 라이너(40)가 공동내로 삽입되어 관(30)의 내부면에 부착된다. 그런후에, 화합물 피복 강편(billet)은 압축되고, 압연절차 또는 필거링(pilgering steps)를 거치게 된다. 고온 압출공정이 진행되는 동안에 관(30) 및 라이너(40) 사이에서 확산 결합이 이루어지고, 제조하는 동안에 부수적인 피복의 필거링(pilgering) 및 어닐링이 수행된다. 주석 또는 바나듐의 증착은 제조하는 동안에 모든 화누언 단계후에 수행될 것이다. 지르코늄 라이너(40)의 내부면에 주석 또는 바나듐과 지르코늄과의 합금을 포함하는 층(41)을 지르코늄 라이너(40)를 형성하기 위하여  $500^{\circ}\text{C}$  내지  $750^{\circ}\text{C}$  사이의 온도로 어닐링이 수행된다. 바람직한 어닐링 조건은  $650^{\circ}\text{C}$ 에서 4시간 및  $750^{\circ}\text{C}$ 에서 1시간 동안 유지시키는 것이다. 어닐링 조건들은 바람직한 양의 주석 또는 바나듐을 라이너내로 확산 시킬 수 있게 조절될 수 있다. 부수적인 어닐링에 사용되는 시간 및 온도는 라이너에서 증착된 요소들의 바람직한 분산을 제공하도록 변화시킬 수 있다.

록, 라이너(40)의 내부확산부(41)를 형성하기 위해서 주석 또는 바나듐을 사용함으로써 라이너의 강도는 증가하지만, 내부확산부(41)의 두께는 밑에 놓여있는 소프트(soft) 지르코늄 라이너(40)가 자체의 연성을 보유하도록 제한되는데, 이 연성에 의해서 라이너에서의 균열발생 뿐만 아니라 짧고 굵은 균열의 전파가 방지될 수 있다. 본 발명의 바람직한 실시예에서 내부확산부(41)의 두께는 약  $0.1$  내지  $1.0\mu\text{m}$  이다.

내부확산부(41)에 존재하는 주석 도는 바나듐의 양이 증가하거나 또는 내부확산부(41)의 두께가 증가함에 따라서, 균열의 전파를 방지하는 라이너의 능력이 저하된다. 그러므로, 내부확산부의 두께는 라이너(40) 두께의  $1/4$  보다 작은 것이 바람직하며, 라이너 두께의  $1/10$  보다 작은것이 보다 바람직하다. 합금된 층에 존재하는 주석 및 바나듐의 함유량은 모두 합쳐서  $1.0$  중량퍼센트보다 작아야 하며, 라이너의 연성을 유지시키기 위해서는  $0.2$  중량 퍼센트보다 작은것이 바람직하다.

본 발명은 바람직한 실시예를 참조하여 설명되었지만, 해당 기술분야의 숙련된 당업자들은 본 발명의 사상 및 영역에서 이탈됨이 없는 다양한 수정 및 변경이 가능함을 이해할 수 있을 것이다.

### (57) 청구의 범위

#### 청구항 1

행 연료에 사용되는 피복관으로서, 외부의 길게늘린 금속 피복관 및 지르코늄 피복 라이너를 포함하고 있으며,

상기 금속 피복관이 내부에 상기 피복라이너로 안을 대고 있고, 상기 피복 라이너가 내벽 및 상기 피복 라이너의 내부에 형성되어 상기 내벽으로부터 뻗어 있는 내부확산부를 갖추고, 상기 내부 확산부가 지르코늄-주석합금, 지르코늄-바나듐 합금, 및 지르코늄-주석-바나듐합금으로 구성되는 그룹으로부터 선택된 지르코늄 기초합금을 포함하며, 상기 내부확산부의 나머지 성분이 상기 지르코늄 피복라이너에서 생기는 불순물 및 지르코늄인 피복관.

#### 청구항 2

제1항에 있어서, 상기 내부 확산부에 존재하는 상기 지르코늄 기초합금은 상기 지르코늄 피복 라이너의 내벽에 재료의 총을 증착시키고, 상기 피복관과 상기 재료의 총을 갖추고 있는 피복 라이너를 50°C 내지 750°C의 온도에서 어닐링 시켜서, 상기 재료가 상기 라이너의 내벽을 통해 확산되어 내부 확산부가 형성되므로써 형성되며, 상기 재료가 주석 및 바나듐을 요소로하는 그룹으로부터 선택되는 피복관.

#### 청구항 3

제2항에 있어서, 상기 내부확산부에 존재하는 주석 및 바나듐의 함유량이 1 중량퍼센트보다 적은 피복관.

#### 청구항 4

제3항에 있어서, 상기 내부확산부에 존재하는 주석 및 바나듐의 함유량이 0.2 중량퍼센트보다 적은 피복관.

#### 청구항 5

제3항에 있어서, 상기 내부확산부가 0.1 $\mu\text{m}$  내지 1.0 $\mu\text{m}$ 의 두께를 가지는 피복관.

#### 청구항 6

제4항에 있어서, 상기 내부확산부가 0.1 $\mu\text{m}$  내지 1.0 $\mu\text{m}$ 의 두께를 가지는 피복관.

#### 청구항 7

제5항에 있어서, 상기 지르코늄 피복라이너에 사용되는 재료가 결정 막대 지르코늄 및 스폰지 지르코늄으로 구성된 그룹으로부터 선택되어지는 피복관.

#### 청구항 8

제7항에 있어서, 상기 외부의 길게늘린 금속피복관의 재료가 지르코늄 합금인 피복관.

#### 청구항 9

제8항에 있어서, 상기 피복 라이너가 소정의 두께를 가지며, 상기 내부확산부가 상기 라이너 두께의 1/4보다 작은 두께를 가지는 피복관.

#### 청구항 10

제9항에 있어서, 상기 내부확산부의 두께가 상기 라이너 두께의 1/10 보다 작은 피복관.

#### 청구항 11

제10항에 있어서, 지르코늄 합금이 지르칼로이 2인 피복관.

#### 청구항 12

제10항에 있어서, 지르코늄 합금이 지르칼로이 4인 피복관.

#### 청구항 13

제11항에 있어서, 상기 피복라이너가 외벽, 및 상기 피복라이너의 내부에 형성되어 상기 외벽으로부터 뻗어 있는 외부확산부를 갖추고 있으며, 상기 외부확산부가 상기 피복관으로부터의 금속들의 확산에 의해서 형성된 지르코늄 기초합금을 포함하고 있고, 상기 금속들이 니켈, 철 및 크롬으로 필수적으로 구성되는 그룹으로부터 선택되는 피복관.

#### 청구항 14

제12항에 있어서, 상기 피복라이너가 외벽, 및 상기 피복라이너의 내부에 형성되어 상기 외벽으로부터 뻗어 있는 외부확산부를 갖추고 있으며, 상기 외부확산부가 상기 피복관으로부터의 금속들의 확산에 의해서 형성된 지르코늄 기초합금을 포함하고 있고, 상기 금속들이 철 및 크롬으로 필수적으로 구성되는 그룹으로부터 선택되는 피복관.

**청구항 15**

제14항에 있어서, 상기 어닐링이 650°C의 온도로 4시간동안으로부터 750°C의 온도로 1시간동안 수행되는 피복관.

**청구항 16**

핵 연료체로서,

외부의 길게늘린 금속피복관 및 지르코늄 피복라이너를 포함하는 피복관과,

상기 지르코늄 피복 라이너의 내벽사이에 환형간격을 제공하도록 상기 피복관내에 배열된 다수의 연료펠렛과,

상기 피복관의 단부를 밀봉하기 위한 수단과, 그리고

상기 피복관내에서 상기 연료펠렛들을 고정시키기 위한 고정수단을 포함하며,

상기 금속피복관이 내부에 상기 피복라이너로 안을 대고 있고, 상기 피복 라이너가 내벽, 및 상기 피복라이너의 내부에 형성되어 상기 내벽으로부터 뻗어있는 내부확산부를 갖추고 있으며, 상기 내부확산부가 지르코늄-주석합금, 지르코늄-바나듐합금, 및 지르코늄-주석-바나듐합금으로 구성되는 그룹으로부터 선택된 지르코늄 기초합금을 포함하며 상기 내부확산부의 나머지 성분이 상기 지르코늄 피복라이너에서 생기는 불순물 및 지르코늄인 핵 연료체.

**청구항 17**

제16항에 있어서, 상기 내부확산부에 존재하는 상기 지르코늄 기초 합금은 상기 지르코늄 피복라이너의 내벽에 재료의 총을 증착시키고, 상기 피복관과 상기 재료의 총을 갖추고 있는 피복라이너를 500°C 내지 750°C의 온도에서 어닐링시켜서, 상기 재료가 상기 라이너의 내벽을 통해 확산되어 내부 확산부가 형성되므로서 형성되며, 상기 재료가 주석 및 바나듐을 요소로 하는 그룹으로부터 선택되는 핵 연료체.

**청구항 18**

제17항에 있어서, 상기 내부확산부에 존재하는 주석 및 바나듐의 함유량이 1중량 퍼센트보다 적은 핵 연료체.

**청구항 19**

제18항에 있어서, 상기 내부확산부에 존재하는 주석 및 바나듐의 함유량이 0.2중량 퍼센트보다 적은 핵 연료체.

**청구항 20**

제18항에 있어서, 상기 내부확산부가 0.1 $\mu\text{m}$  내지 1.0 $\mu\text{m}$  의 두께를 가지는 핵 연료체.

**청구항 21**

제19항에 있어서, 상기 내부확산부가 0.1 $\mu\text{m}$  내지 1.0 $\mu\text{m}$  의 두께를 가지는 핵 연료체.

**청구항 22**

제20항에 있어서, 지르코늄 피복라이너에 사용되는 재료가 결정막대 지르코늄 및 스폰지 지르코늄으로 구성되는 그룹으로부터 선택되는 핵 연료체.

**청구항 23**

제22항에 있어서, 상기 외부의 길게늘린 금속 피복관의 재료가 지르코늄 합금인 핵 연료체.

**청구항 24**

제23항에 있어서, 상기 피복라이너가 소정의 두께를 가지며, 상기 내부확산부가 상기 라이너 두께의 1/4보다 작은 두께를 갖는 핵 연료체.

**청구항 25**

제24항에 있어서, 상기 내부확산부의 두께가 상기 라이너 두께의 1/10 보다 작은 핵 연료체.

**청구항 26**

제25항에 있어서, 지르코늄 합금이 지르칼로이 2인 핵 연료체.

**청구항 27**

제25항에 있어서, 지르코늄 합금이 지르칼로이 4인 핵 연료체.

**청구항 28**

제26항에 있어서, 피복 라이너가 외벽, 및 상기 피복라이너의 내부에 형성되어 상기 외벽으로부터 뻗어있는 외부확산부를 갖추고 있으며, 상기 외부확산부가 상기 피복관으로부터의 금속의 확산에 의해서 형성된 지르코늄 기초 합금을 포함하고, 상기 금속이 니켈, 철 및 크롬으로 필수적으로 구성되는 그룹으로부터 선택되는 핵 연료체.

**청구항 29**

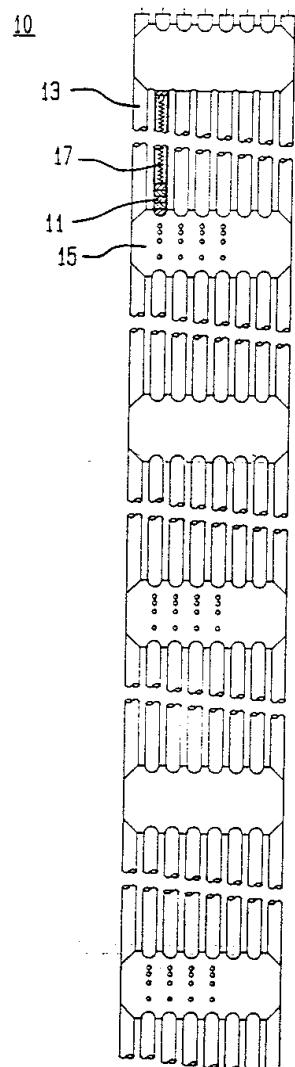
제27항에 있어서, 상기 피복라이너가 외벽, 및 상기 피복라이너의 내부에 형성되어 상기 외벽으로부터 뻗어있는 외부확산부를 갖추고 있으며, 상기 외부확산부가 상기 피복관으로부터의 금속의 확산에 의해서 형성된 지르코늄 기초합금을 포함하고, 상기 금속이 철 및 크롬으로 필수적으로 구성되는 그룹으로 부터 선택되는 핵 연료체.

**청구항 30**

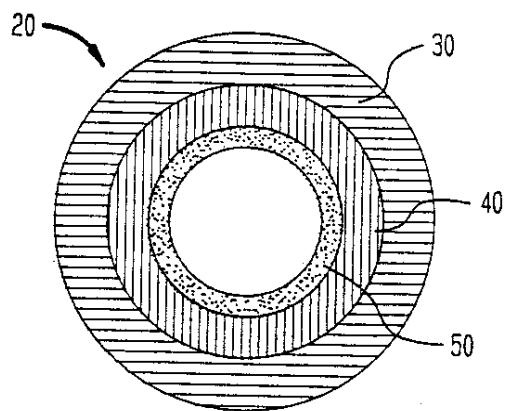
제28항에 있어서, 상기 어닐링이 650°C로 4시간동안으로부터 750°C로 1시간동안 수행되는 핵 연료체.

**청구항 31**

제29항에 있어서, 상기 어닐링이 650°C로 4시간동안으로부터 750°C로 1시간동안 수행되는 핵 연료체.

**도면****도면1**

도면2



도면3

