



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년01월16일
(11) 등록번호 10-1483873
(24) 등록일자 2015년01월12일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G21C 3/06 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2013-0086726

(22) 출원일자 2013년07월23일

심사청구일자 2013년07월23일

(56) 선행기술조사문헌

KR100274767 B1*

KR1011104648 B1

KR1020090085284 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

한국원자력연구원

대전광역시 유성구 대덕대로989번길 111(덕진동)

(72) 발명자

김준환

대전 유성구 은구비남로 34, 801동 1501호 (노은동, 열매마을8단지)

이병운

대전 유성구 엑스포로 448, 307동 1401호 (전민동, 엑스포아파트)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인 무한

전체 청구항 수 : 총 11 항

심사관 : 이용호

(54) 발명의 명칭 **연료-피복관 상호작용을 방지할 수 있는 소듐 냉각 고속로의 핵연료 피복관 및 그 제조방법**

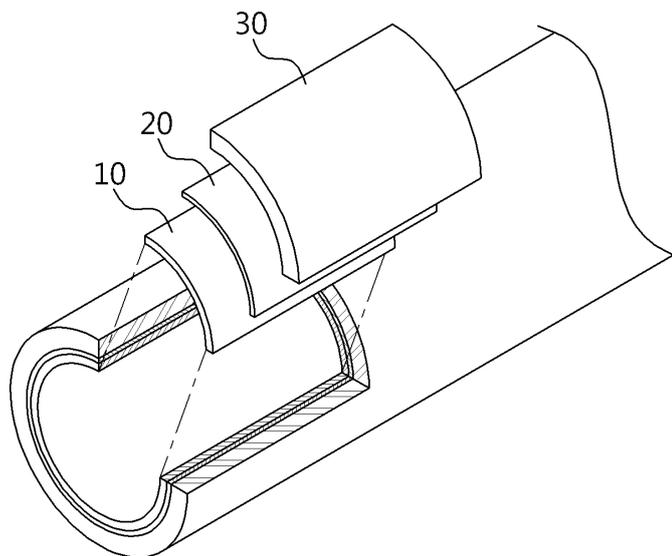
(57) 요약

본 발명은 소듐 냉각 고속로의 핵연료 피복관에 관한 것이다. 본 발명에 의한 소듐 냉각 고속로의 핵연료 피복관은, 적어도 HT9 및 Grade 92를 포함하는 페라이트 또는 오스테나이트 마르텐사이트 강으로 구성되는 외피관과, 상기 외피관의 내면에 제공되어, 핵연료와 상기 외피관 사이에서의 화학적 상호작용 반응(FCCI)을 방지하는 라이

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1

1



너층과, 상기 외피관과 상기 라이너층 사이에 제공되어, 상기 외피관과 상기 라이너층 사이의 상호 반응을 방지하고, 상기 외피관과 상기 라이너층 사이의 접착성을 증대시키는 중간층을 포함하고, 상기 중간층이 형성된 상기 라이너층과 상기 외피관을 코드로잉(co-drawing) 성형용 금형을 이용하여 코드로잉 성형하여, 피복관 구조로 일체로 성형된 것을 특징으로 한다.

따라서, 본 발명에 의하면, 피복관과 핵연료 사이의 FCCI 현상을 감소시킬 수 있고, 또한 피복관과 라이너 사이의 접착력 개선, 피복관과 라이너 사이의 증성자로 인한 상호 확산 방지, 피복관과 핵연료의 물리적 격리 등의 효과를 얻을 수 있어, 피복관의 안전성을 대폭 향상시킬 수 있다.

(72) 발명자

백종혁

대전 서구 둔산로 155, 117동 1208호 (둔산동, 크로바아파트)

김성호

대전 유성구 배울1로 119, (용산동, 대덕테크노밸리12단지아파트)

천진식

대전 유성구 배울2로 19, 906동 1304호 (관평동, 대덕테크노밸리9단지아파트)

김준형

대전광역시 유성구 봉산로 39, 203동 604호

이찬복

대전 유성구 갑동로25번길 24-17, (갑동)

지승현

서울 금천구 범안로12길 29-25, B동 B02호 (독산동, 샤넬빌라)

윤영수

경기 과천시 별양로 111, 501동 1307호 (별양동, 주공아파트)

이강수

서울 노원구 섭발로 232, 104동 107호 (하계동, 현대우성아파트)

이석희

경기 평택시 오성면 안화길 86-3,

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 53133-13

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 소듐냉각고속로개발사업단

연구사업명 소듐냉각고속로개발사업

연구과제명 소듐냉각고속로 금속연료 성능평가

기 여 율 1/1

주관기관 한국원자력연구원

연구기간 2012.03.01 ~ 2017.02.28

특허청구의 범위

청구항 1

적어도 HT9 및 Grade 92를 포함하는 페라이트 또는 오스테나이트 마르텐사이트 강으로 구성되는 외피관;
 상기 외피관의 내면에 제공되어, 핵연료와 상기 외피관 사이에서의 화학적 상호작용 반응(FCCI)을 방지하는 라이너층; 및
 상기 외피관과 상기 라이너층 사이에 제공되어, 상기 외피관과 상기 라이너층 사이의 상호 반응을 방지하고, 상기 외피관과 상기 라이너층 사이의 접착성을 증대시키는 중간층;
 을 포함하고,
 상기 중간층은 플라즈마 증착장치에 의해 상기 라이너층의 외주면에 상기 중간층을 구성하는 재료가 미립자 형태로 증착되고,
 코드로잉 성형용 금형을 이용하여, 상기 라이너층과 상기 외피관을 튜브 형태의 피복관 구조인 것을 특징으로 하는 소듐 냉각 고속로의 핵연료 피복관.

청구항 2

제1 항에 있어서,
 상기 중간층은 물리적 증착을 이용하여 상기 라이너 표면에 형성한 것을 특징으로 하는 소듐 냉각 고속로의 핵연료 피복관.

청구항 3

제2 항에 있어서,
 상기 중간층 재료로서 Cr, Zr, V, SiC, Si, Sn, Nb, Ti, In, 또는 Pd을 이용하는 것을 특징으로 하는 소듐 냉각 고속로의 핵연료 피복관.

청구항 4

제1항 내지 제3항 가운데 어느 한 항에 있어서,
 상기 중간층은 1~5 μm 의 두께로 형성하는 것을 특징으로 하는 소듐 냉각 고속로의 핵연료 피복관.

청구항 5

제4 항에 있어서,
 상기 라이너는 20~100 μm 의 두께로 형성하는 것을 특징으로 하는 소듐 냉각 고속로의 핵연료 피복관.

청구항 6

소듐 냉각 고속로의 핵연료 피복관 구조의 제조 방법에 있어서,
 표면에 중간층이 형성된 라이너를 준비하는 단계;
 외피관을 준비하는 단계와,
 상기 라이너와 상기 외피관을 코드로잉(co-drawing) 성형용 금형을 이용하여 코드로잉 성형하여, 피복관 구조를 일체로 성형하는 단계;
 를 포함하고,
 상기 중간층은 핵연료에서 원자력발전 운전 온도에서 비롯되는 열적 확산에 의한 상기 외피관과 상기 라이너 사이의 상호 반응을 방지하고, 상기 외피관과 상기 라이너 사이의 접착성을 증대시키기 위해 플라즈마 증착장치에 의해 상기 라이너의 외주면에 상기 중간층을 구성하는 재료가 미립자 형태로 증착되는 것을 특징으로 하는 소듐

냉각 고속로의 핵연료 피복관 구조 제조방법.

청구항 7

제6 항에 있어서,

상기 중간층은 물리적 증착을 이용하여 상기 라이너 표면에 형성하는 것을 특징으로 하는 소듐 냉각 고속로의 핵연료 피복관 구조 제조방법.

청구항 8

제7 항에 있어서,

상기 중간층 재료로서 Cr, Zr, V, SiC, Si, Sn, Nb, Ti, In 또는 Pd를 이용하는 것을 특징으로 하는 소듐 냉각 고속로의 핵연료 피복관 구조 제조방법.

청구항 9

제6항 내지 제8항 가운데 어느 한 항에 있어서,

상기 중간층은 1~5 μm 의 두께로 형성하는 것을 특징으로 하는 소듐 냉각 고속로의 핵연료 피복관 구조 제조방법.

청구항 10

제9 항에 있어서,

상기 라이너는 20~100 μm 의 두께로 형성하는 것을 특징으로 하는 소듐 냉각 고속로의 핵연료 피복관 구조 제조방법.

청구항 11

제10 항에 있어서,

상기 피복관은 HT9 및 Grade 92를 포함하는 페라이트 또는 오스테나이트 마르텐사이트 강으로 구성하는 것을 특징으로 하는 소듐 냉각 고속로의 핵연료 피복관 구조 제조방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 핵연료 피복관 제조 방법 및 그 피복관에 관한 것으로서, 보다 구체적으로는 소듐 냉각 고속로(Sodium-cooled Fast Reactor; SFR)의 핵연료 피복관과 핵연료 사이에서의 상호작용(fuel-cladding chemical interaction; FCCI)을 방지할 수 있는 구조를 갖는 핵연료 피복관 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 일반적으로, 제4 세대 미래 원자력 시스템인 소듐냉각 고속로(Sodium-cooled Fast Reactor, SFR)는 고속 중성자를 이용하여 핵분열을 일으키는 원자로로서, 현재 가동중인 경수로에서 발생하는 사용후 핵연료를 원료로 사용할 수 있기 때문에 우리나라 자원의 극대화뿐만 아니라 문제로 대두되고 있는 경수로 사용후 핵연료의 양을 저감시킬 수 있어 향후 건설될 차세대 원자로의 유력한 후보로 고려되고 있는 원자로이다.

[0003] SFR 핵연료는 산화물 형태의 사용후 핵연료를 건식 처리 후 용융염에서 용융시켜 전해환원을 이용하여 금속으로 가공하는 파이로프로세싱 공정으로 제조하며 이의 견지에서 SRF 핵연료로 금속연료가 유력하게 고려되고 있다.

[0004] SFR 원자로의 금속 핵연료는 높은 열전도도에 따른 고출력 노심 설계의 가능성과 파이로프로세싱과 연계하여 우수한 핵확산 저항성을 갖는 장점이 있으나 금속핵연료의 주요 구성원소인 우라늄과 플루토늄과 같은 악티늄족 원소가 SFR 핵연료 피복관 재료인 스테인리스강과 SFR 운전온도인 650 °C이상에서 접촉 시 상호 반응(FCCI) 및

공용현상을 일으켜 핵연료 피복관의 두께가 얇아져서 그 결과 핵연료 건전성을 악화시키는 문제점을 야기한다.

[0005] 기존의 FCCI 방지를 위한 여러 가지 대책이 제안되고 있다. 피복관과 핵연료를 물리적으로 분리 시켜 놓고 FCCI 를 방지를 위한 각종 코팅 방법들이 시도 되었지만 SFR용 핵연료 피복관은 외경과 두께가 각각 9mm와 0.6mm이며 길이가 3.7m 이상에 이르는 무계목(seamless) 강관으로서 상기의 좁고 긴 관의 내면에 효과적으로 확산방지 물질을 코팅하는 것은 사실상 실용화를 이루기에는 무리가 있는 것으로 잠정 결론지어졌다.

[0006] 이와 관련하여, 다양한 대응책이 제시되고 있다. 예컨대, 일본 특허 JP 199400293U의 경우, 전해도금법을 이용하여 막을 형성하는 기술이 제안되어 있다. 전해도금법은 높은 경제성을 갖고 있으나, 도금시 도금 균열의 문제, 도금물질 선정에 제약이 있는 등의 단점이 있다. 또한, PVD, CVD, 산화/질화법 등을 적용하여 막을 형성하고자 하는 시도가 있으나, SFR용 핵연료 피복관과 같이 소직경의 관에는 사실상 적용이 불가능하거나, 제조 비용이 높은 등의 단점으로 인하여, 실제 원전에 적용할 수 없다는 문제점이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 상기한 종래 기술에서 나타나는 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 본 발명의 목적은 원자로의 핵연료와 피복관 사이에서 일어나는 화학적 상호작용을 방지하여 원자로의 안전성을 더욱 담보할 수 있도록 해주는 구조를 갖는 핵연료 피복관 및 그 제조 방법을 제공하는 것이다.

[0008] 본 발명의 다른 목적은 외경과 두께가 작고 길이가 긴 SFR 핵연료 피복관과 핵연료 사이에서의 상호작용(FCCI)을 방지할 수 있는 구조를 실제로 저비용으로 형성할 수 있는 핵연료 피복관 및 그 제조 방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기 목적을 달성하기 위한, 본 발명에 의한 소듐 냉각 고속로의 핵연료 피복관은 HT9 및 Grade 92를 포함하는 페라이트 또는 오스테나이트 마르텐사이트 강으로 구성되는 피복관과, 상기 피복관의 내면에 제공되어, 핵연료와 피복관 사이에서의 화학적 상호작용 반응(FCCI)을 방지하는 라이너층과, 상기 피복관과 라이너층 사이에 제공되어, 핵연료에서 비롯되는 중성자로 인한 피복관과 라이너층 사이의 상호 반응을 방지하고 또 피복관과 라이너층 사이의 접착성을 증대시키는 물질을 이용하여 구성되는 중간층을 포함하고, 중간층이 형성된 라이너층과 상기 피복관을 코드로잉(co-drawing) 성형용 금형을 이용하여 코드로잉 성형하여, 직경 1 cm 미만의 피복관 구조로 일체로 성형된 것을 특징으로 한다.

[0010] 상기 피복관에 있어서, 상기 중간층은 물리적 증착을 이용하여 상기 라이너 표면에 형성될 수 있다.

[0011] 상기 피복관에 있어서, 상기 중간층 재료로서 Cr, Zr, V, SiC, Si, Sn, Nb 또는 Ti을 이용할 수 있다.

[0012] 상기 피복관에 있어서, 상기 중간층은 1~5 μm 의 두께로 형성할 수 있다.

[0013] 상기 피복관에 있어서, 상기 라이너는 20~100 μm 의 두께로 형성할 수 있다.

[0014] 본 발명에 의한 소듐 냉각 고속로의 핵연료 피복관의 제조 방법은 표면에 중간층이 형성된 라이너를 준비하는 단계와, 피복관을 준비하는 단계와, 상기 라이너와 피복관을 코드로잉(co-drawing) 성형용 금형을 이용하여 코드로잉 성형하여, 직경 1 cm 미만의 피복관 구조를 일체로 성형하는 단계를 포함하고, 상기 중간층은 핵연료에서 비롯되는 중성자로 인한 피복관과 라이너 사이의 상호 반응을 방지하고 또 피복관과 라이너 사이의 접착성을 증대시키는 물질을 이용하여 구성하는 것을 특징으로 한다.

[0015] 상기 피복관의 제조 방법에 있어서, 상기 중간층은 물리적 증착을 이용하여 상기 라이너 표면에 형성할 수 있다.

[0016] 상기 피복관의 제조 방법에 있어서, 상기 중간층 재료로서 Cr, Zr, V, SiC, Si, Sn, Nb 또는 Ti을 이용할 수 있다.

[0017] 상기 피복관의 제조 방법에 있어서, 상기 중간층은 1~5 μm 의 두께로 형성할 수 있다.

- [0018] 상기 피복관의 제조 방법에 있어서, 상기 라이너는 20~100 μm 의 두께로 형성할 수 있다.
- [0019] 상기 피복관의 제조 방법에 있어서, 상기 피복관은 HT9 및 Grade 92를 포함하는 페라이트 또는 오스테나이트 마르텐사이트 강으로 구성할 수 있다.

발명의 효과

- [0020] 본 발명에 의하면, 기존의 핵연료 피복관과 달리, 피복관 내면에, 중간층이 증착된 라이너가 형성되어, 라이너/중간층/피복관으로 이루어지는 피복관 구조가 제공된다. 따라서, 피복관과 핵연료 사이의 FCCI 현상을 감소시킬 수 있고, 또한 피복관과 라이너 사이의 접착력 개선, 피복관과 라이너 사이의 증성자로 인한 상호 확산 방지, 피복관과 핵연료의 물리적 격리 등의 효과를 얻을 수 있어, 피복관의 안전성을 대폭 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0021] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 SFR 핵연료 피복관의 구조를 보여주는 도면.
 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 라이너를 회전시키면서 그 표면에 물리적 증착법을 이용하여 중간층을 형성하는 과정을 모식적으로 보여주는 도면.
 도 3은 본 발명에 따른 중간층이 형성된 라이너와 피복관을 코드로잉(codrawing) 공정을 이용하여 일체로 동시에 형성하는 과정을 모식적으로 보여주는 도면.
 도 4는 도 3의 코드로잉을 3차원적으로 보여주는 모식도.
 도 5는 핵연료 피복관과 핵연료 사이에서의 상호작용(FCCI) 현상을 보여주는 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0022] 이하에서, 첨부 도면을 참조하여, 본 발명의 바람직한 실시예를 설명한다. 이하의 설명에 있어서, 당업계에 이미 널리 알려진 구성, 예컨대 co-drawing 공정 그 자체, 그 공정에 이용되는 몰드(mold) 등 자체는 이미 널리 알려져 있으므로, 그 설명은 생략한다. 이러한 설명을 생략하더라도, 당업자라면 본 발명의 특징적 구성을 쉽게 이해할 수 있을 것이다.
- [0023] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 SFR 핵연료 피복관의 구조를 보여주는 도면이다.
- [0024] 도 1을 참조하면, 본 발명에 따른 소듐 냉각 고속로의 핵연료 피복관(1)은 외피관(30)과, 상기 외피관(30)과 핵연료 사이에서 일어나는 상호작용(FCCI)을 방지하기 위해, 상기 외피관(30)의 내면에 제공되는 라이너(10)와, 상기 라이너(10)와 상기 외피관(30) 사이의 접착성을 개선하고 또 상기 라이너(10)에 의한 상기 피복관(1) 보호에 추가하여 한층 더 상기 피복관(1)을 보호하기 위해 제공되는 중간층(20)을 포함한다.
- [0025] 즉 본 발명에 따르면, 상기 라이너(10)와 상기 중간층(20)을 상기 외피관(30)의 내면에 제공함으로써, 상기 외피관(30)과 핵연료 사이를 물리적으로 격리하고, 상기 외피관(30)과 상기 라이너(10) 사이의 접착력을 향상시키는 것을 특징으로 한다.
- [0026] 본 발명의 일 실시예에 있어서, 상기 SFR용 핵연료 외피관(30)은 페라이트 마르텐사이트 강 또는 오스테나이트 마르텐사이트 강으로 구성된다. 예컨대, 페라이트 마르텐사이트 강의 일종으로서 HT9을 이용할 수 있는데, 이는 철을 기지 원소로 하여, Cr: 12 wt%, Mo: 1 wt%, C: 0.17 wt%, Si: 0.25 wt%, Ni: 0.5 wt% 등의 원소로 구성된다. 또 오스테나이트 마르텐사이트 강의 일종으로서, Grade 92를 이용할 수 있는데, 이는 철을 기지 원소로 하여, Cr: 9 wt%, Mo: 0.5 wt% 등의 원소를 포함하는 강이다. 이러한 피복관은 통상적으로, 외경과 두께가 각각 9mm와 0.6mm이며 길이가 3.7m 이상에 이르는 무계목(seamless) 강관으로 형성된다.
- [0027] 상기 외피관(30)과 핵연료 사이의 FCCI 반응을 방지하는 상기 라이너(10)는 Zr(지르코늄), V(바나듐), Cr(크롬), In(인듐), Pd(팔라듐) 중 하나로 이루어지며, 일 실시예에 있어서, 20~100 μm 의 두께로 형성한다. 100 μm 보다 두껍게 형성하면 열전달 관점에서 열전달 효율이 낮아져 원자력발전의 발전 효율을 감소시키게 됨으로 경제성 문제로 상기 두께 범위로 상기 라이너(10)를 형성한다.
- [0028] 또한, 상기 라이너(10)를 상기 외피관(30)의 내면에 형성한다 하더라도, 원자력발전 운전시 온도인 600 $^{\circ}\text{C}$ 부근

에서 상기 라이너(10)와 상기 외피관(30) 사이의 열적 확산을 야기 할 수 있다. 따라서, 상기 라이너(10)와 상기 외피관(30) 사이의 접착성을 개선함과 아울러, 상기 라이너(10)와 상기 외피관(30) 사이의 상호 확산 반응을 억제하기 위하여, 상기 라이너(10)와 상기 외피관(30) 사이에 상기 중간층(20)을 형성한다. 상기 중간층(20)은 상기 목적을 달성함과 아울러, 중성자 흡수를 최소화하면서 중성자에 의한 2차 핵분열 반응에 대해 비교적 비활성인 재료, 즉 Cr, Zr, V, SiC, Si, Sn, Nb, Ti, In, Pd 등을 이용하여 구성한다. 이때, 상기 중간층(20)은 1~5 μ m의 두께를 갖도록 형성하는 것이 바람직하다. 즉, 상기 중간층(20) 두께가 1 μ m 미만일 경우, 상기 라이너(10)와 상기 외피관(30) 사이에서의 상호 확산 방지의 목적을 달성하기가 어렵고, 5 μ m보다 두꺼운 경우, 중간층으로 인해 열전달이 감소할 우려가 있으므로, 상기 두께 범위 내에서 형성하는 것이 바람직하다.

[0029] 한편, 상기한 바와 같이, 상기 외피관(30)은 통상적으로, 외경과 두께가 각각 9mm와 0.6mm이며 길이가 3.7m 이상에 이르는 무게목 강관인데, 이러한 좁고 긴 상기 외피관(30)의 내면에 상기와 같은 상기 라이너(10)와 상기 중간층(20)을 형성하는 것은 곤란하다. 따라서, 본 발명에서는 co-drawing 공정을 이용하여, 상기 피복관(1)의 구조를 형성한다.

[0030] 즉, 상술한 사이즈를 갖는 상기 외피관(30)을 일단 구성한 다음에, 그 내면에 상기 라이너(10)와 상기 중간층(20)을 형성하는 것은 사실상 불가능에 가깝다. 따라서, 본 발명에서는 코드로잉 공정을 이용하여, 상기 구조를 실현한다.

[0031] 구체적으로, 먼저 상기 라이너(10) 층을 형성하는 라이너 재료(봉형 재료) 표면에 상기 중간층(20)을 구성하는 재료를 증착한다(도 2 참조). 상기 중간층(20)을 형성하는 방법으로서, PVD, PLD, CVD, E-beam, electroplating을 이용할 수 있다.

[0032] 예를 들어, 상기 라이너(10) 층에 상기 중간층(20)을 구성하는 재료를 증착하기 위하여 플라즈마 증착장치(40)가 사용될 수 있다. 상기 플라즈마 증착장치(40)의 전원부(42)의 하나의 극에 상기 중간층(20)을 구성하는 재료(41)를 결합하면, 상기 중간층(20)을 구성하는 재료(41)가 미립자(43)의 형태로 상기 라이너(10)의 외주면에 증착된다.

[0033] 그 다음에, 도 3 및 도 4에 도시한 바와 같이, 상기 중간층(20)이 증착된 상기 라이너(10)와 상기 외피관(30)을 코드로잉 성형용 금형을 이용하여 코드로잉 성형함으로써, 도 1에 도시한 것과 같은 튜브 형태의 피복관 구조를 얻을 수 있다. 본 발명이 대상으로 하는 피복관 내면에 별도로 증착이나 전해 반응을 이용하여 고르게 별도의 층을 형성하는 것은 사실상 불가능하다. 따라서, 종래에는 사실상 피복관이 단일층으로 구성된 것이 대체로 사용되었다. 그러나, 본 발명에 따르면, 기존의 관념을 뛰어넘어 상기 중간층(20)이 증착된 상기 라이너(10)와 상기 외피관(30)을 코드로잉이라는 기계적 성형법을 이용하여, 도 1에 도시한 것과 같은 피복관 구조를 실현할 수 있는 장점이 있다.

[0034] 구체적으로, 상기 코드로잉 성형용 금형에는 상기 피복관(1)의 내부에 형성된 구멍에 삽입되어 상기 피복관(1)이 성형과정에서 일그러지는 것을 방지하고, 상기 피복관(1)이 원통형상으로 형성되도록 하는 내부 맨드릴(51)과, 상기 피복관(1)의 외주면과 밀착되어 상기 피복관(1)의 직경을 감소시키는 인서트(52)와, 상기 인서트(52)를 둘러싸서 고정시키는 외부 백킹(53)을 포함한다.

[0035] 상기 인서트(52)의 내측면은 경사면으로 형성되어 상기 피복관(1)은 상기 인서트(52)와 밀착되면서 그 직경이 줄어들게 된다.

[0036] 상술한 바와 같이, 본 발명은 원자로 특히 소듐 냉각 고속로(SFR)의 핵연료 피복관과 핵연료 사이에서의 상호작용(FCCI)을 방지하기 위한 것이다. 즉, 도 6에 나타낸 바와 같이, 원자로 가동시 핵연료가 피복관(cladding)으로 확산하고, 이러한 확산에 따라 반응층이 형성되어, 피복관의 두께가 점차 얇아지게 되어, 원자로 안전성이 저하된다. 그러나, 우리나라에 설치되어 운영되고 있는 원자로의 피복관은 피복관 그 자체만으로 구성되어 있어, 안전과 관련하여 문제가 발생할 소지가 있고, 따라서 차세대 원자로인 소듐 냉각 고속로에 사용되는 핵연료 피복관에 대해서는 본 발명과 같이 이러한 FCCI 현상을 방지할 수 있는 구조가 요구된다.

[0037]

이상, 본 발명을 특정 실시예를 참조하여 설명하였으나, 본 발명은 상기 실시예에 제한되지 않는다는 것을 이해하여야 한다. 즉, 후술하는 특허청구범위 내에서 상기 실시예를 다양하게 변형 및 수정할 수 있으며, 이들 역시 본 발명의 범위 내에 속하는 것이다. 따라서, 본 발명은 특허청구범위 및 그 균등물에 의해서만 제한된다.

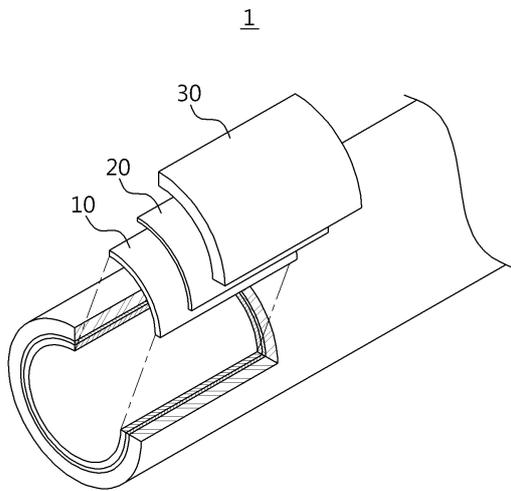
부호의 설명

[0038]

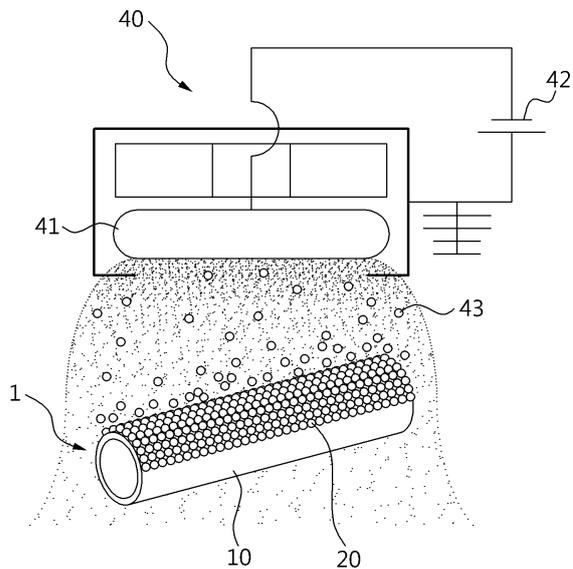
- 10: 라이너
- 20: 중간층
- 30: 피복관

도면

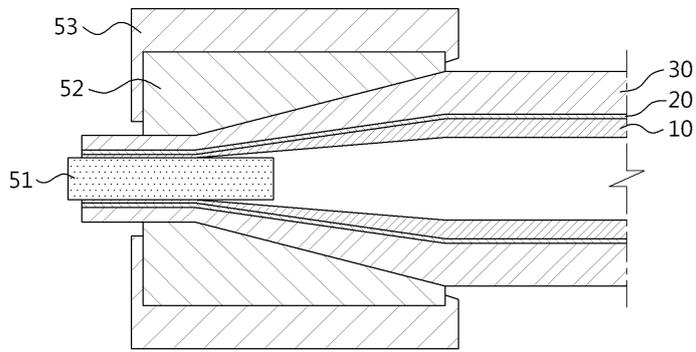
도면1



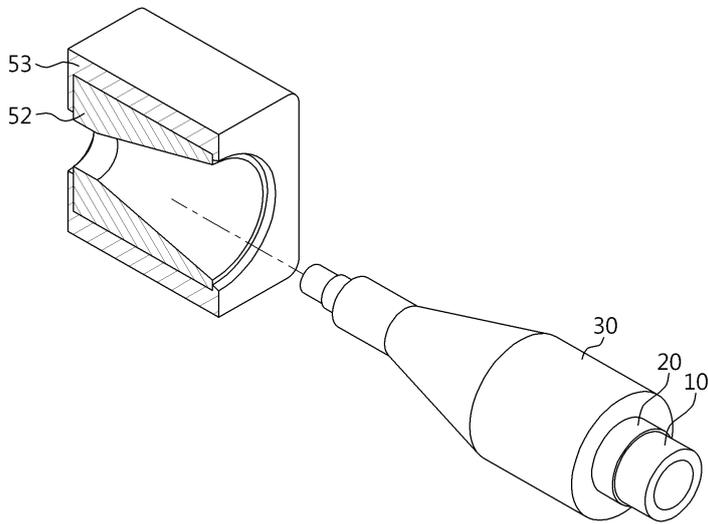
도면2



도면3



도면4



도면5

