(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0080976
(43) 공개일자 2024년06월07일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G21C 15/18 (2006.01) *G21C 15/04* (2006.01)
G21C 15/28 (2006.01) *G21C 7/103* (2006.01)
(52) CPC특허분류
G21C 15/18 (2013.01)
G21C 15/04 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2022-0164810
(22) 출원일자 2022년11월30일
심사청구일자 2022년11월30일

(71) 출원인
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
방인철
울산광역시 울주군 범서읍 굴화1길 55, 107동 705호(굴화 강변 월드메르디앙)
이동훈
울산광역시 울주군 범서읍 점촌1길 2-6, 201호(미소빌)
박예영
울산광역시 울주군 범서읍 점촌2길 31, 303호(현진빌)
(74) 대리인
특허법인태백

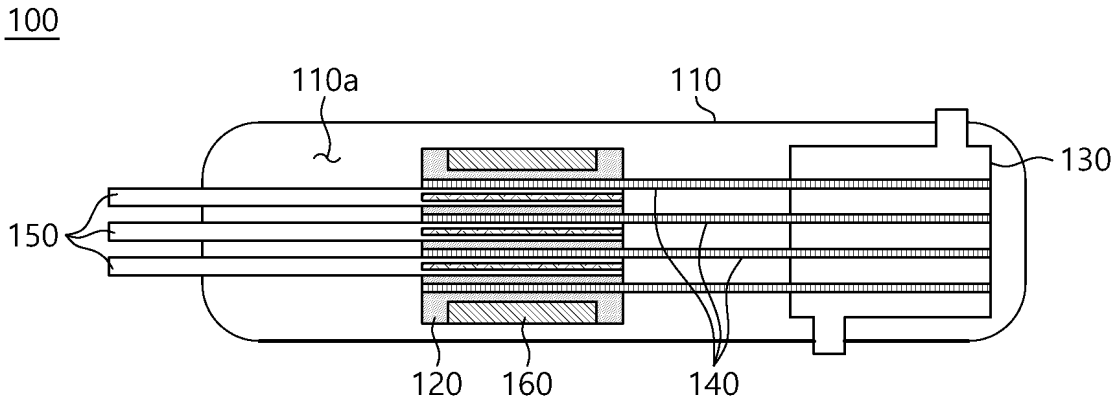
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 **피동안전장치인 하이브리드 제어봉을 구비하는 초소형 원자로**

(57) 요 약

본 발명은, 내부에 소정공간을 가지는 원자로몸체, 상기 원자로몸체의 내부에 배치되며, 내부에 핵연료 및 감속재가 구비된 노심, 상기 노심으로부터 이격 배치되는 열교환기, 상기 노심과 열교환기 사이에 배치되고, 일단이 상기 노심에 삽입되고, 타단이 상기 열교환기에 삽입되는 히트파이프, 및 상기 노심에 삽입되어 상기 핵연료를 제어하고, 상기 노심의 잔열을 제거하는 하이브리드 제어봉을 포함하는 피동안전장치인 하이브리드 제어봉을 구비하는 초소형 원자로를 제공한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G21C 15/28 (2013.01)
G21C 7/103 (2013.01)
Y02E 30/30 (2020.08)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711156850
과제번호	2021M2D2A1A03048950
부처명	과학기술정보통신부(P71)
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	원자력기초연구지원사업(162554615015514001434409)
연구과제명	원자로 소형화 및 피동화 혁신 히트파이프 기술 리더연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	울산과학기술원
연구기간	2022.01.01 ~ 2022.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

내부에 소정공간을 가지는 원자로몸체;

상기 원자로몸체의 내부에 배치되며, 내부에 핵연료 및 감속재가 구비된 노심;

상기 노심으로부터 이격 배치되는 열교환기;

상기 노심과 열교환기 사이에 배치되고, 일단이 상기 노심에 삽입되고, 타단이 상기 열교환기에 삽입되는 히트파이프; 및

상기 노심에 삽입되어 상기 핵연료를 제어하고, 상기 노심의 잔열을 제거하는 하이브리드 제어봉을 포함하는 피동안전장치인 하이브리드 제어봉을 구비하는 초소형 원자로.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 하이브리드 제어봉은,

일단은 상기 원자로몸체의 외부에 배치되고, 타단은 상기 노심에 삽입되는 열침원과,

상기 열침원 내부에 구비되고, 상기 노심의 핵연료 제어하는 흡수체와,

상기 열침원 내부에 구비되고, 상기 노심의 잔여 열을 제거하는 작동유체와,

상기 열침원의 내부에 형성되고, 상기 작동유체를 상기 열침원의 일단과 타단사이에서 유동시키는 윅부를 포함하는 피동안전장치인 하이브리드 제어봉을 구비하는 초소형 원자로.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 윅부는, 내부에 복수개의 그루브홈이 돌출 형성되고,

상기 그루브홈은, 모세관현상을 통해 상기 작동유체를 상기 열침원의 일단과 타단 사이에서 유동시키는 피동안전장치인 하이브리드 제어봉을 구비하는 초소형 원자로.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 윅부가 수평으로 설치되는 경우,

상기 윅부 내부에 배치되고, 상기 그루브홈의 단부를 감싸는 스크린윅을 더 포함하는 피동안전장치인 하이브리드 제어봉을 구비하는 초소형 원자로.

청구항 5

청구항 2에 있어서,

상기 작동유체는,

증기압(Pv)이 높고, 작동요구 시간이 짧은 세슘을 사용하는 피동안전장치인 하이브리드 제어봉을 구비하는 초소형 원자로.

청구항 6

청구항 1에 있어서,

상기 노심에 설치되고, 상기 핵연료의 중성자 제어를 제어하는 컨트롤드럼을 더 포함하는 피동안전장치인 하이브리드 제어봉을 구비하는 초소형 원자로.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 피동안전장치인 하이브리드 제어봉을 구비하는 초소형 원자로에 관한 것으로, 더욱 상세하게는, 원자로에 배치된 노심에 삽입되어 노심의 잔열을 제거하기 위한 히트파이프에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 일반적인 초소형 원자로의 구성은 히트파이프와 핵연료의 삽입이 가능한 고체노심, 핵연료, 열교환기 그리고 중성자 제어를 위한 제어장치(Control Drum) 및 사고 시 원자로 정지를 위한 제어봉(Shut Dowm Rod)로 구성되어 있다.

[0003] 초소형 원자로에 사용되는 히트파이프는 일반적으로 소듐 혹은 포타슘과 같은 액체 금속을 활용하며, 증기압이 낮기 때문에 높은 작동온도에서 운전하여야 한다. 일반적으로 제안되는 초소형 원자로의 작동온도는 600 내지 800℃이다.

[0004] 상기 히트파이프는, 상변화를 통해 열을 전달하는 열전달장치로 가열부, 단열부 및 냉각부로 구성된다. 여기서, 초소형 원자로에 사용되는 히트파이트의 경우, 가열부는 핵연료가 내부에 구비된 고체노심 측에 삽입되고, 냉각부는 공기나 가스를 활용하여 열교환하는 열교환기 측에 삽입된다.

[0005] 또한, 초소형 원자로의 용량에 따라 히트파이프가 수백개에서 천개가량이 고체노심에 삽입되며, 각가의 히트파이프는 독립적인 작동원리를 지니므로, 원자로 안정성 원리의 중요 요소인 다중성(Redundancy) 관점에서 이점이 있다.

[0006] 하지만, 고체노심에 삽입된 히트파이프는 모두 열교환기를 통해 냉각이 이루어진다. 이때, 원자로의 외부전원이 차단되는 경우, 열교환기의 기능이 중단되고, 히트파이프를 냉각하는 냉각부가 성능이 저하되어 정상적인 고체노심의 열제거가 이뤄지지 않게 되어, 원자로 고체노심이 파손되는 사고가 발생할 수 있다.

[0007] 이를 방지하기 위해, 제어봉(Shut Dowm Rod)을 고체노심에 삽입하여, 고체노심의 중성자를 흡수하여 원자로를 정지시킨다. 그러나, 원자로 정지 후에도 고체노심에 잔열이 존재하므로 이를 제거하기 위한 고체노심의 잔열을 제거하는 장치가 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 창출된 것으로, 초소형 원자로의 크기를 유지하고, 열교환기의 기능이 상실되는 사고에도 고체노심의 중성자 흡수 및 잔열의 제거가 가능한 피동안전장치인 하이브리드 제어봉을 구비하는 초소형 원자로를 제공하는데 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명은, 내부에 소정공간을 가지는 원자로몸체, 상기 원자로몸체의 내부에 배치되며, 내부에 핵연료 및 감속재가 구비된 노심, 상기 노심으로부터 이격 배치되는 열교환기, 상기 노심과 열교환기 사이에 배치되고, 일단이 상기 노심에 삽입되고, 타단이 상기 열교환기에 삽입되는 히트파이프, 및 상기 노심에 삽입되어 상기 핵연료를 제어하고, 상기 노심의 잔열을 제거하는 하이브리드 제어봉을 포함하는 피동안전장치인 하이브리드 제어봉을 구비하는 초소형 원자로를 제공한다.

[0010] 상기 하이브리드 제어봉은, 일단은 상기 원자로몸체의 외부에 배치되고, 타단은 상기 노심에 삽입되는 열침원과, 상기 열침원 내부에 구비되고, 상기 노심의 핵연료 제어하는 흡수체와, 상기 열침원 내부에 구비되고, 상기 노심의 잔여 열을 제거하는 작동유체와, 상기 열침원의 내부에 형성되고, 상기 작동유체를 상기 열침원의 일단과 타단사이에서 유동시키는 윅부를 포함할 수 있다.

[0011] 상기 윅부는, 내부에 복수개의 그루브홈이 돌출 형성되고, 상기 그루브홈은, 모세관현상을 통해 상기 작동유체

를 상기 열침원의 일단과 타단 사이에서 유동시킬 수 있다.

[0012] 본 발명에 따른 피동안전장치인 하이브리드 제어봉을 구비하는 초소형 원자로에 의하면, 상기 윅부가 수평으로 설치되는 경우, 상기 윅부 내부에 배치되고, 상기 그루브홈의 단부를 감싸는 스크린윅을 더 포함할 수 있다.

[0013] 상기 작동유체는, 증기압(Pv)이 높고, 작동요구 시간이 짧은 세슘을 사용할 수 있다.

[0014] 상기 노심에 설치되고, 상기 핵연료의 중성자 제어를 제어하는 컨트롤드럼을 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0015] 본 발명에 따른 피동안전장치인 하이브리드 제어봉을 구비하는 초소형 원자로에 의하면, 노심에 구비된 핵연료의 중성자 제어 및 작동유체를 이용하여 잔열을 제거하는 하이브리드 제어봉을 이용하여 원자로의 크기의 증가 없이도 상기 노심의 중성자를 안전하게 제어하고, 잔열을 제거할 수 있다.

[0016] 또한, 본 발명에 따른 피동안전장치인 하이브리드 제어봉을 구비하는 초소형 원자로에 의하면, 열교환기의 기능이 상실되더라도 상기 노심에 삽입된 하이브리드 제어봉을 통해 축방향으로 상기 노심의 잔열을 대기로 방출하여 상기 노심의 열 건전성을 확보할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0017] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 피동안전장치인 하이브리드 제어봉을 구비하는 초소형 원자로를 나타낸 도면이다.

도 2는 도 1의 하이브리드 제어봉을 나타낸 도면이다.

도 3은 도 2의 'A' 를 확대한 모습을 나타낸 도면이다.

도 4는 본 발명의 다른 일실시예에 따른 피동안전장치인 하이브리드 제어봉을 구비하는 초소형 원자로를 나타낸 도면이다.

도 5는 도 4의 하이브리드 제어봉을 나타낸 도면이다.

도 6은 도 5의 'B' 를 확대한 모습을 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술 분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

[0019] 도 1은 본 발명의 일실시예에 따른 초소형 원자로(100)를 나타낸 도면이다.

[0020] 이하부터는, 도 1을 참조하여, 본 발명의 일실시예에 따른 초소형 원자로(100)의 구조에 대해 설명하도록 한다.

[0021] 상기 초소형 원자로(100)는 원자로몸체(110), 노심(120), 열교환기(130), 히트파이프(140), 하이브리드 제어봉(150) 및 컨트롤드럼(160)을 포함한다.

[0022] 상기 원자로몸체(110)는 내부에 소정공간(110a)을 가진다.

[0023] 상기 노심(120)은 상기 원자로몸체(110)의 내부에 배치되며, 내부에 핵연료 및 감속재가 구비된다.

[0024] 상기 핵연료는 이산화우라늄(UO_2)를 3중으로 피복한 트리소(TRISO) 분말을 사용할 수 있으나, 반드시 이에 한정되는 것은 아니다. 또한, 분말 형상태의 상기 핵연료를 사용하는 경우 1600℃ 정도의 높은 오도에서도 구조물의 손상 없이 운전이 가능하다.

[0025] 그리고, 상기 핵연료와 감속재는 두 가지 이상의 다른 크기를 가진 입자로 형성될 수 있다. 상기 핵연료와 감속재는 각각 다른 크기의 입자로 형성되거나, 각각 균일한 크기의 입자로 형성될 수 있다. 또한, 핵연료의 입자 크기와 감속재의 입자 크기를 다르게 하여 상기 노심(120) 내부에 충전될 수도 있다.

[0026] 상기 노심(120) 내부에 각기 다른 입자 크기의 핵연료와 감속재가 충전됨으로써, 상기 노심(120) 내부의 공극을 줄이고 밀집도를 높이게 되어 핵 반응에 의한 열효율을 높일 수 있다.

[0027] 상기 열교환기(130)는 상기 노심(120)으로부터 이격 배치된다.

[0028] 상기 히트파이프(140)는 상기 노심(120)과 열교환기(130) 사이에 배치되고, 일단이 상기 노심(120)에 삽입되고, 타단이 상기 열교환기(130)에 삽입된다.

[0029] 상기 하이브리드 제어봉(150)은 상기 노심(120)에 삽입되어 상기 핵연료를 제어하고, 상기 노심(120)의 잔열을 제거한다.

[0030] 상기 컨트롤드럼(160)은 상기 노심(120)에 설치되고, 상기 핵연료의 중성자 제어를 제어한다.

[0031] 도 2는 본 발명의 일실시예에 따른 초소형 원자로(100)의 하이브리드 제어봉(150)을 나타낸 도면이고, 도 3은 하이브리드 제어봉(150)의 'A' 를 확대한 모습을 나타낸 도면이다.

[0032] 상기 초소형 원자로(100)의 작동조건은 설치목적에 따라 하이브리드 제어봉(150)이 상기 노심(120)에 삽입되는 방향이 결정된다.

[0033] 본 발명의 일실시예에 따른 초소형 원자로(100)는 이동 가능한 에너지원이 주목적인 경우를 나타낸 것으로, 상기 초소형 원자로(100)는 수평방향으로 배치된다.

[0034] 상기 하이브리드 제어봉(150)은 종래기술의 제어봉(미도시)과 달리 상기 노심(120)의 중성자 제어 및 잔열을 제거기능을 추가하였다. 이를 수행하기 위해, 상기 하이브리드 제어봉(150)은 열침원(151), 흡수체(152), 작동유체(153) 및 윅부(154)로 구성된다.

[0035] 상기 열침원(151)은 일단은 상기 원자로몸체(110)의 외부에 배치되고, 타단은 상기 노심(120)에 삽입된다. 이로 인해, 상기 열침원(151)의 일단이 열교환기(130)가 아닌 외부에 배치함으로써, 사고 시에 상기 하이브리드 제어봉(150)이 무기한 냉각이 가능하도록 배치한다.

[0036] 상기 흡수체(152)는 상기 열침원(151) 내부에 구비되고, 상기 노심(120)의 핵연료 제어한다. 여기서, 상기 흡수체(152)는 B4C 중성자 흡수체를 사용하여, 상기 노심(120)의 핵연료의 중성자 제어를 할 수 있다.

[0037] 상기 작동유체(153)는 상기 열침원(151) 내부에 구비되고, 상기 노심(120)의 잔여 열을 제거한다. 또한, 본 발명의 일실시예에 따른 초소용 원자로(100)는 사고 시에 중성자 흡수를 위해, 상기 노심(120) 삽입되는 하이브리드 제어봉(150)이 중성자 흡수뿐 아니라 열이 집중되는 상기 노심(120)의 열을 제거하기 위하여 기존의 작동온도가 높고 작동요구 시간이 긴 소듐과 포타슘을 쓰지 않고, 상기 소듐과 포타슘에 비해 상대적으로 증기압(Pv)이 높고, 작동요구 시간이 짧은 세슘을 사용할 수 있다.

[0038] 상기 윅부(154)는 상기 열침원(151)의 내부에 형성되고, 상기 작동유체(153)를 상기 열침원(151)의 일단과 타단 사이에서 유동시킨다.

[0039] 도 3을 참조하면, 상기 하이브리드 제어봉(150)의 윅부(154)를 확대한 도면으로, 상기 윅부(154)는 내부에 복수개의 그루브홈(154a)이 돌출 형성된다.

[0040] 상기 초소형 원자로(100)가 수평방향으로 배치된 경우, 상기 하이브리드 제어봉(150)의 윅부(154)의 모세관현상을 통해 상기 작동유체(153)의 상변화 순환이 가능해야 하므로, 상기 윅부(154)의 선정이 중요하다.

[0041] 특히, 초소형 원자로(100)에 적용되는 상기 하이브리드 제어봉(150)의 길이는 4m 정도로 긴 길이이기 때문에 상기 윅부(154)의 구조물 선정에 따른 모세관력이 중요하여, 본 발명에서는 그루브홈(154a)과 스크린윅(154b)이 형성된 윅부(154)를 이용하였다.

[0042] 상기 그루브홈(154a)은, 모세관현상을 통해 상기 작동유체(153)를 상기 열침원(151)의 일단과 타단 사이에서 유동시키고, 상기 스크린윅(154b)은 상기 윅부(154) 내부에 배치되고, 상기 그루브홈(154a)의 단부를 감싸게 배치된다.

[0043] 이하부터는, 본 발명의 다른 일실시예에 따른 초소형 원자로(200)의 구조에 대해 설명하도록 한다. 여기서, 본 발명의 다른 일실시예에 따른 초소형 원자로(200)의 구성 중 앞서 언급하여 중복되는 것에 대해서는 이하 후술하는 내용에서는 생략하도록 한다.

[0044] 도 4는 본 발명의 다른 일실시예에 따른 초소형 원자로(200)를 나타낸 도면이고, 도 5는 본 발명의 다른 일실시예에 따른 초소형 원자로(200)의 하이브리드 제어봉(250)을 나타낸 도면이며, 도 6은 하이브리드 제어봉(250)의 'B' 를 확대한 모습을 나타낸 도면이다.

[0045] 본 발명의 다른 일실시예에 따른 초소형 원자로(200)는 고정된 에너지원이 주목적인 경우를 나타낸 것으로, 상기 초소형 원자로(200)는 중력의 영향을 받아 수직방향으로 배치된다.

[0046] 상기 초소형 원자로(200)는 원자로몸체(210), 노심(220), 열교환기(230), 히트파이프(240), 하이브리드 제어봉(250) 및 컨트롤드럼(260)을 포함한다.

[0047] 상기 하이브리드 제어봉(250)은 열침원(251), 흡수체(252), 작동유체(253) 및 윅부(254)로 구성된다.

[0048] 본 발명의 다른 일실시예에 따른 초소형 원자로(200)는 수직방향으로 설치되고, 상기 노심(220)에 삽입되는 상기 하이브리드 제어봉(250)은 수직방향으로 배치된다.

[0049] 도 6을 참조하면, 상기 하이브리드 제어봉(250)의 윅부(254)를 확대한 도면으로, 상기 윅부(254)는 내부에 복수개의 그루브홈(254a)이 돌출 형성된다.

[0050] 본 발명의 일실시예에 따른 하이브리드 제어봉(150)과 달리 상기 하이브리드 제어봉(250)이 수직 방향으로 설치되면, 내부에 그루브홈(254a)이 형성된 단일 형상의 상기 윅부(254)만으로도 중력을 통해 상기 작동유체(253)의 순환이 가능하다.

[0051] 그리고 본 발명의 다른 일실시예에 따른 초소형 원자로(200)는 상기 윅부(254)가 없는 써모사이펀(Thermosyphon) 형태로 구성할 수 있다.

[0052] 상기 써모사이펀 형태는 자연현상 즉, 증발과 응축과정에서 일어나는 증기압의 차이로 높은 증기압의 증발부(미도시)로부터 낮은 증기압의 응축부(미도시)로 증기가 이동하고, 상기 응축부(미도시)에서 응축된 작동유체(253)는 모세관현상이나 중력 등의 외부 힘에 의하여 증발부(미도시)로 이동하여 순환이 가능하다.

[0053] 본 발명은 도면에 도시된 실시 예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 본 기술분야의 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

부호의 설명

[0054] 100, 200 : 초소형 원자로

110, 210 : 원자로몸체 120, 220 : 노심

130, 230 : 열교환기 140, 240 : 히트파이프

150, 250 : 하이브리드 제어봉 151, 251 : 열침원

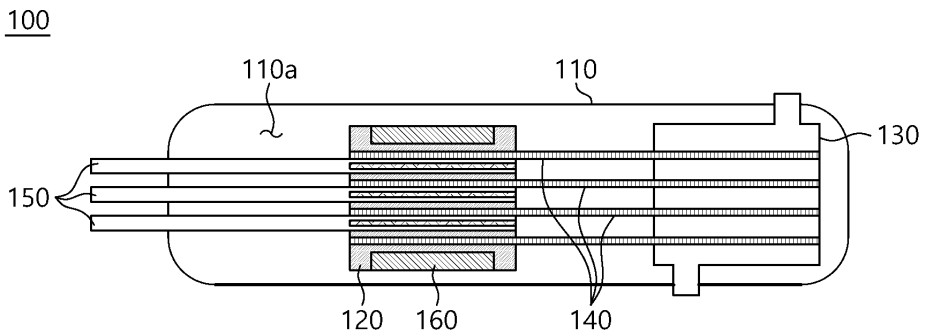
152, 252 : 흡수체 153, 253 : 작동유체

154, 254 : 윅부 154a, 254a : 그루브홈

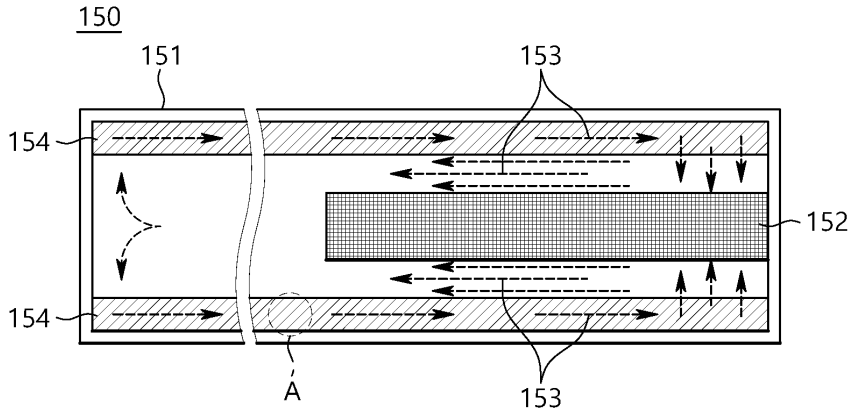
154b : 스크린윅 160, 260 : 컨트롤드럼

도면

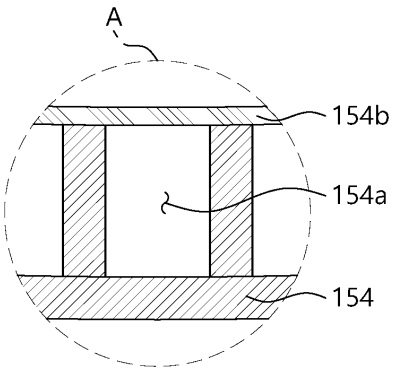
도면1



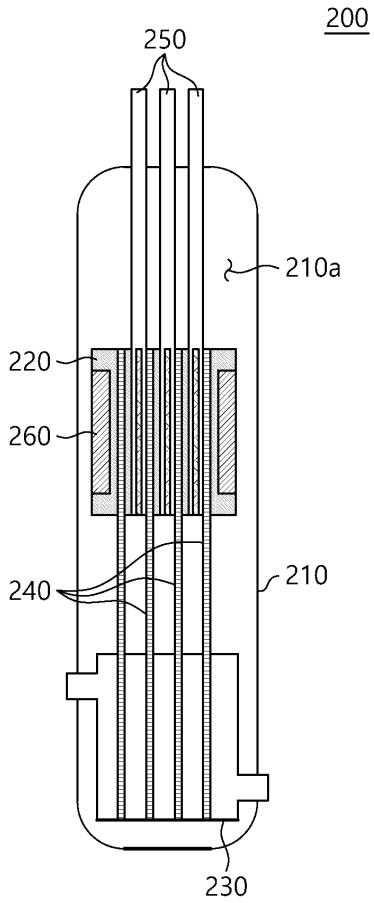
도면2



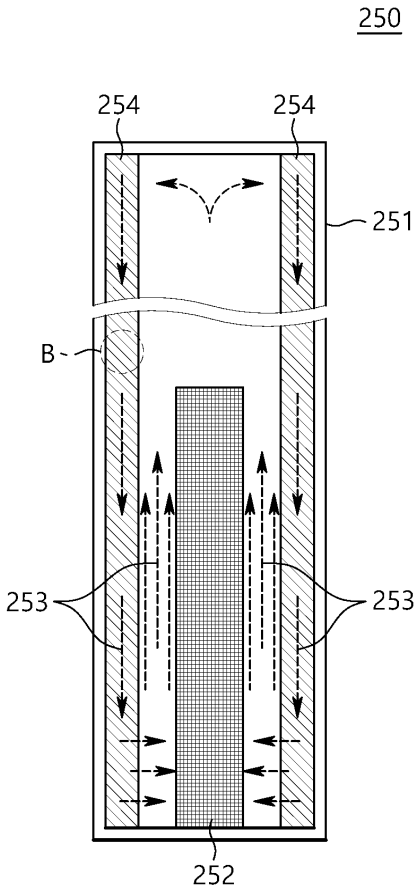
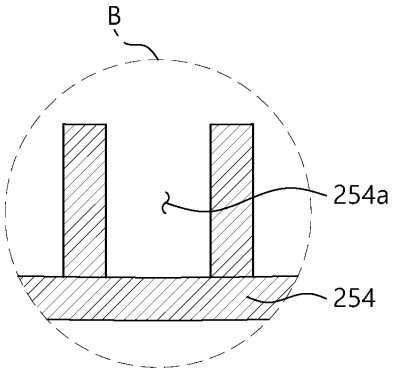
도면3



도면4



도면5



도면6