



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0142005
(43) 공개일자 2024년09월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G21C 13/02 (2006.01) G21C 1/32 (2006.01)
G21C 15/18 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G21C 13/02 (2013.01)
G21C 1/32 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2023-0036389
(22) 출원일자 2023년03월21일
심사청구일자 2023년03월21일

(71) 출원인
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
방인철
울산광역시 울주군 범서읍 굴화1길 55, 107동 70
5호 (굴화 강변 월드메르디앙)
이동훈
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50, 112동
508호
김지용
울산광역시 남구 봉월로 117, 402호 (신정동)
(74) 대리인
김종선, 이형석

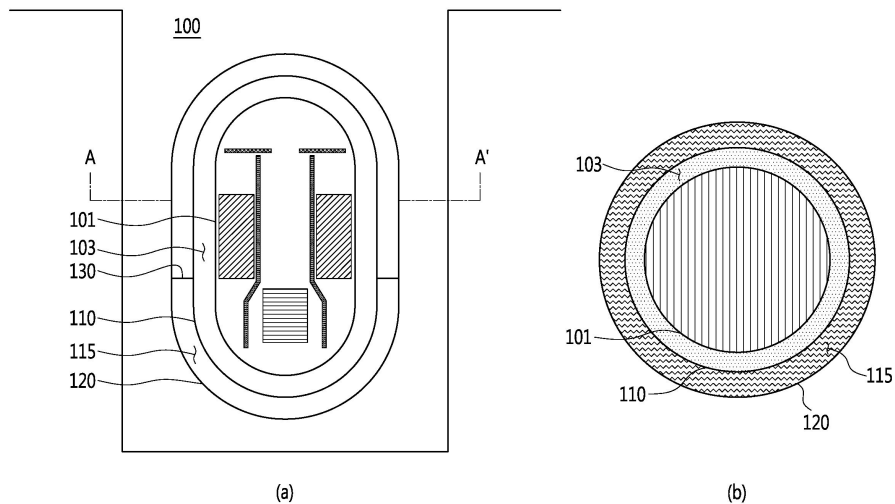
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 히트파이프형 이중 격납용기를 포함하는 소형 모듈 원자로

(57) 요약

본 발명의 히트파이프형 이중 격납용기를 포함하는 소형 모듈 원자로는 원자로 건물의 지표면 아래 형성된 공동(cavity)내부에 설치되는 소형 모듈 원자로로서, 원자로 압력용기, 원자로 압력용기를 둘러싸며 이격되어 배치되, 제1 내부공간을 마련하는 제1 격납용기, 제1 격납용기를 둘러싸며 이격되어 배치되, 제2 내부공간을 마련하는 제2 격납용기 및, 제2 내부공간에서 작동유체의 상변화를 통해 자연순환 유로를 형성하는 피동냉각부를 포함한다.

대표도



(52) CPC특허분류

G21C 15/18 (2013.01)

Y02E 30/30 (2020.08)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711156850
과제번호	2021M2D2A1A03048950
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	원자력기초연구지원사업
연구과제명	원자로 소형화 및 피동화 혁신 히트파이프 기술 리더연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	울산과학기술원
연구기간	2023.01.01 ~ 2023.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

원자로 건물의 지표면 아래 형성된 공동(cavity) 내부에 설치되는 소형 모듈 원자로로서,

원자로 압력용기;

상기 원자로 압력용기를 둘러싸며 이격되어 배치되되, 제1 내부공간을 마련하는 제1 격납용기;

상기 제1 격납용기를 둘러싸며 이격되어 배치되되, 제2 내부공간을 마련하는 제2 격납용기; 및,

상기 제2 내부공간에서 작동유체의 상변화를 통해 자연순환 유로를 형성하는 피동냉각부;를 포함하는 히트파이프형 이중 격납용기를 포함하는 소형 모듈 원자로.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제2 격납용기의 상단부에 연결되어, 상기 작동유체를 주입하고 압력을 조정하는 밸브;를 더 포함하는, 히트파이프형 이중 격납용기를 포함하는 소형 모듈 원자로.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 제2 격납용기의 상단부에 배치되어, 열전달 면적을 높이기 위한 침상 구조의 열전달부;를 더 포함하는, 히트파이프형 이중 격납용기를 포함하는 소형 모듈 원자로.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 제2 격납용기의 외측면에 배치되어, 상기 제2 격납용기의 외벽공기냉각을 위한 침니 구조를 형성하는 격벽;을 더 포함하는, 히트파이프형 이중 격납용기를 포함하는 소형 모듈 원자로.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 제2 격납용기의 상부에 배치되어, 상기 제2 격납용기의 외벽공기냉각을 위한 살수 스프레이 탱크;를 더 포함하는, 히트파이프형 이중 격납용기를 포함하는 소형 모듈 원자로.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 제2 격납용기는,

상기 작동유체가 배치되어 히트파이프의 가열부에 해당하는 영역과 상기 작동유체를 응축시키기 위한 냉각부에 해당하는 영역으로 구분되어 플랜지를 통해 체결되는 구조인, 히트파이프형 이중 격납용기를 포함하는 소형 모듈 원자로.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 제2 격납용기의 하단부에 배치되어, 상기 작동유체의 배수를 위한 배수부;를 더 포함하는, 히트파이프형 이중 격납용기를 포함하는 소형 모듈 원자로.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 제2 격납용기는,

내벽에 배치되되, 부식 방지 코팅제를 이용하여 형성된 부식방지부;를 더 포함하는, 히트파이프형 이중 격납용기를 포함하는 소형 모듈 원자로.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 제2 격납용기의 내벽에 배치되어, 모세관현상을 통해 작동유체의 자연순환 유로를 형성하는 워 구조;를 더 포함하는 히트파이프형 이중 격납용기를 포함하는 소형 모듈 원자로.

청구항 10

원자로 건물의 지표면 아래 형성된 공동(cavity) 내부에 설치되는 소형 모듈 원자로로서,

원자로 압력용기;

상기 원자로 압력용기를 둘러싸며 이격되어 배치되되, 제1 내부공간을 마련하는 제1 격납용기;

상기 제1 격납용기를 둘러싸며 이격되어 배치되되, 제2 내부공간을 마련하는 제2 격납용기; 및,

상기 제2 격납용기의 내벽에 배치되어, 모세관현상을 통해 작동유체의 자연순환 유로를 형성하는 워 구조;를 포함하는 히트파이프형 이중 격납용기를 포함하는 소형 모듈 원자로.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 소형 모듈 원자로에 관한 것으로서, 히트파이프형 이중 격납용기를 포함하는 소형 모듈 원자로에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 원자로 압력 용기 내에 노심과 증기발생기와 같은 주요 구성 기기들이 위치하고 있는 일체형 원자로 또는 소형 모듈 원자로(SMR; small modular reactor)가 많이 연구되고 있다. 일체형 원자로의 비정상 과도상태 발생시, 일체형 원자로 노심 내부의 장전된 핵연료 내부의 핵분열 생성물의 붕괴로부터 방출되는 붕괴열 또는 잔열을 안정적으로 냉각하지 못하는 경우, 노심 용융과 같은 사고가 발생할 수 있다. 사고 발생 방지 및 방사성물질의 외부 환경으로의 유출방지를 위해서는 일체형 원자로의 노심으로 방출되는 붕괴열을 효율적으로 냉각시켜야 한다.

[0003] 소형 모듈 원자로는 원자로의 주요한 사고인 배관의 파단으로 인한 냉각재 상실사고를 본질적으로 제거하기 위해 핵심 구성인 원자로, 증기발생기, 가압기 등이 하나의 용기에 일체화된 형태로 만들며, 소내외전원 완전상실 사고에도 장기간 냉각 건전성을 유지할 수 있는 피동열 제거원의 적용에 있다.

[0004] 이러한, 소형 모듈 원자로는 용기 경계에 따라 형태를 구분할 수 있다. 핵심 구성인 원자로, 증기발생기, 열교환기 등이 배치되는 압력용기, 격납용기 내부 공간, 격납용기, 격납용기 외부공간으로 구성되어 있다. 압력용기 내부 설계는 일반적으로 일체형 디자인을 채택하며, 압력용기 외부공간인 격납용기 및 격납용기 내부공간, 그리고 격납용기 외부 공간에 대한 설계는 노형에 따라 다양하게 설계되고 있다.

[0005] 소형 모듈 원자로의 격납용기는 정상상태 시에는 압력경계로부터의 열 손실을 최소화해야 하며 사고 시에는 붕괴열을 제거할 수 있는 수단이 되어야 한다. 대표적인 형태로는 원자로 외부 대형 수조에 원자로가 담겨 있는 침수형이다.

[0006] 침수형 소형 모듈 원자로는 격납용기 내부를 진공상태로 유지하며 격납용기 외부를 물로 채워, 수조에 소형 모듈 원자로가 담겨있는 형태이다.

- [0007] 이때 격납용기 내부의 진공을 통해 정상상태 시 원자로 압력용기로부터의 열 손실을 줄이고 사고 시에 압력용기로부터 방출된 증기가 격납용기 외벽과 외부의 대형 수조를 통해 응축되어 원자로 노심의 잔열을 제거할 수 있도록 구성되어 있다.
- [0008] 소형 모듈 원자로의 냉각 건전성 유지를 위해 잔열제거시스템이 설계되어 있다. 잔열제거시스템은 사고 시 원자로 붕괴열을 냉각하는 최종 수단으로 활용된다. 사고 시 압력용기에서 발생한 증기가 격납용기 내부공간으로 방출되며 격납용기 내에서 응축을 이루기 위해 격납용기 외부에 대형 냉각수조가 배치되며, 원자로 붕괴열 제거 및 냉각 기능을 보장하기 위하여 대형 수조 내부에 잔열제거열교환기가 배치된다.
- [0009] 이러한 침수형 소형 모듈 원자로는 일체형 원자로를 포함하는 격납용기가 외부에 배치된 대형 수조에 위치하여 원자로의 유지 보수를 위한 작업자의 접근성이 떨어지며, 격납 용기가 위치한 대형 수조의 방사화로 인한 방사성 물질의 환경 유출 및 작업 종사자의 피복량 증가와 같은 문제가 있다. 또한, 대형 수조를 발전소 부지 내부에 위치한 모든 소형모듈형원자로 모듈이 공유하고 있어 개별 모듈 사고 시 전체 발전소에 영향을 미칠 수 있는 문제점이 있었다.
- [0010] 더불어, 원자로의 안전 측면에서 유지 및 보수가 가능하여야 하나 종래의 침수형 소형모듈원전은 상당히 많은 양의 대형수조가 필요하여 보수 작업시에도 대형수조의 물을 제거해야 하며, 방사화된 물이기에 처리 또한 어려운 실정이다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0011] (특허문헌 0001) 대한민국 공개특허 제10-2022-0145154호(2022.10.28 공개)

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0012] 본 발명은 상기와 같은 문제점을 해결하기 위한 것으로서, 대형 수조가 필요치 않은 구조로, 히트파이프형 이중 격납용기를 포함함으로써 유지-보수 측면에서 관리가 용이하고, 향상된 안정성 및 경제성을 확보할 수 있는 소형 모듈 원자로를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

- [0013] 상기와 같은 목적을 달성하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에 따른 원자로 건물의 지표면 아래 형성된 공동(cavity) 내부에 설치되는 소형 모듈 원자로는, 원자로 압력용기; 상기 원자로 압력용기를 둘러싸며 이격되어 배치되며, 제1 내부공간을 마련하는 제1 격납용기; 상기 제1 격납용기를 둘러싸며 이격되어 배치되며, 제2 내부공간을 마련하는 제2 격납용기; 및, 상기 제2 내부공간에서 작동유체의 상변화를 통해 자연순환 유로를 형성하는 피동냉각부;를 포함할 수 있다.
- [0014] 또한, 상기 제2 격납용기의 상단부에 연결되어, 상기 작동유체를 주입하고 압력을 조정하는 밸브;를 더 포함할 수 있다.
- [0015] 또한, 상기 제2 격납용기의 상단부에 배치되어, 열전달 면적을 높이기 위한 침상 구조의 열전달부;를 더 포함할 수 있다.
- [0016] 또한, 제2 격납용기의 외측면에 배치되어, 상기 제2 격납용기의 외벽공기냉각을 위한 침니 구조를 형성하는 격벽;을 더 포함할 수 있다.
- [0017] 또한, 제2 격납용기의 상부에 배치되어, 상기 제2 격납용기의 외벽공기냉각을 위한 살수 스프레이 탱크;를 더 포함할 수 있다.
- [0018] 또한, 상기 제2 격납용기는, 상기 작동유체가 배치되어 히트파이프의 가열부에 해당하는 영역과 상기 작동유체를 응축시키기 위한 냉각부에 해당하는 영역으로 구분되어 플랜지를 통해 체결되는 구조일 수 있다.
- [0019] 또한, 상기 제2 격납용기의 하단부에 배치되어, 상기 작동유체의 배수를 위한 배수부;를 더 포함할 수 있다.

[0020] 또한, 상기 제2 격납용기는, 내벽에 배치되되, 부식 방지 코팅제를 이용하여 형성된 부식방지부;를 더 포함할 수 있다.

[0021] 또한, 상기 제2 격납용기의 내벽에 배치되어, 모세관현상을 통해 작동유체의 자연순환 유로를 형성하는 워 구조;를 더 포함할 수 있다.

[0022] 본 발명의 다른 실시예에 따른 원자로 건물의 지표면 아래 형성된 공동(cavity) 내부에 설치되는 소형 모듈 원자로는, 원자로 압력용기; 상기 원자로 압력용기를 둘러싸며 이격되어 배치되되, 제1 내부공간을 마련하는 제1 격납용기; 상기 제1 격납용기를 둘러싸며 이격되어 배치되되, 제2 내부공간을 마련하는 제2 격납용기; 및, 상기 제2 격납용기의 내벽에 배치되어, 모세관현상을 통해 작동유체의 자연순환 유로를 형성하는 워 구조;를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0023] 상기와 같은 본 발명에 따른 소형 모듈 원자로는 대형 수조가 필요치 않은 구조로, 히트파이프형 이중 격납용기를 포함함으로써 유지-보수 측면에서 관리가 용이하고, 향상된 안정성 및 경제성을 확보할 수 있다.

[0024] 더불어, 작동유체와 내부 압력 및 냉각 경계조건의 다양한 조합을 통해 목표 열제거량에 도달할 수 있어 광범위한 소형 모듈형 원자로 디자인에 적용 가능하며, 상변화를 통해 열을 제거할 경우 열전달 효율이 단상 자연순환에 비해 월등히 높기 때문에 작동유체의 재고량을 상당히 낮출 수 있다.

[0025] 또한, 이중 피동냉각 철재 격벽을 추가적으로 포함함으로써, 효과적인 열제거를 위한 히트파이프와 같은 역할을 하는 피동잔열제거 계통을 제공할 수 있다. 이에, 종래의 원자로 정지시의 붕괴열 제거를 위한 냉각수조의 냉각량의 역할을 하면서도, 유지-보수의 단점을 극복할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0026] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 소형 모듈 원자로를 나타내는 개략도이다.

도 2는 도 1의 피동냉각부의 동작을 설명하기 위한 개략도이다.

도 3 및 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 소형 모듈 원자로의 작동유체 및 압력 조절을 설명하기 위한 개략도이다.

도 5는 본 발명의 다른 실시예에 따른 소형 모듈 원자로를 나타내는 개략도이다.

도 6은 도 5의 소형 모듈 원자로의 냉각 구조를 설명하기 위한 개략도이다.

도 7은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 소형 모듈 원자로를 나타내는 개략도이다.

도 8은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 소형 모듈 원자로를 나타내는 개략도이다.

도 9는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 소형 모듈 원자로의 이중 격납용기내 배치된 워 구조를 나타내는 개략도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0027] 이하에서 본 발명의 기술적 사상을 명확화하기 위하여 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시예를 상세하게 설명하도록 한다. 본 발명을 설명함에 있어서, 관련된 공지 기능 또는 구성요소에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략할 것이다. 도면들 중 실질적으로 동일한 기능구성을 갖는 구성요소들에 대하여는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 동일한 참조번호들 및 부호들을 부여하였다. 설명의 편의를 위하여 필요한 경우에는 장치와 방법을 함께 서술하도록 한다.

[0028] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 소형 모듈 원자로를 나타내는 개략도이고, 도 2는 도 1의 피동냉각부의 동작을 설명하기 위한 개략도이다.

[0029] 도 1을 참조하면, (a)는 소형 모듈 원자로의 전체적인 구조를 나타내는 개략도이고, (b)는 (a)의 A-A'의 단면을 나타내는 단면도이다.

[0030] 본 발명의 히트파이프형 이중 격납용기를 포함하는 소형 모듈 원자로(100)는 종래의 대형 수조가 필요치 않은 구조로써, 원자로 건물의 지표면 아래 형성된 공동(cavity) 내부에 설치될 수 있다. 이에, 소형 모듈 원자로

(100)는 지상 보다 아래에 위치한 공동(Cavity) 내부에 설치됨으로써 지진 및, 항공기 충돌과 같은 외부 충격에 저항할 수 있다.

[0031] 본 발명의 소형 모듈 원자로(100)는 격납용기의 자연순환 유로를 형성하기 위해 종래의 격납용기(110) 외부공간에 추가적인 이중 격납용기(120)를 포함함으로써 원자로 사고 상황 시 노심 붕괴열을 효과적으로 제거하기 위한 피동잔열제거 계통 설계에 속한다. 즉, 소형 모듈 원자로(100)는 원자로 압력용기(101), 원자로 압력용기(101)를 둘러싸며 이격되어 배치되되, 제1 내부공간(103)을 마련하는 제1 격납용기(110), 제1 격납용기(110)를 둘러싸며 이격되어 배치되되, 제2 내부공간(115)을 마련하는 제2 격납용기(120) 및, 제2 내부공간(115)에서 작동유체(130)의 상변화를 통해 자연순환 유로를 형성하는 피동냉각부를 포함할 수 있다.

[0032] 본 발명의 소형 모듈 원자로(100)는 원자로 사고 상황 시 피동냉각부에 의해 제1 격납용기(110)의 피동 냉각이 가능할 수 있다. 즉, 피동냉각부는 제2 격납용기(120)에 마련된 제2 내부공간(115)에 소량으로 충전된 작동유체(130)의 상변화 자연순환을 통해 제1 격납용기(110)의 피동 냉각이 가능하다.

[0033] 결국, 본 발명은 작동유체(130)의 상변화 기화열을 활용하여 열을 제거할 수 있다. 이때, 종래의 대형 수조에 채워지는 유체와 비교할 경우, 제2 격납용기(120)에 마련된 제2 내부공간(115)에 충전되는 작동유체(130)의 양을 획기적으로 줄일 수 있다.

[0034] 실시예에서, 제2 격납용기(120)는 금속 재질로 이루어질 수 있다. 여기서, 금속 재질은 알루미늄, 알루미늄 합금, 마그네슘 합금, 니켈 합금, 구리 합금 및 스테인레스 스틸 중 어느 하나의 금속 재질일 수 있다. 이에, 제2 격납용기(120)의 가공 및 적용이 용이하다.

[0035] 이때, 제2 격납용기(120)는 제1 격납용기(110)의 외부에 설치되어 압력경계에 해당되지 않으며, 비-보호 계통으로 취급될 수 있으므로 설치 및 유지보수의 접근성이 쉬운 장점을 가진다.

[0036] 도 2를 참조하여, 피동냉각부의 동작을 설명한다.

[0037] 제2 격납용기(120)에 마련된 제2 내부공간(115)에 작동유체(130)가 주입된다. 여기서, 작동유체(Working fluid)(130)는 원자로의 작동 환경이나 목적에 따라 화학적 안정성을 고려하여 다양하게 변경될 수 있다. 예를 들어, 작동유체(130)는 가압 경수로 및 비등 경수로형 소형 모듈 원자로에 적용할 경우에는 물일 수 있고, 열중성자로 및 고속 중성자로에 적용할 경우에는 액체 금속(소듐; Na; Na-비스무스 합금)일 수 있으며, 용융염을 냉각재로 사용할 수도 있다.

[0038] 원자로 사고 시, 피동냉각부는 제2 내부공간(115)에 주입된 작동유체(130)의 상변화를 통해 자연순환 유로가 형성되어 제1 격납용기(110) 내부로 방출된 원자로 1차 계통 냉각재를 응축할 수 있고, 제2 격납용기(120)의 외부 냉각 경계조건에 따른 냉각부를 통해 작동유체(130)의 응축이 이루어진다. 여기서, 외부냉각 경계조건은 공기 냉각, 열전달 및, 스프레이 살수 등을 포함할 수 있다. 여기서, 응축된 작동유체(130)는 중력 혹은 모세관현상에 의하여 제2 격납용기(120) 하부로 이동하며, 다시 노심의 잔여열을 흡수하여 상변화가 이루어지는 자연순환 루프를 이룰 수 있다.

[0039] 구체적으로, 제1 격납용기 및 제2 격납용기로 이루어진 이중 격납용기는 노심 잔열 제거 기능을 수행하는 히트파이프 구조를 가질 수 있다. 히트파이프(Heat pipe) 구조는 증발부(가열부)와 단열부 및 냉각부로 구성되며, 증발부는 제2 내부공간(115) 위치하며 제2 격납용기(120) 내부로부터 전달된 열에 의해 작동유체(130)가 증발한다. 증발한 유체는 단열부를 지나 응축부에 도달하게 되며 내벽에 응축되어 대기로 열을 방출하고 다시 단열부를 흘러내려 증발부로 되돌아오므로 작동유체의 순환은 계속되며 계속적으로 열전달이 이루어진다.

[0040] 히트파이프를 통한 피동냉각부의 열제거량은 (수학식 1)을 통해 산출될 수 있다.

[0041] (수학식 1)

$$q = \dot{m} h_{fg}$$

[0042]

[0043] 여기서, q 는 히트파이프를 통해 제거 가능한 잔여열을 의미하고, $\dot{m}$ 은 잔여열을 흡수한 작동유체가 시간에 따라 기화하는 양(기화율)을 의미하고, h_{fg} 는 작동유체가 상변화하면서 흡수하는 에너지량(엔탈피)을 의미한다.

[0044] (a)는 작동유체(130)가 잔여열을 흡수하여 상변화를 통해 열을 제거하는 자연 순환 유로의 단면도를 나타낸다. 즉, (b)와 같이 제2 격납용기(120)에 마련된 제2 내부공간(115)의 작동유체(130)가 상변화를 통해 증기가 되어

상부로 이동하며, 상부의 냉각부에 의해 응축되어 중력 혹은 모세관력에 의해 하부로 이동하는 자연순환 유로를 이룬다.

[0045] 피동냉각부는 자연순환 유로에 해당하는 제2 내부공간(115)의 잔여열 흡수를 통해 상변화하는 작동유체(130)와 원자로 압력용기(101)에서 제1 격납용기(110)로 배출된 증기의 응축을 위해 제1 내부공간(103)의 잔여열을 흡수하여 냉각하는 형태로 이루어질 수 있다.

[0046] 피동냉각부는 써모사이론식 히트파이프로 중력 또는 모세관 현상에 의해 작동되며 한쪽은 가열되고, 한쪽은 냉각되면서 내부의 각 분에 온도차가 발생하게 된다. 이 온도차에 따라 열전달이 발생하게 된다.

[0048] 도 3 및 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 소형 모듈 원자로의 작동유체 및 압력 조절을 설명하기 위한 개략도이다.

[0049] 도 1 및 도 3을 참조하면, 소형 모듈 원자로(100)는 작동 유체를 주입하고 압력을 조정하는 밸브(140)를 더 포함할 수 있다. 이때, 밸브(140)는 제2 격납용기(120)의 상단부에 연결될 수 있다. 또한, 제2 격납용기(120) 상단부에는 밸브(140) 배관과의 연결을 위한 플랜지 구조 및/또는 배관 접합(용접) 작업이 이루어질 수 있다.

[0050] 소형 모듈 원자로(110)는 정상운전 환경에서 이중 격납용기로 인한 열손실을 최소화하기 위해 압력을 조절하여 포화온도를 조절하며 원자로의 안전성 및 경제성을 향상시킬 수 있다.

[0051] 이에 소형 모듈 원자로(110)는 밸브(140)를 통해 제2 격납용기(120)에 마련된 제2 내부공간(115)의 작동 압력을 소형 모듈 원자로의 출력에 따라 요구되는 잔여열 제거 용량에 따라 가압 또는 감압시킬 수 있다.

[0052] 전술한 (수학식1)과 같이, 히트파이프의 열제거량은 기화열과 상변화 엔탈피의 곱에 의존하기에 압력을 조절하면 비등점(포화온도)을 조절하여 기화열을 높일 수 있다. 예를 들어, 일반적으로 물의 끓는 점은 1기압에서 100도이고, 전자기기에 사용되는 히트파이프의 경우 작동온도가 100도 이하이기에 감압을 진행하여, 유체 순환이 원활하고 작동온도에 알맞은 포화온도를 조정한다.

[0053] 이와 같이, 소형 모듈 원자로(110)는 제거해야하는 잔여열의 용량에 따라 밸브(140)를 통해 작동압력을 조절할 수 있다.

[0054] 도 4를 참조하여, 더욱 구체적으로 작동유체의 주입 및 압력을 조정하는 방법을 설명한다.

[0055] 먼저, 작동유체의 주입과정을 살펴보면, (a) 및 (b)와 같이 밸브(140)의 개/폐 구동을 통해 작동유체(130)가 제2 격납용기(120)에 마련된 제2 내부 공간(115)으로 주입될 수 있다. 주입된 작동유체(130)는 제2 내부공간(115)의 하단부에 배치되며, 제2 내부공간(115)의 상단부에는 작동유체(130)의 상변화에 의해 형성된 증기가 배치될 수 있다.

[0056] 한편, 소형 모듈 원자로(110)는 사고 발생시 주입된 작동유체(130)가 액체에서 기체 상태로 변화하는 상변화를 통해 생성된 증기압으로 인해 자체 가압을 통한 제2 내부공간(115)의 압력 조절이 가능하다. 즉, (c)와 같이, 소형 모듈 원자로(110)는 제2 격납용기(120) 상단부에 연결된 밸브(140)의 개/폐 구동을 통해 고압의 비활성 가스(예를 들어, N_2 , Ar, He 등)를 주입함으로써 증기압의 자체 가압보다 더 높은 압력을 조성할 수 있으며, 진공 상태를 유지하여 저압 조건을 유지할 수 있다.

[0058] 도 5는 본 발명의 다른 실시예에 따른 소형 모듈 원자로를 나타내는 개략도이고, 도 6은 도 5의 소형 모듈 원자로의 냉각 구조를 설명하기 위한 개략도이다.

[0059] 도 1 및 도 5를 참조하면, 소형 모듈 원자로(100)는 열전달부(150) 및 격벽(160)을 더 포함할 수 있다.

[0060] 열전달부(150)는 제2 격납용기(120)의 상단부에 배치되어, 열전달 면적을 높이기 위한 침상 구조의 열전달 핀으로 구현될 수 있다. 이때, 열전달부(150)는 열전달이 증진됨으로써 외벽공기냉각과 조합하여 냉각량을 증가시킬 수 있다.

[0061] 또한, 격벽(160)은 제2 격납용기(120)의 외측면에 이격되도록 배치되어, 제2 격납용기(120)의 외벽공기냉각을 위한 침니 구조를 형성할 수 있다. 여기서, 격벽(160)은 철제와 같은 금속으로 이루어질 수 있다.

[0062] 도 6을 참조하면, 소형 모듈 원자로(100)는 이중 격납용기의 냉각을 위해 공기 냉각 유로를 형성할 수 있다. 여

기서, 공기 냉각 유로는 차가운 공기가 유입되는 라인과, 격벽(160)을 냉각한 뒤 온도가 상승한 뜨거운 증기가 배출되는 유로로 구분될 수 있다. 소형 모듈 원자로(100)와 격벽(160)과의 열교환을 마친 뜨거운 공기는 온도 상승으로 인하여 밀도가 감소하게 되고 이로 인해 발생하는 차가운 공기와의 밀도 차이에 의한 부력으로 자연순환 구조를 형성할 수 있다. 즉, 소형 모듈 원자로(100)는 외벽공기냉각을 위한 침니(Chimney) 구조를 형성함으로써, 뜨거운 공기를 배출시키는 고온 유로의 최상단에 댐퍼(Damper)가 부착되어 격벽(160)의 냉각시 공기의 자연순환이 이루어지는 구조가 된다. 여기서, 댐퍼는 공기 유로의 밸브의 역할을 수행할 수 있다.

[0063] 이에, 본 발명은 격벽(160)을 설치함으로써 이중 격납용기를 포함하는 소형 모듈 원자로의 냉각조건을 형성하며, 열전달부(150)에 의해 제2 격납용기의 냉각부에 열전달 면적 증가를 통한 열전달이 증진될 수 있다.

[0065] 도 7은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 소형 모듈 원자로를 나타내는 개략도이다.

[0066] 도 1 및 도 7을 참조하면, 소형 모듈 원자로(100)는 열전달부(150) 및 살수 스프레이 탱크(170)를 더 포함할 수 있다.

[0067] 열전달부(150)는 제2 격납용기(120)의 상단부에 배치되어, 열전달 면적을 높이기 위한 침상 구조의 열전달 핀으로 구현될 수 있다. 이때, 열전달부(150)는 열전달이 증진됨으로써 외벽공기냉각과 조합하여 냉각량을 증가시킬 수 있다. 제2 격납용기(120)가 금속 재질로 이루어짐으로써 분리 및 탈착이 가능하므로 열전달부(150)의 유지보수 및 교체가 용이하다.

[0068] 또한, 살수 스프레이 탱크(170)는 제2 격납용기(120)의 상부에 이격되도록 배치되어, 제2 격납용기(120)의 외벽 공기냉각을 위한 스프레이 살수를 수행할 수 있다. 즉, 사고 발생시, 살수 스프레이 탱크(170)는 스프레이 살수를 통해 제2 격납용기(120)를 응축시킬 수 있다.

[0070] 도 8은 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 소형 모듈 원자로를 나타내는 개략도이다.

[0071] 도 1 및 도 8을 참조하면, 소형 모듈 원자로(100)의 제2 격납용기(120)는 작동유체가 배치되어 히트파이프의 가열부에 해당하는 영역과 작동유체를 응축시키기 위한 냉각부에 해당하는 영역으로 구분되어 플랜지(180a, 180b)를 통해 체결되는 구조일 수 있다. 이에, 교체가 쉽고 구조 변형이 자유롭다.

[0072] 이러한 제2 격납용기(120)의 체결 구조는 플랜지(180a, 180b) 구조와 같이 연결부위에 맞는 소켓과 나사선을 가공하여 볼트와 너트 및 가스켓을 사용하여 체결하고, 독립 공간을 조성할 수 있다. 이를 통해 유지-보수를 부분적으로 진행할 수 있으며, 원자로 내부공간의 교체를 위해서도 해체가 가능한 구조를 가진다.

[0073] 또한, 제2 격납용기(120)는 내벽에 배치되며, 부식 방지 코팅제를 이용하여 형성된 부식방지부(117)를 더 포함할 수 있다. 여기서, 부식 방지 코팅제는 작동유체(130)에 의해 제2 격납용기(120)의 내벽이 부식되는 것을 방지하기 위한 코팅제로서, 니켈, FeCrAl 및 세라믹 중 어느 하나의 물질을 포함할 수 있다. 부식방지부(117)는 도금 또는 코팅 방식에 의해 부식 방지 코팅제가 증착되어 형성된 것을 의미할 수 있다.

[0074] 또한, 소형 모듈 원자로(100)는 제2 격납용기(120)의 하단부에 배치되어, 작동유체(130)의 배수를 위한 제2 배수부(190)를 더 포함할 수 있다.

[0075] 이를 통해, 소형 모듈 원자로(100)의 유지보수 시 작동유체(130)의 충전 및 배수를 자유롭게 수행할 수 있다. 나아가, 종래의 대형수조의 경우 유지보수를 위해선 유체를 모두 제거 및 충전하는데 상당한 시간이 필요한 것에 비하여 본 발명은 제2 격납용기의 작동유체 양이 대형 수조에 비해 획기적으로 적기 때문에 배수 및 충전 시간을 월등하게 단축시킬 수 있으며, 작업이 용이하다.

[0077] 도 9는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 소형 모듈 원자로의 이중 격납용기내 배치된 워 구조를 나타내는 개략도이다.

[0078] 도 9를 참조하면, (a)는 이중 격납용기(120) 내에 워(wick)으로 사용되는 메쉬(wire mesh)(121)를 배치한 경우를 도시한 사시도를 나타내고 있고, (b)는 이중 격납용기(120) 내벽에 그루브(groove)(121)를 형성하여 모세관력을 주는 것을 도시한 사시도를 나타내고 있으며, (c)는 이중 격납용기(120) 내에 워(wick)으로 사용되는 다공성 폼(metal foam)(121)을 배치한 경우를 도시한 단면도를 나타내고 있다.

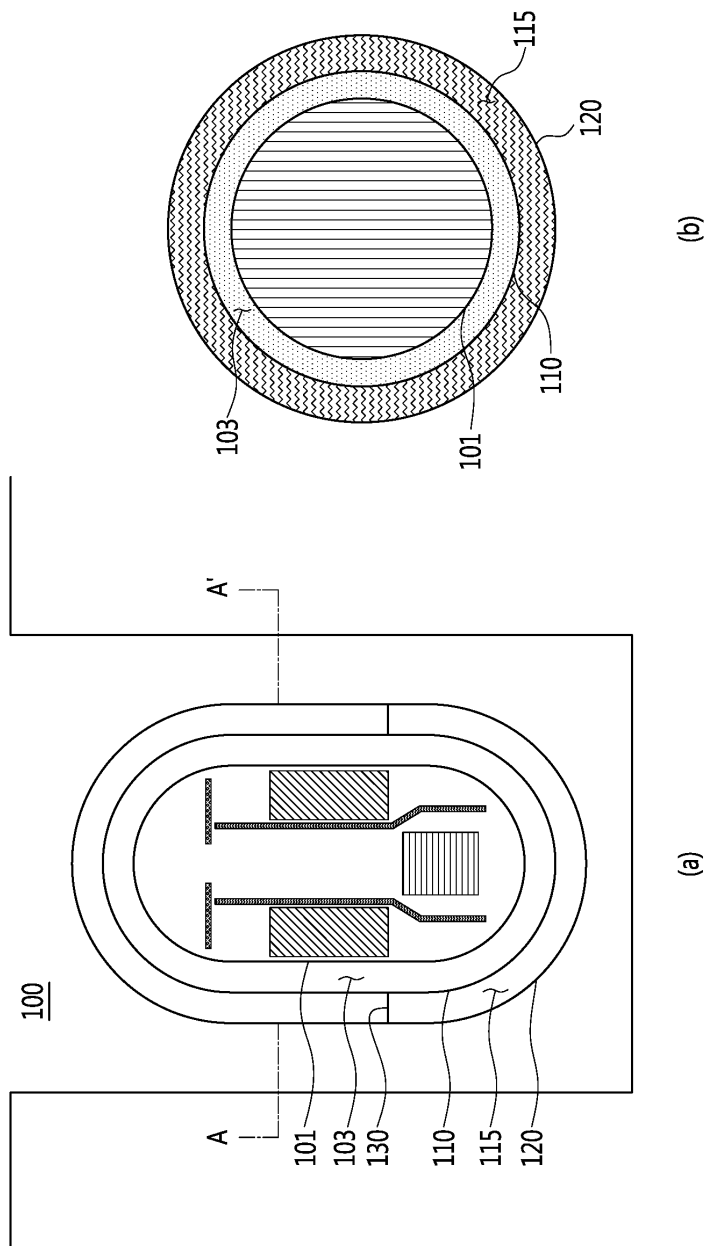
- [0079] 본 발명의 소형 모듈 원자로는 이중 격납용기(120) 내부의 작동유체의 원활한 순환을 위하여 워(121)를 배치하거나 내벽에 홈을 형성하여 모세관력이 생기도록 하여 작동유체를 순환시킨다. 이때, 워 구조는 메쉬, 그루브 및 다공성 폼 중 어느 하나 또는 둘 이상 결합된 형태를 포함할 수 있다.
- [0080] 이로써, 히트파이프형 이중 격납용기내에 배치된 워 구조에 의해 응축된 작동유체를 모세관 현상을 이용하여 증발시킬 수 있다.
- [0081] 더불어, 소형 모듈 원자로의 용량 및 형태에 따라 모세관 구조의 추가 유무를 통해 상변화 자연순환의 정도를 조절할 수 있어 냉각량을 조절할 수 있다.
- [0082] 지금까지 본 발명에 대하여 도면에 도시된 바람직한 실시예들을 중심으로 상세히 살펴보았다. 이러한 실시예들은 이 발명을 한정하려는 것이 아니라 예시적인 것에 불과하며, 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 발명의 진정한 기술적 보호범위는 전술한 설명이 아니라 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의해서 정해져야 할 것이다. 비록 본 명세서에 특정한 용어들이 사용되었으나 이는 단지 본 발명의 개념을 설명하기 위한 목적에서 사용된 것이지 의미한정이나 특허청구범위에 기재된 본 발명의 범위를 제한하기 위하여 사용된 것은 아니다. 본 발명의 각 단계는 반드시 기재된 순서대로 수행되어야 할 필요는 없고, 병렬적, 선택적 또는 개별적으로 수행될 수 있다. 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 특허청구범위에서 청구하는 본 발명의 본질적인 기술사상에서 벗어나지 않는 범위에서 다양한 변형 형태 및 균등한 타 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 균등물은 현재 공지된 균등물뿐만 아니라 장래에 개발될 균등물 즉 구조와 무관하게 동일한 기능을 수행하도록 발명된 모든 구성요소를 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

부호의 설명

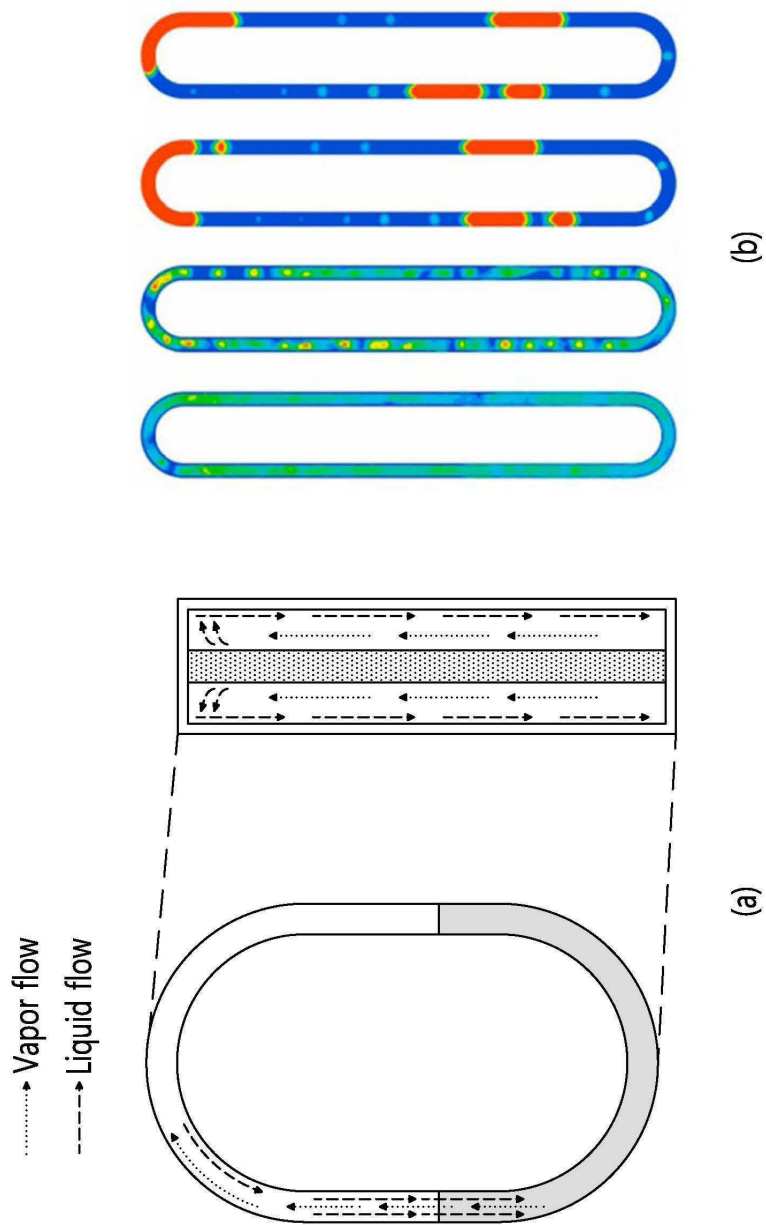
- [0083] 100: 히트파이프형 이중 격납용기를 포함하는 소형 모듈 원자로
- 101: 원자로 압력용기
- 103: 제1 내부공간
- 110: 제1 격납용기
- 115: 제2 내부공간
- 117: 부식방지부
- 120: 제2 격납용기
- 130: 작동유체
- 140: 밸브
- 150: 열전달부
- 160: 격벽
- 170: 살수 스프레이 탱크
- 180a, 180b: 플랜지
- 190: 배수부

도면

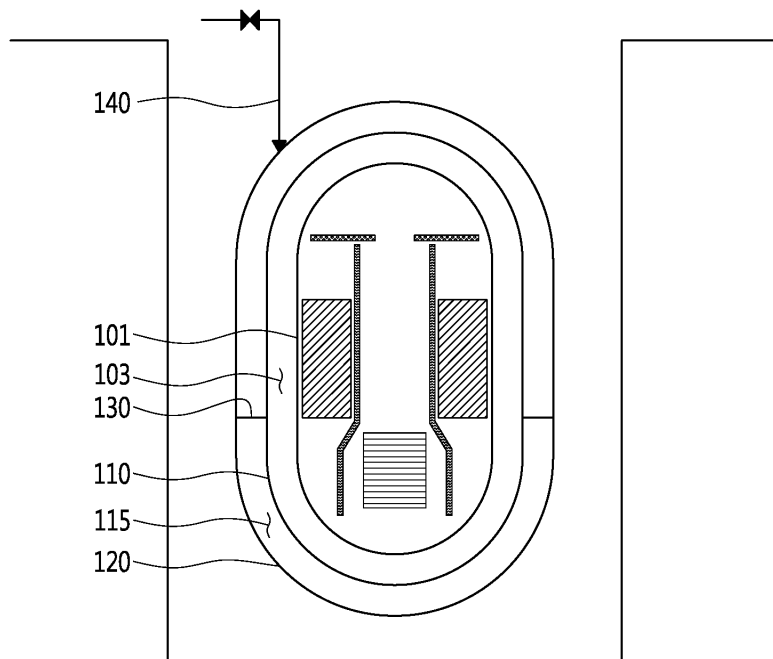
도면1



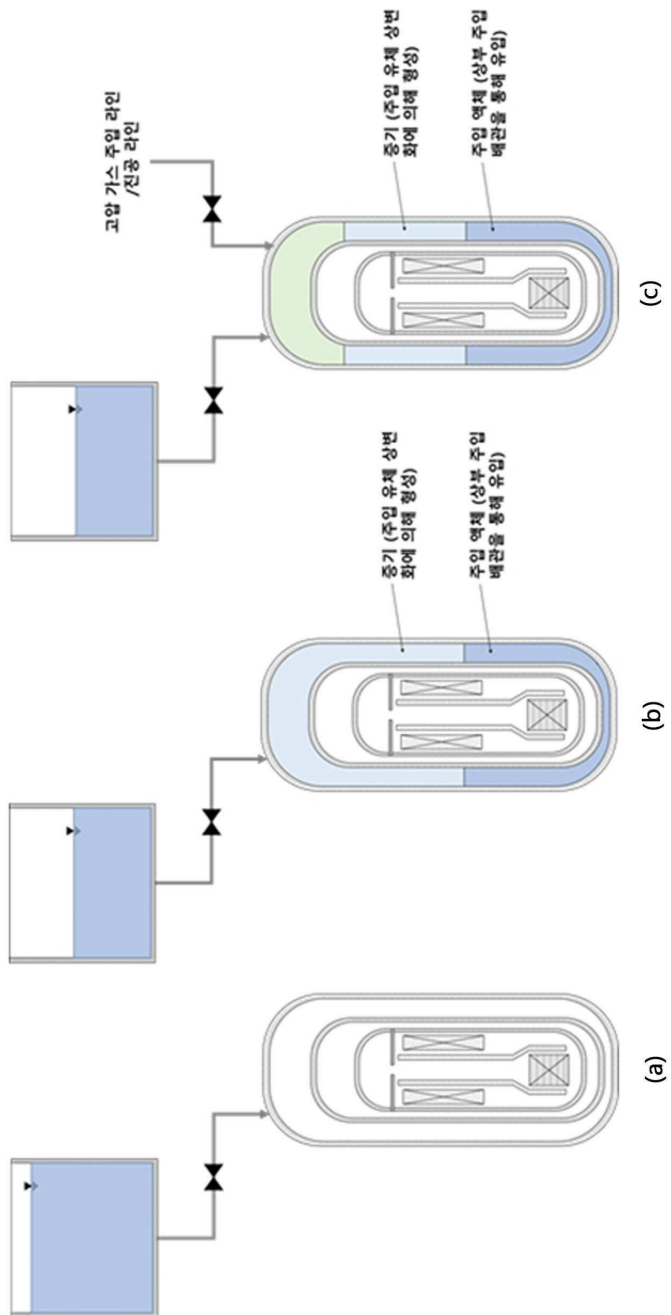
도면2



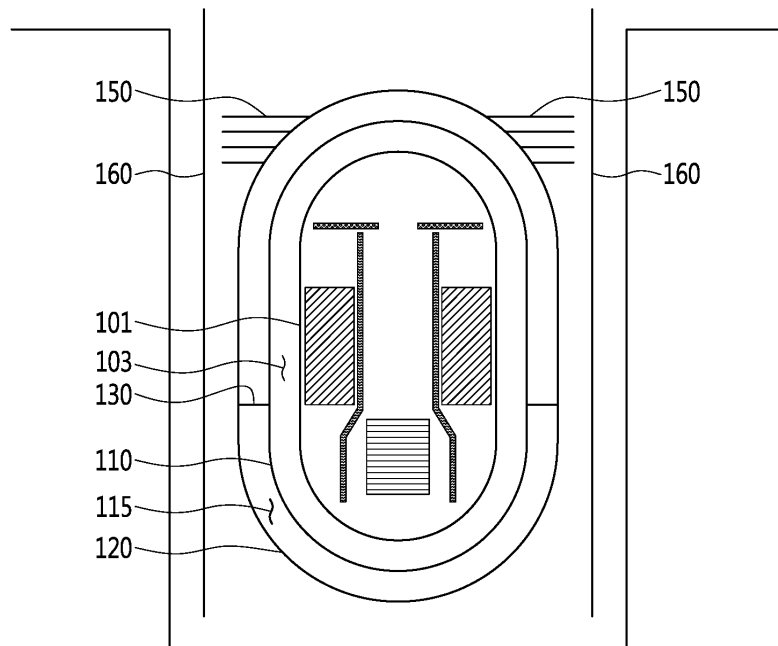
도면3



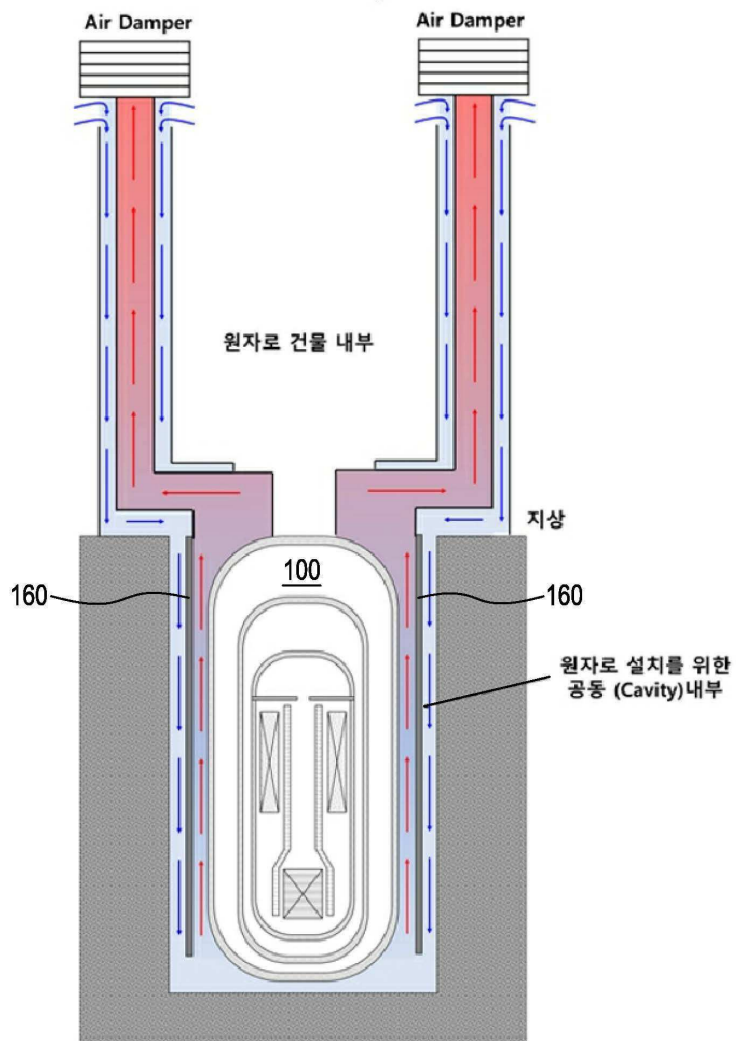
도면4



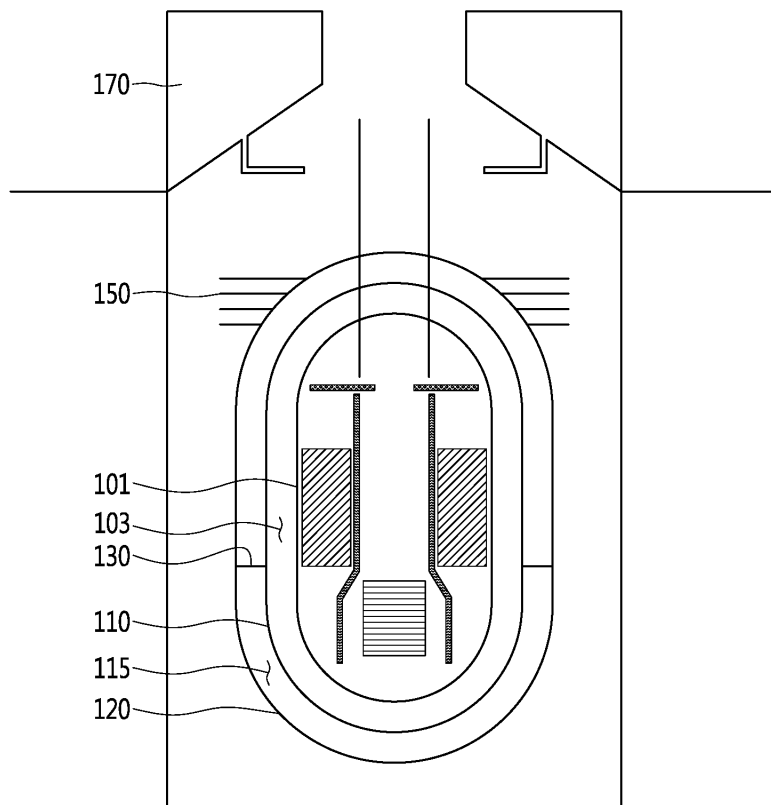
도면5



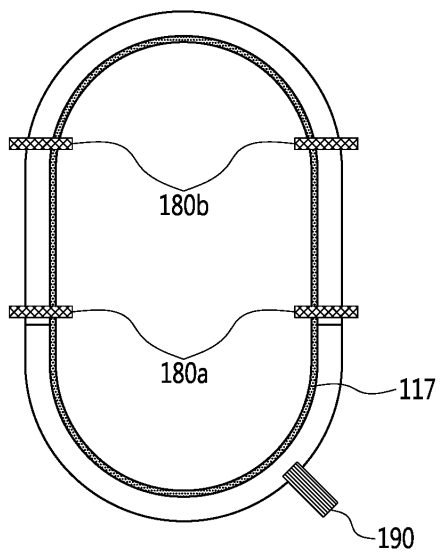
도면6



도면7



도면8



도면9

