



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0102377
(43) 공개일자 2018년09월17일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G21C 15/247 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G21C 15/247 (2013.01)

Y02E 30/35 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2017-0028925

(22) 출원일자 2017년03월07일

심사청구일자 2017년03월07일

(71) 출원인

울산과학기술원

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

(72) 발명자

김희령

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

박재식

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50

(74) 대리인

특허법인 무한

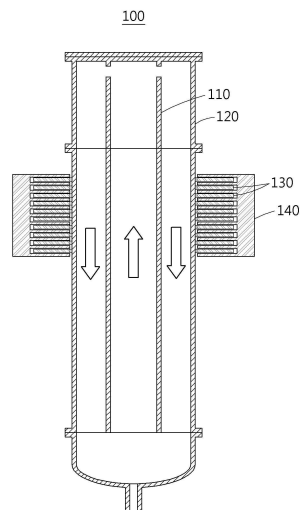
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 액체 금속 원자로의 냉각재 순환 시스템

(57) 요약

본 발명은 액체 금속 원자로에서의 냉각재 순환 시스템에 관한 것으로, 본 발명의 액체 금속 원자로의 냉각재 순환 시스템은, 내부 코어를 형성하는 원통형 내벽; 상기 내벽의 외부에 상기 내벽과 일정 간격을 두고 형성되고 동일 중심축을 가지는 원통형 외벽; 상기 외벽을 감싸도록 형성되고, 복수 개의 링형 원판이 서로 간격을 두고 단절적으로 적층된 구조체를 포함하는 전자기 코일; 및 상기 전자기 코일 외부에 형성되고, 그 내측 벽에 복수 개의 링형 원판이 서로 간격을 두고 단절적으로 형성되는 구조체를 포함하는 외부 코어를 포함한다.

대표도 - 도1



명세서

청구범위

청구항 1

내부 코어를 형성하는 원통형 내벽;

상기 내벽의 외부에 상기 내벽과 일정 간격을 두고 형성되고 동일 중심축을 가지는 원통형 외벽;

상기 외벽을 감싸도록 형성되고, 복수 개의 링형 원판이 서로 간격을 두고 단절적으로 적층된 구조체를 포함하는 전자기 코일; 및

상기 전자기 코일 외부에 형성되고, 그 내측 벽에 복수 개의 링형 원판이 서로 간격을 두고 단절적으로 형성되는 구조체를 포함하는 외부 코어;를 포함하는,

액체 금속 원자로의 냉각재 순환 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 전자기 코일은, 상기 내벽과 상기 외벽 사이의 공간에 냉각재의 하강 유동을 유도하는 것인,

액체 금속 원자로의 냉각재 순환 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 내벽 내의 공간에는 냉각재의 상승 유동이 형성되는 것인,

액체 금속 원자로의 냉각재 순환 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 전자기 코일을 형성하는 복수 개의 링형 원판 각각은, 상기 외부 용기의 내측 벽의 링형 원판들 사이에 형성되는 것인,

액체 금속 원자로의 냉각재 순환 시스템.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 전자기 코일은 3상 교류 전류가 흐르는 것인,

액체 금속 원자로의 냉각재 순환 시스템.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 내벽 내의 냉각재의 흐름은 대류에 의한 것인,
액체 금속 원자로의 냉각재 순환 시스템.

청구항 7

제1항에 있어서,
상기 내벽과 상기 외벽 사이의 냉각재의 흐름과 상기 내벽 내부의 냉각재의 흐름은 상반된 방향인 것인,
액체 금속 원자로의 냉각재 순환 시스템.

청구항 8

제1항에 있어서,
상기 외부 용기의 내측 벽의 링형 원판들은 강자성체를 포함하는 것인,
액체 금속 원자로의 냉각재 순환 시스템.

청구항 9

제1항에 있어서,
상기 내벽은, 스테인리스 스틸을 포함하는 것인,
액체 금속 원자로의 냉각재 순환 시스템.

청구항 10

제1항에 있어서,
상기 냉각재는 납, 비스무스 및 소듐으로 이루어진 군에서 선택되는 적어도 어느 하나를 포함하는 액체금속 냉각재인 것인,
액체 금속 원자로의 냉각재 순환 시스템.

청구항 11

냉각재가 일 방향으로 유동하는 외측 유로 및 상기 냉각재가 상기 일 방향의 반대 방향으로 유동하는 내측 유로를 포함하는 액체 금속 원자로의 냉각재 순환에 있어서,
상기 일 방향으로 로렌츠 힘을 형성하여 상기 냉각재의 외측 유로의 유동을 유도하는,
액체 금속 원자로의 냉각재 순환 방법.

청구항 12

제11항에 있어서,
상기 내측 유로의 흐름은 상기 외측 유로의 흐름에 의하여 보조되는 것인,
액체 금속 원자로의 냉각재 순환 방법.

청구항 13

제11항에 있어서,

상기 냉각재의 순환은 제1항 내지 제10항 중 어느 한 항의 액체 금속 원자로의 냉각재 순환 시스템을 이용하여 형성되는 것인,

액체 금속 원자로의 냉각재 순환 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 액체 금속 원자로에서의 냉각 시스템에 관한 것으로, 보다 상세하게는 원자로 내에서 순환하는 액체 금속을 냉각재로 포함하는 액체 금속 원자로에서의 냉각 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 최근의 후쿠시마 대형 사고 이후에, 원자로 개발에 있어서 안전성이 더욱 중요한 요소로 부각되고 있다. 원자로 는 안정성 평가에 따라 설계된 각종 안전설비 또는 냉각재 순환계통이 오작동하여 노심(Reactor Core) 냉각이나 반응도 제어가 적절히 이루어지지 않는 경우에 중대 사고가 발생하게 된다. 이러한 중대 사고의 주요 현상으로는, 핵연료 피복재 산화로 인한 수소 발생과 폭발, 핵연료의 용융과 용융된 핵연료의 원자로용기 내 거동, 원자로용기 파손, 증기 폭발, 격납건물(Reactor Containment Building) 직접 가열, 노심 용융물-콘크리트 반응 및 냉각재 순환 계통 오작동 등이 있다.

[0005] 냉각재 순환 계통의 오작동은 원자로 중대 사고의 제1 원인이 되고 있으며, 최근에는 사고로 냉각재 순환 계통이 마비되었을 때 위험한 상황이 발생하는 측면을 고려하여 자연순환에 의해서 냉각재를 순환시킬 수 있도록 설계된 액체 금속 냉각재를 이용한 원자로가 개발되었다. 그러나 자연순환 구동력만으로는 액체 금속 냉각재를 원활히 순환시키기에는 그 힘이 약하여, 추가적인 기계식 장치를 이용한 보조 펌프를 원자로에 구비하기 위한 연구가 다양하게 수행되고 있었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 액체 금속 냉각재를 이용하는 원자로에 있어서, 자연순환 구동력을 보조하기 위한 보조장치가 구비된 순환 시스템을 제공하기 위한 것으로서, 종래의 기계식 펌프를 구비하였을 때 발생하는 복잡한 설계상의 문제점, 소음 발생 및 유지보수 측면에서의 문제점을 모두 효과적으로 해결할 수 있는 액체 금속 냉각재 순환 시스템 및 액체 금속 냉각재 순환 방법을 제공하고자 하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명의 액체 금속 원자로의 냉각재 순환 시스템은, 내부 코어를 형성하는 원통형 내벽; 상기 내벽의 외부에 상기 내벽과 일정 간격을 두고 형성되고 동일 중심축을 가지는 원통형 외벽; 상기 외벽을 감싸도록 형성되고, 복수 개의 링형 원판이 서로 간격을 두고 단절적으로 적층된 구조체를 포함하는 전자기 코일; 및 상기 전자기 코일 외부에 형성되고, 그 내측 벽에 복수 개의 링형 원판이 서로 간격을 두고 단절적으로 형성되는 구조체를 포함하는 외부 코어를 포함한다.

[0010] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 전자기 코일은, 상기 내벽과 상기 외벽 사이의 공간에 냉각재의 하강 유동

을 유도하는 것일 수 있다.

- [0011] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 내벽 내의 공간에는 냉각재의 상승 유동이 형성되는 것일 수 있다.
- [0012] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 전자기 코일을 형성하는 복수 개의 링형 원판 각각은, 상기 외부 코어의 내측 벽의 링형 원판들 사이에 형성되는 것일 수 있다.
- [0013] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 전자기 코일은 3상 교류 전류가 흐르도록 형성되는 것일 수 있다.
- [0014] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 내벽 내의 냉각재의 흐름은 대류에 의한 것일 수 있다.
- [0015] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 내벽과 상기 외벽 사이의 냉각재의 흐름과 상기 내벽 내부의 냉각재의 흐름은 상반된 방향인 것일 수 있다.
- [0016] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 외부 코어의 내측 벽의 링형 원판들은 강자성체를 포함하는 것일 수 있다.
- [0017] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 내벽은, 스테인리스 스틸을 포함하는 것일 수 있다.
- [0018] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 냉각재는 납, 비스무스 및 소듐으로 이루어진 군에서 선택되는 적어도 어느 하나를 포함하는 액체 금속 냉각재인 것일 수 있다.
- [0020] 본 발명의 액체 금속 원자로의 냉각재 순환 방법은, 냉각재가 일 방향으로 유동하는 외측 유로 및 상기 냉각재가 상기 일 방향의 반대 방향으로 유동하는 내측 유로를 포함하는 액체 금속 원자로의 냉각재 순환에 있어서, 상기 일 방향으로 로렌츠 힘을 형성하여 상기 냉각재의 외측 유로의 유동을 유도하는 것일 수 있다.
- [0021] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 내측 유로의 흐름은 상기 외측 유로의 흐름에 의하여 보조되는 것일 수 있다.
- [0022] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 냉각재의 순환은 본 발명의 일 실시예에서 제공하는 액체 금속 원자로의 냉각재 순환 시스템을 이용하여 형성되는 것일 수 있다.

발명의 효과

- [0024] 본 발명에서 제공하는 액체 금속 원자로의 냉각재 순환 시스템에 따르면, 종래의 기계식 펌프를 보조 순환 수단으로 사용할 경우에 비해 진동 및 소음 발생이 적고 구조가 단순하여 뛰어난 유지보수성을 보이며, 기계식 펌프가 원자로 내부에 설치되어 냉각재의 순환을 방해하던 문제가 모두 해결되는 이점이 있다. 또한, 특별한 원자로 설계 없이 원자로 외부에 간편히 부착하는 방법으로 전기 전도성 액체 금속 냉각재의 원활한 이송이 가능해지는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

- [0026] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따르는 액체 금속 원자로의 냉각재 순환 시스템이 설치된 액체 금속 원자로의 개략적인 구조가 도시된 단면도이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따르는 액체 금속 원자로의 냉각재 순환 시스템이 설치된 액체 금속 원자로의 사시도이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따르는 액체 금속 원자로의 냉각재 순환 시스템 내에서 액체 금속 냉각재의 순환 원리가 도시된 액체 금속 원자로의 단면도이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따르는 액체 금속 원자로의 냉각재 순환 시스템에 있어서, 납-비스무스 액체 금속 냉각재를 사용하였을 경우의 시뮬레이션 실험 결과를 나타내는 액체 금속 원자로의 단면도이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따르는 액체 금속 원자로의 냉각재 순환 시스템에 있어서, 납-비스무스 액체 금속 냉각재를 사용하였을 경우의 시뮬레이션 실험 결과를 나타내는 액체 금속 원자로의 평면도이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0027] 이하에서, 첨부된 도면을 참조하여 실시예들을 상세하게 설명한다. 각 도면에 제시된 동일한 참조 부호는 동일한 부재를 나타낸다.
- [0028] 아래 설명하는 실시예들에는 다양한 변경이 가해질 수 있다. 아래 설명하는 실시예들은 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 이들에 대한 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0029] 실시예에서 사용한 용어는 단지 특정한 실시예를 설명하기 위해 사용된 것으로, 실시예를 한정하려는 의도가 아니다. 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 명세서 상에 기재된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성 요소, 부품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0030] 다르게 정의되지 않는 한, 기술적이거나 과학적인 용어를 포함해서 여기서 사용되는 모든 용어들은 실시예가 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가지고 있다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 것과 같은 용어들은 관련 기술의 문맥 상 가지는 의미와 일치하는 의미를 가지는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한, 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미로 해석되지 않는다.
- [0031] 또한, 첨부 도면을 참조하여 설명함에 있어, 도면 부호에 관계없이 동일한 구성 요소는 동일한 참조 부호를 부여하고 이에 대한 중복되는 설명은 생략하기로 한다. 실시예를 설명함에 있어서 관련된 공지 기술에 대한 구체적인 설명이 실시예의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우 그 상세한 설명을 생략한다.
- [0033] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따르는 액체 금속 원자로의 냉각재 순환 시스템이 설치된 액체 금속 원자로의 개략적인 구조가 도시된 단면도이다.
- [0034] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따르는 액체 금속 원자로의 냉각재 순환 시스템이 설치된 액체 금속 원자로의 사시도이다.
- [0035] 아래에서는 도 1 및 도 2를 참조하여, 본 발명의 일 실시예에서 제공하는 액체 금속 원자로의 냉각재 순환 시스템에 대해 설명한다.
- [0037] 본 발명에서 설명하는 액체 금속 원자로에 있어서 액체 금속 냉각재의 유동은 내부 코어의 가열에 의해 밀도차가 발생하여, 내벽 내의 공간에서는 상승하는 방향으로 형성될 수 있다. 상기 내벽 내의 공간에는 액체 금속 냉각재의 외측 유로와 내벽 위 아래로 연결되어 있는 내측 유로가 형성될 수 있다. 상기 내벽과 외벽 사이의 이격된 공간에서 액체 금속 냉각재는 중력의 작용 및 내벽 내의 공간으로부터 연결 형성된 유체의 흐름에 의해 하강하는 방향으로 형성될 수 있다. 본 발명에서는 이러한 유체의 유동을 자연순환이라고 지칭하도록 한다.
- [0039] 본 발명의 일 측면에서 제공하는 액체 금속 원자로의 냉각재 순환 시스템은, 상기 자연순환에 의한 구동력 외에 아래에서 설명할 전자기 코일에 의해 발생하는 로렌츠 힘에 의한 추가적 구동력이 발생하는 것을 중요한 특징으로 한다. 이러한 로렌츠 힘에 의한 추가적 구동력은, 원자로 사고 발생 시 자연순환에 의한 냉각재 순환에 문제가 생겼을 때에도 충분한 냉각재 순환 구동력을 확보할 수 있는 수단으로 작용할 수 있다. 또한, 로렌츠 힘에 의한 추가적 구동력은 사고가 발생하지 않은 경우에도 액체 금속 원자로의 원만한 냉각재 순환을 보조하는 수단으로 기능할 수 있다.
- [0041] 본 발명의 액체 금속 원자로(100)의 냉각재 순환 시스템은, 내부 코어를 형성하는 원통형 내벽(110); 상기 내벽의 외부에 상기 내벽과 일정 간격을 두고 형성되고 동일 중심축을 가지는 원통형 외벽(120); 상기 외벽을 감싸도록 형성되고, 복수 개의 링형 원판이 서로 간격을 두고 단절적으로 적층된 구조체를 포함하는 전자기 코일(130); 및 상기 전자기 코일 외부에 형성되고, 그 내측 벽에 복수 개의 링형 원판이 서로 간격을 두고 단절적으로 형성되는 구조체(140)를 포함하는 외부 코어를 포함한다.

- [0043] 본 발명의 일 실시예에 따르는 냉각재 순환 시스템은, 원자로 중앙에 원통형 내벽이 구비되어 상기 내벽으로 인해 외부와 분리된 내부 코어가 형성된다. 내부 코어의 중앙에는 노심이 위치할 수 있다. 또한, 상기 내벽의 안쪽 공간에는 액체 금속 냉각재가 순환 유동할 수 있는 내측 유로가 형성될 수 있다. 상기 내벽 내의 공간에는 액체 금속 냉각재가 원자로 위쪽으로 상승하는 방향의 유동을 형성할 수 있다. 상기 내벽 안쪽 공간은 상기 내벽 바깥쪽 공간과 내벽의 위쪽 및 아래쪽을 통해서 연결되어 있는 구조일 수 있다.
- [0045] 상기 내벽의 외부에는 상기 원통형 내벽을 형성하는 구조체를 포함할 수 있도록 내벽과 일정 간격 이격하여 형성되는 더 큰 원통형 외벽이 위치할 수 있다. 상기 원통형 외벽은 상기 원통형 내벽과 동일한 중심축을 형성할 수 있다. 상기 내벽과 외벽의 이격된 공간에는 액체 금속 냉각재가 순환 유동할 수 있는 외측 유로가 형성될 수 있다. 상기 이격된 공간에서 액체 금속 냉각재는 일 방향으로 유동을 형성할 수 있다. 본 발명의 일 측면에 따르면, 상기 이격된 공간에서 액체 금속 냉각재는 원자로 아래쪽으로 하강하는 방향의 유동을 형성할 수 있다. 상기 이격된 공간의 액체 금속 냉각재의 유동은 내벽 내의 공간과 반대 방향의 유동을 형성하는 것일 수 있다.
- [0047] 본 발명의 일 측면에 따르면 원통형 외벽(120)을 감싸도록 전자기 코일(130)이 설치될 수 있다. 상기 전자기 코일은 복수 개의 링형 원판이 서로 간격을 두고 단절적으로 적층된 구조체를 포함할 수 있다. 즉, 본 발명의 일 측면에 따르면 상기 전자기 코일은 레코드 판과 유사한 형태의 링형 원판이 일정 간격을 두고 복수 개 쌓인 구조로 형성될 수 있다. 상기 전자기 코일은 자연순환에 의한 구동력 외에, 로렌츠 힘에 의한 추가적 구동력을 발생시키는 것일 수 있다.
- [0048] 이 때, 전자기 코일이 발생시키는 로렌츠 힘은 본 발명에서 제공하는 냉각재 순환 시스템의 중요한 특징이 된다. 상기 로렌츠 힘은 액체 금속 냉각재의 자연순환을 보조하는 역할을 할 수 있다. 또한, 상기 로렌츠 힘은 내측 유로에서 액체 금속 냉각재의 상승하는 방향의 유동을 방해하지 않는 것일 수도 있다.
- [0050] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 전자기 코일은, 상기 내벽과 상기 외벽 사이의 공간에 냉각재의 하강 유동을 유도하는 것일 수 있다.
- [0051] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 내벽 내의 공간에는 냉각재의 상승 유동이 형성되는 것일 수 있다.
- [0053] 상기 전자기 코일은 전원과 연결되어 코일에 전류가 가해지면 로렌츠 힘을 발생시키는 구조일 수 있다. 상기 전류는 3상 교류인 것일 수 있다. 3상 교류 전류는 전자기 코일의 링형 원판 구조체 및 아래에서 설명할 외부 코어의 링형 원판 구조체와 상호 작용할 수 있다. 3상 교류 전류를 이용함으로써, 외부 유로에서 액체 금속 냉각재의 하강 유동 흐름을 형성하면서도 내부 유로에서의 액체 금속 냉각재의 자연순환에 의한 상승 유동 흐름을 방해하지 않도록 로렌츠 힘을 형성할 수 있다.
- [0055] 본 발명의 일 측면에 따르면, 상기 로렌츠 힘은 내벽과 외벽 사이에 형성되는 공간에서 액체 금속 냉각재의 하강하는 방향의 유동을 유도하는 것일 수 있다. 상기 로렌츠 힘에 의해 외측 유로에서 액체 금속 냉각재의 하강하는 방향의 유동이 발생하면서, 상기 외측 유로와 내벽 상부 및 하부로 연결되어 있는 내측 유로의 액체 금속 냉각재의 반대 방향 유동은 자연히 유도되는 것일 수 있다.
- [0057] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 전자기 코일을 형성하는 복수 개의 링형 원판 각각은, 상기 외부 코어의 내측 벽의 링형 원판들 사이에 형성되는 것일 수 있다.
- [0058] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 전자기 코일은 3상 교류 전류가 흐르는 것일 수 있다.
- [0060] 상기 전자기 코일의 외부에는 전자기 코일의 구조와 맞물리도록 형성되는 외부 코어의 구조체가 형성될 수 있다. 상기 구조체는 복수 개의 링형 원판이 서로 간격을 두고 단절적으로 형성되는 구조일 수 있다. 상기 구조

체는 원자로의 외곽 하우징을 구성하는 외부 코어에 포함되도록 설치될 수 있다. 본 발명의 일 측면에 따르면 외부 코어의 링형 원판 구조체와 서로 맞물리도록 설계되는 상기 전자기 코일의 링형 원판 구조체는 전류가 흐를 때 서로 상호 작용하여 내부 유로에서의 로렌츠 힘을 상쇄하는 역할을 수행할 수 있다. 이로써 전자기 코일에 의해 아래 방향으로 발생하는 로렌츠 힘이 내부 유로에서 액체 금속 냉각재의 상승 유동을 방해하는 것을 방지할 수 있다.

[0062] 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따르는 액체 금속 원자로의 냉각재 순환 시스템 내에서 액체 금속 냉각재의 순환 원리가 도시된 액체 금속 원자로의 단면도이다.

[0063] 도 3에는 상기 전자기 코일(130)의 구조와 맞물리도록 형성된 상기 외부 코어(140)의 구조체의 단면도가 도시되어 있다. 도 3에는 본 발명의 일 측면에 따르는 냉각재 순환 시스템에서 발생하는 자기장의 방향 및 세기와 로렌츠 힘의 방향 및 세기가 표시되어 있다. 도 3에 표시된 채색되지 않은 화살표는 자기장의 방향 및 크기를 나타내며, 원 안에 표시된 기호는 전기장의 방향을 나타내는 것이며, 채색된 화살표는 자기장과 전기장의 관계에서 발생하는 로렌츠 힘의 방향 및 크기를 나타낸다.

[0064] 도 3에서 원 안에 표시된 기호는 3상 교류 전류가 전자기 코일에 흘렀을 때 형성되는 전기장의 방향을 나타내고 있다. 3상 교류 전류는 정상파 형태의 전류를 형성하기에 전기장의 방향은 파동의 변위에 따라 지면에서 나오는 방향과 지면으로 들어가는 방향 두 가지로 형성될 수 있다. 한편, 자기장은 도 3에서 채색되지 않은 화살표와 같은 방향으로 형성될 수 있다. 외부 코어(140)의 링형 구조체가 강자성체 등으로 형성되었을 경우에 전자기 코일과의 관계에서 도 3과 같은 자기장을 형성할 수 있다. 채색된 화살표는 로렌츠 힘의 크기 및 방향을 나타낸다. 발생한 전기장과 자기장의 존재로 인해 도 3의 내벽(110)과 외벽(120) 사이의 공간에는 채색된 화살표와 같은 로렌츠 힘이 작용하게 된다.

[0066] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 내벽 내의 냉각재의 흐름은 대류에 의한 것일 수 있다. 내벽 내의 냉각재의 흐름은 자연순환에 의한 것으로, 내부 코어의 가열에 의해 액체 금속 냉각재의 밀도차가 발생하여 열대류에 의한 흐름을 형성할 수 있다.

[0068] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 내벽과 상기 외벽 사이의 냉각재의 흐름과 상기 내벽 내부의 냉각재의 흐름은 상반된 방향인 것일 수 있다. 본 발명의 일 측면에서 제공하는 액체 금속 원자로의 냉각재 순환 시스템에 따르면 내벽과 외벽사이의 냉각재의 흐름은 하강하는 흐름으로 형성될 수 있는 반면, 내벽 내부의 냉각재의 흐름은 상승하는 흐름으로 형성될 수 있다.

[0070] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 외부 코어의 내측 벽의 링형 원판들은 강자성체를 포함하는 것일 수 있다. 상기 외부 코어의 링형 원판들이 형성된 구조체가 강자성체로 형성될 때, 전자기 코일에 전류가 흐를 때 전자기 코일의 링형 원판 구조체와 상호 작용하여 로렌츠 힘이 효과적으로 발생할 수 있다.

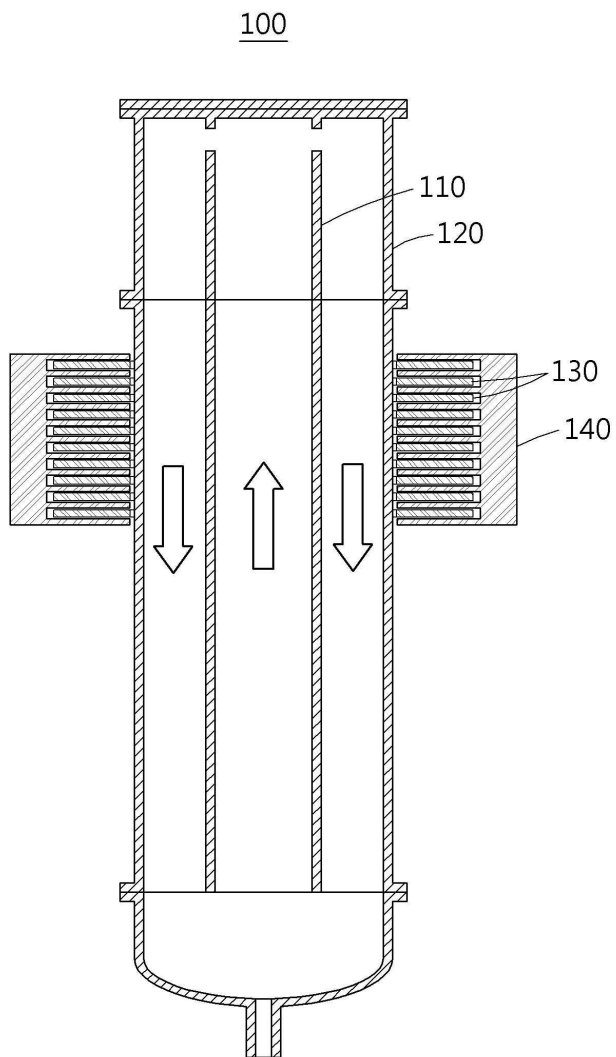
[0072] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 내벽은, 스테인리스 스틸을 포함하는 것일 수 있다. 일 예로서, 상기 스테인리스 스틸은 304, 316L 및 F91 강종으로 이루어진 군에서 선택되는 적어도 어느 하나를 포함하는 것일 수 있다. 본 발명에서 내벽의 소재는 액체 금속 원자로에 적용되어 대량 생산이 가능하고 높은 온도에서 열역학적으로 안전한 내벽을 형성할 수 있는 내식성 소재라면 특별히 한정하지 않는다. 본 발명의 일 측면에서는 내벽 내에 형성되는 액체 금속 냉각재의 상승 유동 흐름이 아래쪽 방향으로 발생하는 로렌츠 힘에 의해 방해받지 않을 수 있는 재질로 상기 내벽의 소재를 선택하여 내벽을 설계할 수 도 있다.

[0074] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 냉각재는 납, 비스무스 및 소듐으로 이루어진 군에서 선택되는 적어도 어느 하나의 액체 금속 냉각재를 포함하는 것일 수 있다. 본 발명에서 사용되는 액체 금속 냉각재는 로렌츠 힘이 효과적으로 작용할 수 있도록 전기 전도성을 가지는 물질을 포함할 필요가 있다.

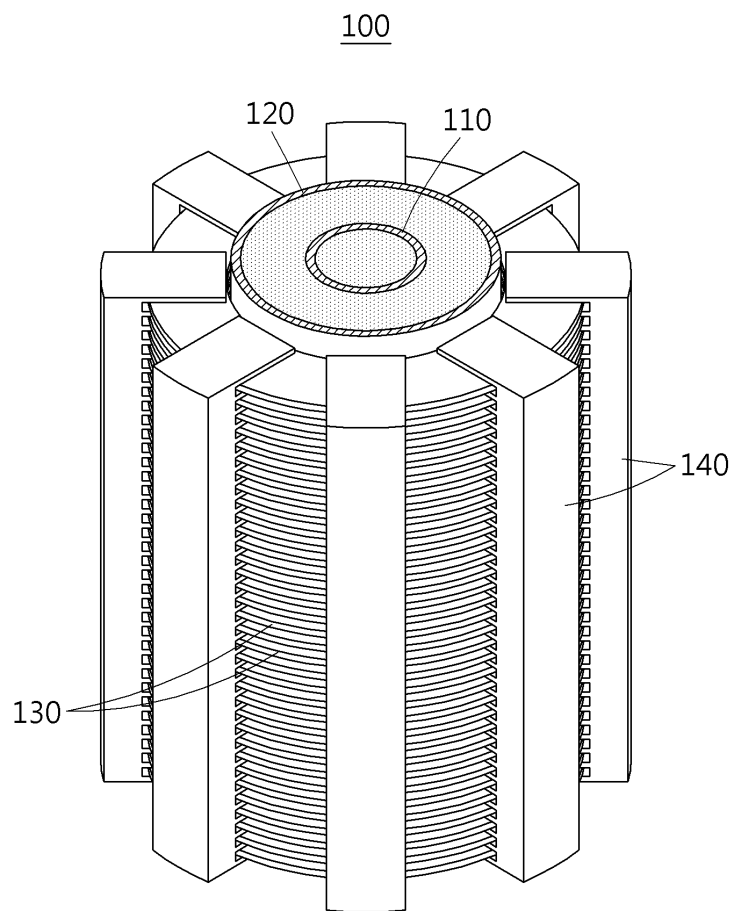
- [0076] 본 발명의 액체 금속 원자로의 냉각재 순환 방법은, 냉각재가 일 방향으로 유동하는 외측 유로 및 상기 냉각재가 상기 일 방향의 반대 방향으로 유동하는 내측 유로를 포함하는 액체 금속 원자로의 냉각재 순환에 있어서, 상기 일 방향으로 로렌츠 힘을 형성하여 상기 냉각재의 외측 유로의 유동을 유도하는 것일 수 있다.
- [0078] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 내측 유로의 흐름은 상기 외측 유로의 흐름에 의하여 보조되는 것일 수 있다. 이로써 원자로 내부의 원활한 냉각재 자연순환 흐름이 원자로 사고의 발생으로 인해 중단되더라도, 로렌츠 힘에 의해 유도된 외측 유로의 액체 금속 냉각재의 흐름으로부터, 내측 유로의 흐름까지 순환 구조가 형성되어 액체 금속 냉각재의 순환 모델을 형성할 수 있다.
- [0080] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 상기 냉각재의 순환은 본 발명의 일 실시예에서 제공하는 액체 금속 원자로의 냉각재 순환 시스템을 이용하여 형성되는 것일 수 있다.
- [0082] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따르는 액체 금속 원자로의 냉각재 순환 시스템에 있어서, 납-비스무스 액체 금속 냉각재를 사용하였을 경우의 시뮬레이션 실험 결과를 나타내는 액체 금속 원자로의 단면도이다.
- [0083] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따르는 액체 금속 원자로의 냉각재 순환 시스템에 있어서, 납-비스무스 액체 금속 냉각재를 사용하였을 경우의 시뮬레이션 실험 결과를 나타내는 액체 금속 원자로의 평면도이다.
- [0084] 도 4 및 도 5에서 보듯이, 시뮬레이션 실험을 통해, 본 발명에서 의도하는 로렌츠 힘을 발생시킴으로써 원자로 내에서 액체 금속 냉각재의 유동을 효과적으로 유도할 수 있음을 확인하였다.
- [0086] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될 수 있다.
- [0087] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

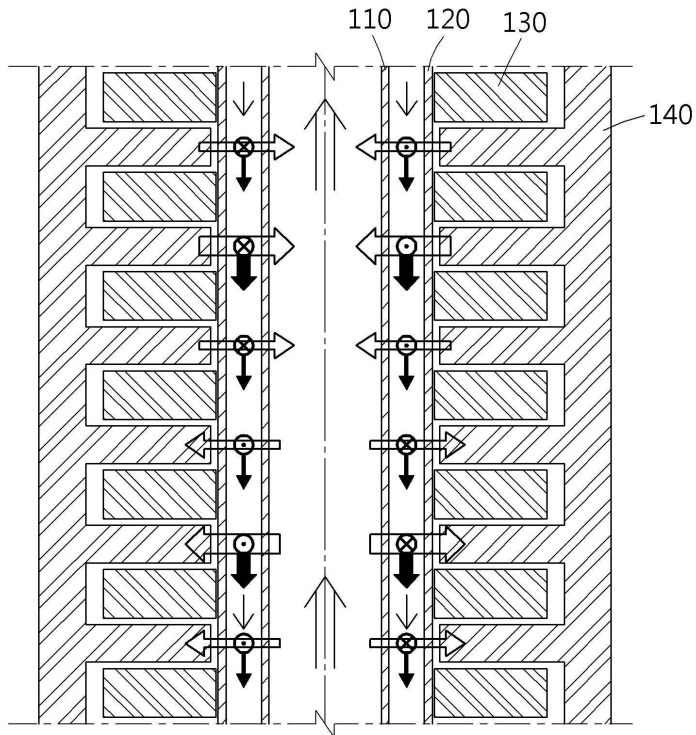
도면1



도면2



도면3

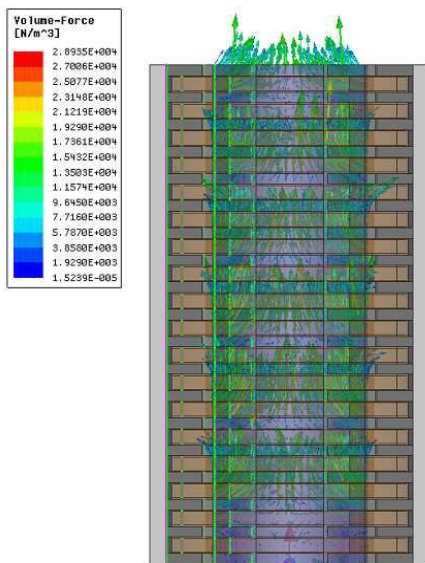


⇨ 반지름 방향 자기장

⊙ 원주 방향 전기장

➡ 축 방향 로렌즈 힘

도면4



도면5

