



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0085558
(43) 공개일자 2021년07월08일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G21C 15/247 (2006.01) G21C 19/04 (2006.01)
H02K 44/06 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G21C 15/247 (2013.01)
G21C 19/04 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0178719
(22) 출원일자 2019년12월30일
심사청구일자 없음

(71) 출원인
울산과학기술원
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50
(72) 발명자
김희령
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과
학기술원
박재식
울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과
학기술원
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
오위환, 나성곤, 정기택

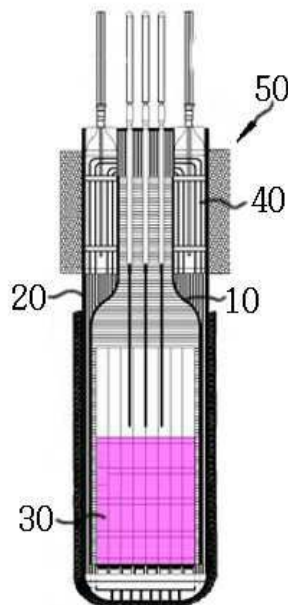
전체 청구항 수 : 총 4 항

(54) 발명의 명칭 초소형 원자로의 자기유체역학적 냉각재 이송 시스템

(57) 요약

본 발명은 납-비스무스와 같은 액체금속 냉각재를 사용하는 초소형 원자로에서, 자연 순환을 모사하기 위한 이중 구조를 지닌 순환루프의 외부에 3상 교류를 이용한 전자석을 부착하여 이동자계를 형성함으로써 비접촉 방식으로 액체금속 냉각재를 이송할 수 있는 초소형 원자로의 자기유체역학적 냉각재 이송 시스템에 관한 것으로, 본 발명 (뒷면에 계속)

대표도 - 도1



에 따른 초소형 원자로의 자기유체역학적 냉각재 이송 시스템은, 상하가 개방된 중공형 구조로서 내부에 액체금속 냉각재의 유동 공간을 포함하고, 내부 코어를 형성하는 내벽; 상기 내벽의 하부에 설치되어 발열하는 핵연료부; 상기 내벽의 외부에 상기 내벽과 일정 간격을 두고 설치되고 내벽과 동축 상으로 배치되는 외벽; 및, 상기 외벽의 외면을 감싸도록 형성되는 외부 코어와, 상기 외부 코어의 내측에 나선형으로 권선되어 3상 교류 전류가 인가되며 내부에 냉각수가 유동하는 중공관 형태로 된 도전성 금속 개질의 전자기 코일을 포함하는 전자펌프;를 포함하며, 상기 전자기 코일에 인가되는 3상 교류 전류에 의해 전자기장이 발생하여 하측으로의 로렌츠 힘이 발생하고, 상기 로렌츠 힘에 의해 상기 내벽과 상기 외벽 사이의 공간에서 액체금속 냉각재의 하강 유동이 유도될 수 있다.

(52) CPC특허분류

H02K 44/06 (2013.01)

(72) 발명자

황일순

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과학기술원

강태욱

울산광역시 울주군 언양읍 유니스트길 50 울산과학기술원

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	2019M2D1A1067205
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	원자력기술개발사업
연구과제명	핵연료-무교체 전수명 초소형 해양용 원자로 개념설계 핵심기술 개발연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	울산과학기술원
연구기간	2019.04.19 ~ 2019.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

상하가 개방된 중공형 구조로서 내부에 액체금속 냉각재의 유동 공간을 포함하고, 내부 코어를 형성하는 내벽;

상기 내벽의 하부에 설치되어 발열하는 핵연료부;

상기 내벽의 외부에 상기 내벽과 일정 간격을 두고 설치되고 내벽과 동축 상으로 배치되는 외벽; 및,

상기 외벽의 외면을 감싸도록 형성되는 외부 코어와, 상기 외부 코어의 내측에 나선형으로 권선되어 3상 교류 전류가 인가되며 내부에 냉각수가 유동하는 중공관 형태로 된 도전성 금속 개질의 전자기 코일을 포함하는 전자 펌프;

를 포함하며,

상기 전자기 코일에 인가되는 3상 교류 전류에 의해 전자기장이 발생하여 하측으로의 로렌츠 힘이 발생하고, 상기 로렌츠 힘에 의해 상기 내벽과 상기 외벽 사이의 공간에서 액체금속 냉각재의 하강 유동이 유도되는 초소형 원자로의 자기유체역학적 냉각재 이송 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 전자펌프는 복수개가 외벽에 직렬로 배열된 초소형 원자로의 자기유체역학적 냉각재 이송 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 전자기 코일에 인가되는 3상 교류 전류의 주파수를 변경하여 상기 외벽에 진동을 발생시켜 액체금속 냉각재에 의한 부산물이 외벽의 내면에 부착되는 것을 방지하는 초소형 원자로의 자기유체역학적 냉각재 이송 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서, 상기 전자펌프는 상기 외벽의 내측 공간 상부에 설치되는 열교환기와 인접한 위치에 설치되며, 상기 전자기 코일에 인가되는 3상 교류 전류의 주파수를 변경하는 인버터를 더 포함하여, 전자기 코일에 인가되는 3상 교류 전류의 주파수 변경을 통해 유도가열을 발생시켜 액체금속 냉각재의 고화를 방지하도록 된 초소형 원자로의 자기유체역학적 냉각재 이송 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 액체금속 냉각재를 사용하는 초소형 원자로에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 납-비스무스와 같은 액체금속 냉각재를 사용하는 초소형 원자로에 3상 교류를 이용한 전자석을 부착하여 이동자계를 형성함으로써 액체금속 냉각재를 이송할 수 있는 초소형 원자로의 자기유체역학적 냉각재 이송 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 4세대 원자로의 개발은 사고 시 발생할 수 있는 문제점을 해결하는 방향으로 이뤄지고 있으며 이러한 경향성을 따라 원자로의 소형화와 안정성 증가가 주요 목표로 고려되고 있다.

[0003] 납-비스무스 냉각재를 이용하는 초소형 원자로는 사고로 냉각재 순환계통이 마비되었을 때 위험한 상황이 발생하는 측면을 고려하여 자연 순환을 모사한 냉각재 순환이 일어나 사고 시에도 골든 타임을 충분히 확보할 수 있도록 개발된 원자로이다.

[0004] 다만 자연순환의 경우 원자로의 출력의 한계가 명확하게 낮아지는 단점이 존재하는데, 이러한 순환구조에서 초

소형의 설계를 고려한 공간적인 한계, 고온의 환경에서 납-비스무스에 의한 펌프 회전날의 부식성 등을 포함한 문제를 고려할 때 기존의 기계식 펌프보다 자기유체역학의 원리를 이용한 냉각재 이송 시스템이 적합하다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0005] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허 10-1935992호
(특허문헌 0002) 대한민국 등록특허 10-1355204호
(특허문헌 0003) 대한민국 등록특허 10-0294934호

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 본 발명은 납-비스무스와 같은 액체금속 냉각재를 사용하는 초소형 원자로에서, 자연 순환을 모사하기 위한 이중 구조를 지닌 순환루프의 외부에 3상 교류를 이용한 전자석을 부착하여 이동자계를 형성함으로써 비접촉 방식으로 액체금속 냉각재를 이송할 수 있는 초소형 원자로의 자기유체역학식 냉각재 이송 시스템을 제공함에 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0007] 상기한 목적을 달성하기 위한 본 발명에 따른 초소형 원자로의 자기유체역학식 냉각재 이송 시스템은, 상하가 개방된 중공형 구조로서 내부에 액체금속 냉각재의 유동 공간을 포함하고, 내부 코어를 형성하는 내벽; 상기 내벽의 하부에 설치되어 발열하는 핵연료부; 상기 내벽의 외부에 상기 내벽과 일정 간격을 두고 설치되고 내벽과 동축 상으로 배치되는 외벽; 및, 상기 외벽의 외면을 감싸도록 형성되는 외부 코어와, 상기 외부 코어의 내측에 나선형으로 권선되어 3상 교류 전류가 인가되며 내부에 냉각수가 유동하는 중공관 형태로 된 도전성 금속 개질의 전자기 코일을 포함하는 전자펌프;를 포함하며, 상기 전자기 코일에 인가되는 3상 교류 전류에 의해 전자기장이 발생하여 하측으로의 로렌츠 힘이 발생하고, 상기 로렌츠 힘에 의해 상기 내벽과 상기 외벽 사이의 공간에서 액체금속 냉각재의 하강 유동이 유도될 수 있다.
- [0008] 상기 전자펌프는 복수개가 외벽에 직렬로 배열될 수 있다.
- [0009] 본 발명의 자기유체역학식 냉각재 이송 시스템은, 상기 전자기 코일에 인가되는 3상 교류 전류의 주파수를 변경하여 상기 외벽에 진동을 발생시켜 액체금속 냉각재에 의한 부산물이 외벽의 내면에 부착되는 것을 방지할 수 있다.
- [0010] 또한 상기 전자펌프는 상기 외벽의 내측 공간 상부에 설치되는 열교환기와 인접한 위치에 설치되며, 상기 전자기 코일에 인가되는 3상 교류 전류의 주파수를 변경하는 인버터를 더 포함하여, 전자기 코일에 인가되는 3상 교류 전류의 주파수 변경을 통해 유도가열을 발생시켜 액체금속 냉각재의 고화를 방지할 수 있다.

발명의 효과

- [0011] 본 발명에 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.
- [0012] 또한 전자기 코일이 중공관 구조로 되어 내부에 냉각수가 유동할 수 있으므로 운전 중에 전자펌프의 온도 조절을 원활하게 수행함과 동시에 원자로가 과열되는 상황에서 비상 냉각 계통의 하나로 활용될 수 있는 효과도 있다.

도면의 간단한 설명

- [0013] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 초소형 원자로의 자기유체역학식 냉각재 이송 시스템을 나타낸 단면도이다.

도 2는 도 1에 도시한 자기유체역학적 냉각재 이송 시스템의 전자펌프의 구성을 나타낸 도면이다.

도 3은 도 1에 도시한 자기유체역학적 냉각재 이송 시스템의 전자펌프에 의한 냉각재 순환원리를 설명하는 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0014] 본 명세서에 기재된 실시예와 도면에 도시된 구성은 개시된 발명의 바람직한 일 예에 불과할 뿐이며, 본 출원의 출원시점에 있어서 본 명세서의 실시예와 도면을 대체할 수 있는 다양한 변형 예들이 있을 수 있다.
- [0015] 이하에서는 첨부된 도면을 참조하여 초소형 원자로의 자기유체역학적 냉각재 이송 시스템을 후술된 실시예들에 따라 구체적으로 설명하도록 한다. 도면에서 동일한 부호는 동일한 구성 요소를 나타낸다.
- [0016] 도 1 내지 도 3을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 초소형 원자로의 자기유체역학적 냉각재 이송 시스템은, 상하가 개방된 중공형 구조로서 내부에 액체금속 냉각재의 유동 공간을 포함하고 내부 코어를 형성하는 내벽(10)과, 상기 내벽(10)의 하부에 설치되어 발열하는 핵연료부(30), 상기 내벽(10)의 외부에 상기 내벽(10)과 일정 간격을 두고 설치되고 동일 중심축을 가지는 외벽(20), 상기 외벽(20)의 외면에 설치되어 상기 내벽(10)과 상기 외벽(20) 사이의 공간에서 액체금속 냉각재의 하강 유동을 유도하는 전자기장을 발생시키는 전자펌프(50)를 포함한다. 여기서 상기 전자펌프(50)는 상기 외벽(20)의 외면을 감싸도록 형성되는 외부 코어(51)와, 상기 외부 코어(51)의 내측에 나선형으로 권선되어 3상 교류 전류가 인가되며 내부에 냉각수가 유동하는 중공관 형태로 된 도전성 금속 개질의 전자기 코일(52) 및, 상기 전자기 코일(52)에 인가되는 3상 교류 전류의 주파수를 변경할 수 있는 인버터(미도시)를 포함한다.
- [0017] 상기 내벽(10)의 내측 공간에서는 핵연료부(30)의 가열에 의한 밀도차이에 의해 액체금속 냉각재(예를 들어 납-비스무스 냉각재)가 상승하고, 내벽(10)과 외벽(20) 사이의 이격된 공간에서 액체금속 냉각재가 중력의 작용 및 내벽(10) 내의 공간으로부터 연결된 유체의 흐름에 의해 하강하는 액체금속 냉각재의 자연순환이 발생한다.
- [0018] 상기 전자펌프(50)는 이러한 액체금속 냉각재의 자연순환에 의한 이송과 함께 자기 코일에 의해 발생하는 로렌츠 힘에 의한 추가적인 구동력을 발생시킨다. 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.
- [0019] 상기 내벽(10)은 상기 전자펌프(50)의 전자기 코일(52)에 3상 교류 전류가 인가될 때 내벽(10)과 외벽(20) 사이의 공간에서 하측으로의 로렌츠 힘을 발생시키고 내벽(10)의 내측 공간에서는 전자기장의 힘이 발생하지 않도록 하기 위한 내부코어의 기능을 한다. 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 내벽(10)의 소재는 액체금속 원자로에 적용되어 대량 생산이 가능하고 높은 온도에서 열역학적으로 안전한 내벽(10)을 형성할 수 있는 내식성 소재라면 특별히 한정하지 않는다. 본 발명의 일 측면에서는 내벽 내에 형성되는 액체금속 냉각재의 상승 유동 흐름이 아래쪽 방향으로 발생하는 로렌츠 힘에 의해 방해받지 않을 수 있는 재질로 상기 내벽(10)의 소재를 선택하여 설계할 수도 있다.
- [0020] 상기 내벽(10)과 외벽(20) 사이 공간의 상부에는 액체금속 냉각재의 열과 물과의 열교환이 발생하는 열교환기(40)가 설치되며, 상기 외부 코어(51) 및 전자기 코일(52)은 상기 열교환기(40)와 인접한 위치에 설치되는 것이 바람직하다.
- [0021] 상기 외부 코어(51)는 외벽(20)의 외면을 감싸도록 설치되며, 내측면에 전자기 코일(52)이 설치되는 공간이 나선형으로 형성될 수 있다.
- [0022] 상기 전자기 코일(52)은 외부 코어(51)의 내측 공간에 나선형으로 권선되면서 외벽(20)의 외면에 나선형으로 감겨지며, 외부의 전원공급장치로부터 3상 교류 전류가 인가되어 전자기장을 발생시킨다. 또한 상기 전자기 코일(52)은 내부에 냉각수가 유동하는 사각관 또는 원형관 형태의 중공관으로 이루어진다. 따라서 전자기 코일(52) 내부를 유동하는 냉각수에 의해 운전 중에 전자펌프(50)의 온도 조절을 원활하게 수행함과 동시에 원자로가 과열되는 상황에서 비상 냉각 계통의 하나로 활용될 수 있다.
- [0023] 이러한 전자펌프(50)의 전자기 코일(52)에 3상 교류 전류가 인가되면, 전자기장이 발생하게 된다. 도 3에서 원 안에 표시된 기호는 3상 교류 전류가 전자기 코일(52)에 흘렀을 때 형성되는 전기장의 방향을 나타내고 있다. 3

상 교류 전류는 정상과 형태의 전류를 형성하기에 전기장의 방향은 파동의 변위에 따라 지면에서 나오는 방향과 지면으로 들어가는 방향 두 가지로 형성될 수 있다. 한편, 자기장은 도 3에서 상대적으로 크게 표시된 화살표와 같은 방향으로 형성될 수 있다. 외부 코어(51)가 강자성체 등으로 형성되었을 경우에 전자기 코일(52)과의 관계에서 도 3과 같은 자기장을 형성할 수 있다. 분홍색으로 표시된 화살표는 로렌츠 힘의 크기 및 방향을 나타낸다. 발생한 전기장과 자기장의 존재로 인해 도 3의 내벽(10)과 외벽(20) 사이의 공간에는 상대적으로 작게 표시된 화살표와 같은 로렌츠 힘이 작용하게 된다.

[0024] 이러한 로렌츠 힘에 의해 내벽(10)과 외벽(20) 사이의 외측 유로에서 액체금속 냉각재의 흐름이 하측으로 유도되고, 이에 따라 내벽(10)의 내측 유로에서의 액체금속 냉각재의 흐름이 상기 외측 유로의 흐름에 의하여 보조될 수 있다. 따라서 원자로 내부의 원활한 냉각재 자연순환 흐름이 원자로 사고의 발생으로 인해 중단되더라도, 로렌츠 힘에 의해 유도된 외측 유로의 액체금속 냉각재의 흐름으로부터 내측 유로의 흐름까지 순환 구조가 형성되어 액체금속 냉각재의 순환 모델을 형성할 수 있다.

[0025] 또한 초소형 원자로는 특성상 핵연료 교체주기를 극단적으로 줄여 오랜 기간 동안 활용 가능하도록 설계된다. 따라서 재료의 수명에 의한 문제가 발생할 수 있다. 납-비스무스와 같은 액체금속 냉각재를 이용한 냉각 시스템의 경우 일부 부산물이 발생할 수 있는데 이러한 부산물이 유로의 내외벽에 부착될 경우 부식에 의한 내구성 문제가 발생한다. 이를 방지하기 위해 전자기 코일(52)에 인가되는 3상 교류 전류의 주파수를 인버터를 통해 변경하여 상기 외벽(20)에 진동을 발생시킴으로써 액체금속 냉각재에 의한 부산물이 외벽(20)의 내면 및 내벽(10)에 부착되는 것을 방지할 수 있다.

[0026] 또한 중대사고 시나리오중 하나로서 액체금속 냉각재의 고화에 의한 순환 불균형이 고려될 수 있는데, 이러한 문제는 액체금속 냉각재의 온도가 가장 낮아지며 접촉 면적이 높은 열교환기(40) 근처에서 발생할 수 있다. 이때, 인버터(미도시)를 통해서 전자펌프(50)의 전자기 코일(52)에 인가되는 3상 교류 전류의 주파수를 높게 변경하여 전자기 코일(52)에서 유도가열을 발생시키면, 액체금속 냉각재의 고화를 방지할 수 있다.

[0027] 한편 상기 전자펌프(50)는 단일체로 이루어질 수 있으나, 복수개가 외벽(20)에 직렬로 배열되게 구성될 수 있다. 예를 들어, 2m 크기의 전자펌프(50)를 단일하게 배치하는 대신 1m 크기의 전자펌프(50)를 직렬로 2개 배치함으로써 같은 공간에서 동일한 출력을 도출할 수 있다. 이렇게 2개의 전자펌프(50)를 직렬로 배치할 경우 원자력 발전소의 기본 보호 원칙인 다중성의 원칙을 지킴으로써 하나의 전자펌프(50)가 고장나는 상황에 직면하더라도 예방책으로서 활용 가능하며 원자로의 100 % 출력이 필요하지 않을 때 교대로 운용하여 운전수명의 증가 효과를 기대할 수 있다.

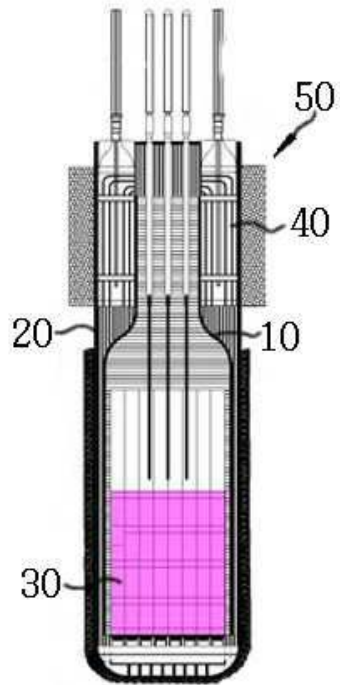
[0028] 이상에서 본 발명은 실시예를 참조하여 상세히 설명되었으나, 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기에서 설명된 기술적 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 여러 가지 치환, 부가 및 변형이 가능할 것임은 당연하며, 이와 같은 변형된 실시 형태들 역시 아래에 첨부한 특허청구범위에 의하여 정하여지는 본 발명의 보호 범위에 속하는 것으로 이해되어야 할 것이다.

부호의 설명

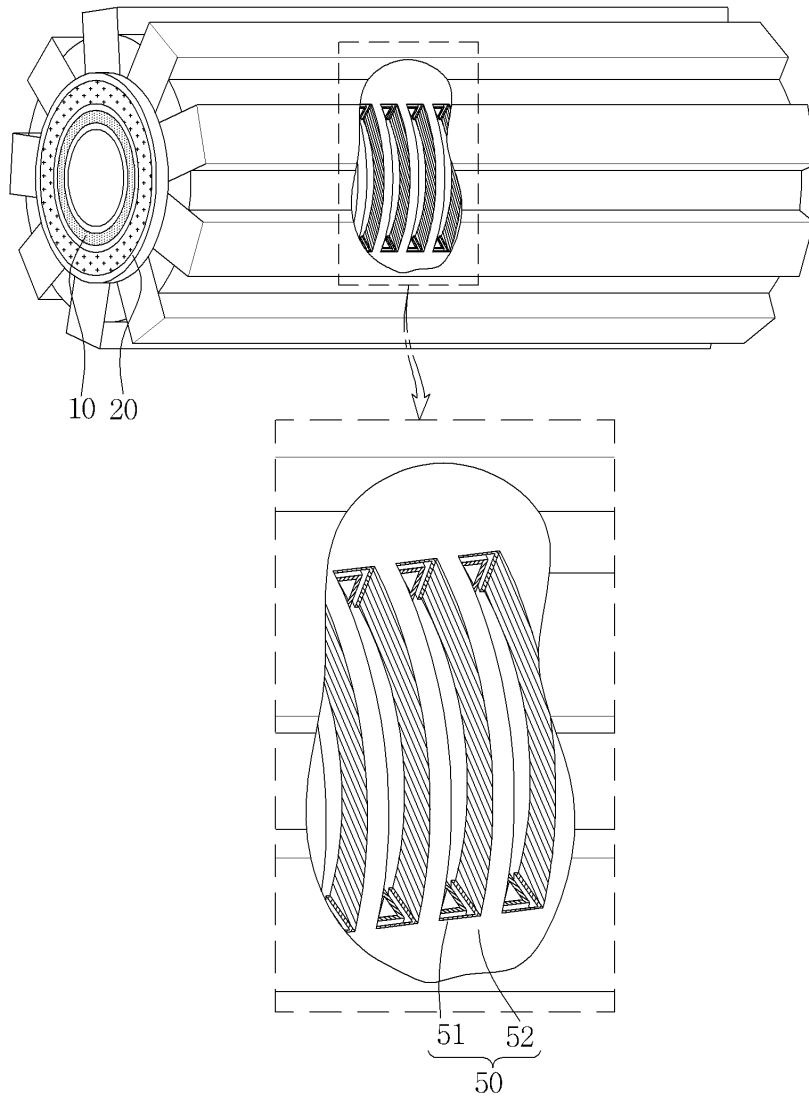
[0029] 10 : 내벽 20 : 외벽
30 : 핵연료부 40 : 열교환기
50 : 전자펌프 51 : 외부 코어
52 : 전자기 코일

도면

도면1



도면2



도면3

