



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년09월17일
(11) 등록번호 10-1553888
(24) 등록일자 2015년09월11일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G21C 15/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2013-0157560

(22) 출원일자 2013년12월17일

심사청구일자 2013년12월17일

(65) 공개번호 10-2015-0070872

(43) 공개일자 2015년06월25일

(56) 선행기술조사문헌

JP2002225573 A*

KR101313789 B1

JP2000320331 A

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

한국원자력연구원

대전광역시 유성구 대덕대로989번길 111(덕진동)

(72) 발명자

김태준

대전광역시 유성구 대덕대로925번길 29-11 (화암동)

정지영

대전광역시 유성구 엑스포로 448, 107동 1601호 (건민동, 엑스포아파트)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

박장원

전체 청구항 수 : 총 11 항

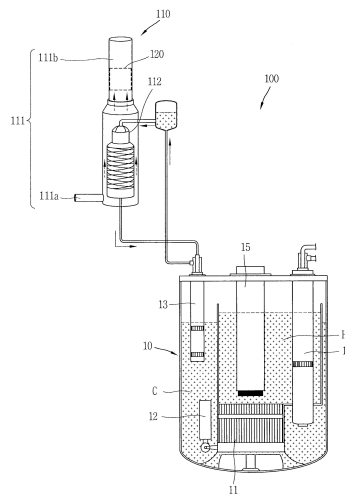
심사관 : 이용호

(54) 발명의 명칭 열교환기의 무전원 외부공기조절 자동댐핑장치

(57) 요약

본 발명은, 열교환기의 공기 유출구에 설치되는 프레임부, 및 상기 프레임부에 연결되는 바이메탈부재를 포함하며, 상기 바이메탈부재는 상기 공기 유출구를 흐르는 공기의 열에 의해 팽창 및 수축되어 공기의 유량을 조절하도록 형성되는 것을 특징으로 하는 열교환기의 무전원 외부공기조절 자동댐핑장치를 개시한다.

대표도 - 도2



(72) 발명자

어재혁

경기도 성남시 분당구 양현로166번길 20, 907동
1202호 (이매동, 이매촌동신9단지아파트)

이제환

대전광역시 서구 청사로 5, 105동 705호 (월평동,
하나로아파트)

홍종간

대전광역시 유성구 배울2로 42, 513동 403호 (관평
동, 신동아파밀리에)

김종만

대전광역시 유성구 배울2로 3, 801동 602호 (관평
동, 대덕테크노밸리8단지아파트)

이용범

대전광역시 유성구 어은로 57, 136동 1305호 (어은
동, 한빛아파트)

한도희

대전광역시 유성구 동서대로 725, 1212동 702호 (원
신흥동, 어울림하트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 53121-13

부처명 미래창조과학부

연구관리전문기관 한국원자력연구원

연구사업명 원자력연구개발사업

연구과제명 소듐냉각고속로 소듐 열유체 실증시험시설 구축 및 종합효과시험

기여율 1/1

주관기관 한국원자력연구원

연구기간 2012.03.04 ~ 2017.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

소듐냉각고속로의 피동잔열제거계통에 구비되는 소듐-공기 열교환기의 공기 유출구에 설치되는 프레임부; 및 상기 프레임부에 연결되고, 상기 공기 유출구를 흐르는 공기의 열에 의해 간격이 조절되어 공기의 유량을 조절하도록 형성되는 바이메탈부재를 포함하며,

상기 바이메탈부재는, 상기 열교환기의 전열관 튜브를 통과하는 소듐의 고화를 방지하도록, 팽창 및 수축되어 공기의 유출을 위한 간격이 조절되도록 구성되는 것을 특징으로 하는 열교환기의 무전원 외부공기조절 자동댐핑장치.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 바이메탈부재는 상기 공기 유출구의 상부를 향하여 스파이럴 형태로 감아 올라간 형태로 형성되어, 팽창 및 수축에 의해 간격이 조절되도록 이루어지는 것을 특징으로 하는 열교환기의 무전원 외부공기조절 자동댐핑장치.

청구항 3

제2항에 있어서,

상기 바이메탈부재는,

팽창시 인접한 부분이 보다 이격되게 배치되어 틈새로 공기를 유출시키도록 이루어지고,

수축시 인접한 부분이 보다 인접하게 배치되어 틈새로 공기가 유출되는 것을 제한하도록 이루어지는 것을 특징으로 하는 열교환기의 무전원 외부공기조절 자동댐핑장치.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 프레임부는,

상기 공기 유출구의 내측벽에 설치되고, 상기 바이메탈부재의 하단부가 지지되는 하부 고정틀;

상기 하부 고정틀에서 상기 공기 유출구의 상부를 향하여 연장되는 지지 프레임; 및

상기 지지 프레임에 설치되어 상기 하부 고정틀과 이격되게 배치되고, 상기 바이메탈부재의 상단부가 고정되는 상부 고정틀을 포함하는 열교환기의 무전원 외부공기조절 자동댐핑장치.

청구항 5

삭제

청구항 6

삭제

청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

청구항 9

삭제

청구항 10

삭제

청구항 11

소듐냉각고속로의 피동잔열제거계통에 구비되는 소듐-공기 열교환기의 공기 유출구에 설치되는 바이메탈부재를 포함하며,

상기 바이메탈부재는 상기 열교환기의 전열관 튜브를 통과하는 소듐의 고화를 방지하도록, 상기 공기 유출구를 흐르는 공기의 열에 의한 팽창 및 수축으로 간격이 조절되어 공기의 유량을 조절하도록 형성되는 것을 특징으로 하는 열교환기의 무전원 외부공기조절 자동댐핑장치.

청구항 12

열교환기의 공기 유출구에 설치되는 프레임부; 및

상기 프레임부에 연결되고, 상기 공기 유출구를 흐르는 공기의 열에 의해 간격이 조절되어 공기의 유량을 조절하도록 형성되는 바이메탈부재를 포함하며,

상기 바이메탈부재는, 상기 공기 유출구의 상부를 향하여 스파이럴 형태로 감아 올라간 형태로 형성되어, 팽창시 인접한 부분이 보다 이격되게 배치되어 틈새로 공기를 유출시키도록 이루어지고, 수축시 인접한 부분이 보다 인접하게 배치되어 틈새로 공기가 유출되는 것을 제한하도록 이루어지며,

상기 프레임부는,

상기 공기 유출구의 내측벽에 설치되고, 상기 바이메탈부재의 하단부가 지지되는 하부 고정틀;

상기 하부 고정틀에서 상기 공기 유출구의 상부를 향하여 연장되는 지지 프레임; 및

상기 지지 프레임에 설치되어 상기 하부 고정틀과 이격되게 배치되고, 상기 바이메탈부재의 상단부가 고정되는 상부 고정틀을 포함하는 열교환기의 무전원 외부공기조절 자동댐핑장치.

청구항 13

제4항 또는 제12항에 있어서,

상기 상부 고정틀에는 공기의 일정 유량이 유출될 수 있도록 홀이 형성되는 것을 특징으로 하는 열교환기의 무전원 외부공기조절 자동댐핑장치.

청구항 14

제4항 또는 제12항에 있어서,

상기 프레임부는,

상기 지지 프레임과 상기 바이메탈부재를 연결하는 연결부재를 더 포함하는 열교환기의 무전원 외부공기조절 자동댐핑장치.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 연결부재는 상기 바이메탈부재의 팽창 및 수축에 대응하여 길이가 각각 연장 및 단축될 수 있도록 슬라이드 이동 가능하게 구성되는 것을 특징으로 하는 열교환기의 무전원 외부공기조절 자동댐핑장치.

청구항 16

제4항 또는 제12항에 있어서,

상기 지지 프레임은 복수 개로 구비되어 상기 상부 고정틀을 중심으로 방사상으로 배치되는 것을 특징으로 하는 열교환기의 무전원 외부공기조절 자동댐핑장치.

청구항 17

제1항 또는 제12항에 있어서,

상기 바이메탈부재는 복수 개로 구비되어,

수축시 어느 하나의 바이메탈부재가 다른 하나의 바이메탈부재와 서로 중첩되게 배치되어 틈새로 공기가 유출되는 것을 제한하고,

팽창시 상기 어느 하나의 바이메탈부재와 상기 다른 하나의 바이메탈부재가 서로 이격되게 배치되어 틈새로 공기를 유출시키는 것을 특징으로 하는 열교환기의 무전원 외부공기조절 자동댐핑장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 열교환기의 내부를 일정 온도 이상으로 유지할 수 있는 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 소듐냉각고속로는 냉각재로 액체 금속인 소듐(나트륨)을 사용한다. 소듐은 녹는점이 98도로 낮고 끓는점은 883도로 매우 높다. 따라서, 노심 온도가 약 540도인 소듐냉각고속로 내부에서 대기압과 같은 1기압에서도 끓지 않아 고압으로 인한 폭발 위험이 적다.

[0003] 원자로 내부에는 노심의 열로 뜨거워진 소듐과 노심 바깥쪽의 차가운 소듐이 펌프로 인해 1차적으로 순환된다. 또한, 소듐냉각고속로에는 피동잔열제거계통이 구비되어, 전원이 끊겨 펌프가 작동하지 않아도 자연적인 대류 현상을 이용하여 노심 안쪽의 뜨거운 소듐을 냉각시킬 수 있도록 구성된다.

[0004] 피동잔열제거계통은 소듐냉각고속로 내부에 설치되는 소듐-소듐 열교환기(DHX) 및 외부에 설치되는 소듐-공기 열교환기(AHX)가 배관을 연결된 구조를 가진다. 노심의 뜨거운 소듐에 의해 데워진 소듐-소듐 열교환기의 소듐은 배관을 타고 소듐-공기 열교환기로 전달된다. 소듐-공기 열교환기에서는 차가운 공기가 지나가며 배관 내의 소듐을 식힌다. 차가워진 소듐은 다시 배관을 타고 소듐-소듐 열교환기로 돌아가 소듐냉각고속로 내부의 소듐을 식힌다. 즉, 피동잔열제거계통은 전력 없이 소듐의 온도 차이만으로 순환하며 노심의 열을 식히게 된다.

[0005] 한편, 소듐-공기 열교환기를 통과하는 공기의 양이 많아 내부 온도가 급격하게 떨어지면, 원자로와 소듐-공기 열교환기를 순환하는 소듐이 고화되어 노심 열제거가 안정적으로 이루어질 수 없게 된다.

[0006] 일반적으로, 온도를 조절하기 위하여 액추에이터(actuator)를 이용하고 있으나, 정전 사고 또는 원자로 붕괴와 같은 사고로 전기 공급이 차단되는 경우, 액추에이터의 구동이 멈춰 온도 조절이 불가능하다.

본 발명의 배경이 되는 기술은 일본 공개특허공보 특개2002-225573호 (2002.08.14.)에 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 소듐-공기 열교환기의 전열관 튜브를 통과하는 소듐의 고화가 방지될 수 있도록, 소듐-공기 열교환기 내부를 일정 온도 이상으로 유지할 수 있는 장치를 제공하는 데에 그 목적이 있다.

[0008] 본 발명은 소듐-공기 열교환기뿐만 아니라, 일반적인 열교환기, 굴뚝(stack) 등에 설치되어 무전원으로 일정 온도의 가스(배기 가스)를 배출할 수 있는 장치를 제공하는 데에도 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0009] 상기한 과제를 실현하기 위한 본 발명의 일 실시예와 관련된 열교환기의 무전원 외부공기조절 자동댐핑장치는, 열교환기의 공기 유출구에 설치되는 프레임부, 및 상기 프레임부에 연결되는 바이메탈부재를 포함하며, 상기 바이메탈부재는 상기 공기 유출구를 흐르는 공기의 열에 의해 간격이 조절되어 공기의 유량을 조절하도록 형성된

다.

- [0010] 본 발명과 관련된 일 예에 따르면, 상기 바이메탈부재는 상기 공기 유출구의 상부를 향하여 스파이럴 형태로 감아 올라간 형태로 형성되어, 팽창 및 수축에 의해 간격이 조절되도록 이루어진다.
- [0011] 상기 바이메탈부재는, 팽창시 인접한 부분이 보다 이격되게 배치되어 틈새로 공기를 유출시키도록 이루어지고, 수축시 인접한 부분이 보다 인접하게 배치되어 틈새로 공기가 유출되는 것을 제한하도록 이루어질 수 있다.
- [0012] 상기 프레임부는, 상기 공기 유출구의 내측벽에 설치되고 상기 바이메탈부재의 하단부가 지지되는 하부 고정틀과, 상기 하부 고정틀에서 상기 공기 유출구의 상부를 향하여 연장되는 지지 프레임, 및 상기 지지 프레임에 설치되어 상기 하부 고정틀과 이격되게 배치되고 상기 바이메탈부재의 상단부가 고정되는 상부 고정틀을 포함할 수 있다.
- [0013] 상기 상부 고정틀에는 공기의 일정 유량이 유출될 수 있도록 홀이 형성될 수 있다.
- [0014] 상기 프레임부는, 상기 지지 프레임과 상기 바이메탈부재를 연결하는 연결부재를 더 포함할 수 있다.
- [0015] 상기 연결부재는 상기 바이메탈부재의 팽창 및 수축에 대응하여 길이가 각각 연장 및 단축될 수 있도록 슬라이드 이동 가능하게 구성될 수 있다.
- [0016] 상기 지지 프레임은 복수 개로 구비되어 상기 상부 고정틀을 중심으로 방사상으로 배치될 수 있다.
- [0017] 본 발명과 관련된 다른 일 예에 따르면, 상기 열교환기는 소듐냉각고속로의 피동잔열제거계통에 구비되는 소듐-공기 열교환기이며, 상기 바이메탈부재는 상기 열교환기의 전열관 튜브를 통과하는 소듐의 고화를 방지하도록 팽창 및 수축되어 공기의 유출을 위한 간격이 조절되도록 구성된다.
- [0018] 본 발명과 관련된 또 다른 일 예에 따르면, 상기 바이메탈부재는 복수 개로 구비되어, 수축시 어느 하나의 바이메탈부재가 다른 하나의 바이메탈부재와 서로 중첩되게 배치되어 틈새로 공기가 유출되는 것을 제한하고, 팽창시 상기 어느 하나의 바이메탈부재와 상기 다른 하나의 바이메탈부재가 서로 이격되게 배치되어 틈새로 공기를 유출시키도록 구성된다.
- [0019] 아울러, 본 발명은, 열교환기의 공기 유출구에 설치되는 바이메탈부재를 포함하며, 상기 바이메탈부재는 상기 공기 유출구를 흐르는 공기의 열에 의해 간격이 조절되어 공기의 유량을 조절하도록 형성되는 열교환기의 무전원 외부공기조절 자동댐핑장치를 제안한다.

발명의 효과

- [0020] 본 발명에 의하면, 열교환기 내부의 온도가 올라가면, 바이메탈부재가 팽창하고, 그 팽창으로 인하여 생긴 틈새로 공기가 유출되어 내부의 온도가 낮아지게 된다. 내부의 온도가 낮아지면, 바이메탈부재가 수축되어 상기 틈새가 닫혀 내부의 온도가 올라가게 된다.
- [0021] 이러한 열교환기가 소듐냉각고속로의 피동잔열제거계통에 구비되는 소듐-공기 열교환기에 적용되는 경우, 소듐-공기 열교환기 내부의 온도가 일정 수준 이상으로 유지되어, 전열관 튜브를 흐르는 소듐의 고화가 방지될 수 있다. 아울러, 상기 메커니즘은 별도의 전원 공급이 없이도 공기의 온도 변화에 따라 자동으로 작동하게 되므로, 사고가 발생하여 전기 공급이 차단되더라도 노심 열제거가 안정적으로 이루어질 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0022] 도 1은 소듐냉각고속로 열수송계통을 설명하기 위한 개념도.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 소듐냉각고속로의 피동잔열제거계통을 보인 개념도.
- 도 3a 및 3b는 도 2에 도시된 무전원 외부공기조절 자동댐핑장치의 작동 개념을 보인 도면들.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 이하, 본 발명에 관련된 열교환기의 무전원 외부공기조절 자동댐핑장치에 대하여 도면을 참조하여 보다 상세하게 설명한다.
- [0024] 본 발명을 설명함에 있어서, 공지된 기능 혹은 구성에 대해 구체적인 설명은 본 발명의 요지를 명료하게 하기 위하여 생략될 수 있다. 또한, 본 명세서에서 사용되는 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한

복수의 표현을 포함한다.

- [0025] 이하에서는 본 발명의 자동댐핑장치가 소듐냉각고속로의 피동잔열제거계통에 구비되는 소듐-공기 열교환기에 설치되는 경우를 예로 들어 설명한다. 그러나 본 발명이 반드시 이러한 예에 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 자동댐핑장치는 일반적인 열교환기, 굴뚝(stack) 등에 설치되어 무전원으로 일정 온도의 가스(배기 가스)를 배출하도록 구성될 수도 있다.
- [0026] 도 1은 소듐냉각고속로 열수송계통을 설명하기 위한 개념도이다.
- [0027] 도 1을 참조하면, 정상운전 중 PHTS 내부의 소듐은 노심에서 고온으로 가열되어, 고온풀에 유입된 후 IHX를 통과하면서 PHTS의 열을 IHTS로 전달하고 냉각된다. IHX를 통과하면서 냉각된 소듐은 저온풀에 모인 후 PHTS 펌프를 거쳐 다시 노심으로 유입되면서 노심, 고온풀, IHX 셸(shell) 측, 저온풀, PHTS 펌프, PHTS 펌프 방출배관 및 노심 입구플레넘(inlet plenum)으로 연결되는 소듐냉각고속로 내부 소듐 풀의 순환유로를 형성한다.
- [0028] 중간열교환기(Intermediate Heat Exchanger: IHX)는 PHTS 소듐으로부터 IHTS 소듐으로 열을 전달하는 열교환기로서, 방사능을 띄는 PHTS 소듐을 비방사능의 IHTS 소듐과 격리시키고 방사성 소듐을 격납경계 내부로 고립시키는 물리적 방벽기능을 제공한다.
- [0029] IHX는 원통 형태로서 PHTS와 IHTS 사이의 열전달을 위한 전열관 다발과 IHTS 소듐의 유동을 위한 통로 역할을 하는 배관으로 구성된다. IHX의 유량분배와 열용력에 의한 구조물의 건전성 유지를 위해 상부 튜브시트는 IHX의 통에 고정되어 있으나, 하부 튜브시트는 floating 형태로 튜브 자체에 의해 지지되는 설계상의 특징을 갖는다.
- [0030] PHTS 소듐은 IHX 셸 측을 통하여 하방향으로 유동하고 중앙배관을 통하여 유입된 저온의 IHTS 소듐은 전열관 내부를 통해 상방향으로 유동하는 대향류(counter-current flow) 열교환 방식이다. PHTS 소듐은 고온풀에서 IHX의 상부 튜브시트 바로 아래에 있는 IHX 입구노즐을 통하여 유입된 후, 전열관 다발을 거쳐 하방향으로 유동하여 IHX 도출 노즐을 통해 저온풀로 방출된다. 이와 같은 유동에 의하여 IHX의 셸 측에서 발생하는 압력 손실은 정상운전 중 저온풀과 고온풀의 액위 차이로 나타나게 된다.
- [0031] 소듐냉각고속로의 잔열제거는 증기발생계통(SGS)의 복수기 냉각, 능동형 잔열제거계통(Active Decay Heat Removal System: ADHRS), 그리고 피동형 잔열제거계통(Passive Decay Heat Removal System: PDHRS)을 통해서 이루어진다. PHTS, IHTS 및 SGS 주복수기 냉각으로 이루어지는 정상 열제거 경로는 정상출력운전 모드 및 출력운전에서 재발전 모드에 이르는 발전소 계획정지 시에 활용된다. 중간열교환기의 전열관 막힘 또는 증기발생기 급수계통의 파손 및 유지/보수 등으로 인해 정상 열전달 경로의 사용이 불가능한 경우에는 노심 및 소듐 냉각재 압력경계의 온도 제한치를 초과하지 않고 계통을 안전한 상태로 냉각할 수 있도록 적절한 비상노심 잔열제거 방법이 제공되어야 한다. 이들 잔열제거계통 중 SGS와 ADHRS는 능동형 계통이며, PDHRS는 피동형 잔열제거계통으로 운전원의 개입 없이도 신뢰성 높은 비상 잔열제거 수단을 제공하도록 설계된 것이 특징이다.
- [0032] 안전등급 잔열제거계통(Decay Heat Removal System: DHRS)은 발전소 수명기간 동안에 어떠한 형태의 설계기준 사고가 발생하더라도 소듐냉각고속로의 열을 최종 열침원인 대기 중으로 제거할 수 있는 안정적인 성능이 확보되어야 한다. 소듐냉각고속로의 안전등급 잔열제거계통은 ADHRS와 PDHRS로 분류되며, 다양성(diversity) 및 다중성(redundancy) 확보를 위해 독립적인 4개의 잔열제거 루프(PDHRS 루프 2개 및 ADHRS 루프 2개)로 구성된다.
- [0033] 소듐냉각고속로의 안전등급 잔열제거계통은 노심 잔열을 포함하는 일차계통 열제거를 위해 소듐냉각고속로 풀에 DHX(sodium-to-sodium Decay Heat Exchanger)를 설치하고, 별도의 제열용 소듐 루프에 연결된 소듐-공기 열교환기를 이용하여 계통의 열을 최종 열침원인 대기 중으로 방출시키는 개념이다. PHTS의 방사화된 소듐은 DHX에서 방사화되지 않은 순수 소듐인 ADHRS 및 PDHRS 루프의 소듐과 물리적으로 분리된 상태에서 열교환을 수행하므로, 소듐-공기 열교환기에서의 소듐 전열관 결함이 발생하더라도 대기 중으로의 방사능 누출을 원천적으로 방지할 수 있다.
- [0034] 소듐냉각고속로 풀(pool)에서 대기로 이어지는 일련의 열제거 경로 상에서 소듐-공기 열교환기 셸측의 공기측 대류 전열저항은 전체 전열저항의 97% 이상을 차지하므로, 소듐-공기 열교환기의 성능이 전체 잔열제거계통 성능을 결정하는 중요한 인자가 된다. 따라서 소듐냉각고속로의 잔열제거계통은 다양성 및 다중성 확보를 위하여 능동형 및 피동형 잔열제거계통에 서로 다른 형태의 소듐-공기 열교환기를 도입하였다. 능동형 ADHRS 계통은 공기 송풍기(blower)를 이용한 강제통풍 냉각을 수행하므로 핀(fin)이 부착된 직관형 소듐 전열관을 사용하는 FHX(Forced-draft sodium-to-air Heat Exchanger)를 적용하였다. 반면, 피동형 PDHRS의 경우에는 능동형 기기의 사용 없이 자연통풍에 의한 공기냉각을 수행하므로 핀(fin)이 없는 헬리컬(helical) 형태의 소듐 전열관을 다중 열(row)로 배치하는 개념의 AHX(sodium-to-Air Heat Exchanger)를 적용하여 핀(fin) 없이도 전열면적을

극대화할 수 있도록 설계되었다.

- [0035] 소듐-소듐 잔열교환기(DHX)는 소듐냉각고속로 정지 후 노심 잔열 발생에 의해 PHTS 소듐 풀에 축적된 열을 소듐 냉각고속로 건물 상단에 설치된 소듐-공기 열교환기(AHX, FHX)와 연결된 잔열제거 소듐 루프로 전달하는 기능을 수행할 뿐만 아니라, 방사화된 PHTS의 소듐이 잔열제거 소듐루프 또는 격납계통 외부로 누출되지 않도록 하는 방벽 기능을 수행하는 기기이다. 따라서 소듐-공기 열교환기 전열관 등에서의 예기치 않은 소듐 누설 등에 대비하여 DHX 전열관의 건전성 유지가 매우 중요하다.
- [0036] shell-and-tube 타입 열교환기인 DHX는 소듐냉각고속로 저온 소듐 풀에 배치된다. PHTS 소듐이 DHX 셸 측을 통하여 하방향으로 유동하고 DHX 중앙의 소듐 하향유로 배관을 통하여 유입된 저온의 잔열제거 루프 소듐은 전열관의 내부를 통해 상방향으로 유동하면서 열교환을 수행하는 대향류(counter-current flow) 방식의 열교환기 구조를 갖는다. 저온 풀 상부의 소듐은 DHX의 상부 튜브시트 바로 아래에 있는 DHX 입구노즐을 통하여 유입된 후 DHX 전열관 다발을 거쳐 하방향으로 유동하면서 냉각되며, DHX를 거치면서 냉각된 PHTS 소듐은 DHX 하부에 위치한 출구노즐을 통해 저온 소듐 풀 하부 지역으로 방출된다.
- [0037] 전열관측 소듐은 잔열제거 루프 저온관(cold-leg)과 연결되어 열교환기 중앙에 위치하는 저온 소듐 하향유로관(cold sodium downcomer)을 통해 DHX 하부 소듐 챔버(Lower Sodium Chamber)로 유입된 후, DHX 하부 튜브시트를 통해 각각의 소듐 전열관으로 분배되도록 설계되었다. 이 때, DHX의 중앙 하향유로관은 전열관 측 하향 소듐이 DHX 하부 소듐챔버(Lower Sodium Chamber)로 유입되기 전에 셸 측 고온 소듐에 의해 가열되는 것을 방지하기 위해서 이중관으로 설계하였다. 이 경우 단일관 사용시에 비해 이중관 사이의 가스층에 의해 DHX 셸 측 고온 소듐에서 하향유로관으로의 열속을 감소시켜 DHX 하부 소듐챔버로 유입되는 소듐의 온도 상승을 억제하는 효과가 있다.
- [0038] 각각의 전열관으로 유입된 저온 소듐은 직관형 전열관 내부를 따라 수직 상방향으로 유동하면서 PHTS 고온 소듐과의 대향류(Counter-current Flow) 열교환을 수행하는 구조이다. DHX 전열관에서 가열된 소듐은 DHX 상단의 동축배관부 소듐 챔버(co-axial part sodium chamber)에서 다시 모여 잔열제거 루프의 고온관(hot-leg)을 통해 소듐-공기 열교환기로 순환하면서 DHX → 잔열제거루프 고온관 → 소듐-공기 열교환기 → 잔열제거루프 저온관 → DHX로 구성되는 폐순환 유로를 형성하여 계통의 열을 대기중으로 방출한다.
- [0039] 이하, 소듐-공기 열교환기의 전열관 튜브를 통과하는 소듐의 고화가 방지될 수 있도록, 소듐-공기 열교환기 내부를 일정 온도 이상으로 유지할 수 있는 장치에 대하여 설명한다.
- [0040] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 소듐냉각고속로(10)의 피동잔열제거계통(100)을 보인 개념도이다.
- [0041] 소듐냉각고속로(10) 내부에는 노심(11)의 열로 뜨거워진 소듐(H)과 노심(11) 바깥쪽의 차가운 소듐(C)이 펌프(12)로 인해 1차적으로 순환된다. 또한, 소듐냉각고속로(10)에는 피동잔열제거계통(100)이 구비되어, 전원이 끊겨 펌프(12)가 작동하지 않아도 자연적인 대류 현상을 이용하여 노심(11) 안쪽의 뜨거운 소듐(H)을 냉각시킬 수 있도록 구성된다.
- [0042] 피동잔열제거계통(100)은 소듐냉각고속로(10) 내부에 설치되는 소듐-소듐 열교환기(DHX, 13) 및 외부에 설치되는 소듐-공기 열교환기[AHX(110), FHX]가 배관으로 연결된 구조를 가진다. 본 도면에서는 소듐-소듐 열교환기(13)에 자연 냉각 소듐-공기 열교환기(110)가 연결된 구조를 예시하고 있다. 그러나 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니다. 소듐-소듐 열교환기(13)에는 강제 순환 소듐-공기 열교환기(FHX)가 연결될 수도 있고, 도 1에 도시된 바와 같이 피동잔열제거계통(100)은 자연 냉각 소듐-공기 열교환기(110)와 강제 순환 소듐-공기 열교환기(FHX)를 모두 구비할 수도 있다.
- [0043] 노심(11)의 뜨거운 소듐에 의해 데워진 소듐-소듐 열교환기(13)의 소듐은 배관을 타고 소듐-공기 열교환기(110)로 전달된다. 소듐-공기 열교환기(110)에서는 차가운 공기가 지나가며 배관 내의 소듐을 식힌다. 차가워진 소듐은 다시 배관을 타고 소듐-소듐 열교환기(13)로 돌아가 소듐냉각고속로(10) 내부의 소듐을 식힌다.
- [0044] 이처럼, 피동잔열제거계통(100)은 전력 없이 소듐의 온도 차이만으로 무한 순환하는 냉각 시스템이다.
- [0045] 소듐-공기 열교환기(110)는 외부 챔버(111) 및 내부 챔버(112)를 포함한다.
- [0046] 외부 챔버(111)는 내부 챔버(112)를 수용하고, 소듐을 냉각시키는 외부 공기가 유입 및 유출되는 공기 유입구(111a)와 공기 유출구(111b)를 각각 구비한다.
- [0047] 내부 챔버(112)는 소듐이 흐르는 전열관 튜브를 구비한다. 챔버 상부와 하부 사이에는 전열관 튜브를 지지하는

튜브 시트가 추가로 구비될 수 있다. 강제 순환 소듐-공기 열교환기(FHX)의 경우에는, 공기의 강제 유입을 위한 핀(fin)이 추가로 구비될 수 있다.

- [0048] 도3a 및 3b는 도 2에 도시된 무전원 외부공기조절 자동댐핑장치(120)의 작동 개념을 보인 도면들로서, 도 3a는 자동댐핑장치(120)가 닫힌 상태(closed state)를 나타내며, 도 3b는 자동댐핑장치(120)가 열린 상태(open state)를 나타낸다.
- [0049] 본 도면들을 참조하면, 자동댐핑장치(120)는 소듐-공기 열교환기(110)에 설치되어 소듐-공기 열교환기(110)를 통과하는 공기의 유량을 조절하도록 이루어진다. 자동댐핑장치(120)는 기존의 소듐-공기 열교환기(110)에 설치될 수 있으며, 설치가 용이하도록 모듈화될 수 있다. 자동댐핑장치(120)는 자연 냉각 소듐-공기 열교환기(110)뿐만 아니라, 강제 순환 소듐-공기 열교환기(FHX)에도 구비될 수 있다.
- [0050] 자동댐핑장치(120)는 프레임부(121) 및 바이메탈부재(bimetal member, 122)를 포함한다.
- [0051] 프레임부(121)는 바이메탈부재(122)가 소듐-공기 열교환기(110)에 안정적으로 설치될 수 있는 뼈대를 마련하는 부분으로서, 소듐-공기 열교환기(110)의 공기 유출구(111b)에 설치된다. 프레임부(121)의 상세 구조의 일 예에 대해서는 후술하기로 한다.
- [0052] 바이메탈부재(122)는 열팽창계수가 다른 서로 다른 종류의 금속부재를 붙여 만든 것으로, 열을 가했을 때 휘는 성질을 나타낸다. 이러한 휘는 성질을 이용하여, 바이메탈부재(122)는 공기 유출구(111b)를 흐르는 공기의 열에 의해 간격이 조절되어 공기의 유량을 조절하도록 이루어진다. 바이메탈부재(122)의 휘어짐과 관련한 특성은 소듐-공기 열교환기(110)의 전열관 튜브를 흐르는 소듐의 고화를 방지할 수 있는 조건과 관련하여 결정될 수 있다.
- [0053] 본 도면들에서는, 바이메탈부재(122)가 공기 유출구(111b)의 상부를 향하여 스파이럴(spiral) 형태로 감아 올라간 형태로 형성되어, 팽창 및 수축에 의해 간격이 조절되도록 구성된 것을 예시하고 있다. 즉, 본 실시예에서는 하나의 바이메탈부재(122)가 상부의 뿔이 잘린 원뿔 형태를 이루는 것을 보이고 있다.
- [0054] 그러나 바이메탈부재(122)는 이러한 형태에 한정되는 것은 아니다. 바이메탈부재(122)는 공기 유출구(111b)를 흐르는 공기의 열에 의해 간격이 조절되어 공기의 유량을 조절할 수 있는 구조라면, 다른 형태로 구성될 수도 있고, 복수의 바이메탈부재(122)로 이루어질 수도 있다.
- [0055] 예를 들어, 따로 도시하지는 않았으나, 바이메탈부재(122)는 복수 개로 구비되어, 수축시 어느 하나의 바이메탈부재(122)가 다른 하나의 바이메탈부재(122)와 서로 중첩되게 배치되어 틈새로 공기가 유출되는 것을 제한하고, 팽창시 상기 어느 하나의 바이메탈부재(122)와 상기 다른 하나의 바이메탈부재(122)가 서로 이격되게 배치되어 틈새로 공기를 유출시키도록 구성될 수 있다.
- [0056] 소듐-공기 열교환기(110)를 통과하는 공기는 바이메탈부재(122)에 의해 형성되는 내부공간으로 유입되게 된다. 내부공간으로 유입된 공기의 온도에 따라 바이메탈부재(122)는 팽창 또는 수축될 수 있다. 즉, 내부공간으로 유입된 공기의 온도가 일정 온도 이상이면 바이메탈부재(122)는 늘어나 전체적으로 팽창된 형태를 이루게 되고, 내부공간으로 유입된 공기의 온도가 일정 온도 이하이면 바이메탈부재(122)는 수축되어 전체적으로 수축된 형태를 이루게 된다.
- [0057] 바이메탈부재(122)는, 팽창시 인접한 부분이 보다 이격되게 배치되어 틈새로 공기를 유출시키도록 구성되고, 수축시 인접한 부분이 보다 인접하게 배치되어 틈새로 공기가 유출되는 것을 제한하도록 구성된다. 상기 수축시 인접한 부분의 적어도 일부는 서로 중첩되게 배치될 수 있다.
- [0058] 프레임부(121)는 하부 고정틀(121a), 지지 프레임(121b) 및 상부 고정틀(121c)을 포함할 수 있다.
- [0059] 하부 고정틀(121a)은 공기 유출구(111b)의 내측벽에 설치되고, 바이메탈부재(122)의 하단부가 지지되는 공간을 마련한다. 하부 고정틀(121a)은 링 형태로 형성되어 공기 유출구(111b)의 내측벽에 설치되거나, 복수 개로 구비되어 상기 내측벽에 일정 간격으로 이격되게 설치될 수 있다.
- [0060] 지지 프레임(121b)은 하부 고정틀(121a)에서 공기 유출구(111b)의 상부를 향하여 연장된다. 지지 프레임(121b)은 복수 개로 구비되어, 상부 고정틀(121c)을 중심으로 방사상으로 배치될 수 있다.
- [0061] 상부 고정틀(121c)은 지지 프레임(121b)에 설치되어 하부 고정틀(121a)과 이격되게 배치된다. 상부 고정틀(121c)에는 바이메탈부재(122)의 상단부가 고정된다. 따라서, 공기 유출구(111b)의 상부를 향하여 스파이럴 형태로 감아 올라간 바이메탈부재(122)는 하부로 밀려 내려오지 않고 공중에 부양된 것과 같은 형태로 유지되게

된다.

- [0062] 상부 고정틀(121c)에는 바이메탈부재(122)에 의해 형성되는 내부공간과 연통되는 홀(121c')이 형성되어, 공기의 일정 유량이 유출될 수 있도록 한다. 다시 말해서, 바이메탈부재(122)가 온도 상승에 의해 팽창되기 전 상태에서, 상기 내부공간으로 유입된 공기의 일정 유량은 홀(121c')을 통하여 유출되게 된다. 물론, 바이메탈부재(122)가 팽창된 경우에도 공기의 일정 유량은 홀(121c')을 통하여 유출될 수 있다.
- [0063] 또한, 프레임부(121)는 지지 프레임(121b)과 바이메탈부재(122)를 연결하여, 바이메탈부재(122)의 처짐을 방지하는 연결부재(121d)를 더 포함할 수 있다. 연결부재(121d)는 슬라이드 이동 가능하게 구성되어, 바이메탈부재(122)의 팽창 및 수축에 대응하여 길이가 각각 길어지거나 짧아지도록 이루어진다.
- [0064] 연결부재(121d)는 복수 개로 구비되어 바이메탈부재(122)에 각각 설치될 수 있다. 본 도면들에서는, 바이메탈부재(122)에 기설정된 간격을 두고 복수의 연결부재(121d)가 설치되어 프레임과 연결된 것을 예시하고 있다. 이러한 연결부재(121d)에 의하여, 공기의 유동에 의한 바이메탈부재(122)의 흔들림이 최소화될 수 있다.
- [0065] 이하, 열교환기 내부의 온도를 일정 수준으로 유지하는 자동댐핑장치(120)의 메커니즘에 대하여 보다 구체적으로 설명한다.
- [0066] 도 3a에 도시된 바와 같이, 소듐-공기 열교환기(110)로 유입되는 공기의 온도가 일정 온도 이하일 경우, 바이메탈부재(122)는 인접한 부분들 간의 틈새로 공기가 유출되는 것을 제한하도록 이루어진다. 즉, 바이메탈부재(122)는 초기의 수축된 상태를 유지하거나, 팽창된 상태에서 수축된 상태로 변형되게 된다.
- [0067] 이때, 상기 틈새는 최소화되어 아주 작은 간극을 형성하거나, 은폐될 수 있다. 예를 들어, 바이메탈부재(122)에서 인접한 부분들이 서로 중첩되게 배치되는 경우, 상기 틈새는 은폐될 수 있다. 도 3a에 도시된 바와 같이, 틈새가 줄어든 상태는 자동댐핑장치(120)가 닫힌 상태로 명명될 수 있으며, 반대로 도 3b에 도시된 바와 같이, 틈새가 벌어진 상태는 자동댐핑장치(120)가 열린 상태로 명명될 수 있다.
- [0068] 자동댐핑장치(120)가 닫힘에 따라 공기의 유량이 줄어들면, 소듐-공기 열교환기(110)의 내부 온도는 올라가게 된다. 그 결과, 도 3b에 도시된 바와 같이, 일정 온도 이상의 뜨거운 공기가 바이메탈부재(122)를 팽창시키게 되고, 이러한 팽창에 의해 인접한 부분들 간의 간격이 벌어져 그 틈새로 뜨거운 공기가 유출되게 된다.
- [0069] 뜨거운 공기가 유출되면, 소듐-공기 열교환기(110)의 내부 온도는 내려가게 된다. 유입되는 공기의 온도가 일정 온도 이하로 떨어지면, 바이메탈부재(122)는 수축되어 상기 틈새는 다시 좁아지게 된다. 즉, 도 3a에 도시된 닫힌 상태로 다시 되돌아가게 된다.
- [0070] 이처럼, 본 발명에 의하면, 자동댐핑장치(120)가 닫힌 상태와 열린 상태가 반복되면서, 소듐-공기 열교환기(110)의 내부 온도는 일정 온도 이상으로 유지될 수 있다. 따라서, 이러한 메커니즘에 의해, 전열관 튜브를 흐르는 소듐의 고화가 방지될 수 있다.
- [0071] 아울러, 상기 메커니즘은 별도의 전원 공급이 없이도 공기의 온도 변화에 따라 자동으로 작동하게 되므로, 사고가 발생하여 전기 공급이 차단되더라도 노심(11) 열제거가 안정적으로 이루어질 수 있다.
- [0072] 이상에서 설명한 열교환기의 무전원 외부공기조절 자동댐핑장치는 위에서 설명된 실시예의 방법과 구성에 한정되지 않는다. 본 발명은 기술사상이 보호되는 범위 이내에서 다양하게 수정 및 변형될 수 있다. 본 발명의 기술사상은 설명된 실시예에 국한되어 정해져서는 안되며, 후술하는 특허청구범위뿐 아니라 이 특허청구범위와 균등하거나 등가적 변형이 있는 모든 것들은 본 발명 사상의 범주에 속한다고 할 것이다.

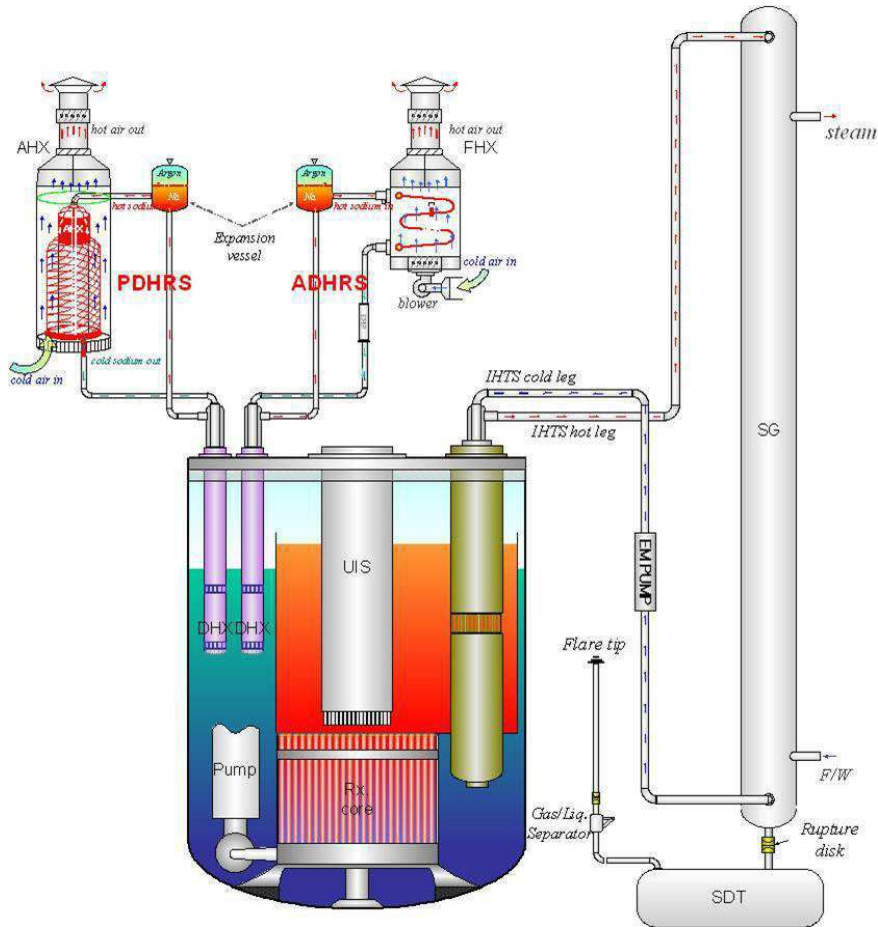
부호의 설명

- [0073]
- | | |
|---------------|-----------------|
| 10: 소듐냉각고속로 | 11: 노심 |
| 12: 펌프 | 13: 소듐-소듐 열교환기 |
| 14: 중간열교환기 | 15: UIS |
| 100: 피동간열제거계통 | 110: 소듐-공기 열교환기 |
| 111: 외부 챔버 | 111a: 공기 유입구 |
| 111b: 공기 유출구 | 112: 내부 챔버 |

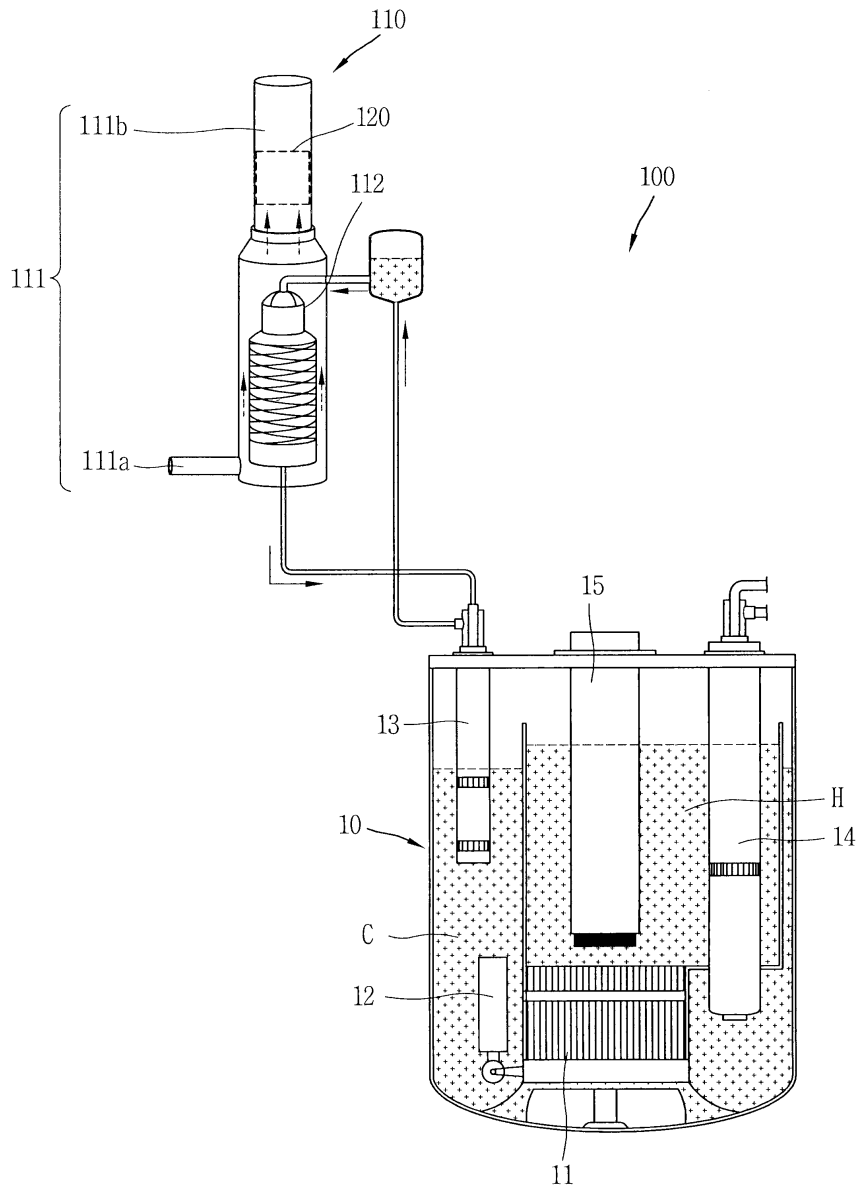
- | | |
|--------------|--------------|
| 120: 자동담핑장치 | 121: 프레임부 |
| 121a: 하부 고정틀 | 121b: 지지 프레임 |
| 121c: 상부 고정틀 | 121c': 홀 |
| 121d: 연결부재 | 122: 바이메탈부재 |

도면

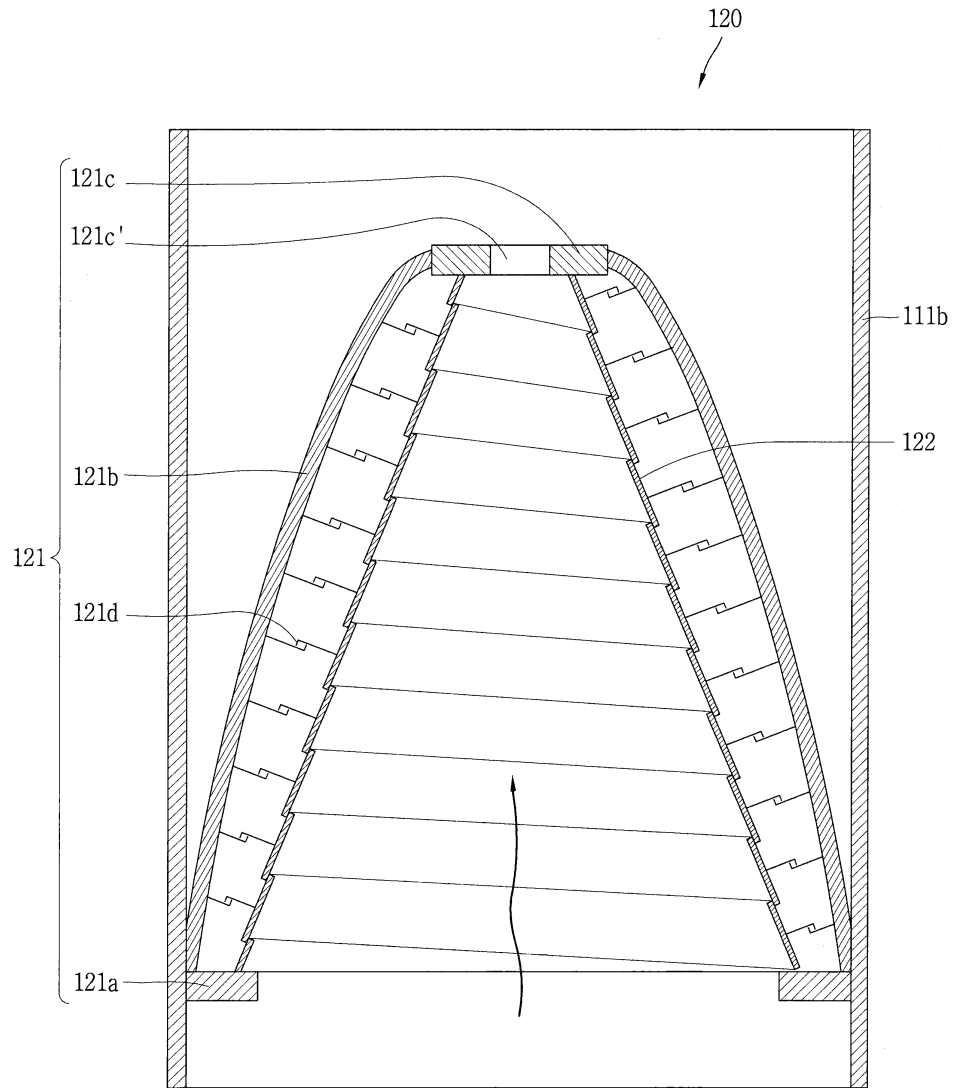
도면1



도면2



도면3a



도면3b

