



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2015년11월19일
(11) 등록번호 10-1570075
(24) 등록일자 2015년11월12일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G21C 17/06 (2006.01) G21C 17/02 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2013-0157562
(22) 출원일자 2013년12월17일
심사청구일자 2013년12월17일
(65) 공개번호 10-2015-0070873
(43) 공개일자 2015년06월25일
(56) 선행기술조사문헌
JP2002341081 A*
JP2012173172 A*
KR1020090033344 A
KR1020090102079 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 6 항

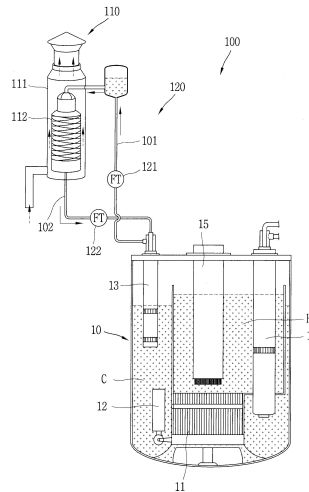
심사관 : 이용호

(54) 발명의 명칭 열교환기의 누출감지장치 및 그 방법

(57) 요약

본 발명은, 제1열교환기에서 제2열교환기로 유체가 이동되는 제1배관에 설치되어 상기 유체의 유량을 측정하는 제1유량센서와, 상기 제2열교환기에서 상기 제1열교환기로 상기 유체가 이동되는 제2배관에 설치되어 상기 유체의 유량을 측정하는 제2유량센서, 및 상기 제1 및 제2 유량센서에서 각각 측정된 상기 유체의 유량차이 또는 유량합의 변화를 이용하여 상기 제1 및 제2열교환기 중 적어도 하나의 손상 여부를 감지하는 제어부를 포함하는 열교환기의 누출감지장치 및 방법을 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 (관평동, 신동아파밀리에)

김종만

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

이용범

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

한도희

대전광역시 유성구 동서대로 725, 1212동 702호 (원신흥동, 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

일부가 소듨냉각고속로의 소듨 풀 속에 잠겨있는 소듨-소듨 열교환기에서 상기 소듨냉각고속로의 외부에 배치되는 소듨-공기 열교환기로 소듨이 이동되는 제1배관에 설치되어, 상기 소듨의 유량을 측정하는 제1유량센서;

상기 소듨-공기 열교환기에서 상기 소듨-소듨 열교환기로 상기 소듨이 이동되는 제2배관에 설치되어, 상기 소듨의 유량을 측정하는 제2유량센서; 및

상기 제1및 제2 유량센서에서 각각 측정된 상기 소듨의 유량차이의 변화 또는 유량합의 변화를 기설정된 임계값과 비교하여, 상기 소듨-소듨 열교환기 및 상기 소듨-공기 열교환기 중 적어도 하나의 손상 여부를 감지하는 제어부를 포함하는 열교환기의 누출감지장치.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 제어부는,

상기 소듨의 유량차이의 변화 또는 유량합의 변화가 상기 임계값보다 크면, 상기 상기 소듨-소듨 열교환기 및 상기 소듨-공기 열교환기 중 적어도 하나에 손상이 발생하였음을 알리는 경고 신호(alarm signal)를 경보장치로 전달하는 것을 특징으로 하는 열교환기의 누출감지장치.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 제1유량센서는,

상기 제1배관에 직교하는 자계를 형성하는 제1자기장 형성부; 및

상기 자계에 직교하도록 상기 제1배관에 수직하게 설치되는 제1기전력 측정 전극부를 포함하며,

상기 제2유량센서는,

상기 제2배관에 직교하는 자계를 형성하는 제2자기장 형성부; 및

상기 자계에 직교하도록 상기 제2배관에 수직하게 설치되는 제2기전력 측정 전극부를 포함하는 열교환기의 누출감지장치.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 제1기전력 측정 전극부에 연결되어 상기 제1배관을 흐르는 상기 소듨의 유속에 비례하는 기전력을 측정하는 제1전압측정기와, 상기 제2기전력 측정 전극부에 연결되어 상기 제2배관을 흐르는 상기 소듨의 유속에 비례하는 기전력을 측정하는 제2전압측정기를 구비하는 데이터 수집장치를 더 포함하는 열교환기의 누출감지장치.

청구항 6

제4항에 있어서,

상기 제1기전력 측정 전극부와 상기 제2기전력 측정 전극부는 연속적으로 연결되며,

상기 제1기전력 측정 전극부와 상기 제2기전력 측정 전극부에 각각 연결되어 상기 제1 및 제2배관을 각각 흐르

는 상기 소듐의 유속의 함에 비례하는 기전력을 측정하는 전압측정기를 구비하는 데이터 수집장치를 더 포함하는 열교환기의 누출감지장치.

청구항 7

일부가 소듐냉각고속로의 소듐 풀 속에 잠겨있는 소듐-소듐 열교환기에서 상기 소듐냉각고속로의 외부에 배치되는 소듐-공기 열교환기로 소듐이 이동되는 제1배관에 설치되는 제1유량센서를 이용하여, 상기 제1배관에서의 상기 소듐의 유량을 측정하는 단계;

상기 소듐-공기 열교환기에서 상기 소듐-소듐 열교환기로 상기 소듐이 이동되는 제2배관에 설치되는 제2유량센서를 이용하여, 상기 제2배관에서의 상기 소듐의 유량을 측정하는 단계; 및

상기 제1및 제2 유량센서에서 각각 측정된 상기 소듐의 유량차이의 변화 또는 유량합의 변화를 이용하여 상기 소듐-소듐 열교환기 및 상기 소듐-공기 열교환기 중 적어도 하나의 손상 여부를 감지하는 단계를 포함하며,

상기 감지하는 단계는,

상기 소듐의 유량차이의 변화 또는 유량합의 변화를 기설정된 임계값과 비교하는 단계; 및

상기 소듐의 유량차이의 변화 또는 유량합의 변화가 상기 임계값보다 크면, 상기 소듐-소듐 열교환기 및 상기 소듐-공기 열교환기 중 적어도 하나에 손상이 발생하였음을 알리는 경보 신호(alarm signal)를 경보장치로 전달하는 단계를 포함하는 열교환기의 누출감지방법.

청구항 8

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 열교환기의 손상을 감지할 수 있는 장치 및 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 소듐냉각고속로는 냉각제로 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, FHX)가 배관으로 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, 이러한 폐쇄 루프를 이루는 소듐냉각고속로의 풀 속에 위치하는 소듐-소듐 열교환기가 손상되어 누출이 발생하면, 소듐-소듐 열교환기의 성능이 저하되어 노심의 열을 정상적으로 방출하지 못하는 심각한 상황으로 발전할 수 있다.

본 발명의 배경이 되는 기술은 일본 공개특허공보 특개2002-341081호 (2002.11.27.)에 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 소듐냉각고속로의 피동잔열제거계통에 구비되는 소듐-소듐 열교환기의 손상을 감지할 수 있는 장치

및 방법을 제공하는 데에 그 목적이 있다.

[0007] 본 발명은 소듐-소듐 열교환기뿐만 아니라, 일반적인 열교환기의 손상을 감지할 수 있는 장치 및 방법을 제공하는 데에도 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

[0008] 상기한 과제를 실현하기 위한 본 발명의 일 실시예와 관련된 열교환기의 누출감지장치는, 제1열교환기에서 제2열교환기로 유체가 이동되는 제1배관에 설치되어 상기 유체의 유량을 측정하는 제1유량센서와, 상기 제2열교환기에서 상기 제1열교환기로 상기 유체가 이동되는 제2배관에 설치되어 상기 유체의 유량을 측정하는 제2유량센서, 및 상기 제1 및 제2 유량센서에서 각각 측정된 상기 유체의 유량차이 또는 유량합의 변화를 이용하여 상기 제1 및 제2열교환기 중 적어도 하나의 손상 여부를 감지하는 제어부를 포함한다.

[0009] 본 발명과 관련된 일 예에 따르면, 상기 제어부는, 상기 유체의 유량차이 또는 유량합의 변화를 기설정된 임계값과 비교하여, 상기 제1 및 제2열교환기 중 적어도 하나의 손상 여부를 감지한다.

[0010] 상기 제어부는, 상기 유체의 유량차이 또는 유량합의 변화가 상기 임계값보다 크면, 상기 제1 및 제2열교환기 중 적어도 하나에 손상이 발생하였음을 알리는 경보 신호(alarm signal)를 경보장치로 전달할 수 있다.

[0011] 본 발명과 관련된 다른 일 예에 따르면, 상기 제1유량센서는, 상기 제1배관에 직교하는 자계를 형성하는 제1자기장 형성부, 및 상기 자계에 직교하도록 상기 제1배관에 수직하게 설치되는 제1기전력 측정 전극부를 포함하며, 상기 제2유량센서는, 상기 제2배관에 직교하는 자계를 형성하는 제2자기장 형성부, 및 상기 자계에 직교하도록 상기 제2배관에 수직하게 설치되는 제2기전력 측정 전극부를 포함한다.

[0012] 상기 열교환기의 누출감지장치는, 상기 제1기전력 측정 전극부에 연결되어 상기 제1배관을 흐르는 상기 유체의 유속에 비례하는 기전력을 측정하는 제1전압측정기와, 상기 제2기전력 측정 전극부에 연결되어 상기 제2배관을 흐르는 상기 유체의 유속에 비례하는 기전력을 측정하는 제2전압측정기를 구비하는 데이터 수집장치를 더 포함할 수 있다.

[0013] 또는, 상기 제1기전력 측정 전극부와 상기 제2기전력 측정 전극부는 연속적으로 연결되며, 상기 열교환기의 누출감지장치는, 상기 제1기전력 측정 전극부와 상기 제2기전력 측정 전극부에 각각 연결되어 상기 제1 및 제2배관을 각각 흐르는 상기 유체의 유속의 합에 비례하는 기전력을 측정하는 전압측정기를 구비하는 데이터 수집장치를 더 포함할 수 있다.

[0014] 아울러, 본 발명은, 제1열교환기에서 제2열교환기로 유체가 이동되는 제1배관에 설치되는 제1유량센서를 이용하여 상기 제1배관에서의 상기 유체의 유량을 측정하는 단계와, 상기 제2열교환기에서 상기 제1열교환기로 상기 유체가 이동되는 제2배관에 설치되는 제2유량센서를 이용하여 상기 제2배관에서의 상기 유체의 유량을 측정하는 단계, 및 상기 제1 및 제2 유량센서에서 각각 측정된 상기 유체의 유량차이 또는 유량합의 변화를 이용하여 상기 제1 및 제2열교환기 중 적어도 하나의 손상 여부를 감지하는 단계를 포함하는 열교환기의 누출감지방법을 개시한다.

[0015] 본 발명과 관련된 일 예에 따르면, 상기 감지하는 단계는, 상기 유체의 유량차이 또는 유량합의 변화를 기설정된 임계값과 비교하는 단계, 및 상기 유체의 유량차이 또는 유량합의 변화가 상기 임계값보다 크면 상기 제1 및 제2열교환기 중 적어도 하나에 손상이 발생하였음을 알리는 경보 신호(alarm signal)를 경보장치로 전달하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0016] 본 발명은 제1유량센서와 제2유량센서에서 각각 측정된 유체의 유량차이 또는 유량합의 변화를 이용하여 열교환기의 손상 여부를 감지한다. 따라서, 순환 루프를 이루도록 연결되는 제1 및 제2열교환기의 운전 상태를 상시 감시할 수 있다.

[0017] 아울러, 상기 유체의 유량차이 또는 유량합의 변화가 기설정된 임계값보다 크면, 경보 신호가 발생하도록 구성되므로, 문제가 발생하면 신속하게 대응할 수 있다.

[0018] 이러한 열교환기의 누출감지장치 및 방법이 소듐냉각고속로의 피동잔열제거시스템에 구비되는 소듐-소듐 열교환기와 소듐-공기 열교환기에 적용되는 경우, 소듐냉각고속로의 안정성 및 운전성이 향상될 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0019] 도 1은 소듐냉각고속로 열수송계를 설명하기 위한 개념도.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 소듐냉각고속로의 피동잔열제거계를 보인 개념도.
- 도 3은 도 2에 도시된 소듐-소듐 열교환기의 누출 감지 방법을 보인 흐름도.
- 도 4는 전자유량계를 이용한 누출감지장치의 일 예를 보인 개념도.
- 도 5a 내지 도 5d는 도 4의 누출감지장치를 통하여 획득된 신호들을 보인 그래프들.
- 도 6은 전자유량계를 이용한 누출감지장치의 다른 일 예를 보인 개념도.
- 도 7a 및 도 7b는 도 6의 누출감지장치를 통하여 획득된 신호들을 보인 그래프들.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0020] 이하, 본 발명에 관련된 열교환기의 누출감지장치 및 그 방법에 대하여 도면을 참조하여 보다 상세하게 설명한다.
- [0021] 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.
- [0022] 이하에서는 본 발명의 열교환기의 누출감지장치가 소듐냉각고속로의 피동잔열제거계에 구비되는 소듐-소듐 열교환기와 소듐-공기 열교환기에 적용되는 경우를 예로 들어 설명한다. 그러나 본 발명이 반드시 이러한 예에 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 열교환기의 누출감지장치는 일반적인 열교환기에 설치되어 운전 상태를 상시 감시하도록 구성될 수도 있다.
- [0023] 도 1은 소듐냉각고속로 열수송계를 설명하기 위한 개념도이다.
- [0024] 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.
- [0025] 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.
- [0026] 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.
- [0027] 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 토출 노즐을 통해 저온풀로 방출된다. 이와 같은 유동에 의하여 IHX의 셸 측에서 발생하는 압력 손실은 정상운전 중 저온풀과 고온풀의 액위 차이로 나타나게 된다.
- [0028] 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.

- [0029] 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.
- [0030] 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.
- [0031] 소듐냉각고속로 풀(pool)에서 대기로 이어지는 일련의 열제거 경로 상에서 소듐-공기 열교환기 쉘측의 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.
- [0032] 소듐-소듐 잔열교환기(DHX)는 소듐냉각고속로 정지 후 노심 잔열 발생에 의해 PHTS 소듐 풀에 축적된 열을 소듐냉각고속로 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.
- [0033] shell-and-tube 타입 열교환기인 DHX는 소듐냉각고속로 저온 소듐 풀에 배치된다. PHTS 소듐이 DHX 쉘 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.
- [0034] 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 쉘 측 고온 소듐에 의해 가열되는 것을 방지하기 위해서 이중관으로 설계하였다. 이 경우 단일관 사용시에 비해 이중관 사이의 가스층에 의해 DHX 쉘 측 고온 소듐에서 하향유로관으로의 열속을 감소시켜 DHX 하부 소듐챔버로 유입되는 소듐의 온도 상승을 억제하는 효과가 있다.
- [0035] 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.
- [0036] 이하, 소듐냉각고속로의 피동잔열제거계통에 구비되는 소듐-소듐 열교환기의 손상을 감지할 수 있는 장치 및 방법에 대하여 설명한다.
- [0037] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 소듐냉각고속로(10)의 피동잔열제거계통(100)을 보인 개념도이다.
- [0038] 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 끊

겨 펌프(12)가 작동하지 않아도 자연적인 대류 현상을 이용하여 노심(11) 안쪽의 뜨거운 소듐(H)을 냉각시킬 수 있도록 구성된다.

- [0039] 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.
- [0040] 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.
- [0041] 이처럼, 피동잔열제거계통(100)은 전력 없이 소듐의 온도 차이만으로 무한 순환하는 냉각 시스템이다.
- [0042] 소듐-공기 열교환기(110)는 외부 챔버(111) 및 내부 챔버(112)를 포함한다.
- [0043] 외부 챔버(111)는 내부 챔버(112)를 수용하고, 소듐을 냉각시키는 외부 공기가 유입 및 유출되는 공기 유입구와 공기 유출구를 각각 구비한다.
- [0044] 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.
- [0045] 한편, 소듐-소듐 열교환기(13)의 일부는 소듐냉각고속로(10)의 소듐 풀 속에 잠겨있기 때문에, 내부 손상을 파악하기 어렵다. 만일 소듐-소듐 열교환기(13)의 내부 손상이 발생하게 되면, 위에서 설명한 피동잔열제거계통(100)의 성능은 저하된다. 뿐만 아니라, 상기 내부 손상에 재빨리 대응하지 않으면 큰 위험이 초래될 수도 있다.
- [0046] 이하, 피동잔열제거계통(100)의 정상 작동 여부를 모니터링할 수 있는 장치 및 방법에 대하여 보다 구체적으로 설명한다.
- [0047] 도 3은 도 2에 도시된 소듐-소듐 열교환기(13)의 누출감지방법을 보인 흐름도이다.
- [0048] 도 3을 앞선 도 2와 함께 참조하면, 소듐-소듐 열교환기(13)의 누출감지장치(120)는 제1유량센서(121), 제2유량센서(122) 및 제어부(124, 도 4 참조)를 포함한다. 누출감지장치(120)는 이하 설명하는 단계를 거쳐 지속적으로 피동잔열제거계통(100)의 정상 작동 여부를 모니터링하도록 구성된다(S310).
- [0049] 제1유량센서(121)는 소듐-소듐 열교환기(13)에서 소듐-공기 열교환기(110)로 소듐이 이동되는 제1배관(101)에 설치되어, 상기 소듐의 유량(S1)을 측정하도록 이루어진다(S320).
- [0050] 제2유량센서(122)는 소듐-공기 열교환기(110)에서 소듐-소듐 열교환기(13)로 소듐이 이동되는 제2배관(102)에 설치되어, 상기 소듐의 유량(S2)을 측정하도록 이루어진다(S330).
- [0051] 제1배관(101)과 제2배관(102)이 나란하게 배치되는 경우, 소듐이 흐르는 방향은 서로 반대가 될 수 있다.
- [0052] 제1 및 제2유량센서(121, 122)는 전자 유도의 법칙을 응용한 전자 유량계, 초음파를 이용한 초음파 유량계, 단 위시간에 흐르는 체적 또는 질량을 측정하는 용적 유량계 등 일반적으로 널리 알려진 유량계들 중 하나가 될 수 있다.
- [0053] 제어부(124)는 제1 및 제2유량센서(121, 122)에서 각각 측정된 소듐의 유량차이(S3=S1-S2, S3=S2-S1) 또는 유량합(S3=S1+S2)을 구한 뒤(S340), 이의 변화(미분값, D1)를 이용하여(S350), 소듐-소듐 열교환기(13) 및 소듐-공기 열교환기(110) 중 적어도 하나의 손상 여부를 감지하도록 이루어진다.
- [0054] 소듐-공기 열교환기(110)는 소듐냉각고속로(10) 외부에 배치되므로 손상 여부를 비교적 용이하게 파악할 수 있으나, 소듐-소듐 열교환기(13)는 일부가 소듐냉각고속로(10)의 소듐 풀 속에 잠겨 있기 때문에 그 손상 여부를 파악하기가 어렵다. 따라서, 본 발명은 소듐-소듐 열교환기(13)의 손상 여부를 감지하는 데에 유용하게 이용될 수 있다.
- [0055] 구체적으로, 제어부(124)는 소듐의 유량차이 또는 유량합의 변화(D1)를 기설정된 임계값(TH1, threshold)과 비

교하여, 소듐-소듐 열교환기(13) 및 소듐-공기 열교환기(110) 중 적어도 하나의 손상 여부를 감지하도록 이루어진다(S360). 상기 임계값(TH1)은 피동잔열제거계통(100)이 정상적으로 작동하는 상태에서 보이는 상기 변화(D1)의 최대값으로서, 상기 변화(D1)가 상기 임계값(TH1)을 넘어가면 피동잔열제거계통(100)의 작동에 문제가 생겼음을 판별하는 척도가 될 수 있다.

[0056] 제어부(124)는 소듐의 유량차이 또는 유량합의 변화(D1)가 상기 임계값(TH1)보다 크면, 소듐-소듐 열교환기(13) 및 소듐-공기 열교환기(110) 중 적어도 하나에 리크(leak) 즉, 손상이 발생하였음을 알리는 경보 신호(alarm signal)를 경보장치(125, 도 4 참조)로 전달하도록 구성될 수 있다(S370). 예를 들어, 소듐-소듐 열교환기(13)에 손상이 발생하면, 소듐의 유량차이 또는 유량합의 변화(D1) 곡선의 피크값은 상기 임계값(TH1)을 넘어가게 된다. 이 경우, 경보장치(125)는 제어부(124)로부터 경보 신호를 전달받아 경보를 발생함으로써, 작업자가 이에 대하여 신속하게 대응할 수 있도록 이루어질 수 있다.

[0057] 반대로, 유체의 유량차이 또는 유량합의 변화(D1)가 상기 임계값(TH1)보다 작으면, 제어부(124)는 피동잔열제거계통(100)이 정상적으로 작동하는 것으로 판단한다. 제어부(124)는 제1 및 제2유량센서(121, 122)로부터 획득된 제1 및 제2배관(101, 102)을 각각 흐르는 소듐의 유량(S1, S2)과, 이를 바탕으로 획득되는 유량차이(S3=S1-S2, S3=S2-S1) 또는 유량합(S3=S1+S2)의 변화(D1)를 지속적으로 모니터링하게 된다.

[0058] 이하, 제1 및 제2유량센서(121, 122)가 전자 유량계로 구성되는 경우를 예로 들어 보다 구체적으로 설명한다.

[0059] 도 4는 전자유량계를 이용한 누출감지장치(120)의 일 예를 보인 개념도이고, 도 5a 내지 도 5d는 도 4의 누출감지장치(120)를 통하여 획득된 신호들을 보인 그래프들이다.

[0060] 도 4를 참조하면, 제1유량센서(121)는 제1자기장 형성부(121a) 및 제1기전력 측정 전극부(121b)를 포함한다. 제1자기장 형성부(121a)는 제1배관(101)에 직교하는 자계를 형성하고, 제1기전력 측정 전극부(121b)는 상기 자계에 직교하도록 제1배관(101)에 수직하게 설치된다.

[0061] 상기 구조에 의하면, 비자성관인 제1배관(101)과 직교하는 자계가 형성된 상태에서, 제1배관(101) 내에 도전성의 소듐이 흐르면, 전자유도에 의해 제1기전력 측정 전극부(121b)로 소듐의 유속에 비례하는 기전력이 발생한다. 상기 기전력을 측정하면, 소듐의 유량(S1)이 계산될 수 있다.

[0062] 이와 마찬가지로, 제2유량센서(122)는 제2자기장 형성부(122a) 및 제2기전력 측정 전극부(122b)를 포함한다. 제2자기장 형성부(122a)는 제2배관(102)에 직교하는 자계를 형성하고, 제2기전력 측정 전극부(122b)는 상기 자계에 직교하도록 제2배관(102)에 수직하게 설치된다.

[0063] 열교환기의 누출감지장치(120)는 제1전압측정기(123a)와 제2전압측정기(123b)를 구비하는 데이터 수집장치(123)를 더 포함할 수 있다.

[0064] 제1전압측정기(123a)는 제1기전력 측정 전극부(121b)에 연결되어, 제1배관(101)을 흐르는 소듐의 유속에 비례하는 기전력을 측정하도록 이루어진다. 또한, 제2전압측정기(123b)는 제2기전력 측정 전극부(122b)에 연결되어, 제2배관(102)을 흐르는 소듐의 유속에 비례하는 기전력을 측정하도록 이루어진다. 즉, 제1 및 제2전압측정기(123a, 123b)에 의하여, 제1 및 제2배관(101, 102)을 각각 흐르는 소듐의 유량(S1, S2)이 획득될 수 있다.

[0065] 도 5a는 제1유량센서(121)를 통하여 획득된 제1배관(101)을 흐르는 소듐의 유량(S1)을 나타내고, 도 5b는 제2유량센서(122)를 통하여 획득된 제2배관(102)을 흐르는 소듐(S2)의 유량을 나타낸다.

[0066] 제어부(124)는 미분 계산기(124a) 및 판별기(124b)를 포함할 수 있다.

[0067] 미분 계산기(124a)는 제1 및 제2배관(101, 102)을 흐르는 소듐의 유량차이(S3=S1-S2, S3=S2-S1) 또는 유량합(S3=S1+S2)을 구한 뒤, 이의 변화(D1)를 계산한다. 도 5c 및 도 5d에서는, 미분 계산기(124a)가 제1 및 제2배관(101, 102)을 흐르는 소듐의 유량차이(S3=S1-S2)를 구한 뒤, 이를 미분(D1)한 그래프를 보이고 있다.

[0068] 이러한 방법으로 얻어진 소듐의 유량차이 또는 유량합의 변화를 나타내는 미분 그래프에서, 소듐의 유량 변화는 피크 형태의 신호로 나타난다. 판별기(124b)는 미분 곡선의 피크값이 기설정된 임계값(TH1)보다 높으면, 소듐-소듐 열교환기(13) 및 소듐-공기 열교환기(110) 중 적어도 하나에 손상이 발생하였음을 알리는 경보 신호를 경보장치(125)로 전달한다.

[0069] 도 6은 전자유량계를 이용한 누출감지장치(220)의 다른 일 예를 보인 개념도이고, 도 7a 및 도 7b는 도 6의 누출감지장치(220)를 통하여 획득된 신호들을 보인 그래프들이다. 본 실시예에서 앞선 실시예와 동일·유사한 구성에 대해서는 동일·유사한 참조번호를 부여하고, 그 설명은 처음 설명으로 갈음한다.

123a: 제1전압축정기

123b: 제2전압축정기

124: 제어부

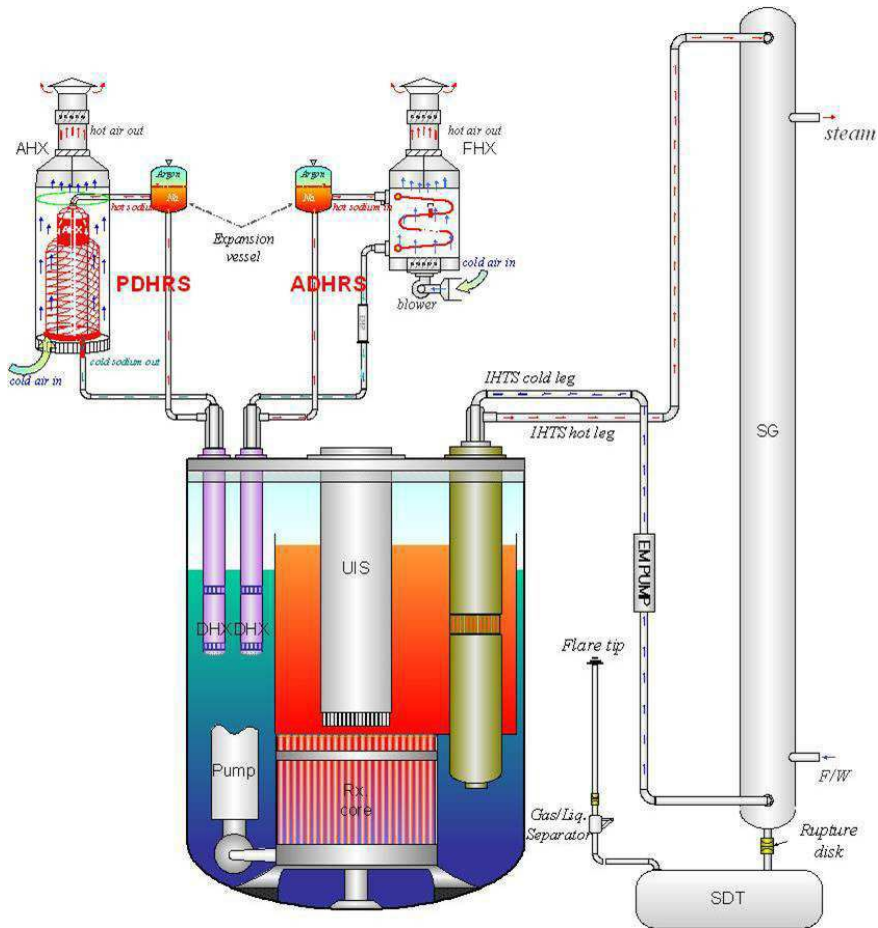
124a: 미분 계산기

124b: 판별기

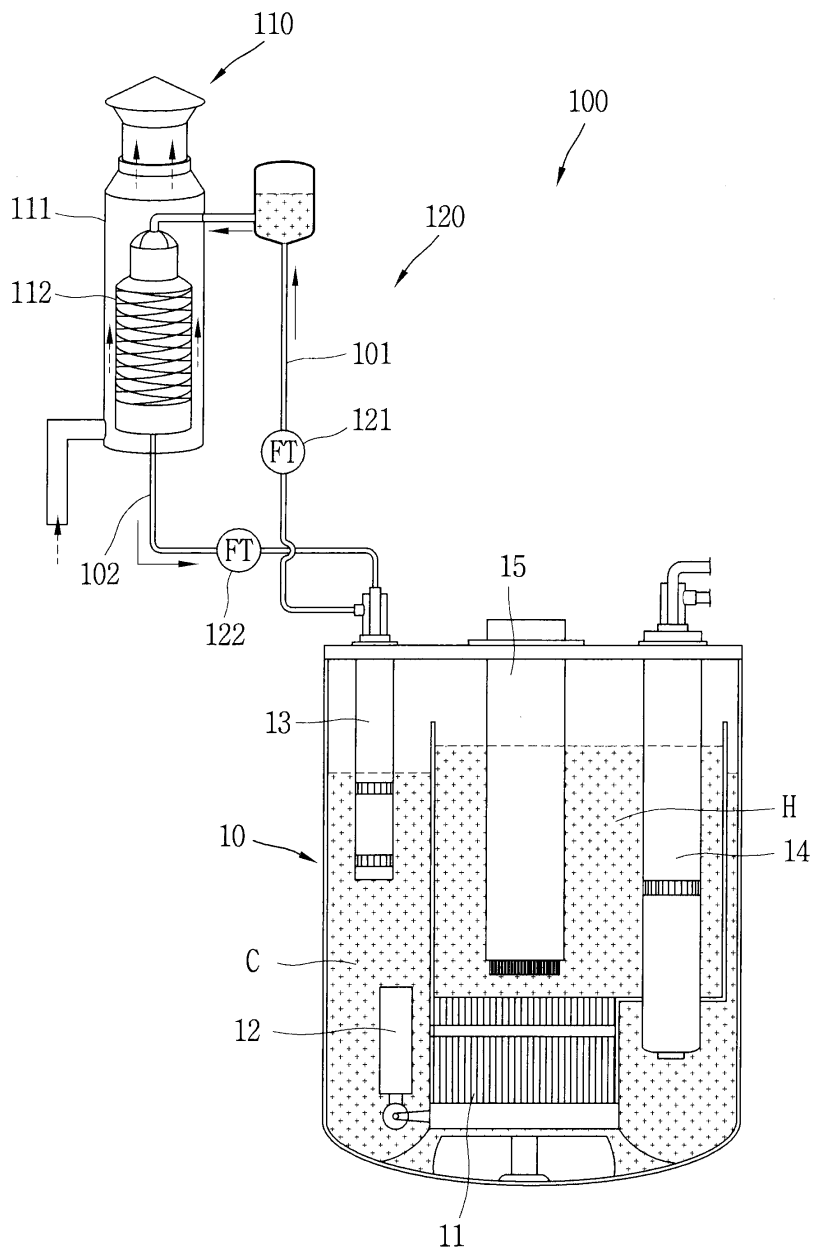
125: 경보장치

도면

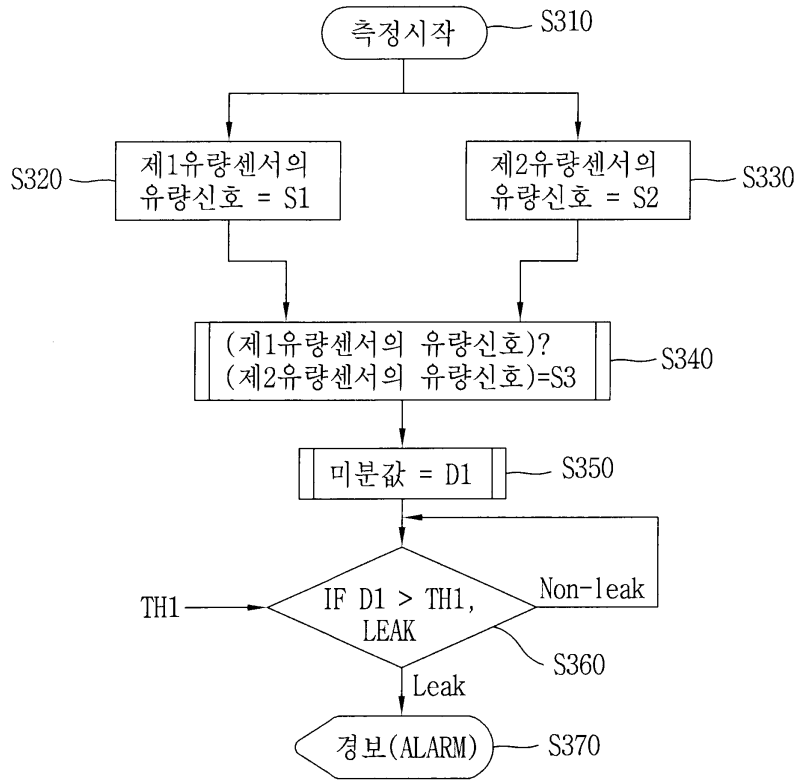
도면1



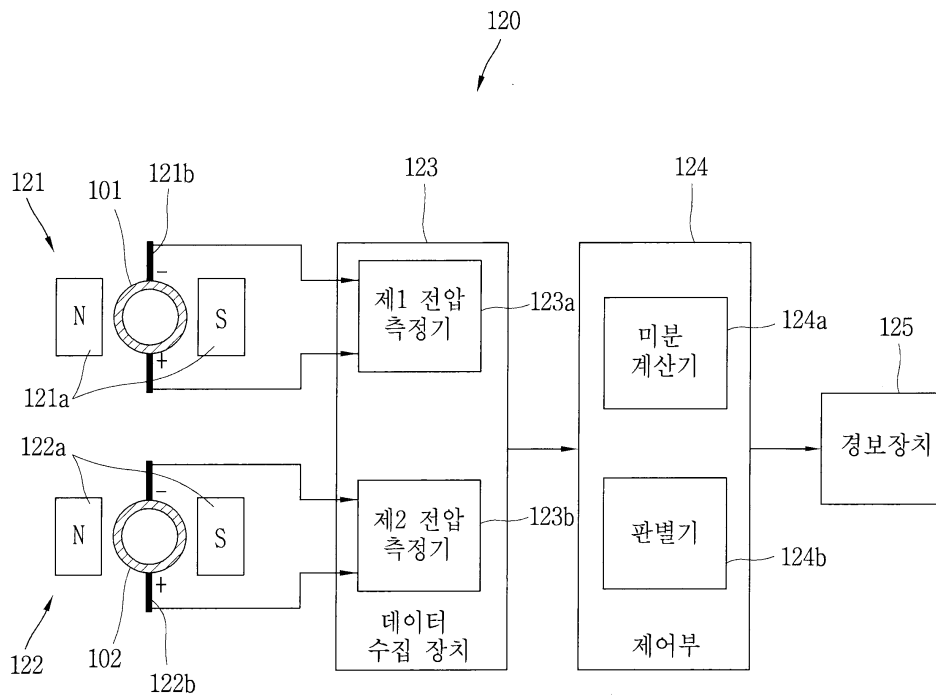
도면2



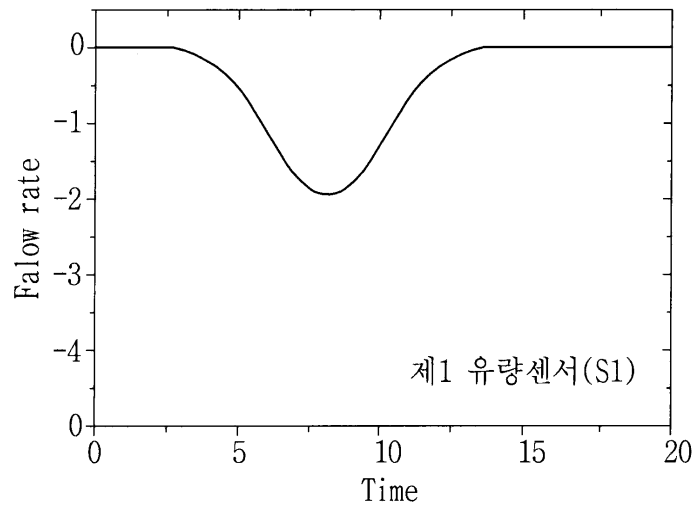
도면3



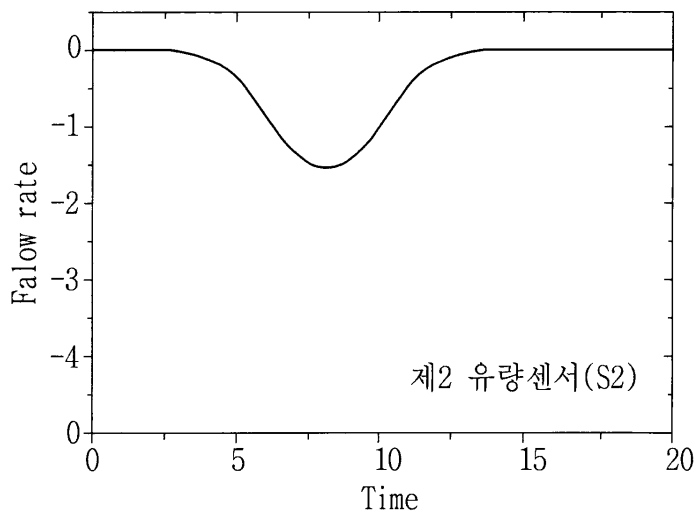
도면4



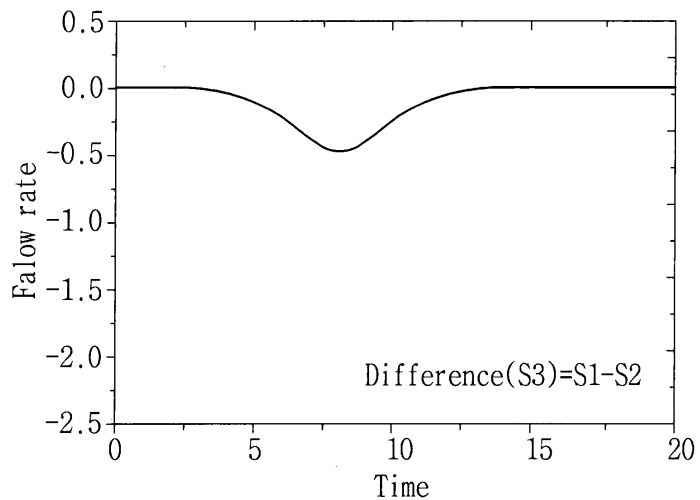
도면5a



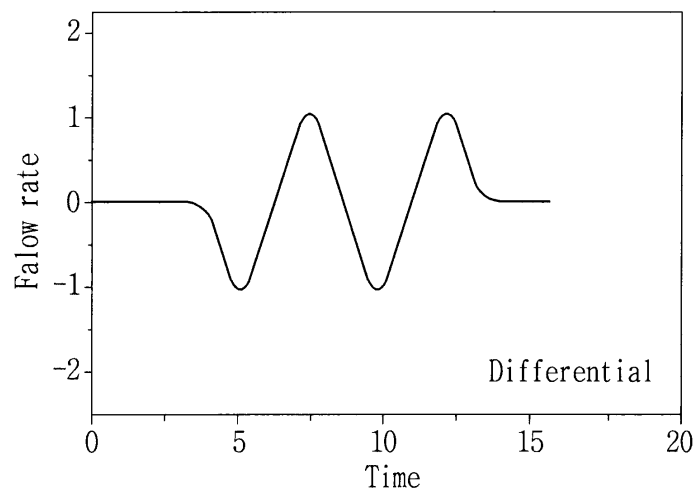
도면5b



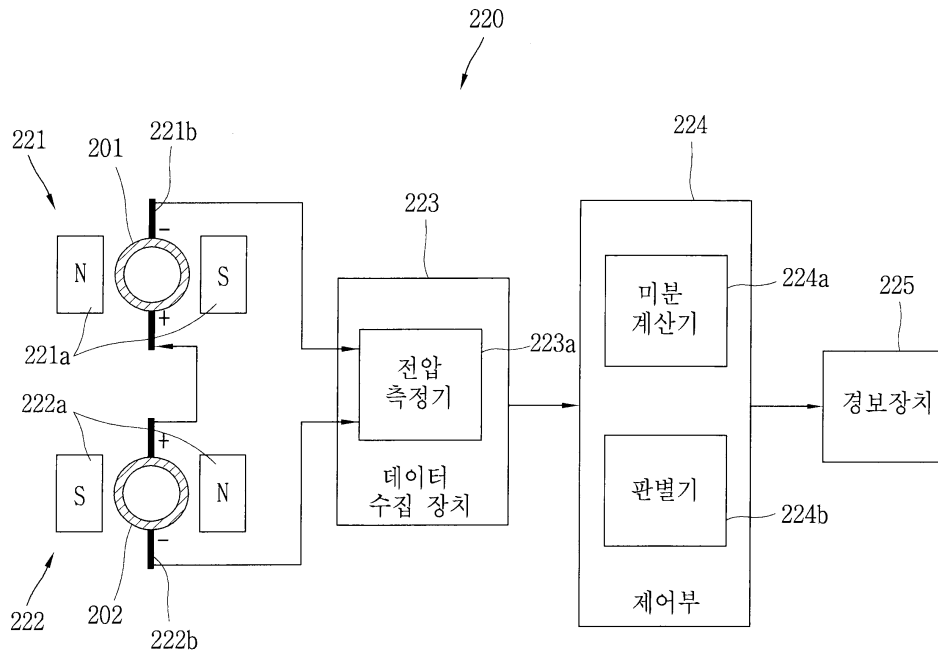
도면5c



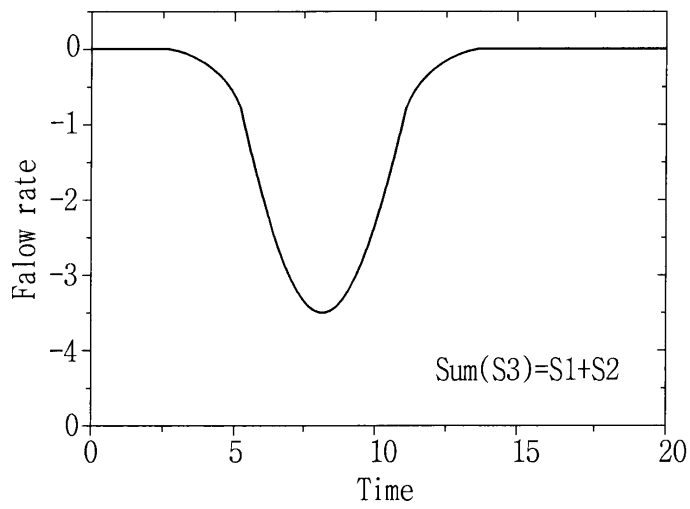
도면5d



도면6



도면7a



도면7b

