(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0101265
(43) 공개일자 2025년07월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H05B 3/42 (2006.01) *G01K 11/32* (2021.01)
G01K 17/06 (2006.01)
(52) CPC특허분류
H05B 3/42 (2013.01)
G01K 11/32 (2021.01)
(21) 출원번호 10-2023-0192718
(22) 출원일자 2023년12월27일
심사청구일자 2023년12월27일

(71) 출원인
경상국립대학교산학협력단
경상남도 진주시 진주대로 501 (가좌동)
(72) 발명자
김형모
경상남도 진주시 충의로 146, 609동 1103호
김태준
대전광역시 유성구 대덕대로 925번길 29-11
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
특허법인위솔

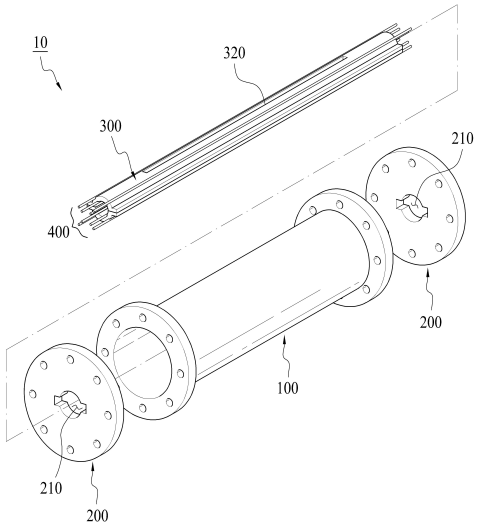
전체 청구항 수 : 총 15 항

(54) 발명의 명칭 **봉형 히터의 열유속 교정장치**

(57) 요 약

본 발명이 제공하는 열유속 측정 지그는, 일 실시형태에서, 내부에 수용공간을 형성하고, 길이방향 양단이 개방된 용기와, 상기 파이프의 양단에 대해 결합하는 한 쌍의 덮개와, 상기 한 쌍의 덮개에 대해 관통 설치되어 지지되는 중공 파이프 부재이고, 내주면 및 외주면의 길이방향을 따라 형성된 복수의 홈을 구비하는 센서 하우징, 및 상기 센서 하우징에 형성된 내주면 및 외주면의 홈에 설치되는 복수의 광섬유 센서를 포함한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
G01K 17/06 (2013.01)
(72) 발명자
최현민
경상남도 창원시 의창구 명서로 133번길 5

황세연
경기도 하남시 대청로 62, 101동 104호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1415187655
과제번호 20214000000520
부처명 산업통상자원부
과제관리(전문)기관명 한국에너지기술평가원
연구사업명 에너지인력양성사업(에특)
연구과제명 자원순환(재제조)산업 고도화 인력양성
기 여 율 20/100
과제수행기관명 사단법인 한국산업건설기계재제조진흥회
연구기간 2023.01.01 ~ 2023.12.31
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711187563
과제번호 2022R1F1A1065553
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 개인기초연구(과기정통부)
연구과제명 고정밀 분포형 광섬유 온도센서를 이용한 고열유속 환경 피동형 열관리 디바이스 설계기술 개발
기 여 율 40/100
과제수행기관명 경상국립대학교
연구기간 2023.03.01 ~ 2024.02.29
이 발명을 지원한 국가연구개발사업
과제고유번호 1711195625
과제번호 2023M2D2A1A01074092
부처명 과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명 한국연구재단
연구사업명 원자력기초연구지원사업
연구과제명 초소형원자로 응용을 위한 루프형 히트파이프 기술 개발
기 여 율 40/100
과제수행기관명 경상국립대학교
연구기간 2023.04.01 ~ 2023.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

내부에 수용공간을 형성하고, 길이방향 양단이 개방된 용기;

상기 용기의 양단에 대해 결합하는 한 쌍의 덮개;

상기 한 쌍의 덮개에 대해 관통 설치되어 지지되는 중공 파이프 부재이고, 내주면 및 외주면의 길이방향을 따라 형성된 복수의 홈을 구비하는 센서 하우징; 및

상기 센서 하우징에 형성된 내주면 및 외주면의 홈에 설치되는 복수의 광섬유 센서;

를 포함하는, 열유속 측정 지그.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 센서 하우징은,

길이방향을 따라 반분된 제1 센서 하우징 및 제2 센서 하우징으로 이루어진, 열유속 측정 지그.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 센서 하우징은,

내주면 및 외주면에 각각 형성된 홈이 일대일로 대응하는, 열유속 측정 지그.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 센서 하우징은,

일대일로 대응하는 상기 내주면 및 외주면의 홈이, 상기 센서 하우징의 반경방향을 따르는 방사상 배치를 이루는, 열유속 측정 지그.

청구항 5

제1항에 있어서,

상기 센서 하우징은,

길이방향을 따라 중공 내부와 연통하는 적어도 하나 이상의 관통 홈을 포함하는, 열유속 측정 지그.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 센서 하우징의 중공 내부로 삽입되는 환형 단면의 스페이서를 더 포함하는, 열유속 측정 지그.

청구항 7

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 따른 열유속 측정 지그;

상기 열유속 측정 지그의 센서 하우징 내주면과 이격되도록 중공 내부로 삽입되고, 상기 한 쌍의 덮개에 의해 그 양단이 지지되는 봉형 히터;

상기 용기 내부를 거쳐 외부로 순환 유동하는 열전달 매질;

상기 열전달 매질이 유동하도록 상기 용기에 대해 폐회로를 구성하는 순환 유로; 및

상기 열전달 매질이 상기 폐회로를 순환하는 동력을 제공하는 펌프;

를 포함하는, 봉형 히터의 열유속 교정장치.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 열전달 매질은,

상기 센서 하우징에 대응하는 열전도도를 구비하고, 상온부터 상기 봉형 히터의 가열온도 범위에서 액상 상태에 있는 액체 금속인, 봉형 히터의 열유속 교정장치.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 열전달 매질은,

갈린스탄인, 봉형 히터의 열유속 교정장치.

청구항 10

제9항에 있어서,

상기 펌프는,

전자기 펌프인, 봉형 히터의 열유속 교정장치.

청구항 11

제7항에 있어서,

상기 순환 유로 상에 설치되어, 상기 용기로부터 배출된 열전달 매질을 냉각하는 열교환기를 포함하는, 봉형 히터의 열유속 교정장치.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 용기와 열교환기 사이에서, 상기 순환 유로 상의 최고 높이에 설치되는 팽창 탱크를 더 포함하는, 봉형 히터의 열유속 교정장치.

청구항 13

제7항에 있어서,

상기 펌프의 출구와 상기 용기 사이의 순환 유로 상에 설치되는 열전달 매질의 저장 탱크를 더 포함하고,

상기 저장 탱크와 상기 순환 유로 사이에 밸브가 배치되는, 봉형 히터의 열유속 교정장치.

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 저장 탱크 내부로 저반응성 기체를 가압 공급하는 가압 장치를 포함하고,

상기 저반응성 기체의 가압에 의해, 상기 저장 탱크 안에 수용된 열전달 매질이 상기 순환 유로로 공급되는, 봉형 히터의 열유속 교정장치.

청구항 15

제13항에 있어서,

상기 저장 탱크는,

상기 용기 및 순환 유로 상의 열전달 매질을 회수하는 드레인 탱크로 사용 가능한, 봉형 히터의 열유속 교정장치.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 봉형 히터의 열유속 교정장치에 관한 것이다. 특히, 본 발명은 봉형 히터와 분포형 광섬유 센서 사이의 면대면 접촉 저항을 제거함으로써 고출력, 고온의 봉형 히터의 길이방향을 따르는 국소 열유속을 정밀하게 측정할 수 있는 봉형 히터의 열유속 교정장치에 관한 것이다.

[0002] 본 발명은 아래 연구과제와의 연계 내지 지원으로 출원되었다.

[0003] - 연구과제명: 갈린스탄을 사용한 고온 열공급 시스템 성능 분석

[0004] - 연구기간: 2023. 03. 27 ~ 2023. 07. 26.

[0005] - 총연구비: 9,000,000원

[0006] - 연구책임자: 경상국립대학교 공과대학 기계공학부 교수 김형모

[0007] - 협약기관: (주)미래엔지니어링, 경상국립대학교 산학협력단

배 경 기 술

[0008] 히터는 각종 에너지, 예를 들어 화석 연료, 전기, 태양광 등의 에너지원을 열로 변환하여 방출하는 기구나 장치 일반을 지칭한다. 히터는 산업용, 가정용, 연구용 등 적용되는 분야도 광범위하고, 사용 목적에 적합한 다종다양한 사양이 사용되고 계속 개발되고 있다.

[0009] 연구용의 히터 중 하나로, 고출력, 고온의 봉형 히터가 개발되고 있다. 이러한 봉형 히터는, 예를 들어 원자로 노심을 모사한 실험에서 핵 연료봉을 대체하여 사용될 수 있다. 핵 연료봉을 모사하기 위해, 봉형 히터의 표면 온도는 대략 500~800℃ 정도의 온도까지 상승할 수 있다.

[0010] 이러한 봉형 히터의 성능은 평균온도뿐만 아니라, 길이방향을 따라 균일한 가열온도가 형성되는 것이 중요하다. 즉, 국부적으로 고온이나 저온 영역이 형성되는 불균일한 온도분포는 봉형 히터의 성능기준에 부합하지 않는다.

[0011] 고출력, 고온의 봉형 히터를 개발하는 과정에서, 그리고 제작된 봉형 히터에 대한 시험 성적서를 작성하기 위해서는, 봉형 히터의 길이방향을 따르는 다수 지점에서의 국소 열유속을 측정할 필요성이 있다. 하지만, 현재로서는 봉형 히터의 국소 열유속을 측정할 장비가 없어, 이에 대한 개발 요구가 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0012] (특허문헌 0001) 대한민국 등록특허공보 제10-2325984호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0013] 본 발명은 고출력, 고온의 봉형 히터의 길이방향을 따르는 국소 열유속을 정밀하게 측정할 수 있는 봉형 히터의 열유속 교정장치를 제공하는 것에 그 목적이 있다.

[0014] 본 발명의 기술적 과제들은 이상에서 언급한 기술적 과제들로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 기술적 과제들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0015] 본 발명이 제공하는 열유속 측정 지그는, 일 실시형태에서, 내부에 수용공간을 형성하고, 길이방향 양단이 개방된 용기와, 상기 용기의 양단에 대해 결합하는 한 쌍의 덮개와, 상기 한 쌍의 덮개에 대해 관통 설치되어 지지되는 중공 파이프 부재이고, 내주면 및 외주면의 길이방향을 따라 형성된 복수의 홈을 구비하는 센서 하우징, 및 상기 센서 하우징에 형성된 내주면 및 외주면의 홈에 설치되는 복수의 광섬유 센서를 포함한다.

[0016] 상기 센서 하우징은, 길이방향을 따라 반분된 제1 센서 하우징 및 제2 센서 하우징으로 이루어질 수 있다.

[0017] 그리고, 상기 센서 하우징은, 내주면 및 외주면에 각각 형성된 홈이 일대일로 대응한다.

[0018] 예를 들어, 상기 센서 하우징은, 일대일로 대응하는 상기 내주면 및 외주면의 홈이, 상기 센서 하우징의 반경방향을 따르는 방사상 배치를 이룰 수 있다.

[0019] 상기 센서 하우징은, 길이방향을 따라 중공 내부와 연통하는 적어도 하나 이상의 관통 홈을 포함할 수 있다.

[0020] 그리고, 상기 센서 하우징의 중공 내부로 삽입되는 환형 단면의 스페이서를 더 포함할 수 있다.

[0021] 한편, 본 발명은 상기의 구성을 구비한 열유속 측정 지그와, 상기 열유속 측정 지그의 센서 하우징 내주면과 이격되도록 중공 내부로 삽입되고, 상기 한 쌍의 덮개에 의해 그 양단이 지지되는 봉형 히터와, 상기 용기 내부를 거쳐 외부로 순환 유동하는 열전달 매질과, 상기 열전달 매질이 유동하도록 상기 용기에 대해 폐회로를 구성하는 순환 유로, 및 상기 열전달 매질이 상기 폐회로를 순환하는 동력을 제공하는 펌프를 포함하는, 봉형 히터의 열유속 교정장치를 제공한다.

[0022] 상기 열전달 매질은, 상기 센서 하우징에 대응하는 열전도도를 구비하고, 상온부터 상기 봉형 히터의 가열온도 범위에서 액상 상태에 있는 액체 금속인 것이 바람직할 수 있다.

[0023] 예를 들어, 상기 열전달 매질은, 갈린스탄일 수 있다.

[0024] 그리고, 상기 펌프는, 액체 금속에 적합한, 전자기 펌프일 수 있다.

[0025] 그리고, 상기 순환 유로 상에 설치되어, 상기 용기로부터 배출된 열전달 매질을 냉각하는 열교환기를 포함할 수 있다.

[0026] 또한, 상기 용기와 열교환기 사이에서, 상기 순환 유로 상의 최고 높이에 설치되는 팽창 탱크를 더 포함할 수 있다.

[0027] 그리고, 상기 펌프의 출구와 상기 용기 사이의 순환 유로 상에 설치되는 열전달 매질의 저장 탱크를 더 포함하고, 상기 저장 탱크와 상기 순환 유로 사이에 밸브가 배치될 수 있다.

[0028] 실시형태에 따라서는, 상기 저장 탱크 내부로 저반응성 기체를 가압 공급하는 가압 장치를 포함하고, 상기 저반응성 기체의 가압에 의해, 상기 저장 탱크 안에 수용된 열전달 매질이 상기 순환 유로로 공급될 수 있다.

[0029] 상기 저장 탱크는, 상기 용기 및 순환 유로 상의 열전달 매질을 회수하는 드레인 탱크로 사용할 수 있다.

발명의 효과

[0030] 상기와 같은 구성을 구비한 본 발명의 열유속 측정 지그 및 이를 포함하는 열유속 교정장치에 의하면, 봉형으로 제작된 히터의 신뢰성을 확보하고 교정하는 장치로서 매우 유용하다.

[0031] 즉, 센서 하우징의 내외로 설치된 분포형 광섬유 센서를 통해 봉형 히터의 전면에 걸쳐 국소 열유속을 측정할 수 있으므로, 봉형 히터의 신뢰성을 확인하고 교정하는 장치로서 활용하기에 매우 적합하다.

[0032] 또한, 본 발명은 열전달 매질로서 센서 하우징에 대응하는 열전도도를 구비하면서 상온부터 봉형 히터의 가열온도 범위에서 액상 상태에 있는 액체 금속, 예를 들어 갈린스탄을 사용함으로써, 넓은 온도 범위에 걸쳐 열전달 매질의 면대면 접촉 저항을 제거하고, 이를 통해 정밀하게 봉형 히터의 국소 열유속을 측정할 수 있다.

[0033] 또한, 센서 하우징의 내주면과 봉형 히터 사이의 환형 공간으로 열전달 매질이 유동함으로써 봉형 히터의 손상 우려가 없다. 따라서, 본 발명은 제작이 완료된 봉형 히터의 시험 성적서를 작성하는데 사용되는 교정장치로서 매우 유용하다.

[0034] 본 발명의 효과는 이상에서 언급한 것으로 제한되지 않으며, 명세서 전반의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있으나 명시적으로 언급되지 않은 다른 효과들 역시 포함한다.

도면의 간단한 설명

[0035] 도 1은 본 발명의 일 실시형태에 따른 열유속 측정 지그에 대한 분해 사시도.

도 2는 도 1의 열유속 측정 지그에 대한 조립 사시도.

도 3은 도 2의 열유속 측정 지그를 측면에서 바라본 도면.

도 4는 도 2의 "A-A" 선을 따라 절개한 단면도.

도 5는 센서 하우징에 대한 사시도.

도 6은 도 5의 "B-B" 선을 따라 절개한 단면도.

도 7은 본 발명의 일 실시형태에 따른 봉형 히터의 열유속 교정장치에 대한 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0036] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 바람직한 실시 예를 상세히 설명한다. 본 발명의 이점 및 특징, 그리고 그것들을 달성하는 방법은 첨부되는 도면과 함께 상세하게 후술되어 있는 실시 예들을 참조하면 명확해질 것이다. 그러나 본 발명은 이하에서 게시되는 실시 예에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 수 있으며, 단지 본 실시 예들은 본 발명의 게시가 완전하도록 하고, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이며, 본 발명은 청구항의 범주에 의해 정의될 뿐이다. 명세서 전체에 걸쳐 동일 참조 부호는 동일 구성 요소를 지칭한다.

[0037] 다른 정의가 없다면, 본 명세서에서 사용되는 모든 용어(기술 및 과학적 용어를 포함)는 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 공통적으로 이해될 수 있는 의미로 사용될 수 있을 것이다. 또 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 명백하게 특별히 정의되어 있지 않는 한 이상적으로 또는 과도하게 해석되지 않는다. 본 명세서에서 사용된 용어는 실시 예들을 설명하기 위한 것이며 본 발명을 제한하고자 하는 것은 아니다. 본 명세서에서, 단수형은 문구에서 특별히 언급하지 않는 한 복수형도 포함한다.

[0038] 명세서에서 사용되는 "포함한다 (comprises)" 및/또는 "포함하는 (comprising)"은 언급된 구성 요소, 단계, 동작 및/또는 소자는 하나 이상의 다른 구성 요소, 단계, 동작 및/또는 소자의 존재 또는 추가를 배제하지 않는다.

[0040] 본 발명은 열유속 측정 지그(10) 및 이를 포함하는 봉형 히터의 열유속 교정장치(600)에 관한 것이다. 본 발명은 열전달 경계면에서의 면대면 접촉 저항을 제거함으로써 고출력, 고온의 봉형 히터(700)의 길이방향을 따르는 국소 열유속을 정밀하게 측정할 수 있고록 한다. 이하에서는, 열유속 측정 지그(10)의 구성을 먼저 설명하고, 열유속 측정 지그(10)(이하, 간략히 "측정 지그"라 할 수 있음)에 대한 이해를 바탕으로 하여 봉형 히터의 열유속 교정장치(600)(이하, 간략히 "교정장치"라 할 수 있음)에 대해 설명한다.

[0041] 도 1은 본 발명의 일 실시형태에 따른 열유속 측정 지그(10)에 대한 분해 사시도이고, 도 2는 도 1의 열유속 측정 지그(10)에 대한 조립 사시도이다. 도면을 참조하면, 본 발명의 열유속 측정 지그(10)는 용기(100)와 한 쌍의 덮개(200), 센서 하우징(300) 및 광섬유 센서(400)를 포함한다.

[0042] 용기(100)는 내부에 수용공간을 형성하며, 길이방향 양단이 개방되어 있다. 용기(100)의 수용공간은 센서 하우징(300)을 담기 위한 것이고, 또한 후술할 열전달 매질(800)을 담기 위한 것이다. 도면의 실시형태에서, 용기(100)는 양단에 플랜지가 구비된 파이프로 도시되어 있지만, 이것은 하나의 예시로서, 그 외의 각종 용기(100)가 적용될 수 있다.

[0043] 한 쌍의 덮개(200)는 파이프의 양단에 대해 결합하며, 용기(100)의 내부를 밀봉할 수 있다. 또한, 덮개(200)는 센서 하우징(300)과, 후술할 봉형 히터(700)를 지지하는 역할을 할 수 있다. 한 쌍의 덮개(200)는 용기(100)에 대해 분리가 가능하게 결합할 수 있다. 이를 위해, 도시된 실시형태와 같이, 한 쌍의 덮개(200)는 용기(100)의 양단에 플랜지 결합을 이룰 수 있다.

[0044] 센서 하우징(300)은, 내부에 공간을 만들기 위해, 중공 파이프 부재의 형태를 이루고 있다. 센서 하우징(300)의 중공 내부 공간에는 봉형 히터(700)가 배치되며, 또한 열전달 매질(800)이 유동하게 된다. 그리고, 센서 하우징(300)의 내주면 및 외주면에는 길이방향을 따라 복수의 홈(310)이 형성되어 있다. 이 홈(310)은 광섬유 센서

(400)가 장착되는 공간을 제공한다. 내주면에도 길이방향을 따라 길게 광섬유 센서(400)가 장착되므로, 편리하고 안정적인 장착을 위해, 센서 하우징(300)은 길이방향을 따라 반분된 제1 센서 하우징(300-1) 및 제2 센서 하우징(300-2)으로 이루어질 수 있다.

[0045] 도 3 및 도 4에 도시된 바와 같이, 센서 하우징(300)은 각 덮개(200)에 관통 형성된 슬롯(210)에 끼워져 지지될 수 있으며, 이를 통해 센서 하우징(300)은 용기(100)에 대해 고정될 수 있다. 여기서, 유동하는 열전달 매질(800)의 유출이 일어나지 않도록, 센서 하우징(300)과 덮개(200) 사이는 밀봉된다. 예를 들어, 슬롯(210)의 형상을 센서 하우징(300)의 단면 형태에 일치하도록 만들고 적절한 밀봉재(미도시)를 주변에 도포함으로써, 접촉면의 기밀을 완성할 수 있다.

[0046] 그리고, 센서 하우징(300)에 삽입된 봉형 히터(700)의 국소 열유속을 특정하는 온도 센서로서, 도 5에 나타난 것과 같이, 내주면 및 외주면의 홈(310)에 각각 광섬유 센서(400)가 설치된다. 광섬유 센서(400)는, 좀더 정확하게는 분포형 광섬유 센서(400)로 지칭된다. 분포형 광섬유 센서(400)는, 파장 가변 레이저를 광섬유 센서(400)에 조사하고, 레일리(Rayleigh) 산란 효과로 인해 반사되는 빛의 파장 스펙트럼을 분석함으로써 온도를 측정한다. 상용화된 분포형 광섬유 센서(400)의 공간 분해능은 최대 0.65㎜(광섬유 센서 1m당 최대 1,538 포인트) 수준으로서, 이러한 공간 분해능에 의해 고밀도의 연속적인 온도 측정이 가능하다.

[0047] 여기서, 센서 하우징(300)은 내주면 및 외주면에 각각 형성된 홈(310)이 서로 일대일로 대응하도록 구성된다. 즉, 내주면 및 외주면에 각각 장착되는 광섬유 센서(400)는 일대일로 대응하여 쌍을 이루게 된다. 이와 같이, 센서 하우징(300)의 벽을 가로질러 그 안팎으로 광섬유 센서(400)를 설치하는 것은, 해당 지점에서의 국소 열유속을 산출하기 위한 것이다. 다시 말해, 센서 하우징(300) 소재의 열전도도는 이미 알고 있는 값이고, 센서 하우징(300)의 내주면과 외주면의 온도를 측정하여 그 온도차를 알게 되면, 이 값들로부터 열유속을 계산할 수 있다.

[0048] 특히, 광섬유 센서(400)의 공간 분해능은 최대 0.65㎜ 수준에 달하므로, 봉형 히터(700)의 길이방향을 따라 1㎜ 미만의 간격으로 국소 열유속을 측정할 수 있다. 봉형 히터(700)에서 방출하는 열은 원주방향을 따라 균일하게 방사상으로 퍼져나가는 것으로 모델링할 수 있다. 따라서, 센서 하우징(300)은, 일대일로 대응하는 내주면 및 외주면의 홈(310)이, 도 6의 단면도에 도시된 것처럼, 센서 하우징(300)의 반경방향을 따르는 방사상 배치를 이루도록 설계하는 것이 바람직할 수 있다.

[0049] 그리고, 도 5를 참조하면, 센서 하우징(300)은, 길이방향을 따라 중공 내부와 연통하는 적어도 하나 이상의 관통 홈(320)을 포함할 수 있다. 관통 홈(320)은 센서 하우징(300) 내부로 열전달 매질(800)이 유동할 수 있는 통로를 제공한다. 용기(100) 안에서, 열전달 매질(800)은 센서 하우징(300)은 안팎을 감싸면서 유동한다. 그리고, 봉형 히터(700)는 센서 하우징(300)에 대해 동심을 이루면서 내주면과 약간 이격되어 있으므로, 열전달 매질(800)은 내주면의 광섬유 센서(400)와 봉형 히터(700) 사이의 환형 공간으로도 흘러간다.

[0050] 그리고, 도 2에 도시된 것과 같이, 본 발명의 일 실시형태에 따른 측정 지그(10)는, 용기(100)의 덮개(200) 밖으로 돌출된 센서 하우징(300)의 중공 내부로 삽입되는 환형 단면의 스페이서(500)를 더 포함할 수 있다. 스페이서(500)의 내부 공간으로 봉형 히터(700)가 끼워져 지지될 수 있으며, 또한 스페이서(500)는 센서 하우징(300)의 내주면과 봉형 히터(700) 사이의 간격을 유지하면서 기밀을 유지하는 역할을 한다.

[0051] 상기와 같은 구성을 구비한 열유속 측정 지그(10)를 이용하면, 도 7의 봉형 히터의 열유속 교정장치(600)를 구성할 수 있다. 도시된 교정장치(600)는 측정지그와 봉형 히터(700), 열전달 매질(800) 및 이를 순환하기 위한 순환 유로(900) 및 펌프(910)를 포함한다.

[0052] 봉형 히터(700)는 측정 지그(10)의 센서 하우징(300) 내주면과 이격되도록 중공 내부로 삽입되고, 한 쌍의 덮개(200)에 의해 그 양단이 지지된다. 봉형 히터(700)는 세장비가 수 십에 이르는 기다란 봉 형태의 히터이며, 예를 들어 원자로 노심을 모사한 실험에서 핵 연료봉을 대체하는 히터일 수 있다. 예시된 봉형 히터(700)는 원통형으로서 원주면을 따라 균일한 열유속을 형성하기에 적합한 형태를 이루고 있다. 다만, 목적에 따라서는 봉형 히터(700)는 각형일 수도 있으므로, 본 명세서의 봉형 히터(700)는 세장비가 큰 기다란 형태의 히터를 지칭하는 것으로 이해될 필요가 있다.

[0053] 그리고, 본 발명의 교정장치(600)는, 광섬유 센서(400)와 봉형 히터(700) 사이의 효과적인 열전달을 위한 열전달 매질(800)을 포함한다. 열전달 매질(800)은 측정 지그(10)의 용기(100) 내부를 거쳐 외부로 순환 유동한다. 용기(100) 내에서, 열전달 매질(800)은 센서 하우징(300)의 관통 홈(320)을 통해 내부로 유입하고, 또한 관통 홈(320)을 통해 유출된다. 이에 따라, 센서 하우징(300)의 내부에서, 광섬유 센서(400)와 봉형 히터(700) 사이

의 환형 공간에는 열전달 매질(800)이 채워져 흐른다.

[0054] 순환 유로(900)는 열전달 매질(800)이 유동하도록 용기(100)에 대해 폐회로를 구성하는 관로에 해당한다. 그리고, 펌프(910)는 열전달 매질(800)이 폐회로를 순환하는 동력을 제공한다. 펌프(910)에 의해, 열전달 매질(800)은 용기(100) 안으로 유입되고, 배출된 후 다시 유입되는 순환을 반복한다.

[0055] 본 발명에 따른 교정장치(600)에 있어서, 열전달 매질(800)의 선택은 중요하다. 열전달 매질(800)은 봉형 히터(700)의 열유속이 광섬유 센서(400) 및 센서 하우징(300)으로 손실 없이 신속히 유입되도록 하면서, 경계면에서의 면대면 접촉저항을 줄이거나 제거할 수 있어야 한다. 따라서, 열전달 매질(800)은 센서 하우징(300)에 대응하는 열전도도를 구비하는 것이 바람직하다. 하지만, 기체의 열전도도는 너무 낮고, 대부분의 액체 역시 금속 재질인 센서 하우징(300)의 열전도도에 미치지 못한다.

[0056] 따라서, 본 발명에서는, 열전달 매질(800)로서 센서 하우징(300)에 대응하는 열전도도를 구비하면서, 상온부터 봉형 히터(700)의 가열온도 범위에서 액상 상태에 있는 액체 금속을 채택하였다. 특히, 열전달 매질(800)인 액체 금속은 상온에서도 액체 상태에 있어야만, 봉형 히터(700)의 작동 여부와 무관하게 순환 유로(900)를 유동할 수 있다. 아울러, 열전달 매질(800)이 액체 금속일 경우에, 펌프(910)는 액체 금속에 적합한 전자기 펌프를 적용할 수 있다.

[0057] 예를 들어, 열전달 매질(800)은 갈린스탄인 것이 바람직할 수 있다. 갈린스탄은 갈륨(gallium), 인듐(indium) 및 주석(tin)으로 구성된 공정 합금을 지칭하는 것으로서, -19℃에서 녹으므로 상온에서 액상인 액체 금속이며, 800℃ 정도의 고온에서도 끓지 않는다. 따라서, 갈린스탄은 봉형 히터(700)의 작동에 영향을 받지 않고, 항상 안정적으로 용기(100) 및 순환 유로(900)를 유동할 수 있다. 또한, 갈린스타의 열전도도는 상온에서 대략 16.5W/m·K로서 스틸 계열 금속의 열전도도(예를 들어, 스테인리스스틸의 열전도도는 대략 15W/m·K 내외)와 거의 유사하다. 따라서, 갈린스탄은 봉형 히터(700)의 열유속이 광섬유 센서(400) 및 센서 하우징(300)으로 신속히 유입되도록 하고, 열전달 매질(800)의 면대면 접촉에 의한 접촉저항을 실질적으로 제거함으로써, 정밀한 국소 열유속 측정을 가능케 한다. 아울러 갈린스탄은 독성이 없으므로, 액체 금속으로서 독성이 강한 수은을 대체할 수 있는, 현 시점에서 본 발명에 가장 적합한 열전달 매질(800)이라 할 수 있다.

[0058] 다시 도 7을 참조하면, 순환 유로(900) 상에는 열교환기(920)가 설치되어 있다. 열교환기(920)는 용기(100)로부터 가열 배출된 열전달 매질(800)을, 외부에서 공급되는 저온의 냉매와 열교환을 시켜 냉각한다. 열교환기(920)를 통해, 순환하는 열전달 매질(800)에 열이 쌓이는 것이 방지된다. 열전달 매질(800)의 유속은 봉형 히터(700)의 온도, 다시 말해 열전달 매질(800)의 온도 상승율에 따라 조정될 수 있다.

[0059] 그리고, 용기(100)의 출구와 열교환기(920) 사이에서, 순환 유로(900) 상의 최고 높이에 설치되는 팽창 탱크(930)를 더 포함할 수 있다. 팽창 탱크(930)에는 열전달 매질(800)이 일부분만 채워져 충분한 여유 공간이 존재한다. 팽창 탱크(930)는, 열전달 매질(800)이 온도 상승에 따라 부피가 팽창하는 것을 완충하는 역할을 한다.

[0060] 그리고, 펌프(910)의 출구와 용기(100) 사이의 순환 유로(900) 상에 설치되는 열전달 매질(800)의 저장 탱크(940)를 더 포함할 수 있으며, 저장 탱크(940)와 순환 유로(900) 사이에 밸브(942)가 배치되어 있다. 저장 탱크(940)는 전체 열전달 매질(800)을 담을 수 있는 체적을 구비한다. 밸브(942)는 개방되고, 교정장치(600)의 사용 시작에 맞춰 용기(100)와 순환 유로(900)로 열전달 매질(800)을 공급하고, 또한 교정장치(600)의 사용 종료에 맞춰 용기(100)와 순환 유로(900)의 열전달 매질(800)을 회수하는 역할을 한다.

[0061] 예를 들어, 교정장치(600)는 저장 탱크(940) 내부로 저반응성 기체, 예를 들어 질소나 비활성 기체를 가압 공급하는 가압 장치(944)를 포함할 수 있다. 가압 장치(944)가 공급하는 저반응성 기체의 가압에 의해, 저장 탱크(940) 안에 수용된 열전달 매질(800)은 개방된 밸브(942)를 통해 순환 유로(900)로 공급될 수 있으며, 열전달 매질(800)은 순환 유로(900)를 거쳐 용기(100) 내부도 채우게 된다. 물론, 열전달 매질(800)의 공급이 완료되면, 밸브(942)는 폐쇄된다.

[0062] 또한, 저장 탱크(940)는 용기(100) 및 순환 유로(900) 상의 열전달 매질(800)을 회수하는 드레인 탱크로 사용할 수 있다. 교정 시험이 종료되어 봉형 히터(700)의 가열이 중단되고, 펌프(910)는 가동을 유지하여 열교환기(920)를 통해 열전달 매질(800)을 충분히 냉각한 후에 열전달 매질(800)은 저장 탱크(940)로 회수된다. 저장 탱크(940)는 순환 유로(900)의 최저 지점에 배치될 수 있으며, 이럴 경우 밸브(942)를 개방하면 중력에 의해 용기(100)와 순환 유로(900) 상의 열전달 매질(800)은 저장 탱크(940)로 흘러들어간다. 이런 측면에서, 저장 탱크(940)는 드레인 탱크의 역할을 한다고 말할 수 있다.

[0064] 이상 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 실시 예들을 설명하였지만, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 그 기술적 사상이나 필수적인 특징을 변경하지 않고서 다른 구체적인 형태로 실시될 수 있다는 것을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 이상에서 기술한 실시 예들은 모든 면에서 예시적인 것이며 한정적이 아닌 것으로 이해해야만 한다.

부호의 설명

[0065] 10: 열유속 측정 지그 100: 용기

200: 덮개 210: 슬롯

300: 센서 하우징 300-1: 제1 센서 하우징

300-2: 제2 센서 하우징 310: 홈

320: 관통 홈 400: 광섬유 센서

500: 스페이서 600: 열유속 교정장치

700: 봉형 히터 800: 열전달 매질

900: 순환 유로 910: 펌프

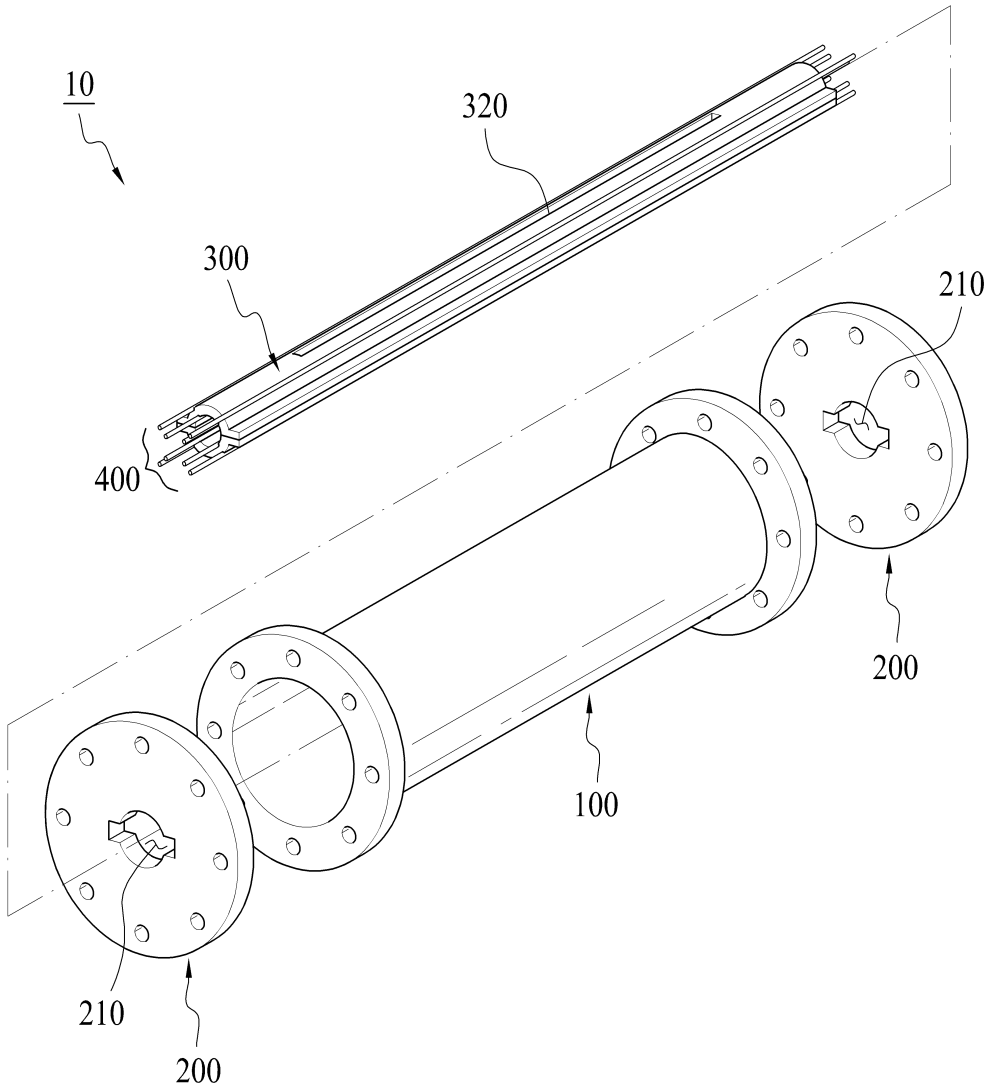
920: 열교환기 930: 팽창 탱크

940: 저장 탱크 942: 밸브

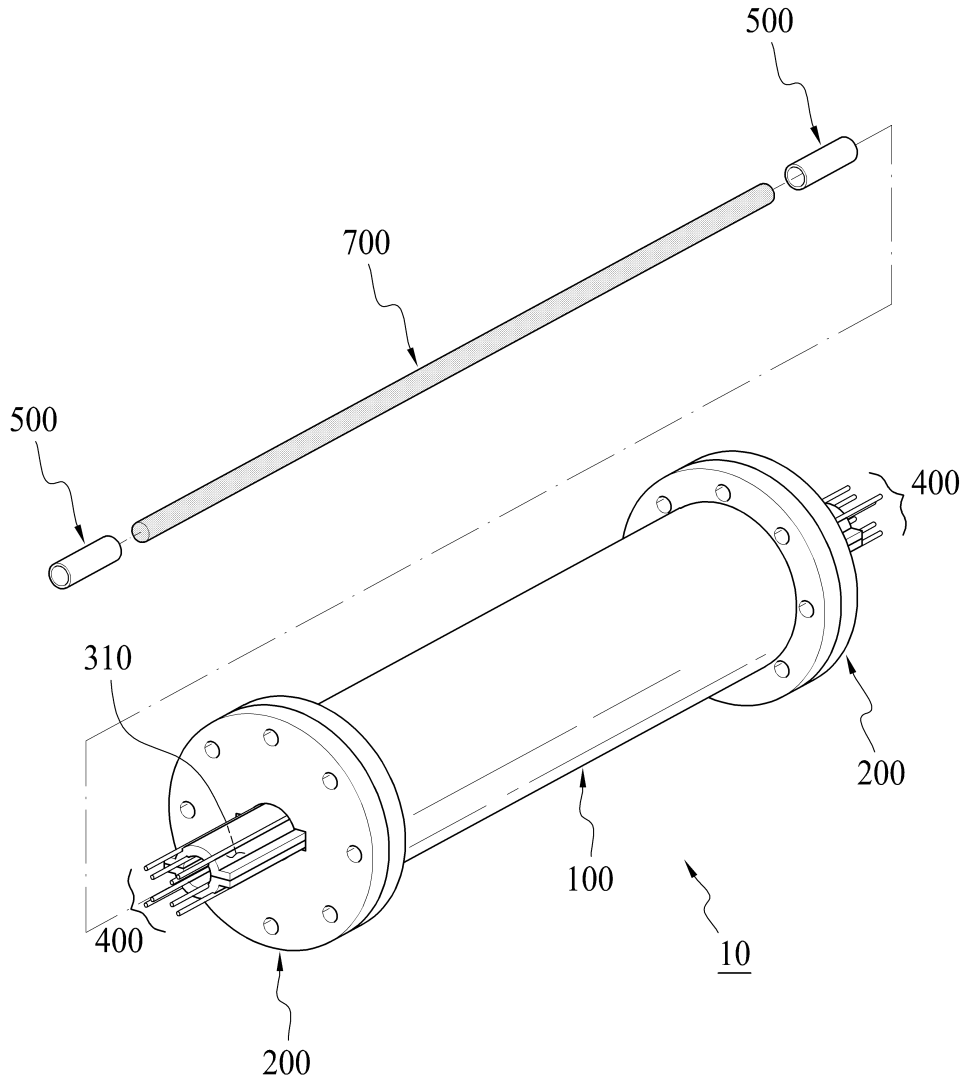
944: 가압 장치

도면

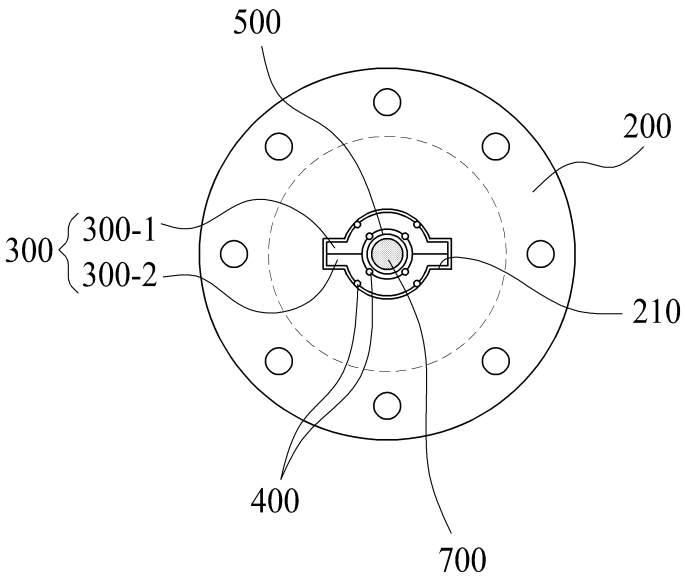
도면1



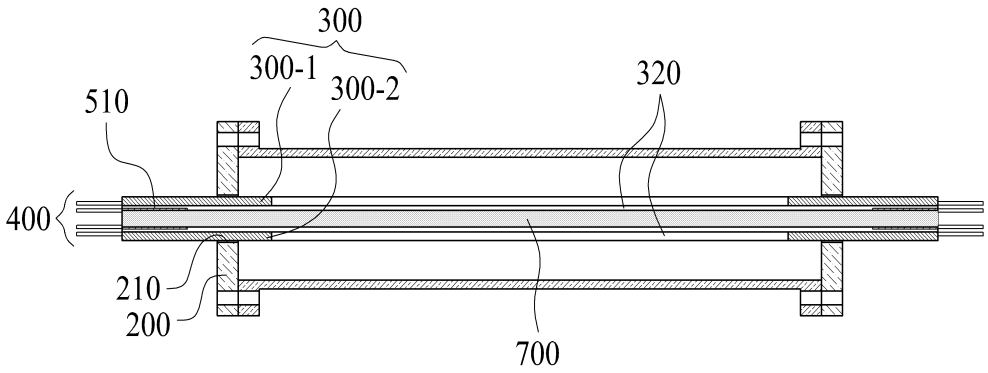
도면2


500
700
500
400
310
200
100
400
10
200

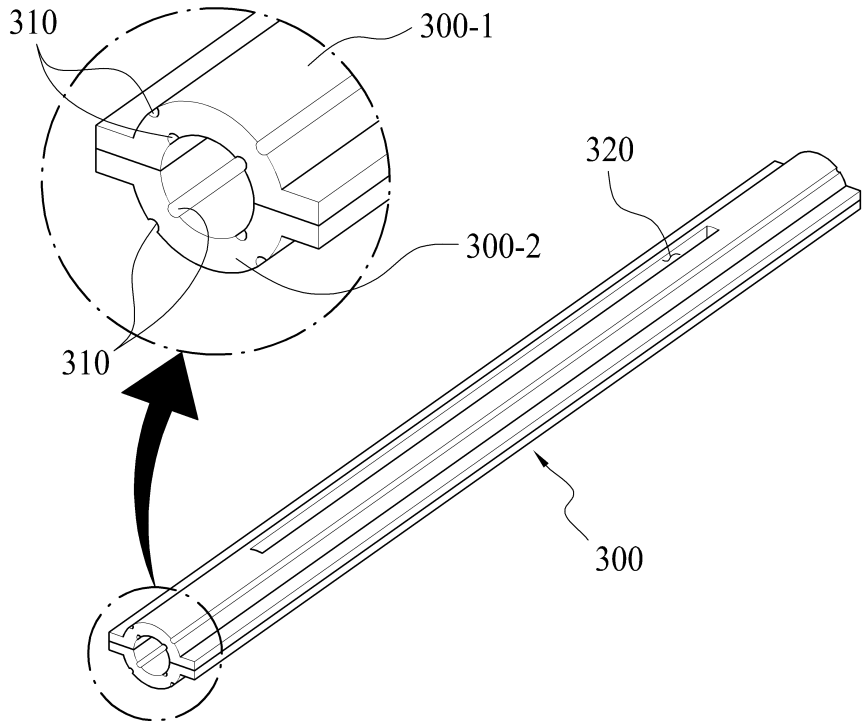
도면3


500
200
300
300-1
300-2
210
400
700

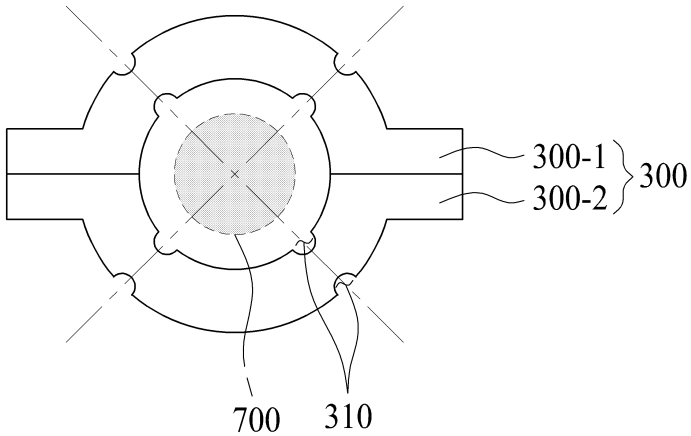
도면4


300
300-1
300-2
320
510
400
210
200
700

도면5


310
300-1
320
300-2
310
300

도면6


300-1
300-2
300
700
310

도면7

