(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일
2019 년 8 월 22 일 (22.08.2019)

WIPO | PCT

(10) 국제공개번호
WO 2019/160174 A1

(51) 국제특허분류:
*G21C 17/00* (2006.01) *G21C 1/03* (2006.01)

(21) 국제출원번호: PCT/KR2018/001926

(22) 국제출원일: 2018 년 2 월 14 일 (14.02.2018)

(25) 출원언어: 한국어

(26) 공개언어: 한국어

(30) 우선권정보:
10-2018-0017456 2018 년 2 월 13 일 (13.02.2018) KR

(71) 출원인: **서울대학교 산학협력단 (SEOUL NATIONAL UNIVERSITY R&DB FOUNDATION)** [KR/KR]; 08826 서울시 관악구 관악로 1, Seoul (KR).

(72) 발명자: **황일순 (HWANG, Il Soon)**; 06725 서울시 서초구 서초중앙로2길 48, 501호., Seoul (KR). **신용훈 (SHIN, Yong Hoon)**; 05234 서울시 강동구 고덕로61길 37, 101동 2003호., Seoul (KR).

(74) 대리인: **김순웅 (KIM, Soon Woong)**; 08380 서울시 구로구 디지털로 31길 20 (구로동) 601호., Seoul (KR).

(81) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 지정국 (별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 역내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**규칙 4.17에 의한 선언서:**

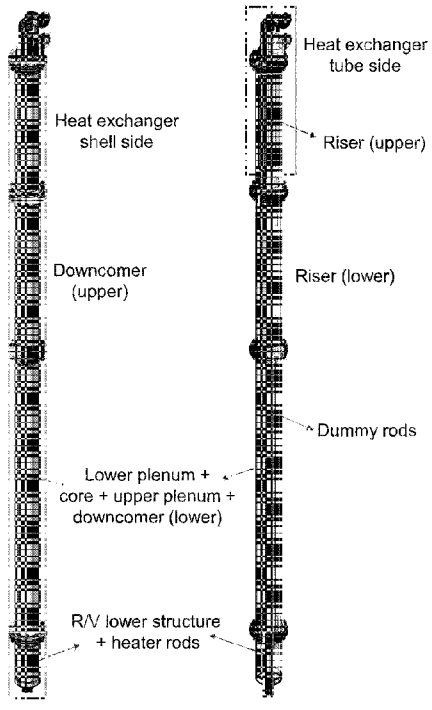
— 신규성을 해치지 아니하는 개시 또는 신규성 상실의 예외에 관한 선언 (규칙 4.17(v))

**공개:**

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제21조(3))

**(54) Title:** POOL-TYPE INTEGRAL LEADING FACILITY FOR LEAD-ALLOY COOLED ADVANCED SMALL MODULAR REACTOR

**(54) 발명의 명칭:** 납냉각 피동형 소형모듈화원전의 안전성 검증을 위한 풀형 종합 실험 장비




**(57) Abstract:** A pool-type integral leading facility for a lead-alloy cooled advanced small modular reactor (PILLAR) of the present invention is downscaled experimental equipment for verifying the natural circulation safety and load following capability of a new lead-alloy cooled advanced small modular reactor. URANUS, which is the lead-alloy cooled advanced small modular reactor to be substantiated through the present invention, uses a lead-bismuth eutectic as a coolant and has a pool-type design in which all of the rector systems are included in a simple reactor vessel, thereby maximizing safety. Furthermore, a reactor coolant pump, which is an active device for generating the flow of a coolant, is excluded such that an accident, which can occur because of the failure of a corresponding device, is prevented in advance, thereby contributing to the maximization of inherent safety.

**(57) 요약서:** 본 발명의 납냉각 피동형 소형모듈화원전의 안전성 검증을 위한 풀형 종합 실험 장비(PILLAR: Pool-type Integral Leading facility for Lead-alloy cooled Advanced small modular Reactor)는 신형 납냉각 피동형 소형모듈화원전의 자연순환 안전성과 부하추종 능력을 검증하기 위한 축소 실험 설비이다. 본 발명을 통해 실증하고자 하는 납냉각 피동형 소형모듈화원전인 URANUS는 납-비스무스 공융물을 냉각재로 하고 모든 원자로 계통이 단일 원자로 용기 내부에 포함되는 풀형 설계를 통해 안전성을 극대화한다. 아울러, 냉각재의 유동을 발생하는 능동 장치인 원자로 냉각재 펌프를 배제하여 해당 기기의 실패로 인해 발생할 수 있는 사고를 미연에 방지하여 고유안전성 극대화에 기여한다.

WO 2019/160174 A1

# 명세서

# 발명의 명칭: 납냉각 피동형 소형모듈화원전의 안전성 검증을 위한 풀형 종합 실험 장비

## 기술분야

[1] 본 발명은 피동형 납-비스무스 냉각 소형모듈화원전의 자연순환 냉각 능력을 통한 고유안전성과 외부 운용 요건 변화에 대한 출력 변동에 따른 부하추종 능력을 검증하기 위한 축소 실험 설비의 설계 및 개발에 대한 것이다.

## 배경기술

[2] 현재의 제3세대 혹은 제3+세대 원전(generation III/III+ nuclearpowerplants)과는 다르게 미래의 원전이라 불리는 제4세대 원전(generation IV)은 극단적인 사고 상황에서도 외부에 가해질 방사능 오염과 피해를 억제하고 최소화할 수 있어야 하므로 계통 구성에 대한 완전히 새로운 접근이 필요하다. 신재생에너지의 확대로 인해 촉발된 에너지원 다변화로 인하여 원자력 산업 또한 부하추종 성능과 극도의 안전성을 확보하는 신개념 원자로 설계를 개발하고 있다. 이러한 관점에서 전기출력이 300 MW 이하인 원자로를 일반적으로 소형모듈화원전(Small modular reactor, 이하 SMR)이라고 지칭하고 있으며, 지속가능한 원자력 이용을 위해 해당 원자로에 대한 관심이 높아지고 있다. 이를 보여주듯, 전 세계적으로 50개 이상의 SMR이 개발 중이다.

[3] 납-비스무스 공융물(lead-bismuth eutectic;이하LBE)은 납(Pb)과 비스무스(Bi)를 각각 44.5%, 55.5% 혼합한 것으로, 마치 땜납이 낮은 기존의 납보다 낮은 온도에서 녹듯, 납의 녹는점을 123.5 °C로 낮추어 원자로 냉각재로 사용될 수 있다. 이러한 원자로를 납냉각원자로(Lead Fast Reactor, 이하 LBE)라 칭한다. LBE는 물과 달리 가압이 필요 없고 열전달 특성이 물에 비해 우수하여 원자로 핵증기발생계통 중 1차 계통의 냉각재로 활용될 수 있다. 또한 납과 비스무스 공히 질량이 높은 물질이기 때문에 노심 중성자 스펙트럼(neutron spectrum)이 속중성자(fast neutron) 영역에 위치할 수 있어 핵연료 이용도를 높이거나 초우라늄원소(transuranic elements)의 핵변환을 통해 고준위폐기물을 줄이는 등 현재의 원전이 갖추지 못한 부분에 기여할 수 있다. 또한 LBE가 물에 비해 월등한 열전달 특성을 지닌다는 점은 자연순환과 같이 유량이 느린 경우에도 정상운전과 사고 상황 모두에서 냉각재 펌프 없이 현재의 원전으로 극복하기 어려운 절정의 안전성을 보장할 수 있게 한다.

[4] 하지만 LBE는 또 다른 제4세대 원전용 냉각재로 각광받는 소듐(Na)과 마찬가지로 물이나 다른 유체에 비해 상대적으로 친숙하지 않은 액체금속(liquid metal)이기 때문에 원자로의 설계와 건설 및 운용을 위해 더 많은 지식과 연구결과가 필요한 상태이다. 따라서 일본과 EU, 러시아, 미국 등의 원자력 강국에서는 이와 관련된 활동이 증가하고 있다.

[5] 지금까지 많은 실험 장치들은 내부유동(internal flow)의 면적이 상대적으로 작고 유동의 수력학적 직경이 유동 진행방향의 길이보다 매우 작은 1차원 룹(1-dimensional loop)으로 구성되었다. 이는 룹 형태의 장비가 유체를 큰 용기에 담아두고 유동 특성을 확인하는 풀(pool)에 비해 계측 체계를 구성하는 것이 단순하고 제작과 유지·보수 또한 간편하기 때문이다. 또한 LBE의 열수력적 특성을 확실히 알지 못한 상태에서 원자로와 같은 복잡한 계통의 종합 거동을 보는 것은 매우 어렵기 때문에 현상을 단순화하고 재현 가능성이 높은 실험을 수행하기 위해 룹을 활용한 실험이 상당부분 진행되었다.

[6] 하지만 주 유동(main flow) 방향 이외의 방향의 유동에 의해 주 유동이 영향을 받는 풀형 시설을 단순한 1차원 거동으로 근사(approximate)하면 전체 계통이 반응하는 것을 제대로 파악할 수 없게 된다. 다수의 원자로는 원자로 노심 하부에 downcomer로부터 내려온 냉각재가 노심 lower plenum으로 들어가기 전에 섞이는 반구형의 하부구조를 갖는다. 또한 자연순환을 주요 냉각재 순환 메커니즘으로 활용하는 원자로의 경우 노심 내에서 위치에 따른 냉각재 속도장 분포가 미치는 영향이 효과가 펌프를 활용하는 원자로에 비해 클 것으로 예상된다. 이는 유체가 부수로(subchannel)를 따라 진행하면서 노심 출력밀도 분배에 의해 국부적으로 서로 다른 열량을 회수하기 때문으로, 특정 영역의 유로가 봉쇄되거나 증기발생기의 부분적인 실패에 따라 기포가 계통으로 들어왔을 때 이러한 3차원 거동에 의한 섭동이 원자로 계통의 안전성을 저해하는 원인이 될 수 있다.

## 발명의 상세한 설명

## 기술적 과제

[7] 상기한 문제를 해결하기 위해 본 발명은 원형로를 공학적 상사성을 통해 축소한 풀형 납냉각 피동형 소형모듈화원전 목업(mockup) 설계를 제공하는 것을 목적으로 한다.

## 과제 해결 수단

[8] 본 발명은 이러한 납-비스무스 냉각재가 향후 미래 원전 설계인 풀(pool)형 원자로 용기 내에서 자연순환을 통해 냉각 효율을 달성하고 나아가 출력 변동 운전에서도 안정성을 유지하는 지를 평가하기 위해 이를 모사할 수 있는 축소 실험 설비를 제안한다. 공학적인 관점에서 원형과 완전히 동일한 실험 설비를 갖추는 것은 불필요하고 또한 불가능하기 때문에 실험 설비의 규모 축소는 불가피하다. 원형로 URANUS와 본 발명인 실험 설비 PILLAR에서 계통의 거동을 서로 보존하기 위해서는 실험 설비의 다양한 열수력 변수를 적절하게 통제해야 한다. 적절한 축소 방법론에 의해 설계된 실험 설비는 원형로와 실험 설비의 거동을 서로 보존하기 때문에 실험을 통해 원형로의 거동을 예측하고 검증할 수 있다.

[9] 본 발명은 원형로인 납냉각 피동형 소형모듈화원전 URANUS를 기반으로 기본

형태인 풀을 최대한 유지하면서 자연순환 능력을 극대화 할 수 있도록 원형로의 형상을 축방향으로 보존하고 반경 방향으로만 축소한다는 특징을 갖는다. 이를 통해 원형로와 동일한 이중 배관 구조의 형상을 확보하여 실험 설비에서 생산한 실험 결과의 대표성을 확보했다.

[10] 본 발명은 원형로의 열원인 원자로 노심을 모사하기 위해 핵연료봉을 사용하지 않고 이를 같은 크기와 동일한 출력 및 동등한 열적 특성을 갖는 전열봉(electrical heater rod)로 이를 구성한다는 특징을 갖는다.

[11] 원형로 URANUS의 경우 원자로 계통을 냉각시키고 계통으로부터 증기를 생산하는 증기발생기가 8개 삽입되는 것으로 개념설계 되어있으나, 본 발명의 경우 축소 설계를 통해 8-10 기압의 고압수로 이를 모사하여 증기의 발생을 억제하여 이상유동(two-phase flow)에 의한 불확실성과 설비 운영의 난점을 돌파하고자 했다.

[12] 본 발명은 각각의 기기를 축방향 및 반경방향으로 구분하여 모듈화함으로써, 설계 과정 중 발생할 수 있는 오류를 최소화하고 제작을 용이하게 했으며 실제 본 발명이 설치될 장소에서의 결합 및 운용에 필요한 인적 소요를 줄였다는 특징이 있다.

## 발명의 효과

[13] 본 발명의 실시에 따라 납-비스무스를 냉각재로 사용하는 피동형 소형모듈화원전의 정상운전 및 사고상황에서의 안전성을 검증하고 외부 출력 변동 요구에 대한 계통 천이 현상에 대해 실험적으로 규명함으로서 원형로의 고유안전 설계에 대해 평가하고 향후 개발될 납냉각재 기반 원전의 피동안전성에 대한 실험 자료를 구축할 수 있며 신재생에너지와 복합형 전원으로 활용할 수 있는 연구 기반을 마련한다.

## 도면의 간단한 설명

[14] 도1은 본 발명의 필라(PILLAR) 설비의 전체 형상 및 단면도이다.

[15] 도 2는 본 발명에서 제안된 필라 설비의 히터봉 모사체의 조립도 및 축방향 단면도이다.

[16] 도 3은 열교환기 형상도 및 축방향 단면도이다.

[17] 도 4는 본 발명에서 제안된 필라 설비 내부의 단면도이다.

## 발명의 실시를 위한 형태

[18] 이하, 본 발명의 실시예를 첨부된 도면들을 참조하여 상세하게 설명한다. 우선 각 도면의 구성 요소들에 참조 부호를 첨가함에 있어서, 동일한 구성 요소들에 대해서는 비록 다른 도면상에 표시되더라도 가능한 한 동일한 부호를 가지도록 하고 있음에 유의해야 한다. 또한, 본 발명의 요지를 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명은 생략한다. 또한, 이하에서 본 발명의 실시예를 설명할 것이나, 본 발명의 기술적 사상은 이에 한정하거나 제한되지 않고 당업자에 의해 실시될 수 있음은 물론이다.

[19] 도1은 본 발명의 필라(PILLAR) 설비의 전체 형상 및 단면도이다.

[20] 본 발명에서는 기존의 룹형 설계와 달리, 도 1에서 볼 수 있는 PILLAR 설비의 전체 형상 및 단면도와 같이 전체 원자로 기기를 하나의 용기에 포함하는 축소 설계를 달성한다. 이 축소 설계에서 높이 방향으로는 길이를 보존하고 반경 방향으로는 약 1/14의 축소비를 적용하여 유로 면적을 약 1/200로 축소 설계한다. 이러한 설계를 통해 자연순환에서 가장 중요한 열원과 열침 간의 높이차를 원형로와 동일하게 유지하는 동시에 유로의 형상을 최대한 보존하여 실제 원자로에서 발생할 수 있는 계통의 종합적 거동에 대해 파악할 수 있게 한다.

[21] 도 2는 본 발명에서 제안된 PILLAR 설비의 히터봉 모사체의 조립도 및 축방향 단면도이다. 본 발명에서 제안한 축소 설비는 원형로와 달리 핵연료를 탑재하지 않고 이를 모사하기 위해 출력이 같고 유사한 열적 특성을 갖도록 설계된 전열봉을 활용한다. 전열봉의 배치는 원형로의 핵연료 배치와 같도록 하여 둘 사이의 상사성을 확보하도록 해 실험 결과가 원형로의 거동을 대표할 수 있도록 한다.

[22] 원형로의 경우 원자로 노심에서 생산된 열을 제거하는 동시에 증기를 생산하는 증기발생기를 총 8기 탑재한다. 반면 본 발명에서 제안된 PILLAR 설비의 경우, 이러한 증기발생기를 모사하는 열교환기가 하나의 단일 열침을 구성한다. 도 3의 열교환기 형상도 및 축방향 단면도는 이러한 열교환기의 형상을 보여준다. 이 단일 열교환기는 3개의 1-1/4" 배관을 통해 8-10기압으로 가압된 냉각수를 급수하고 이를 하단 수실에서 분배하여 총 27개의 19.95 mm의 외경을 가지는 튜브로 전달해 가열된 LBE로부터 열을 제거한다.

[23] 도 4는 본 발명에서 제안된 PILLAR 설비 내부의 단면도로 각 기기의 일반적 제원 및 발생된 자연순환 유동이 진행하는 방향을 보여준다. 원형로 URANUS의 형상을 반경 방향으로만 축소하여 유동 진행 경로를 그대로 유지했다.

[24]

[25] **- Reactor vessel lower structure and core heater rods**

[26] 원형로에서 reactor vessel lower structure는 원자로용기의 가장 하부에 위치하는 부분으로, downcomer로부터 들어온 LBE를 lower plenum으로 보내는 역할을 한다. 넓은 풀 형태를 가지며 유동 방향이 위치에 따라 바뀌면서 국부적인 속도장 분포가 발생한다. PILLAR의 R/V lower structure의 경우도 마찬가지인데, 원형로와의 차이점이 있다면 이 영역을 히터봉의 연장부가 관통한다는 것이다.

[27] PILLAR의 히터봉은 원자로의 핵연료와는 달리 스스로 발열하지 못하기 때문에 전력을 공급하기 위해서는 상부, 하부, 측면 중 어디에서든 연결부를 가지고 있어야 한다. 그러한 연결부는 결국 다수의 전력선(케이블)이 포함되어야 하는데, 이것은 LBE의 높은 온도(300℃)와 액체금속 환경에서 건전성을 유지할 수 없다. 따라서 lower plenum 내에 핵연료봉의 일부를 모사하는 부위를 연장하여 비발열체를 구성하고, 이를 용기 하단까지 연장하여 전력 공급을 하면서 히터봉을 지지하도록 한 것이다. 이러한 설계를 통해 두 요소를 하나의

기기로 연결하게 되었다.

[28] 또한 히터봉 다발 사이에는 각 봉의 흔들림을 방지하고 온도장 분포를 측정하기 위한 열전대(thermocouple, T/C)를 위치시키기 위한 grid spacer가 축방향으로 총 3개가 설치된다.

[29]

[30] **- Lower plenum (LP) + core + upper plenum (UP) + downcomer (DC) (lower)**

[31] 원형로에서 (active) core, upper plenum, lower plenum은 핵연료집합체가 위치하는 영역을 핵연료봉의 형태에 따라 구분한 것이다. PILLAR에서는 세 부분이 결합되어 하나의 영역을 구성한다. 이를 위해 core를 구성하는 배관을 길게 만들어 각각의 영역이 하나로 연결되게 한다. 한편, core에 들어가는 히터봉 상/하단으로 핵연료집합체를 모사하기 위한 비발열체가 포함되어야 하는데, 이전 절에서 보였듯이 하단의 비발열체는 히터봉을 지지하고 전력을 공급하기 위해 연장되어 R/V lower structure와 결합되었다. 남은 상단 비발열체는 dummyrods로 구성되어 각 기기를 연결할 때 설치되게 된다.

[32] URANUS의 경우 core의 반경방향으로 중성자 반사체(reflector)와 차폐체(shield)가 놓이는데, 반사체는 LBE가 고여있어 유량이 매우 작고 차폐체의 경우 LBE가 흐르지 않는 부분이다. 실험 설비에서는 이러한 부분을 생략했는데, 이 부분의 바깥에 downcomer가 존재하므로 척도 해석과 설계 시 두 영역이 차지하는 영역만큼을 적절히 제거해 주어야 downcomer에 가해지는 왜곡을 피할 수 있다. 이에 따라 PILLAR 상세 설계에서 이 부분을 배제하기 위해 내부에 들어가는 LP와 core는 두 개의 같은 중심축을 갖는 배관의 상/하부를 막는 방식으로 구성하여 '이중 배관'으로 구성된다. 또한 이러한 이중 배관은 사이에 자연스럽게 빈 공간이 생기게 되어 열전달을 효과적으로 억제할 수 있기 때문에 반경방향으로 불필요한 열전달을 차단하게 돼 내부 기기에서의 열손실을 줄이는 역할을 한다. 이러한 이중 배관은 제작과 설치의 용이함을 주기 위해 LP와 core뿐만 아니라 UP와 riser의 일부에도 적용된다.

[33] PILLAR를 구성하는 외부 배관들과 내부 배관들이 서로 같은 중심축 상에 놓이도록 하고 내부 배관들을 흔들림 없이 유지하는 것은 매우 어려운 설계이다. 따라서 downcomer를 두 개로 나누어 하단에 위치할 downcomer (lower)와 그 내부에 위치하는 LP + core + UP를 서로 연결하여 중심축을 맞춰주는 것이 필요하다. 또한 두 부분의 연결부위는 최소화시켜 downcomer 내부의 유동 영역을 방해하지 않도록 해야 한다. 이러한 것들을 고려해 총 4개의 영역이 하나의 기기로 구성되었고, 히터봉 상단 및 UP 부분에는 dummyrods가 놓이게 된다.

[34]

[35] **- Riser (lower)**

[36] 원형로에서 riser는 UP로부터 상승한 LBE가 H/X shell side로 가기 전까지의 영역을 지칭하고, PILLAR의 경우에도 마찬가지이다. 그러나 기기 설치를

용이하게 하기 위해 이를 두 부분으로 나누게 되었고, H/X shell side와 downcomer의 경계로부터 UP 상단까지를 riser (lower)로, 나머지 H/X shell side의 안쪽에 위치하는 부분을 riser (upper)로구분한다.

[37]

[38] **- Riser (upper)**

[39] Riser (upper)는H/X shell side로 LBE가 진행하기 위한 창(window/weir)이 존재한다.

[40]

[41] **- Heat exchanger (H/X) shell side**

[42] H/X shell side 안쪽으로는 H/X tube side가 위치하는데, 이 부분에서 LBE가 2차측으로 열을 전달하게 된다. H/X tubeside가 H/X shell side 상단에서 연결되어 전체 압력 경계를 이룬다. 또한 이 압력 경계로 인해 H/X shell side는 후술할 수위 조절 계통으로서의 역할도 수행한다.

[43]

[44] **- Heat exchanger tubeside**

[45] H/X tubeside는 열교환이 이루어지는 튜브 일체와 상단 플랜지, 튜브와 연결되는 수실 등으로 구성된다. 열교환기 tubeside는 두 종류(1-1/4'' SCH 40, 19.05OD 튜브)의 튜브로 구성된다. Tubeside 내에서 물은 3개의 굵은 튜브로 들어와 하부 torus형 수실에서 나뉘어 21개의 얇은 튜브를 통해 움직인다. 이러한 튜브들은 120o 대칭으로 배치되어 국부적인 유동 분배에 의한 왜곡을 방지한다. Riser (upper)의 3개의 창은 얇은 창들이 모여있는 부분으로 배치해 열전달 면적이 넓은 부위에서 효율적인 열전달이 이루어지도록 한다.

[46]

[47] **- Downcomer (upper)**

[48] PILLAR를 구성하는 외부 배관들과 내부 배관들이 서로 같은 중심축 상에 놓이도록 하고 내부 배관들을 흔들림 없이 유지하기 위해 downcomer를 두 개로 나누었고, downcomer (upper)는 그러한 LP + core + UP + downcomer (lower) 전체 기기 상단에 위치하게 된다.

[49]

[50] **- PILLAR 주기기 설치 및 조립 방안**

[51] PILLAR는 상술한 바와 같이 여러 개의 기기로 구성되어 있고, 각 기기가 제작된 후 실험 장비로써 운용되기 위해 조립 과정을 거쳐야 한다. 따라서 각 기기의 원활한 용접과 제작, 그리고 운반과 설치의 용이함을 보장할 수 있도록 설계되었다. 또한 추후 장비를 운용하다가 발생할 불의의 고장 혹은 실패로 인해 장비를 다시 해체해야 할 때 작업공간을 확보할 수 있도록 설치 위치를 잡아야 정상화에 대한 시간을 줄일 수 있을 것이다.

[52] PILLAR는 원형로에 비해 반경방향(x-, y-축 방향)으로는 많은 축소가 이루어졌으나 높이방향(z-축 방향)으로는 척도가 유지되므로 전체 약 8m 수준의

길이를 가지는데, 조립 및 해체 시에는 무거운 기기를 상부에서 들거나 하부에서 떠받쳐야 하므로 공간을 상당 부분 확보해야 한다.

[53] PILLAR는 내부 기기와 외부 기기가 함께 존재하므로 내부 배관은 어딘가에서 지탱되어야 한다. 또한 배관이 단순히 다른 배관에 얹히게 되면 그 사이에 틈이 발생하기 때문에 내부 배관에서 외부 배관으로, 혹은 반대 방향으로 유량 손실이 발생하여 원하는 실험 결과를 얻을 수 없게 되기 때문에 반드시 내부 기기들은 서로 빈 틈 없이 체결되어야 한다. 이러한 기기들은 모두 배관 형태이므로 플랜지와 개스킷(gasket)을 사용하면 누설을 억제할 수 있다.

[54] 외부 기기의 경우 단일 배관이므로 플랜지와 배관을 용접하여 체결부를 확보하면 유로 확보에 문제가 없으나, 내부 기기의 경우 플랜지가 추가되면 외부 기기와 내부 기기 사이의 유로 감소를 야기할 수 있다. 이를 극복하기 위해 riser (lower)의 경우 내부 배관에 플랜지를 부착하고, 플랜지 위/아래로 공간을 두어 체결부를 확보했다.

[55] 내부 배관을 구성하는 기기들은 외부 배관을 구성하는 기기들의 안쪽으로 배치되어야 하기 때문에 각 기기의 조립/해체 순서를 고려하여 기기의 구획을 나누는 것이 필요하다. PILLAR의 경우 LP + core +UP + D/C (lower)를 통해 모든 기기를 하단에서 지탱할 수 있으므로 하부에서 상부로 쌓아 올리는 방식(bottom-up approach)을 따르도록 한다. 이 방식에서는 특정 기기를 설치하고 그 지점을 기점으로 내부 기기와 외부 기기를 서로 번갈아 설치한다. 또한 번갈아 가며 설치할 때 플랜지끼리 체결을 할 수 있도록 어떤 부분에서는 내/외부 기기의 단차를 반드시 잡아주어야 한다.

[56] 원활한 작업과 운용의 용이성을 확보하기 위해서는 가급적 많은 기기들이 지하 pit가 아닌 지면에 위치해 사방에서 접근할 수 있도록 하는 것이 요구된다. 따라서 R/V lower vessel과 downcomer의 체결부를 지면 (z=0; pit 최상단)에 위치시켜 각 기기에 대한 접근성을 높이고 히터봉과 연결된 전력 케이블이 R/V lower vessel 아래쪽으로 나오게 될 때 정리가 용이하도록 하도록 설계했다. 또한 최상부에는 적어도 2.5 m 수준의 공간을 두어서 H/X tubeside가 원활하게 위로 들어올려질 수 있도록 했다.

[57]

[58] **- 열교환기(튜브측) 설계 및 냉각탑 설계 요건**

[59] 노심의 히터봉에 공급되는 전체 417 kW의 출력(추가로 20%의 여유도를 생각했을 때 약 500 kW)은 설비 상부의 열교환기를 통해 외부로 제거되어야 한다. 이 과정에서 1차측과 2차측의 운영 조건을 맞추기 위해서는 적어도 두 개의 열교환기가 필요한데, 하나는 1차측 유체 LBE에서 2차측 유체 물로 열을 전달하기 위한 기기이고, 다른 하나는 물로 전달된 열을 계통 외부로 제거하는 열교환기이다.

[60] 열교환기의 성능은 열교환기의 형상, 유체의 종류(물성) 및 유속(혹은 유량), 유체의 입-출구 온도 등 다양한 변수에 영향을 받기 때문에 특정 열교환기가

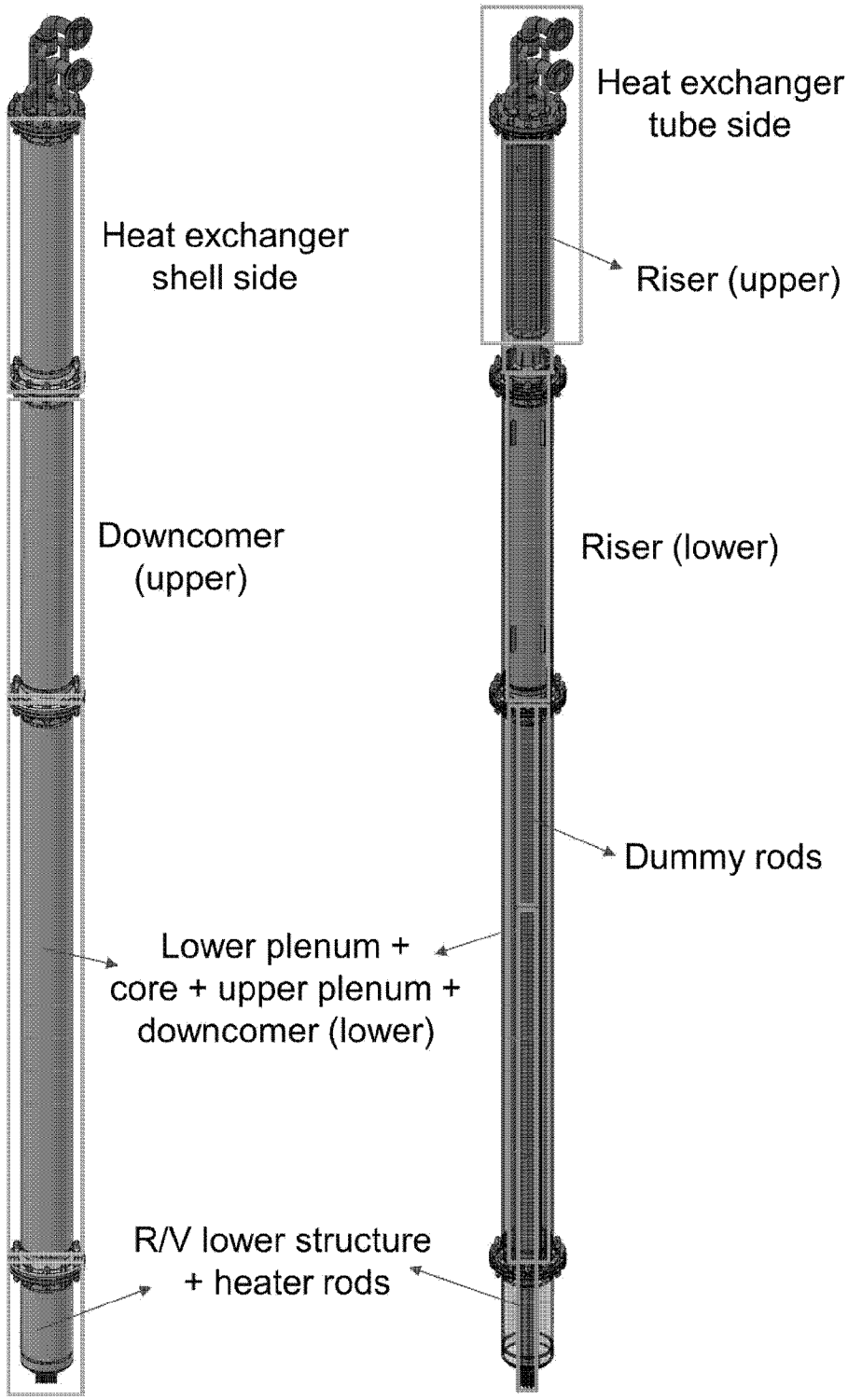
실험 설비에서 제 역할을 수행할 수 있을지를 평가해야 하는데, 이를 열정산이라 한다. 현재 PILLAR의 열교환기는 많은 튜브를 삽입해 부피 대비 높은 열교환 면적을 확보하는 방식이다. 그러나 설계된 형상이 상용 열교환기의 그것과 상이함에 따라 열정산이 반드시 필요하다.

[61] 이상의 설명은 본 발명의 기술 사상을 예시적으로 설명한 것에 불과한 것으로서, 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위 내에서 다양한 수정, 변경 및 치환이 가능할 것이다. 따라서 본 발명에 개시된 실시예 및 첨부된 도면들은 본 발명의 기술 사상을 한정하기 위한 것이 아니라 설명하기 위한 것이고, 이러한 실시예 및 첨부된 도면에 의하여 본 발명의 기술 사상의 범위가 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 보호범위는 청구 범위에 의해서 해석되어야 하며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 기술 사상은 본 발명의 권리 범위에 포함되는 것으로 해석되어야 할 것이다.

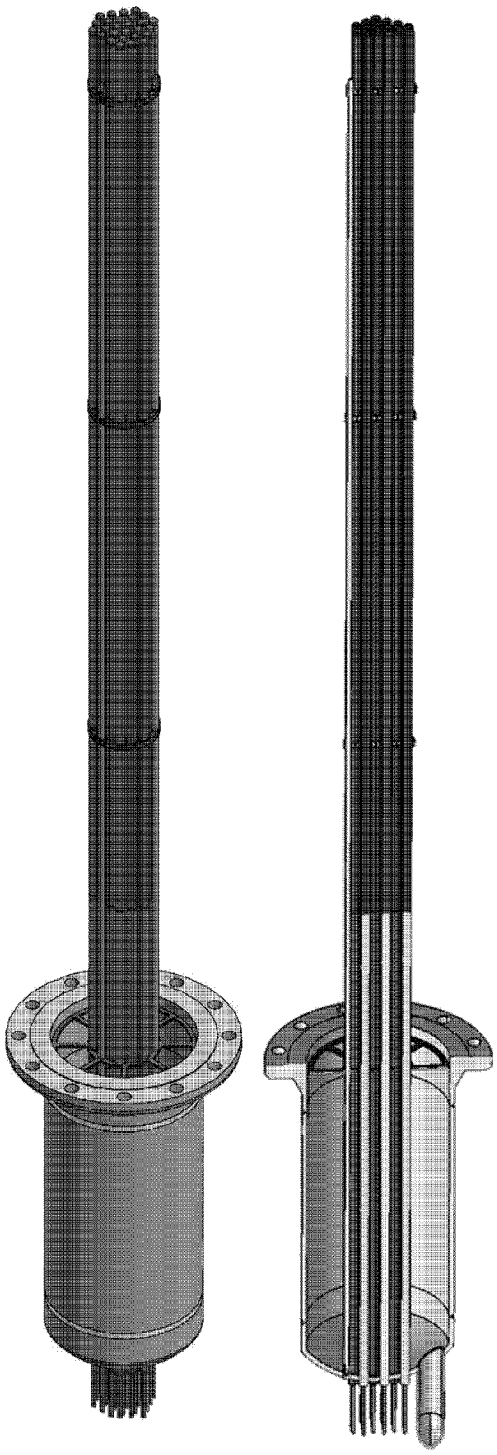
# 청구범위

[청구항 1] 히터 로드 및 리액터 베젤 하부 구조체를 구비하는 제1 구조체;
상기 제1 구조체의 상단에 연결되고, 하부 필레늄, 코어 상부 필레늄, 다운코머를 구비하는 제2 구조체;
상기 제2 구조체의 상단에 연결되는 제1 라이저(riser);
상기 제1 라이저의 상단에 연결되는 제2 라이저; 및
상기 제2 라이저의 상단에 연결되는 열교환기;를 포함하는 것을 특징으로 하는 납냉각 피동형 소형모듈화원전의 안전성 검증을 위한 풀형 종합 실험 장비.

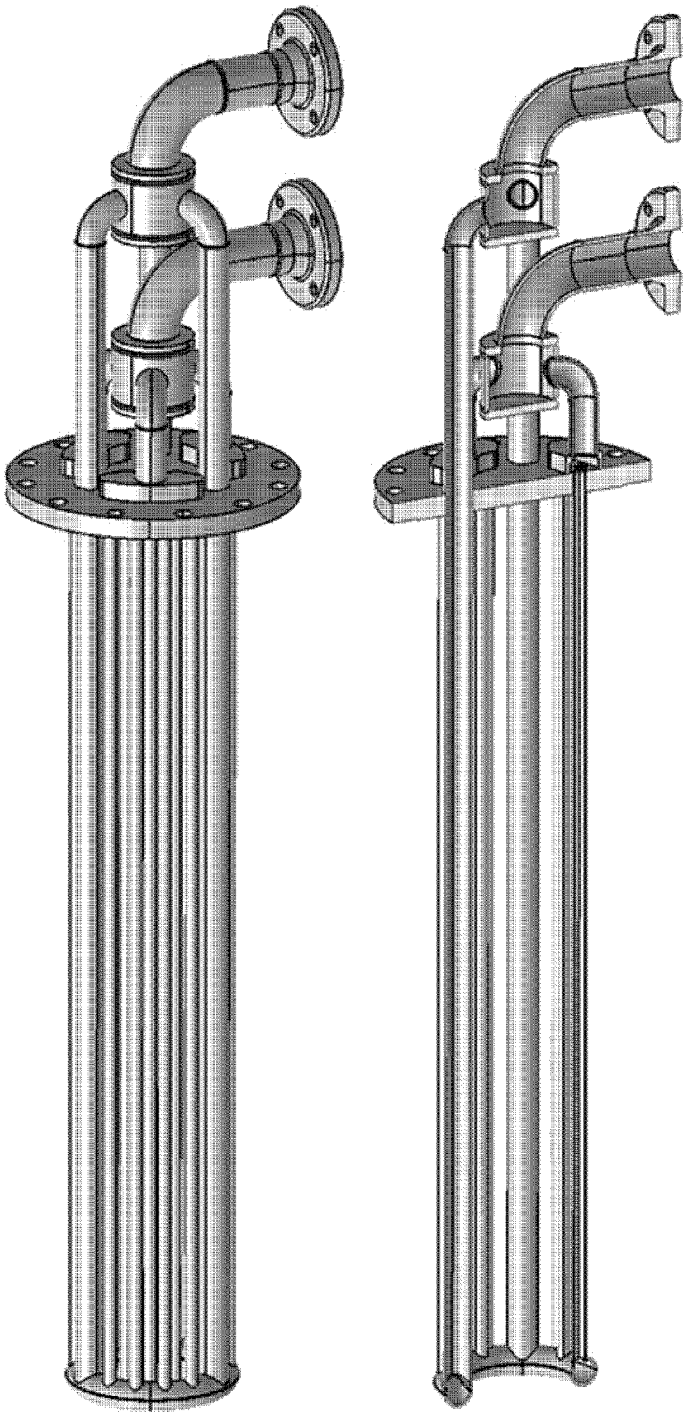
[도1]


Heat exchanger
tube side
Heat exchanger
shell side
Riser (upper)
Downcomer
(upper)
Riser (lower)
Dummy rods
Lower plenum +
core + upper plenum +
downcomer (lower)
R/V lower structure
+ heater rods

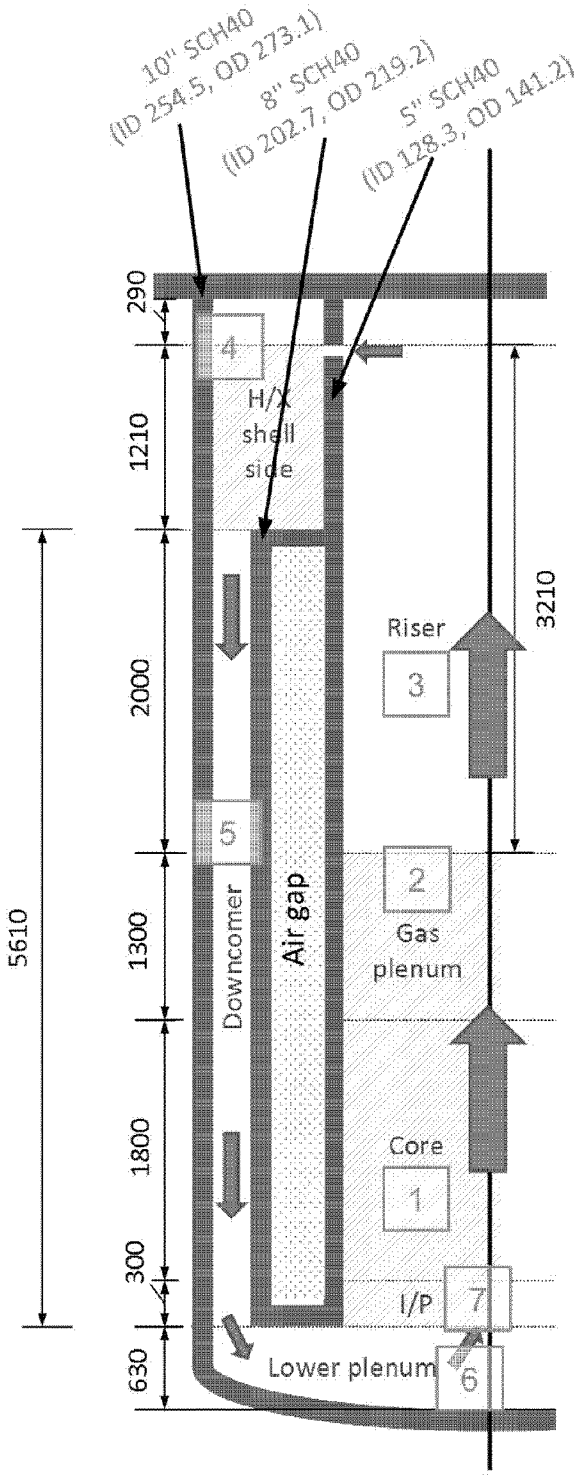
[도2]



[도3]



[도4]


10" SCH40
(ID 254.5, OD 273.1)
8" SCH40
(ID 202.7, OD 219.2)
5" SCH40
(ID 128.3, OD 141.2)
290
1210
2000
1300
1800
300
630
5610
3210
4
H/X
shell
side
Riser
3
5
Downcomer
Air gap
2
Gas
plenum
Core
1
I/P
7
Lower plenum
6

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/KR2018/001926

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

*G21C 17/00(2006.01)i, G21C 1/03(2006.01)i*

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

G21C 17/00; G21C 7/32; G21C 1/03

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Korean utility models and applications for utility models: IPC as above
Japanese utility models and applications for utility models: IPC as above

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

eKOMPASS (KIPO internal) & Keywords: small, nuclear facility, lead, coolant, electrical heater, experiment equipment, riser, heat exchanger, plenum, downcomer, pool type

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|---|---|---|
| Y | ISHII, Mamoru et al. Investigation of Natural Circulation Instability and Transients in Passively Safe Small Modular Reactors. Reactor Concepts Research Development and Demonstration. Nuclear Energy University Programs. 30 November 2016, pp. 1-240<br>See pages 184, 198, 233; and figure 11-3. | 1 |
| Y | CHO, Jaehyun et al. Power Maximization Method for Land-Transportable Fully Passive Lead-Bismuth Cooled Small Modular Reactor Systems. Nuclear Engineering and Design. Volume 289, 31 August 2015, pp. 240-251<br>See page 248; and figure 10. | 1 |
| A | WO 2011-097597 A1 (SMR, LCC.) 11 August 2011<br>See the entire document. | 1 |
| A | SAID, Ibrahim A. et al. Experimental Study on Helium Natural Convection Heat Transfer for Two Coolant Flow Channels within Prismatic Very High Temperature Reactor. Transactions of the American Nuclear Society. Volume 117, 02 November 2017, pp. 1546-1549<br>See the entire document. | 1 |

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

| Date of the actual completion of the international search | Date of mailing of the international search report |
|---|---|
| 19 OCTOBER 2018 (19.10.2018) | **19 OCTOBER 2018 (19.10.2018)** |

Name and mailing address of the ISA/KR
Korean Intellectual Property Office
Government Complex Daejeon Building 4, 189, Cheongsa-ro, Seo-gu, Daejeon, 35208, Republic of Korea
Facsimile No. +82-42-481-8578

Authorized officer

Telephone No.

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No.
**PCT/KR2018/001926**

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
|---|---|---|
| A | CHOI, Sungyeol et al. URANUS: KOREAN LEAD-BISMUTH COOLED SMALL MODULAR FAST REACTOR ACTIVITIES. Proceedings of the ASME 2011 Small Modular Reactors Symposium. SMR 2011. 30 September 2011, pp. 1-6<br>See the entire document. | 1 |
| X | SHIN, Youn-hoon et al. Design of an integral experimental facility for lead-alloy cooled small modular reactor research: PILLAR. GLANST-2017:Global Symposium on Lead and Lead Alloy based Nuclear Energy Science and Technology. 08 September 2017<br>See the entire document.<br><br>※ The above document is a known document declaring exceptions to lack of novelty by the applicant. | 1 |

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**
Information on patent family members

International application No.
**PCT/KR2018/001926**

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member | Publication date |
|---|---|---|---|
| WO 2011-097597 A1 | 11/08/2011 | CN 102859606 A | 02/01/2013 |
| | | EP 2534660 A1 | 19/12/2012 |
| | | KR 10-2012-0132493 A | 05/12/2012 |
| | | US 2012-0307956 A1 | 06/12/2012 |
| | | US 2017-0133112 A1 | 11/05/2017 |

# 국제조사보고서

국제출원번호
**PCT/KR2018/001926**

**A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC))**

**G21C 17/00(2006.01)i, G21C 1/03(2006.01)i**

**B. 조사된 분야**

조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재)
G21C 17/00; G21C 7/32; G21C 1/03

조사된 기술분야에 속하는 최소문헌 이외의 문헌
한국등록실용신안공보 및 한국공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC
일본등록실용신안공보 및 일본공개실용신안공보: 조사된 최소문헌란에 기재된 IPC

국제조사에 이용된 전산 데이터베이스(데이터베이스의 명칭 및 검색어(해당하는 경우))
eKOMPASS(특허청 내부 검색시스템) & 키워드: 소형, 원전, 납, 냉각재, 전열기, 실험장비, 라이저, 열교환기, 필레늄, 다운코머, 풀형

**C. 관련 문헌**

| 카테고리* | 인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재 | 관련 청구항 |
|---|---|---|
| Y | MAMORU ISHII 등., `Investigation of Natural Circulation Instability and Transients in Passively Safe Small Modular Reactors`, Reactor Concepts Research Development and Demonstration, Nuclear Energy University Programs, 2016.11.30, pp 1-240<br>페이지 184, 198, 233; 및 도면 11-3 참조. | 1 |
| Y | JAEHYUN CHO 등., `Power Maximization Method for Land-Transportable Fully Passive Lead-Bismuth Cooled Small Modular Reactor Systems`, Nuclear Engineering and Design, Volume 289, 2015.08.31, pp 240-251<br>페이지 248; 및 도면 10 참조. | 1 |
| A | WO 2011-097597 A1 (SMR, LCC.) 2011.08.11<br>문서 전체 참조. | 1 |
| A | IBRAHIM A. SAID 등., `Experimental Study on Helium Natural Convection Heat Transfer for Two Coolant Flow Channels within Prismatic Very High Temperature Reactor`, Transactions of the American Nuclear Society, Volume 117, 2017.11.02, pp 1546-1549<br>문서 전체 참조. | 1 |

☒ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다.

☒ 대응특허에 관한 별지를 참조하십시오.

* 인용된 문헌의 특별 카테고리:

"A" 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌

"E" 국제출원일보다 빠른 출원일 또는 우선일을 가지나 국제출원일 이후에 공개된 선출원 또는 특허 문헌

"L" 우선권 주장에 의문을 제기하는 문헌 또는 다른 인용문헌의 공개일 또는 다른 특별한 이유(이유를 명시)를 밝히기 위하여 인용된 문헌

"O" 구두 개시, 사용, 전시 또는 기타 수단을 언급하고 있는 문헌

"P" 우선일 이후에 공개되었으나 국제출원일 이전에 공개된 문헌

"T" 국제출원일 또는 우선일 후에 공개된 문헌으로, 출원과 상충하지 않으며 발명의 기초가 되는 원리나 이론을 이해하기 위해 인용된 문헌

"X" 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌 하나만으로 청구된 발명의 신규성 또는 진보성이 없는 것으로 본다.

"Y" 특별한 관련이 있는 문헌. 해당 문헌이 하나 이상의 다른 문헌과 조합하는 경우로 그 조합이 당업자에게 자명한 경우 청구된 발명은 진보성이 없는 것으로 본다.

"&" 동일한 대응특허문헌에 속하는 문헌

| 국제조사의 실제 완료일 | 국제조사보고서 발송일 |
|---|---|
| 2018년 10월 19일 (19.10.2018) | 2018년 10월 19일 (19.10.2018) |

ISA/KR의 명칭 및 우편주소
대한민국 특허청
(35208) 대전광역시 서구 청사로 189,
4동 (둔산동, 정부대전청사)
팩스 번호 +82-42-481-8578

심사관
박혜련
전화번호 +82-42-481-3463

# 국제조사보고서

국제출원번호
**PCT/KR2018/001926**

C (계속). 관련 문헌

| 카테고리* | 인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재 | 관련 청구항 |
|---|---|---|
| A | SUNGYEOL CHOI 등., `URANUS: KOREAN LEAD-BISMUTH COOLED SMALL MODULAR FAST REACTOR ACTIVITIES`, Proceedings of the ASME 2011 Small Modular Reactors Symposium, SMR 2011, 2011.09.30, pp 1-6<br>문서 전체 참조. | 1 |
| X | YOUN-HOON SHIN 등., `Design of an integral experimental facility for lead-alloy cooled small modular reactor research: PILLAR`, GLANST-2017:Global Symposium on Lead and Lead Alloy based Nuclear Energy Science and Technology ,2017.09.08<br>문서 전체 참조.<br>※ 위 문헌은 출원인이 신규성 상실의 예외로서 선언한 공지문헌임. | 1 |

# 국제조사보고서
대응특허에 관한 정보

국제출원번호
**PCT/KR2018/001926**

| 국제조사보고서에서 인용된 특허문헌 | 공개일 | 대응특허문헌 | 공개일 |
|---|---|---|---|
| WO 2011-097597 A1 | 2011/08/11 | CN 102859606 A | 2013/01/02 |
| | | EP 2534660 A1 | 2012/12/19 |
| | | KR 10-2012-0132493 A | 2012/12/05 |
| | | US 2012-0307956 A1 | 2012/12/06 |
| | | US 2017-0133112 A1 | 2017/05/11 |