

(12) 특허협력조약에 의하여 공개된 국제출원

(19) 세계지식재산권기구
국제사무국

(43) 국제공개일

2022년 1월 13일 (13.01.2022)



WIPO | PCT



(10) 국제공개번호

WO 2022/010183 A1

(51) 국제특허분류:

G21C 17/06 (2006.01)

G21C 17/00 (2006.01)

G01N 29/04 (2006.01)

(74) 대리인:

팬코리아특허법인 (PANKOREA PATENT AND LAW FIRM); 06234 서울시 강남구 논현로85길 70 13F, Seoul (KR).

(21) 국제출원번호:

PCT/KR2021/008384

(22) 국제출원일:

2021년 7월 1일 (01.07.2021)

(25) 출원언어:

한국어

(26) 공개언어:

한국어

(30) 우선권정보:

10-2020-0083498 2020년 7월 7일 (07.07.2020) KR

(71) 출원인: 한국수력원자력 주식회사 (KOREA HYDRO & NUCLEAR POWER CO., LTD.) [KR/KR]; 38120 경상북도 경주시 양북면 불국로 1655, Gyeongsangbuk-do (KR).

(72) 발명자: 김경균 (KIM, Kyung Gun); 34071 대전시 유성구 지족로 317, 106동 1804호, Daejeon (KR). 정진호 (JEONG, Jinho); 34016 대전시 유성구 테크노로 12-22, A동 744호, Daejeon (KR). 이서정 (LEE, Seo Jeong); 30064 세종시 도움3로 160, 418동 1503호, Sejong-si (KR). 유성창 (YOU, Sung Chang); 34076 대전시 유성구 지족로 362, 308동 301호, Daejeon (KR). 이광호 (LEE, Kwangho); 34049 대전시 유성구 엑스포로 448, 502동 602호, Daejeon (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, IT, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 지정국

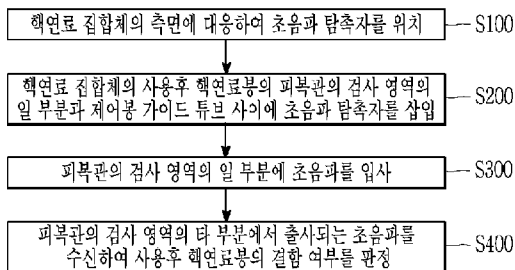
(별도의 표시가 없는 한, 가능한 모든 종류의 국내 권리의 보호를 위하여): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 유라시아 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 유럽 (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI,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

공개:

— 국제조사보고서와 함께 (조약 제21조(3))

(54) Title: ULTRASONIC INSPECTION METHOD OF SPENT NUCLEAR FUEL ROD AND NUCLEAR FUEL ASSEMBLY

(54) 발명의 명칭: 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법 및 핵연료 집합체



S100...Position ultrasonic probe corresponding to side of nuclear fuel assembly

S200...Insert ultrasonic probe between control rod guide tube and portion of inspection area of covered tube of spent nuclear fuel rod of nuclear fuel assembly

S300...Allow ultrasonic wave to be incident on portion of inspection area of covered tube

S400...Determine whether spent nuclear fuel rod is defective by receiving ultrasonic wave emitted from another portion of inspection area of covered tube

(57) Abstract: An ultrasonic inspection method of a spent nuclear fuel rod comprises the steps of: positioning an ultrasonic probe correspondingly to a side of a nuclear fuel assembly including the spent nuclear fuel rod and a control rod guide tube; inserting the ultrasonic probe between the control rod guide tube and a portion of an inspection area of a covered tube that overlaps the lower shaft blanket of the spent nuclear fuel rod and does not overlap a fuel pellet; allowing an ultrasonic wave to be incident on the portion of the inspection area of the covered tube; and determining whether the spent nuclear fuel rod is defective by receiving the ultrasonic wave emitted from another portion of the inspection area of the covered tube, wherein a plurality of bulges of the control rod guide tube do not overlap the inspection area of the covered tube.

(57) 요약서: 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법(ULTRASONIC INSPECTION METHOD OF SPENT NUCLEAR FUEL ROD)은 사용후 핵연료봉 및 제어봉 가이드 튜브를 포함하는 핵연료 집합체의 측면에 대응하여 초음파 탐촉자를 위치시키는 단계, 상기 사용후 핵연료봉의 하부 축 블랭킷과 중첩하고 연료 펠렛과 비중첩하는 피복관의 검사 영역의 일 부분과 상기 제어봉 가이드 튜브 사이에 상기 초음파 탐촉자를 삽입시키는 단계, 상기 피복관의 상기 검사 영역의 상기 일 부분에 초음파를 입사시키는 단계, 및 상기 피복관의 상기 검사 영역의 타 부분에서 출사되는 상기 초음파를 수신하여 상기 사용후 핵연료봉의 결함 여부를 판정하는 단계를 포함하며, 상기 제어봉 가이드 튜브의 복수의 벌지들은 상기 피복관의 상기 검사 영역과 비중첩한다.

WO 2022/010183 A1

명세서

발명의 명칭: 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법 및 핵연료 집합체

기술분야

- [1] 본 기재는 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법 및 핵연료 집합체에 관한 것이다.

배경기술

- [2] 일반적으로, 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법은 초음파를 이용해 수중(underwater)에 위치하는 핵연료 집합체에 포함된 사용후 핵연료봉의 결합 여부를 파악하는 방법이다.
- [3] 현재, 원자력 시설의 원자로에서 사용된 사용후 핵연료봉을 건식 저장 시설로 운반하기 전에, 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법을 이용해 수중(underwater)에 위치하는 핵연료 집합체에 포함된 사용후 핵연료봉의 결합 여부를 파악하고 있다.
- [4] 종래의 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법은, 사용후 핵연료봉의 내부에 위치하는 연료 펠렛의 우라늄 연소도에 따른 팽창을 고려하지 않고, 일률적으로 사용후 핵연료봉의 연료 펠렛이 위치하는 일정 영역에 초음파를 송신하고 일정 영역으로부터 초음파를 수신하여 사용후 핵연료봉의 결합 여부를 파악한다.

발명의 상세한 설명

기술적 과제

- [5] 일 실시예는, 연료 펠렛의 우라늄 연소도에 따른 팽창과 연료 펠렛의 밀도 감소를 고려하여, 연료 펠렛과 비중첩하는 사용후 핵연료봉의 검사 영역에 초음파를 송신하고 검사 영역으로부터 초음파를 수신함으로써, 사용후 핵연료봉에 대한 초음파 검사 신뢰도가 향상된 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법을 제공하고자 한다.
- [6] 또한, 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법 수행 시 사용후 핵연료봉과 이웃하는 제어봉 가이드 튜브의 벌지(bulge) 간섭을 고려하여, 제어봉 가이드 튜브의 벌지들이 사용후 핵연료봉의 검사 영역과 비중첩하는 핵연료 집합체를 제공하고자 한다.

기술적 해결방법

- [7] 일 측면은 연료 펠렛, 상기 연료 펠렛의 하측에 위치하며 상기 연료 펠렛 대비 낮은 U-235 농축도를 가지는 하부 축 블랭킷, 및 공기를 사이에 두고 상기 연료 펠렛과 상기 하부 축 블랭킷을 밀봉하는 피복관을 포함하는 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법에 있어서, 상기 사용후 핵연료봉 및 상기 사용후 핵연료봉과 이웃하며 표면에 돌출된 복수의 벌지(bulge)들을 포함하는 제어봉 가이드 튜브를 포함하는 핵연료 집합체의 측면에 대응하여 초음파 탐촉자를 위치시키는 단계,

상기 하부 축 블랭킷과 중첩하고 상기 연료 펠렛과 비중첩하는 상기 피복관의 검사 영역의 일 부분과 상기 제어봉 가이드 튜브 사이에 상기 초음파 탐촉자를 삽입시키는 단계, 상기 피복관의 상기 검사 영역의 상기 일부분에 초음파를 입사시키는 단계, 및 상기 피복관의 상기 검사 영역의 타 부분에서 출사되는 상기 초음파를 수신하여 상기 사용후 핵연료봉의 결함 여부를 판정하는 단계를 포함하며, 상기 복수의 별지들은 상기 피복관의 상기 검사 영역과 비중첩하는 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법을 제공한다.

- [8] 상기 검사 영역은 상기 사용후 핵연료봉의 하단으로부터 상측으로 19.28mm 이격된 제1 지점으로부터 상기 상측으로 152.4mm 이격된 제2 지점까지의 길이를 가질 수 있다.
- [9] 상기 하부 축 블랭킷의 U-235 농축도는 1.5% 내지 2.5%이며, 상기 연료 펠렛의 U-235 농축도는 4% 내지 5%일 수 있다.
- [10] 상기 피복관은 지르코늄을 포함하며, 상기 연료 펠렛 및 상기 하부 축 블랭킷은 우라늄을 포함할 수 있다.
- [11] 상기 핵연료 집합체는 수중(underwater)에 위치할 수 있다.
- [12] 상기 피복관의 검사 영역은 상기 하부 축 블랭킷에만 중첩할 수 있다.
- [13] 또한, 일 측면은 연료 펠렛, 상기 연료 펠렛의 하측에 위치하며 상기 연료 펠렛 대비 낮은 U-235 농축도를 가지는 하부 축 블랭킷, 및 공기를 사이에 두고 상기 연료 펠렛과 상기 하부 축 블랭킷을 밀봉하는 피복관을 포함하는 복수의 핵연료봉들, 및 상기 복수의 핵연료봉들 사이에 위치하며, 표면에 돌출된 복수의 별지들을 포함하는 복수의 제어봉 가이드 튜브들을 포함하며, 상기 복수의 별지들은 상기 하부 축 블랭킷과 중첩하고 상기 연료 펠렛과 비중첩하는 상기 피복관의 검사 영역과 비중첩하는 핵연료 집합체를 제공한다.

발명의 효과

- [14] 일 실시예에 따르면, 연료 펠렛의 우라늄 연소도에 따른 팽창과 연료 펠렛의 밀도 감소를 고려하여, 연료 펠렛과 비중첩하는 사용후 핵연료봉의 검사 영역에 초음파를 송신하고 검사 영역으로부터 초음파를 수신함으로써, 사용후 핵연료봉에 대한 초음파 검사 신뢰도가 향상된 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법이 제공된다.
- [15] 또한, 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법 수행 시 사용후 핵연료봉과 이웃하는 제어봉 가이드 튜브의 별지(bulge) 간섭을 고려하여, 제어봉 가이드 튜브의 별지들이 사용후 핵연료봉의 검사 영역과 비중첩하는 핵연료 집합체가 제공된다.

도면의 간단한 설명

- [16] 도 1은 일 실시예에 따른 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법을 나타낸 순서도이다.
- [17] 도 2는 핵연료 집합체 및 이에 포함된 사용후 핵연료봉을 나타낸 도면이다.

- [18] 도 3은 도 2에 도시된 사용후 핵연료봉의 검사 영역을 설명하기 위한 도면이다.
- [19] 도 4는 핵연료 집합체에 포함된 제어봉 가이드 튜브의 일 부분을 나타낸 도면이다.
- [20] 도 5는 핵연료 집합체의 사용후 핵연료봉과 제어봉 가이드 튜브 사이에 초음파 탐촉자를 삽입시키는 것을 나타낸 도면이다.
- [21] 도 6은 3회 연소된 사용후 핵연료봉의 전체 위치에 따른 우라늄 연소도를 나타낸 그래프이다.
- [22] 도 7은 우라늄 연소도에 따른 연료 펠렛의 부피 변화를 나타낸 그래프이다.
- [23] 도 8은 두 물질간의 고유 음향 임피던스(Specific Acoustic Impedance) 차이에 따른 두 물질간의 계면에서의 초음파의 반사 및 투과를 나타낸 도면이다.
- [24] 도 9는 재료에 따른 고유 음향 임피던스를 나타낸 표이다.
- [25] 도 10은 건전 핵연료봉, 결함 핵연료봉, 고연소도 핵연료봉 각각에서 초음파의 입사, 반사, 출사를 나타낸 횡단면도이다.

발명의 실시를 위한 형태

- [26] 이하, 첨부한 도면을 참고로 하여 본 발명의 실시예에 대하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되지 않는다.
- [27] 또한, 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함" 한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.
- [28] 이하, 도 1 내지 도 10을 참조하여 일 실시예에 따른 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법을 설명한다.
- [29] 가압 경수로형 원자력 발전소는 냉각재와 감속재로 경수를 사용하고, 핵연료봉 내부에 포함된 연료 펠렛은 핵연료로서 우라늄 235(U-235)를 약 2% 내지 5%로 농축하여 사용할 수 있다. 가압 경수로형 원자력 발전소는 원자로 내에서 핵분열로 발생하는 열을 증기 발생기로 보내 열 교환시키는 원자로 계통에 관련되는 시설과, 증기 발생기에서 발생된 증기로 터빈을 돌린 후 복수기를 거쳐 물로 환원시킨 다음, 다시 증기 발생기로 순환되는 터빈 및 발전기 계통에 관련되는 시설로 구분될 수 있다.
- [30] 일반적으로 원자로 계통의 열전달 매체인 냉각재(경수)는 원자로에서 약 320°C까지 가열되며, 비등하지 않도록 약 157 기압으로 가압된다. 계통을 구성하는 기기로는 일정한 엔탈피를 유지하기 위하여 압력을 조정하는 가압기, 원자로와 증기발생기 사이에 냉각재를 순환시켜 주는 냉각재 펌프가 있다. 증기 발생기에서 발생된 증기가 터빈을 돌려 터빈 축에 연결된 발전기에서 전력을 생산하는 계통은 일반 화력 발전소의 원리와 동일할 수 있다.
- [31] 이하에서는, 원자력 시설로서 가압 경수로형(PWR) 원자력 발전소에서 사용된

사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법을 일례로 설명하나, 이에 한정되지 않지 않고 사용후 핵연료봉은 비등 경수로형(BWR) 원자력 발전소에서 사용된 사용후 핵연료봉일 수 있다.

- [32] 도 1은 일 실시예에 따른 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법을 나타낸 순서도이다. 도 2는 핵연료 집합체 및 이에 포함된 사용후 핵연료봉을 나타낸 도면이다. 도 3은 도 2에 도시된 사용후 핵연료봉의 검사 영역을 설명하기 위한 도면이다. 도 4는 핵연료 집합체에 포함된 제어봉 가이드 튜브의 일 부분을 나타낸 도면이다. 도 5는 핵연료 집합체의 사용후 핵연료봉과 제어봉 가이드 튜브 사이에 초음파 탐촉자를 삽입시키는 것을 나타낸 도면이다.
- [33] 우선, 도 1 내지 도 5를 참조하면, 핵연료 집합체(1000)의 측면에 대응하여 초음파 탐촉자(10)를 위치시킨다(S100).
- [34] 사용후 핵연료봉(100) 및 사용후 핵연료봉(100)과 이웃하며 표면에 돌출된 복수의 벌지(bulge)(210)들을 포함하는 제어봉 가이드 튜브(200)를 포함하는 핵연료 집합체(1000)의 측면에 대응하여 초음파 탐촉자(10)를 위치시킨다.
- [35] 다음, 핵연료 집합체(1000)의 사용후 핵연료봉(100)의 피복관(170)의 검사 영역(IS)의 일 부분과 제어봉 가이드 튜브(200) 사이에 초음파 탐촉자(10)를 삽입한다(S200).
- [36] 사용후 핵연료봉(100)의 하부 축 블랭킷(120)과 중첩하고 연료 펠렛(110)과 비중첩하는 피복관(170)의 검사 영역(IS)의 일 부분과 제어봉 가이드 튜브(200) 사이에 초음파 탐촉자(10)를 삽입시킨다.
- [37] 다음, 사용후 핵연료봉(100)의 피복관(170)의 검사 영역(IS)의 일 부분에 초음파를 입사시킨다(S300).
- [38] 사용후 핵연료봉(100)의 하부 축 블랭킷(120)과 중첩하고 연료 펠렛(110)과 비중첩하는 피복관(170)의 검사 영역(IS)의 일 부분에 초음파를 입사시킨다.
- [39] 구체적으로, 도 2를 참조하면, 가압 경수로형(PWR) 원자력 발전소 등의 원자력 시설에서 사용된 사용후 핵연료봉(100)들은 원자력 시설의 핵연료 집합체(1000)에 장착되어 원자력 시설 내부의 수중(underwater)에 위치한다.
- [40] 일 실시예에 따른 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법은 초음파를 사용후 핵연료봉(100)의 검사 영역(IS)에 송신하고 검사 영역(IS)으로부터 수신한다.
- [41] 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법은 사용후 핵연료봉(100)이 핵연료 집합체(1000)에 장착된 상태로 수행될 수 있으나, 이에 한정되지는 않는다.
- [42] 일례로, 사용후 핵연료봉(100)의 검사 영역(IS)은 사용후 핵연료봉(100)의 하단으로부터 상측으로 19.28mm 이격된 제1 지점(S1)으로부터 상측으로 152.4mm 이격된 제2 지점(S2)까지의 길이를 가질 수 있으나, 이에 한정되지는 않는다.
- [43] 도 3을 참조하면, 사용후 핵연료봉(100)은 연료 펠렛(Enriched Fuel Pellet)(110), 하부 축 블랭킷(Axial Blanket)(120), 상부 축 블랭킷(Axial Blanket)(130), 플리넘(Plenum)(140), 하부 엔드 플러그(Bottom End Plug)(150), 상부 엔드

- 플러그(Top End Plug)(160), 피복관(Cladding Tube)(170)을 포함한다.
- [44] 연료 펠렛(110), 하부 축 블랭킷(120), 상부 축 블랭킷(130)은 우라늄을 포함한다.
- [45] 연료 펠렛(110)은 사용후 핵연료봉(100)의 하단으로부터 상단까지의 축 방향에서 중앙 부분에 위치한다. 연료 펠렛(110)은 복수이며, 복수의 연료 펠렛(110)들은 사용후 핵연료봉(100)의 축 방향으로 적층되어 있다. 연료 펠렛(110)의 우라늄 235 농축도인 U-235 농축도는 4% 내지 5%이다. 일례로, 연료 펠렛(110)의 U-235 농축도는 4.5%일 수 있다.
- [46] 하부 축 블랭킷(120)은 사용후 핵연료봉(100)의 하단으로부터 상단까지의 축 방향에서 하부에 위치한다. 하부 축 블랭킷(120)은 연료 펠렛(110)의 하측에 위치한다. 하부 축 블랭킷(120)은 연료 펠렛(110) 대비 낮은 U-235 농축도를 가진다. 하부 축 블랭킷(120)의 U-235 농축도는 1.5% 내지 2.5%이다. 일례로, 하부 축 블랭킷(120)의 U-235 농축도는 2%일 수 있다.
- [47] 상부 축 블랭킷(130)은 사용후 핵연료봉(100)의 하단으로부터 상단까지의 축 방향에서 상부에 위치한다. 상부 축 블랭킷(130)은 연료 펠렛(110)의 상측에 위치한다. 상부 축 블랭킷(130)은 연료 펠렛(110) 대비 낮은 U-235 농축도를 가진다. 상부 축 블랭킷(130)의 U-235 농축도는 1.5% 내지 2.5%이다. 일례로, 상부 축 블랭킷(130)의 U-235 농축도는 2%일 수 있다.
- [48] 플리넨(140)은 상부 축 블랭킷(130)과 상부 엔드 플러그(160) 사이에 위치한다. 플리넨(140)의 내부에는 스프링(spring)이 위치할 수 있으나, 이에 한정되지는 않는다.
- [49] 하부 엔드 플러그(150)는 사용후 핵연료봉(100)의 하단에 위치한다.
- [50] 상부 엔드 플러그(160)는 사용후 핵연료봉(100)의 상단에 위치한다.
- [51] 피복관(170)은 공기(Air)를 사이에 두고 연료 펠렛(110), 하부 축 블랭킷(120), 상부 축 블랭킷(130)을 밀봉한다. 피복관(170)은 지르코늄을 포함한다.
- [52] 여기서, 피복관(170) 내부의 공기(Air)는 헬륨(He) 등의 불활성 기체를 포함하는 충전 가스를 포함할 수 있으나, 이에 한정되지는 않는다.
- [53] 일 실시예에 따른 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법은 초음파를 사용후 핵연료봉(100)의 검사 영역(IS)에 송신하고 검사 영역(IS)으로부터 수신한다.
- [54] 사용후 핵연료봉(100)의 검사 영역(IS)은 사용후 핵연료봉(100)의 피복관(170) 내부에 위치하는 하부 축 블랭킷(120)과 중첩한다. 사용후 핵연료봉(100)의 검사 영역(IS)은 연료 펠렛(110)과 비중첩한다.
- [55] 사용후 핵연료봉(100)의 검사 영역(IS)은 하부 축 블랭킷(120)에만 중첩한다.
- [56] 도 3 내지 도 5를 참조하면, 핵연료 집합체(1000)에 포함된 제어봉 가이드 튜브(200)는 핵연료 집합체(1000)에 포함된 복수의 사용후 핵연료봉(100)들과 이웃한다. 원전 운영 시 제어봉 가이드 튜브(200)의 내부를 통해 제어봉들이 핵연료 집합체(1000)에 삽입된다. 제어봉 가이드 튜브(200)는 표면에 돌출된 복수의 벌지(bulge)(210)들을 포함한다. 제어봉 가이드 튜브(200)의

벌지(210)들은 원전 운영 중 발생하는 벌징(bulging) 현상에 의해 형성되거나, 또는 최초 설계 시 제어봉 가이드 튜브(200)의 표면에 형성될 수 있으나, 이에 한정되지는 않는다. 제어봉 가이드 튜브(200)의 벌지(210)들은 사용후 핵연료봉(100)의 피복관(170)의 검사 영역(IS)과 핵연료 집합체(1000)의 수평 방향으로 비중첩한다. 즉, 제어봉 가이드 튜브(200)의 벌지(210)들은 사용후 핵연료봉(100)의 하부 축 블랭킷(120)과 수평 방향으로 비중첩한다.

- [57] 제어봉 가이드 튜브(200)의 벌지(210)들이 검사 영역(IS)과 비중첩되기 위해, 핵연료 집합체(1000)의 첫번째 그리드(1st grid)가 하향 조정되고, 검사 영역(IS)과 중첩하는 벌지(210)들이 검사 영역(IS)으로부터 상향 조정 및 하향 조정될 수 있으나, 이에 한정되지는 않는다.
- [58] 핵연료 집합체(1000)는 사용후 핵연료봉(100)으로 사용되기 전에 연료 펠렛(110), 연료 펠렛(110)의 하측에 위치하며 연료 펠렛(110) 대비 낮은 U-235 농축도를 가지는 하부 축 블랭킷(120), 및 공기를 사이에 두고 연료 펠렛(110)과 하부 축 블랭킷(120)을 밀봉하는 피복관(170)을 포함하는 복수의 핵연료봉들, 및 복수의 핵연료봉들 사이에 위치하며 표면에 돌출된 복수의 벌지(210)들을 포함하는 복수의 제어봉 가이드 튜브(200)들을 포함한다. 이때, 복수의 제어봉 가이드 튜브(200)들의 복수의 벌지(210)들은 하부 축 블랭킷(120)과 중첩하고 연료 펠렛(110)과 비중첩하여, 피복관의 검사 영역(IS)과 비중첩한다. 즉, 제어봉 가이드 튜브(200)의 복수의 벌지(210)들은 핵연료 집합체(1000)에서 수평 방향으로 이웃하여 배치된 사용후 핵연료봉(100)의 하부 축 블랭킷(120)과 수평 방향으로 비중첩한다.
- [59] 이와 같이, 핵연료 집합체(1000)의 제어봉 가이드 튜브(200)의 벌지(210)들이 사용후 핵연료봉(100)의 피복관(170)의 검사 영역(IS)과 비중첩함으로써, 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법 시 초음파 탐촉자(10)가 검사 영역(IS)에 대응하여 사용후 핵연료봉(100)과 제어봉 가이드 튜브(200) 사이로 삽입될 때, 제어봉 가이드 튜브(200)의 표면으로부터 돌출된 벌지(210)에 의해 간섭되지 않는다.
- [60] 즉, 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법 시 제어봉 가이드 튜브(200)의 벌지 간섭이 방지되는 핵연료 집합체(1000)가 제공된다.
- [61] 도 5를 참조하면, 핵연료 집합체(1000)의 측면에 대응하여 초음파 탐촉자(10)를 위치시키고, 핵연료 집합체(1000)의 사용후 핵연료봉(100)의 피복관의 검사 영역의 일 부분과 제어봉 가이드 튜브 사이에 초음파 탐촉자(10)를 삽입시키고, 사용후 핵연료봉(100)의 피복관의 검사 영역의 일 부분에 초음파를 입사시킨다.
- [62] 도 3을 참조하면, 사용후 핵연료봉(100)의 하단으로부터 상단까지의 축 방향에서 하부 축 블랭킷(120)과 중첩하고 연료 펠렛(110)과 비중첩하는 피복관(170)의 검사 영역(IS)인 제1 지점(S1)으로부터 제2 지점(S2)까지의 일 부분에 초음파를 입사시킨다.
- [63] 이와 다르게, 종래의 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법은 일률적으로 사용후 핵연료봉(100)의 연료 펠렛(110)과 중첩하는 피복관(170)의 기존 검사

위치인 제3 지점(S3)의 일 부분에 초음파를 입사시켰다. 일례로, 제3 지점(S3)은 사용후 핵연료봉(100)의 하단으로부터 상측으로 215.7mm 이격될 수 있으나, 이에 한정되지는 않는다.

[64] 다음, 피복관(170)의 검사 영역(IS)의 타 부분에서 출사되는 초음파를 수신하여 사용후 핵연료봉(100)의 결함 여부를 판정한다(S400).

[65] 구체적으로, 사용후 핵연료봉(100)의 피복관(170)의 검사 영역(IS)의 타 부분에서 출사되는 초음파를 수신하여 초음파의 크기가 설정된 크기 수준인 게이트(Gate)를 넘는지를 확인함으로써, 사용후 핵연료봉(100)의 결함 여부를 판정한다.

[66] 피복관(170)의 검사 영역(IS)의 타 부분에서 출사되는 초음파의 크기가 게이트를 넘지 못한 경우, 피복관(170) 등이 파손되어 피복관(170)의 내부에 수분이 위치하는 것이기 때문에, 사용후 핵연료봉(100)에 결함이 발생된 것으로 판정한다.

[67] 피복관(170)의 검사 영역(IS)의 타 부분에서 출사되는 초음파의 크기가 게이트를 넘을 경우, 피복관(170) 등이 건전한 상태를 유지하여 피복관(170)의 내부에 공기(Air)가 위치하는 것이기 때문에, 사용후 핵연료봉(100)에 결함이 발생되지 않은 것으로 판정한다.

[68] 이와 다르게, 종래의 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법은 일률적으로 사용후 핵연료봉(100)의 연료 펠렛(110)과 중첩하는 피복관(170)의 기존 검사 위치인 제3 지점(S3)의 타 부분에서 출사되는 초음파를 수신하여 사용후 핵연료봉(100)의 결함 여부를 판정하였다.

[69] 본 발명의 발명자들은, 종래의 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법을 이용해, 일률적으로 사용후 핵연료봉(100)의 연료 펠렛(110)과 중첩하는 피복관(170)의 기존 검사 위치인 제3 지점(S3)의 일 부분에 초음파를 입사시키고, 기존 검사 위치인 제3 지점(S3)의 타 부분에서 출사되는 초음파를 수신하여 사용후 핵연료봉(100)의 결함 여부를 판정할 경우, 결함이 발생되지 않은 사용후 핵연료봉(100)으로부터 출사되는 초음파의 크기가 설정된 크기 수준인 게이트를 넘지 못하는 경우가 있는 것을 확인하였다.

[70] 이러한 현상은 우라늄 연소도에 따른 고농축도의 연료 펠렛(110)이 원자로 내부에서 연소됨에 따른 팽창 및 밀도 감소와 관계가 있는 것으로서, 이를 도 6 내지 도 10을 참조하여 구체적으로 설명한다.

[71] 도 6은 3회 연소된 사용후 핵연료봉의 전체 위치에 따른 우라늄 연소도를 나타낸 그래프이다. 도 6의 x축은 사용후 핵연료봉의 하단으로부터의 거리를 나타내며, y축은 우라늄 연소도를 나타낸다.

[72] 도 6을 참조하면, 연료 펠렛과 중첩하는 기존 검사 위치는 U-235 농축도가 4.5% 이상인 영역과 중첩하는 영역으로서, 기존 검사 위치는 3회 연소된 연료 펠렛의 경우에 40,000MWD/MTU (40GWd/tU) 이상의 고연소도 위치와 중첩한다.

[73] 일 실시예에 따른 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법은 연료 펠렛의 연소로

인해 나타나는 현상이 초음파 신호에 미치는 영향을 고려한 검사 방법으로서, 고연소도를 가지는 연료 펠렛에서 나타나는 연료 펠렛의 팽창(Swelling)으로 인한 연료 펠렛과 피복관 사이의 접촉, 피복관과 연료 펠렛의 물리적 및 화학적 상호작용(PCI), HBS(high burn up structure) 등 고연소도를 가지는 연료 펠렛의 영향으로 인한 초음파 검출 신호가 저하되는 원인을 회피할 수 있는 위치에서, 초음파 검사를 수행하여 사용후 핵연료봉의 결함 여부의 판정의 정확도가 향상되는 방법이다.

[74] 도 7은 우라늄 연소도에 따른 연료 펠렛의 부피 변화를 나타낸 그래프이다. 도 7에서 x축은 우라늄 연소도를 나타내며, y축은 연료 펠렛의 부피 변화를 나타낸다.

[75] 도 7을 참조하면, 연료 펠렛은 연소가 진행되면 연료 펠렛 내부에서 기체상 핵분열 생성물 및 결합들이 생성되면서 팽창(swelling)한다. 이때, 연료 펠렛은 팽창하여 피복관과 물리 및 화학적으로 접촉하게 된다. 연료 펠렛의 연소도가 높아질수록 연료 펠렛의 팽창은 증가한다.

[76] 연료 펠렛이 팽창하면, 연료 펠렛은 전체적으로 밀도가 감소한다. 특히 연료 펠렛의 최외곽에는 높은 핵분열 반응으로 인하여 기공 밀도가 높은 고연소도 구조(HBS, high burn up structure)가 생성됨으로써, 연료 펠렛과 피복관 사이의 접촉 부위 밀도가 크게 저하된다.

[77] 도 8은 두 물질간의 고유 음향 임피던스(Specific Acoustic Impedance) 차이에 따른 두 물질간의 계면에서의 초음파의 반사 및 투과를 나타낸 도면이다. 도 8에서 Z_1 , Z_2 각각은 각 물질에 포함된 재료의 고유 음향 임피던스를 의미하며, ρ_1 , ρ_2 각각은 각 물질의 밀도를 의미하며, V_1 , V_2 각각은 각 물질에서의 초음파의 속도를 의미한다.

[78] 도 9는 물질에 포함된 재료에 따른 고유 음향 임피던스를 나타낸 표이다.

[79] 도 8 및 도 9를 참조하면, 초음파는 두 물질의 계면(interface)에서 고유 음향 임피던스(물질에서 초음파의 속도와 물질의 밀도의 곱) 차이가 크면 두 물질의 계면에서 반사되고, 두 물질의 계면에서 고유 음향 임피던스 차이가 작으면 두 물질의 계면을 투과하게 된다.

[80] 우라늄을 포함하는 연료 펠렛과 지르코늄을 포함하는 피복관 사이의 접촉 부위 밀도가 크게 감소하여, 연료 펠렛과 피복관의 고유 음향 임피던스 차이가 작아지면, 피복관으로 입사된 초음파 중 일부는 피복관과 연료 펠렛의 계면에서 반사되지 않고 연료 펠렛 쪽으로 진행함으로써, 피복관으로부터 출사된 초음파의 크기가 작아진다.

[81] 피복관의 지르코늄 및 연료 펠렛의 우라늄 각각의 고유 음향 임피던스는 29.8 및 63.0 각각으로 두 물질간의 차이가 크지 않으며, 고연소도 연료 펠렛의 경우 피복관과의 접촉 부위의 밀도 감소로 인해 초음파의 속도도 감소하게 됨으로써, 연료 펠렛과 피복관간의 고유 음향 임피던스 차이는 더 감소한다.

[82] 도 10은 건전 핵연료봉, 결합 핵연료봉, 고연소도 핵연료봉 각각에서 초음파의

송신, 반사, 수신을 나타낸 횡단면도이다. 도 10의 (A)는 건전 핵연료봉이며, (B)는 결함 핵연료봉이며, (C)는 고연소도 핵연료봉이다.

[83] 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법은 수중 환경에서 수행된다.

[84] 도 10의 (A)를 참조하면, 초음파 송신부에서 사용후 핵연료봉의 피복관으로 최초 입사된 초음파는 피복관 내부 경계면에 도달하고, 내부 경계면에서 공기와 피복관 사이의 큰 고유 음향 임피던스 차이로 인하여 초음파 반사가 이루어진다. 반사된 초음파가 피복관 외부 경계면에 도달하면, 피복관 외부의 물과 피복관 사이의 작은 고유 음향 임피던스 차이로 인해 초음파의 일부가 반사되고 나머지가 물로 누설 및 흡수되어 초음파 에너지 손실이 발생(음압 감소)된다. 초음파가 수신부에 도달할 때까지 이 과정은 복수 회 반복되나, 수신부에 수신된 초음파의 크기가 설정된 초음파 크기 수준인 게이트(Gate)를 넘으므로, 건전 핵연료봉으로 판정한다.

[85] 도 10의 (B)를 참조하면, 건전 핵연료봉의 경우 피복관 외부 경계면에서만 물을 만나 초음파 에너지 손실이 발생하나, 결함 핵연료봉의 경우 피복관 내부에도 수분인 물이 존재하여 피복관의 내부 및 외부에서 초음파 에너지 손실이 발생함으로써, 수신부에 수신된 초음파 크기가 설정된 초음파 크기 수준인 게이트를 넘지 못하므로, 결함 핵연료봉으로 판정한다.

[86] 도 10의 (C)를 참조하면, 고연소도 핵연료봉의 경우 피복관 내부에 수분인 물이 존재하지 않아도, 연료 펠렛(pellet)이 팽창하여 피복관과 물리 및 화학적으로 접촉하고, 연료 펠렛의 접촉 부위의 밀도가 낮아 피복관과 연료 펠렛 사이의 경계면의 고유 음향 임피던스 차이가 작아짐으로써, 피복관의 내부 및 외부에서 초음파 에너지 손실이 발생한다. 이로 인해, 수신부에 수신된 초음파 크기가 설정된 초음파 크기 수준인 게이트를 넘지 못함으로써, 피복관 내부에 물이 유입된 결함 핵연료봉이 아닌 고연소도 핵연료봉이 결함 핵연료봉으로 판정되는 오류가 발생한다.

[87] 이상과 같이, 일 실시예에 따른 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법은, 연료 펠렛의 우라늄 연소도에 따른 팽창 및 밀도 저하를 고려하여, 연료 펠렛과 비중첩하는 동시에 연료 펠렛 대비 낮은 U-235 농축도를 가지는 하부 축 블랭킷과 중첩하는 사용후 핵연료봉의 피복관의 검사 영역의 일 부분에 초음파를 송신하고 검사 영역의 타 부분으로부터 초음파를 수신함으로써, 고연소도를 가지는 연료 펠렛의 팽창 및 밀도 저하 여부와 상관 없이 사용후 핵연료봉의 결함 여부를 명확히 판정한다.

[88] 즉, 피복관 내부에 물이 유입된 결함 핵연료봉이 아닌 고연소도 핵연료봉을 결함 핵연료봉으로 판정하는 오류 없이, 건전 핵연료봉과 결함 핵연료봉을 정확히 판정함으로써, 사용후 핵연료봉에 대한 초음파 검사 신뢰도가 향상된 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법이 제공된다.

[89] 또한, 일 실시예에 따른 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법은, 고연소 연료 펠렛의 고유 음향 임피던스 영향을 고려한 결함 판별을 수행함으로써, 사용후

핵연료봉에 대한 초음파 검사 신뢰도가 향상된다.

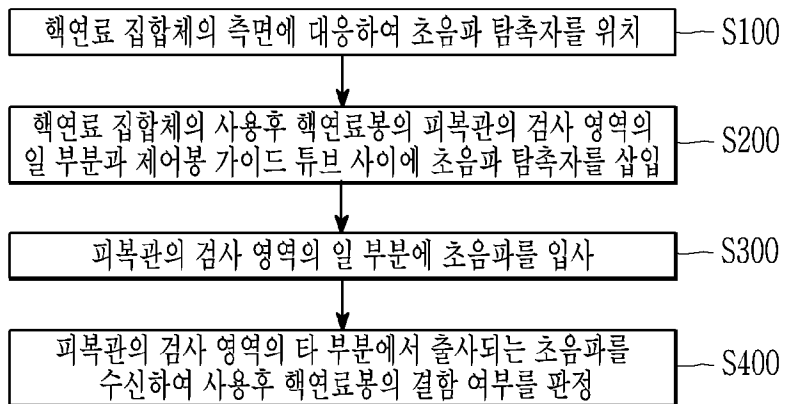
- [90] 또한, 일 실시예에 따른 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법은, 불명확한 초음파 신호에 의한 핵연료봉 결함 판정으로 인해 발생될 핵연료봉 수리 비용 발생, 공정 지연, 계통 및 작업자 방사선 피폭 선량 증가를 억제함으로써, 전체적인 비용 감소에 따른 원전 운영 효율을 개선하는 동시에 계통 및 작업자 방사선 피폭 선량 감소에 기여한다.
- [91] 또한, 일 실시예에 따른 사용후 핵연료봉 초음파 검사 방법은, 사용후 핵연료봉 결함 유무를 단위 별로 명확히 수행함으로써, 사용후 핵연료봉의 건식 저장 비용 감소에 기여한다.
- [92] 또한, 핵연료 집합체의 제어봉 가이드 튜브의 벌지들이 사용후 핵연료봉의 피복관의 검사 영역과 초음파 탐촉자가 삽입되는 수평 방향으로 비중첩함으로써, 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법 시 초음파 탐촉자가 검사 영역에 대응하여 사용후 핵연료봉과 제어봉 가이드 튜브 사이로 삽입될 때, 제어봉 가이드 튜브의 표면으로부터 돌출된 벌지에 의해 간섭되지 않는다. 즉, 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법 시 제어봉 가이드 튜브의 벌지 간섭이 방지되는 핵연료 집합체가 제공된다.
- [93] 이상에서 본 발명의 실시예에 대하여 상세하게 설명하였지만 본 발명의 권리범위는 이에 한정되는 것은 아니고 다음의 청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본 발명의 권리범위에 속하는 것이다.
- [94] [부호의 설명]
- [95] 사용후 핵연료봉(100), 연료 펠렛(110), 하부 축 블랭킷(120), 피복관(170), 검사 영역(IS), 제어봉 가이드 튜브(200), 벌지(210)

청구범위

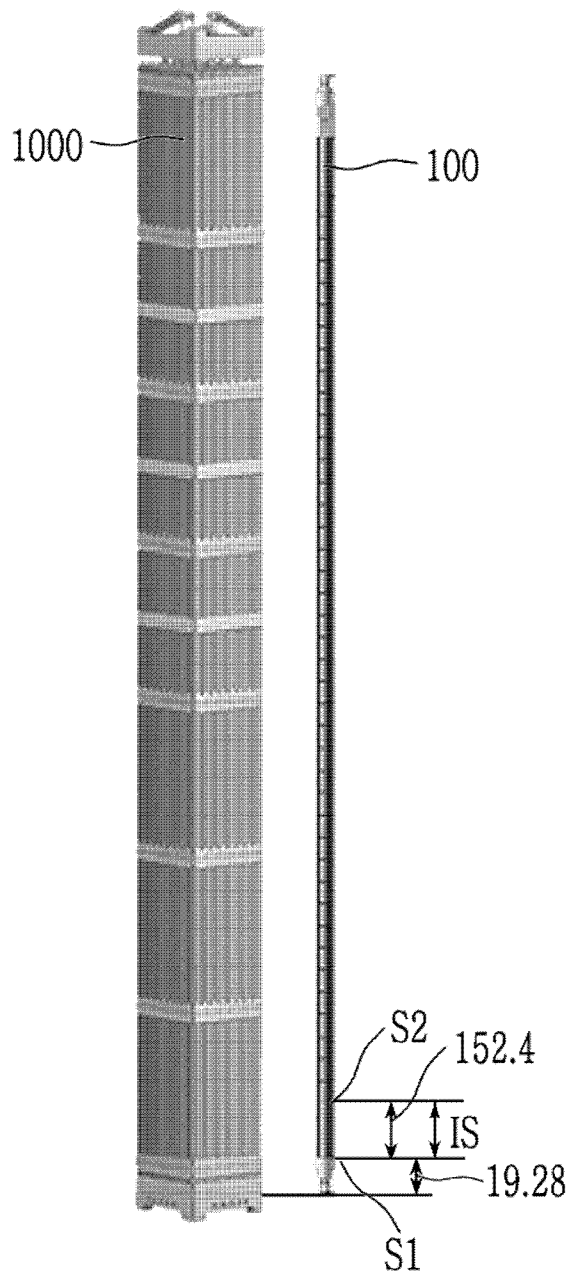
- [청구항 1] 연료 펠렛, 상기 연료 펠렛의 하측에 위치하며 상기 연료 펠렛 대비 낮은 U-235 농축도를 가지는 하부 축 블랭킷, 및 공기를 사이에 두고 상기 연료 펠렛과 상기 하부 축 블랭킷을 밀봉하는 피복관을 포함하는 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법에 있어서,
상기 사용후 핵연료봉 및 상기 사용후 핵연료봉과 이웃하며 표면에 돌출된 복수의 벌지(bulge)들을 포함하는 제어봉 가이드 튜브를 포함하는 핵연료 집합체의 측면에 대응하여 초음파 탐촉자를 위치시키는 단계;
상기 하부 축 블랭킷과 중첩하고 상기 연료 펠렛과 비중첩하는 상기 피복관의 검사 영역의 일 부분과 상기 제어봉 가이드 튜브 사이에 상기 초음파 탐촉자를 삽입시키는 단계;
상기 피복관의 상기 검사 영역의 상기 일부분에 초음파를 입사시키는 단계; 및
상기 피복관의 상기 검사 영역의 타 부분에서 출사되는 상기 초음파를 수신하여 상기 사용후 핵연료봉의 결함 여부를 판정하는 단계를 포함하며,
상기 복수의 벌지들은 상기 피복관의 상기 검사 영역과 비중첩하는 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법.
- [청구항 2] 제1항에서,
상기 검사 영역은 상기 사용후 핵연료봉의 하단으로부터 상측으로 19.28mm 이격된 제1 지점으로부터 상기 상측으로 152.4mm 이격된 제2 지점까지의 길이를 가지는 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법.
- [청구항 3] 제1항에서,
상기 하부 축 블랭킷의 U-235 농축도는 1.5% 내지 2.5%이며,
상기 연료 펠렛의 U-235 농축도는 4% 내지 5%인 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법.
- [청구항 4] 제1항에서,
상기 피복관은 지르코늄을 포함하며,
상기 연료 펠렛 및 상기 하부 축 블랭킷은 우라늄을 포함하는 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법.
- [청구항 5] 제1항에서,
상기 핵연료 집합체는 수중(underwater)에 위치하는 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법.
- [청구항 6] 제1항에서,
상기 피복관의 검사 영역은 상기 하부 축 블랭킷에만 중첩하는 사용후 핵연료봉의 초음파 검사 방법.
- [청구항 7] 연료 펠렛, 상기 연료 펠렛의 하측에 위치하며 상기 연료 펠렛 대비 낮은

U-235 농축도를 가지는 하부 축 블랭킷, 및 공기를 사이에 두고 상기 연료 펠렛과 상기 하부 축 블랭킷을 밀봉하는 피복관을 포함하는 복수의 핵연료봉들; 및
상기 복수의 핵연료봉들 사이에 위치하며, 표면에 돌출된 복수의 벌지들을 포함하는 복수의 제어봉 가이드 튜브들을 포함하며,
상기 복수의 벌지들은 상기 하부 축 블랭킷과 중첩하고 상기 연료 펠렛과 비중첩하는 상기 피복관의 검사 영역과 비중첩하는 핵연료 집합체.

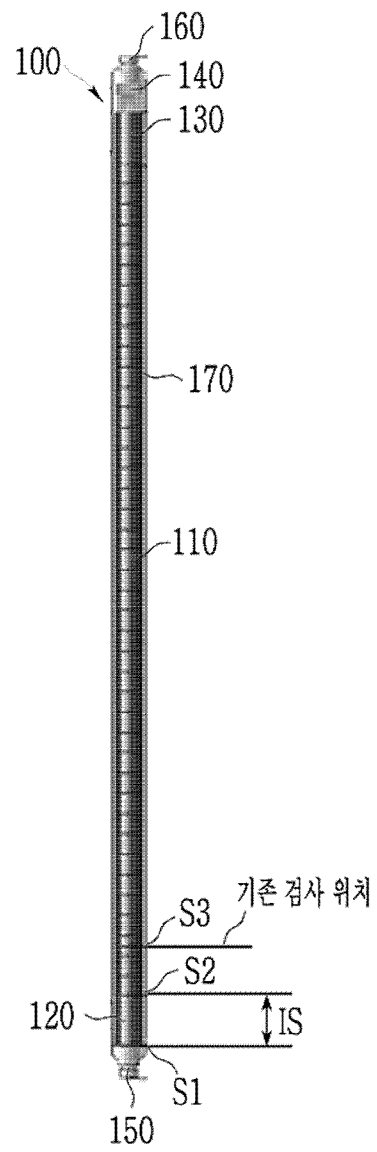
[도1]



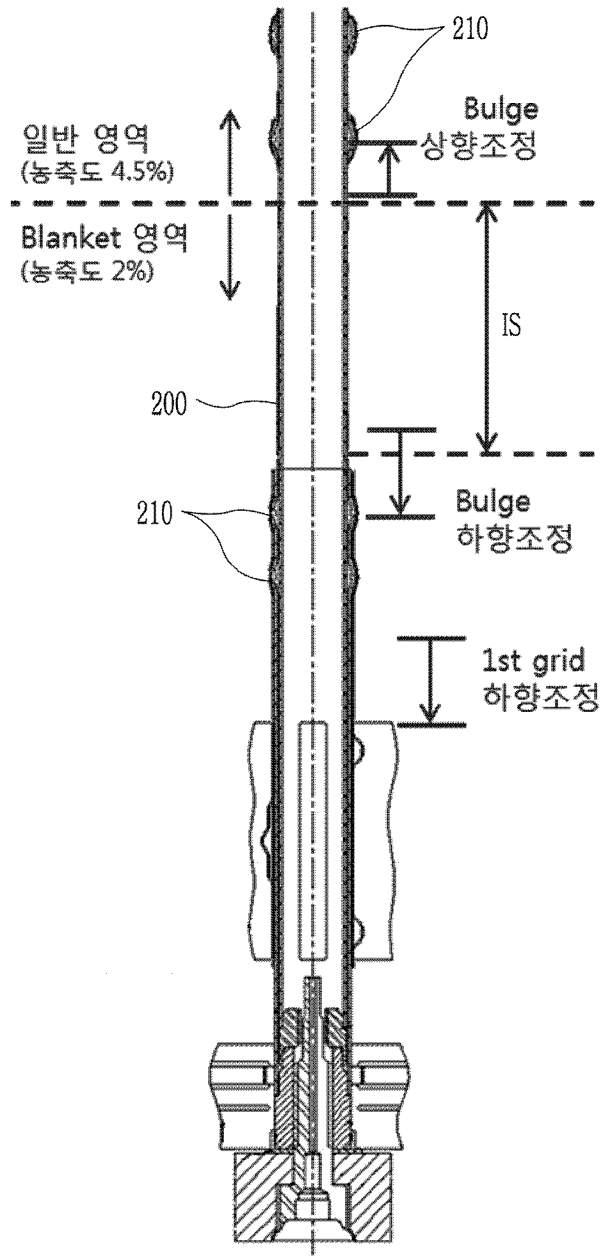
[도2]



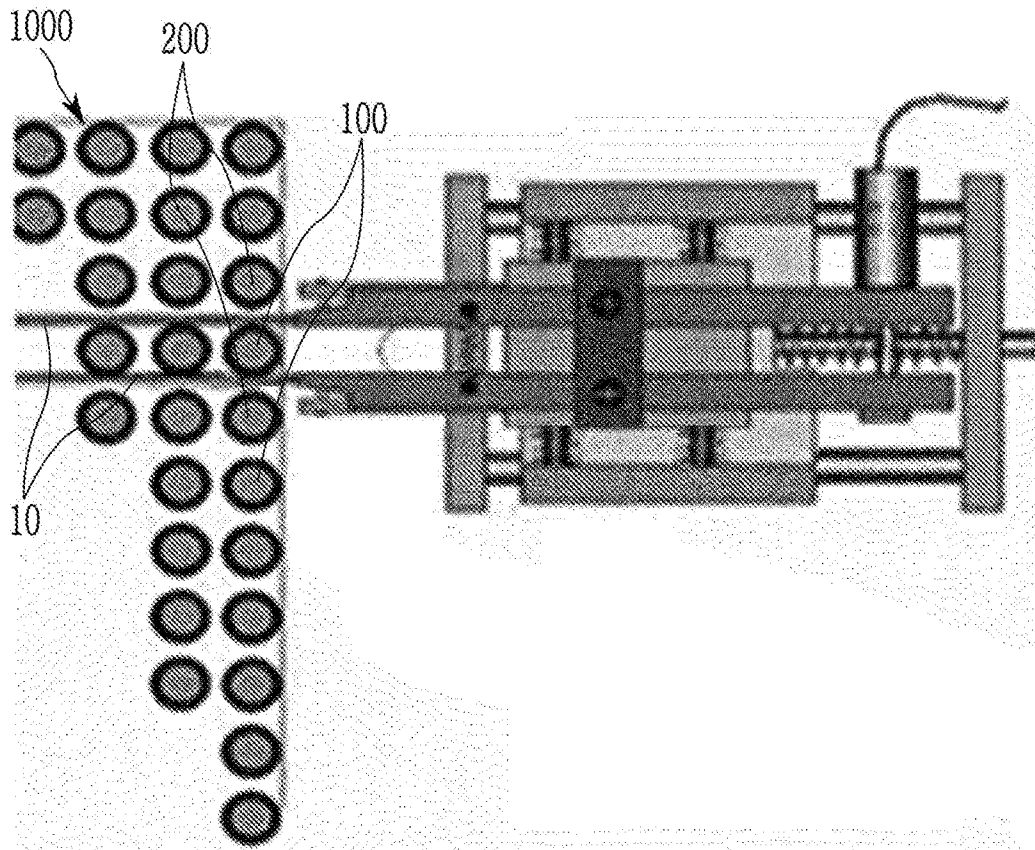
[도3]



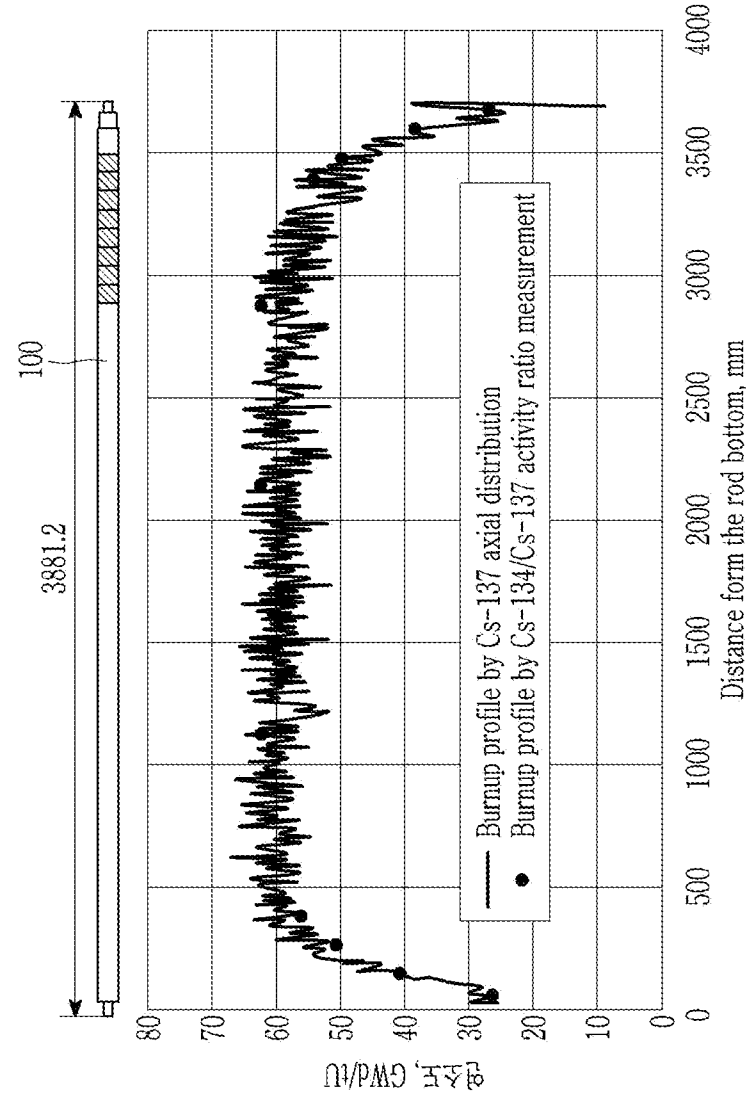
[도4]



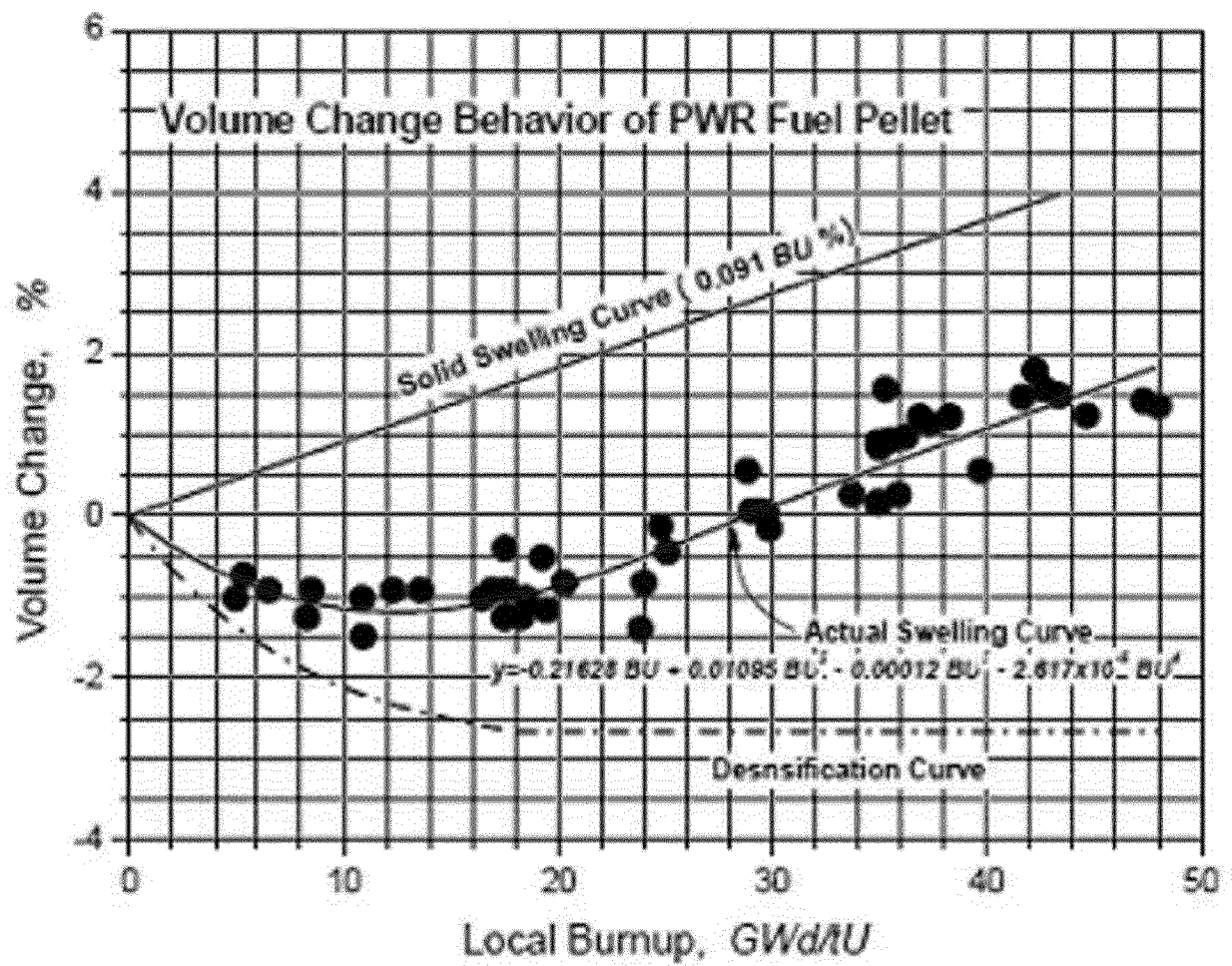
【도 5】



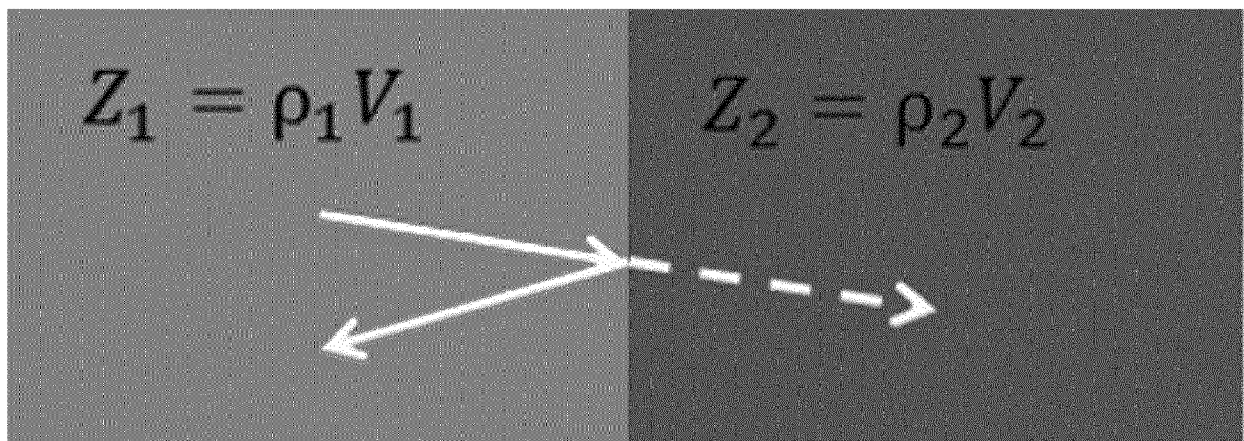
【도 6】



[도7]



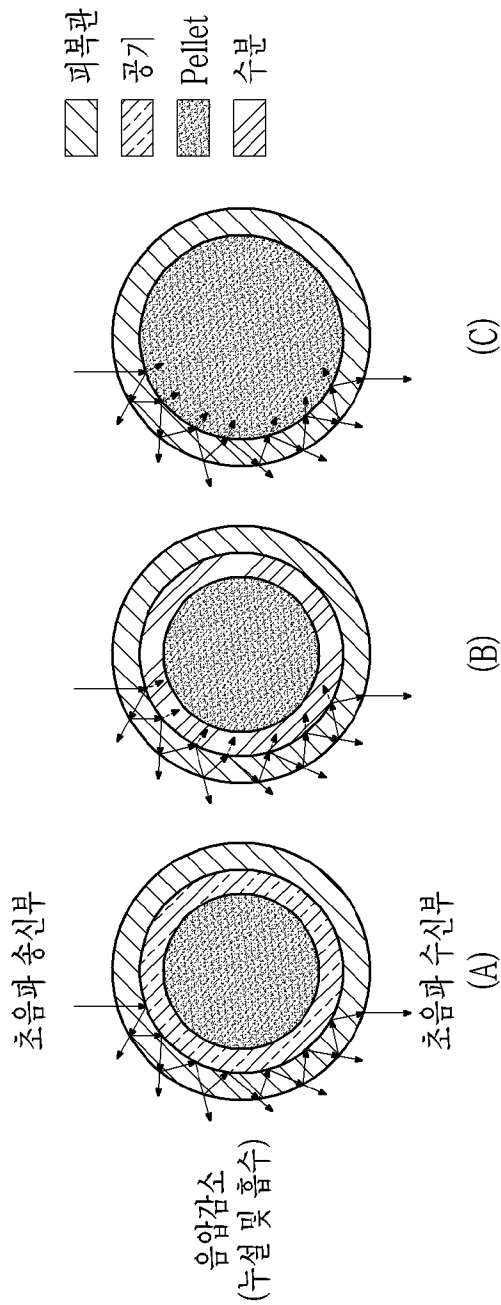
[도8]



【도 9】

Material	Velocity (C)	Velocity (S)	Density	Specific Acoustic Impedance
Units	m/s x 10 ³	m/s x 10 ³	kg/m ³	
Air	0.33	—	1.20	0.0004
Aluminium	6.40	3.13	2,700	17.3
Barium Titanate A	5.26	—	6,700	30.0
Barium Titanate B	5.53	—	5,700	31.5
Beryllium	12.89	8.88	1,800	23.2
Brass	4.37	2.10	8,450	37.0
Cast Iron	3.50 to 5.60	2.20 to 3.20	7,200	25.0 to 40.0
Copper	4.76	2.33	8,930	42.5
Glass	5.80	—	3,000	17.4
Gold	3.24	1.20	19,300	63.0
Iron	5.96	3.22	7,850	46.8
Lead	2.40	0.79	11,300	27.2
Lead Niobate	2.76	—	5,800	16.0
Lead Zirconate)a.	3.00	—	7,600	22.8
Titanate)b.	3.00	—	7,500	22.5
Lithium Sulphate	5.45	—	2,060	11.2
Magnesium	5.74	3.08	1,720	9.9
Mercury	1.45	—	13,550	19.6
Molybdenum	6.25	3.35	10,200	63.7
Nickel	5.48	2.99	8,850	48.5
Oil	1.44	—	900	1.3
Perspex	2.68	1.32	1,200	3.2
Platinum	3.96	1.67	21,400	85.00
Polystyrene	2.35	1.12	1,060	2.6
Steel (Mild)	5.96	3.24	7,850	46.7
Steel (Stainless)	5.74	3.13	7,800	44.8
Silver	3.70	1.70	10,500	36.9
Tin	3.38	1.61	7,300	24.7
Titanium	5.99	3.12	4,500	27.00
Tungsten	5.17	2.88	19,300	100.0
Tungsten-Araldite	2.06	—	10,500	21.65
Tungsten Carbide	6.65	3.98	10,000 to 15,000	66.5 to 98.5
Uranium	3.37	2.02	18,700	63.0
Water	1.48	—	1,000	1.48
Zinc	4.17	2.48	7,100	29.6
Zirconium	4.65	2.30	6,400	29.8

[도10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/KR2021/008384

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G21C 17/06**(2006.01)i; **G01N 29/04**(2006.01)i; **G21C 17/00**(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 17/06(2006.01); G21C 17/07(2006.01); G21C 17/10(2006.01); G21C 3/28(2006.01); G21C 3/328(2006.01)

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: 핵연료(nuclear fuel), 초음파(ultrasonic), 검사(inspection), 벌지(bulge)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	KIM, Kyunggun et al. Demonstration Test for Determining Spent Nuclear Fuel Inspection Method for Dry Storage. Transactions of the Korean Nuclear Society Autumn Meeting. Yeosu, Korea. 25 October 2018, pp. 1-3. See pages 1-3.	1-7
A	KR 10-0270724 B1 (SIEMENS POWER CORPORATION) 01 November 2000 (2000-11-01) See paragraphs [0012]-[0016], and figure 1.	1-7
A	JP 06-273558 A (WESTINGHOUSE ELECTRIC CORP.) 30 September 1994 (1994-09-30) See claims 1-2, and figure 2.	1-7
A	KR 10-2011-0001173 A (KOREA ELECTRIC POWER CORPORATION) 06 January 2011 (2011-01-06) See entire document.	1-7
A	KR 10-0963061 B1 (KOREA ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE) 14 June 2010 (2010-06-14) See entire document.	1-7



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

“D” document cited by the applicant in the international application

“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

25 October 2021

Date of mailing of the international search report

25 October 2021

Name and mailing address of the ISA/KR

Korean Intellectual Property Office
Government Complex-Daejeon Building 4, 189 Cheongsaro, Seo-gu, Daejeon 35208

Facsimile No. +82-42-481-8578

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/KR2021/008384

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
KR	10-0270724	B1	01 November 2000	EP	0566862	A1	27 October 1993
				EP	0566862	B1	02 August 1995
				JP	06-018697	A	28 January 1994
				JP	3431660	B2	28 July 2003
				US	5790617	A	04 August 1998
				WO	93-19472	A1	30 September 1993
JP	06-273558	A	30 September 1994	EP	0613152	A1	31 August 1994
				KR	10-1994-0020431	A	16 September 1994
				TW	241366	B	21 February 1995
KR	10-2011-0001173	A	06 January 2011	KR	10-1083108	B1	11 November 2011
KR	10-0963061	B1	14 June 2010	KR	10-2009-0100891	A	24 September 2009

A. 발명이 속하는 기술분류(국제특허분류(IPC)) G21C 17/06(2006.01)i; G01N 29/04(2006.01)i; G21C 17/00(2006.01)i		
B. 조사된 분야 조사된 최소문헌(국제특허분류를 기재) G21C 17/06(2006.01); G21C 17/07(2006.01); G21C 17/10(2006.01); G21C 3/28(2006.01); G21C 3/328(2006.01) 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: 핵연료(nuclear fuel), 초음파(ultrasonic), 검사(inspection), 벌지(bulge)		
C. 관련 문헌		
카테고리*	인용문헌명 및 관련 구절(해당하는 경우)의 기재	관련 청구항
A	KYUNGGUN KIM 등, Demonstration Test for Determining Spent Nuclear Fuel Inspection Method for Dry Storage, Transactions of the Korean Nuclear Society Autumn Meeting, Yeosu, Korea. 2018.10.25, 페이지 1-3 페이지 1-3 참조.	1-7
A	KR 10-0270724 B1 (지멘스파워코포레이션) 2000.11.01 단락 12-16, 및 도면 1 참조.	1-7
A	JP 06-273558 A (WESTINGHOUSE ELECTRIC CORP.) 1994.09.30 청구항 1-2, 및 도면 2 참조.	1-7
A	KR 10-2011-0001173 A (한국전력공사) 2011.01.06 전체 문헌 참조.	1-7
A	KR 10-0963061 B1 (한국원자력연구원) 2010.06.14 전체 문헌 참조.	1-7
☐ 추가 문헌이 C(계속)에 기재되어 있습니다. ☒ 대응특허에 관한 벌지를 참조하십시오.		
* 인용된 문헌의 특별 카테고리: “A” 특별히 관련이 없는 것으로 보이는 일반적인 기술수준을 정의한 문헌 “D” 본 국제출원에서 출원인이 인용한 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 2021년10월25일(25.10.2021)		국제조사보고서 발송일 2021년10월25일(25.10.2021)
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

국제조사보고서에서 인용된 특허문헌	공개일	대응특허문헌	공개일
KR 10-0270724 B1	2000/11/01	EP 0566862 A1	1993/10/27
		EP 0566862 B1	1995/08/02
		JP 06-018697 A	1994/01/28
		JP 3431660 B2	2003/07/28
		US 5790617 A	1998/08/04
		WO 93-19472 A1	1993/09/30
JP 06-273558 A	1994/09/30	EP 0613152 A1	1994/08/31
		KR 10-1994-0020431 A	1994/09/16
		TW 241366 B	1995/02/21
KR 10-2011-0001173 A	2011/01/06	KR 10-1083108 B1	2011/11/11
KR 10-0963061 B1	2010/06/14	KR 10-2009-0100891 A	2009/09/24